

**Audi**  
Dissertationsreihe



# Informationsmodell für die Planung und die Ausschreibung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen

---

Mathias Döbele



Lehrstuhl für Informationstechnik im Maschinenwesen  
der Technischen Universität München

# **Informationsmodell für die Planung und die Ausschreibung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen**

Mathias Döbele

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

Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitzender: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Schiller

Prüfer der Dissertation:

1. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Bender, i.R.
2. Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart

Die Dissertation wurde am 21.01.2010 bei der Technischen Universität München eingereicht und durch die Fakultät für Maschinenwesen am 27.04.2010 angenommen.

## **Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek**

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

1. Aufl. - Göttingen : Cuvillier, 2010

Zugl.: (TU) München, Univ., Diss., 2010

978-3-86955-389-4

Audi Dissertationsreihe, Band 35

© CUVILLIER VERLAG, Göttingen 2010

Nonnenstieg 8, 37075 Göttingen

Telefon: 0551-54724-0

Telefax: 0551-54724-21

[www.cuvillier.de](http://www.cuvillier.de)

Alle Rechte vorbehalten. Ohne ausdrückliche Genehmigung des Verlages ist es nicht gestattet, das Buch oder Teile daraus auf fotomechanischem Weg (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen.

1. Auflage, 2010

Gedruckt auf säurefreiem Papier

978-3-86955-389-4

**meiner geliebten Frau  
Anne-Luise**



# Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand im Rahmen eines dreijährigen Forschungsprojekts bei der AUDI AG. In enger Zusammenarbeit mit den Fachabteilungen erarbeitete ich dort Ansätze zur Unterstützung der Planung automatisierter Fertigungsanlagen für die Fahrzeugproduktion.

Mein besonderer Dank gilt meinem Doktorvater Herrn Professor Klaus Bender. An seinem Lehrstuhl für Informationstechnik im Maschinenwesen der Technischen Universität München konnte ich bereits während meines Studiums tiefe Einblicke in die Mechatronik sowie die Automatisierungstechnik gewinnen. Das dadurch geweckte Interesse bewog mich zur Vertiefung des Themengebiets in dieser Arbeit. Ich danke Herrn Professor Bender für das in mich gesetzte Vertrauen, für seine stets wertvolle Kritik und vor allem für seine offene und motivierende Art, die mich seit Beginn meines Studiums überzeugt. Mein Dank gilt außerdem Herrn Professor Gunther Reinhart für das Interesse an meiner Arbeit und seiner Bereitschaft zur Übernahme des Korreferats. Auch Herrn Professor Frank Schiller danke ich für seine Anregungen in zahlreichen Gesprächen sowie für den Prüfungsvorsitz. Ferner trug Herr Benjamin Danzer durch seine kreativen Anregungen entscheidend zum Erfolg dieser Arbeit bei, wofür ich mich herzlich bedanken möchte.

Aus dem Kreis der Projektpartner bedanke ich mich bei Herrn Helmut König, Herrn Dr. Lars Ruppert, Herrn Anton Schemmerer sowie Herrn Michael Reuse, die mir ein hervorragendes Arbeitsumfeld boten und mir fachlich wie persönlich stets zur Seite standen. Besonders ihr entgegengebrachtes Vertrauen weiß ich sehr zu schätzen. Meinem Projektleiter Herrn Professor Markus Bregulla danke ich für die Ermöglichung der Arbeit im Rahmen eines Forschungsprojekts sowie für seine vielfältige Unterstützung.

Herrn Professor Hans-Günther Heckmann wie auch Herrn Dr. Thomas Haneder danke ich für ihre Ermutigung zu dieser Arbeit. Schließlich gilt mein Dank Frau Karin Greiner für die gewissenhafte Durchsicht der Arbeit sowie meinen Eltern, die mir eine hervorragende Ausbildung ermöglicht haben. Besonderer Dank gebührt meiner Frau Anne-Luise für ihr bedeutsames Zutun und vor allem dafür, dass ich mich immer auf sie verlassen kann.

München, im Januar 2010

Mathias Döbele



# Inhaltsverzeichnis

<b>ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>v</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1 Motivation .....</b>	<b>1</b>
<b>1.2 Aufbau der Arbeit .....</b>	<b>2</b>
<b>2 PLANUNG DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK FÜR FERTIGUNGSANLAGEN .....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Lebenszyklusbetrachtung einer Fertigungsanlage.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Fertigungsprozess.....	5
2.1.2 Anlagenplanung .....	6
2.1.3 Engineering und Inbetriebnahme .....	7
2.1.4 Betrieb und Umbau während des Betriebs.....	8
2.1.5 Rückbau und Retooling.....	8
<b>2.2 Automatisierungstechnik einer Fertigungsanlage.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Anlass und Objekte der Automatisierung .....	9
2.2.2 Technologische Komplexität und Komplexitätsbeherrschung .....	11
2.2.3 Bedeutung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen.....	13
<b>2.3 Planung und Konzipierung durch den Anlagenbetreiber .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Planungsobjekte: Anlagenmodule und –komponenten sowie übergeordnete Systeme .....	13
2.3.2 Aufgaben der Automatisierungstechnik-Planung .....	15
2.3.3 Zukünftige Herausforderungen der Automatisierungstechnik Planung.....	16
<b>2.4 Probleme der Konzeptbeschreibung bei der Planung     der Automatisierungstechnik .....</b>	<b>17</b>
<b>3 RELEVANTE ANSÄTZE ZUR FORMALISIERTEN PLANUNG VON AUTOMATISIERUNGSLÖSUNGEN.....</b>	<b>18</b>
<b>3.1 Planungsansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Ansätze der Fertigungsprozessplanung.....	20
3.1.2 Ansätze der Anlagenplanung und Konstruktion .....	22
3.1.3 Ansätze der wandlungsfähigen Fabrik .....	25



<b>3.2</b>	<b>Formalisierungsansätze anderer Bereiche.....</b>	<b>27</b>
3.2.1	Baukästen in der Maschinenkonstruktion .....	27
3.2.2	Entwicklung und Konfiguration modularer Produkte .....	29
3.2.3	Formalisierung im Requirements-Engineering .....	32
3.2.4	Formalisierung in der objektorientierten Softwareentwicklung.....	33
<b>3.3</b>	<b>Zusammenfassende Bewertung.....</b>	<b>36</b>
<b>4</b>	<b>INFORMATIONSMODELL ZUR FORMALEN BESCHREIBUNG DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1</b>	<b>Anforderungen an das Informationsmodell .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2</b>	<b>Wissenschaftliche Basis.....</b>	<b>40</b>
4.2.1	Systemtheorie und Modellbildung .....	40
4.2.2	Fabrikssysteme als Betrachtungsgrundlage .....	49
4.2.3	Automatisierungstechnik in Fabrikssystemen .....	52
<b>4.3</b>	<b>Informationsstrukturierung und -modellierung .....</b>	<b>56</b>
4.3.1	Systemmodellierung mit Planungskomponenten .....	56
4.3.2	Modellierung der Systemumgebung mit Anlagenmustern.....	67
4.3.3	Ableitung des Informationsmodells .....	72
<b>4.4</b>	<b>Nutzen des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung .....</b>	<b>78</b>
<b>5</b>	<b>VERWENDUNG UND PROTOTYPISCHE IMPLEMENTIERUNG DES INFORMATIONSMODELLS .....</b>	<b>80</b>
<b>5.1</b>	<b>Verwendung des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung.....</b>	<b>81</b>
5.1.1	Rollenmodell .....	81
5.1.2	Rollenbezogene Abstimmung .....	84
<b>5.2</b>	<b>Entwurf eines prototypischen Planungswerkzeugs.....</b>	<b>86</b>
5.2.1	Datenbankstruktur .....	86
5.2.2	Applikation.....	89
<b>5.3</b>	<b>Anwendung des Planungswerkzeugs.....</b>	<b>93</b>
5.3.1	Funktionalität .....	93
5.3.2	Unterstützung der Planung .....	98
<b>5.4</b>	<b>Nutzen des prototypischen Planungswerkzeugs.....</b>	<b>100</b>

<b>6</b>	<b>BEWERTUNG UND VALIDIERUNG AM BEISPIEL EINES EC-SCHRAUBSYSTEMS.....</b>	<b>101</b>
<b>6.1</b>	<b>Erläuterungen zum Anwendungsbeispiel .....</b>	<b>102</b>
<b>6.2</b>	<b>Exemplarische Umsetzung der Automatisierungstechnik–Planung .....</b>	<b>104</b>
6.2.1	Komponentenspezifikation.....	105
6.2.2	Verwendung zur Projektabwicklung.....	110
<b>6.3</b>	<b>Bewertung der Ergebnisse.....</b>	<b>116</b>
<b>7</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK.....</b>	<b>119</b>
<b>7.1</b>	<b>Zusammenfassung.....</b>	<b>119</b>
<b>7.2</b>	<b>Ausblick.....</b>	<b>121</b>
	<b>ANHANG: MODELL DES ANWENDUNGSBEISPIELS .....</b>	<b>123</b>
	<b>LITERATURVERZEICHNIS .....</b>	<b>127</b>
	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>136</b>
	<b>GLOSSAR.....</b>	<b>138</b>



# Abkürzungsverzeichnis

AT	Automatisierungstechnik
BASF	Badische Anilin und Soda Fabrik
CAD	Computer aided design
CAX	Computer aided x
CSS	Cascading Stylesheets
DIN	Deutsches Institut für Normung
EOP	End of Production
GUI	Graphical User Interface
HTML	Hypertext Markup Language
IC	Integrated Cicute (Integrierte Schaltung)
IPC	Industrie PC
ISO	International Standard Organization
IT	Informationstechnik
kmU	kleine und mittelständische Unternehmen
LH	Lastenheft
OEM	Original Equipment Manufacturer
PC	Personal Computer
PK	Primary Key – Primärschlüssel
PLT	Prozessleittechnik
SADT	Structured Analysis and Design Technique
SE	Simultaneous Engineering
SOP	Start of production
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
SQL	Structured Query Language
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
SysML	Systems Modelling Language
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
UML	Unified Modelling Language
v. Chr.	vor Christus
XML	Extensible Markup Language



# 1 Einleitung

Die industrielle Produktion am Standort Deutschland hat in den vergangenen Jahren erhebliche Konkurrenz aus Ländern mit niedrigen Lohnkosten und mit vergleichsweise hoher Förderung ausländischer Investoren erfahren. Außerdem erfolgt die Verlagerung von Produktionsstätten auch, um die Erschließung neuer Märkte in Schwellenländern wie China oder Indien voranzutreiben, wo neben geringeren Produktionskosten auch die Vermeidung hoher Importzölle von Bedeutung ist. Dennoch genießt der Standort Deutschland im internationalen Vergleich hohes Ansehen und hohe Attraktivität, wie jüngste Umfragen bestätigen. [Gomez09] Zugleich wird dem deutschen Ingenieurwesen ein hohes Renommee zuerkannt, das allerdings auch in Zukunft durch visionäres Denken und innovatives Handeln stets neu erarbeitet werden muss. Hierzu gehört nicht nur die führende Entwicklung neuer Produkte, sondern auch deren profitable Herstellung durch fortschrittliche Produktionsverfahren und geeignete Produktionstechnik.

Eine gewisse Vorbildfunktion in diesem Bereich kommt der deutschen Automobilindustrie zu. Denn trotz eines hart umkämpften Marktumfeldes mit extrem hochentwickelten Wettbewerbern kann diese sich nach wie vor gut behaupten. Der Grund für die nachhaltige Marktposition ist vor allem im Anspruch der Fahrzeughersteller zu sehen, neben der eigentlichen Fahrzeugentwicklung die eigene Kernkompetenz auch in der Fahrzeugproduktion auszubauen. Dazu sind Produktionsverfahren zu entwickeln, die nicht nur den Qualitäts- und Zeitansprüchen gerecht werden, sondern auch im Bereich Kosten die Nachteile des Standorts Deutschland kompensieren. Der Schlüssel hierzu ist in einer geeigneten Automatisierung der Fertigungsprozesse in Verbindung mit fortschrittlichen Flexibilitätskonzepten zu sehen.

## 1.1 Motivation

Zur effizienten Herstellung komplexer Produkte und zur Sicherung der eigenen Marktposition müssen Unternehmen – nicht nur der Automobilindustrie - zukünftig noch stärker selbst an der Weiterentwicklung von Produktionsverfahren arbeiten. In der Serienproduktion gehört hierzu die Planung geeigneter Fertigungsprozesse sowie der

notwendigen Anlagentechnik. Dabei stellt die zunehmende Komplexität der Herstellungsverfahren sowie der ausführenden Automatisierungstechnik eine große Herausforderung für die produzierenden Unternehmen dar. Sie stehen vor der Notwendigkeit, die interne Planung der Fertigung trotz der ständigen Komplexitätszunahme mit Hilfe neuer Ansätze zu ermöglichen. Im Zentrum einer solchen Planung steht die Erarbeitung tiefgreifender Fertigungskonzepte, bestehend aus einem Fertigungsprozess sowie der Fertigungstechnik und der anschließenden Beauftragung eines Lieferanten oder Anlagenbauers mit der Konzeptrealisierung. Die unternehmensinterne Planung steht also vor der Aufgabe, ihre Konzepte für die Beauftragung hinreichend genau zu beschreiben, aber dem externen Partner dabei auch nicht die Arbeit der Detailkonstruktion abzunehmen. Insbesondere muss darauf Wert gelegt werden, dass sich der große Aufwand der Konzeptentwicklung durch mehrmaliges Verwenden in unterschiedlichen Automatisierungsprojekten amortisiert. Aufgrund der ungleichen Anforderungen und Randbedingungen der verschiedenen Projekte ist die Wiederverwendung der Konzepte nicht immer ganz einfach. Es ist daher ausdrücklich Wert auf die projektneutrale Entwicklung der Automatisierungskonzepte und ebenso auf die hinreichende Abstimmung mit allen benachbarten Automatisierungskonzepten einer Anlage zu legen. Zur Dokumentation der Konzepte werden heute überwiegend die für die Beauftragung erstellten Lastenhefte verwendet. Da diese Vorgehensweise zur Abstimmung und zur Wiederverwendung in der Planung allerdings hohes Fehlerpotential in sich birgt, ist eine zweckmäßigere Bereitstellung der Planungsdaten anzustreben. Die hieraus abgeleitete Vision einer projektneutralen Beschreibung von Konzepten der Fertigungsautomatisierung und einer Wiederverwendung dieser Konzepte für unterschiedliche Automatisierungsprojekte bildet die Grundlage dieser Arbeit.

### **1.2 Aufbau der Arbeit**

Die vorliegende Arbeit gliedert sich in die drei Bereiche *Problemfeldanalyse*, *Lösungsentwicklung und Umsetzung* sowie *Verwendung und Bewertung*. Abbildung 1-1 gibt einen Überblick über die drei Bereiche und die Zuordnung der Kapitel. In Kapitel 2 werden die Aufgaben und Inhalte der Planung automatisierter Fertigungsanlagen dargestellt, woran eine Erörterung des sich ergebenden Beschreibungsproblems anschließt. Als zweiter Teil der *Problemfeldanalyse* wird in Kapitel 3 das Umfeld des Problems durch die Analyse bereits existierender Ansätze und Lösungen erarbeitet. Im Bereich *Lösungsentwicklung und Umsetzung* beschäftigt sich Kapitel 4 mit der ausführlichen Erarbeitung eines Informationsmodells, welches das in Kapitel 2 dargelegte

Problem zu lösen im Stande ist. Zur Verwendung des Informationsmodells beinhaltet Kapitel 5 die Darstellung eines informationstechnischen Planungswerkzeugs und beschreibt dessen prototypische Implementierung sowie Anwendung. Schließlich bedient sich Kapitel 6 im Bereich *Verwendung und Bewertung* der im vierten und fünften Kapitel erarbeiteten Ansätze zur exemplarischen Umsetzung der Planung einer Automatisierungskomponente. Anhand dieser beispielhaften Verwendung der Planungsdaten erfolgt eine Bewertung der erzielten Ergebnisse.

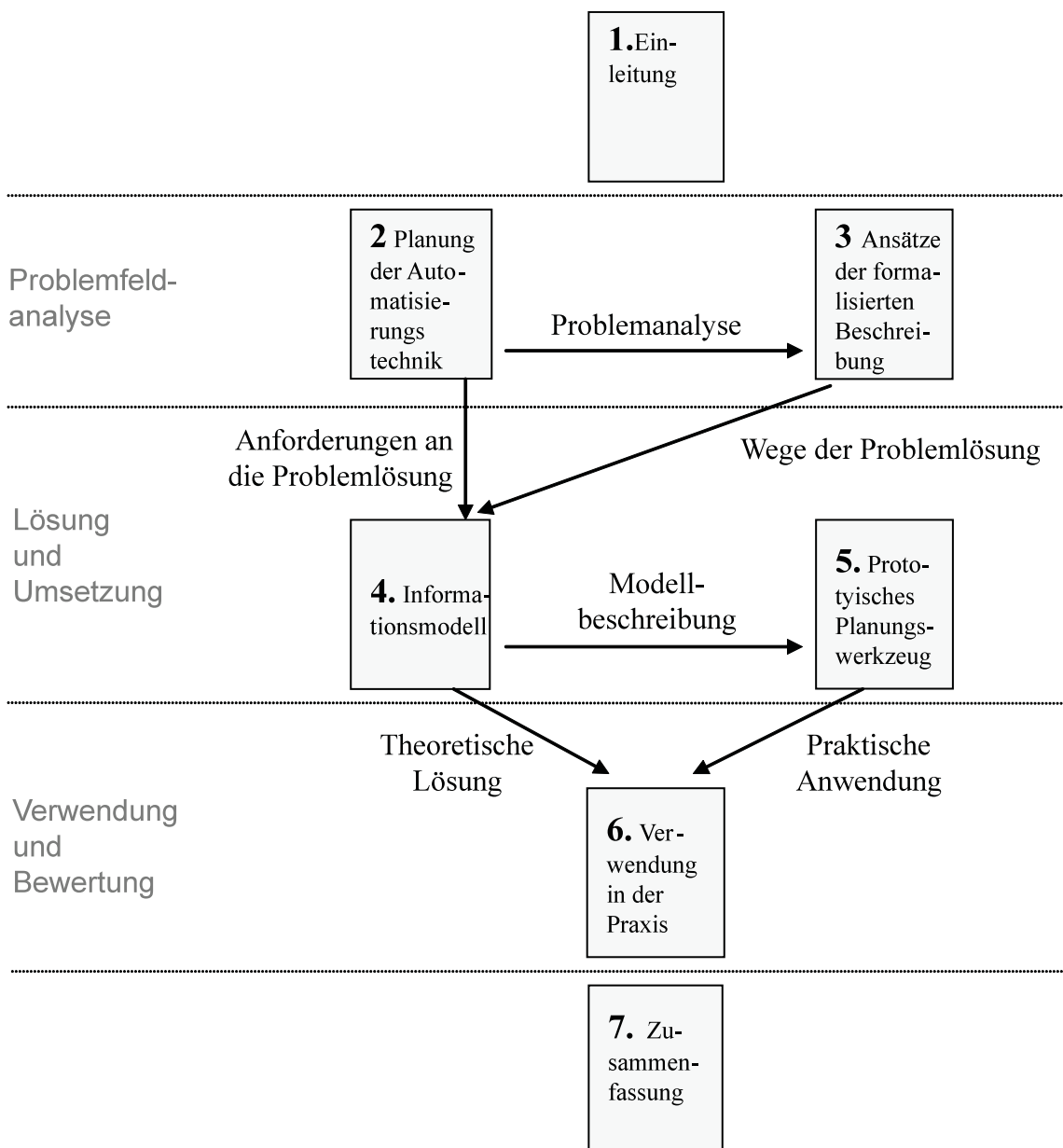


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit



## 2 Planung der Automatisierungstechnik für Fertigungsanlagen

Üblicherweise beginnen Hersteller von Serienprodukten – wie etwa OEMs der Fahrzeugindustrie – nach der strategischen Entscheidung über die Markteinführung eines neuen Produktes mit dessen Fertigungsplanung. Hierzu gehört das Entwickeln eines Fertigungsprozesses unter den jeweiligen unternehmerischen Prämissen wie geplante Stückzahl, Produktionsstandort, Eigen- oder Auftragsfertigung sowie die anschließende Planung einer Fertigungsanlage. Die Planung der Automatisierungstechnik solcher Fertigungsanlagen ist Gegenstand dieser Arbeit. In diesem Zusammenhang geht das folgende Kapitel auf deren Aufgaben und Inhalte ein und legt die Gründe für die Notwendigkeit der Konzepterstellung durch den Anlagenbetreiber selbst dar. Dabei zeigen sich Probleme der Konzeptbeschreibung für Automatisierungslösungen, die eine Verfügbarkeit der Daten und eine Integration der Planung in die Unternehmensprozesse erschweren.

### Inhaltsverzeichnis

---

<b>2.1 Lebenszyklusbetrachtung einer Fertigungsanlage.....</b>	<b>5</b>
2.1.1 Fertigungsprozess.....	5
2.1.2 Anlagenplanung .....	6
2.1.3 Engineering und Inbetriebnahme .....	7
2.1.4 Betrieb und Umbau während des Betriebs.....	8
2.1.5 Rückbau und Retooling.....	8
<b>2.2 Automatisierungstechnik einer Fertigungsanlage.....</b>	<b>9</b>
2.2.1 Anlass und Objekte der Automatisierung .....	9
2.2.2 Technologische Komplexität und Komplexitätsbeherrschung .....	11
2.2.3 Bedeutung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen.....	13
<b>2.3 Planung und Konzipierung durch den Anlagenbetreiber .....</b>	<b>13</b>
2.3.1 Planungsobjekte: Anlagenmodule und –komponenten sowie übergeordnete Systeme 13	
2.3.2 Aufgaben der Automatisierungstechnik-Planung .....	15
2.3.3 Zukünftige Herausforderungen der Automatisierungstechnik Planung.....	16
<b>2.4 Probleme der Konzeptbeschreibung bei der Planung     der Automatisierungstechnik .....</b>	<b>17</b>

---

Zur Darstellung der Aufgabenstellungen und Herausforderungen bei der Automatisierungstechnik-Planung in Kapitel 2 beleuchtet die Diskussion des Anlagenlebenszyklus in Abschnitt 2.1 zunächst das gegebene Umfeld. Darauf folgt in Abschnitt 2.2 eine Definition und Abgrenzung der Automatisierungstechnik sowie in Abschnitt 2.3 die Auseinandersetzung mit der Planung als gestaltendes Organ des Anlagenbetreibers. Abschnitt 2.4 resümiert die Herausforderungen der Planung und stellt Probleme bei der Beschreibung der erarbeiteten Konzepte zur Automatisierung von Fertigungsanlagen fest.

### 2.1 Lebenszyklusbetrachtung einer Fertigungsanlage

Der Lebenszyklus einer Produktionsanlage teilt sich prinzipiell in die Phasen Planung und Engineering, Inbetriebnahme, Betrieb sowie Rückbau und Retooling<sup>1</sup> ein. Die Fokussierung auf den gesamten Lebenszyklus einer Fertigungsanlage - beispielsweise aus Sicht der Anlagenplanung - gewinnt derzeit enorm an Bedeutung. Dies liegt hauptsächlich in der Notwendigkeit zum Umbau von Fertigungsanlagen während ihrer Betriebsphase in Folge immer kürzerer Produktlebenszyklen begründet. Hierdurch findet eine Überlappung und Parallelisierung der ursprünglich sequentiellen Phasen Planung, Engineering, Inbetriebnahme und Betrieb statt. [Wemhöner06] [Kiefer07]

#### 2.1.1 Fertigungsprozess

Der Anlagenlebenszyklus beginnt mit der Phase der Fertigungsprozessplanung. Denn obwohl die Anlage zu diesem Zeitpunkt noch gar nicht existiert, wird ihre spätere Gestalt maßgeblich durch den zu Grunde gelegten Fertigungsprozess beeinflusst. Für die Fahrzeugproduktion beispielsweise werden bei der Fertigungsprozessplanung die einzelnen Schritte vom Presswerk, dem Karosseriebau über die Lackiererei bis hin zur Endmontage festgelegt. Entscheidend in dieser Phase ist ein Vorgehen vom Groben zum Detail im Rahmen des Simultaneous Engineering<sup>2</sup> (SE). [Kiefer07] In regelmäßigen SE-Runden kommen Fahrzeugentwickler und Fertigungsplaner zusammen, um eine möglichst produktionsgerechte Gestaltung der Fahrzeugkonstruktion in Verbindung mit

---

<sup>1</sup> Retooling: Wiedereinsatz von Anlagenkomponenten

<sup>2</sup> Simultaneous Engineering: Ist eine Vorgehensweise in der technischen Entwicklung, bei welcher die Produktentwicklung und die Fertigungsplanung zeitlich parallelisiert sind.

einem entsprechend idealen Fertigungsprozess zu erreichen. Maßnahmen der Produktentwicklung streben eine Vereinheitlichung der Füge- und Aufbaufolgen unterschiedlicher Fahrzeugmodelle an, was zu gleichartigen Fertigungsprozessen führt. [Wemhöner06] Dies ist die Voraussetzung für eine unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten sinnvolle Produktion unterschiedlicher Modelle auf einer Produktionslinie.

Liegt der Fertigungsprozess im Detail vor, ergeben sich daraus die einzelnen Anforderungen an die Produktion beziehungsweise die Produktionsanlage. Um die einzelnen Prozessschritte zu realisieren, müssen entweder manuelle oder automatisierte Tätigkeiten verrichtet werden. Die Aufgabe der Anlagentechnik ist die Unterstützung des Werkers bei den manuellen Tätigkeiten oder die selbständige Ausführung der automatisierten Tätigkeiten. Infolgedessen entstehen Anforderungen an die Produktionsanlage aus dem Fertigungsprozess an allen Berührungspunkten der Anlage bzw. des Werkers mit dem zu fertigenden Produkt. Die Anlage stellt an all diesen Berührungspunkten entsprechende Automatisierungsfunktionen zur Realisierung des Fertigungsprozesses bereit.

### **2.1.2 Anlagenplanung**

Die Planung und das Engineering von Produktionsanlagen werden in der Literatur häufig nicht eindeutig abgegrenzt oder gar synonym verwendet. Gründe hierfür können die oft fließenden Übergänge und die aus Sicht der Wertschöpfung im Anlagenerstellungsprozess fehlende Notwendigkeit für eine solche Abgrenzung sein. Für die Betreiber großer Produktionsanlagen - in der Regel OEMs wie etwa Automobilhersteller, die eine eigene Anlagenplanung betreiben - ist eine solche Abgrenzung jedoch von Bedeutung. Denn diese Grenze markiert den unternehmerisch rechtlichen Übergang zwischen Anlagenbetreiber und Anlagenbauer bzw. zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer. Die Anlagenplanung endet in diesem Verständnis mit der Erstellung des Lastenhefts und geht durch Erstellung des Pflichtenhefts in die Phase des Engineerings über. [VDI3694]

Gemäß den Anforderungen des Fertigungsprozesses entwickelt die Anlagenplanung Konzepte, die über Lastenhefte in das Anlagenengineering einfließen. Beispiele für solche Konzepte reichen von einem einfachen Handhabungsgerät bis zu komplexen Schraubstationen oder Robotergärten mit Schweißzangen, Spannern, Messeinrichtungen und mehr. Zur weiteren Spezialisierung kann die Anlagenplanung in die Bereiche Vorrichtungsplanung und Automatisierungstechnikplanung unterteilt werden. Die

Vorrichtungsplanung umfasst alle Anlagenteile, die nicht Teil der Automatisierungstechnik sind und oft den reinen Stahlbau oder auch die Energieversorgung betreffen. Die Automatisierungstechnikplanung umfasst alle Anlagenteile, die in irgendeiner Art und Weise gesteuert oder geregelt werden oder selbst Teil einer Steuerung sind.

Moderne Produktionsanlagen gelten durch die Automatisierungstechnik als hochkomplexe mechatronische Systeme, die nur mit geeigneten Hilfsmitteln wie CAx und Datenmanagement beherrscht werden können. [Kühn06][Föederal04] Nur ein Teil dieser Systeme ist direkt am Fertigungsprozess beteiligt; eine ganze Reihe weiterer Bestandteile dienen der Steuerung sowie dem Datenaustausch mit übergeordneten IT-Systemen. Die Planung der Automatisierungstechnik erarbeitet Konzepte solcher mechatronischer Systeme zur Automatisierung des Fertigungsprozesses. Außerdem ist die Anlagenplanung für die Ausschreibung und die Realisierung ihrer Konzepte verantwortlich.

### 2.1.3 Engineering und Inbetriebnahme

Die Konstruktion und Realisierung von Produktionsanlagen sowie einzelnen Geräten übernimmt ein OEM in der Regel nicht selbst, sondern beauftragt hierfür externe Anlagenbauer und Lieferanten. Grundlage solcher Aufträge sind Lastenhefte, die während der Anlagenplanung erstellt werden. Aus den Informationen über den Leistungsumfang des zu entwickelnden Systems muss der Anlagenbauer zunächst eine Lösung skizzieren, die zeigt, wie die gegebenen Anforderungen erfüllt werden sollen. [VDI3694] Nach Rücksprache mit dem Anlagenbetreiber wird diese technische Lösung im Detail konstruiert und schließlich realisiert.

Die Anlagenbauer unternehmen große Anstrengungen zur Optimierung ihrer Prozesse. Dabei kommt es entscheidend auf die Erhaltung der Flexibilität an, um für die stets unterschiedlichen Aufträge vorbereitet zu sein. Durch moderne Ansätze mit wiederverwendbaren mechatronischen Komponenten werden hierzu Baukastensysteme aufgebaut, die eine schnelle und individuelle Konstruktion ermöglichen. Neben Stromlaufplänen, Stücklisten und weiteren Konstruktionsumfängen kann auch Steuerungssoftware mit Hilfe derartiger Ansätze automatisch generiert werden. Durch die Möglichkeiten dieser Ansätze erschließt sich dem Anlagenbauer bereits heute ein hohes Wiederverwendungspotential. Das ermöglicht Kosteneinsparungen sowie die Reduktion der Komplexität durch modular aufgebaute Lösungen. [Paulwitz09] Der Engineeringphase folgt der Aufbau und die Inbetriebnahme der Anlage beim Betreiber. Aufgrund der komplexen mechatronischen Systeme ist die Inbetriebnahmephase extrem

anspruchsvoll. Ziel dieser ist die Überführung der Anlage in den vertraglich definierten Dauerbetrieb. [Weber02]

### 2.1.4 Betrieb und Umbau während des Betriebs

In der Betriebsphase wird die Anlage ihrem eigentlichen Zweck, der Fertigung von Produkten zugeführt. Die in der Anlage realisierten Konzepte müssen sich im täglichen Einsatz bewähren, was in der Praxis immer Optimierungsmaßnahmen nach sich zieht. Außerdem benötigt das Bedienpersonal einige Zeit zum Sammeln erster Erfahrungen mit den neuen Konzepten und Logistikprozesse müssen erst eingeschwungen und optimiert werden. Diese Anlaufphase wird durch die Hochlaufkurve indiziert, die die produzierte Stückzahl über der Zeit wiedergibt. Ziel ist es, eine möglichst steile Hochlaufkurve zu erreichen, um die Anlage schon kurz nach SOP<sup>3</sup> mit der geplanten Sollstückzahl betreiben zu können.

Allerdings werden nach Einpendeln des Serienbetriebs aufgrund immer kürzer werdender Produktlebenszyklen nicht selten umfangreiche Veränderungen der Anlage notwendig. Dies gilt beispielsweise für die moderne Fahrzeugproduktion, für die in letzter Zeit verschiedenste Konzepte zur Produktion unterschiedlicher Modelle und Modellgenerationen auf einer Anlage entwickelt wurden. [Wemhöner06] Je nach Strategie des Herstellers und je nach Art der Anlage beginnen die Phasen Fertigungsprozess- und Anlagenplanung sowie Engineering und Inbetriebnahme einer Anlage im Laufe ihres Betriebes immer wieder von neuem. Dazu müssen spezielle Methoden wie etwa die Virtuelle Inbetriebnahme entwickelt werden, da ein Anlagenumbau den laufenden Betrieb nicht beeinträchtigen darf.

### 2.1.5 Rückbau und Retooling

Ändert sich das zu fertigende Produkt grundlegend, lässt sich ein Umbau der vorhandenen Anlage eventuell nicht mehr zu vertretbaren Kosten realisieren. Andere Gründe für den Rückbau einer Anlage können auch Materialermüdung sein oder Innovationen der Anlagentechnologie, die eine qualitativ bessere oder effizientere Fertigung ermöglichen. Auf den Rückbau der Anlage folgt der Verkauf, die Verschrottung

---

<sup>3</sup> SOP: Start of production

oder der Wiedereinsatz einzelner Komponenten. Der Wiedereinsatz einer Anlagenkomponente an anderer Stelle wird gewöhnlich als Retooling bezeichnet.

### **2.2 Automatisierungstechnik einer Fertigungsanlage**

Dieser Abschnitt legt eine Definition der Automatisierungstechnik-Planung sowie die Abgrenzung im Kontext einer Fertigungsanlage fest. Hierzu wird auf den Anlass der Automatisierung, deren technologische Komplexität und deren Bedeutung für die Fertigung eingegangen.

#### **2.2.1 Anlass und Objekte der Automatisierung**

In Zeiten globaler Märkte hängt das langfristige Überleben eines produzierenden Betriebs in hohem Maße vom Standort, von der raschen Folge an Produktinnovationen und von einer konstant hohen Produktqualität ab. Alle drei Faktoren können durch die Automation von Produktion und Information positiv beeinflusst werden. [Favre-Bulle04] Als klassische Ziele von Automatisierungsprojekten analysieren [Schraft+98] die Rationalisierung, die Verbesserung der Qualität sowie die Verbesserung von Ergonomie und Arbeitssicherheit.

Die Erfüllung der Kundenbedürfnisse muss das höchste Ziel eines jeden Unternehmens sein. Beispielsweise zeigt sich in der Automobilindustrie, dass zur Erfüllung dieses Ziels eine immense Vielfalt an Derivaten und Ausstattungsvarianten der einzelnen Modelle angeboten wird. Als Schlüssel zur Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Unternehmen nennt [Warnecke96] die Beherrschung der aus dieser Vielfalt resultierenden Komplexität des Entwicklungs-, Produktions- und Logistikprozesses. Zur Lösung dieses Komplexitätsproblems hilft der Einsatz fortschrittlicher Informationstechnologien bei unternehmensweiter Informationsintegration sowie konsequenter flexibler Automatisierung. Die Voraussetzung dafür ist allerdings ein dienliches Ausrichten der Unternehmensorganisation und der Geschäftsprozesse an den Marktanforderungen. [Favre-Bulle04]

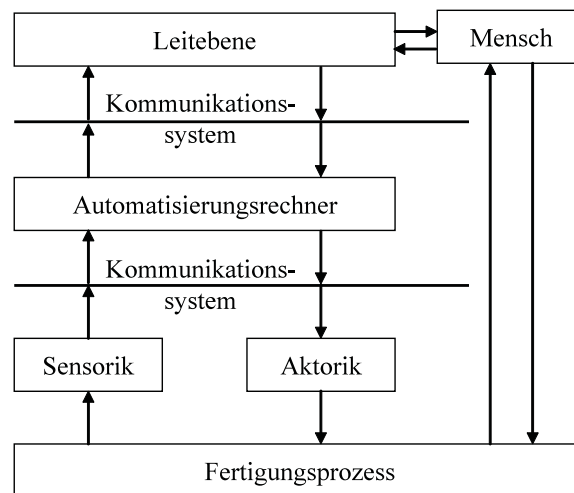
In heutigen Produktionsanlagen sind umfangreiche und komplexe Automatisierungsaufgaben zu lösen. Die Realisierung dieser Aufgaben erfolgt durch Einsatz von Automatisierungssystemen. Dabei handelt es sich um speziell für diesen Einsatz konzipierte modulare Geräte und Einheiten, die sich durch Konfiguration, Projektierung und Programmierung an den gewünschten Zweck der Anlage anpassen lassen. [Lauber99]

[Früh97] Die einzelnen Teilsysteme haben dabei die Aufgabe der Umformung, der Verarbeitung und des Transports von Materie, Energie sowie Information. [Favre-Bulle04] Im Bereich der Anlagenautomatisierung unterscheidet man zwischen der Fertigungsautomatisierung und der Automatisierung verfahrenstechnischer Prozesse. Die in dieser Arbeit betrachteten Systeme der Fertigungsautomatisierung sind Produktionsanlagen zur Herstellung von Fahrzeugen einschließlich der für die Realisierung der logistischen Funktionen (Materialtransport, Lagerhaltung, Transport und Speicherung von Halbzeugen etc.) erforderlichen Einrichtungen. Allgemein sind die Teilefertigung und die Montage als die operativen Funktionen der Produktion anzusehen, die durch Logistik- und Informationsautomatisierung unterstützt werden. [Favre-Bulle04] Übertragen auf die Automobilproduktion wären also die Teilefertigung - in den Gewerken Presswerk, Karosseriebau und Lackiererei - sowie die Fahrzeugendmontage als operative Funktionen anzusehen. Der Karosseriebau gilt als eine der Kernkompetenzen der deutschen Automobilhersteller. In diesem Bereich findet man typischerweise Automatisierungsgrade von über 90 Prozent und eine Eigenleistungstiefe von 80 bis 100 Prozent. [Kiefer07] Aber auch die Fahrzeugendmontage mit der sich dort niederschlagenden hohen Variantenzahl kann auf Grund der notwendigen Informationsautomatisierung zur Komplexitätsbeherrschung als Kernkompetenz der Fahrzeughersteller gesehen werden.

An den geplanten Modellpaletten der Automobilhersteller für die nächsten 10 bis 20 Jahre wird deutlich, dass sich die hohen Anforderungen an die Produktion zukünftig noch weiter verschärfen. Dabei zwingt der wachsende Wettbewerbs- und Kostendruck zu immer mehr Kosten einsparenden Weiterentwicklungen von Teilefertigung und Montageprozessen bei stetiger Sicherstellung der Qualitätsanforderungen. Die ständig zunehmende Anzahl der Integration von Modellen, Derivaten und Ausstattungsvarianten in bestehende Produktionsprozesse verlangt indes eine weitere Modularisierung und Vernetzung von Produktionsanlagen. Diesen Trends tragen bereits heute verfügbare Baukastensysteme für Anlagen Rechnung. Zukünftig ist mit einer Ausweitung dieser Ansätze zu rechnen, die durch neue Kommunikationslösungen zur Vernetzung der einzelnen Module noch verstärkt wird. Dabei verliert die technologische Umsetzung einzelner Komponenten für den Anlagenbetreiber langfristig an Bedeutung. Wichtiger sind die garantierte Verfügbarkeit und die Qualität der Information. [ZVEI06]

## 2.2.2 Technologische Komplexität und Komplexitätsbeherrschung

Bis Mitte der 1970er Jahre war durch die Verdrahtung der Bauelemente<sup>4</sup> mit der Stromlaufplanerstellung bereits die Lösung der Automatisierungsaufgabe erreicht. Das änderte sich mit der flächendeckenden Einführung von Speicherprogrammierbaren Steuerungen, die eine Trennung von Stromlaufplan (Hardware) und Steuerungslogik (Software) verursachte. [Schütten03] Heute sind Automatisierungssysteme komplexe mechatronische Gebilde mit dezentraler Steuerungsintelligenz und einer unüberschaubaren Zahl von Signalen. Abbildung 2-1 zeigt den typischen Aufbau eines industriellen Automatisierungssystems.



**Abbildung 2-1: Typischer Aufbau eines industriellen Automatisierungssystems [Favre-Bulle04]**

Sensoren erfassen die Zustandsgrößen des Fertigungsprozesses und leiten diese über ein Kommunikationssystem an einen Automatisierungsrechner weiter. Dieser verarbeitet die Signale der Sensorik und erzeugt auf Grund von Automatisierungsprogrammen Handlungsentscheidungen. In Folge derer der Fertigungsprozess mittels der Aktorik beeinflusst und verändert wird. Die Ebene der Automatisierungsrechner ist ebenfalls über ein Kommunikationssystem mit einer übergeordneten Leitebene verbunden. Der Mensch in seiner Rolle als Bediener und Instandhalter hat die Möglichkeit, mit Hilfe spezieller Schnittstellen wie Graphische User Interfaces (GUI) Informationen über den Systemzustand abzurufen und gegebenenfalls korrigierend einzugreifen. [Favre-Bulle04]

<sup>4</sup> Beispiele wären etwa Schütze, Relais und Logikbaugruppen.



Durch derartige User Interfaces muss eine ergonomische Bedienung und Wartung der Anlagen gewährleistet sein. Da weder Bediener noch Instandhalter in der Lage sind, die gesamte Komplexität einer großen Anlage zu überblicken, müssen Servicefunktionen für die Bedienung und Wartung zur Verfügung stehen. Auch der Anlagenbauer selbst hat zur Anlagenerstellung Experten für die unterschiedlichen Teilsysteme der gesamten Anlage zur Verfügung. Die Herausforderung für diese Experten besteht darin, ihre domänenübergreifende Zusammenarbeit im Sinne eines Concurrent Engineerings<sup>5</sup> zu einem Gesamtoptimum zu führen. [Brussel96] Hierfür werden die anfallenden Aufgaben zur Erstellung des komplexen Gesamtsystems entsprechend aufgeteilt. [Fritsch08] [VDI2206]

Neben Ansätzen zur Konstruktion mechatronischer Anlagen spielen Methoden und Hilfsmittel zur Verarbeitung von Daten und Informationen eine immer bedeutendere Rolle. Unter dem Stichwort *Digitale Fabrik* werden nicht nur Methoden zur Simulation des Fertigungsprozesses, zur Offline-Roboter-Programmierung oder zur virtuellen Inbetriebnahme entwickelt; auch das Management von Produkt- und Betriebsmitteldaten gewinnt in diesem Zusammenhang stetig an Bedeutung. [VDI4499] Im Bereich der Fertigungsprozessplanung realisiert die Digitale Fabrik ein paralleles und vernetztes Zusammenarbeiten zwischen Planung und Produktentwicklung. Methoden der integrierten Produkt- und Prozessgestaltung ermöglichen das Prüfen und Optimieren des Produktes auf Produktionsgerechtheit bereits während der Entwicklungsphase. Die dabei erzeugten Daten stehen im weiteren Planungsverlauf zur Planung des Fertigungsprozesses sowie zur Planung der Produktionseinrichtungen zur Verfügung. Voraussetzung dazu ist allerdings ein strukturiertes und redundanzfreies Datenmanagement, dessen Lösung heute noch immer Lücken aufweist. [Kiefer07]

Es kann angenommen werden, dass sich der Fokus der Digitalen Fabrik in Zukunft weiter ausweitet und neue Methoden zur Anlageninstandhaltung während der Betriebsphase entstehen. [VDI4499] Nicht nur die Vermeidung von Produktionsausfällen macht diese Lifecycle-Betrachtung von Produktionsanlagen in Zukunft immer wichtiger, sondern auch die stärker geforderte Flexibilisierung der Produktion bezüglich der Integration von Produktinnovationen. Der Schwerpunkt der Anlagenplanung verlagert sich dann zunehmend auf den Umbau bestehender Anlagen, womit der klassische Verantwortungsübergang von der Planung auf den Betreiber nach Abnahme der Anlage verloren geht.

---

<sup>5</sup> Concurrent Engineering: Ist eine Weiterentwicklung des Simultaneous Engineering.

### **2.2.3 Bedeutung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen**

Die Entwicklungen und Innovationen der Produktionstechnik der letzten Jahrzehnte machen deutlich, dass die heute vorhandene Flexibilität in der Serienproduktion überhaupt erst durch die Automatisierungs- und Informationstechnik möglich ist. [Favre-Bulle04] Die Automatisierung der Produktionsprozesse ist längst ein entscheidender Wettbewerbsfaktor und wird in Zukunft noch größere Bedeutung haben, um mit neuen Produkten schnell am Markt zu sein. Die Automatisierungstechnik in der Produktion ist daher von strategischer Bedeutung und bestimmt maßgeblich die unternehmerischen Entscheidungen. Beispielsweise können höhere Lohnkosten an einem Standort durch einen höheren Automatisierungsgrad ausgeglichen werden; auf der anderen Seite entsteht durch die hohen Investitionskosten der Anlagen ein gewisses Risiko bezüglich Nachfrageschwankungen. In der deutschen Fahrzeugindustrie etwa ist die Automatisierungstechnik die einzige Möglichkeit, die geforderten unternehmerischen Ziele zu erreichen. Hierfür haben die Fahrzeughersteller die Entwicklung der Automatisierungstechnik von Anfang an stark beeinflusst und sich dadurch großes Expertenwissen auf diesem Gebiet verschafft. In Anbetracht der aktuellen Trends müssen sich die Hersteller zukünftig auf eine schnellere und flexiblere Anlagenplanung insbesondere zum Umbau bestehender Anlagen einstellen.

## **2.3 Planung und Konzipierung durch den Anlagenbetreiber**

Aufgrund der hohen Bedeutung der Automatisierungstechnik für den unternehmerischen Erfolg großer OEMs verspricht die Planung der Anlagen im eigenen Haus wesentliche Vorteile. Nach einer Abgrenzung der Planungsobjekte erfolgen in diesem Abschnitt die detaillierte Aufgabenbeschreibung sowie die Diskussion zukünftiger Herausforderungen der Automatisierungstechnik-Planung.

### **2.3.1 Planungsobjekte: Anlagenmodule und –komponenten sowie übergeordnete Systeme**

Zunächst ist eine Abgrenzung und Definition der in der Planung betrachteten Objekte notwendig. Da aber die Planung der Automatisierungstechnik in der Literatur nicht eindeutig definiert ist, fehlt auch eine Definition der Gegenstände einer solchen Planung.

Eine Abgrenzung muss also zumindest für den Kontext dieser Arbeit getroffen werden. In Fachkreisen ist häufig die Rede von Modulen und Komponenten. Dabei versteht man unter einem Modul ein nicht zwingend autarkes, aber dennoch abgegrenztes Subsystem, das eine bestimmte Funktion in einer automatisierten Produktionsanlage übernimmt. [Finkbeiner07] [Baumgart05] Beispiele für ein Modul könnte etwa die Hochzeitsstation in der Fahrzeugmontage sein, bei der Karosserie und Fahrwerk gefügt werden; oder auch nur die automatisierte Verschraubung als Teil der Hochzeitsstation. Im Gewerk Karosseriebau könnte ein Modul etwa eine Laserschweißzelle oder auch die Fördertechnik innerhalb der Zelle sein. Module lassen sich demnach auf unterschiedlichen Hierarchieebenen abgrenzen - je nach Zweck der Modularisierung. Im Anlagenbau dient die Modularisierung vor allem der Komplexitätsbeherrschung, da sie durch ein systemisches Abgrenzen von Anlagenteilen deren Blackbox-Betrachtung zulässt. In Verbindung mit einer Vereinfachung der Schnittstellen zwischen den Subsystemen ist die Modularisierung auch die Basis aktueller Flexibilitäts- und Veränderungsansätze.<sup>6</sup> [Hildebrand+05] [Nyhuis+08]

Häufig kann beobachtet werden, dass sich die Modularisierung der Automatisierungstechnik an der Struktur der Steuerungstechnik orientiert. Das bedeutet nicht, dass jedes Modul zwingend über eine eigene SPS<sup>7</sup> verfügt; oft ist es auch die Zuordnung der Geräte zu einem Feldverteiler oder einem Notauskreis, die ein Modul abgrenzt. Für den Zweck der Planung kann ein Anlagenmodul als ein Subsystem der automatisierten Fertigungsanlage definiert werden, das sich an der Steuerungsstruktur orientiert und insbesondere durch eine - im Hinblick auf den Fertigungsprozess - gewichtige Automatisierungsfunktion auszeichnet. Ein Anlagenmodul ist aus Anlagenkomponenten aufgebaut. Eine solche übernimmt innerhalb des Moduls ebenfalls eine Automatisierungsfunktion, die aber weniger aggregiert bzw. in höherem Maße generisch ist als bei einem Anlagenmodul. Klassische Beispiele für Anlagenkomponenten aus dem Fahrzeugbau sind etwa Schraubsysteme, Roboter oder Schweißzangen.

Außerdem im Fokus der Planung sind übergeordnete Systeme oder ganze Produktionsanlagen, die aus verschiedenen Anlagenmodulen und -komponenten zusammengesetzt sind. Beispiele hierfür sind Transport- und Fördersysteme oder die übergeordnete IT-Infrastruktur.

---

<sup>6</sup> Etwa Ansätze aus dem Bereich der wandlungsfähigen Fabrik.

<sup>7</sup> SPS: Speicherprogrammierbare Steuerung.

### 2.3.2 Aufgaben der Automatisierungstechnik-Planung

Die Kernaufgabe der Automatisierungstechnik-Planung besteht im Entwickeln von Konzepten zur Automatisierung des Fertigungsprozesses. Im Zuge dieser Konzeptentwicklung sind die Automatisierungstechnik-Planer oft Vordenker auf ihrem Gebiet und arbeiten daher eng mit Herstellern und Forschungseinrichtungen der Automatisierungstechnik zusammen. Am Anfang der Konzeptentwicklung steht die Anforderungsanalyse mit den Stakeholdern eines Automatisierungssystems. Stakeholder sind neben dem Bedien- und Instandhaltungspersonal auch die Planer des Fertigungsprozesses, der Qualitätssicherer oder auch der Anlagenbauer bzw. Lieferant. Die Konzeptentwicklung erfolgt auf Basis der Anforderungen mit dem Ziel, die Forderungen aller Stakeholder möglichst optimal zu erfüllen.

Gemäß der Definition der Planungsobjekte können die Konzepte Anlagenmodule, Anlagenkomponenten oder auch übergeordnete Systeme betreffen. Sie beinhalten je nach Anwendungsfall beispielsweise Steuerungsstrukturen, Kommunikationslösungen, Muster für Steuerungssoftware oder Stromlaufpläne, CAD-Entwürfe, Schnittstellen oder auch konzeptbezogene Operativprozesse. Der Grad des Entwicklungsfortschritts kann für die verschiedenen Konzepte sehr unterschiedlich sein. Teilweise werden nur wenige funktionale Anforderungen definiert und die detaillierte Konstruktion dem Lieferanten überlassen, in anderen Fällen beinhalten die Konzepte weitgehende Konstruktionen und Schnittstellen. Nicht selten verursacht die Unschärfe bezüglich der Konzepte und Randbedingungen Probleme in dieser frühen Projektphase. Typisch für solch frühe Phasen der Konzeption ist nach [Riepe03] die Unbestimmtheit in einem sich wandelnden Umfeld mit unklaren Zielkriterien und teils unbekanntem Anfangsbedingungen.

Zur Sicherstellung der Kompatibilität verschiedener Konzepte, die in einer Anlage zum Einsatz kommen, stimmen sich die verschiedenen Planer im Verlauf der Konzeptentwicklung untereinander ab. Diese Abstimmungen sind ein wesentlicher Teil der Planungsaufgabe. Aufgrund der hohen technologischen Komplexität und Abhängigkeit der verschiedenen Konzepte müssen zur Abstimmung einer Wechselwirkung oft mehrere Iterationsschleifen durchlaufen werden. Das bedeutet zwar hohen Aufwand und zahlreiche Überarbeitungen der verschiedenen Ansätze, ist aber notwendig, um das Gesamtkonzept Schritt für Schritt zu konkretisieren. Ein fertig entwickeltes und abgestimmtes Konzept wird zur Ausschreibung in einem Lastenheft dokumentiert. Hinzukommen weitere, zur vollständigen Definition notwendige Unterlagen wie Musterpläne, Mustersoftware oder Gerätefreigabelisten. Da es sich bei den Konzepten in der Regel um komplexe Anlagentechnik handelt, ist eine Abstimmung auch mit potentiellen Anlagenbauern und Lieferanten bereits während der

Konzeptentwicklung üblich. Am Ende der Planung steht die Ausschreibung und schließlich die Beauftragung eines Anlagenbauers oder eines Lieferanten.

Neben der Erarbeitung der Automatisierungskonzepte ist es nicht selten auch Aufgabe der Automatisierungstechnik-Planung, die entwickelten Lösungen im Unternehmen zu standardisieren. Hierdurch können unterschiedliche Lösungen für die gleichen Probleme vermieden werden, was erheblich zur Kosteneinsparung beiträgt. Allerdings besteht bei der Wiederverwendung standardisierter Konzepte häufig das Problem, dass sich diese als nicht hinreichend kompatibel zur Anlagenumgebung des neuen Projekts erweisen. Folge ist nicht selten eine unkontrollierte Änderung und Anpassung der Konzepte, die erneut enormen Abstimmungsaufwand erfordern.

### **2.3.3 Zukünftige Herausforderungen der Automatisierungstechnik Planung**

Die Fokussierung auf den gesamten Anlagenlebenszyklus wird auch die zukünftigen Herausforderungen der Anlagen- und insbesondere der Automatisierungstechnik-Planung bestimmen. Demnach bleibt die Planung auch während der Betriebsphase für die Anlage verantwortlich, weil von stetigen Veränderungs- und Umbaumaßnahmen auszugehen ist. Außerdem ist eine weiter steigende Komplexität der Teilsysteme abzusehen, die zu einer weitgehenden Kapselung der Technologie innerhalb dieser Teilsysteme führen muss. Die Aufgabe der Planung wird demnach in Zukunft mehr der Integration von autarken Teillösungen zu einer geforderten Gesamtlösung gleichkommen. [ZVEI06] Diese Veränderung trägt der weiteren Verkürzung von Projektzyklen, der komplexer werdenden Technik und der Zunahme von Integrationsprojekten Rechnung.

Abgesehen von der verwendeten Technologie ist mit einer Komplexitätszunahme in der Automatisierungstechnik auch durch sehr abstrakte, jedoch zunehmend notwendige Datenautomatisierung zu rechnen. In der Fahrzeugendmontage beispielsweise wäre die heutige hohe Variantenvielfalt ohne eine automatisierte Bereitstellung der Daten nicht annähernd so effizient zu bewältigen. Diese Notwendigkeit zur Verarbeitung und Bereitstellung von Daten wird weiter zunehmen und muss durch entsprechende Konzepte der Automatisierungstechnik realisiert werden. [Favre-Bulle04]

### **2.4 Probleme der Konzeptbeschreibung bei der Planung der Automatisierungstechnik**

Automatisierungskonzepte beinhalten in der Regel Lösungen aus verschiedenen technischen Disziplinen. Dies bedeutet, dass Planer mit sehr unterschiedlichem technischen Know-how Konzepte entwickeln, die gemeinsam in einer Anlage zum Einsatz kommen. Diese Konzepte sind im Planungsverlauf abzustimmen, da erhebliche Abhängigkeiten der verschiedenen Teile einer Anlage vorhanden sind. Als Beispiel hierfür kann etwa die Abstimmung des stark mechanikorientierten Experten für Fördersysteme mit dem verantwortlichen Planer der Steuerungstechnik oder aber einem prozessorientierten Planer für Montagesysteme mit dem Planer der IT-Infrastruktur genannt werden.

Aufgrund des hohen Integrationsgrades komplexer Anlagen lassen sich Abhängigkeiten zwischen den Teilkonzepten nicht eliminieren oder bedeutend reduzieren, sondern nehmen in Zukunft eher noch zu. Daher muss zur disziplinübergreifenden Verknüpfung der Automatisierungslösungen eine allgemeinverständliche Beschreibung der Konzepte möglich sein. Darüber hinaus müssen Wechselwirkungen unter den Teilkonzepten mit in diese Beschreibung einfließen. Dies erhöht die Verfügbarkeit der Planungsdaten zur Abstimmung der Planer und ermöglicht eine bessere Wiederverwendung für unterschiedliche Projekte. Zu diesem Zweck ist eine Formalisierung der Konzeptbeschreibungen notwendig, die insbesondere die getroffenen Abstimmungen der verschiedenen Teilkonzepte dokumentiert und für die unterschiedlichen projektbezogenen Zusammenstellungen nutzbar macht. Ferner eröffnet sich hierdurch die Möglichkeit einer Integration der Planung in übergreifende IT-Prozesse. Eine solche Integration kann durch ein generisches Datenmodell in Verbindung mit einem informationstechnischen Planungswerkzeug erreicht werden. Neben der verbesserten Abstimmbarkeit der einzelnen Konzepte bringt der Einsatz eines Planungswerkzeugs auch die Verwaltung der Planungsergebnisse in Datenbanken bzw. Bibliotheken mit sich. Dies erhöht die Möglichkeit einmal erstellte Konzepte für Automatisierungslösungen in unterschiedlichen Projekten wiederzuverwenden.

# 3 Relevante Ansätze zur formalisierten Planung von Automatisierungslösungen

*Kapitel 3 erörtert bereits bestehende Ansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion sowie aus anderen technischen Bereichen, um einer Lösung des Beschreibungsproblems für Automatisierungskonzepte näherzukommen. Dabei erweisen sich die existierenden Methoden des Anlagenbaus zwar als nicht hinreichend für die Formalisierung einer Konzeptbeschreibung, können aber zur Strukturierung des Problemfeldes dienen. Die Untersuchung von Formalisierungsansätzen anderer technischer Bereiche bringt Anstöße für die zu entwickelnde Lösung hervor.*

## Inhaltsverzeichnis

---

<b>3.1 Planungsansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion .....</b>	<b>19</b>
3.1.1 Ansätze der Fertigungsprozessplanung.....	20
3.1.2 Ansätze der Anlagenplanung und Konstruktion .....	22
3.1.3 Ansätze der wandlungsfähigen Fabrik .....	25
<b>3.2 Formalisierungsansätze anderer Bereiche.....</b>	<b>27</b>
3.2.1 Baukästen in der Maschinenkonstruktion .....	27
3.2.2 Entwicklung und Konfiguration modularer Produkte.....	29
3.2.3 Formalisierung im Requirements-Engineering .....	32
3.2.4 Formalisierung in der objektorientierten Softwareentwicklung.....	33
<b>3.3 Zusammenfassende Bewertung.....</b>	<b>36</b>

---

Abschnitt 3.1 untersucht verschiedene Planungsansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion und geht dabei auf die Fertigungsprozessplanung durch Methoden der Digitalen Fabrik ein. Darüber hinaus erfolgt eine Auseinandersetzung mit dem Funktionalen Engineering aus dem Bereich der Anlagenkonstruktion und mit Ansätzen der wandlungsfähigen Fabrik. Anschließend weitet Abschnitt 3.2 die Analyse auf andere Bereiche der Technik aus. Hierbei interessieren in erster Linie Formalisierungsansätze wie sie bei Baukästen zur Maschinenkonstruktion oder der modularen Produktentwicklung zu finden sind. Ebenfalls von Interesse sind Methoden des Requirements-Engineerings sowie der Wiederverwendung in der objektorientierten Softwareentwicklung.

### **3.1 Planungsansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion**

Im Bereich der Automatisierungstechnik von Produktionsanlagen wird grundsätzlich zwischen den beiden Welten der Prozessautomatisierung in der Verfahrenstechnik sowie der Fertigungsautomatisierung unterschieden. Während die Fertigungstechnik diskrete Prozessgüter wie eine Fahrzeugkarosserie verarbeitet, handelt es sich bei der Verfahrenstechnik um kontinuierliche Prozessgüter wie etwa Flüssigkeiten bzw. Chargen<sup>8</sup>. Dieser Unterschied hat weitreichende Auswirkungen auf die Produktionsanlagen. Da verfahrenstechnische Anlagen oft von vornherein auf die Produktion von mehreren unterschiedlichen Produkten ausgelegt sind, und da diese Produkte meist über die gesamte Anlagenlebensdauer ohne signifikante Veränderung produziert werden, sind Umbauten an diesen Anlagen - wenn überhaupt - nur in geringem Umfang notwendig. [Maul08] Die für die überwiegende Zahl der verfahrenstechnisch hergestellten Produkte notwendigen Rezepte lassen sich mit einer überschaubaren Vielfalt an Automatisierungsfunktionen realisieren. Für diese Funktionen stehen Geräte- und Softwarekomponenten zur Verfügung, mit welchen sich die Anlagen konfigurieren lassen. [Lauber99b]

Eine deutlich größere Vielfalt herrscht im Bereich der Fertigungsautomatisierung, da Automatisierungsfunktionen dort häufig durch unternehmensspezifische Konzepte realisiert sind und die Lebenszyklen der hergestellten Produkte immer kürzer werden. Aus diesem Grund sind Lösungen für die Planung verfahrenstechnischer Anlagen für die Planung der komplexen Automatisierungskonzepte fertigungstechnischer Anlagen oft unzureichend.

---

<sup>8</sup> Die verfahrenstechnische Verarbeitung von Chargen wird als Batchprozess bezeichnet.



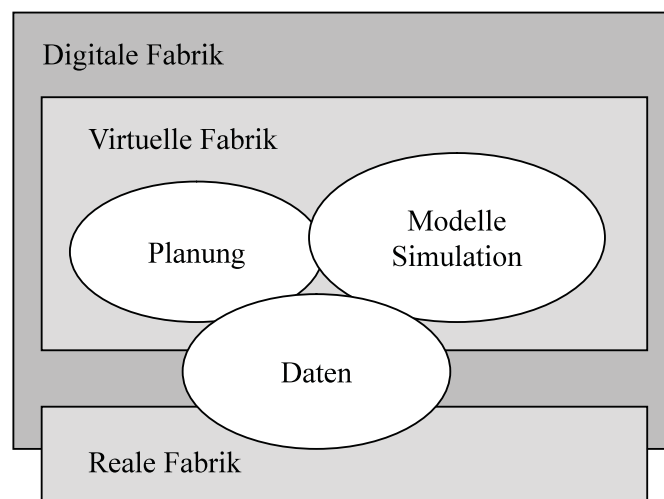
### 3.1.1 Ansätze der Fertigungsprozessplanung

Seit einigen Jahren gilt die Digitale Fabrik als eines der zentralen Investitionsthemen in der Automobilindustrie sowie in weiteren Branchen. [Hanßen+02] Dennoch besteht nach wie vor eine große Vielfalt an Definitionen des Begriffs „Digitale Fabrik“ sowie unterschiedliche Auffassungen bezüglich des Themas unter den Anwendern.<sup>9</sup>

**Gemäß der VDI Richtlinie 4499 ist die „Digitale Fabrik“ der**

*„... Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“ [VDI4499]*

Da diese Definition neben Modellen und Werkzeugen auch die Methoden beinhaltet und insbesondere ein durchgängiges Datenmanagement hervorhebt, entspricht sie dem Verständnis der Digitalen Fabrik in dieser Arbeit. Abbildung 3-1 stellt die Bedeutung der Daten bzw. des Datenmanagements als Bindeglied zwischen der Virtuellen und der Realen Fabrik innerhalb der Digitalen Fabrik dar.



**Abbildung 3-1: Die Digitale Fabrik integriert die Virtuelle und die Reale Fabrik [Kühn06]**

---

<sup>9</sup> siehe hierzu etwa [Westkämper+03], [Wiendahl+02], [Bracht+05]

Als Zielsetzung für die Einführung der Digitalen Fabrik im Bereich der Produktionsplanung der Automobilindustrie nennt [Bley+06] die Reduzierung der Planungszeiten und Planungskosten sowie die Steigerung der Planungsqualität. Besondere Nutzenpotentiale erschließen sich aber bei der Beschleunigung und Überlappung von Produktentwicklung und Fertigungsplanung im Sinne des Simultaneous Engineering. [Sauer04] Dabei besteht beispielsweise die Möglichkeit der frühzeitigen Produktbeeinflussung zur Steigerung der Produzierbarkeit sowie das Verkürzen des Produktionsanlaufs durch optimierte und abgesicherte Planungsprozesse. [Kiefer07]

Im Fokus dieser Planungsprozesse liegt für den Bereich der Fertigungsplanung sowohl die Planung des Fertigungsprozesses als auch die Planung des Fertigungssystems. Dazu werden Produkte, Fertigungsverfahren und -abläufe in einer frühen Entwicklungsphase abgesichert und die Produktionsentwicklung mit digitalen Modellen und Werkzeugen unterstützt. [VDI4499] Die Simulation von Produktionseinrichtungen und –prozessen unterstützt die Projektierung, Auslegung, Planung und Programmierung von Fertigungseinrichtungen wirkungsvoll. [Kühn06]

**Unter „Simulation“ wird in diesem Zusammenhang verstanden:**

*„... das Nachbilden eines dynamischen Prozesses in einem System mit Hilfe eines experimentierfähigen Modells, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.“ [VDI3633]*

Zur Planung des Fertigungsprozesses stellen die Methoden und Werkzeuge der Digitalen Fabrik zunächst die Produktdaten bereit. Auf deren Basis werden in der Fertigungsplanung in Kooperation mit der Produktentwicklung die Verbaureihenfolge und die damit einhergehenden einzelnen Schritte des Fertigungsprozesses festgelegt. Die Werkzeuge der Digitalen Fabrik nehmen dem Planer dabei Routinetätigkeiten zum Beispiel beim Ableiten der Fügefolgen und der notwendigen Ressourcen ab. [Sauer04] [Eißrich05] Mit Werkzeugen wie etwa *Process Engineer*<sup>10</sup> oder *Process Designer*<sup>11</sup> können Fertigungsprozesse nicht nur erarbeitet, sondern auch mit notwendigen Betriebsmitteln versehen werden. Dadurch entsteht auf komfortable Weise das komplette Fertigungssystem durch Qualifizieren des Fertigungsprozesses. Ein derart konfiguriertes Fertigungssystem existiert nach Abschluss der Planung als digitales Modell der - noch nicht existierenden - realen Fertigungseinrichtung.

---

<sup>10</sup> siehe hierzu [Klauke02]

<sup>11</sup> siehe hierzu [PD09]

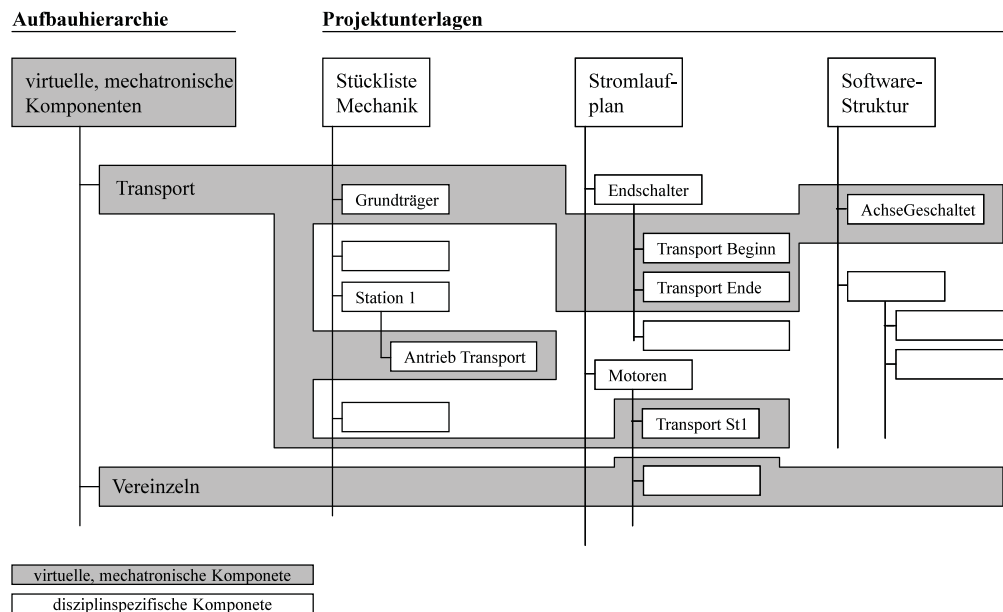
Eine detaillierte Modellierung der technischen Eigenschaften sowie der Operativprozesse dieser Betriebsmittel ist im Datenmodell der Digitalen Fabrik jedoch nicht vorgesehen. Daher kann die Konzipierung, Abstimmung und Integration der Automatisierungstechnik derzeit nicht mit Methoden der Digitalen Fabrik erfolgen. Auch deren Weiterverarbeitung im Funktionalen Engineering kann nicht durch integrierte Modelle unterstützt werden.

#### **3.1.2 Ansätze der Anlagenplanung und Konstruktion**

Der folgende Abschnitt stellt das Funktionale Engineering als Methode zur Anlagenkonstruktion für die Fertigungs- sowie die Prozessautomatisierung vor. Daran schließt die Vorstellung einiger Ansätze sowie Beschreibungsstandards zur Planung verfahrenstechnischer Anlagen an.

##### ***Funktionales Engineering***

Die Methode des Funktionalen Engineerings ermöglicht das Generieren von Konstruktionsdaten wie Stromlaufpläne, Stücklisten oder auch Steuerungscode aus projektunabhängigen, wiederverwendbaren Komponenten. Dazu werden firmenspezifische Baukastensysteme aufgebaut, die vielseitig verwend- und kombinierbare mechatronische Komponenten enthalten. Ziel dabei ist die Minimierung des Engineering-Aufwandes, die Erhöhung der Qualität und die Reduzierung der Durchlaufzeit. Die einzelnen Komponenten des Baukastensystems realisieren jeweils unterschiedliche Funktionen der zu konstruierenden Anlage, wie etwa „Vereinzeln“ oder „Transport“. Hierzu werden die entsprechenden mechanischen, elektrotechnischen sowie steuerungstechnischen Fragmente - beispielsweise Teile des Stromlaufplans oder Funktionsbausteine des SPS-Steuerungscode - in der Komponente spezifiziert.



**Abbildung 3-2: Mechatronische Komponenten im Funktionalen Engineering [Föderal04]**

Durch projektspezifisches Konfigurieren der einzelnen Komponenten entsteht die geforderte Gesamtfunktion des Fertigungssystems sowie die Verschaltung der einzelnen, komponentenbezogenen Fragmente - wie etwa des Stromlaufplans der Komponente zum Gesamtstromlaufplan der Anlage. [Föderal04] Zur praktischen Umsetzung der Methode des Funktionalen Engineerings stehen heute Werkzeuge wie das *Eplan Engineering Center*<sup>12</sup> oder der *SIMATIC Automation Designer*<sup>13</sup> zur Verfügung.

Automatisierungskonzepte fließen in Form von Lastenheften, Musterplänen und Mustersoftware in die Engineeringprozesse ein. Eine Modellierung von Automatisierungskonzepten etwa innerhalb des Datenmodells der Digitalen Fabrik könnte zur nahtlosen Weiterverarbeitung der Konzepte im Funktionalen Engineering beitragen. Allerdings können die Ansätze zur Komponentenmodellierung des Funktionalen Engineerings nicht auf die Aufgabenstellung in der Planung übertragen werden, da die Konzeptbeschreibungen der Planungsphase deutlich unschärfer und abstrakter sind als die detaillierten Konstruktionen der Engineeringphase.

<sup>12</sup> siehe hierzu [Frager09]

<sup>13</sup> siehe hierzu [Schlög107]

#### **Anlagenplanung in der Verfahrenstechnik**

Im Bereich der Verfahrenstechnik wurde eine Möglichkeit zur Anbindung von Planungsaktivitäten des Anlagenbetreibers an die Anlagenkonstruktion bzw. den Anlagenbauer und Gerätehersteller mit der Initiative PROLIST<sup>14</sup> geschaffen. Bei diesem Ansatz werden PLT<sup>15</sup>-Geräte und –Systeme anhand standardisierter Merkmale klassifiziert. Mit dem Standard NE100<sup>16</sup> stehen derartige Merkmale online zur Verfügung, wodurch beispielsweise die Bestellung von PLT-Geräten beim Lieferanten auf Basis einer Spezifikation der Geräte mit PROLIST erfolgen kann. [Prolist05] Bereits erfolgreich startete das Chemieunternehmen BASF die Nutzung des Formats PROLIST NE100 für den technischen Anfrage- und Angebotsprozess im Engineering mit dem Gerätelieferanten Endress+Hauser. [Kroll09] Neben NE100 gibt es zahlreiche weitere Datenaustauschformate, die unterschiedliche Anwendungsgebiete fokussieren. Einige Beispiele in diesem Zusammenhang sind STEP<sup>17</sup>, das teilweise in der Automobilindustrie verwendet wird, eCl@ss<sup>18</sup>, das mittels Merkmallisten in eCommerce-Applikationen Anwendung findet oder etwa DIN<sup>19</sup> Merkmalexikon, das genormte Produktmerkmale industrieübergreifend zur Verfügung stellt. [Prolist05]

Durch den Einsatz eines Beschreibungsformats wie PROLIST kann die Schnittstelle zwischen dem Engineering eines Anlagenbauers bzw. eines Gerätelieferanten und der Planung eines Anlagenbetreibers realisiert werden. [Vogel-Heuser09] Diese Schnittstelle basiert auf einer Beschreibung von Geräteklassen mit Hilfe von Merkmalen und Attributen. [Ahrens09] Eine derartige Beschreibungsform ist allerdings für die Spezifikation von Automatisierungskonzepten der Fertigungstechnik nicht ausreichend, da die komplexen Wechselwirkungen zwischen Betriebsmittel, Fertigungsprozess und Produkt nicht hinreichend abgebildet werden können.

---

<sup>14</sup> PROLIST: Das Ziel des PROLIST INTERNATIONAL e.V. ist die lückenlose Integration aller am Plant Life Cycle Management Beteiligten.

<sup>15</sup> PLT: Prozessleittechnik

<sup>16</sup> NE100: Von PROLIST festgelegte Merkmalliste zur Gerätebeschreibung.

<sup>17</sup> STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data, ISO10303.

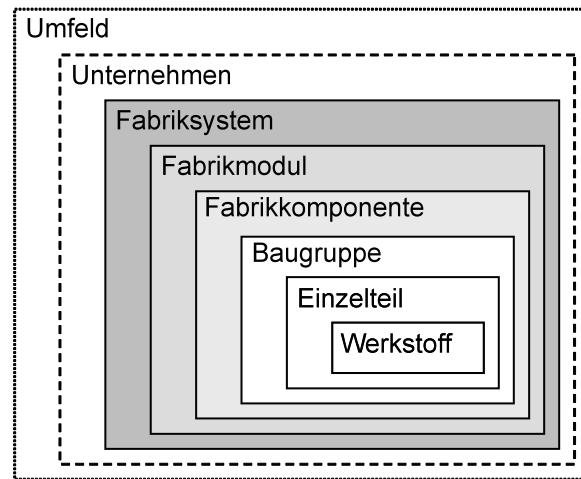
<sup>18</sup> eCl@ss: Ist ein standardisiertes Klassifikationssystem für Warengruppen und Warenmerkmale.

<sup>19</sup> DIN: Deutsches Institut für Normung

### 3.1.3 Ansätze der wandlungsfähigen Fabrik

Eine Fabrikstruktur entsteht aus der Art und Anzahl einzelner Elemente eines Fabriksystems sowie deren Beziehungen zueinander. Eine Fabrik ist wandlungsfähig, wenn sie hinsichtlich ihrer Struktur die Möglichkeit zur signifikanten Veränderung bereithält. [Hildebrand+05] Die Wandlungsfähigkeit ist daher als Potential zu verstehen, organisatorische und technische Veränderungen als Reaktion auf veränderte Umfeldfaktoren vollziehen zu können. Die mit der Veränderung entstehenden Kosten- und Zeitaufwände entstehen im Wesentlichen erst mit Durchführung der Wandlung. [Nyhuis+08b] Flexibilität hingegen liegt dann vor, wenn sich eine Fabrik bzw. ein Produktionssystem schnell und nur mit geringem finanziellen Aufwand an geänderte Einflussfaktoren anpassen kann. Diese Anpassungsfähigkeit wird bereits zum Zeitpunkt der Planung festgelegt bzw. begrenzt. Das bedeutet, dass Flexibilität über den gesamten Lebenszyklus der Anlage mit oft ungenutzter Funktionalität oder Kapazität erkaufte werden muss. [Heinen08] Da man aber bei der Wandlung eines Produktionssystems davon ausgeht, dass der die Wandlung auslösende Bedarf zum Zeitpunkt der Systemplanung noch nicht vorhersehbar war, und da man von einer signifikanten Systemveränderung spricht, ist ein Austausch und Umbau der Systemelemente wahrscheinlich. Das bedeutet, dass eine wandlungsfähige Fabrik nicht etwa besonders flexibel ist, sondern dass sie sich aufgrund ihrer begünstigenden Struktur relativ leicht umbauen - eben wandeln - lässt.

Für den Aufbau solcher Fabrikstrukturen wurde mit PLUG+PRODUCE ein neues Gestaltungsprinzip erforscht. Dieses erlaubt, modulare Fabrikstrukturen durch aufwandsarmes Integrieren, Separieren oder Substituieren modularer Fabrikbausteine zu erweitern, zu reduzieren oder qualitativ zu verändern. Um derartige Konfigurations- und Rekonfigurationsprozesse schnell und kostengünstig ermöglichen zu können, wurden sowohl die Strukturelemente als auch die Struktur selbst entsprechend gestaltet. [Hildebrand+05] In Anlehnung an die Acht-Ebenen-Hierarchie nach [Ropohl99] wurden für das PLUG+PRODUCE Konzept die relevanten Ebenen Fabrikssystem, Fabrikmodul sowie Fabrikkomponente herausgestellt. Auf diesen Ebenen können nun mit den PLUG+PRODUCE Gestaltungsobjektklassen *Fabrikmodul* und *Fabrikkomponente* die übergeordneten *Fabrikssysteme* aufgebaut werden.



**Abbildung 3-3: Relevante Ebenen innerhalb des Acht-Ebenen-Konzepts [Ropohl99]**

Fabrikmodule entsprechen hierbei in sich geschlossenen, aggregierten und planerisch optimierten betrieblichen Funktions- und Leistungseinheiten. Das heißt, sie erfüllen entweder Produktions- bzw. infrastrukturelle Servicefunktionen oder realisieren abgeschlossene Produktionsprozesse sowie –teilprozesse. Fabrikkomponenten hingegen entsprechen produktions- und gebäudetechnischen Ressourcen, die spezifische Teilfunktionen in einer Fabrik erfüllen. Fabrikkomponenten sind immer Bestandteil eines übergeordneten Ganzen, in welchem sie Teilfunktionen übernehmen.

Das Gestaltungsprinzip basiert auf durchgängiger Modularisierung, wobei insbesondere für die Austauschbarkeit der Module und Komponenten eine Standardisierung der Schnittstellen erforderlich ist. Zur Gestaltung austauschbarer produktionstechnischer Ressourcen werden im PLUG+PRODUCE Projekt Richtlinien erarbeitet, um eine möglichst optimale Balance der Gestaltungsziele Autarkie und Kompatibilität zu erreichen. [Hildebrand+05] Neben prinzipiellen Gestaltungsrichtlinien für wandlungsfähige Produktionssysteme gibt es erste Ansätze mit modularen Baukästen zur Konstruktion von Bearbeitungssystemen, die in kapazitiver, struktureller, funktionaler und technologischer Hinsicht rekonfigurierbar sind. Allerdings ist die zu bewältigende Vielfalt im Falle einer Werkzeugmaschine nicht so groß wie bei einer Fertigungsanlage. [Heisel+04]

Die Umsetzung der Modularisierung in den Ansätzen der wandlungsfähigen Fabrik ist für die Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten in der Planung von großem Interesse. Denn abgesehen davon, dass es sich in beiden Fällen um die Modularisierung von Produktionssystemen handelt, spielen Autarkie und Kompatibilität sowie Standardisierung auch bei der Spezifikation von Automatisierungskonzepten eine große

Rolle. Allerdings ist die Modellierung von Automatisierungskonzepten im Sinne der Automatisierungstechnik-Planung nicht Inhalt der Ansätze der wandlungsfähigen Fabrik. Daher sind diese Ansätze auch nicht in der Lage, den Umgang mit wiederverwendbaren Automatisierungskonzepten zu unterstützen, sondern sind vielmehr selbst Teil der Konzepte, wenn eine wandlungsfähige Fabrik geplant werden soll.

### 3.2 Formalisierungsansätze anderer Bereiche

Im Bereich der Planung und Konstruktion von Produktionsanlagen konnten teils weit entwickelte Lösungen zur Modularisierung und Beschreibung von Anlagen sowie zum Aufbau von Baukastensystemen aufgezeigt werden. Für die speziellen Anforderungen der Konzipierung von Automatisierungslösungen sowie zur formalisierten Beschreibung dieser Konzepte bieten die analysierten Ansätze allerdings keine hinreichende Lösung. Teil der weiteren Untersuchung anderer Bereiche der Technik ist neben der Baukastensystematik in der Maschinenkonstruktion die Entwicklung modularer Produkte. Außerdem bringt eine Analyse des Requirements-Engineerings und der Objektorientierung aus dem Bereich der Softwareentwicklung einzelne verwertbare Anregungen zu Tage.

#### 3.2.1 Baukästen in der Maschinenkonstruktion

Die wohl ältesten, von Menschen geschaffenen Baukästen sind die der Zahlen und Hieroglyphen, welche etwa um 3200 v. Chr. entstanden. Um 300 v. Chr. tauchten im Bauwesen die ersten Baukästen mit technischer Relevanz in Form von Ziegelsteinen auf. Erstmals um 1900 wurde der Begriff *Baukastensystem* in technischem Kontext im Zusammenhang mit einem modularen Schranksystem genannt. [Borowski61] Heute wird ein Baukasten als ein Ordnungsprinzip begriffen, das den Aufbau verschiedener Gebilde aus einer Sammlung genormter Bausteine ermöglicht. [Borowski61]

Übertragen auf die Maschinenkonstruktion ist die Baukastentechnik eine Konstruktionstechnik, bei der Funktionselemente aus einer kleinen Zahl wiederkehrender gleicher Bauteile bestehen. Diese sind bei gleichen Verbindungen und Anschlussstellen auswechselbar und ermöglichen eine große Variabilität der erzielbaren Gesamtfunktion. [Roth00] Durch die Kombination unterschiedlicher Bauteile und Baugruppen lassen sich unterschiedliche Gesamtfunktionen der Produkte erzielen. [Ehrlenspiel03] Dabei erfüllt



jedes Bauteil oder jede Baugruppe eine Teilfunktion, die aber je nach Realisierung unterschiedlich gelöst sein kann. [Pahl+07] Eine bekannte Methode zur Kombination verschiedener Teillösungen für die Entwicklung einer Prinziplösung ist der *Morphologische Kasten*. Bei diesem können zur Realisierung einer geforderten Funktion unterschiedliche Lösungsvarianten kombiniert werden. [Ehrlenspiel95] Ein Baukastensystem setzt sich in der Regel aus einer großen Anzahl von Gleich- bzw. Wiederholteilen zusammen. Die Literatur bezeichnet ein Gleichteil als ein mehrmals in einem Produkt vorkommendes Teil, während ein Wiederholteil in unterschiedlichen Produkten vorkommt. [Ehrlenspiel03] Wiederholteile werden oft unternehmensintern standardisiert und finden so Anwendung in unterschiedlichen Produkten eines Unternehmens. Dadurch lassen sich erhebliche Einsparungen erzielen. Beispielsweise ließen sich durch eine Gleichteilstrategie der Fahrzeugmodelle *Fiat Punto* und *Opel Corsa* Einsparungen von bis zu 20 Prozent realisieren. [Renner07]

Baukastensystematiken können mit unterschiedlicher Zielsetzung gestaltet werden. Eine Zielsetzung kann etwa die Realisierung der Bausteine als Wiederhol-, Norm- bzw. Gleichteile beinhalten. Denn um den zur Entwicklung des Baukastens notwendigen Arbeitsaufwand amortisieren zu können, muss eine möglichst häufige Nutzung bzw. Wiederverwendung der Bausteine angestrebt werden. [Firchau02] [Baumgart05] Zum Entwickeln von Baukästen muss eine geeignete Systematik zu Grunde gelegt werden. Eine besondere Bedeutung kommt dem Aufstellen einer Funktionsstruktur zu, da durch diese die Baukastenstruktur bereits weitgehend festgelegt wird. Dabei können Funktionen unterschiedlich klassifiziert werden, um möglichst wenig gleiche Teilfunktionen zu erhalten. Am Beispiel eines Gleitlager-Baukastens [Keusch72] zeigen [Pahl+07] eine Funktionsstruktur mit den Bausteinen *Loslager*, *Festlager* und *Festlager mit hydrostatischer Entlastung* sowie den dazu erforderlichen Grund-, Sonder-, Hilfs- und Anpassfunktionen. Die Teilfunktionen sind mit Wirkprinzipien hinterlegt, die die Funktionen auf unterschiedliche Weise realisieren. Beispielhaft für derartige Wirkprinzipien des Gleitlagerbaukastens kann genannt werden, durch welche technische Lösung die Axialkraftaufnahme eines Lagers erfolgt oder auf welche Art und Weise die Schmierung realisiert ist. Die unterschiedlichen Lösungsvarianten werden vom Konstrukteur nach technischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten ausgewählt und kombiniert. Der zusammengesetzte Gesamtentwurf wird dann für die Fertigung ausgearbeitet, wobei fertigungsrelevante Gestaltungsmerkmale bereits eingeflossen und möglichst viele Gleichteile vorgesehen sein sollten. [Pahl+07] Allgemein verwendbare Baukästen und Bausteinkataloge stehen für die Maschinenkonstruktion etwa von Roth [Roth01] oder für die Anlagenprojektierung beispielsweise bei CompoNET [CompoNET09] zur Verfügung.

Auf vergleichbare Art und Weise werden auch in der Elektrotechnik Geräte mit einer geforderten Funktionalität durch die Kombination von Teilfunktionen erstellt. Hierzu existieren unterschiedliche Bauelemente wie Widerstände oder Transistoren, die mit Hilfe von Grundschaltungen bestimmte Funktionalitäten realisieren. [Goerth99] Zur praktischen Verwendung werden derartige Grundschaltungen in Integrierten Schaltungen (IC) auf Basis eines Halbleitersubstrats in Großserie hergestellt. Zur Produktion elektronischer Geräte können die geforderten Schaltungen aus ICs sowie zusätzlich notwendiger Bauelemente aufgebaut werden. [Tille+05]

Unabhängig von der technischen Disziplin kann der Systementwurf auf Basis von kanonischen Funktionen [Huang02] auch in der Entwicklung mechatronischer Geräte verfolgt werden. Typische Teilfunktionen mechatronischer Systeme können beispielsweise *Antreiben, Steuern und Regeln, Messen, Übertragen* etc. sein. In Baukästen können für diese Teilfunktionen verschiedene Realisierungen bereitgehalten werden. Dadurch können bei mehrmaliger Verwendung in unterschiedlichen Produkten hohe Entwicklungskosten amortisiert werden. [VDI2206]

Obwohl derartige Baukastenansätze durch Funktionsstrukturen und entsprechende Wirkprinzipien einen hohen Systematisierungsgrad aufweisen, sind sie in der bekannten Form nicht zur Formalisierung von Automatisierungskonzepten geeignet. Der entscheidende Punkt in diesem Zusammenhang ist die Zielsetzung der Baukästen, die rationalisierte Konstruktion von Maschinen zu unterstützen. [Pahl+07] Eine solche Konstruktion ist nicht das Ziel der Anlagenplanung, welche vielmehr Konzepte zum Zweck der Ausschreibung und als Grundlage der anschließenden Konstruktion durch einen Anlagenbauer erstellt. Ausgangspunkt solcher Konzepte sind zwar auch Funktionen, die durch die Anlagen zu erfüllen sind, allerdings ist die Realisierung dieser Funktionen oft nicht im Detail definiert, da die entsprechenden Wirkprinzipien vom Lieferanten abhängen und von der Planung nicht beeinflusst werden können. Eine genauere Beschreibung der Funktionen ist aber dennoch notwendig und erfolgt daher in Form von Anforderungen, Schnittstellen oder anderen konzeptionellen Modellierungsformen.

### 3.2.2 Entwicklung und Konfiguration modularer Produkte

Zur Optimierung der Prozesse in Entwicklung, Beschaffung, Fertigung und Montage sowie Service teilt [Lashin00] Produkte in Module ein. Üblicherweise handelt es sich bei Modulen um komplexere Baugruppen – evtl. ergänzt durch weitere Einzelteile –, die sich

durch klare Schnittstellen voneinander abgrenzen. Module haben im Gegensatz zu universell einsetzbaren Bausteinen bereits eine höherwertige Funktionalität, bezogen auf die geforderte Funktionalität des Endprodukts. [Wildemann05] Sie sind bereits Teil eines zuvor entwickelten Produkts. Daher wird beim Zusammenstellen der Module auch nicht mehr von Konstruktion, sondern von Konfiguration gesprochen. Module können beispielsweise dazu beitragen, die Fertigung komplexer Produkte zu vereinfachen. Dabei wird die Produktion einzelner Module häufig an Systemlieferanten ausgelagert, die dann für die Herstellung und rechtzeitige Bereitstellung der Module verantwortlich sind. Am Beispiel der Fahrzeugfertigung sind typische Module etwa das Cockpit oder auch Achsen. [Ehrlenspiel+07] Folgende Arten der Modularisierung lassen sich nach [Piller+99] unterscheiden:

- **Generische Modularisierung:** Zusammensetzung eines Produkts auf einer fixen Plattform durch die stets gleiche Zahl standardisierter Bauteile, die jeweils unterschiedliche Leistungsmerkmale aufweisen können.
- **Quantitative Modularisierung:** Zusammensetzung eines Produkts mit unterschiedlich vielen generischen Komponenten auf einem Basismodul.
- **Individuelle Modularisierung:** Zusammensetzung von Produkten aus Modulen in fixer oder variabler Zahl auf Grundlage eines Basisprodukts. Die verwendeten Module können teilweise kundenindividuell entwickelt sein oder aus einem Standardsatz stammen.
- **Freie Modularisierung:** Freie Kombination individueller und standardisierter Module ohne Notwendigkeit eines einheitlichen Basisprodukts.

Als Potentiale der Modularisierung nennt [Lindemann05]:

- Erhöhung der Produktqualität, weil ein spezialisierter Modul- oder Systemlieferant für die Qualität des gesamten Moduls verantwortlich ist
- Verbesserte Wirtschaftlichkeit durch Vereinfachung der Montageoperationen
- Erhöhte Funktionalität durch Integration von Einzelteilen und –funktionen
- Reduzierung des Entwicklungs- und Koordinationsaufwandes durch Verlagerung der Systemverantwortung zum Modul- bzw. Systemlieferanten, welche zu einer Produktivitätssteigerung führt

Diese Aufzählung macht deutlich, dass die Zielsetzung der Modularisierung nicht etwa in der Schaffung von mehr Produktvarianz oder in der Wiederverwendung von Komponenten besteht, sondern die Optimierung von Fertigungs- und Montageprozessen adressiert. Gemäß der einschlägigen Literatur orientiert sich die Modularisierung also vielmehr an den Randbedingungen der Produktion, wohingegen ein Baukastensystem stärker am Produkt und dessen Struktur ausgerichtet ist. [Renner07] Im Zusammenhang mit Plattformstrategien<sup>20</sup> dient die Modularisierung der Produkte allerdings auch zur kostengünstigen Erzeugung von Varianz. Außerdem spricht man dann auch über die Erzeugung von Skalen- und Lernkurveneffekten durch den Einsatz von Modulen in unterschiedlichen Produkten. [Schmieder+05] Hierzu nennt [Ehrlenspiel+07] ein modulares Lager- und Fördersystem als Beispiel für ein kundenorientiert konfigurierbares Produkt. Da solche Systeme in der Regel Unikate sind und bezüglich Größe und Komplexität je nach Kundenanforderungen erheblich variieren können, ist die Unterteilung der Anlage in eine überschaubare Anzahl wiederverwendbarer Module sinnvoll. Als Funktionen einer solchen Anlage werden *Fördern*, *Stauen*, *Puffern*, *Lagern*, *Verteilen*, *Zuführen*, *Kommissionieren*, *Bereitstellen*, *Handhaben* oder auch *Positionieren* genannt. Zur Realisierung der Funktionen werden als wesentliche Bausteine *Gestelle*, *Führungen* und *Antriebe* verwendet. Aus diesen Bausteinen wird dann die kundenindividuelle Anlage mit der geforderten Form und Größe zusammengestellt, wobei sich der Konstruktionsaufwand aufgrund der Wiederverwendung bereits existierender Module stark reduzieren lässt.

Die Literatur zeigt, dass die Modularisierung für unterschiedliche Probleme ein geeignetes Rahmenkonzept bietet. Allerdings sind die adressierten Problemstellungen wie Varianz, Produzierbarkeit, Auslagerung von Wertschöpfung oder auch Effizienz durch die Modularisierung eher strategisch gelöst. Eine detaillierte Methodik zur Entwicklung und Konstruktion von Modulen ist durch den Ansatz der Modularisierung nur begrenzt gegeben. Konzepte für die Automatisierung von Fertigungsanlagen können zwar in Modulen zusammengefasst werden; über die Art und Weise, wie diese in einer frühen Entwicklungsphase definiert werden müssen, sagt die Modularisierung jedoch nichts aus. Daher bietet sie auch keine Lösung zur Formalisierung dieser Konzepte.

---

<sup>20</sup> siehe hierzu etwa [Stang+03], [Kersten99]

### 3.2.3 Formalisierung im Requirements-Engineering

Die Planung automatisierungstechnischer Anlagen basiert auf der Beschreibung von Konzepten mit Hilfe von Anforderungen. Da insbesondere in der Softwareentwicklung der Umgang mit Anforderungen in den letzten Jahren intensiv erforscht wurde, lohnt eine Untersuchung im Hinblick auf die Verwendung der Ansätze in der Anlagenplanung.

Bei Systemen hoher Komplexität wie beispielsweise in der Softwareentwicklung, aber auch in der Luft- und Raumfahrtindustrie, können Anforderungskataloge schnell eine unüberschaubare Größe annehmen. Unter Begriffen wie *Requirements-Management* oder *Requirements-Engineering* wurde daher eine Vielzahl von Methoden und Ansätze für die unterschiedlichsten Anwendungsgebiete entwickelt, die den Aufbau und die Verwendung derartiger Systemspezifikationen beschreiben. [Hood05] Ein Teil dieser Ansätze beschäftigt sich auch mit der Wiederverwendung von Anforderungen in unterschiedlichen Projekten mit dem Ziel, den einmal geleisteten Aufwand mehrmals verwerten zu können. [Rupp02] Dabei steht die Erkenntnis im Mittelpunkt, dass auch bei sehr verschiedenen Systemen immer ein Großteil der Anforderungen identisch ist. Das trifft zum Beispiel auf Anforderungen bezüglich der verschiedenen Stakeholder oder der Systemumgebung zu. Aber auch einzelne Bereiche oder Funktionen innerhalb des Systems können mit anderen Systemen identisch sein, obwohl sich die Gesamtfunktionen der beiden Systeme völlig unterscheiden. Da ein System - egal ob Software oder etwa ein Flugzeug – in der Regel nicht komplett neu entwickelt wird, sondern immer bereits fertig entwickelte und erprobte Teillösungen integriert, bietet sich auch die entsprechende Wiederverwendung der Systemspezifikation an. Um diese Tatsache besser auszunutzen, definiert das Requirements-Engineering Formalisierungs-Muster, die für die Realisierung unterschiedlicher Lösungen herangezogen werden können.

[Robertson+08] nennt als Beispiel den Prozess für die Leihfristverlängerung eines Bibliotheksverwaltungssystems. Zur Verlängerung der Leihfrist stellt der Benutzer unter Angabe bestimmter Daten eine entsprechende Anfrage an das System, woraufhin dieses die Anfrage prüft und je nachdem eine positive oder negative Rückmeldung gibt. Das Muster dieses Geschäftsprozesses ist völlig identisch mit dem eines Anbieters für Satellitenfernsehen zur Vertragsverlängerung mit einem Kunden. Natürlich müssen sich die Lastenhefte für das Bibliothekssystem und das System des Fernsehanbieters unterscheiden. Das Muster zeigt allerdings, dass ein Teil der implementierten Prozesse identisch ist und sich daher auch bei der Spezifikation ein wiederverwendbarer und ein individueller Teil unterscheiden lassen. Der Mehraufwand für eine solche Unterscheidung

und die Umsetzung einer entsprechenden Wiederverwendung im Tagesgeschäft lohnt allerdings nur, wenn derartige Strukturen häufig spezifiziert werden. [Robertson+08]

Die diskutierten Ansätze des Requirements-Engineering bieten Unterstützung bei der Wiederverwendung von Spezifikationsteilen und deren Integration in die Gesamtsystemspezifikation. Der Unterschied zu einer Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten besteht aber darin, dass die erwähnten Teilspezifikationen per se wiederverwendbar sind. Daher ist eine Formalisierung der Teilspezifikationen nicht in dem Ausmaß notwendig wie sie für eine Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten erforderlich wäre. Das Requirements-Engineering bietet demnach hierfür auch keine Lösung.

### 3.2.4 Formalisierung in der objektorientierten Softwareentwicklung

Bei der Entwicklung von Softwareprojekten lassen sich viele mit der Anlagenprojektierung vergleichbare Herausforderungen feststellen. Allerdings wurden für das Software-Engineering in den vergangenen Jahren unzählige Ansätze entwickelt, was zu einer hohen Methodendichte und Formalisierung des Vorgehens geführt hat. Neben Methoden wie dem V-Modell [Dröschel+00], welches vor allem auf qualitativ hochwertige Software abzielt, greift die Objektorientierung auch den Gedanken der Wiederverwendung mit Hilfe einer Formalisierung auf. Die Erstellung von Softwaresystemen in der objektorientierten Softwareentwicklung erfolgt durch Verknüpfung verschiedenster Objekte. Diese haben neben ihrer Identität einen bestimmten Zustand und ein bestimmtes Verhalten. Ein Objekt kann Informationen speichern, welche aus seinen verarbeiteten Operationen hervorgehen. Von diesen kann abhängen, wie sich das Objekt zukünftig verhält, bzw. wie sich sein Zustand verändert. [Horstmann06] Im Laufe der Verarbeitung nimmt ein Objekt verschiedene Zustände an, die die Werte seiner Attribute und seine Verbindungen zu anderen Objekten bestimmen. Objekte sind hierbei Instanzen von Klassen, die während der Systemausführung erzeugt, verarbeitet und gelöscht werden. Klassen sind Abstraktionen, die die allgemeine Struktur und das Verhalten eines Satzes verwandter Objekte spezifizieren. [Bruegge+04] Horstmann teilt die objektorientierte Softwareentwicklung in die drei Phasen Analyse, Design und Implementierung ein:

- Ziel der **Analysephase** ist es, einen detaillierten Überblick über den Funktionsumfang der zu entwickelnden Software zu erarbeiten. Dieser wird spezifiziert und ist die Grundlage für die anschließende Designphase.

- Ziel des objektorientierten **Designs** ist eine Strukturierung des gesamten Funktionsumfangs in eine Anordnung verknüpfter Klassen, welche durch ihre Bestimmungen sowie ihre Beziehungen untereinander dargestellt sind. Typischerweise bringt die Designphase eine textuelle Beschreibung der Klassenarchitektur sowie verschiedene Diagramme mit Verknüpfungen, Anwendungsfällen oder Zuständen hervor.
- Erst in der **Implementierungsphase** wird das System in eine spezielle Programmiersprache überführt. Ziel der Implementierung sind die Programmierung, der Test und der Einsatz des Software-Produkts. [Horstmann06]

Erfahrene Software Entwickler vermeiden es, jedes Problem von Grund auf neu anzugehen. Stattdessen wird versucht, stets Lösungen wiederzuverwenden, die zuvor erfolgreich eingesetzt wurden. Daraus folgt, dass sich in vielen objektorientierten Systemen wiederkehrende Muster von Klassen und kommunizierenden Objekten finden lassen. Diese Muster lösen spezifische Entwurfsprobleme und machen objektorientierte Entwürfe erst wiederverwendbar. Entwickler, die auf diese Muster zurückgreifen, verwenden erfolgreiche Entwürfe wieder. [Gamma+04] Der Ansatz zur Verwendung von Mustern, stellt eine Formalisierung der Software Entwicklung dar und geht ursprünglich auf die Architektur im Bauwesen zurück. Christopher Alexander [Alexander+77] setzte Muster ein, um typische Lösungen für häufig wiederkehrende Probleme in der Gebäudearchitektur zu beschreiben. Bekannt in diesem Zusammenhang ist das Muster „Window Place“, das die Platzierung eines Arbeitsplatzes in einem Fenstererker beschreibt. [Horn02]

Muster in der Softwareentwicklung identifizieren und spezifizieren Abstraktionen auf einer Ebene oberhalb einzelner Klassen und Objekte und oberhalb ganzer Komponenten. [Gamma+93] Bei dieser Abstraktion entstehen Muster aus konkreten Problem-Lösungs-Paaren durch Herausfiltern der Gemeinsamkeiten. Muster unterliegen einem dreiteiligen Schema, das eine Beziehung zwischen einem Kontext, einem speziellen Problem, das in dem Kontext auftritt, und einer Lösung dieses Problems herstellt:

- Der **Kontext** erweitert ein gegebenes Problem-Lösungs-Paar um eine Beschreibung der Situation, in der das Problem auftritt. Dieser Kontext kann sehr allgemein gehalten sein, etwa die „Entwicklung eines interaktiven Softwaresystems“ oder er kann sehr speziell sein, zum Beispiel die „Implementierung eines Mechanismus zur Weiterleitung von Änderungen für die Komponenten des Model-View-Controller-Musters“. Bedeutend bei der Spezifikation des Kontextes ist die Erkenntnis, dass das betrachtete Muster im

vorliegenden Kontext auch tatsächlich eine Lösung für das gegebene Problem darstellt.

- Das **Problem** wird in Anlehnung an [Alexander+77] durch eine Menge von Kräften („forces“), die auf den Kontext einwirken, beschrieben. Diese Kräfte können beispielsweise Anforderungen, Randbedingungen oder auch wünschenswerte Eigenschaften sein. Dadurch wird das Problem von verschiedenen Standpunkten aus beleuchtet, womit ein tiefes Verständnis bezüglich des Problems erlangt werden kann. Die Kräfte stellen den Schlüssel zur Lösung des Problems dar. Denn je besser die Kräfte ausgeglichen werden, desto mehr wird eine Lösung dem Problem und dem gegebenen Kontext gerecht.
- Die **Lösung** zeigt demnach, wie die mit dem Problem zusammenhängenden Kräfte ausgeglichen werden. Zwei Aspekte spielen bei der Definition einer Lösung eine Rolle: Zum einen muss die Lösung eine bestimmte Struktur, d.h. eine räumliche Konfiguration von Elementen enthalten, die Teil der Softwarearchitektur werden. Zum anderen muss ein bestimmtes Verhalten der Elemente zur Laufzeit definiert sein, das die Operationen zur Aufgabenabarbeitung ergibt.

Durch Beschreibung des Musterschemas lässt sich der Anspruch eines Musters erkennen, ein Lösungsprinzip und keinen vollständigen Entwurf darzustellen. Diese Lösung soll in vielen Implementierungen wieder verwendbar sein, und zwar so, dass ihr Prinzip immer dasselbe bleibt. [Buschmann+98] Abbildung 3-4 stellt die Teile zur Beschreibung eines Musters dar.

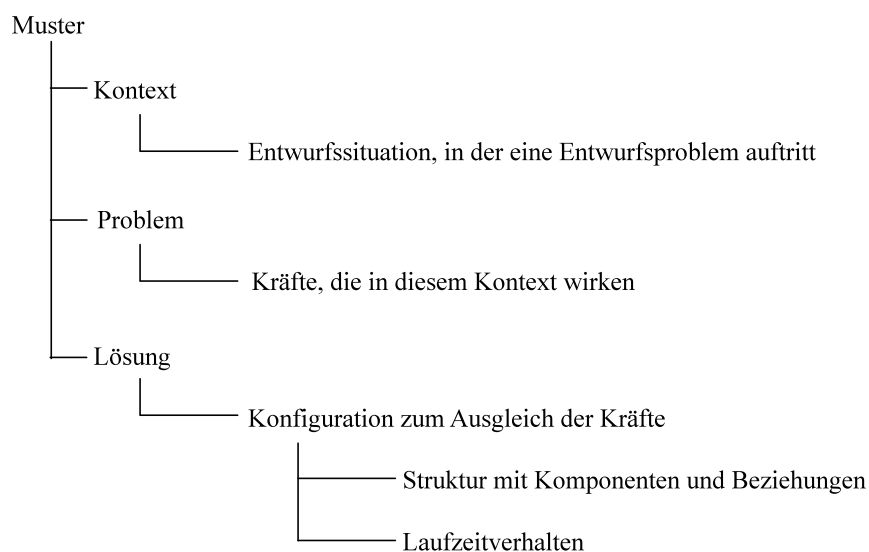


Abbildung 3-4: Schema zur Musterbeschreibung [Buschmann+98]



Zur Verwendung eines Entwurfsmusters für die Lösung eines gegebenen Entwicklungsprojekts ist zunächst das zu einem Problem passende Muster aus einem Musterkatalog auszuwählen. Anschließend muss sich der Entwickler mit den spezifizierten Klassen, Objekten und Beziehungen vertraut machen. Hierzu stehen häufig Beispiele zur Verfügung, die mehr Konkretheit bieten als die abstrakte Musterspezifikation. Zur Lösung des Entwicklungsproblems mit Hilfe des Musters sind nun Namen für die beteiligten Objekte, Klassen sowie Operationen zu vergeben. Anschließend werden die einzelnen Operationen und Schnittstellen definiert und implementiert. Bei komplexen Projekten sind die Elemente innerhalb des Musters vielfältig, lassen sich aber je nach Zielsetzung - zum Beispiel für die Wiederverwendung des Codes - optimieren. Sinnvoll und wichtig ist es allerdings, die Gestaltung sowie die Namensgebung der Elemente so zu wählen, dass das verwendete Muster wieder zu erkennen ist. [Gamma+93]

Bei der Gestaltung und Realisierung von Produktionsanlagen sind gewiss vielerlei Muster identifizierbar, die die Planer aufgrund ihrer langjährigen Erfahrung oft unbewusst in die Anlagen implementieren. Dies gilt etwa für das Anlagenlayout, für die Lösung bestimmter mechanischer oder elektrotechnischer Fragestellungen oder auch für die zu Grunde liegenden Prozesse. Im Teilbereich der Anlagensoftware geht man bis dato den Weg über Musterbausteine und Verschaltungsregeln, wobei die Verwendung von Entwurfsmustern in Zukunft eine bedeutende Rolle spielen könnte. [Witsch+08] Bezogen auf das Beschreibungsproblem der Automatisierungskonzepte können Muster aber lediglich einen äußeren Rahmen der geforderten Formalisierung bieten, da sie die konkrete Ausgestaltung der Elemente offen lassen.

### **3.3 Zusammenfassende Bewertung**

Die Untersuchung zum Stand der Technik bringt vielfältige Ansätze zur Formalisierung von Teillösungen aus der Maschinen- und Softwareentwicklung, aber auch für die Planung und Konstruktion von Anlagen hervor. Allerdings zeigt sich, dass keiner dieser Ansätze in der Lage ist, die speziellen Anforderungen einer allgemeinen Beschreibung von Automatisierungskonzepten zu erfüllen. Denn besonders die Disziplinenverschiedenheit und der unterschiedlich fortgeschrittene Entwicklungsgrad dieser Konzepte machen eine generische und projektneutrale Beschreibung deutlich schwieriger, als etwa die Definition der Bausteine in den bekannten Baukästen. Hinzu kommen große Abhängigkeiten der verschiedenen Konzepte, die aufgrund einer fehlenden Ordnung nicht durch eindeutige Schnittstellen oder Kopplungen, wie etwa bei

Baukästen oder objektorientierter Software, dargestellt werden können. Muster bieten zwar eine Möglichkeit, die geforderte Formalisierung zu erhöhen, sie müssen jedoch mit einer technologieneutralen Modellierung der Planungsdaten einhergehen. Auch die Komponentenbaukästen des Funktionalen Engineerings bieten hierzu keine Lösung, da sie die Komponenten mit einer für die Planung ungeeigneten Detailtiefe beschreiben. Zur projektneutralen Modellierung technologieübergreifender Automatisierungskonzepte muss daher eine abstrahierte Ordnung innerhalb der Planungsdaten geschaffen werden. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, in Verbindung mit den einzelnen Konzepten auch deren Wechselwirkungen zu modellieren, wodurch eine formalisierte Beschreibung des Anlagensystems erreicht werden kann.

## 4 Informationsmodell zur formalen Beschreibung der Automatisierungstechnik

*Die Erläuterung der Aufgaben und Herausforderungen bei der Planung automatisierter Fertigungsanlagen brachte Probleme im Umgang mit komplexen Konzepten für Automatisierungslösungen hervor. Diese Probleme verursachen durch mangelhafte Abstimmung sowie durch fehlende Projektneutralität der Automatisierungskonzepte Mehraufwand bei der Planung. Der Grund hierfür ist in einer fehlenden Formalisierung der Konzeptbeschreibung für Automatisierungslösungen zu suchen. Als Lösung stellt das folgende Kapitel ein Informationsmodell vor, das zur formalen Beschreibung von Automatisierungskonzepten für Fertigungsanlagen dient. Dadurch können Planungsdaten zur Verarbeitung in der Planung verfügbar gemacht und zur Wiederverwendung in Folgeprojekten bereitgestellt werden. Das entwickelte Informationsmodell stützt sich auf eine Strukturierung der Planungsdaten mit Hilfe von Planungskomponenten und Anlagenmustern.*

### Inhaltsverzeichnis

---

<b>4.1 Anforderungen an das Informationsmodell .....</b>	<b>39</b>
<b>4.2 Wissenschaftliche Basis.....</b>	<b>40</b>
4.2.1 Systemtheorie und Modellbildung .....	40
4.2.2 Fabrikssysteme als Betrachtungsgrundlage .....	49
4.2.3 Automatisierungstechnik in Fabrikssystemen .....	52
<b>4.3 Informationsstrukturierung und -modellierung .....</b>	<b>56</b>
4.3.1 Systemmodellierung mit Planungskomponenten .....	56
4.3.2 Modellierung der Systemumgebung mit Anlagenmustern.....	67
4.3.3 Ableitung des Informationsmodells .....	72
<b>4.4 Nutzen des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung .....</b>	<b>78</b>

---

Zur Lösung des Formalisierungsproblems untersucht Kapitel 3 verschiedene Ansätze aus dem Bereich der industriellen Produktion sowie aus anderen Bereichen der Technik. Zwar ist keiner dieser Ansätze in der Lage, die Formalisierung der Konzeptbeschreibung für Automatisierungslösungen zu erhöhen; dennoch können Anregungen zur Entwicklung eines neuen Ansatzes in Kapitel 4 abgeleitet werden. Abschnitt 4.1 stellt die Anforderungen an diesen neuen Ansatz dar. Daraufhin erfolgt in Abschnitt 4.2 eine Einführung in die Systemtheorie, die als wissenschaftliche Basis für die Strukturierung der Planungsdaten dient. Aufbauend auf dem in den Abschnitten 4.2.2 und 4.2.3 beschriebenen Fabrikssystem strukturiert Abschnitt 4.3 die zur Konzipierung von Automatisierungslösungen notwendigen Informationen und leitet ein generisches Informationsmodell ab.

### **4.1 Anforderungen an das Informationsmodell**

Das zu entwickelnde Informationsmodell dient der Planung und Ausschreibung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen durch den Anlagenbetreiber. Es ist in der Lage, die Bedeutung der Planung als eigenständigen Schritt im Projektierungsprozess zu stärken. Auch wenn eine solche Akzentuierung der Planung nicht das Primärziel des Ansatzes ist, wird dennoch für eine bessere Ordnung und Aufgabenverteilung bei der Anlagenerstellung gesorgt. Die folgende Auflistung nennt Anforderungen an das Informationsmodell, an die zu verarbeitenden Inhalte sowie an die Verwendung zur Planung der Automatisierungstechnik. Sie stellt das Ergebnis einer umfangreichen Analyse bei einem Projektpartner aus der Automobilindustrie dar.

#### **Anforderungen an das Informationsmodell**

1. Das Informationsmodell dient der Planung und Ausschreibung der Automatisierungstechnik durch den Anlagenbetreiber.
2. Vielfältige Automatisierungskonzepte (aus unterschiedlichen technologischen Disziplinen) müssen modelliert werden können.
3. Der Ansatz unterstützt die Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten.
4. Der Ansatz begünstigt die Modularisierung von Anlagen.

#### **Anforderungen an die zu verarbeitenden Inhalte**

5. Technische Eigenschaften von Automatisierungskonzepten werden modelliert.
6. Zu den technischen Eigenschaften zählen die Struktur und das Verhalten der Technik.
7. Automatisierungstechnikkonzepte müssen projektunabhängig modelliert werden können.

8. Die Integration der Automatisierungskonzepte in eine konsistente Modellierung von Planung bis Engineering soll erreicht werden können.
9. Konzepte werden überwiegend durch Anforderungen und Graphiken beschrieben.

### **Anforderungen an die Verwendung**

10. Das Informationsmodell soll in einem Planungsprozess angewendet werden können.
11. Der Ansatz unterstützt die tägliche Arbeit der Automatisierungstechnik-Planer.
12. Automatisierungskonzepte müssen zur Verwendung in Projekten bereitgestellt werden.
13. Der Ansatz unterstützt den Umgang mit den Konzepten insbesondere zum Zweck der Abstimmung mit anderen Planern (anderen Konzepten).

Die aufgeführten Anforderungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit und stellen aufgrund ihrer fehlenden Detaillierung keine ausführliche Analyse aller notwendigen Eigenschaften des geforderten Ansatzes dar. Insbesondere die genaue Aufgabenstellung der Planung kann von Fall zu Fall unterschiedlich sein, weswegen eine genauere Darstellung auch nicht sinnvoll wäre. Bei der Entwicklung des Informationsmodells wird stattdessen ein allgemeingültiger Ansatz angestrebt, der unabhängig von technischen und organisatorischen Restriktionen eingesetzt werden kann.

## **4.2 Wissenschaftliche Basis**

Die theoretische Erarbeitung eines Informationsmodells stützt sich auf Erkenntnisse der Wissenschaft, die als anerkannte Denkmuster eine Grundlage für die Untersuchung und Begründung der Ansätze bilden. Die weit verbreitete und detailliert erforschte Systemtheorie bietet hierfür ein ausreichendes und erprobtes Erklärungsmodell. Nach einer allgemeinen Einführung folgt eine Verwendung systemtheoretischer Ansätze bei der Entwicklung von Modellen für die Beschreibung der industriellen Produktion mit Hilfe von Fabrikssystemen. Als Teil dieser sind Automatisierungskonzepte Gegenstand einer ausführlichen Untersuchung, woraus eine Begriffsdefinition sowie eine Einordnung in den Systemkontext resultieren.

### **4.2.1 Systemtheorie und Modellbildung**

Die allgemeine Systemtheorie hat sich aufgrund verblüffend ähnlicher Systemproblematiken als übergreifender und integrierender Forschungsansatz entwickelt. Zur ganzheitlichen Betrachtung von Systemen stellt die Systemtheorie ein differenziertes

Begriffssystem bereit, das eine Beschreibung beliebiger Phänomene der Realität erlaubt. Das Ziel der Systemtheorie ist die Formulierung allgemeingültiger Systemgesetze auf einer abstrakten Ebene, wobei der Schwerpunkt auf der Bereitstellung formaler Ordnungsmittel liegt. Mit derartigen Ordnungsmitteln können der Aufbau und das Verhalten komplexer Systeme in beliebigen Abstraktionsebenen zusammenhängend verstanden und in einer einheitlichen Sprache formuliert werden. [Ropohl79] Der etymologische Ursprung des Begriffs „System“ liegt in dem griechischen Wort „systema“, das so viel wie „Zusammenstellung“ bedeutet. Dies beinhaltet bereits den grundlegenden Aspekt, wonach ein System eine aus mehreren Teilen zusammengestellte Einheit darstellt. [Willke93] Entgegen dem Alltagsverständnis, das einem System meist eine objektive Existenz zuspricht, versteht die Wissenschaft unter einem System ein formales Modell zur abstrakten Beschreibung realer Objekte. Die Abstraktion der Realität erfolgt durch Ausklammern derjenigen Dinge, die für die jeweilige Betrachtung nicht notwendig sind. Die so erlangten Modelle stellen daher eine bestimmte Interpretation der Realität dar. [Hildebrand+05]

### **Systeme**

Jedes System zeigt gegenüber seiner Umgebung gewisse Kennzeichen, Merkmale oder Eigenschaften, die als Attribute bezeichnet werden können. Attribute, die weder Eingangsgrößen (Input) noch Ausgangsgrößen (Output) sind, sondern die Verfassung eines Systems beschreiben, werden Zustände genannt. Zwischen den Attributen eines Systems bestehen Beziehungen in Form von Funktionen. In der Regel enthalten Systeme Elemente, deren Beziehungen untereinander durch Relationen beschrieben werden. Auch Elemente sind Systeme und können daher ebenso als Subsysteme eines übergeordneten Systems bezeichnet werden. Die Menge der Relationen ist die Struktur des Systems. [Roddeck06] Die mehr oder weniger willkürliche Abgrenzung des Systems von seiner Umwelt wird als Systemgrenze bezeichnet. Offene Systeme<sup>21</sup> weisen nicht nur zwischen ihren Elementen, sondern auch zu ihrer Umwelt – über die Systemgrenzen hinweg – Relationen auf. Eine Systemgrenze muss nicht physisch sichtbar sein, sondern kann rein gedanklich verlaufen. Bei der Input-/Output-Betrachtung eines Systems wird anhand der anliegenden Eingangsgrößen und der erzielten Ausgangsgrößen die Übergangsfunktion

---

<sup>21</sup> Die allgemeine Systemtheorie bezeichnet Systeme, die zu ihrer Umwelt Relationen aufweisen als „offene Systeme“. Im Kontext der Automatisierungstechnik werden unter offenen Systemen hingegen Komponenten mit offengelegten Schnittstellen verstanden.

des Systems bestimmt. [Daenzer+02] Die Literatur zeigt Unterscheidungen in strukturele, funktionale und hierarchische Systemkonzepte, die jeweils einen der Systemaspekte in den Vordergrund stellen, obwohl der Systembegriff in Wirklichkeit alle drei Aspekte umfasst.

- Das **strukturele Systemkonzept** betrachtet das System als eine Ganzheit miteinander verknüpfter Elemente. Die Systemeigenschaften entstehen dabei in erster Linie aus dem Beziehungsgeflecht, das die unterschiedlichen Elemente des Systems miteinander verbindet. Das strukturele Systemdenken beruht also auf dem Grundsatz, dass Elemente nicht isoliert betrachtet werden dürfen, sondern in ihrer Interdependenz mit anderen Elementen eines umfassenden Systems zu sehen sind.
- Das **funktionale Systemkonzept** stellt das System als schwarzen Kasten (Black-Box) dar, der durch bestimmte Zusammenhänge der äußeren Systemeigenschaften gekennzeichnet ist. Es hebt die Einteilung der Eigenschaften oder Attribute in Inputs, Outputs und Zustände hervor. Dadurch beschränkt sich die funktionale Sichtweise ausschließlich auf das Verhalten und sieht bewusst vom inneren Aufbau des Systems ab.
- Das **hierarchische Systemkonzept** beschreibt den Umstand, dass die Elemente eines Systems wiederum selbst als Systeme angesehen werden können, bzw. dass ein System ein Element eines umfassenden Systems darstellt. Daher ist eine Systembetrachtung auf unterschiedlichen Stufen einer Systemhierarchie möglich. Eine Abwärtsbewegung in der Systemhierarchie liefert dabei eine detailliertere Erklärung des Systems, während eine Aufwärtsbewegung ein tieferes Verständnis der Systembedeutung verschafft.

In Anbetracht der Vorteile, die jedes der drei Systemkonzepte mit sich bringt, bemüht sich [Ropohl79] um eine Systemdefinition, die alle drei Konzepte enthält.

### DEFINITION 1

Es sei  $\alpha$  eine Menge von Attributen  $A_i$ ,  $\varphi$  eine Menge von Funktionen  $F_j$ ,  $\sigma$  eine Menge von Subsystemen  $S'_k$  und  $\pi$  eine Menge von Relationen  $P_m$ , dann heißt das Quadrupel dieser Mengen ein *System S*.

$$S = (\alpha, \varphi, \sigma, \pi)$$

$$\text{mit } \alpha = \{A_i\}; \varphi = \{F_j\}; \sigma = \{S'_k\}; \pi = \{P_m\}$$

$$\text{und } i \in I; j \in J; k \in K; m \in M \quad (I, J, K, M \sim N)$$

**DEFINITION 2**

Ein *Attribut*  $A_i$  sei eine nicht-leere Menge von Eigenschaftsausprägungen  $a_{in}$ .

$$A_i = \{a_{in}\} \neq \emptyset \text{ mit } i \in I \text{ und } n \in \mathbb{N} (I, \mathbb{N} \sim M)$$

**DEFINITION 3**

Dann sind  $\alpha_x \subset \alpha$ ,  $\alpha_y \subset \alpha$  und  $\alpha_z \subset \alpha$  paarweise disjunkte Teilmengen der Attributenmenge  $\alpha$  und es sei  $\alpha_g$  eine beliebige Attributenmenge, die nicht dem System  $S$  angehört:

$$\begin{aligned} \alpha_x \cap \alpha_y &= \emptyset; \quad \alpha_y \cap \alpha_z = \emptyset; \quad \alpha_z \cap \alpha_x = \emptyset; \\ \alpha_x \cup \alpha_y \cup \alpha_z &= \alpha; \quad \alpha_g \notin S \end{aligned}$$

Dann heißt ein Attribut  $A_{xi} \in \alpha_x$ , das in Relation des Typs  $\alpha_g \times \alpha_x$  als Nachglied auftritt, ein *Input*, ein Attribut  $A_{yi} \in \alpha_y$ , das in Relation des Typs  $\alpha_y \times \alpha_g$  als Vorglied auftritt, ein *Output* und ein Attribut  $A_{zi} \in \alpha_z$ , das in keiner derartigen Relation auftritt, ein *Zustand* des Systems  $S$ .

**DEFINITION 4**

Eine *Funktion*  $F_j$  ist eine echte Teilmenge des kartesischen Produkts zwischen Attributen  $A_i$ .

$$F_j \subset \prod_{i \in I} A_i$$

**DEFINITION 5**

Insbesondere heißt dann eine Funktion zwischen Inputs  $A_{xi}$  *Inputfunktion*  $F_{xj}$ , zwischen Outputs  $A_{yi}$  *Outputfunktion*  $F_{yj}$  und zwischen Zuständen  $A_{zi}$  *Zustandsfunktion*  $F_{zj}$ .

$$F_{xj} \subset \prod A_{xi}; \quad F_{yj} \subset \prod A_{yi}; \quad F_{zj} \subset \prod A_{zi};$$

**DEFINITION 6**

Außerdem heißt eine Funktion zwischen Inputs und Zuständen *Übergangsfunktion*  $F_{Üj}$ , zwischen Inputs und Outputs *Ergebnisfunktion*  $F_{Ej}$  und zwischen Zuständen und Outputs *Markierungsfunktion*  $F_{Mj}$ .

$$F_{Üj}: A_{zi} \times A_{xi} \rightarrow A_{zi}; \quad F_{Ej}: A_{zi} \times A_{xi} \rightarrow A_{yi}; \quad F_{Mj}: A_{zi} \times A_{zi} \rightarrow A_{yi}$$



**DEFINITION 7**

Ein *Subsystem*  $S'_k$  ist ein System gemäß Definition 1.

$$S'_k = (\alpha'_k, \varphi'_k, \sigma'_k, \pi'_k)$$

**DEFINITION 8**

Es sei  $A'_{ki} \in \alpha'_k$  ein Attribut des Subsystems  $S'_k$ . Dann heißt eine echte Teilmenge des kartesischen Produkts zwischen  $k$  Attributen von  $k$  Subsystemen eine  $k$ -stellige *Relation*  $P_m$ . Die Menge  $\pi$  der Relation heißt auch *Struktur* des Systems  $S$ .

$$P_m \subset \prod_{k \in K} A'_{ki} \quad \text{mit je einem } i \text{ für jedes } k$$

**DEFINITION 9**

Es seien  $A'_{1y}$  der Output eines Subsystems  $S'_1$  und  $A'_{2x}$  der Input eines Subsystems  $S'_2$ . Dann heißt die zweistellige Identitätsrelation zwischen  $A'_{1y}$  und  $A'_{2x}$  *Kopplung*  $P_{K12}$ .

$$P_{K12} \subset A'_{1y} \times A'_{2x} \quad \text{mit } a'_{2xn} = a'_{1yn} \text{ für alle } n$$

**DEFINITION 10**

Nun sei  $\beta$  eine nicht-leere Menge, welche die Menge  $\sigma \subseteq \beta$  der Subsysteme als Teilmenge enthält. Dann heißt die Differenzmenge zwischen der Menge  $\beta$  und der Menge  $\sigma$  der Subsysteme *Umgebung*  $\gamma$ .

$$\gamma = \beta / \sigma$$

**DEFINITION 11**

Es sei  $\sigma^+$  eine Systemmenge, die das System  $S \in \sigma^+$  als Element enthält. Dann heißt das gemäß Definition 1 gebildete Quadrupel, das  $\sigma^+$  enthält, *Supersystem*  $S^+$  zum System  $S$ .

$$S^+ = (\alpha^+, \varphi^+, \sigma^+, \pi^+) \quad \text{mit allen } S \in \sigma^+$$

**DEFINITION 12**

Die Folge, die neben dem System  $S$  die Subsysteme  $S', S''$  etc. sowie die Supersysteme  $S^+, S^{++}$  etc. enthält, heißt *Systemhierarchie*  $H$ .

$$H = (\dots, S'', S', S, S^+, S^{++}, \dots)$$

**DEFINITION 13**

Ordnet man dem System  $S$  die natürliche Zahl  $b \in \mathbb{N}$  zu, dem Subsystem  $S'$  die Zahl  $b-1$  etc. sowie dem Supersystem  $S^+$  die Zahl  $b+1$  etc., so heißt eine solche Ordnungszahl *Rang des Systems* in der Systemhierarchie.

**DEFINITION 14**

Ein System  $S$  heißt *echtes System*  $S_{echt}$ , wenn die Attributenmenge  $\alpha$ , die Subsystemmenge  $\sigma$  und die Umgebung  $\gamma$  nicht-leere Mengen darstellen.

$$S = S_{echt} \Leftrightarrow (\alpha \neq \emptyset) \wedge (\sigma \neq \emptyset) \wedge (\gamma \neq \emptyset)$$

Die reine mathematische Definition des Systems als eine Menge und Folge von Relationen ist allerdings zur weiteren Verwendung der Systemkonzepte zu undifferenziert und zu allgemein. Zur besseren Anwendbarkeit werden Relationen nicht über einer Menge, sondern zwischen mehreren Mengen definiert, die ihrerseits als Elemente einer Menge höherer Ordnung aufzufassen sind. Dieses allgemeine Konzept ist auf zwei Arten zu deuten.

- Erstens können die Mengen als äußere Eigenschaften eines Systems und die Relationen als Beziehungen zwischen diesen Eigenschaften verstanden werden.
- Zweitens können die Mengen als innere Bestandteile des Systems und die Relationen als Beziehungen zwischen diesen Bestandteilen interpretiert werden.

Auf diese Art kann gleichermaßen das funktionale und das strukturelle Systemkonzept formalisiert werden. Die beiden Stellen  $\alpha$  und  $\varphi$  aus **DEFINITION 1** entsprechen dabei der ersten Deutung, während die Stellen  $\sigma$  und  $\pi$  der zweiten entsprechen.

Abgesehen von einigen speziellen Systemtheorien wird davon ausgegangen, dass für ein echtes System gemäß **DEFINITION 14** neben der Funktion und der Struktur auch eine Systemumgebung vorhanden sein muss. Da betont wird, dass jedes beliebige Gebilde als System angesehen werden kann, muss auch die Umgebung des Systems wieder ein System sein. Bereits mit **DEFINITION 7** wurde der erste Schritt zur Einführung der Systemhierarchie geleistet. **DEFINITION 11** postuliert, dass die gleiche Operation auch nach oben vorgenommen werden kann, wodurch die Systemumgebung zum Supersystem und das bisherige System zum Element des Supersystems definiert wird. Die Systemhierarchie gemäß **DEFINITION 12** entsteht durch beliebiges Wiederholen dieser Operationen nach oben oder nach unten.

Zur genaueren Beschreibung von Systemen wird eine Funktion als unmittelbare Beziehung zwischen den Attributen eines Systems definiert. Die Funktion eines Subsystems oder eines Elements des Systems kann dann als Subfunktion bezeichnet werden. Relationen dienen zur Definition der Systemstruktur, indem sie die Beziehungen zwischen den vorkommenden Elementen beschreiben. Ein Subsystem bzw. Element wird in einer Relation durch eines seiner Attribute repräsentiert. Die Relationen des Systems bzw. die Systemstruktur gemäß **DEFINITION 8** erhält auf diese Weise große Ähnlichkeit mit der Systemfunktion. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass eine Funktion Beziehungen zwischen mehreren Attributen ein und desselben Systems oder Subsystems beschreibt, während eine Relation zwischen je einem Attribut verschiedener Subsysteme definiert ist. Eine Sonderform der Relationen sind die in **DEFINITION 9** eingeführten Kopplungen. Sie gelten als zweistellige Relationen und kommen in der Systembeschreibung besonders häufig vor. [Ropohl79] [Ropohl09]

### **Systemklassen**

Nach allgemeinem Systemverständnis kann grundsätzlich zwischen ökologischen, technischen und sozialen Systemen unterschieden werden. Ökologische und soziale Systeme sind dadurch eng miteinander verwandt, dass sie Lebewesen beinhalten, die über ein Eigenverhalten und somit über eine unendliche Vielfalt von Verhaltensmöglichkeiten verfügen. Das unterscheidet sie grundsätzlich von technischen Systemen, die bewusst zur Erfüllung einer bestimmten Aufgabe geschaffen sind.

Technische Systeme dienen zur Umsetzung eines definierten Eingangs von Stoff, Energie oder Information in einen determinierten Ausgang dieser Größen. [Ropohl75] Folglich verfügen technische Systeme nur über eine begrenzte Anzahl von Verhaltensmöglichkeiten und sind in ihrem Verhalten entsprechend vorausbestimmbar. Im Gegensatz dazu verhalten sich ökologische und soziale Systeme immer situationsspezifisch; ein definierter Input führt also nicht zwingend zu einem bestimmten Output. Ihr Verhalten ist daher nicht sicher prognostisierbar. Technische und soziale Systeme unterscheiden sich vom ökologischen System dadurch, dass sie nicht Ergebnis der natürlichen Evolution, sondern ein Konstrukt menschlichen Denkens und Handelns sind. Im Gegensatz zum technischen System ist der Zweck sozialer Systeme nicht unbedingt eindeutig definierbar. [Hildebrand+05]

Ausgewählte Merkmale	Systemart		
	ökologische Systeme	soziale Systeme	technische Systeme
Entstehungsart	natürlich	künstlich	
Seinsbereich	konkret		
Hauptbestandteile; (Beispiel)	alle Lebewesen, natürliche Materie; (Feuchtbiotop)	überwiegend Menschen; (Verein)	zielgerichtet bearbeitete Materie; (Werkzeugmaschine)
Zweck	Selbsterhaltung, Überleben	Erfüllung versch. gesellschaftl. Ziele	Erfüllung durch den Menschen definierter Aufgaben
Funktionsweise	natürliche Wirkkreisläufe	bedingt gestaltbare Kreisläufe menschlichen Zusammenwirkens	zweckorientiert konstruierte physikal. und chemische Mechanismen
Umweltverhältnis	offen		
Systemzustand	instabil		stabil
Systemverhalten	stochastisch		deterministisch
Systemaufbau	komplex		einfach - kompliziert

**Tabelle 4-1: Klassifikationsschema für Systeme [Hildebrand+05]**

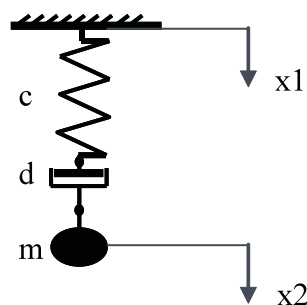
Tabelle 4-1 fasst über ausgewählte Merkmale und entsprechende Ausprägungen die für die Untersuchung relevanten Differenzierungsmerkmale zwischen ökologischen, sozialen und technischen Systemen zusammen. Damit ist eine hinreichend genaue Abgrenzung der Systemklassifikation gegeben.

### **Modellbildung**

Ein Modell ist eine vereinfachte Abbildung eines interessierenden Ausschnitts der Realität, der als Realsystem bezeichnet werden kann. Es ist außerdem das Ergebnis eines zielgerichteten Abstraktionsprozesses – der Modellbildung. Da das Realsystem strenggenommen bereits selbst ein Modell der Realität darstellt, wird mit der Modellbildung ein weiterer Abstraktionsschritt unternommen. [Negele06] Zweck einer Modellbildung ist die Möglichkeit, Untersuchungen statt am eigentlichen Realsystem am Modell durchführen zu können. Dies kann nach [Patzak82] aus unterschiedlichen Gründen sinnvoll oder notwendig sein:

- Komplexität: ein komplexes Realsystem wird in einem Modell vereinfacht dargestellt
- Existenz: das Realsystem existiert nicht oder noch nicht
- Physikalisch-technische Gründe: auf ein System kann nicht beliebig zugegriffen werden
- Wirtschaftliche Gründe: ein teures System wird durch den Zugriff zerstört
- Ethische Gründe: Menschenleben sind in Gefahr

Als Beispiel für ein Modell zur Berechnung der Stoßdämpfung eines Fahrzeugs kann ein gedämpfter Feder-Masse-Schwinger betrachtet werden. Dieses Modell besteht aus einer Feder mit der Federkonstante  $c$ , einem Dämpfer mit der Dämpfungskonstante  $d$  sowie einer Masse  $m$ , die einem Viertel der Fahrzeugmasse entsprechen müsste, wenn eine solche Dämpfungseinrichtung an jedem der vier Räder vorhanden wäre. Abbildung 4-1 zeigt dieses Modell mit der Eingangsgröße  $x_1$  am festen Aufhängepunkt des Schwingers und der Ausgangsgröße  $x_2$ , die der Auslenkung über der Zeit entspricht.



**Abbildung 4-1: Gedämpfter Feder-Masse-Schwinger als Beispiel eines Modells**

Die Erdanziehung sei bei diesem Beispiel vernachlässigt. Das Modell lässt sich dann durch die folgende lineare gewöhnliche Differenzialgleichung 2ter Ordnung beschreiben. [Lunze06]

$$\frac{m}{c} \ddot{x}_2(t) + \frac{m}{d} \dot{x}_2(t) + x_2(t) = x_1(t)$$

Ein solches Modell liefert eine klar definierte und einfach zu lösende Gleichung und dadurch eine exakte mathematische Beschreibung des Systems. In vielen Fällen ist allerdings eine derart praktische Modellierung und Beschreibung von Systemen nicht

möglich. Doch auch dann kann die Modellbildung helfen, um etwa durch Tests oder Vergleiche ein tieferes Verständnis eines Systems zu erhalten.

### 4.2.2 Fabrikssysteme als Betrachtungsgrundlage

Da sich als physische Bestandteile einer Fabrik primär Menschen und Technik erkennen lassen, liegt die Unterteilung einer Fabrik in ein soziales und ein technisches Teilsystem nahe. Systeme mit dieser Wechselwirkungscharakteristik werden als *soziotechnische Systeme* bezeichnet. Sie stellen eine Schnittmenge aus einem sozialen und einem technischen System dar und sind in das alles umgebende ökologische System der Erde mit ihren geltenden Naturgesetzen eingebettet. [Hildebrand+05]

Ein solches soziotechnisches Fabrikssystem kann hinsichtlich seines Zweckes unter verschiedenen Aspekten, wie etwa dem betriebswirtschaftlichen oder dem volkswirtschaftlichen Aspekt, betrachtet werden. [Schmigalla95] In der vorliegenden Arbeit wird der produktionstechnische Aspekt gewählt, der die Fabrik als Produktionsstätte mit dem Zweck der effizienten industriellen Herstellung von Sachgütern und Dienstleistungen betrachtet. Um eine gewünschte Gestaltung des Fabriksystems zu erzielen, ist es notwendig, die aus den jeweils spezifischen Merkmalen resultierenden Anforderungen des sozialen und des technischen Teilsystems gleichermaßen zu berücksichtigen und ein integriertes Gesamtoptimum zu erreichen. Daher ist zur Ableitung von Gestaltungsanforderungen eine differenzierte Diskussion der relevanten Zusammenhänge und komplexen Wechselwirkungen der Bestandteile des soziotechnischen Systems sowie deren Beziehungen nach außen notwendig. [Hildebrand+05]

Grundlage jeder systemtheoretischen Betrachtung ist die Festlegung einer Systemgrenze. Da eine Fabrik in der Regel ziemlich klar abgegrenzt ist, fällt die Unterscheidung dessen, was zum System Fabrik gehört und was zur Umgebung der Fabrik gehört, relativ leicht. Allerdings ist höchstwahrscheinlich nicht die gesamte Umgebung für die Betrachtung des Fabriksystems von Interesse, weswegen derjenige Teil der Umgebung fokussiert werden muss, der das Verhalten der Fabrik beeinflusst bzw. durch die Fabrik selbst beeinflusst wird. Typisch für offene Systeme wie Fabriken sind die vielfältigen und mitunter auch komplexen Wechselwirkungen mit der Systemumwelt.

Die Erfüllung des Systemzwecks wird durch die Benutzung und Verknüpfung der Systembestandteile bzw. ihrer installierten Funktionalitäten angestrebt. Abstrahiert stellt die Funktionalität die potenzielle Fähigkeit eines Systems dar, bestimmte Inputs in

definierte Outputs zu überführen. Dieses charakteristische Verhalten, das in der Systemtheorie als Funktion gemäß **DEFINITION 4 - 6** bezeichnet ist, wird in der einschlägigen Literatur zu Fabrikssystemen oft als die *Operation* des Fabriksystems definiert. Eine Operation startet durch ein oder mehrere Ereignisse und endet mit einem oder mehreren Ereignissen. Die Gesamtheit von mehreren aufeinander einwirkenden und verknüpften Operationen wird im Allgemeinen als *Prozess* bezeichnet. Die Menge aller Prozesse, die über die Verknüpfung der Systembestandteile realisiert werden können, bestimmen das Gesamtsystemverhalten, also beispielsweise die Art der industriellen Herstellung von Sachgütern in einem soziotechnischen Fabrikssystem.

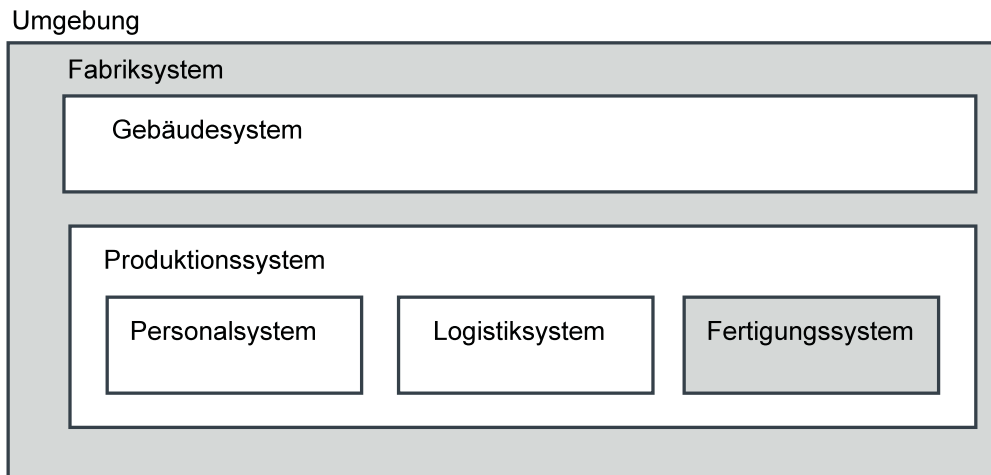
Die Abgrenzung der *Elemente*<sup>22</sup> eines Fabriksystems hängt von der jeweiligen Betrachtungsebene ab. Als Elemente werden immer die kleinsten, nicht mehr sinnvoll weiter zerlegbaren Teile des Systems bezeichnet.<sup>23</sup> Zur Charakterisierung der Merkmale eines Elements kann zwischen statischen und dynamischen Eigenschaften unterschieden werden. Eine Unterscheidung der Beziehungen zwischen Elementen kann nach *funktionalen Gesichtspunkten* im Hinblick auf das Systemverhalten und nach *strukturellen Gesichtspunkten* im Sinne des Systemaufbaus erfolgen. Die Gesamtheit aller Beziehungen eines Systems wird im Allgemeinen als dessen *Struktur* bezeichnet und stellt in einem Fabrikssystem die Grundlage zur Durchführung von Produktionsprozessen dar. Die Fabrikstruktur wird also als das Konstrukt definiert, das die Art und Anzahl der Elemente eines Fabriksystems sowie deren Beziehungen zueinander festlegt.

Entsprechend des soziotechnischen Ansatzes werden die Elemente des Fabriksystems entweder als technische oder als personelle Ressourcen betrachtet. Bezüglich der Art der Elemente erfolgt eine generelle Unterscheidung zwischen der Funktionalität technischer Ressourcen und der Qualifikation personeller Ressourcen. Da Produktionsprozesse in der Regel sowohl manuelle als auch automatische Operationen verlangen, erfordert der Anspruch an die Ganzheitlichkeit eine integrierte Betrachtung technischer und personeller Ressourcen. Abbildung 4-2 nimmt eine Unterteilung des Fabriksystems vor, wodurch insbesondere das später relevante Fertigungssystem eingeordnet wird.

---

<sup>22</sup> Die Elemente eines Fabriksystems entsprechen Subsystemen gemäß **DEFINITION 7**.

<sup>23</sup> In einer anderen Betrachtungsebene kann es jedoch durchaus sinnvoll sein, auch diese Teile noch weiter zu zerlegen, um eine andere Sicht auf die Realität zu erzielen.

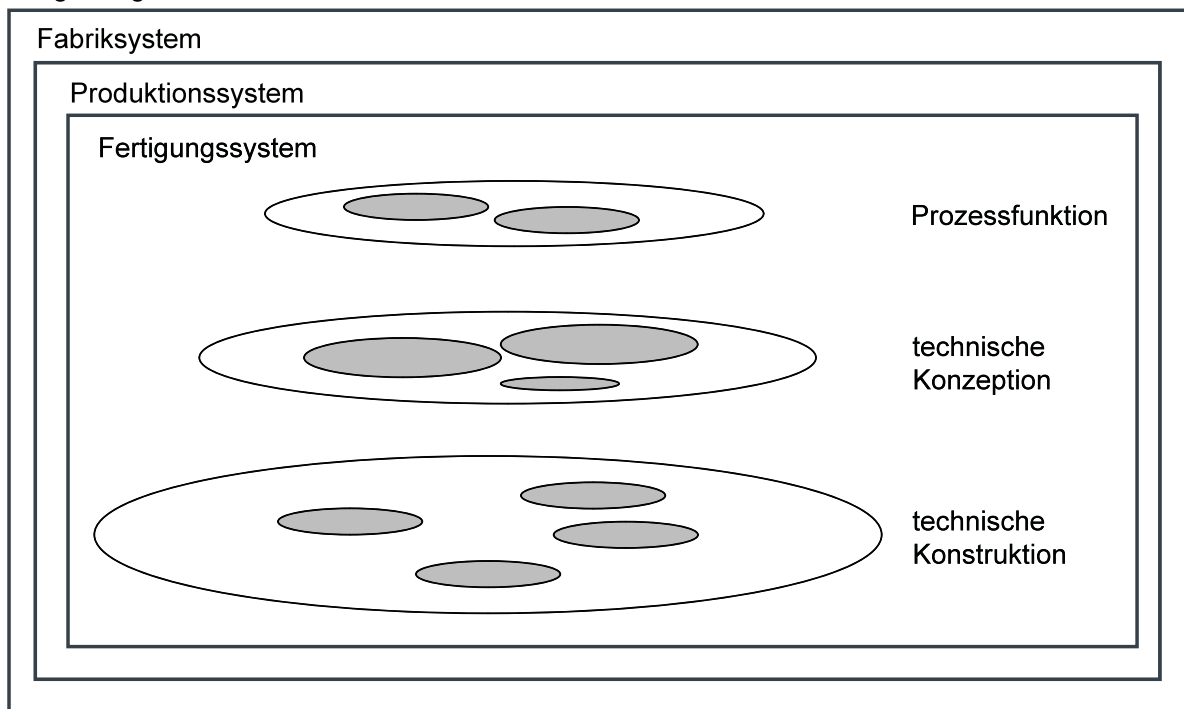


**Abbildung 4-2: Einteilung des soziotechnischen Fabriksystems in Subsysteme**

Durch eine hierarchische Darstellung und Beschreibung des Systemaufbaus ist es möglich, den Detaillierungsgrad selektiv zu verändern und somit die Anzahl der zu betrachtenden Elemente und Beziehungen zu wählen. Bei der Erstellung von Fertigungsanlagen ist in der betrieblichen Praxis eine vertikale Unterteilung der Systembeschreibung in *Prozessfunktion*, *technische Konzeption* und *technische Konstruktion* erkennbar. Diese Unterteilung entsteht hauptsächlich aus der heute üblichen Vorgehensweise der Prozessplanung mit Hilfsmitteln der Digitalen Fabrik sowie der Ausschreibung durch den Betreiber und der Anlagenrealisierung durch einen Anlagenbauer. Im Folgenden sollen diese drei Ebenen als *Erklärungshierarchie der Automatisierungstechnik* bezeichnet werden. Sie gibt durch die zunehmende Konkretisierung von Anlageninformationen auf den tieferen Ebenen die Betrachtungsweise der Planung auf das Fabriksystem wieder. Dies ist vergleichbar mit dem Modellraum-Ansatz der Produktentwicklung, der unter anderem die schrittweise Konkretisierung von Entwicklungen auf den Ebenen Anforderung, Funktion, Prinzip und Gestalt ermöglicht. [Rude98]



Umgebung



**Abbildung 4-3: Erklärungs-hierarchie der Automatisierungstechnik für die Anlagenplanung**

Abbildung 4-3 lässt erkennen, dass zur Planung von Fertigungsanlagen immer bestimmte Elemente des soziotechnischen Fabrik- bzw. Produktionssystems fokussiert und näher untersucht werden. Diese Subsysteme können zur individuellen Verarbeitung in einem Planungsprozess aus dem Gesamtsystem herausgelöst werden.

### 4.2.3 Automatisierungstechnik in Fabrikssystemen

Als technisches Teilsystem des soziotechnischen Fabrik- bzw. Produktionssystems stellt ein Fertigungssystem das Modell einer realen Fertigungsanlage dar. Ein Fertigungssystem ist aus Elementen aufgebaut, die bedeutende Wechselwirkungen mit den umgebenden Personal-, Logistik sowie Gebäudesystemen eingehen. Demnach ist das Fertigungssystem als offenes, technisches System zu klassifizieren, das auch Wechselwirkungen zu sozialen Teilsystemen seiner Umgebung unterhält.

Die Elemente eines Realsystems Fertigungsanlage werden in der Regel als Module oder Komponenten bezeichnet und entsprechen einem technischen Gerät oder einer aus mehreren Geräten aufgebauten Einheit. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit den automatisierungstechnischen Aspekten solcher Module und Komponenten. Da die

Aufgabe der Automatisierungstechnik-Planung in der Konzipierung dieser Elemente des Fertigungssystems besteht, wird im Folgenden der Begriff *Automatisierungskonzept* verwendet.

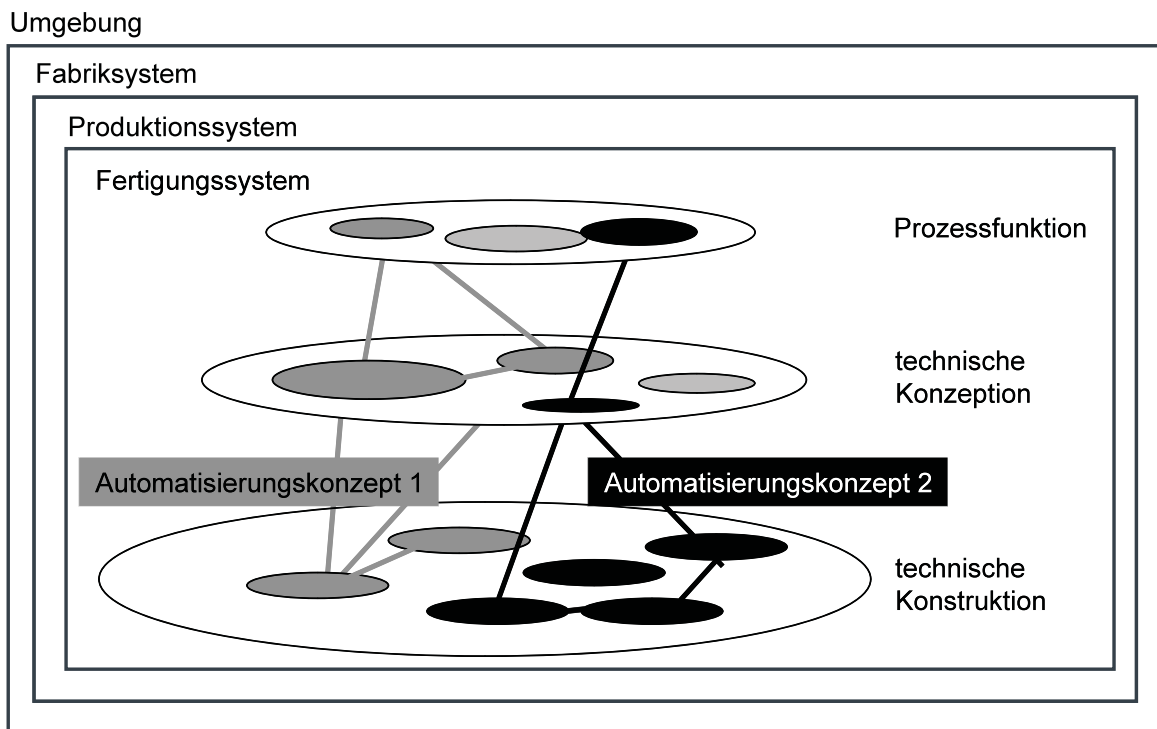
**Definition des Begriffs „Automatisierungskonzept“:**

*Automatisierungskonzepte sind Modelle der Fertigungsanlage bzw. von Teilen der Fertigungsanlage, die zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Anlagenlebenszyklus erstellt werden und eine automatisierungstechnische Lösung zur Realisierung des Fertigungsprozesses beschreiben.*

Bei der Entwicklung von Automatisierungskonzepten in der Planungsphase sind insbesondere Wechselwirkungen zu soziotechnischen Fabrik- und Produktionssystemen zu beachten, um einen optimalen sowie fehlerresistenten Einsatz des Fertigungssystems zu erreichen. Operationen der Automatisierungskonzepte können in Primär- und Sekundärfunktionen unterteilt werden. Während Primärfunktionen unmittelbar der Erfüllung eines unternehmerischen Ziels wie der Erzeugung eines Sachgutes durch Wertschöpfung dienen, bewirken Sekundärfunktionen deren notwendige Voraussetzungen. [Hildebrand+05] Ein Beispiel für eine Primärfunktion wäre etwa das Verschrauben zweier Bauteile, ein Beispiel für eine Sekundärfunktion wäre das Steuern des Schraubers.

Die Beschreibung von Automatisierungskonzepten kann auf unterschiedlichen Ebenen der in Abbildung 4-3 eingeführten Erklärungshierarchie stattfinden. Diese Strukturierung entspricht dem hierarchischen Systemkonzept, wobei auf jeder Ebene auch die Erklärungsmodelle der funktionalen und der strukturalen Systemkonzepte zur Anwendung kommen. Auf der Ebene der *Prozessfunktionen* wird die Fähigkeit des Automatisierungssystems zur Realisierung eines Fertigungsprozessschrittes definiert. Die Anforderungen an Automatisierungssysteme werden auf Ebene der *technischen Konzeption* funktional oder auch konstruktiv beschrieben. Anforderungen an das System stammen in der Regel von unterschiedlichen Stakeholdergruppen und müssen von der Planung zu einem konsistenten Konzept zusammengeführt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Definition der Anforderungen an das Automatisierungssystem einen Schwerpunkt der Planung darstellt und somit als Kern der Beschreibung von Automatisierungskonzepten angesehen werden kann. Zur Detaillierung der Anforderungen oder zur Vorgabe einer im Unternehmen standardisierten Lösung können die Konzepte auf der Ebene der *technischen Konstruktion* weiter verfeinert werden. Typische Bestandteile von Automatisierungskonzepten auf dieser Ebene sind Musterkonstruktionen oder Schnittstellenkonventionen.

Abbildung 4-4 zeigt beispielhaft zwei Automatisierungskonzepte, eingebettet in die Erklärungshierarchie der Automatisierungstechnik. Die Darstellung zeigt die Kopplung der verschiedenen Elemente der Automatisierungssysteme in vertikaler und horizontaler Richtung. Wechselwirkungen zur Systemumgebung sind allerdings nicht dargestellt.



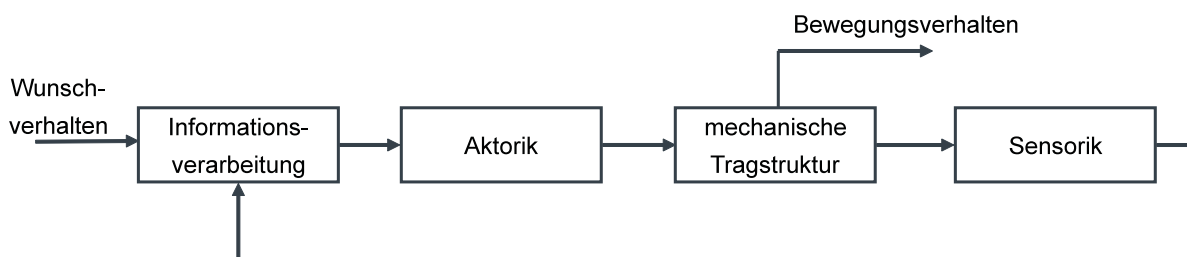
**Abbildung 4-4: Einbettung von Automatisierungssystemen in das Fertigungssystem**

Zur Reduktion der Komplexität großer Fertigungsanlagen kann eine weitere Unterteilung der Ebenen für bestimmte Zwecke sinnvoll sein. Tabelle 4-2 gibt ein Beispiel für eine solche Unterteilung zur Planung von Schraubsystemen in einer Montagelinie. Die Ebene der technischen Konzeption bildet den Schwerpunkt der Automatisierungstechnik-Planung. Das Beispiel zeigt allerdings, dass auch Inhalte der Ebenen Prozessfunktion und technische Konstruktion Gegenstand der Automatisierungskonzepte werden, wenn diese zur Konzepterstellung notwendig sind.

Ebene		Beschreibung	Beispiel
Prozess- funktion	Produktionsanlage	Um welche Art von Anlage handelt es sich?	Montagelinie (Fahrzeugendmontage)
	Fertigungsprozess	Was kann die Anlage?	Eintaktung der Arbeitsschritte
technische Konzeption	Prozessqualifikation	Mit welcher Technik wird der Prozess automatisiert?	EC-Schrauber an Takt XY
	Funktionale Anforderungen	Was müssen die einzelnen technischen Komponenten können?	Drehmoment : 80 Nm Schlüsselweite: 15
	Konstruktive Anforderungen	Wie sind die technischen Komponenten zu gestalten?	Spindelführung zur Drehmomentaufnahme
technische Konstruktion	mechatronische Komponenten	Wie sind die Lösungen aufgebaut?	Wegmesssystem (zur Schraubstellenzuordnung)
	Detailkonstruktion	Wie sieht die technische Realisierung aus?	Stromlaufplan

**Tabelle 4-2: Weitere Unterteilung der Erklärungshierarchie zur Planung von Schraubsystemen**

Automatisierungskonzepte integrieren heute mechanische, elektrotechnische und informationstechnische Elemente und können somit als mechatronische Systeme betrachtet werden. Ein abstraktes mechatronisches System besteht nach [Meier-Noe04] aus einer mechanischen Tragstruktur, einer Aktorik und Sensorik sowie einer Informationsverarbeitung. Abbildung 4-5 zeigt ein Modell eines abstrakten mechatronischen Systems.



**Abbildung 4-5: Abstraktes mechatronisches System [Meier-Noe04]**

Die mechanische Tragstruktur definiert die Bewegungsmöglichkeit eines Systems und beschreibt üblicherweise auch dessen Hauptfunktion. Bewegungen werden durch Einleiten von Kräften mittels der Aktorik beeinflusst, während die Sensorik Messergebnisse ermittelt, die von der Informationsverarbeitung zur Regelung des Systems verwendet werden. [Meier-Noe04] Dieses generische Modell ist hinreichend für die Beschreibung von Automatisierungssystemen, auch wenn teilweise noch Elemente aus den Disziplinen Hydraulik, Pneumatik etc. hinzukommen.

Im Folgenden wird ein Informationsmodell zur formalisierten Beschreibung mechatronischer Automatisierungskonzepte für die Planung und Ausschreibung von Fertigungsanlagen entwickelt. Die Systemtheorie sowie die Modellbildung dienen dabei als Basis, um insbesondere die komplexen Wechselwirkungen und anspruchsvollen Beschreibungen der Konzepte zu ermöglichen.

### **4.3 Informationsstrukturierung und -modellierung**

Zur Ableitung eines generischen Informationsmodells wird in diesem Abschnitt eine Strukturierung der zur Beschreibung von Automatisierungskonzepten notwendigen Informationen vorgenommen. Abschnitt 4.3.1 behandelt hierzu die Modellierung der in der Planung konzipierten Automatisierungslösungen mit Hilfe von Planungskomponenten. Zur Integration dieser Planungskomponenten in den Anlagenkontext definiert Abschnitt 4.3.2 das Konstrukt der Anlagenmuster, das zur Modellierung der Komponentenumgebung dient. Schließlich erfolgt in Abschnitt 4.3.3 eine Zusammenführung der Erkenntnisse in Form eines Informationsmodells, das die Beschreibung von Automatisierungskonzepten zur Verwendung in der Planung ermöglicht.

#### **4.3.1 Systemmodellierung mit Planungskomponenten**

Das folgende Kapitel erklärt Planungskomponenten als formales Rahmenwerk zur Modellierung von Automatisierungskonzepten, die eine methodische Verarbeitung der Planungsinformationen ermöglichen. Dazu erfolgt nach der Begriffsdefinition eine Beschreibung des Aufbaus von Planungskomponenten sowie deren Verwendung in Automatisierungsprojekten.

### **Zielsetzung und Begriffsdefinition**

Mit Hilfe von *Planungskomponenten* soll eine formalisierte Modellierung beliebiger Automatisierungskonzepte für die Verwendung zur Automatisierungstechnik-Planung ermöglicht werden. Aufgabe derartiger Modelle ist es, nicht nur die Erstellung von Ausschreibungsunterlagen – wie etwa Lastenhefte - zu erleichtern, sondern auch die Abstimmung der verschiedenen Konzepte im Unternehmen zu vereinfachen. Aufgrund der Komplexität und der teilweise beträchtlichen Unschärfe bezüglich der Konzeptrealisierung in den frühen Planungsphasen besteht große Notwendigkeit zur Abstimmung der Automatisierungskonzepte. Das Darstellen systemübergreifender Wechselwirkungen verschiedener Automatisierungskonzepte und das damit verbundene rechtzeitige Erkennen der Abstimmungsnotwendigkeit muss daher durch eine formalisierte Modellierung verbessert werden. Darüber hinaus kann durch die Modellierung der Automatisierungskonzepte sowie des Anlagen-Gesamtsystems mit Hilfe von Planungskomponenten eine vereinfachte Wiederverwendung bewährter Konzepte ermöglicht werden.

#### **Definition des Begriffs „Planungskomponente“:**

*Eine Planungskomponente ist das Modell einer oder mehrerer realer Anlagenkomponenten zum Zweck der Planung. Planungskomponenten beschreiben Automatisierungskonzepte in einer definierten Form und ermöglichen die Darstellung von Wechselwirkungen untereinander.*

Die Abgrenzung von Planungskomponenten erfolgt auf einer Abstraktionsebene, die die Sicht der Planung auf das zu erstellende Fertigungssystem widerspiegelt. Dabei sollen die Inhalte einer Planungskomponente Elemente im Sinne eines Subsystems nach **DEFINITION 7** bzw. eine Struktur des Systems nach **DEFINITION 8** darstellen. Eine Planungskomponente mit ihrer Struktur aus Elementen und Relationen ist wiederum ein Subsystem des Fertigungs- bzw. des Fabriksystems und befindet sich daher auf einer bestimmten Ebene einer Systemhierarchie nach **DEFINITION 12**. Bei der Abgrenzung von Planungskomponenten spielen folgende Faktoren eine Rolle:

- Erzielung von Skaleneffekten durch häufiges Verwenden in einem Automatisierungsprojekt
- Automatisierungsfunktion im Fertigungsprozess
- Knowhow bzw. Fachdisziplin der verantwortlichen Planer
- Orientierung am Lieferanten
- Wiederverwendbarkeit in mehreren Automatisierungsprojekten

Als Beispiel für eine Planungskomponente kann ein Industrieroboter genannt werden, wie er in Karosseriebauanlagen zu hunderten eingesetzt wird. Teil des Roboterkonzepts könnte unter anderem ein Stromlaufplan zur Anschaltung der einzelnen Achsantriebe sein. Eine eigene Planungskomponente zur Modellierung des Antriebs allein wäre aus Planungssicht jedoch kaum sinnvoll.

Aufgrund der vielfältigen Anforderungen in der Fertigung werden äußerst unterschiedliche Automatisierungskonzepte entwickelt, die sich nicht nur technologisch, sondern auch bezüglich ihrer Verwendung in der Anlage unterscheiden. Bei der Konzipierung etwa einer teilautomatisierten Lösung bestehen aufgrund der Zusammenarbeit von Technik und Mensch Wechselwirkungen mit dem benachbarten Personalsystem innerhalb eines soziotechnischen Produktionssystems. Derartige Beziehungen des technischen Konzepts zu einem undeterministischen sozialen System müssen zur Vermeidung von Fehlern im Betriebsablauf bei der Planung berücksichtigt werden und erzeugen komplexe Abhängigkeiten innerhalb der Systemhierarchie.

### ***Klassifikation der Planungskomponenten***

Eine Klassifikation der Planungskomponenten unterscheidet Komponenten der *Operativ-* und *Steuerungstechnik* sowie der *Informationstechnik*. Die Operativtechnik erfüllt durch die unmittelbare Operation am Produkt Primärfunktionen im Fabrikssystem, während Sekundärfunktionen von der Steuerungstechnik und der IT zum Betrieb der Operativtechnik übernommen werden.

**Operativkomponenten:** Operativkomponenten zeichnen sich durch die unmittelbare Beeinflussung bzw. Realisierung des Fertigungsprozesses aus. Darunter ist die Ausführung eines Fertigungsschritts oder Teilschritts durch eine direkte Operation am Produkt zu verstehen. Neben direkt wertschöpfenden Schritten wie Schrauben oder Schweißen werden auch Schritte zur Handhabung, zum Spannen und Messen oder ähnliche durch Operativkomponenten realisiert. Zur Erfüllung ihrer Aufgabe kann eine Operativkomponente voll automatisiert sein oder durch einen Werker geführt werden.

**Steuerungskomponenten:** Steuerungskomponenten dienen der Befähigung von Operativkomponenten. Sie sind meist auf einer höheren Ebene der

Automatisierungshierarchie<sup>24</sup> angesiedelt und verbinden verschiedene Operativkomponenten zu einem größeren Teil des Fertigungssystems. Aufgrund dieser integrierenden Funktion haben sie in der Regel vielfältige Wechselwirkungen mit unterschiedlichen Komponenten eines Anlagen-Gesamtkonzepts und bedürfen daher einer ausreichenden Abstimmung. Bei der Abwicklung von Planungsaufträgen nehmen Steuerungskomponenten eine gesonderte Stellung ein, da die Steuerungstechnik gerade bei Anlagenumbauten oft beibehalten wird und lediglich neue Technologien oder eine veränderte Konfiguration Verwendung finden.

**IT-Komponenten:** Die Informationstechnik ist gerade für die Erarbeitung von Konzepten zur Datenautomatisierung von entscheidender Bedeutung und muss daher in den Fokus der Planung mit einbezogen werden. IT-Komponenten beschreiben in der Regel Konzepte zur Datenverarbeitung, für Datenprotokolle sowie für IT-Strukturen. Sie können sowohl mit Steuerungskomponenten, als auch mit Operativkomponenten in Wechselbeziehungen stehen.

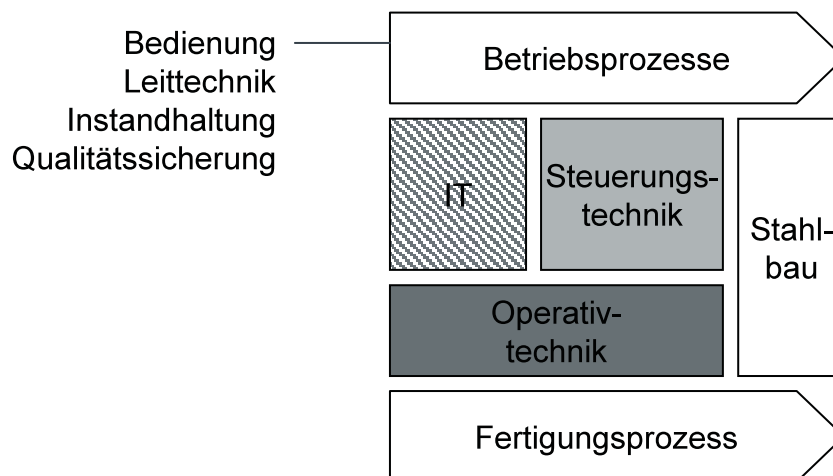


Abbildung 4-6: Klassifizierung der Planungskomponenten

Die Planungskomponenten verschiedener Klassen unterscheiden sich nicht nach ihrer Form, sondern nur nach den Realsystemen, die sie modellieren. Eine Differenzierung der Klassen ist beim Vorgehen zur Planung von Bedeutung, da die Steuerungstechnik gewöhnlich stark vom jeweiligen Planungsprojekt abhängt und die IT nicht selten standortabhängig ist. Abbildung 4-6 zeigt die Einordnung der Klassen in ein

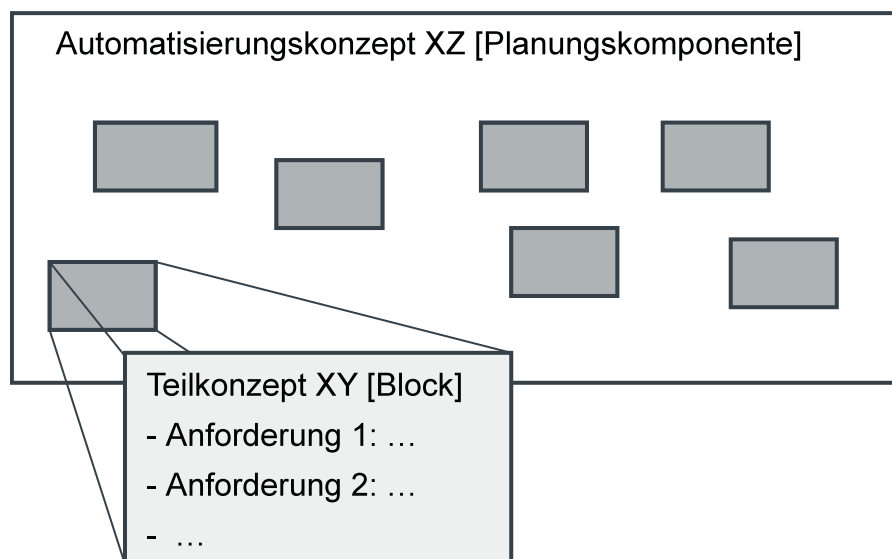
<sup>24</sup> auch Automatisierungspyramide: Sie zeigt die informationstechnischen Ebenen der Produktion auf und stellt eine Abnahme der Datenmengen bei gleichzeitiger Zunahme der Zeitanforderungen bei den tieferen produktionsprozessnahen Ebenen fest.



Anlagenschema. Der Stahlbau kann als weitere Anlagenklasse begriffen werden, wird aber aufgrund seiner Trivialität in Bezug auf Automatisierungskonzepte nicht weiter betrachtet.

### **Aufbau von Planungskomponenten**

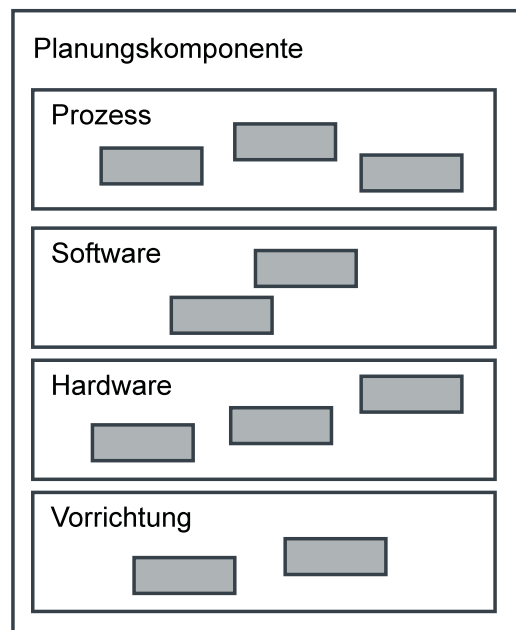
Zur Beschreibung von Automatisierungskonzepten beinhalten Planungskomponenten in erster Linie Anforderungen und Abbildungen. Daher ist eine Planungskomponente bezüglich der Vielfalt der beschreibbaren Systeme ebenso flexibel wie ein Lastenheft. Zur Strukturierung der Inhalte werden Anforderungen und Abbildungen allerdings in sogenannten *Blöcken* zusammengefasst. Blöcke sind als Elemente bzw. Subsysteme einer Planungskomponente nach **DEFINITION 7** zu begreifen und begründen die Komponentenstruktur nach **DEFINITION 8**. Ein Block enthält jeweils einen als Teilkonzept abgegrenzten Umfang des Gesamtkonzepts und fasst damit Informationen auf einer niedrigeren Hierarchieebene zusammen.



**Abbildung 4-7: Unterteilung einer Planungskomponente in Blöcke**

Mit Hilfe der Kapselung von Teilkonzepten in Blöcken können beispielsweise verschiedene Varianten einer Lösung beschrieben und zur Verwendung in einem speziellen Projekt ausgewählt werden. Außerdem können nicht immer benötigte Funktionen oder Module in einem Block abgegrenzt werden, womit eine projektspezifische Konfiguration der Komponente möglich wird.

Abbildung 4-8 führt eine weitere Unterteilung der Planungskomponente in die Disziplinen *Prozess*, *Software*, *Hardware* und *Vorrichtung* ein. Diese Unterteilung folgt einem logischen Vorgehen bei der Planung, bei welchem zunächst die Fähigkeit einer Komponente, einen bestimmten Fertigungsprozessschritt zu realisieren, im Vordergrund steht. Anschließend wird dargestellt, wie diese Fähigkeiten technisch umgesetzt sind. Dabei interessiert zunächst die Software, die den Prozess implementiert; darauf folgt die Hardware, auf welcher die Software ausgeführt wird und schließlich die Vorrichtung, die zur Installation der gesamten Komponente notwendig ist. Diese Unterteilung entspricht dem prinzipiellen Aufbau eines mechatronischen Systems in Anlehnung an [Bender05], ergänzt um den bei der Planung im Vordergrund stehenden Prozess.

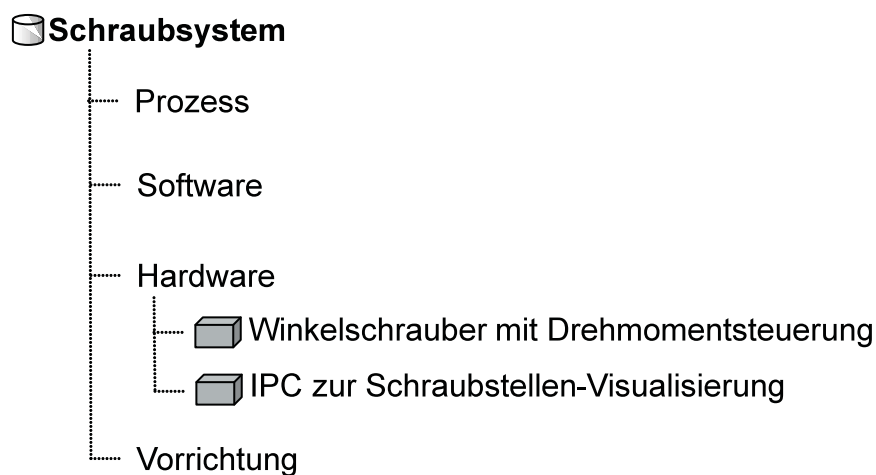


**Abbildung 4-8: Hierarchische Unterteilung der Planungskomponente in Disziplinen**

Die Blöcke einer Planungskomponente liegen in der Regel auf unterschiedlichen Ebenen der Erklärungshierarchie aus Abbildung 4-3. Auch innerhalb der Blöcke können die enthaltenen Anforderungen und Abbildungen unterschiedlich detailliert bzw. abstrahiert sein. Eine teils fehlende Detaillierung ist typisch für die Planung und tritt besonders dann auf, wenn die Art der Realisierung einer Funktion für den Planer nicht wichtig ist. In einem solchen Fall wird die Lösungsfindung und Konstruktion für die geforderte Funktion dem Anlagenbauer oder Lieferanten überlassen. Daher weisen die Konzepte der Planung – im Gegensatz zur Konstruktion – nie die detaillierte Gesamtlösung eines

Automatisierungsproblems auf. Lediglich einzelne Teilumfänge werden bei Bedarf stärker detailliert.

Abbildung 4-9 zeigt als Beispiel die Planungskomponente „Schraubsystem“, welche in der Montage häufig zum Einsatz kommt. Dieses Schraubsystem besteht aus den Hardwaremodulen *Winkelschrauber mit Drehmomentsteuerung* sowie einem *IPC<sup>25</sup> zur Schraubstellen-Visualisierung*, welcher neben der Visualisierung auch die Datenübergabe an die Schraubersteuerung übernimmt. Zur besseren Übersicht werden Planungskomponenten mit ihrer Unterteilung in die vier Disziplinen sowie in die jeweils vorhandenen Blöcke anhand einer Baumstruktur dargestellt.



**Abbildung 4-9: Planungskomponente Schraubsystem mit den Blöcken Winkelschrauber und IPC**

Das Gesamtkonzept einer Planungskomponente ergibt sich mit der Verbindung der verschiedenen Blöcke durch *Kopplungen*. Diese stellen die Modellierung der systemimmanenten Wechselbeziehungen der einzelnen Teilkonzepte gemäß **DEFINITION 9** der Systemtheorie dar. Zwar verbindet eine Kopplung immer zwei Blöcke miteinander, jedoch lässt sie sich nicht nur auf die Blöcke, sondern vielmehr auf einzelne Anforderungen zurückführen.

Abbildung 4-10 zeigt das Schraubsystem um den Block *Vorgehen beim Verschrauben* erweitert. Dieser Block aus der Komponentendisziplin *Prozess* legt die einzelnen Bearbeitungsschritte fest, die der Werker beim Verschrauben erledigen muss. Da

---

<sup>25</sup> Industrie PC: Ein für den Einsatz in Fabriken besonders robuster PC, teilweise mit Echtzeitbetriebssystem.

zumindest einige der verschiedenen Arbeitsschritte mit dem Winkelschrauber ausgeführt werden, existiert eine Kopplung zwischen diesen beiden Blöcken.

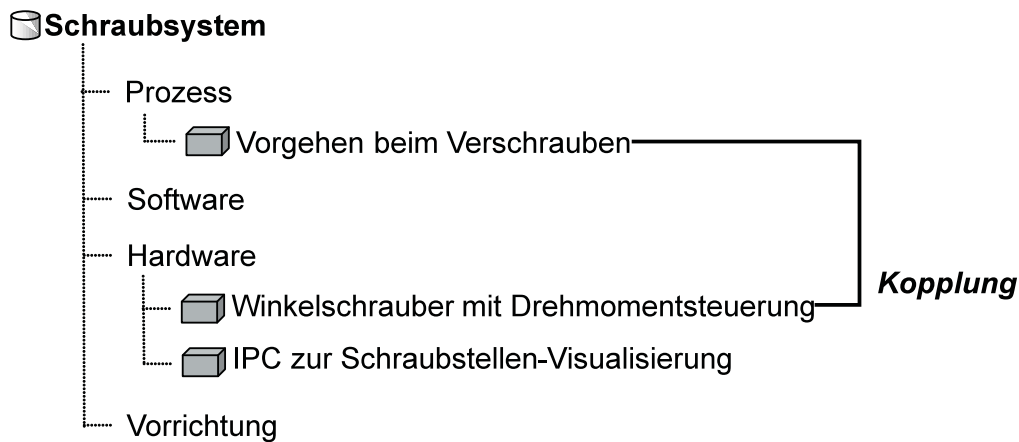


Abbildung 4-10: Beispiel einer Kopplung zwischen zwei Blöcken

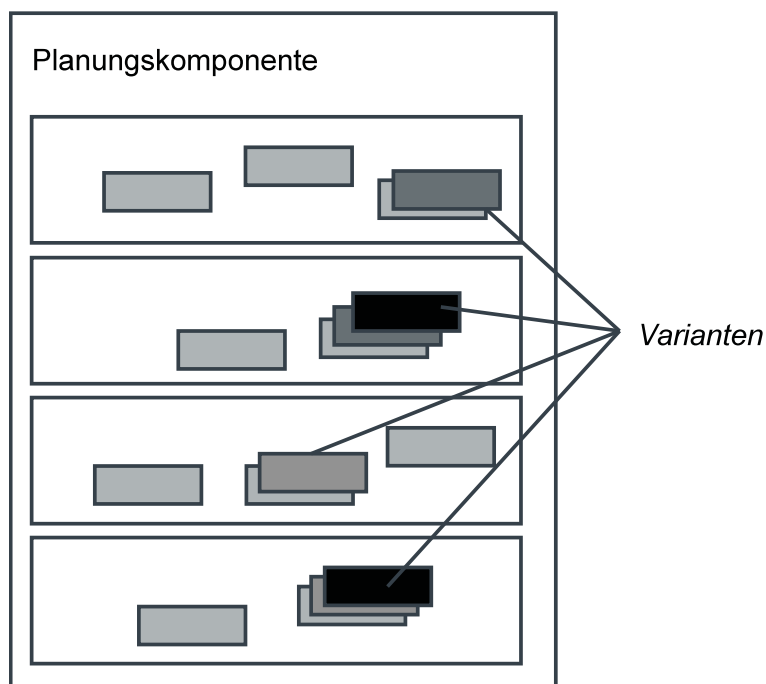
Wechselbeziehungen zwischen Teilkonzepten sind in der Regel bis in das kleinste Detail rückverfolgbar und können daher auch entsprechend genau beschrieben werden. Allerdings kann eine solche Beschreibung schnell sehr komplex werden, wodurch der praktische Nutzen verloren geht. Dazu kommt, dass Planungskomponenten nur Konzepte beinhalten und daher die zur genauen Beschreibung notwendige Detaillierung oft gar nicht gegeben ist.

Der Ansatz zur Formalisierung von Automatisierungskonzepten mit Blöcken und Kopplungen in Planungskomponenten stellt nur ein Rahmenwerk zur Modellierung dar. Es sind keine Regeln oder sonstige Hilfen vorgesehen, die dem Planer das durchdachte Entwickeln von konsistenten und realisierbaren Konzepten abnehmen.

### **Varianten zur projektspezifischen Anpassung**

Das Bereitstellen von *Varianten* zielt auf eine gewisse Flexibilität der Planungskomponenten ab. Dadurch werden geringfügige Änderungen für die Verwendung in unterschiedlichen Projekten möglich, ohne das komplette Automatisierungskonzept überarbeiten zu müssen. Somit ist es beispielsweise möglich, unterschiedlichen Randbedingungen der verschiedenen Produktionsstandorte Rechnung zu tragen oder technologische Innovationen in bereits bestehenden Komponenten umzusetzen. Abbildung 4-11 zeigt eine Planungskomponente, die für einzelne Blöcke

Varianten bereitstellt. Bei der Konfiguration der Planungskomponente für ein bestimmtes Projekt kann die jeweils gewünschte Variante ausgewählt werden.



**Abbildung 4-11: Varianten zur Anpassung an projektbezogene Randbedingungen**

Varianten werden durch Blöcke realisiert, die alternativ verwendet werden können, um eine bestimmte Funktion des Automatisierungskonzepts zu implementieren. Ein alternativer Block kann bereits zu Projektbeginn zur Verfügung stehen oder er muss im Zuge der projektspezifischen Anpassung der Komponente neu erstellt werden. Bei der Modellierung von Varianten ist stets auf die Kopplungen mit anderen Blöcken zu achten. Idealerweise sollten die Teilkonzepte so erstellt werden, dass sich die Kopplungen der unterschiedlichen Varianten eines Blocks nicht unterscheiden. Ist das nicht möglich, zieht die Variantenbildung auch Änderungen bei anderen Blöcken nach sich und erhöht dadurch den Planungsaufwand.

Abbildung 4-12 zeigt das Beispiel Schraubsystem mit zwei Varianten für den *Teileeinlauf*. Der Teileeinlauf übergibt die Informationen eines neu zu verschraubenden Teils in Form eines Arbeitsauftrags an den IPC des Schraubsystems. Dieser Auftrag kann durch Handeingabe am Schraubsystem selbst oder von einem übergeordneten Leitstand erfolgen; je nachdem, in welchem Umfeld das Schraubsystem eingesetzt werden soll.

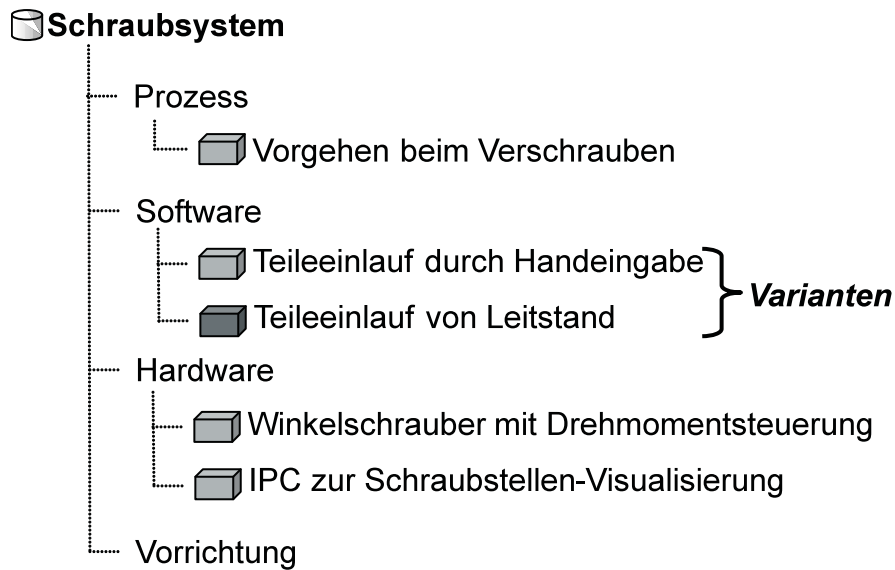


Abbildung 4-12: Planungskomponente Schraubsystem mit Varianten

Als weiteres Beispiel für eine Variante wäre die Anbindung des Schraubsystems an eine anlageninterne Fördertechnik zur Taktung der Arbeitsschritte denkbar. Wurden derartige Anbindungen in der Vergangenheit üblicherweise durch Bustechnologien realisiert, werden heute vermehrt Netzwerke auf TCP/IP-Basis<sup>26</sup> eingesetzt. Das Schraubsystemkonzept würde also Varianten für die Anbindung beispielsweise mit Profibus<sup>27</sup> oder mit Profinet<sup>28</sup> vorsehen.

Die Beispiele zeigen die Anpassbarkeit der Planungskomponente an ihre jeweilige Umgebung, ohne das komponentenbestimmende Kernkonzept zu verändern. Dadurch kann der Großteil des geleisteten Planungsaufwandes für verschiedene Projekte wiederverwendet werden. Im Falle des Schraubsystems etwa beinhaltet dieses wiederverwendbare Kernkonzept das drehmomentgesteuerte Verschrauben mit Ergebnismessung und entsprechender Datenverarbeitung.

<sup>26</sup> TCP/IP: Transmission Control Protocol / Internet Protocol.

<sup>27</sup> Profibus: Process Field Bus ist eine offenes und genormtes Feldbussystem.

<sup>28</sup> Profinet: Process Field Network ist ein offener Industrial Ethernet Standard für die Automatisierung.

### ***Erstellung von Planungskomponenten***

Zur Beschreibung eines Automatisierungskonzepts ist die individuelle Erstellung einer Planungskomponente notwendig. Dabei ist insbesondere die jeweilige *Struktur* der Planungskomponente entscheidend für deren praktische Verwendbarkeit im Projektalltag und daher sorgfältig zu überdenken. Unter der Struktur wird die Unterteilung der Planungskomponente in Blöcke und deren Kopplungen verstanden. Die besondere Herausforderung besteht darin, dass die Unterteilung der Planungskomponente in Blöcke nicht per se ersichtlich und daher auch nicht unbedingt naheliegend ist. Ein Grund hierfür ist vor allem darin zu sehen, dass sich diese Struktur weniger am Aufbau des Realsystems orientiert, sondern vielmehr an den für die Planung relevanten Faktoren wie:

- Seitens des Fertigungsprozesses geforderte Operationen
- Variabilität des Automatisierungskonzepts
- Anforderungen der Stakeholdergruppen
- Lieferanten
- Integration in Anlagenmuster

Eine bedeutende Aufgabe ist die Unterteilung des Automatisierungskonzeptes in ein *Kernkonzept*, ein (Gesamt-) *Konzept* sowie in *Erweiterungen* und in *Varianten*. Diese Unterscheidung erfolgt durch die Zuordnung der jeweiligen Blöcke. Das Kernkonzept beschreibt die wesentlichen Funktionen eines Automatisierungskonzeptes. Im Falle des Schraubensystembeispiels gehören zum Kernkonzept alle Informationen, die die Art und Weise des Verschraubens dieses speziellen Konzepts beschreiben. Hierzu gehören etwa Operativprozesse, die festlegen, wie ein Werker beim Verschrauben mit der Komponente vorgeht, oder auch die Hardwarestruktur, die den Aufbau der Komponente aus IPC und Winkelschrauber wiedergibt. Das Kernkonzept ist der projektunabhängige Teil der Planungskomponente und bildet den Schwerpunkt der Wiederverwendung. Hierzu kommen zusätzliche Blöcke der Klasse *Konzept*. Diese beschreiben Funktionen, die für den Betrieb der Komponente notwendig sind, aber nicht zum Kernkonzept gezählt werden. Am Beispiel des Schraubensystems wäre die Profinet-Anschaltung ein Block der Klasse *Konzept*. Diese Unterscheidung ist zu treffen, weil für *Konzept*-Blöcke Varianten zur projektspezifischen Anpassung definiert werden können, für *Kernkonzept*-Blöcke hingegen nicht. Wie bereits dargelegt, beinhalten *Varianten*-Blöcke Alternativen für die Teile des Automatisierungskonzeptes, die einer projektspezifischen Anpassung unterliegen können. Selbstverständlich können von Fall zu Fall auch zusätzliche Anforderungen an

das Schraubsystem gestellt werden, die etwa einen Barcodescanner oder einen Etikettendrucker erforderlich machen. Derartige Funktionen gehören nicht zum Kernkonzept des Schraubsystems und werden mit Hilfe von Erweiterungs-Blöcken modelliert. Für Blöcke der Klasse Erweiterung sind Varianten zulässig.

Bei der Abgrenzung der Teilkonzepte durch Blöcke sind die jeweils notwendigen Kopplungen zu berücksichtigen. Je weniger Kopplungen zwischen einzelnen Blöcken modelliert werden müssen, desto besser. Allerdings darf diese Forderung nicht durch Weglassen notwendiger Kopplungen oder unzweckmäßig weites Fassen der Blockabgrenzung erkauft werden. Ebenfalls muss bei der Erstellung von Planungskomponenten bezüglich deren Integration in die Systemumgebung vorausgedacht werden. Die dabei entstehenden Wechselwirkungen zwischen Komponenten und ihrer Umgebung sollten möglichst gering in der Anzahl und einfach in der Abstimmung sein.

### **4.3.2 Modellierung der Systemumgebung mit Anlagenmustern**

Anlagenmuster dienen zur Modellierung des Fertigungs- bzw. Fabriksystems, das die Umgebung einer Planungskomponente darstellt. Sie entstehen aus der Gesamtheit der Planungskomponenten und deren Wechselwirkungen. Durch Beibehaltung von Anlagenmustern in verschiedenen Automatisierungsprojekten wird eine Wiederverwendung von Planungskomponenten ermöglicht.

#### ***Zielsetzung und Begriffsdefinition***

Der Ansatz der Planungskomponenten strebt die projektneutrale Beschreibung von Automatisierungskonzepten sowie eine Reaktion auf sich ändernde Randbedingungen mit speziell abgegrenzten Varianten an. Dadurch ist allerdings noch keine hinreichende Formalisierung der Planungsdaten gegeben, da die Integration der Automatisierungskonzepte in das Fertigungs- bzw. Fabrikssystem noch nicht berücksichtigt ist. Da der Abstimmungsaufwand eines Automatisierungskonzepts und ebenso dessen Wiederverwendbarkeit indes bedeutend von dessen Integration in die Komponentenumgebung abhängen, muss diese in der formalisierten Modellierung berücksichtigt werden. Die Definition dieser Komponentenumgebung ist die Aufgabe der *Anlagenmuster*. Sie zielen darauf ab, ein einmal abgestimmtes bzw. bewährtes Anlagen-Gesamtkonzept an dessen kritischen Punkten zu dokumentieren, damit es in



nachfolgenden Projekten erneut umgesetzt werden kann. Dies verringert Abstimmungsaufwände und Iterationsschleifen zur Anpassung der Einzelkonzepte.

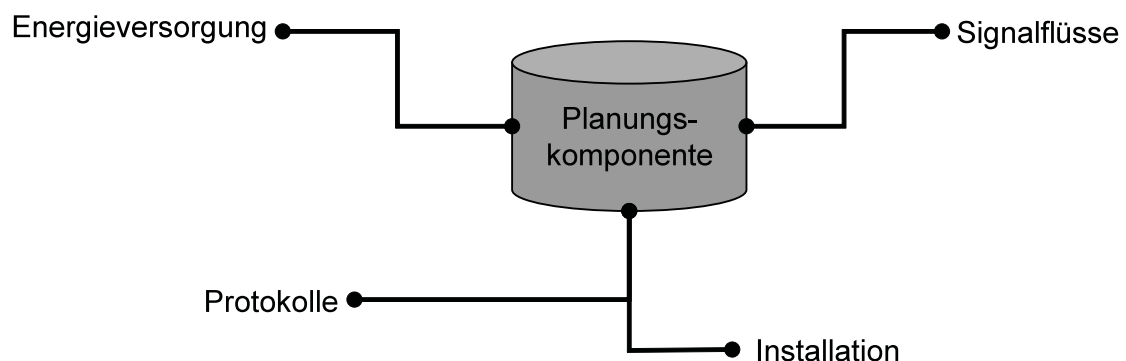
### **Definition des Begriffs „Anlagenmuster“:**

*Ein Anlagenmuster ist ein Modell eines automatisierten Fertigungssystems, das die Wechselwirkungen verschiedener Planungskomponenten aus einer bestimmten Sicht definiert. Es dient der Festlegung dieser Wechselwirkungen und ermöglicht dadurch die Wiederverwendung von Planungskomponenten in unterschiedlichen Automatisierungsprojekten.*

In der Systemtheorie ist ein Anlagenmuster ein Supersystem gemäß **DEFINITION 11** des Systems Planungskomponente in einem noch weiter gefassten Fertigungssystem. Wie im Falle der Kopplungen zwischen Blöcken innerhalb einer Planungskomponente müssen auch die Wechselwirkungen verschiedener Planungskomponenten modelliert werden. Hierzu wird allerdings bewusst der Begriff *Korrelation* eingeführt, um die Zugehörigkeit der Wechselwirkung zu einem Anlagenmuster zu verdeutlichen. Aus systemtheoretischer Sicht entsprechen Korrelationen ebenfalls dem Konstrukt der Kopplungen aus **DEFINITION 9**.

### **Korrelationen der Planungskomponenten**

*Korrelationen* stellen die Wechselwirkungen verschiedener Planungskomponenten zum Zweck der Planung dar. Dadurch können notwendige Abstimmungen der verschiedenen Planer aufgezeigt sowie deren Ergebnisse dokumentiert werden. Abbildung 4-13 zeigt einige Beispiele für einfache Korrelationen, die eine Planungskomponente mit ihrer Umgebung haben kann.



**Abbildung 4-13: Beispiele für Korrelationen einer Planungskomponente**

Bei der Modellierung von Korrelationen sollte - wie bei der Modellierung von Kopplungen - eine Detaillierung nur so weit vorgenommen werden, wie sie für die Planung von Nutzen ist. Außerdem muss stets beachtet werden, dass trotz eines konsistent modellierten Gesamtsystems nicht alle Aspekte des Realsystems Berücksichtigung finden. Daher können auch bei optimaler Verwendung der Anlagenmuster Probleme durch veränderte Randbedingungen nicht ausgeschlossen werden. Im Gegensatz zu einer im technischen Bereich üblichen Schnittstellendefinition, die meist eine genaue Spezifikation der Beziehung zweier Objekte darstellt, weisen Kopplungen und Korrelationen nur auf eine bestehende Wechselwirkung hin. Zur Verwendung in der Planung wird allerdings angestrebt, diesen Hinweis durch eine entsprechende Modellierung möglichst aussagekräftig zu machen. Bei der Wiederverwendung von Planungskomponenten und Anlagenmustern stehen die Korrelationen für bereits erfolgreich erarbeitete Abstimmungen, welche entweder beibehalten oder neu erörtert werden müssen. Am Beispiel des Schraubensystems wird dessen Anbindung an die Fördertechnik durch eine Korrelation dargestellt. Abbildung 4-14 zeigt die Korrelation zwischen den Blöcken *Profinet\_Anschaltung* der beiden Planungskomponenten Schraubensystem und Fördertechnik.

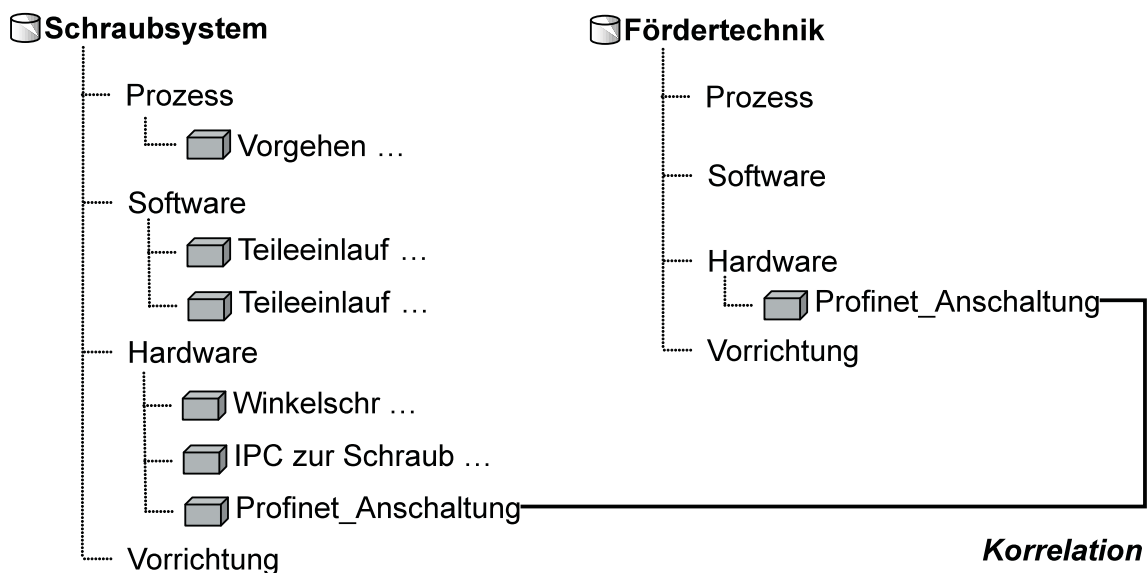


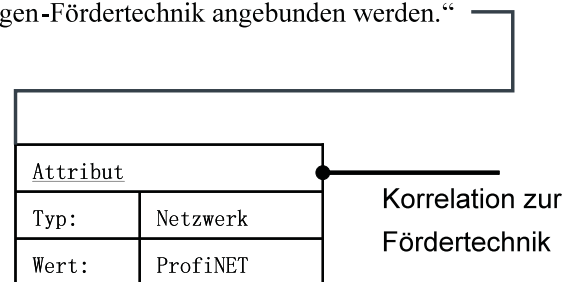
Abbildung 4-14: Beispiel einer Korrelation

Eine ganzheitliche Beschreibung eines komplexen Automatisierungssystems verlangt eine Vielzahl unterschiedlichster Korrelationen. Zur Erhöhung der Aussagekraft einzelner

Korrelationen muss zusätzliche Information in ihre Modellierung einfließen. Dies erfolgt durch die Einführung von *Attributen* innerhalb der Blöcke, die für eine Verbindung verschiedener Blöcke mittels Korrelationen oder Kopplungen stehen. Attribute können beliebig definiert werden und sind durch einen *Typ* sowie einen *Wert* beschrieben. Im obigen Beispiel hätte das Attribut zur Beschreibung der Vernetzung zwischen Schraubsystem und Fördertechnik den Typ „Netzwerk“ und den Wert „Profinet“.

Analog zur Systemtheorie dienen die Attribute zur Beschreibung gewisser Eigenschaften der Automatisierungskonzepte gemäß **DEFINITION 1** und **DEFINITION 2**. Dabei stellen sie eine Art Zusammenfassung des Teils der Systembeschreibung dar, der die Wechselwirkung zu einem anderen Teilsystem begründet. Die daraus entstehenden Systemfunktionen sind aufgrund des qualitativen Informationsvorkommens allerdings nicht so klar definiert wie etwa bei einem mathematisch beschriebenen System.

„Das Schraubsystem muss mit ProfiNET an die Anlagen-Fördertechnik angebunden werden.“



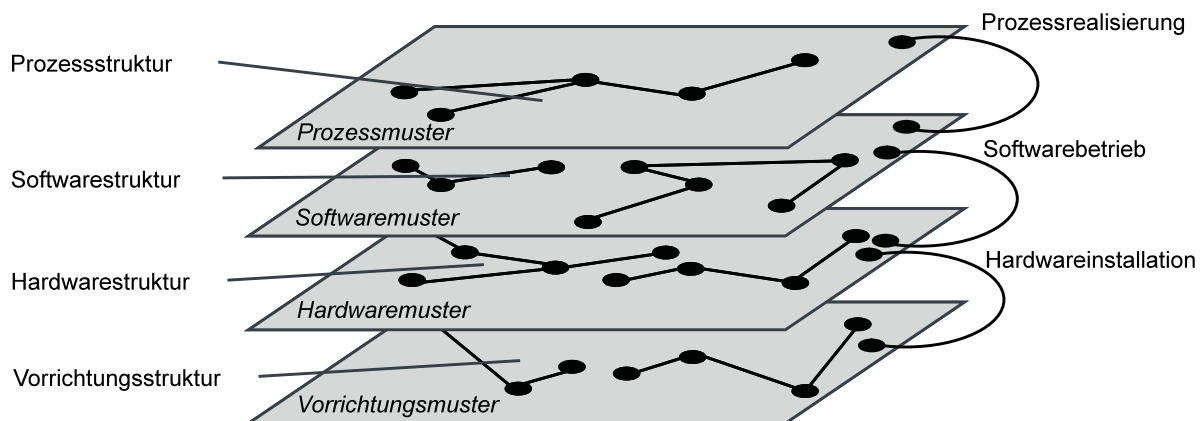
**Abbildung 4-15: Attribut zur Modellierung der Korrelation zwischen Schraubsystem und Fördertechnik**

Ein Attribut muss an beiden Seiten einer Korrelation existieren und kann notfalls in die betreffenden Blöcke eingefügt werden. Zur Verbindung der Korrelation mit der eigentlichen Konzeptbeschreibung werden die Attribute an die betreffenden Anforderungen angehängt. Abbildung 4-15 zeigt das Attribut zur Modellierung der Korrelation zwischen Schraubsystem und Fördertechnik in Verbindung mit der entsprechenden Anforderung.

### **Verwendung von Anlagenmustern**

Durch die Unterscheidung der Blöcke nach den vier Komponentendisziplinen Prozess, Software, Hardware und Vorrichtung unterteilen sich auch die Anlagenmuster automatisch in diese vier Ebenen. Die Anordnung der Korrelationen auf den jeweiligen

Ebenen wird dabei als *Prozessstruktur*, *Softwarestruktur*, *Hardwarestruktur* und *Vorrichtungsstruktur* bezeichnet. Diese Unterteilung des gesamten Anlagenmusters eignet sich gut zur Verwendung in der Planung, da sie die Übersichtlichkeit deutlich verbessert. Davon abgesehen zeigt sich in der praktischen Anwendung, dass sich die Konzeptabstimmungen der Planer gut nach diesem Ebenenmodell gliedern lassen. Wechselwirkungen zwischen den vier Ebenen kommen ebenfalls vor. In den untersuchten Fällen hat sich allerdings gezeigt, dass Wechselwirkungen zwischen den Disziplinen meist Teil des jeweiligen Automatisierungskonzepts sind und deren Definition daher innerhalb einer Planungskomponente erfolgt. Sie werden dann als Kopplung modelliert und finden keine Berücksichtigung im Anlagenmuster. Sollten dennoch Korrelationen zwischen den Musterebenen notwendig sein, erfolgt eine Bezeichnung der Korrelationen zwischen dem Prozess- und dem Softwaremuster als *Prozessrealisierung*, zwischen dem Software- und dem Hardwaremuster als *Softwarebetrieb* und zwischen dem Hardware- und dem Installationsmuster als *Hardwareinstallation*. Abbildung 4-16 zeigt das Ebenenmodell der Anlagenmuster.



**Abbildung 4-16: Ebenenmodell der Anlagenmuster**

„Ein Muster zielt auf ein in speziellen Entwurfssituationen häufig auftretendes Entwurfsproblem und beschreibt eine Lösung für dieses Problem.“ [Buschmann 98] Zwar zielt diese Aussage auf den Entwurf und die Entwicklung von Software ab, doch existieren auch im Bereich der Anlagenplanung immer wieder die gleichen Probleme, für die Muster eine Lösung bieten können. Um die Formalisierung der Planungsdaten in einem Automatisierungsprojekt zu verbessern, ist eine verbindliche Vereinbarung der Anlagenmuster zu Beginn eines Automatisierungsprojekts für alle Beteiligten zu treffen.

Da die Korrelationen des Musters die Abstimmungen der verschiedenen Automatisierungskonzepte festhalten, erübrigt sich häufig eine erneute Abstimmung bei der Wiederverwendung von Planungskomponenten. Allerdings ist bei den verschiedenen Projekten selten exakt die gleiche Konfiguration des Automatisierungssystems zu erwarten, weshalb dennoch weitere Abstimmungen notwendig sein können.

### 4.3.3 Ableitung des Informationsmodells

Nach der ausführlichen Analyse der zur Erstellung von Automatisierungskonzepten notwendigen Informationen und der Systematisierung dieser mit Hilfe von Planungskomponenten und Anlagenmustern beschreibt das folgende Kapitel das zur Formalisierung der Planungsdaten notwendige Informationsmodell. Ziel dessen ist die von den unterschiedlichen Automatisierungskonzepten losgelöste Definition einer generischen Datenstruktur, die eine methodische Verarbeitung mit Hilfe eines informationstechnischen Planungswerkzeugs gestattet. Dadurch entsteht die Möglichkeit der verbesserten Zusammenarbeit der unterschiedlichen Planer mittels übergreifender Verknüpfung der jeweiligen Automatisierungskonzepte sowie die Konservierung der abgestimmten kompatiblen Lösungen für Folgeprojekte.

#### ***Planungskomponenten***

Planungskomponenten beinhalten mit den Automatisierungskonzepten die eigentlichen Planungsdaten, die zur informationstechnischen Verarbeitung gespeichert werden müssen. Zur Verwendung in der Planung ist eine Unterscheidung der Planungskomponenten nach den drei Klassen *Operativkomponente*, *Steuerungskomponente* und *IT-Komponente* zu treffen. Diese Spezialisierungen der Klasse *Planungskomponente* beschreiben jeweils unterschiedliche Realsysteme. Eine Unterscheidung in der Modellierung dieser Spezialisierungen im Informationsmodell ist allerdings nicht notwendig, da sie sich bezüglich ihres Aufbaus gleichen. Abbildung 4-17 zeigt das Klassendiagramm zur anschaulichen Definition.

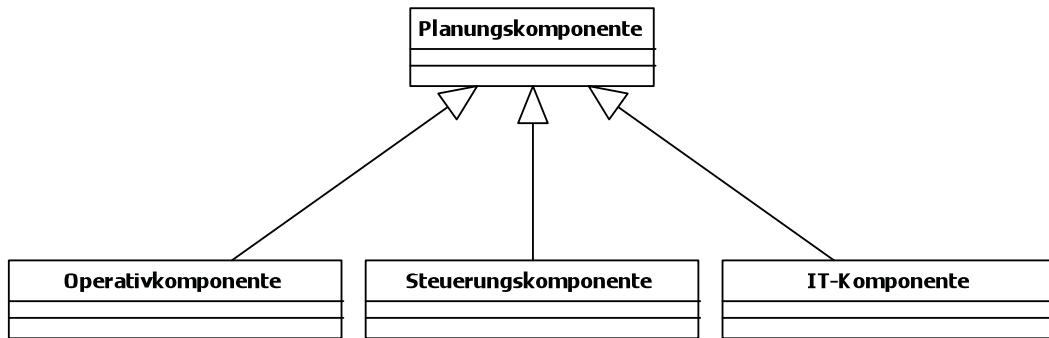


Abbildung 4-17: Spezialisierung der Klasse Planungskomponente

Zur Strukturierung und projektneutralen Verwendung der Planungsdaten sind diese auf eine für jede Planungskomponente individuell erstellte Blockstruktur verteilt. Ein Block beinhaltet jeweils ein abgegrenztes Teilkonzept und besteht aus Anforderungen sowie ergänzenden Graphiken. Diejenigen Informationen innerhalb der Anforderungen eines Blockes, die auf eine Wechselwirkung zu einem anderen Block der eigenen oder auch einer fremden Komponente verweisen, werden in Attributen repräsentiert. Kopplungen bezeichnen Wechselwirkungen zwischen Blöcken einer Komponente. Sie können durch Verweis auf ein Attribut hinreichend genau modelliert werden, um konzeptrelevante Abhängigkeiten zu verdeutlichen. Abbildung 4-18 stellt das allgemeine Klassendiagramm des Komponentenmodells dar.

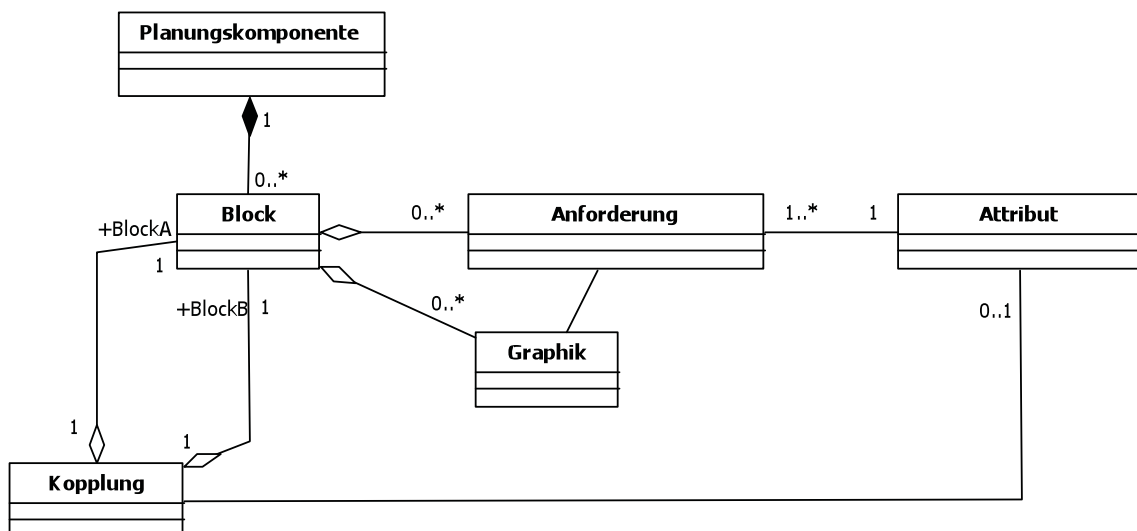
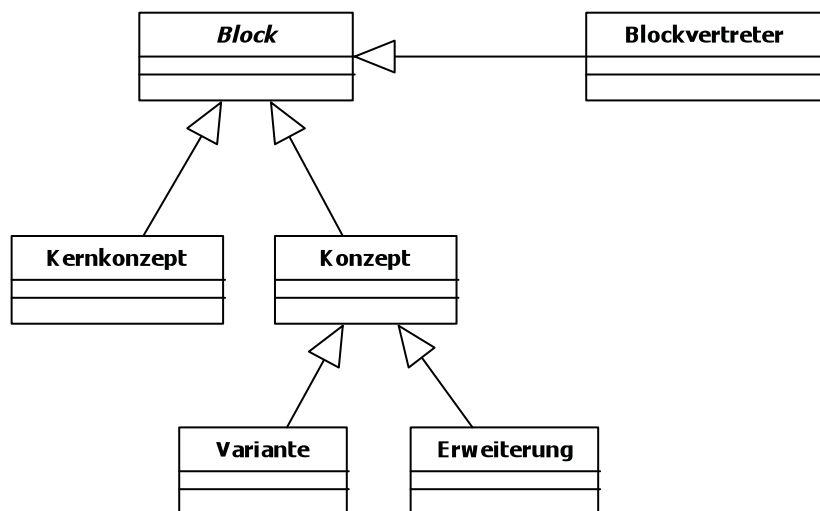


Abbildung 4-18: Klassendiagramm der Planungskomponente.

Das Klassendiagramm definiert die *Planungskomponente* als Komposition einer beliebigen Anzahl von *Blöcken*, die wiederum mit einer beliebigen Anzahl von *Anforderungen* und *Graphiken* das Automatisierungskonzept enthalten. Eine *Kopplung* besteht je aus zwei unterschiedlichen Instanzen der Klasse *Block*, die als *BlockA* und *BlockB* bezeichnet werden. Außerdem referenziert eine *Kopplung* ein *Attribut*, das den beiden Blöcken gemeinsam ist und die Art der *Kopplung* genauer beschreibt.

Zur Unterstützung einer projektneutralen Konzeptbeschreibung mit Hilfe der *Planungskomponente* wurde im Kapitel 4.3.2 eine Klassifikation der vorkommenden Blöcke eingeführt. Zur Definition dieser Klassifizierung erhält die abstrakte Klasse *Block* eine Unterteilung in Form der Spezialisierungen *Kernkonzept*, *Konzept*, *Variante* und *Erweiterung*. Die Gestalt der verschiedenen Blockklassen ist unabhängig von ihrer Spezialisierung, weshalb der Umgang mit einer beliebigen Blockklasse bzw. deren Realisierung in einer Softwareanwendung für die unterschiedlichen Klassen gleich ist. Abbildung 4-19 zeigt das Klassendiagramm zur Definition der verschiedenen Blockklassen im Informationsmodell.



**Abbildung 4-19: Spezialisierung der abstrakten Klasse Block**

Abbildung 4-19 definiert neben den bereits bekannten Blockklassen zusätzlich die Klasse *Blockvertreter* als weitere Spezialisierung der abstrakten Klasse *Block*. Zur Verwendung des Informationsmodells in der Planung ist diese weitere Spezialisierung dann von Bedeutung, wenn Wechselwirkungen zu einer anderen Komponente modelliert werden müssen, deren Blockstruktur noch nicht vollständig oder noch gar nicht modelliert wurde.

Da die Erstellung der Blockstruktur in der Verantwortung des jeweils zuständigen Planers liegt, ist ein anderer Planer, der auf einen noch nicht spezifizierten Block einer Komponente verweisen möchte, nicht in der Lage, diesen zu erstellen. Stattdessen kann er einen Vertreter für diesen Block erstellen, dessen Informationen über die Komponentenwechselwirkung später in die eigentliche Blockstruktur der Komponente übernommen werden können.

### Anlagenmuster

Das Klassendiagramm des *Anlagenmusters* in Abbildung 4-20 zeigt, dass ein Muster allein aus der Menge der *Korrelationen* zwischen verschiedenen Planungskomponenten entsteht. Eine Korrelation besteht aus zwei *Blöcken* verschiedener Komponenten, die sich durch ein gemeinsames *Attribut* auszeichnen. Die Informationen zu *Typ* und *Wert* des Attributs geben Auskunft über die Art der Korrelation bzw. der Wechselwirkung, die es repräsentiert. Die Blöcke werden als *BlockA* und *BlockB* bezeichnet, wobei BlockB –aus bereits erwähnten Gründen - in Form eines *Blockvertreter*s realisiert werden kann.

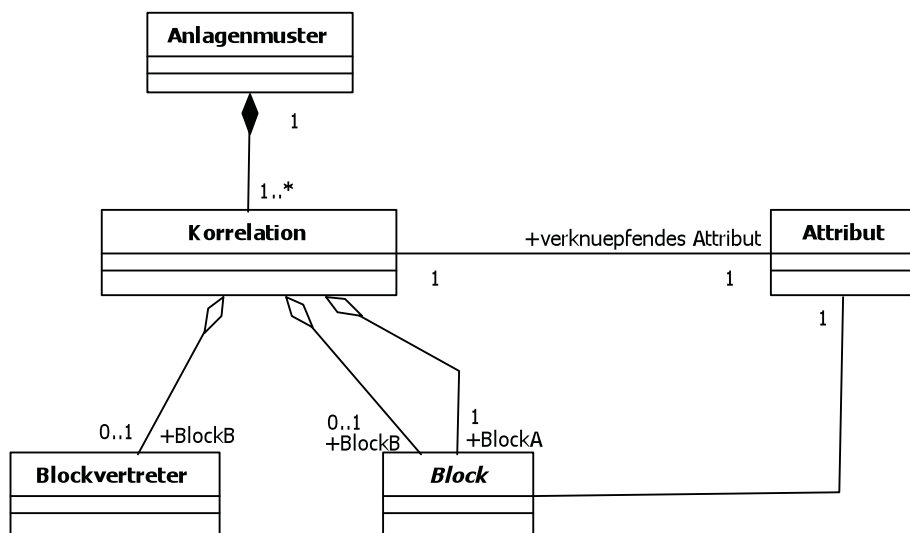


Abbildung 4-20: Klassenmodell der Anlagenmuster

Das Anlagenmuster einer Komponente entsteht aus der Gesamtheit aller Korrelationen, die auf einen der komponenteneigenen Blöcke verweisen. Um die Übersicht zu wahren und die praktische Verwendbarkeit der Muster zu erhöhen, wird eine Einteilung in



Musterebenen analog der vier Komponentendisziplinen eingeführt. Abbildung 4-21 zeigt die Unterteilung des Anlagenmusters in *Prozess-*, *Software-*, *Hardware-* und *Vorrichtungsmuster*. Diese vier Teilmuster wurden bereits in Kapitel 4.3.2 definiert und werden als Musterebenen bezeichnet, da sie eine hierarchische Einteilung des Anlagenmusters vornehmen.

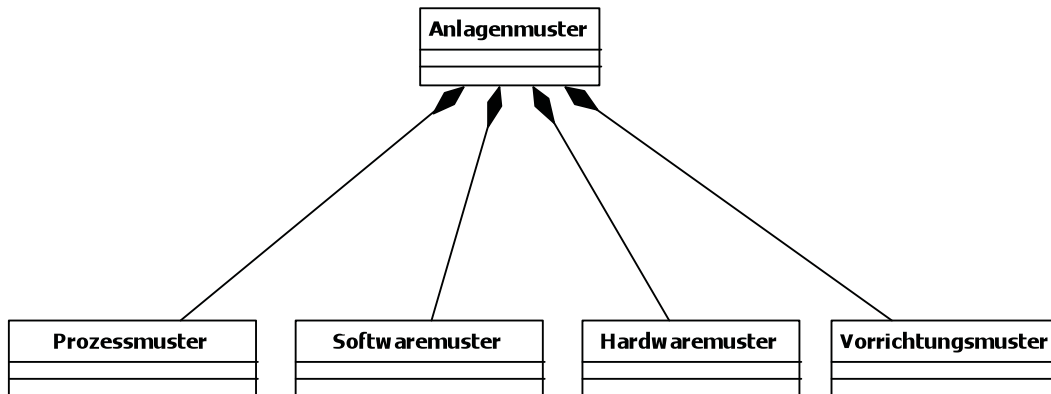


Abbildung 4-21: Klassendiagramm zur Unterteilung des Anlagenmusters in Ebenen

Die verschiedenen Musterebenen beinhalten je einen Teil der Korrelationen des gesamten Anlagenmusters. Da jede Planungskomponente ein abgeschlossenes und schlüssiges Konzept beinhaltet, existieren in der Regel keine Korrelationen zwischen den Musterebenen. Vielmehr sind solche Wechselwirkungen typisch für Kopplungen. Ein Beispiel für eine solche Wechselwirkung wären etwa Hardwarevoraussetzungen für eine einzusetzende Software. Die Teilkonzepte der Software und der zugehörigen Hardware sind normalerweise Teil eines gekapselten Automatisierungskonzepts und spielen daher im konzeptübergreifenden Muster keine Rolle. Prinzipiell sind derartige ebenenübergreifende Korrelationen aber problemlos möglich. Es besteht lediglich die Einschränkung, dass sie auf einer Musterebene nicht ganz abgebildet werden können.

### **Struktur**

*Kopplungen* und *Korrelationen* sind Spezialisierungen einer abstrakten Klasse *Wechselwirkung*, die sich lediglich in ihrer Verwendung zur Erstellung entweder von Planungskomponenten oder von Anlagenmustern unterscheiden. Abbildung 4-22 definiert die Spezialisierung der Klasse *Wechselwirkung* im Klassendiagramm.

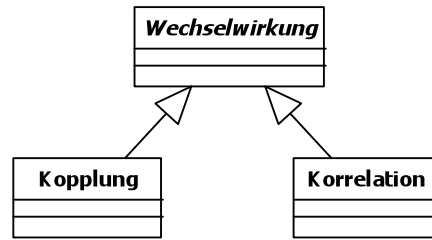


Abbildung 4-22: Kopplungen und Korrelationen als Spezialisierung der Klasse Wechselwirkung

Aus der Menge aller Wechselwirkungen sowie aller Blöcke, die anhand der Wechselwirkungen miteinander in Verbindung stehen, entsteht die *Struktur* des Fertigungssystems. Durch die Spezialisierung der Wechselwirkungen in Kopplungen und Korrelationen kann die Struktur einzelner Planungskomponenten sowie die Struktur der umgebenden Muster unterschieden werden. Abbildung 4-23 zeigt das Klassendiagramm zur Definition der abstrakten Klasse Struktur.

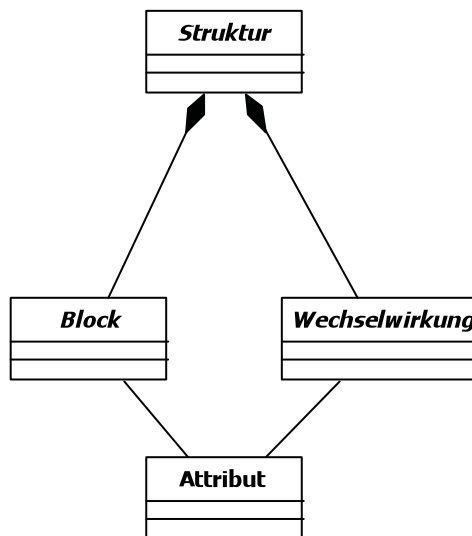
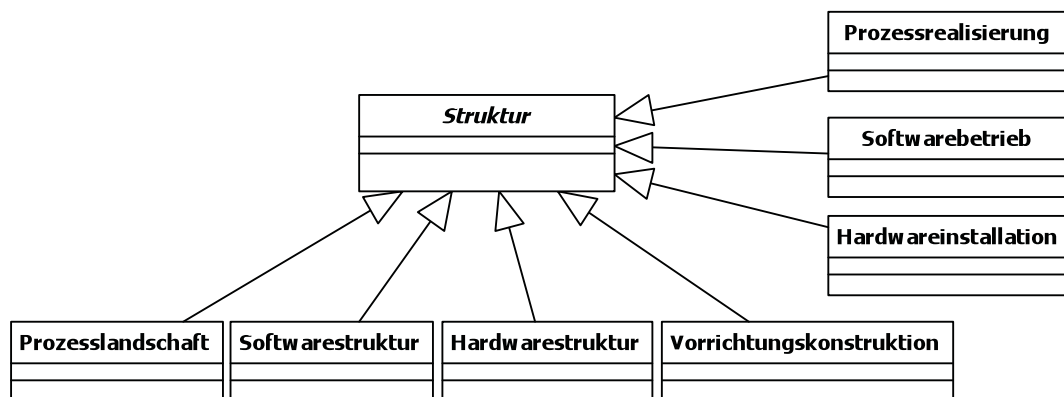


Abbildung 4-23: Klassendiagramm der Klasse Struktur

Außerdem ist die Struktur des Fertigungssystems hinsichtlich der Disziplinen bzw. Musterebenen zu unterscheiden. Dadurch erhöht sich der praktische Nutzen dieses Ansatzes zur Modellierung von Automatisierungskonzepten signifikant, da disziplinentorientierte Sichten auf die Informationen entstehen. Beispielweise interessiert sich der für die Software zuständige Planer möglicherweise nicht für die Konzepte zur Installation der Komponente und kann diese Informationen dann ausblenden. In

Abbildung 4-24 wird eine Spezialisierung der Struktur auf und zwischen den Ebenen der verschiedenen Disziplinen eingeführt.



**Abbildung 4-24: Spezialisierung der Klasse Struktur nach Disziplinen**

In Anlehnung an die vier Musterebenen werden die Struktur-Spezialisierungen *Prozesslandschaft*, *Softwarestruktur*, *Hardwarestruktur* und *Vorrichtungskonstruktion* unterschieden. Diese Strukturen sind sowohl innerhalb von gekapselten Planungskomponenten als auch über weit verzweigte Anlagenmuster zu finden. Die Struktur-Spezialisierungen *Prozessrealisierung*, *Softwarebetrieb* und *Hardwareinstallation* bezeichnen Strukturen, die je zwei Disziplinebenen miteinander verbinden. Wie bereits erläutert, treten derartige Strukturen in der Regel nur innerhalb von Planungskomponenten auf.

### 4.4 Nutzen des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung

Das entwickelte Informationsmodell zur Planung und Ausschreibung der Automatisierungstechnik in Fertigungsanlagen dient zur formalisierten Dokumentation von Automatisierungskonzepten. Entscheidend dabei ist die generische Datenstruktur, die eine Modellierung beliebiger Automatisierungskonzepte sowie eine Verknüpfung der unterschiedlichen Konzepte eines Fertigungssystems zulässt. Dadurch wird eine werkzeugunterstützte Vorgehensweise bei der Planung möglich, die die vielfältigen Abstimmungen der verschiedenen Planer erleichtert. Ebenso verbessert sich die Wiederverwendbarkeit der einzelnen Konzepte für unterschiedliche Automatisierungsprojekte, da die Konzeptintegration durch die Dokumentation der Umgebung erleichtert wird.

Das Konstrukt der Planungskomponenten verlangt den verschiedenen Planern eine standardisierte Dokumentation ihrer Planungsarbeit ab. Diese Einhaltung gewisser Regeln bei der Konzeptmodellierung ermöglicht nicht nur die Verknüpfung der verschiedenen Konzepte mit Hilfe von Korrelation, sondern verbessert durch die leichtere Einarbeitung von Fachfremden auch den Wissenstransfer. Darüber hinaus können in Planungskomponenten modellierte Automatisierungskonzepte aufgrund ihrer guten Wiederverwendbarkeit im Unternehmen standardisiert werden, wodurch sich der Planungsaufwand für Neuprojekte erheblich reduzieren lässt. Durch die Verwendung eines informationstechnischen Planungswerkzeugs eröffnet sich außerdem die Möglichkeit der standortübergreifenden Planung, die eine gute Berücksichtigung der standortbezogenen Randbedingungen bei gleichzeitiger Vermeidung von Doppelarbeit ermöglicht. Der Nutzen des Informationsmodells spiegelt sich demnach vor allem in den Faktoren Zeit und Flexibilität wider, die aus dem schnellen Einsetzen fertiger Lösungen und dem einfacheren Anlagenumbau durch abgegrenzte Komponenten resultieren.

Bei der praktischen Anwendung des Informationsmodells entstehen große Mengen vielfältiger Daten, die ein informationstechnisches Planungswerkzeug sowie eine geeignete Datenbasis notwendig machen. Dieses Werkzeug muss in der Lage sein, die speziellen Konstrukte wie Planungskomponenten, Wechselwirkungen und Anlagenmuster abzubilden sowie projektunabhängige und projektbezogene Planungsdaten zu unterscheiden. Dadurch erfolgt eine Unterstützung der Planung durch eine optimale Informationsbereitstellung zum Zweck der Abstimmung und durch eine Überwachung der Datenkonsistenz.

## 5 Verwendung und prototypische Implementierung des Informationsmodells

*Um die Verwendung des entwickelten Informationsmodells im Tagesgeschäft der Automatisierungstechnik-Planung umzusetzen, ist ein entsprechendes Vorgehen notwendig. Dieses muss durch einen definierten Planungsprozess realisiert werden, der auf jedes Unternehmen speziell anzupassen ist. Hierbei spielen insbesondere die verschiedenen von der Planung betroffenen Interessensgruppen innerhalb des Unternehmens eine Rolle, da sie zur Erzielung einer optimalen Lösung mit in die Abstimmungen der Automatisierungskonzepte einzubeziehen sind. Die Unterstützung dieser Abstimmungen im Verlauf der Planung sowie die Handhabung des Datenaufkommens werden von einem Planungswerkzeug übernommen. Das folgende Kapitel legt einen Entwurf für ein solches Planungswerkzeug sowie dessen Anwendung in der Planung dar.*

### Inhaltsverzeichnis

---

<b>5.1</b>	<b>Verwendung des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung.....</b>	<b>81</b>
5.1.1	Rollenmodell .....	81
5.1.2	Rollenbezogene Abstimmung .....	84
<b>5.2</b>	<b>Entwurf eines prototypischen Planungswerkzeugs.....</b>	<b>86</b>
5.2.1	Datenbankstruktur .....	86
5.2.2	Applikation.....	89
<b>5.3</b>	<b>Anwendung des Planungswerkzeugs.....</b>	<b>93</b>
5.3.1	Funktionalität .....	93
5.3.2	Unterstützung der Planung .....	98
<b>5.4</b>	<b>Nutzen des prototypischen Planungswerkzeugs.....</b>	<b>100</b>

---

Nach der Definition eines Informationsmodells zur Beschreibung von Automatisierungskonzepten in Kapitel 4 beschäftigt sich das folgende Kapitel mit der Umsetzung der Planung von Automatisierungslösungen auf Basis des entwickelten Modells. Hierzu beschreibt Abschnitt 5.1 zunächst dessen Verwendung durch den rollenorientierten Einbezug der verschiedenen Stakeholder-Gruppen in die Konzeptabstimmungen. Anschließend beschreibt Abschnitt 5.2 den prototypischen Entwurf einer Datenbankstruktur sowie einer Softwareapplikation zur Unterstützung der Konzipierung von Automatisierungslösungen und der Zusammenarbeit der betroffenen Stakeholder. Die mögliche Anwendung im Planungsprozess sowie den zu erwartenden Nutzen eines solchen Planungswerkzeuges legen die Abschnitte 5.3 bzw. 5.4 dar.

### **5.1 Verwendung des Informationsmodells zur Planung und Ausschreibung**

Da ein Planer bei der Konzipierung einer Automatisierungslösung vielfältige Anforderungen und Bedingungen unterschiedlicher Stakeholder berücksichtigen muss, gestaltet sich die Abstimmung der teils konträren Forderungen oft schwierig. Eine Unterstützung hierzu bietet das Informationsmodell, da es die Verfügbarkeit der Planungsdaten erhöht und somit eine frühzeitige Einbeziehung aller Interessenten ermöglicht. Ein Rollenmodell legt die Berücksichtigung aller Stakeholder-Gruppen fest und verknüpft die verschiedenen Abstimmungen mit den relevanten Planungsdaten innerhalb des Informationsmodells.

#### **5.1.1 Rollenmodell**

Das *Rollenmodell* beschreibt die am Planungsprozess beteiligten Stakeholder mit ihren Aufgaben und Verantwortlichkeiten sowie ihren individuellen Interessen an den Automatisierungskonzepten. Abbildung 5-1 gibt einen Überblick über die wichtigsten Gruppen mit ihren jeweiligen Rollen. Aufgabe der rollenbezogenen Abstimmung der unterschiedlichen Interessen ist die frühzeitige Erzielung eines kompatiblen Anlagen-Gesamtsystems. Dadurch sollen insbesondere Fehler vermieden werden, die bei zu spätem Erkennen erheblichen Änderungsaufwand nach sich ziehen. Aus Perspektive der Automatisierungstechnik-Planung beinhaltet das Rollenmodell nur Eigenschaften, die für die Konzipierung von Automatisierungslösungen von Bedeutung sind.

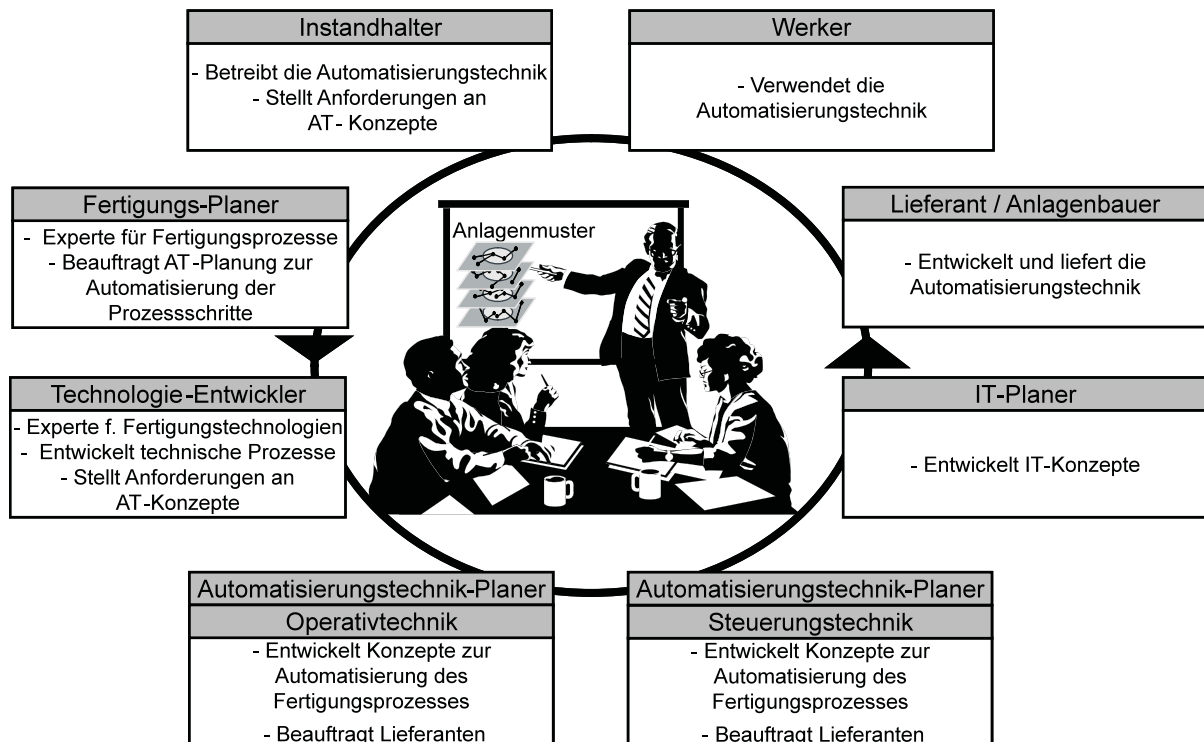


Abbildung 5-1: Rollenmodell der Automatisierungstechnik-Planung

**Automatisierungstechnik-Planer für Operativtechnik:** Der Planer für Operativtechnik entwickelt Konzepte zur Automatisierung des Fertigungsprozesses. Dazu sind die verschiedenen Anforderungen an die Konzepte im Unternehmen zu ermitteln und mit dem Lieferanten oder Anlagenbauer zu diskutieren. Auf der Suche nach einer realisierbaren Lösung wird teilweise auf bestehende Produkte zurückgegriffen oder es werden Neuentwicklungen beim Lieferanten angestoßen. Tabelle 5-1 zeigt einige Arten von Anforderungen, die sich dem Planer von unterschiedlichen Seiten stellen.

Rolle	Anforderungen
Fertigungs-Planer	Taktzeit, Fertigungsfunktionen
Instandhalter	Verfügbarkeit, Wartbarkeit
Werker	Arbeitssicherheit, Ergonomie
Technologie-Entwickler	Serientauglichkeit technischer Prozesse

Tabelle 5-1: Anforderungen an die Operativtechnik

**Automatisierungstechnik-Planer für Steuerungstechnik:** Die Aufgabe dieser Planer besteht in der Erarbeitung von Konzepten zur Befähigung der Operativtechnik. Die Realisierung der Konzepte erfolgt in der Regel ausschließlich unter Verwendung marktgängiger Geräte. Die einzelnen Komponenten aus Hard- und Software werden getestet und zur Verwendung freigegeben. Ein Anlagenbauer realisiert die Steuerungstechnik mit den freigegebenen Komponenten gemäß den vorgegebenen Konzepten. Es sind umfangreiche Abstimmungen mit den Planern der Operativtechnik sowie der IT notwendig. Tabelle 5-2 zeigt einige Arten von Anforderungen, die sich an die Steuerungstechnik stellen.

Rolle	Anforderungen
Fertigungs-Planer	Taktzeit, Steuerungsfunktionen
Instandhalter	Verfügbarkeit, Wartbarkeit
Operativtechnik	Signale, Daten

**Tabelle 5-2: Anforderungen an die Steuerungstechnik**

**Technologie-Entwickler:** Technologie-Entwickler arbeiten eng mit den Produktentwicklern zusammen. Sie entwickeln und testen technische Prozesse zur Herstellung der Produkte in der automatisierten Serienfertigung. Als Beispielen wären Prozesse der Verbindungstechnik wie das Schweißen hochfester Stähle oder auch Montage- und Fügevorgänge zu nennen. Die hieraus entstehenden Anforderungen richten sich in erster Linie an die Operativtechnik, welche die technischen Prozesse in der Fertigung umsetzt.

**Fertigungs-Planer:** Der Fertigungs-Planer arbeitet im Simultaneous Engineering eng mit dem Produktentwickler zusammen und definiert den Fertigungsprozess eines Produkts. Aus den einzelnen Prozessschritten sowie aus weiteren Randbedingungen wie Taktzeit oder Automatisierungsgrad ergeben sich Anforderungen an die Automatisierungstechnik.

**Instandhalter:** Der Instandhalter betreibt und wartet eine automatisierte Fertigungsanlage. Er trägt die Verantwortung für die Verfügbarkeit der Anlage und muss daher stets zum Beheben unvorhergesehener Probleme verfügbar sein. Daher betreffen



Anforderungen an die Automatisierungskonzepte aus der Instandhaltung in der Regel Wartungs- und Verfügbarkeitsthemen.

**Werker:** Vor allem in der Montage, wo ein hoher manueller Arbeitsanteil vorzufinden ist, arbeitet der Werker eng mit der Automatisierungstechnik zusammen. In diesem Fall müssen die Automatisierungskonzepte nicht nur die Technik, sondern auch das bedienende Personal einbeziehen. Anforderungen ergeben sich in diesem Fall aus dem Bereich Ergonomie und Arbeitssicherheit.

**Lieferant / Anlagenbauer:** Der Lieferant bzw. der Anlagenbauer übernimmt mit der Konstruktion und Realisierung der Automatisierungstechnik den nächsten Schritt im Anlagenerstellungsprozess nach der Planung. Er ist Empfänger der Ausschreibungsunterlagen und bietet Lösungen für die dort beschriebenen Anforderungen. Aufgrund der Komplexität und der Individualität der technischen Lösungen finden aber schon im Vorfeld einer Beauftragung ausführliche Abstimmungen mit der Planung statt. Für die Konzepterstellung in der Planung beschreiben die Lieferanten und Anlagenbauer Rahmenbedingungen durch die technischen Möglichkeiten ihrer Lösungen.

**IT-Planer:** In der IT-Planung werden Konzepte entwickelt, die eine Art übergreifende Dateninfrastruktur für die Fertigungsanlagen bilden. Mit derartigen Konzepten werden beispielsweise Prozess- und Qualitätsdaten übergeben und verarbeitet. Daher ist eine Abstimmung der Konzepte der IT-Planung mit Konzepten der Automatisierungstechnik-Planung in erster Line bezüglich der Signalübergabe und der Schnittstellen notwendig.

### 5.1.2 Rollenbezogene Abstimmung

*Abstimmungen* unter den verschiedenen Interessenten sind das zentrale Instrument, um die Entwicklung eines kompatiblen und wiederverwendbaren Anlagen-Gesamtsystems zu erreichen. Ziel dabei ist es, Änderungen am Konzept der Automatisierungslösung nach Abschluss der Planungsphase zu vermeiden. Hierzu sind umfangreiche und möglichst frühzeitige Abstimmungen mit allen beteiligten Stakeholdern erforderlich. Abbildung 5-2 gliedert die Abstimmungen in den Verlauf der Planung ein und verbindet somit die unterschiedlichen Konzipierungsprozesse der jeweiligen Komponenten.

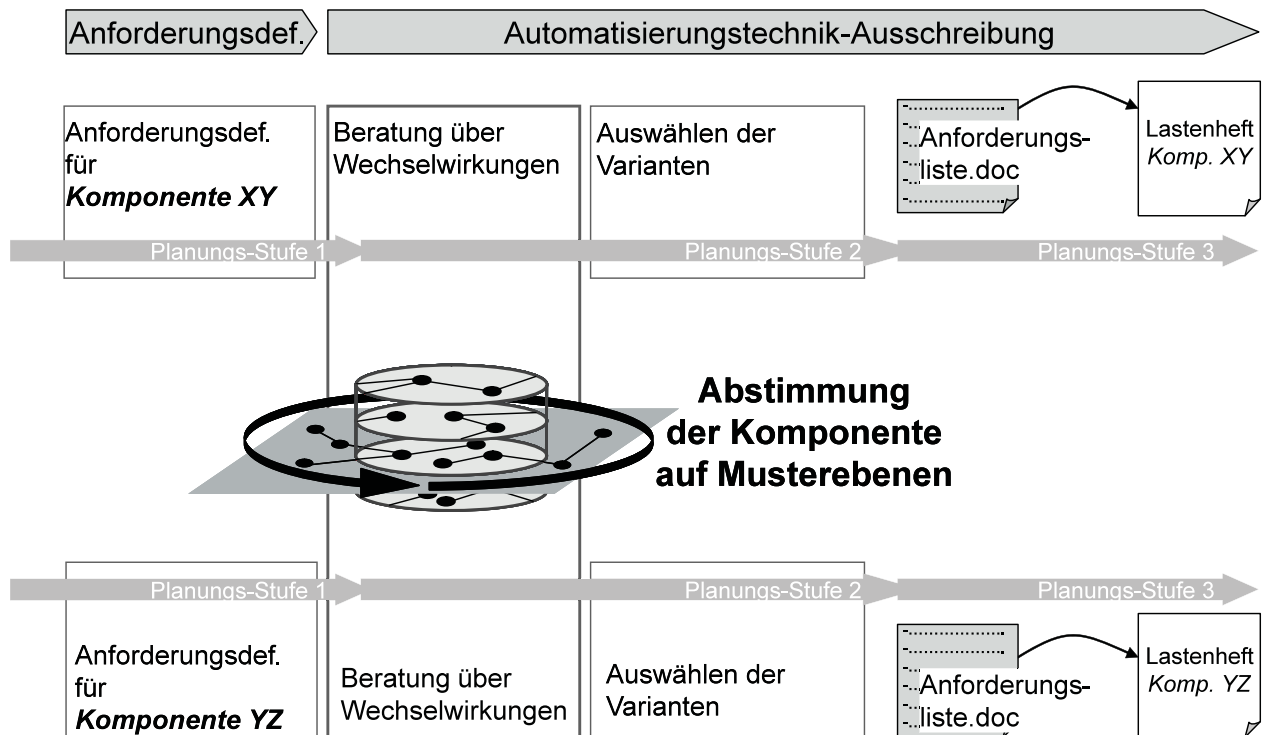
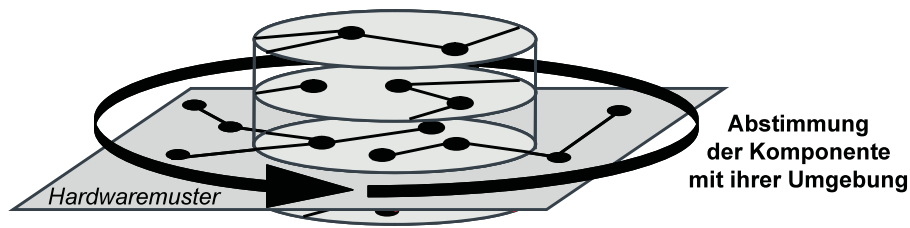


Abbildung 5-2: Ebenenbezogene Abstimmungen der Planer im Projektverlauf

Das Vorgehen zur Abstimmung folgt in der Regel den vier Komponentendisziplinen bzw. Musterebenen. So findet etwa mit dem Fertigungsplaner zunächst eine Abstimmung des Prozesses statt, welcher eine Komponente in einem Fertigungssystem realisieren soll. Auf nächst tieferer Ebene erfolgt eine Abstimmung über Fragen der Software, die den Prozess realisiert. Eine solche Abstimmung kann etwa Schnittstellen zu übergreifenden IT-Systemen mit den IT-Planern betreffen oder auch Fragen der Bedienung mit den Gruppen der Instandhalter und Werker klären. Wie in Abbildung 5-3 angedeutet, sind auf Ebene der Hardware beispielsweise Fragen der Zugänglichkeit am zu montierenden Produkt mit dem Lieferanten zu besprechen. Dagegen kann auf Vorrichtungsebene etwa die Fixierung der Komponente am Anlagenstahlbau mit dem zuständigen Planer für die Fördertechnik vereinbart werden.



**Abbildung 5-3: Abstimmung einer Planungskomponente auf Hardwareebene**

Das Ziel dieser Abstimmungen ist die Modellierung einer kompatiblen Gesamtlösung mit Hilfe des Informationsmodells. Hierzu ist ein Planungswerkzeug notwendig, das die Speicherung sowie die Handhabung der anfallenden Daten ermöglicht. Die folgenden Abschnitte stellen den Entwurf sowie die prototypische Implementierung eines solchen Planungswerkzeugs vor.

## 5.2 Entwurf eines prototypischen Planungswerkzeugs

Zur praktischen Verwendung des Informationsmodells im Planungsverlauf wird ein Werkzeug in Form einer Client-Server-basierten<sup>29</sup> Softwareapplikation sowie einer zugehörigen Datenbasis entworfen. Das webbasierte System wurde unter der Bezeichnung *ATPlan*<sup>30</sup> prototypisch implementiert. Die Abschnitte 5.2.1 und 5.2.2 geben einen Überblick über die aus dem Informationsmodell abgeleitete Datenbankstruktur sowie über die Softwareapplikation mit den verwendeten Technologien.

### 5.2.1 Datenbankstruktur

Die Datenbank dient der Speicherung und Bereitstellung von Planungsdaten zur Verarbeitung in einem informationstechnischen Planungswerkzeug. Sie implementiert das zuvor dargestellte Informationsmodell in einer relationalen Datenbank und ergänzt dieses um die Unterteilung in Bibliotheks- und Projektdaten.

Gemäß dem relationalen Ansatz werden die Planungsdaten in Tabellen abgelegt, die durch Relationen miteinander in Verbindung stehen. Ziel dabei ist es, eine möglichst konsistente und redundanzfreie Datenhaltung zu gewährleisten. Die Abbildungen 5.4 bis 5-6 zeigen die Tabellen der Datenstruktur. Es ist leicht zu erkennen, dass sich die wesentlichen Klassen des Informationsmodells in Form von Tabellen in der

---

<sup>29</sup> Bei der Client-Server-Architektur stellt ein Server Daten zur Verfügung, auf die ein Client zugreifen kann.

<sup>30</sup> *ATPlan*: Automatisierungstechnik Planer.

Datenstruktur wiederfinden. In einer relationalen Datenbank werden diese Tabellen als Entitäten bzw. als die Ausprägung der Entitäten bezeichnet. Zur praktischen Verwendung der Datenbank sind allerdings noch weitere Tabellen notwendig, die die Beziehungen zwischen den Entitäten darstellen. Diese Beziehungen werden als Relationen bzw. als Ausprägung der Relationen in Form von Tabellen bezeichnet.<sup>31</sup>

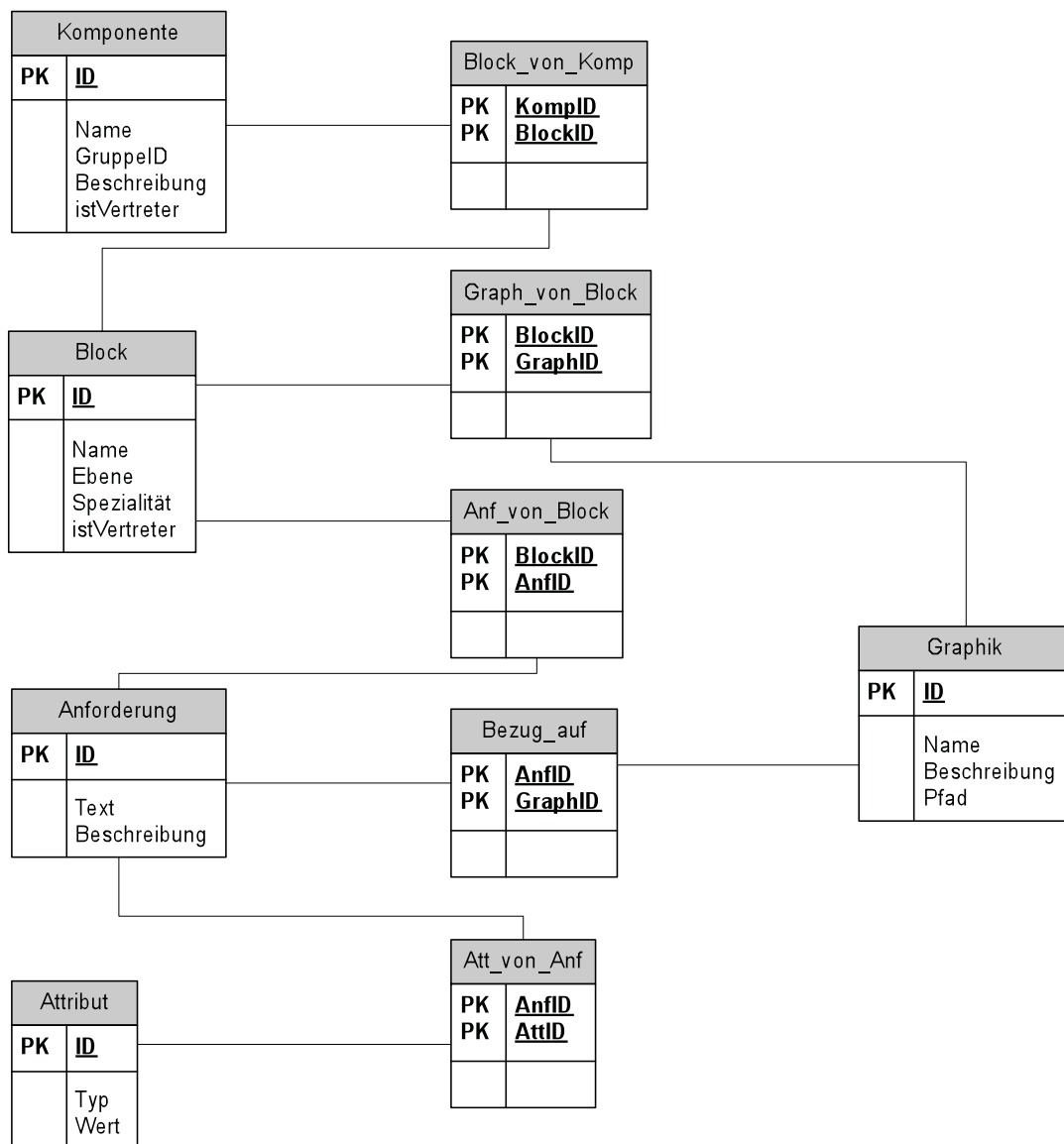


Abbildung 5-4: Datenstruktur Teil 1 – Komponente

<sup>31</sup> siehe hierzu etwa [Kemper+01].

Die Aufteilung der Datenstruktur in drei verschiedene Abbildungen erfolgt lediglich aus Übersichtsgründen. Die Tabellen aller drei Abbildungen sind alle direkt oder indirekt miteinander verbunden. In Abbildung 5-5 und 5-6 soll dies durch die Wiederholung der Tabelle *Komponente* angedeutet werden, die eigentlich nur einmal dargestellt sein dürfte.

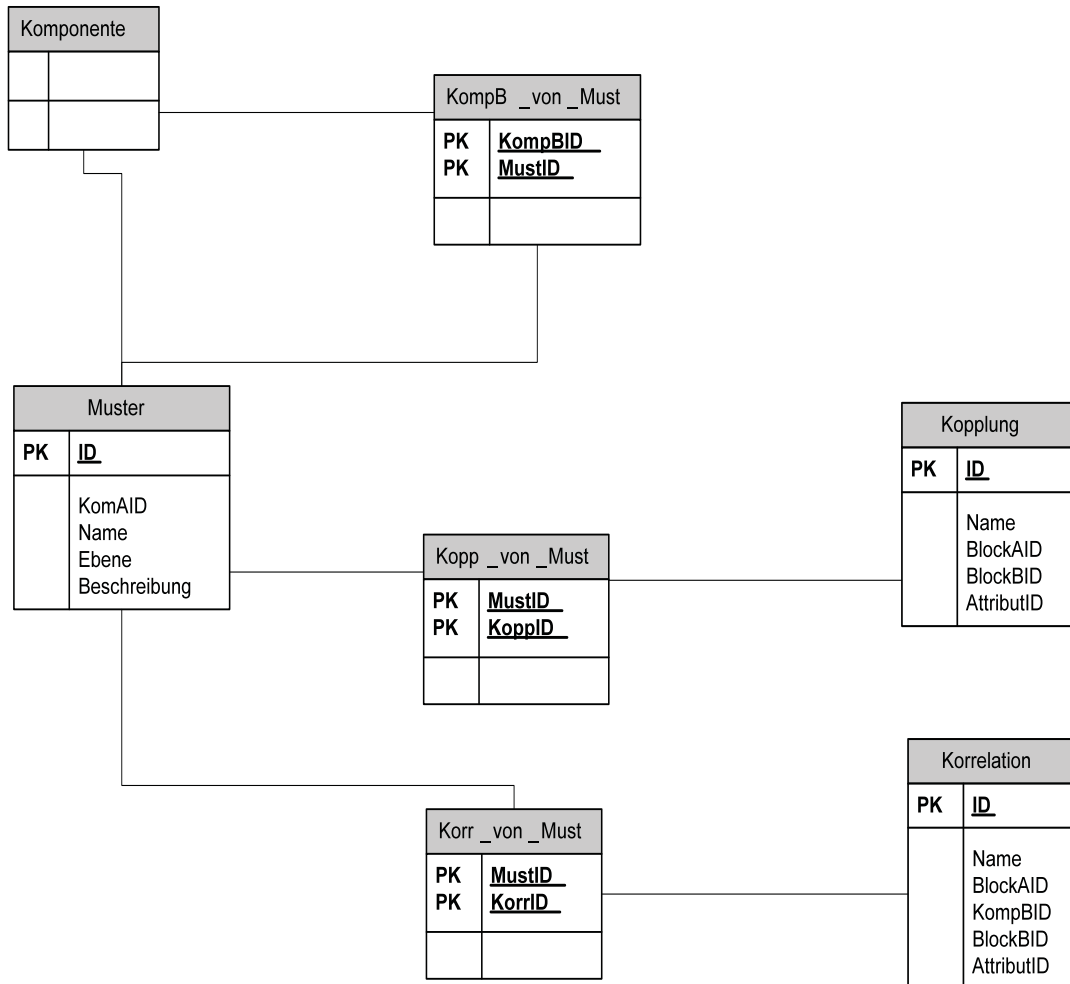


Abbildung 5-5: Datenstruktur Teil 2 - Muster

Um einen Datensatz der Datenbank eindeutig identifizieren zu können, verfügt jede Tabelle bzw. jeder Datensatz über einen sogenannten Primärschlüssel<sup>32</sup>. Soll beispielsweise die Zugehörigkeit einer bestimmten Korrelation zu einem bestimmten Muster in der Datenbank abgespeichert werden, wird diese Information in der Ausprägung der Relation zwischen den Tabellen *Muster* und *Korrelation* abgelegt. Diese Ausprägung entspricht der Tabelle *Korr\_von\_Must*, die die beiden Primärschlüssel der

<sup>32</sup> Primärschlüssel sind in den Tabellen durch die Buchstaben „PK“ für primary key gekennzeichnet.

Tabellen *Muster* und *Korrelation* beinhaltet. Gehört also die Korrelation mit der ID = 500 zu dem Muster mit der ID = 100, wird in der Tabelle *Korr\_von\_Must* der Datensatz 100; 500 gespeichert. Die erste Spalte entspricht der ID des Musters und die zweite der ID der Korrelation. Beide Spalten zusammen ergeben in diesem Fall den eigenen Primärschlüssel der Tabelle *Korr\_von\_Must*.

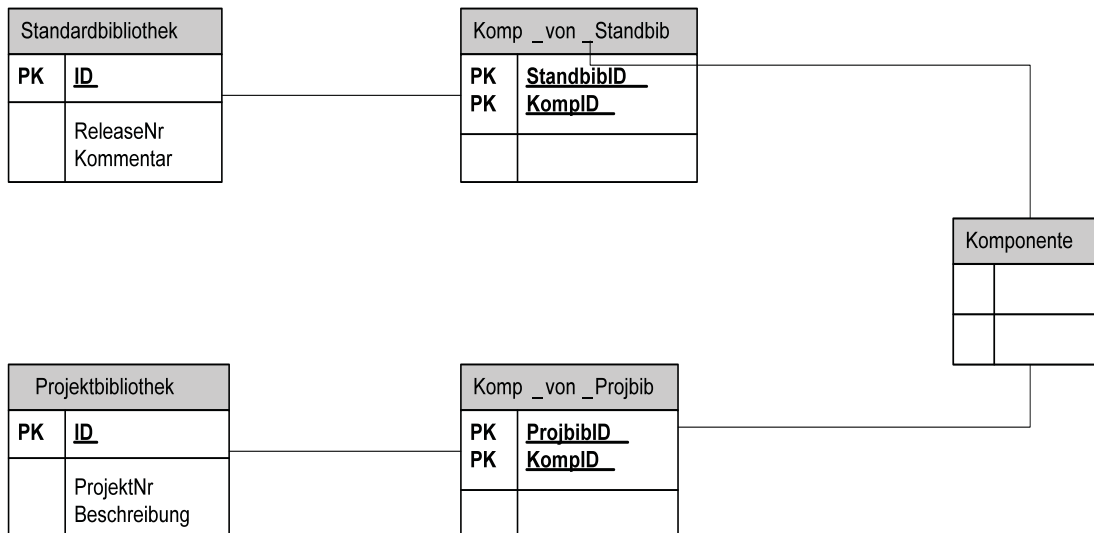


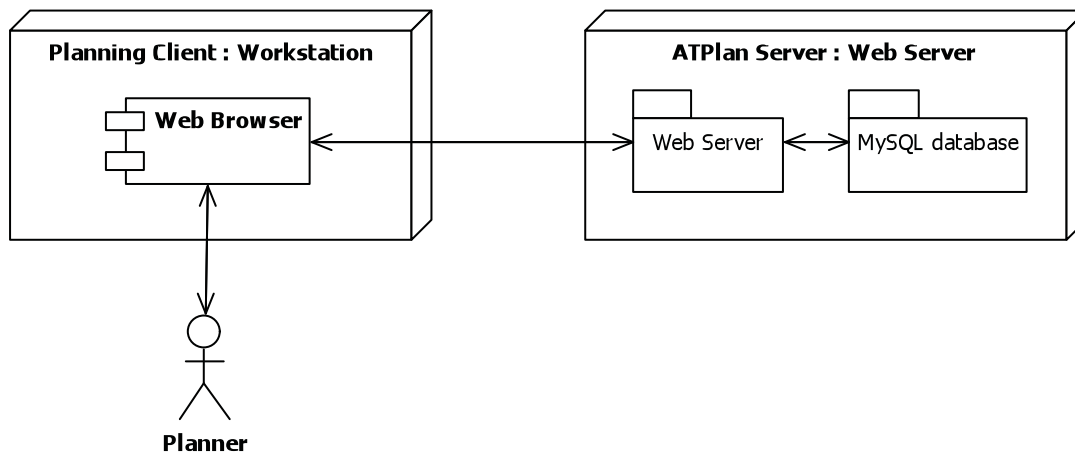
Abbildung 5-6: Datenstruktur Teil 3 – Standard- und Projektbibliothek

Der dritte Teil der Datenstruktur zeigt in Abbildung 5-6 die Tabellen *Standardbibliothek* und *Projektbibliothek*, die im Informationsmodell nicht definiert wurden. Diese Bibliotheken erlauben die Unterscheidung zwischen projektneutralen Standard-Planungskomponenten und solchen, die für bestimmte Projekte angepasst wurden. Dadurch eröffnet sich die Möglichkeit, auch spezielle projektbezogene Konfigurationen als Variante der ursprünglichen Planungskomponente abzuspeichern. In der hier implementierten Form ist allerdings zu beachten, dass durch die Erzeugung von projektbezogenen Varianten Redundanzen entstehen, die nicht überprüft oder gespiegelt werden.

## 5.2.2 Applikation

Als Werkzeug zur Umsetzung der Planungsmethode wurde eine prototypische Software-Applikation mit der Bezeichnung *ATPlan* implementiert. Aufgabe des *ATPlan*-Tools ist die Editierung, Speicherung, Darstellung und Ausgabe von Planungsdaten durch die Interaktion mit einem oder mehreren Planern. Zur Ermöglichung des verteilten Zugriffs

auf die Daten durch mehrere - auch örtlich getrennte - Planer wurde eine Architektur des Systems nach dem Client-Server-Muster gewählt. [Buschmann+98] Die Darstellung und Bearbeitung durch den Planer erfolgt am Client mit Hilfe eines Standard-Web-Browsers. Dadurch kann auf eine Installation der Applikation am PC des Planers verzichtet werden. Die gesamte Anwendung wird auf dem *ATPlan*-Server ausgeführt und mit Hilfe von Skripten teilweise an den Client übertragen.



**Abbildung 5-7: Client-Server Architektur des Planungswerkzeugs.**

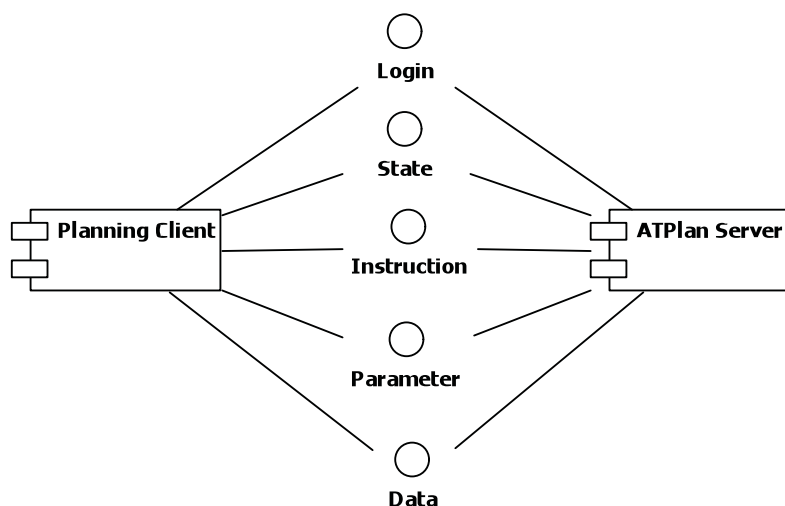
Die Applikation ist in der Programmiersprache Java [Jobst06] implementiert und wurde mit Hilfe eines Apache Web Servers [Seiler-Hornke+03] für den webbasierten Zugriff veröffentlicht. Zum Ausführen der Java-Servlets und Java-Server-Pages wird Tomcat als add-on des Apache Webservers verwendet. Die Interaktion mit dem Benutzer erfolgt am Web Browser des Client-PCs durch eine dynamische Webseite. Wie bei dynamischen Webseiten üblich, gibt es eine ganze Reihe von Operationen, die unmittelbar beim Client ausgeführt werden können. Diese Programmteile werden beim Aufruf der Seite mit Hilfe von JavaScripts [Koch99] übertragen. Scripte werden zur Verteilung in Web und zur Ausführung auf einer dynamischen Website in HTML<sup>33</sup> eingebettet und im Zusammenhang mit der HTML-Beschreibung der Seite abgearbeitet. [Dehnhardt01] Die Darstellung der Webseiten erfolgt mit HTML und Cascading Stylesheets, wodurch die bei modernen Webseiten übliche Trennung zwischen Inhalt und Design vollzogen ist. [Andrew+06]

---

<sup>33</sup> HTML: Hypertext Markup Language

Auf der Serverseite werden die Planungsdaten in einer My-SQL Datenbank gespeichert, welche die zuvor entwickelte relationale Datenstruktur enthält. [Bornträger04] Der Zugriff auf die Datenbank erfolgt durch die serverseitige Java-Applikation, die je nach Anfrage des Benutzers Daten aus der Datenbank abrufen und an den Client überträgt oder neue Daten in der Datenbank abspeichert. Die Herausforderung beim Zugriff auf die Daten besteht in den unterschiedlichen Ansätzen einer relationalen Datenbank und einer objektorientierten Java-Anwendung. Zur korrekten Übergabe der Daten zwischen diesen beiden Welten bedarf es eines so genannten objektrationalen Mappers<sup>34</sup>, der im *ATPlan-Server* durch Hibernate realisiert wurde. [Beeger+06]

Über die Schnittstellen zwischen *Planning Client* und *ATPlan Server* kann der Benutzer auf das Planungswerkzeug bzw. die Planungsdaten zugreifen. Die *Login*-Schnittstelle ermöglicht die Anmeldung der verschiedenen Benutzer am Server sowie seiner Autorisierung zur Verwendung der Anwendung gemäß einer Nutzerrolle. Die *State* Schnittstelle übergibt den Zustand der Client-Seite gemeinsam mit einer Anweisung der *Instruction* Schnittstelle. Lautet die übergebene Anweisung etwa „löschen“, so kann die Business Logic der Server-Anwendung aus dem Zustand der Client-Seite ableiten, was gelöscht werden soll – beispielsweise eine Anforderung. Die *Parameter* Schnittstelle übergibt weitere Anweisungen, die durch Aktionen des Benutzers, wie etwa das Ziehen eines Blocks in ein Muster, ausgelöst werden. Mit Hilfe der *Data* Schnittstelle werden alle Daten von oder zur Datenbank übertragen. Abbildung 5-8 bietet eine Übersicht der Schnittstellen.



**Abbildung 5-8: Schnittstellenübersicht der Client-Server-Architektur**

<sup>34</sup> OR-Mapper



Die Bereitstellung und Verarbeitung der Daten erfolgt, abgesehen von den an den Client übertragenen Skripten, auf der Serverseite. Der Teil der Java-Anwendung, der für die Verarbeitung der Daten zuständig ist und den Zugriff auf die Datenbank organisiert, wird als Business Logic bezeichnet. Abbildung 5-9 zeigt die wichtigsten Komponenten der Business Logic, die den Großteil der Toolfunktionalität zur Editierung, Speicherung, Darstellung und Ausgabe von Planungsdaten implementiert. Mit Hilfe der Komponenten *create*, *delete* und *attach* werden Datensätze erzeugt, gelöscht oder mit anderen verbunden. Zur zentralen Verwaltung der Primärschlüssel aller verwendeten Datensätzen dient die Komponente *key\_handling*. Für den Abruf und das Speichern von Daten hält die Komponente *call* entsprechende Funktionalitäten bereit. Die Darstellung der abgerufenen Daten bzw. die Organisation der dynamischen Seiteninhalte erfolgt durch die Zusammenarbeit mit der Komponente *display*. Die zur Darstellung von Korrelationen bzw. Mustern teilweise notwendigen Stellvertreter für Planungskomponenten oder Blöcke verwaltet die Komponente *proxy\_handling*. Alle Aktionen der Business Logic, die in irgendeiner Weise Auswirkungen auf die gespeicherten Daten haben, werden in der Komponente *db\_access* gebündelt, welche den Zugriff auf die My-SQL Datenbank steuert.

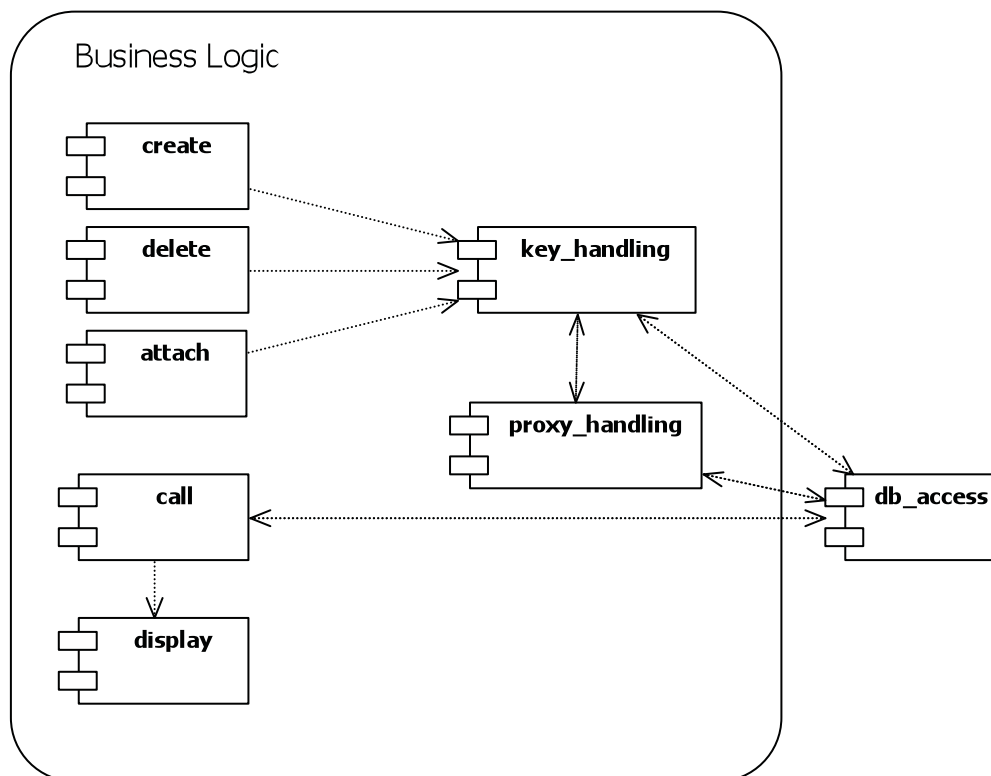


Abbildung 5-9: Business Logic der Java-Applikation

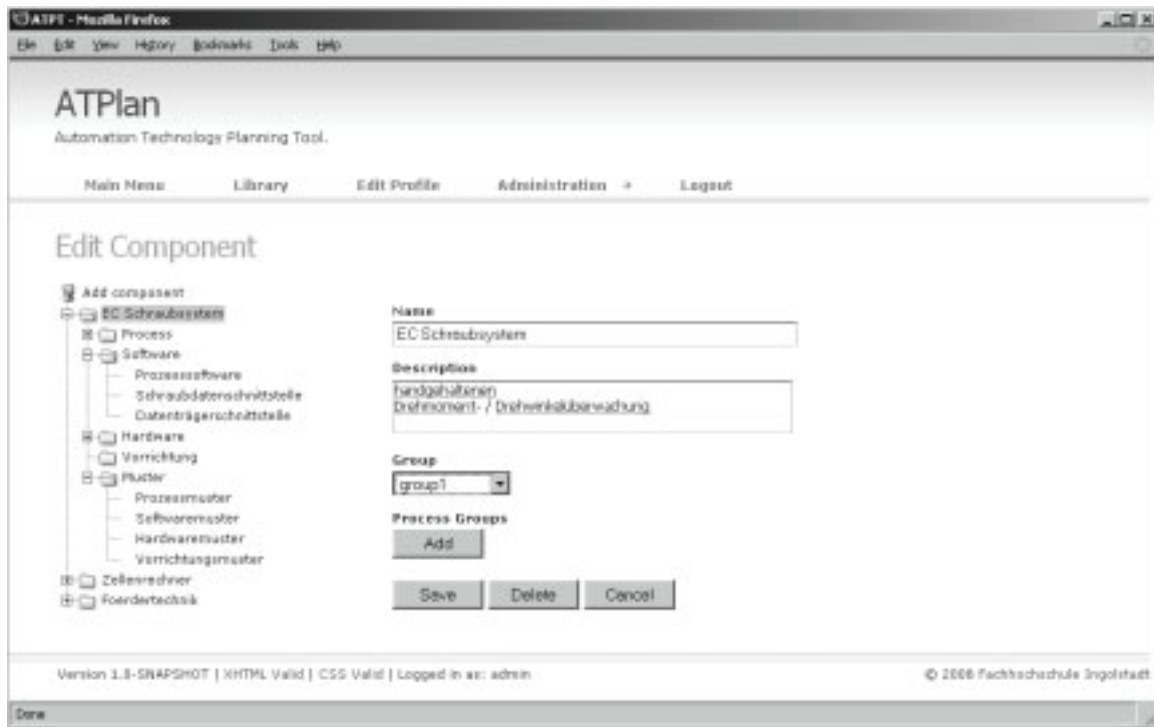
Die dargestellten Komponenten beinhalten die Hauptfunktionalität des Planungswerkzeugs, die für die Umsetzung der Planung erforderlich ist. Zum Betrieb und zur praktischen Verwendung der Applikation existieren tatsächlich noch eine ganze Reihe weiterer Softwareteile. Beispiele sind etwa die Benutzerverwaltung oder das Datenbankmanagementsystem. Auf die Beschreibung dieser Programmteile wird jedoch verzichtet, da hier nur das Prinzip eines informationstechnischen Planungswerkzeugs aufgezeigt werden soll. Ebenso wird auf die detaillierte Beschreibung der Webseitenstruktur verzichtet. Der prinzipielle Aufbau der Webseiten ergibt sich aus der folgenden Beschreibung des dynamischen Verhaltens der Anwendung.

### 5.3 Anwendung des Planungswerkzeugs

Die Funktionalität des *ATPlan*-Tools ermöglicht die Modellierung und Verwendung von Automatisierungskonzepten zur Planung und Ausschreibung der Automatisierungstechnik. Darüber hinaus ermöglicht *ATPlan* eine neue Qualität der Kommunikation der beteiligten Planer zur Abstimmung ihrer Konzepte. Dadurch lassen sich getroffene Abstimmungen nicht nur projektübergreifend konservieren; durch die Werkzeugunterstützung bei der Planung können sich die Planer auch wieder stärker auf ihre Kernkompetenz der kreativen Konzeptentwicklung konzentrieren.

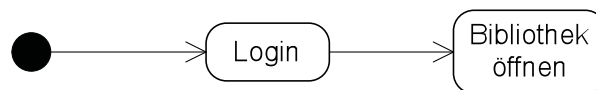
#### 5.3.1 Funktionalität

Der Beschreibung der statischen Softwarestruktur folgt die Darstellung der Funktionalität des prototypischen Planungswerkzeugs in Form einer Modellierung des dynamischen Verhaltens. Dabei wird in erster Line auf die Spezifikation projektneutraler Standard-Planungskomponenten sowie auf deren projektbezogene Konfiguration und Verwendung eingegangen. Abbildung 5-10 zeigt den Screenshot einer *ATPlan*-Benutzeroberfläche in einem Standard-Webbrowser. Der Aufbau der Webseite besteht aus einer Baustruktur auf der linken Seite, welche die Komponenten und Bibliotheken darstellt sowie Eingabe- bzw. Darstellungsfeldern auf der rechten Seite. Auf diesen grundsätzlichen Aufbau wird in den folgenden Ausführungen verwiesen.



**Abbildung 5-10: ATPlan Benutzeroberfläche: neue Komponente erstellen**

Zu Beginn einer Sitzung mit dem *ATPlan*-Tool steht der Login eines Benutzers am *ATPlan*-Server. Gemäß seiner Rolle werden dem angemeldeten Benutzer verschiedene Rechte zum Lesen und Schreiben der Planungsdaten zugewiesen. Nach der Anmeldung am System kann zwischen der Standard- oder Projektbibliothek gewählt werden, in welcher der Zugriff auf die gesuchten Planungskomponenten erfolgt.



**Abbildung 5-11: Aktivitätsdiagramm: Anmelden am ATPlan-Server**

Abbildung 5-11 ist zu entnehmen, dass sich nach dem Anmeldebildschirm direkt die Anzeige der verschiedenen Bibliotheken bzw. die Komponenten öffnet. Deren Darstellung erfolgt in einer Baumstruktur auf der linken Bildschirmseite. Die Erzeugung einer neuen Planungskomponente erfolgt durch einen Klick auf den Wurzelknoten der Bibliothek, in welcher die neue Komponente angelegt werden soll. Im rechten

Bildschirmbereich können Daten wie etwa der Name der Planungskomponente und weitere Informationen eingegeben werden. Durch Drücken des *Speichern*-Feldes wird die Komponente in die Baustruktur der Bibliothek aufgenommen. Eine neu hinzugefügte Planungskomponente verfügt automatisch über vier Unterordner, die die Unterteilung in die Komponentendisziplinen Prozess, Software, Hardware und Vorrichtung vornehmen. Innerhalb dieser Ordner können Blöcke auf die gleiche Art und Weise wie Komponenten erzeugt werden.

Bevor mit der Beschreibung des Automatisierungskonzepts durch Anforderungen und Graphiken begonnen wird, sollte die komplette Blockstruktur erstellt werden. Da ein Block je ein Teilkonzept des gesamten Automatisierungskonzepts umfasst, werden alle Anforderungen ausschließlich innerhalb der Blöcke definiert. Dazu stehen im rechten Bildschirmbereich entsprechende Eingabefelder zur Verfügung. Der vermutlich größte Aufwand der Planung besteht im Beschreiben des Automatisierungskonzepts durch Anforderungen und Graphiken. Editierungsfunktionen unterstützen diese Aufgabe so gut wie möglich. Nach Abschluss der Konzeptbeschreibung muss dessen Modellierung in der Planungskomponente durch Hinzufügen von Attributen sowie Kopplungen und Korrelationen vervollständigt werden. Durch entsprechende Eingabefelder und Schaltflächen im rechten Bildschirmbereich lassen sich diese Informationen einfach hinzufügen.

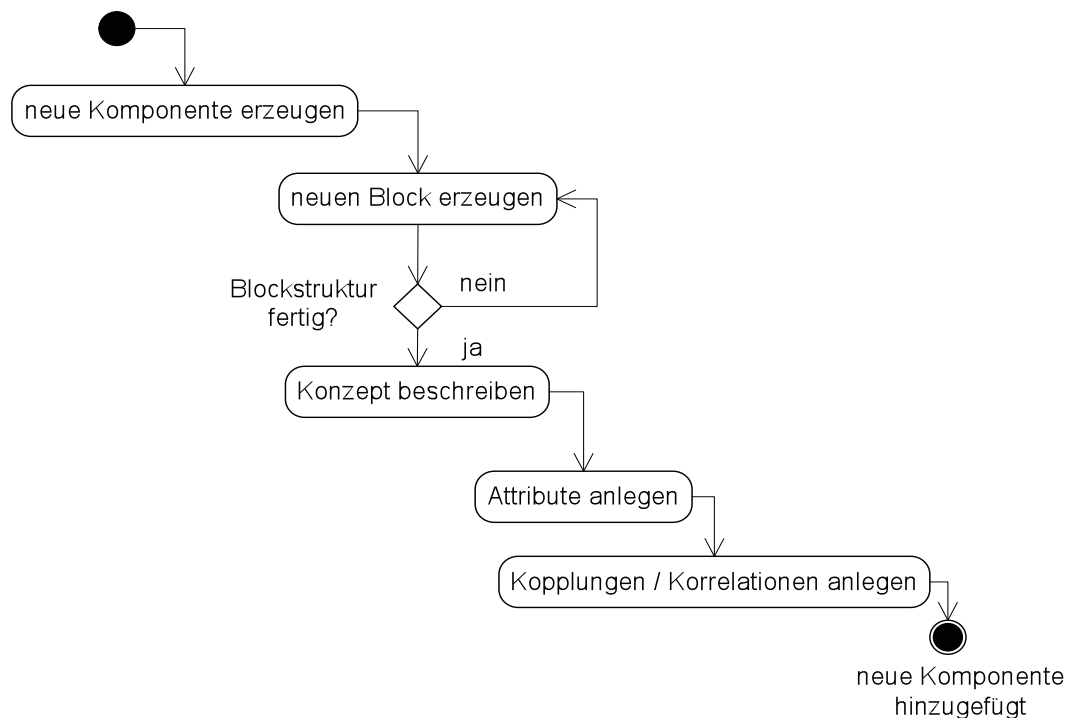


Abbildung 5-12: Neue Komponente anlegen

Anlagenmuster unterstützen die Integration eines Automatisierungskonzepts in das Anlagen-Gesamtsystem. Die Editierung der Muster ist zu jedem Zeitpunkt möglich, wodurch Muster einerseits zur Vorbereitung von Abstimmungen dienen und andererseits während deren Verlauf angepasst und verfeinert werden können. Die Visualisierung der Anlagenmuster dient hierzu als Gesprächsgrundlage mit der Möglichkeit, Abstimmungsergebnisse sofort zu dokumentieren. Vor der Darstellung von Blöcken und Korrelationen müssen diese dem jeweiligen Muster erst zugeordnet werden. Das erfolgt durch Ziehen eines Blocks aus der Baumstruktur in das geöffnete Musterfeld. Die hinzugefügten Blöcke inklusive deren Korrelationen zu Blöcken anderer Planungskomponenten werden sodann angezeigt. Abbildung 5-13 gibt das Beispiel einer Musteransicht im Planungswerkzeug wieder.

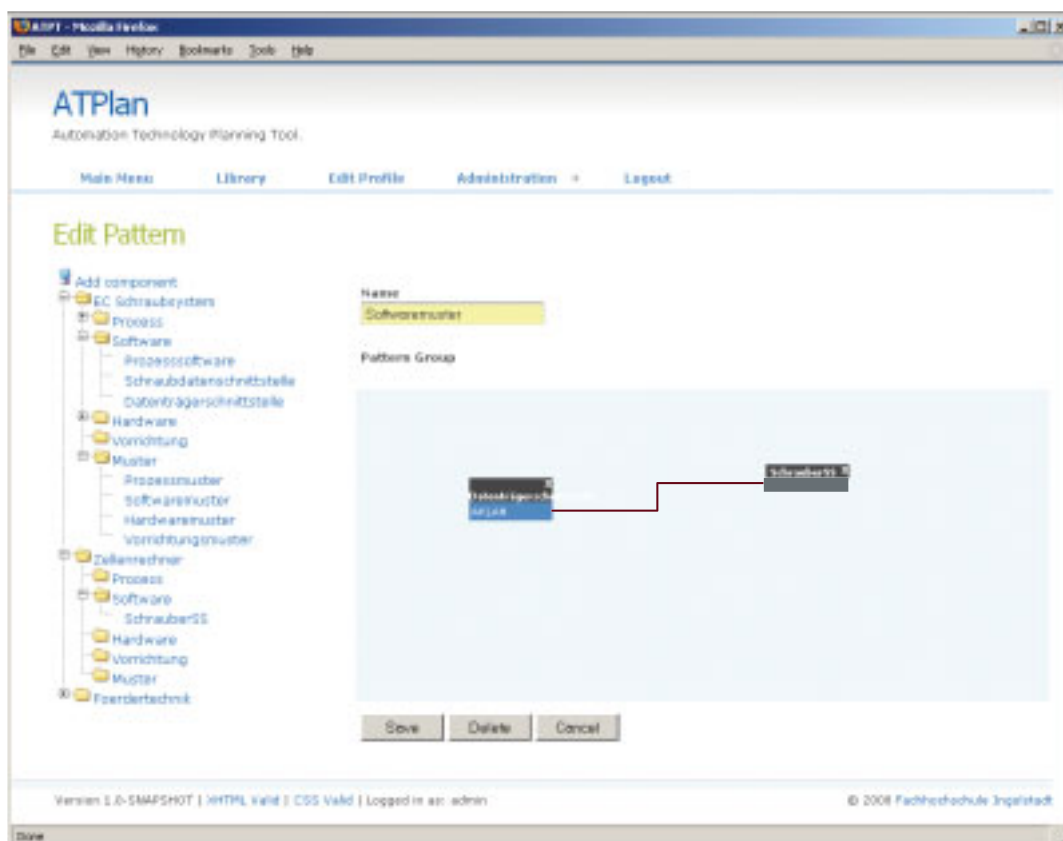
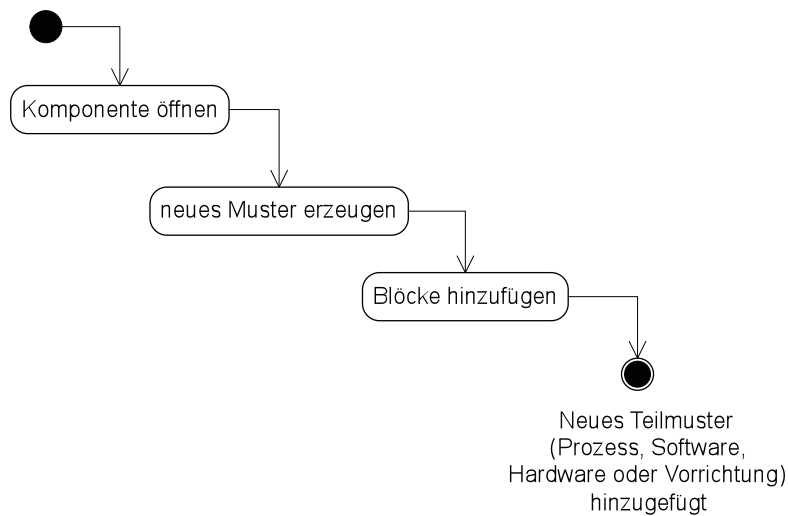


Abbildung 5-13: Musteransicht im ATPlan-Tool

Abbildung 5-14 zeigt das Vorgehen zum Hinzufügen oder Editieren eines Anlagenmusters. Die Speicherung der verschiedenen Muster findet innerhalb der Baumstruktur im Unterordner *Muster* der Planungskomponente statt. Die Erstellung neuer oder

verschiedener Muster ist beliebig, wird allerdings durch die Menge der Korrelationen begrenzt.

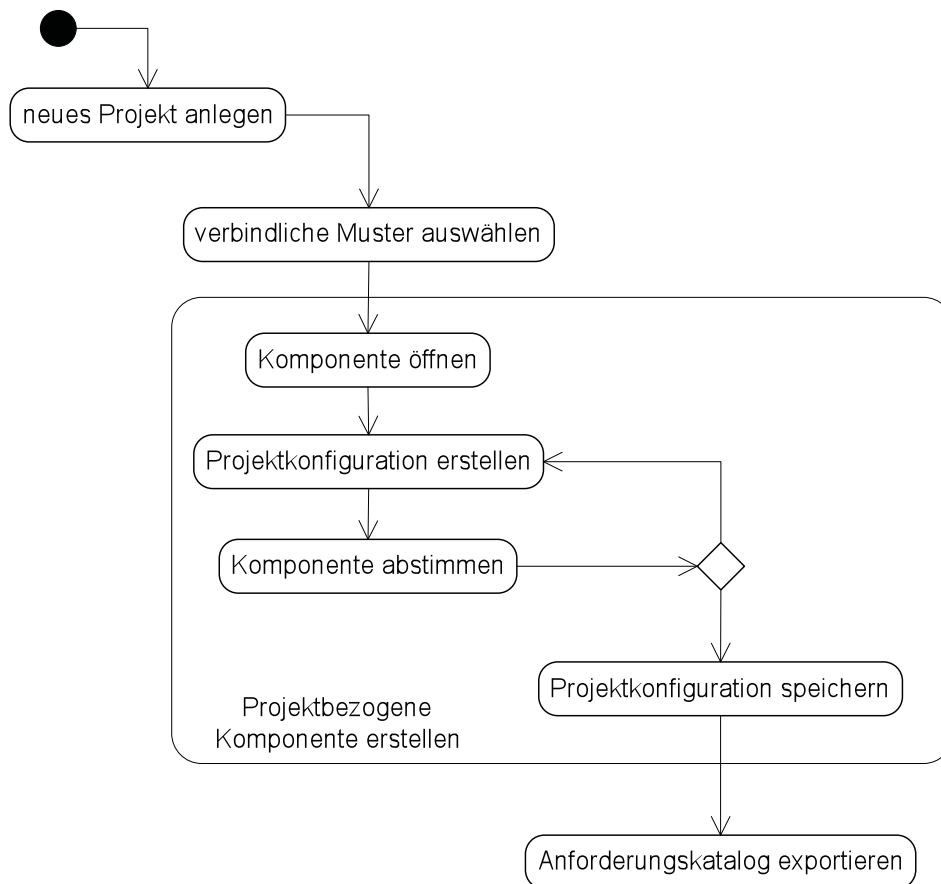


**Abbildung 5-14: Muster anlegen**

Nach Abschluss der Konzeptmodellierung wird die neu erstellte Planungskomponente in einer Standardbibliothek veröffentlicht und steht somit zur Verwendung in einem Automatisierungsprojekt zur Verfügung. Zur Bepanung eines neuen Automatisierungsprojekts muss dieses in der Projektbibliothek erzeugt und eine Referenz auf die verbindlich vorgeschriebenen Anlagenmuster ergänzt werden. Das neue Projekt steht dann für alle beteiligten Planer zur Verfügung und bildet die Plattform für die Abstimmungen und die Konfiguration der verschiedenen Komponenten.

Nach der Übernahme einer Planungskomponente aus der Standardbibliothek in die Projektbibliothek erfolgt eine automatische Aktivierung der verbindlichen Projektmuster dieser Komponente. Enthält die Standardkomponente kein passendes Anlagenmuster, wird die Komponente als nicht abgestimmt gekennzeichnet. Im Zuge der dann notwendigen Abstimmungen der Komponente mit den Nachbarkomponenten der Anlage entsteht das geforderte Muster Schritt für Schritt. Dabei - und ebenso beim Abstimmen einzelner nicht erfüllter Korrelationen eines bestehenden Musters - erfolgt eine Anpassung der Komponente an die Projektgegebenheiten. Diese als Projektkonfiguration bezeichnete Anpassung entsteht durch die Auswahl der gewünschten Variantenblöcke aus der Standardkomponente.

Wenn alle Planungskomponenten fertig abgestimmt vorliegen, gilt das Anlagen-Gesamtsystem als kompatibel. Im nächsten Planungsschritt folgt der Export der Anforderungslisten für jede einzelne Komponente und daraufhin die Erstellung der Komponentenlastenhefte. Abbildung 5-15 zeigt die Aktivitäten zum Erstellen einer projektbezogenen Konfiguration von Planungskomponenten.



**Abbildung 5-15: Projektkonfigurationen anlegen**

Die dargestellten Szenarien zeigen die Hauptfunktionalität des *ATPlan*-Werkzeugs zur Verwendung in der Komponentenerstellung und der Projektabwicklung. Die einzelnen Funktionen, Benutzerrollen und Bezeichnungen müssen im Zuge einer Integration der Planungsprozesse an die Unternehmensprozesslandschaft angepasst werden.

### 5.3.2 Unterstützung der Planung

Das Planungswerkzeug bietet die notwendige Funktionalität zur Verwendung des Informationsmodells in der Planung und unterstützt dadurch die Konzipierung und

Verwendung von Automatisierungslösungen. Zur Abstimmung der Lösungen bietet das *ATPlan*-Werkzeug nicht nur die Möglichkeit, Daten zu editieren und abzuspeichern, sondern stellt durch die webbasierte Lösung insbesondere eine Plattform zur Bearbeitung der Projekte mit vielen beteiligten Planern zur Verfügung.

Korrelationen stellen die Abstimmungsbedarfe der verschiedenen Planer bezüglich ihrer jeweiligen Planungskomponenten mit Hilfe der Mustervisualisierung dar. Die Dokumentation der Abstimmungen in Korrelationen erhält durch die Anlagenmuster projektübergreifende Gültigkeit. Abbildung 5-16 zeigt das Planungswerkzeug als Kooperations-Plattform der Planung.

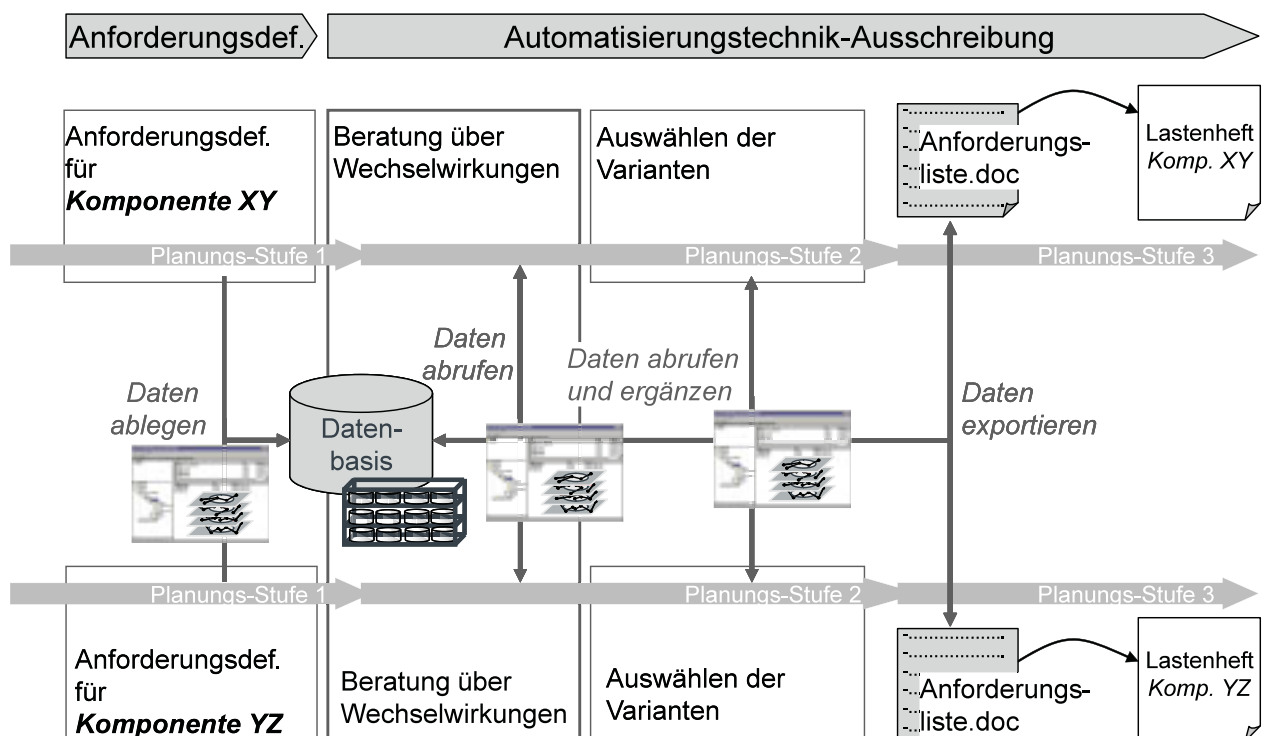


Abbildung 5-16: Planungswerkzeug als Kooperations-Plattform

Aus Abbildung 5-16 wird ersichtlich, wie das Planungswerkzeug die einzelnen Aktivitäten der verschiedenen Planer unterstützt. Jedes Automatisierungskonzept kann dabei in einem ganz eigenen, speziell auf die unterschiedlichen technischen Disziplinen zugeschnittenen Planungsprozess entwickelt werden. Auch die Art oder Detailliertheit der spezifizierten Planungsdaten spielt keine Rolle.



### **5.4 Nutzen des prototypischen Planungswerkzeugs**

Mit der Konzipierung und der prototypischen Implementierung eines Planungswerkzeugs wurde aufgezeigt, wie das entwickelte Informationsmodell in der Abwicklung der Automatisierungstechnik-Planung Verwendung finden kann. Zur praktischen Anwendung im Tagesgeschäft könnte der dargelegte Entwurf einerseits in einer eigenen Planungssoftware zur Produktreife gebracht werden, andererseits ist auch die Integration der Funktionalität in eine umfassende IT-Lösung denkbar. Hierzu wären unterschiedliche Anwendungen der Digitalen Fabrik oder des Funktionalen Engineerings geeignet. Entscheidend ist die Erkenntnis, dass der Einsatz eines Planungswerkzeugs nicht nur bei der Datenhaltung und der Datenverarbeitung hilfreich ist, sondern dass die verbesserte Zusammenarbeit der Planer eine hohe Effizienzsteigerung im Tagesgeschäft verspricht.

## 6 Bewertung und Validierung am Beispiel eines EC-Schraubsystems

*Die Bewertung des entwickelten Ansatzes erfolgt anhand der Verwendung des Informationsmodells zur Abwicklung eines exemplarischen Planungsszenarios. Dabei kommt das Planungswerkzeug ATPlan zur Anwendung, um das Konzept eines Schraubsystems einschließlich seiner Korrelationen zur Fördertechnik beispielhaft zu modellieren. Zur Untersuchung der Zweckmäßigkeit des Ansatzes wurden die realen Problemverursacher in einer beispielhaften Projektsituation mit erfahrenen Planern eines Partners der Automobilindustrie nachempfunden. Es ließ sich ein hoher Nutzen durch die umgesetzte Art der Datenverfügbarkeit erkennen, der allerdings von einer großflächigen Verwendung abhängt.*

### Inhaltsverzeichnis

---

<b>6.1 Erläuterungen zum Anwendungsbeispiel .....</b>	<b>102</b>
<b>6.2 Exemplarische Umsetzung der Automatisierungstechnik–Planung .....</b>	<b>104</b>
6.2.1 Komponentenspezifikation.....	105
6.2.2 Verwendung zur Projektabwicklung.....	110
<b>6.3 Bewertung der Ergebnisse.....</b>	<b>116</b>

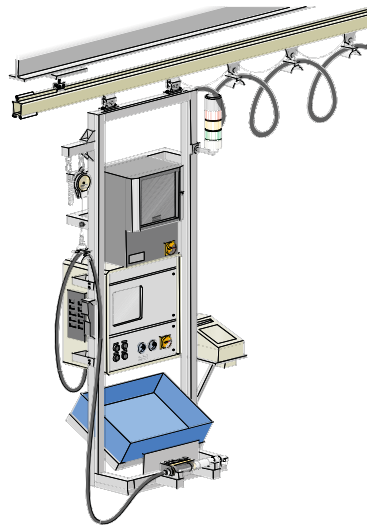
---

Abschnitt 6.1 erläutert das EC-Schraubsystem als zentrale Komponente des Anwendungsbeispiels. Die exemplarische Modellierung der Schraubsystem-Komponente sowie die Untersuchung der Verwendbarkeit für die Automatisierungstechnik-Planung erfolgen in Abschnitt 6.2. Darauf folgt eine Bewertung der erzielten Ergebnisse in Abschnitt 6.3.

### 6.1 Erläuterungen zum Anwendungsbeispiel

Das Zusammenspiel aus Produktionstechnik, Mensch und Produkt macht die Fahrzeugmontage zu einer der komplexesten Herausforderungen bei der Automobilproduktion. Da die Montage das letzte Glied im Herstellungsprozess ist, wirkt sich jede Verzögerung im Ablauf sofort als Reduktion des Produktausstoßes einer Fabrik aus. Bei einer typischen Taktzeit von 80 bis 90 Sekunden bei der Fahrzeugendmontage bedeutet ein Stillstand der Linie von dieser zeitlichen Größenordnung eine Reduktion der tagesbezogenen Produktionsleistung um ein Auto. Bei längeren Stehzeiten erhöht sich der Verlust entsprechend. Daher sind die Prozesse der Montage besonders robust auszulegen und für den Fall möglicher Technikausfälle entsprechende Notstrategien vorzusehen. Doch auch bei funktionierender Technik sind bei nahezu allen Montagetätigkeiten Menschen beteiligt, die im Sinne eines soziotechnischen Systems mit der Technik kooperieren. Zur Sicherstellung einer korrekten Abarbeitung der Arbeitsumfänge müssen die Montageprozesse diese Kooperation von Mensch und Maschine berücksichtigen. Dabei müssen die durch undeterministisches Verhalten hervorgerufenen menschlichen Fehler mit Hilfe entsprechender Kontrollmechanismen abgefangen werden. Dazu kommt die in der Montage besonders hohe Variantenvielfalt des Produktes, die für den Werker von Fahrzeug zu Fahrzeug oft ganz unterschiedliche Arbeitsaufträge bedeutet. Zur Ermöglichung dieser Variantenvielfalt ist eine durchdachte Datenautomatisierung notwendig, die Informationen über die Arbeitsaufträge an der entsprechenden Stelle bereitstellt.

Als Beispiel für ein Automatisierungskonzept, welches diesem anspruchsvollen Umfeld gerecht werden muss, dient das *EC-Schraubsystem*. Es ermöglicht die drehmoment- oder drehwinkelgesteuerte Verschraubung in Verbindung mit einer Anbindung an die Prozesse der Datenautomatisierung. Abbildung 6-1 zeigt die 3D-Graphik eines solchen Systems.



**Abbildung 6-1: 3D Darstellung eines EC-Schraubsystems**

Das System besteht aus einem Schraubwerkzeug mit einer zugehörigen Schraubsteuerung zur Regelung der Schraubparameter wie Drehmoment oder Drehgeschwindigkeit und zur Datenkommunikation. Diese erfolgt via Ethernet und einem XML-Protokoll mit einem ebenfalls zum Schraubsystem gehörenden IPC. Weitere, teils optionale Elemente des Schraubsystems sind etwa ein Etikettendrucker, eine Lampensäule oder auch ein Nusswechsler zum prozessbezogenen Austausch verschiedener Nüsse am Schraubwerkzeug. Die datentechnische Einbindung des EC-Schraubers in den Montageprozess erfolgt durch eine Integration des IPCs in die übergeordneten Informationssysteme.

Der Arbeitsablauf kann sich folgendermaßen darstellen: Die linienweite *Fördertechnik* transportiert ein zu verschraubendes Fahrzeug in den Arbeitsbereich des *Schraubers* und meldet dies durch den *Teileeinlauf* an den *IPC* des Schraubsystems. Durch eine Anfrage am *Zellenrechner* wird der am Fahrzeug befindliche *Datenträger* ausgelesen und die Daten an den *IPC* gesendet. Mit Hilfe dieser Daten – einer Art Auftragsnummer – kann der *IPC* an einem übergeordneten Server die zu erledigenden Verschraubungen an diesem speziellen Fahrzeug abfragen. Die einzelnen Verschraubungen werden am Touchscreen des *IPC* aufgelistet, worauf der Werker mit der Abarbeitung der einzelnen Aufträge beginnt. Mit Hilfe der *Schraubsteuerung* erfasst der *IPC* die *Schraubparameter* der jeweiligen Verschraubung und kann aus den Werten für Drehmoment und Drehwinkel ermitteln, ob eine Verschraubung ordnungsgemäß ausgeführt wurde oder nicht. Entsprechen die gemessenen Werte den Sollwerten, kann die nächste Verschraubung getätigt werden; wenn nicht, besteht die Möglichkeit der Nacharbeit. Zur Erledigung der

gesamten Verschraubungen steht dem Werker eine Taktzeit – beispielsweise 85 Sekunden – zur Verfügung. Nach Ablauf der Taktzeit hat das Fahrzeug den *Arbeitsbereich* durchlaufen, was durch ein erneutes Signal der Fördertechnik – den Teileauslauf – gemeldet wird. Sind bei Teileauslauf nicht alle Verschraubungen ordnungsgemäß abgearbeitet worden, kann dies einen Bandstopp oder die Kommunikation der fehlerhaften Schraubstellen durch den IPC an die übergeordnete IT zur Folge haben. Die fehlerhaften Schrauben werden sodann an späterer Stelle nachgearbeitet. Darüber hinaus gibt es Verschraubungen, deren ordnungsgemäße Ausführung aus Haftungsgründen fahrzeugbezogen erfasst und in einem Datenbankserver dokumentiert werden muss. Hierzu erstellt der IPC aus den Schraub- und Fahrzeugdaten spezielle *XML-Dateien*, die an den Datenbankserver kommuniziert werden. Neben der gesamten Datenkommunikation übernimmt die auf dem IPC ablaufende *Prozesssoftware* auch die Steuerung und Absicherung des *Operativprozesses*. Bei zwei Verschraubungen mit unterschiedlichem Soll-Anzugsmoment in einem Takt kann es beispielsweise notwendig sein, das versehentliche Vertauschen der Schraubstelle am Fahrzeug mit dem eigentlichen drehmomentbezogenen Schraubauftrag am IPC zu verhindern. Dies kann mit unterschiedlichen Schlüsselweiten der beiden Schrauben erfolgen, für welche der Werker die Nuss am Schraubwerkzeug austauschen muss. Mit Hilfe eines vom IPC angesteuerten *Nusswechslers* kann sichergestellt werden, dass der Werker mit der entsprechenden Nuss auch nur die Schraube verschrauben kann, die der IPC im jeweiligen Schraubauftrag vorgibt.

Zur Planung der Ausstattung einer Montagelinie mit derartigen Schraubsystemen muss zunächst ein produktbezogener Fertigungsprozess erstellt werden. Dieser Fertigungsprozess legt unter Berücksichtigung der Fügefolge die Eintaktung der Schraubfälle fest. Für die Planung der Schraubtechnik ergeben sich daraus die einzelnen Schraubfälle pro Takt mit Daten wie Anzugsmoment, Schlüsselweite oder auch Verbaureihenfolge. Zur projektbezogenen Schraubtechnikplanung müssen nun taktbezogen die jeweiligen Konfigurationen des EC-Schraubsystems mit den notwendigen Schraubwerkzeugen, den optionalen Geräten und einer individuellen Einordnung in den Operativprozess erstellt werden.

### **6.2 Exemplarische Umsetzung der Automatisierungstechnik-Planung**

Die formale Beschreibbarkeit von Automatisierungskonzepten sowie deren Verwendbarkeit in der Automatisierungstechnik-Planung werden anhand des EC-Schraubsystems untersucht. Dazu erfolgt neben der Modellierung des

EC-Schraubsystems in einer Planungskomponente eine Modellierung der Korrelationen zu dessen Umgebung mit Hilfe von Anlagenmustern. Am Beispiel der Korrelationen zwischen dem EC-Schraubsystem und der Fördertechnik einer Montagelinie wird die projektbezogene Abstimmbarkeit unter Verwendung der modellierten Komponenten nachgeprüft.

### 6.2.1 Komponentenspezifikation

Mit Hilfe des *ATPlan*-Werkzeugs erfolgt die Modellierung des EC-Schraubsystems in einer Planungskomponente sowie dessen anschließende Verwaltung in der Komponentenbibliothek. Dazu ist zunächst die Erstellung einer Blockstruktur notwendig, welche das Automatisierungskonzept - beschrieben durch Anforderungen und Graphiken - enthält. Gemäß der Blockklassen müssen die Teile des Konzepts, die projektübergreifend einheitlich wiederzuverwenden sind, als Kernkonzept klassifiziert und in entsprechenden Blöcken modelliert werden. Teilkonzepte, die einer projekt- oder auch taktbezogenen Anpassung unterliegen, beschreiben Blöcke der Klassen Konzept, Variante oder auch Erweiterung. Das Schraubsystem-Beispiel weist folgende Blöcke auf:

#### **Prozessebene:**

Operativprozess [Kernkonzept]

Nusswechselprozess [Erweiterung]

#### **Softwareebene:**

Prozesssoftware [Kernkonzept]

Schraubdatenschnittstelle [Kernkonzept]

Datenträgerschnittstelle [Konzept]

Teileinlauf\_INI [Konzept]

Teileinlauf\_AD [Variante]

#### **Hardwareebene:**

IPC [Kernkonzept]

Schrauber [Kernkonzept]

Ethernet\_Anschaltung [Konzept]

Profibus\_Anschaltung [Variante]

Nusswechsler [Erweiterung]

### **Vorrichtungsebene:**

Installationskonzept\_haengend [Konzept]

Installationskonzept\_Schaltschrank [Variante]

Nach Anlegen der Blockstruktur im *ATPlan*-Werkzeug folgt die eigentliche Konzeptbeschreibung durch Anforderungen und Graphiken in den einzelnen Blöcken. Dabei müssen bereits Überlegungen zur internen und externen Verknüpfung der Blöcke mit Kopplungen sowie Korrelationen angestellt werden. Außerdem erfolgt die Definition von Attributen, um diejenigen Informationen in der Anforderungsliste zu adressieren, die die Wechselwirkungen begründen. Die Modellierung der Wechselwirkungen durch Kopplungen und Korrelationen erfolgt ebenfalls mit Hilfe des *ATPlan*-Werkzeugs.<sup>35</sup>

Die folgenden Tabellen zeigen beispielhaft die Beschreibung von Teilkonzepten einzelner Blöcke der oben definierten Blockstruktur. Zur exemplarischen Darstellung sollen zwei bis drei Anforderungen pro Block genügen. Außerdem zeigen die Tabellen die mit den Anforderungen verbundenen Attribute sowie die Korrelationen, die mit anderen Komponenten bestehen. Auf die Modellierung von Kopplungen wird an dieser Stelle verzichtet. Die ausführliche Modellierung des Anwendungsbeispiels ist im Anhang dieser Arbeit dokumentiert.

---

<sup>35</sup> Hierzu sei angemerkt, dass sich die Modellierung der Kopplungen in der Praxis oft als zu aufwendig, gemessen am erbrachten Nutzen, erwiesen hat. Daher ist es zulässig, auf Kopplung ganz zu verzichten oder ihre Modellierung ohne die Definition von Attributen vereinfacht als Beziehung zweier Blöcke darzustellen. Diese Vereinfachung des Modells lässt sich dadurch rechtfertigen, dass die Blockstruktur einer Planungskomponente nebst der zugehörigen Kopplungen in der Regel nur für wenige verantwortliche Planer interessant sind, die die Verbindungen der einzelnen Blöcke ohnehin kennen. Noch wichtiger wiegt allerdings der Grund, dass Kopplungen keinen Einfluss auf die projektneutrale Verwendung der verschiedenen Komponenten haben.

Operativprozess [Kernkonzept]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Die Graphik „Operativprozess“ gibt die genaue Arbeitsweise des Werkers mit der Schraubtechnik wieder.		
2	Der Operativprozess muss durch die Prozesssoftware geleitet und abgesichert sein.		
3	Der Anstoß des Operativprozesses erfolgt automatisch durch die Teilezuführung.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
1	Ausfuehrung	manuell	Werkler
3	Zufuehrung	automatisch	Foerdertechnik/Operativprozess

Tabelle 6-1: Operativprozess des EC-Schraubsystems

Datenträgerschnittstelle [Konzept]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Die Fahrzeugdaten (Datenträger) werden vom Zellenrechner an den IPC gesendet.		
2	Als Datenprotokoll ist AKLAN zu verwenden. (s. Spezifikation AKLAN)		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
2	Protokoll	AKLAN	Zellenrechner

Tabelle 6-2: Datenträgerschnittstelle der EC-Schraubsystems

Teileeinlauf_AD [Variante]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Der Teileeinlauf erfolgt bei Erkennung eines neuen Fahrzeugs (im Takt) an der Datenträger-Lesestelle.		
2	Der Teileauslauf erfolgt zeitgesteuert.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
1	Protokoll	INI1	Zellenrechner

Tabelle 6-3: Teileeinlauf\_AD des EC-Schraubsystems



Teileeinlauf_INI [Konzept]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Der Teileeinlauf erfolgt von der Fördertechnik-Steuerung.		
2	Der Signalaustausch erfolgt gemäß der Graphik TeileeinlaufINI.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
1/2	Protokoll	INISignale	Foerdertechnik/Schrauber_Ansteuerung

Tabelle 6-4: Teileinlauf\_INI des EC-Schraubsystems

Ethernet_Anschaltung [Konzept]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Die Datentechnik wird mit Ethernet angebunden.		
2	Eine zweite Ethernetanschaltung ist zur Anbindung der Schraubkanäle vorzusehen.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
1	Netzwerk	Ethernet	Foerdertechnik/Ethernet_Anbindung

Tabelle 6-5: Ethernet\_Anschaltung des EC-Schraubsystems

Profibus_Anschaltung [Variante]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Die Anbindung an die Fördertechnik erfolgt via Profibus.		
2	Bei Neuanlagen entfällt die Profibusverbindung zu Gunsten einer Ethernetanbindung.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
1	Netzwerk	Profibus	Foerdertechnik/Profibus_Anbindung

Tabelle 6-6: Profibus\_Anschaltung des EC-Schraubsystems

Installationskonzept_haengend [Konzept]			
Anforderungen			
Nr.	Text		
1	Bei der Installation ist darauf zu achten, dass Arbeiten mit dem Schrauber außerhalb des Taktes nicht möglich sind.		
2	Das Gehänge ist mit einer 3m langen Schiene am Stahlbau bzw. an der Medienstrasse zu befestigen.		
Attribute			
zu Anforderung	Typ	Wert	korreliert zu
2	Installation	Profilschiene	Stahlbau

Tabelle 6-7: Installationskonzept\_haengend des EC-Schraubsystems

Die dargestellten Attribute machen deutlich, aufgrund welcher Anforderungen Wechselwirkungen zu welchen anderen Komponenten bestehen. Beispielsweise ist eine Variante für den Teileeinlauf am Schraubsystem im Block *Teileinlauf\_INI* spezifiziert. Da der Teileeinlauf bei diesem Konzept von der Fördertechnik an das Schraubsystem gemeldet wird, besteht eine Korrelation zum Block *Schrauber\_Ansteuerung* der Fördertechnik-Komponente gemäß Tabelle 6-4. Diese Korrelation dokumentiert die Abstimmung der zuständigen Planer für die Schraub- und Fördertechnik über die technische Realisierung des Teileeinlaufs. Abbildung 6-2 zeigt die abgestimmte Realisierung der Korrelation in Form einer Signalschnittstelle. Diese Graphik ist Teil der Konzeptbeschreibung innerhalb des Blocks *Teileinlauf\_INI* und wird von *Anforderung 2* referenziert.

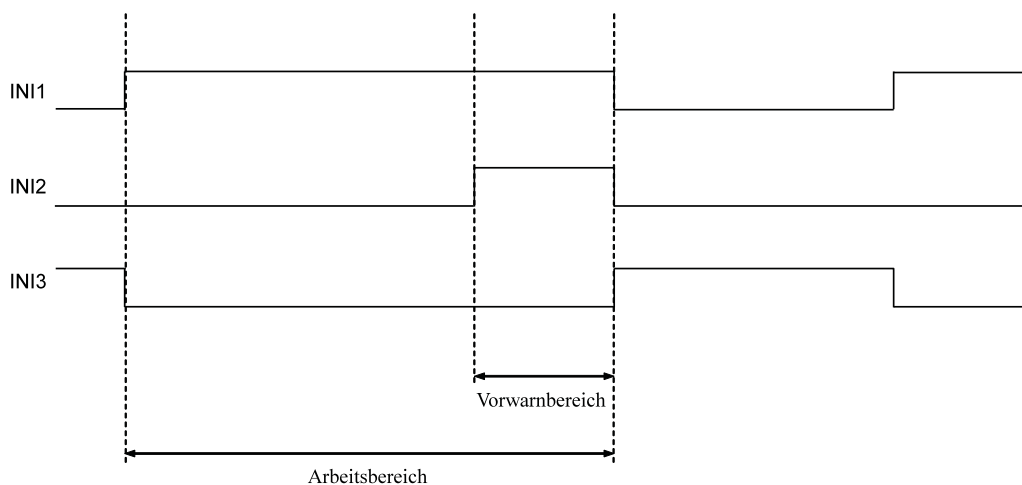
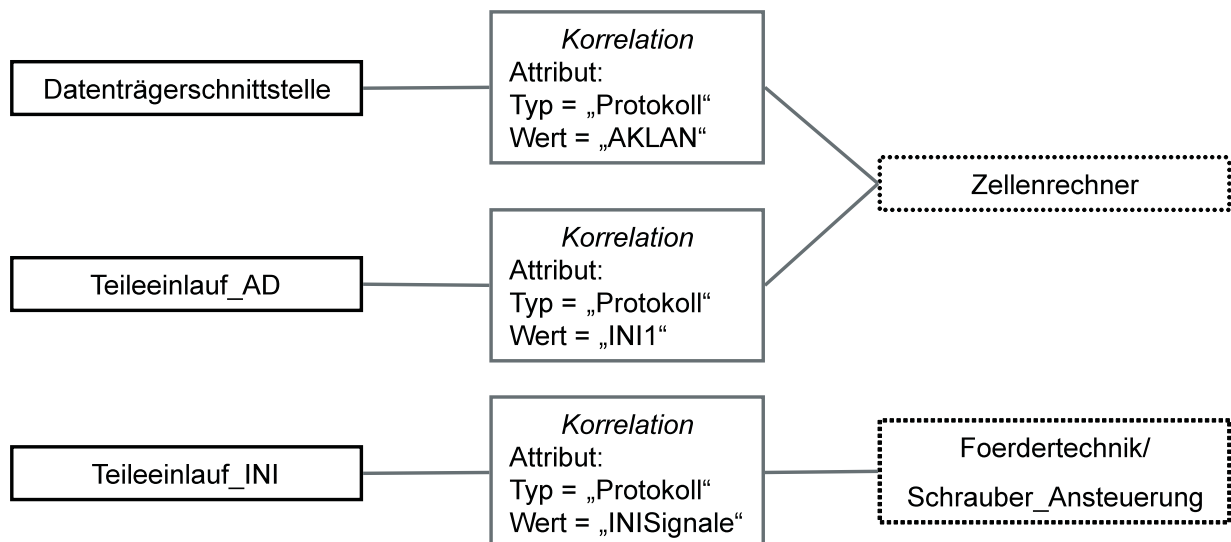


Abbildung 6-2: Abgestimmter Signalverlauf des Teileinlaufs

Durch diese Art und Weise der Modellierung können die getroffenen Abstimmungen der verschiedenen Planer festgehalten und projektübergreifend wiederverwendet werden. Aus der Gesamtheit aller Korrelationen entsteht das Anlagenmuster als übergeordnetes Modell des Anlagengesamtsystems. Abbildung 6-3 zeigt exemplarisch das projektneutrale Muster für die Softwareebene der Schraubsystemkomponente, in welchem Korrelationen zur *Fördertechnik* sowie zur Komponente *Zellenrechner* enthalten sind. Im Projektbeispiel des Abschnitts 6.2.2 fällt die Entscheidung über die eingesetzte Teileinlaufvariante zugunsten des Teileinlaufs per INI-Signale. Dadurch entfällt der Block *Teileinlauf\_AD* in der Projektkonfiguration der Schraubsystem-Komponente und gleichzeitig die zugehörige Korrelation zum Zellenrechner. Der zuständige Planer für den Zellenrechner erhält dadurch die Information, dass eine Teileinlauffunktionalität in seiner Komponente nicht notwendig ist.



**Abbildung 6-3: Exemplarisches Softwaremuster des EC-Schraubsystems**

Nach der Fertigstellung der Komponentenspezifikation und des Durchlaufens eines Freigabeprozesses wird die Planungskomponente *EC-Schraubsystem* mit allen Varianten und Erweiterungen in der Standardbibliothek des *ATPlan*-Servers eingestellt.

### 6.2.2 Verwendung zur Projektabwicklung

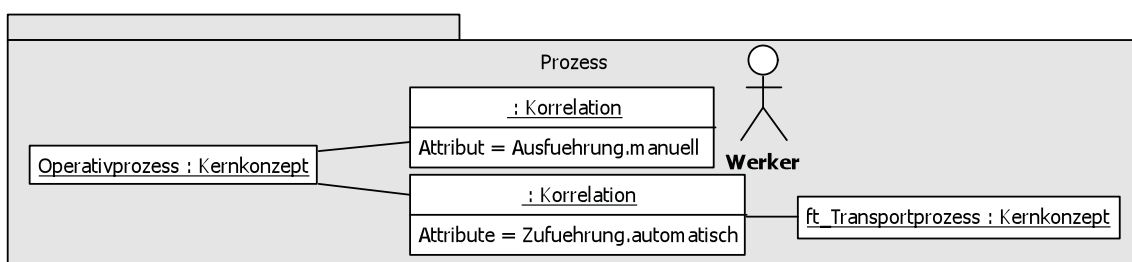
In der Standardbibliothek steht das EC-Schraubsystem für die Verwendung in Automatisierungsprojekten zur Verfügung. Bei der folgenden exemplarischen Abwicklung eines solchen Projekts soll untersucht werden, ob eine bessere Verfügbarkeit der

Planungsdaten zur Konzeptabstimmung erreichbar ist. Im Zuge der Anforderungsanalyse für die neu zu planende Anlage wird ein verbindliches Anlagenmuster festgelegt, das die Verwendung der Standard-Komponenten gewährleisten soll. Aufgrund der weitreichenden Auswirkungen des Anlagenmusters auf jede einzelne Komponente erfolgt die Festlegung im Konsens der beteiligten Planer bei einem Start-Workshop. Daran schließt die Ausplanung der einzelnen Komponenten an, wozu eine detaillierte Abstimmung der Wechselwirkungen im Dialog der zuständigen Planer gehört.<sup>36</sup>

Am Beispiel der Korrelationen zwischen Schraubsystem und Fördertechnik zeigen die folgenden Ausführungen die Abstimmung mit Hilfe des *ATPlan*-Tools. Die jeweiligen Muster können durch Konfiguration der Komponenten projektbezogen angepasst und in der Projektbibliothek abgelegt werden. Das Vorgehen zur Abstimmung erfolgt von der Prozess- bis hin zur Vorrichtungsebene. Dabei zeigt sich, dass Abstimmungsbedarf im Fall des Beispielprojekts vor allem auf Software- und auf Vorrichtungsebene besteht.

### Prozessebene

Anhand des Prozessmusters in Abbildung 6-4 ist zu erkennen, dass der vorgesehene Schraubprozess eine automatische Zuführung der Bauteile verlangt. Abbildung 6-5 zeigt diese Abhängigkeit in der Prozessmusterdarstellung des *ATPlan*-Werkzeugs zwischen der Planungskomponente EC-Schraubsystem und Fördertechnik.



**Abbildung 6-4: Prozessmuster der Planungskomponente EC-Schraubsystem**

<sup>36</sup> Der Aufwand bzw. die Notwendigkeit einer Abstimmung bei der Projektplanung hängt davon ab, wie weit die projektneutrale Abstimmung in der Spezifikationsphase detailliert wurde.

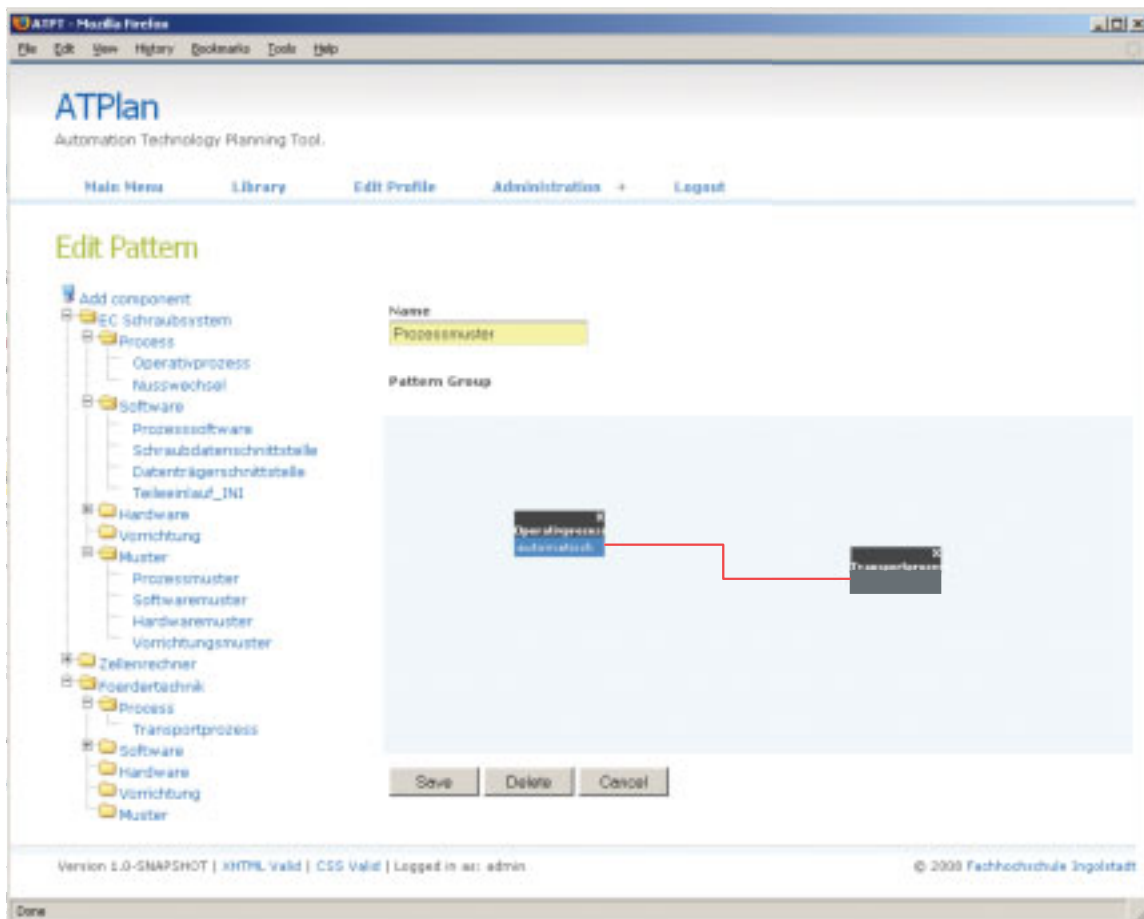


Abbildung 6-5: Prozessmusterdarstellung des ATPlan-Werkzeugs

Da die automatische Bauteilzuführung die Hauptaufgabe der Fördertechnik ist, wird diese Korrelation keiner Abstimmung bedürfen. Sie zeigt vielmehr die Verknüpfung der beiden Komponenten im Operativprozess. Die projektbezogene Abstimmung kann daher auf Softwareebene fortgeführt werden.

### Softwareebene

Hier ergibt sich aus dem Anlagenmuster des aktuellen Projekts die Teileinlauf-Korrelation beider Komponenten. Aufgrund der hinterlegten Informationen zum Signalaustausch<sup>37</sup> ist die Realisierung der Wechselwirkung bekannt und muss nicht neu abgestimmt werden. Im untersuchten Beispielprojekt wird aber von der Verwendung

<sup>37</sup> siehe hierzu Abbildung 6-2

einer neuen Steuerungshardware für die Fördertechnik ausgegangen. Dies hat zur Folge, dass die vorhandenen Funktionsbausteine für die Generierung der INI-Signale nicht mehr verwendet werden können. Die sich hieraus ergebenden Fragestellungen werden nun detailliert abgestimmt und in die projektbezogene Komponentendokumentation aufgenommen. Abbildung 6-6 zeigt die Darstellung des Softwaremusters im *ATPlan*-Werkzeug, mit dessen Hilfe die verschiedenen Planer die Abstimmung vornehmen und dokumentieren können.

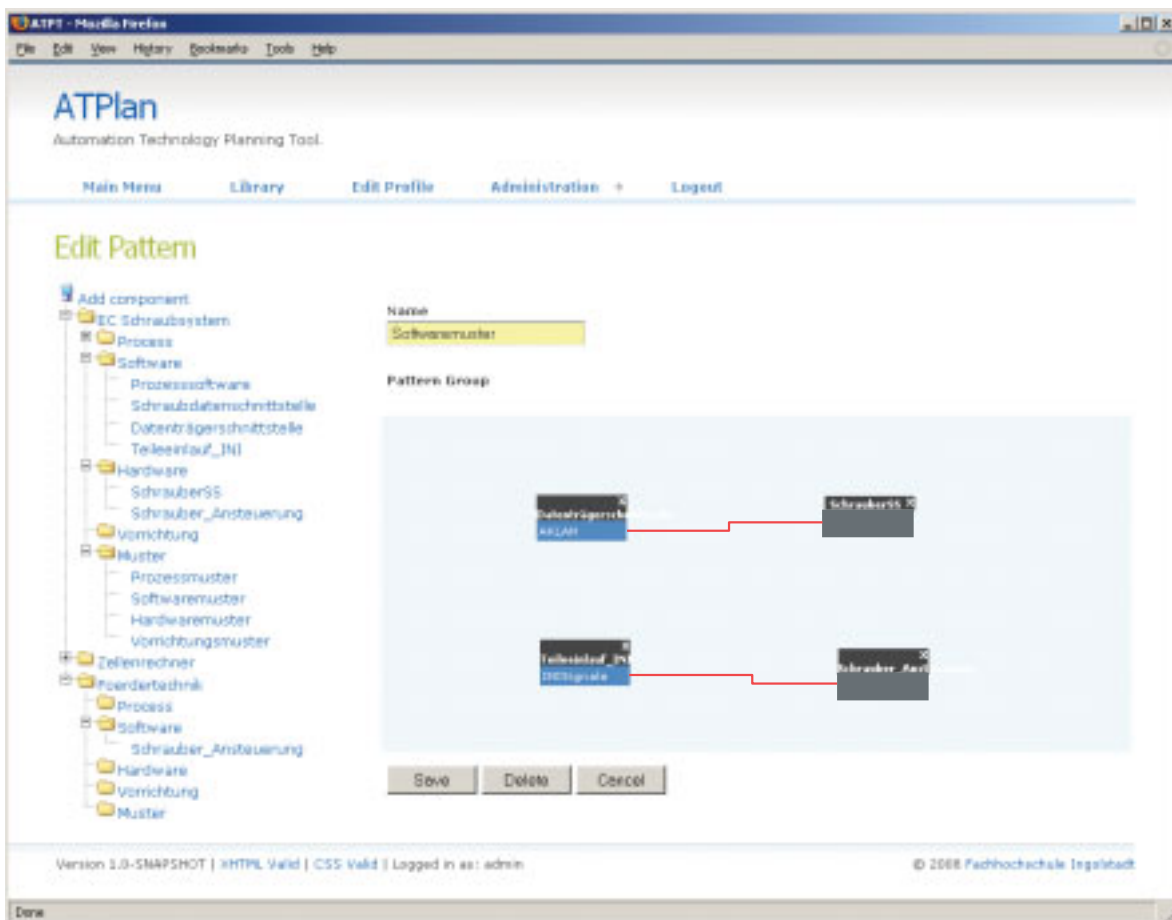
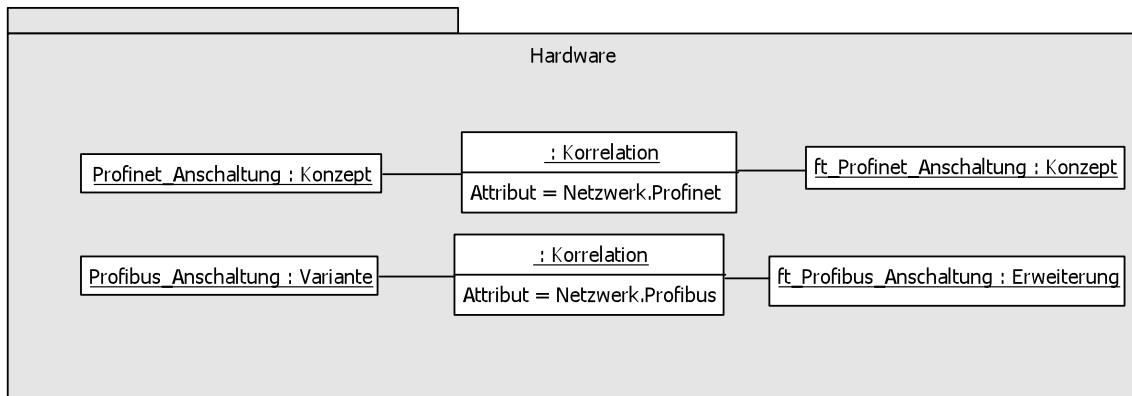


Abbildung 6-6: Darstellung des Softwaremusters im *ATPlan*-Tool

### Hardwareebene

Analog verläuft die Abstimmung auf Hardwareebene. Im untersuchten Beispielprojekt kommt erstmals eine anlagenweite Kommunikation mit Profinet zum Einsatz. Hierzu werden entsprechende Blöcke in die Komponentenspezifikation eingebracht. Das

Hardwaremuster zeigt daher als Korrelation zwischen Schraubensystem und Fördertechnik die Vernetzung mit Profinet. Die Modellierung des Musters zeigt Abbildung 6-7.



**Abbildung 6-7: Modell des Hardwaremusters der Planungskomponente EC-Schraubensystem**

### ***Vorrichtungsebene***

Nachdem die Hardwarefragen geklärt sind, verständigt man sich auf die Montage der Schraubensysteme am Stahlbau der Fördertechnik mit Hilfe eines bewährten Profilschienenkonzepts. Da dieses Konzept aus vergangenen Projekten bekannt ist, bedarf es keiner weiteren Abstimmung auf Vorrichtungsebene. Allerdings ist die Information über den geplanten Einsatz dieses Konzepts für den Planer der Fördertechnik von Bedeutung, da die Montage der Profilschiene im Lastenheft des Stahlbaus berücksichtigt werden muss. Abbildung 6-8 zeigt die Darstellung des Installationskonzepts bzw. dessen Wechselwirkung zwischen Schraubensystem und Fördertechnik. Aufgrund der in der Korrelation hinterlegten Informationen können die entsprechenden Anforderungen im Lastenheft des Fördertechnik-Stahlbaus formuliert werden.

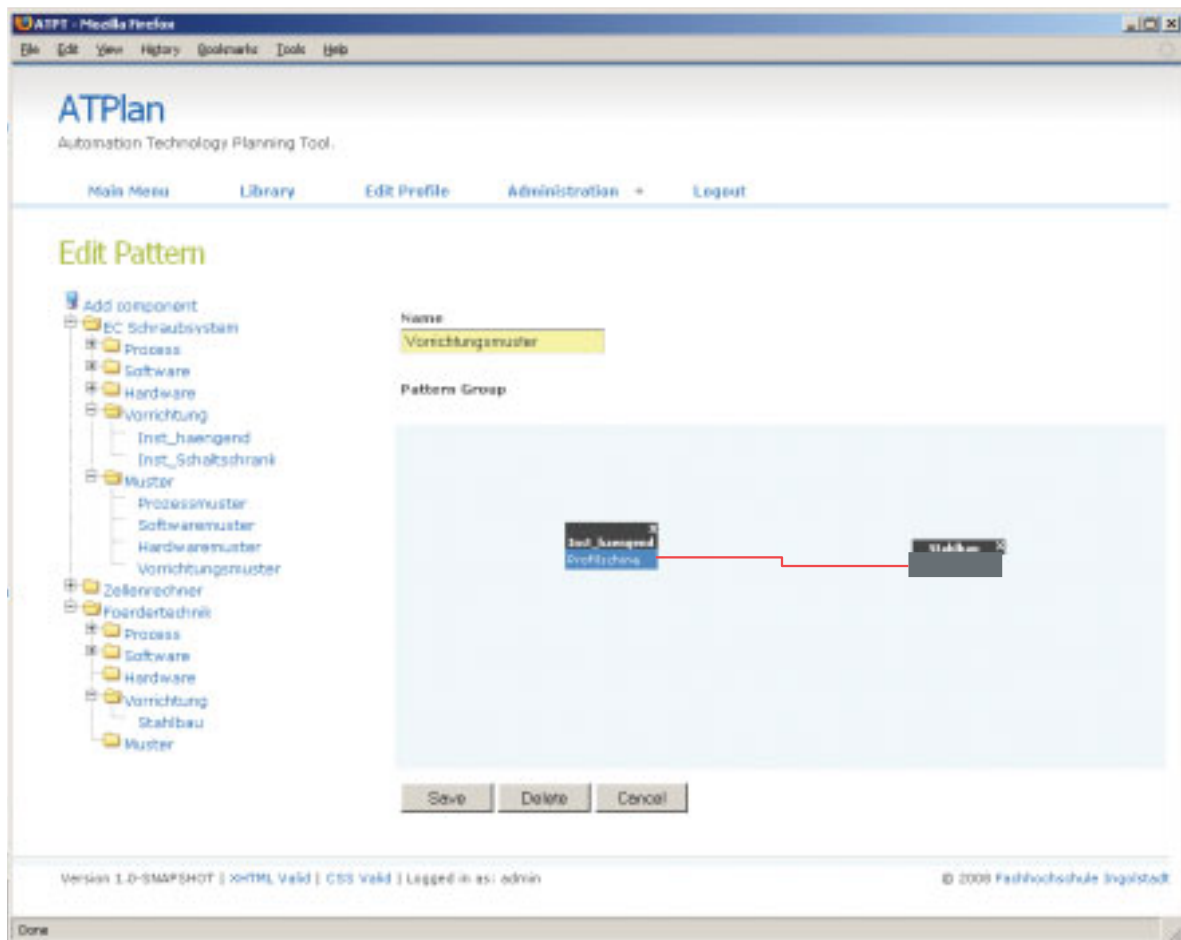


Abbildung 6-8: Darstellung des Vorrichtungsmusters im ATPlan-Werkzeug

Die Ausführungen schildern eine komplette projektbezogene Abstimmung der beiden Konzepte *EC-Schraubsystem* und *Fördertechnik*. Derartige Abstimmungen sind zur Erzeugung eines kompatiblen Anlagen-Gesamtsystems mit allen relevanten Peripheriekomponenten notwendig, um eine konsistente projektbezogene Komponentenkonfiguration zu erstellen. Mit Hilfe einer Exportfunktion des Planungstools wird aus der projektbezogenen Komponentenkonfiguration eine Anforderungsliste erzeugt, die das gesamte technische Konzept beschreibt und zur Lastenhefterstellung verwendet werden kann.

Die Schwierigkeit bei der Projektabwicklung liegt darin, dass über einen langen Zeitraum sehr unterschiedliche Entwicklungsprozesse mit vielen beteiligten Planern abgearbeitet werden. Daraus entsteht ein Synchronisationsproblem zur Abstimmung der verschiedenen Konzepte. Da mit der Spezifikation von Planungskomponenten viele diese Abstimmungen aber bereits im Vorfeld getätigt wurden, entschärft sich das Synchronisationsproblem. Denn entweder kann eine Abstimmung direkt wiederverwendet werden - ist also gar nicht neu zu tätigen - oder sie kann mit Hilfe der



ATPlan-Plattform deutlich einfacher koordiniert werden. Es hat sich gezeigt, dass hierzu die Datenverfügbarkeit deutlich verbessert werden konnte.

### 6.3 Bewertung der Ergebnisse

Die exemplarische Verwendung des Informationsmodells mit der exemplarischen Schraubsystem-Komponente zeigt die tatsächliche Anwendbarkeit für die Automatisierungstechnik-Planung und – soweit in einer beispielhaften Umsetzung möglich – auch die Praktikabilität im Tagesgeschäft. Im Folgenden soll eine detaillierte Bewertung des Ansatzes anhand der in Abschnitt 4.1 festgelegten Anforderungen durchgeführt werden.

#### Anforderungen an das Informationsmodell

- Das Informationsmodell dient der Planung und Ausschreibung der Automatisierungstechnik durch den Anlagenbetreiber.
- Vielfältige Automatisierungskonzepte (aus unterschiedlichen technologischen Disziplinen) müssen modelliert werden können.
- Der Ansatz unterstützt die Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten.
- Der Ansatz begünstigt die Modularisierung von Anlagen.

Durch den generischen Aufbau der Planungskomponenten ist die Modellierung von Automatisierungskonzepten nicht auf spezielle Technologien oder Anwendungsbereiche beschränkt. Mit Hilfe von Anforderungen und zusätzlichen Graphiken lassen sich jegliche Konzepte beschreiben, in der Planung verwenden und zu Ausschreibungsunterlagen weiterverarbeiten. Durch die Möglichkeit der projektneutralen Modellierung sowie durch das projektübergreifende Festhalten von Abstimmungen der Komponentenwechselwirkungen wird die Wiederverwendung der Automatisierungskonzepte für verschiedene Projekte ermöglicht. Die Konzepte werden dazu in technologisch abgegrenzte Bereiche wie etwa die Schraub- oder die Fördertechnik eingeteilt. Die Anlagenmodularisierung ist die Basis für diese Einteilung.

**Anforderungen an die zu verarbeitenden Inhalte**

- Technische Eigenschaften von Automatisierungskonzepten werden modelliert.
- Zu den technischen Eigenschaften zählen die Struktur und das Verhalten der Technik.
- Automatisierungstechnikkonzepte müssen projektunabhängig modelliert werden können.
- Die Integration der Automatisierungskonzepte in eine konsistente Modellierung von Planung bis Engineering soll erreicht werden können.
- Konzepte werden überwiegend durch Anforderungen und Graphiken beschrieben.

Mit Hilfe von Anforderungen und Graphiken lassen sich die technischen Eigenschaften eines Automatisierungskonzepts so detailliert wie nötig modellieren. Die Beschreibung erfolgt auf den vier Ebenen Prozess, Software, Hardware und Vorrichtung und beinhaltet somit die mechatronische Komponentenstruktur, ergänzt um das Verhalten der Komponente in den unterschiedlichen Prozesslandschaften. Zur besseren Wiederverwendung erfolgt eine Unterteilung der Konzepte in verschiedene Blöcke, die eine möglichst projektneutrale Beschreibung ermöglichen. Durch die einfache Darstellbarkeit der Komponentenwechselwirkungen sowie der Komponentenfähigkeiten mit Hilfe eines Planungstools können die Automatisierungskonzepte konsistent in die Informationsverarbeitung innerhalb der Wertschöpfungskette von Planung bis Engineering eingereiht werden. Dadurch kann das Automatisierungskonzept, das die reale Fabrik (in Gegensatz zur Digitalen Fabrik) zu einem sehr frühen Zeitpunkt darstellt, abteilungs- und standortübergreifend repräsentiert werden.

**Anforderungen an die Verwendung**

- Das Informationsmodell soll in einem Planungsprozess angewendet werden können.
- Der Ansatz unterstützt die tägliche Arbeit der Automatisierungstechnik-Planer.
- Automatisierungskonzepte müssen zur Verwendung in Projekten bereitgestellt werden.
- Der Ansatz unterstützt den Umgang mit den Konzepten insbesondere zum Zweck der Abstimmung mit anderen Planern (anderen Konzepten).

Der entwickelte Ansatz ist in der Lage, die tägliche Arbeit der Automatisierungstechnik-Planung durch die zweckmäßige Bereitstellung der Planungsdaten zu entlasten. Dabei ist davon auszugehen, dass sich der geringe Mehraufwand der Komponentenmodellierung bereits bei der ersten Wiederverwendung amortisiert. Entsprechend erhöht sich der Nutzen, je öfter eine Komponente zum Einsatz kommt. Wichtig hierzu ist eine sinnvolle Katalogisierung der Komponenten. Die Komponentenbibliothek des *ATPlan*-Servers stellt eine solche Katalogisierung dar, die Standardkomponenten zur Verwendung im Projekt anbietet. Die Abstimmung der verschiedenen Automatisierungskonzepte erfolgt auf Basis der Anlagenmuster. Das Vorgehen zum Verwenden von Planungskomponenten und Anlagenmustern ist in einen Planungsprozess zu integrieren. Die implementierte Client-Server-Architektur ermöglicht die Verknüpfung der Planungsdaten mit weiteren IT-Prozessen eines Unternehmens.

Die Bewertung zeigt, dass der entwickelte und validierte Ansatz in der Lage ist, die aus der Problemstellung abgeleiteten Anforderungen zu erfüllen. Dabei wird insbesondere die formalisierte Beschreibung von Automatisierungskonzepten ermöglicht sowie unterstützt. Mit Hilfe eines informationstechnischen Werkzeugs kann diese Konzeptbeschreibung zur Abstimmung der verschiedenen Teillösungen für die Automatisierung einer Fertigungsanlage verwendet werden.

## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

Die Zusammenfassung stellt das dargelegte Problem einer ungenügenden Beschreibbarkeit von Automatisierungskonzepten der erarbeiteten Lösung gegenüber. Auf die sich aus der Arbeit ergebenden weiteren Fragestellungen und unbearbeiteten Themenfelder erfolgt im Anschluss an die Zusammenfassung ein Ausblick. In Verbindung mit den allgemeinen Trends der Anlagenautomatisierung lassen sich dabei mögliche Zukunftsszenarien zeichnen.

### **7.1 Zusammenfassung**

Der Trend zu immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen bei steigender Variantenzahl bestimmt die Produktstrategie zahlreicher Unternehmen der Konsumgüterindustrie. Im Bereich komplexer technischer Serienprodukte hat dieser Trend enorme Auswirkungen auf die Herstellungsprozesse sowie die zur Herstellung notwendigen Fertigungsanlagen. Diese Auswirkungen können bei Unternehmen der Fahrzeugindustrie als besonders gravierend angesehen werden, da ein Fahrzeug heute ein komplexes mechatronisches System darstellt, zu dessen Fertigung ausgereifte Prozesse und ebenso komplexe wie spezifische Fertigungstechnik notwendig sind. Aus diesem Grund sehen Automobilhersteller ihre Kernkompetenzen heute nicht nur in der Fahrzeugentwicklung, sondern ausdrücklich auch in der Fahrzeugproduktion. Um die Marktanforderung nach immer neuen und variantenreichen Produkten bedienen zu können, müssen die Hersteller eigene, an ihre Produkte angepasste Fertigungskonzepte entwickeln. Dies ist die Aufgabe der Fertigungs- und Anlagenplanung, wie sie etwa bei Fahrzeugherstellern vorzufinden ist. Mit großem Aufwand werden in den zuständigen Abteilungen Konzepte der Fertigungsprozesse sowie der zugehörigen Automatisierungstechnik entwickelt.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Modellierung und der Verwendung Automatisierungskonzepten zur Planung der Automatisierungstechnik für die jeweiligen Anlagenprojekte. Aufgrund des großen Aufwands, welcher in der Konzipierung der Automatisierungstechnik steckt, soll die Möglichkeit zur Wiederverwendung der

Konzepte bestehen. Problematisch hierbei sind die vielfältigen Wechselwirkungen der unterschiedlichen Lösungen, die integriert in einer Anlage zum Einsatz kommen. Die zahlreichen hoch spezialisierten Planer arbeiten meist stark komponentenorientiert in eng abgegrenzten Nischen. Das macht eine detaillierte Abstimmung der verschiedenen Automatisierungskonzepte notwendig, die aufgrund der ungenügenden Datenformalisierung nicht methodisch unterstützt werden kann.

Das entwickelte Informationsmodell bietet eine Möglichkeit, die Abstimmungen der verschiedenen Automatisierungskonzepte mit Hilfe eines informationstechnischen Planungswerkzeugs zu treffen und zur Wiederverwendung in unterschiedlichen Projekten festzuhalten. Die Basis hierzu stellt die Modellierung der Automatisierungskonzepte in *Planungskomponenten* dar. Eine komponentenspezifische *Blockstruktur* enthält eine Beschreibung der verschiedenen Konzepte in Form von Anforderungen und Graphiken. Jeder *Block* umfasst ein abgegrenztes Teilkonzept und ermöglicht dadurch die projektbezogene Konfiguration mit *Varianten* oder *Erweiterungen*. Die Wechselwirkungen zu anderen Planungskomponenten werden mit Hilfe von *Korrelationen* modelliert. Diese Korrelationen ergeben die *Struktur* des Anlagengesamtsystems und werden mit dem Konstrukt der *Anlagenmuster* dokumentiert. Eine Korrelation repräsentiert eine Abstimmung zweier Planer über eine Wechselwirkung ihrer beiden Automatisierungskonzepte. Da diese Abstimmung durch die Modellierung in einer Korrelation im Anlagenmuster dokumentiert ist, erhält sie eine projektübergreifende Gültigkeit, wodurch ihre Wiederverwendung in unterschiedlichen Projekten erreicht werden kann. Zur Verwendung des Informationsmodells in der Planung wurde ein prototypisches Planungswerkzeug entwickelt. Es ermöglicht die Editierung, Speicherung, Darstellung und Ausgabe der Planungsdaten und basiert auf einer Client-Server-Architektur.

Mit der exemplarischen Umsetzung der Planung eines Schraubsystems für die Fahrzeugmontage und dessen Wechselwirkungen zur Fördertechnik konnte die Verwendbarkeit des Ansatzes validiert werden. Der Nutzen liegt neben der Zeiteinsparung durch die bessere Abstimmung und die effizientere Wiederverwendung von Automatisierungskonzepten auch in einer höheren Flexibilität bei Planungen für Umbauten bestehender Anlagen. Denn durch die komponentenbezogene Modularisierung kann ein gezielter Austausch von Automatisierungsfunktionalität von der Planung ausgehen.

## 7.2 Ausblick

Die Automatisierungstechnik wird in Zukunft noch stärker die kosteneffiziente Herstellung in der produzierenden Industrie beeinflussen und damit zum entscheidenden Kriterium für die Überlebensfähigkeit mancher Unternehmen werden. Aus diesem Grund wird die Planung der Automatisierungstechnik auch in Branchen an Bedeutung gewinnen, die bisher keine eigenen Konzepte für ihre Anlagentechnik entwickelt haben. Gleichzeitig nimmt die Komplexität der eingesetzten Technologien stetig zu, weshalb ein tiefes Verständnis der technischen Realisierung von Geräten nur noch für Experten möglich ist. Diese Trends werden eine zunehmende Kapselung der Geräte und Komponenten der Automatisierungstechnik zur Folge haben.

Damit die produzierenden Unternehmen aber trotzdem die Möglichkeit der Planung konkreter Anlagenkonzepte haben, muss eine umfassende Modellierung der Anlagenkomponenten sowie der zugehörigen Operativprozesse ermöglicht werden. Problematisch bei dieser Modellierung sind die unscharfen und oft qualitativen Daten, die typisch für eine Konzepterstellung sind. Durch einen semantischen Überbau kann die Möglichkeit geschaffen werden, auch derartige Daten in einer konsistenten Datenbasis zu verwalten, um das Expertenwissen über die einzelnen Technologien verfügbar zu machen. Damit könnte außerdem eine heute bestehende Lücke in der Produkt- und Betriebsmitteldatenhaltung zwischen der Fertigungsprozessplanung der Digitalen Fabrik und dem Funktionalen Engineering der Anlagenkonstruktion geschlossen werden. Genau in dieser Lücke liegt die Automatisierungstechnik-Planung, für die heute keine Lösung zur nahtlosen Integration ihrer Konzepte in eine durchgehende Datenbasis existiert. Erste Ansätze zur Schließung dieser Lücke erarbeitet die AutomationML-Initiative, die sich um ein einheitliches Datenformat zum nahtlosen Austausch von Planungs- und Konstruktionsdaten bemüht. [AutML09] Doch zumindest bisher fokussiert sich der Ansatz überwiegend auf konkrete Konstruktions- und Simulationsdaten und ist daher für die Modellierung von Planungskonzepten ungenügend.<sup>38</sup> Ziel muss es zukünftig sein, auch die qualitativen Daten der technischen Konzepte als Modelle in der Digitalen Fabrik abbilden zu können. Erst dann kann von einem durchgehenden Prozess angefangen bei der Produktentwicklung über die Fertigungsprozessplanung zur Anlagenplanung, Anlagenkonstruktion und weiter zum Anlagenbetrieb gesprochen werden.

---

<sup>38</sup> siehe hierzu etwa [Dreher09]

In einer „Plug and Play“-Konfiguration könnte ein Planer dann nicht nur etwa die Kommunikation von Geräten projektieren, sondern insbesondere die vom Fertigungsprozess geforderten Automatisierungsfunktionen zusammenstellen. Die digitalen Modelle müssen dabei die Fähigkeiten der einzelnen Konzepte mit ihrer individuellen Realisierung verknüpfen. Aus einer so erstellten funktionalen Anlagenbeschreibung lassen sich dann Daten für die Beauftragung der Anlagenkonstruktion bei einem Anlagenbauer ableiten.

## Anhang: Modell des Anwendungsbeispiels

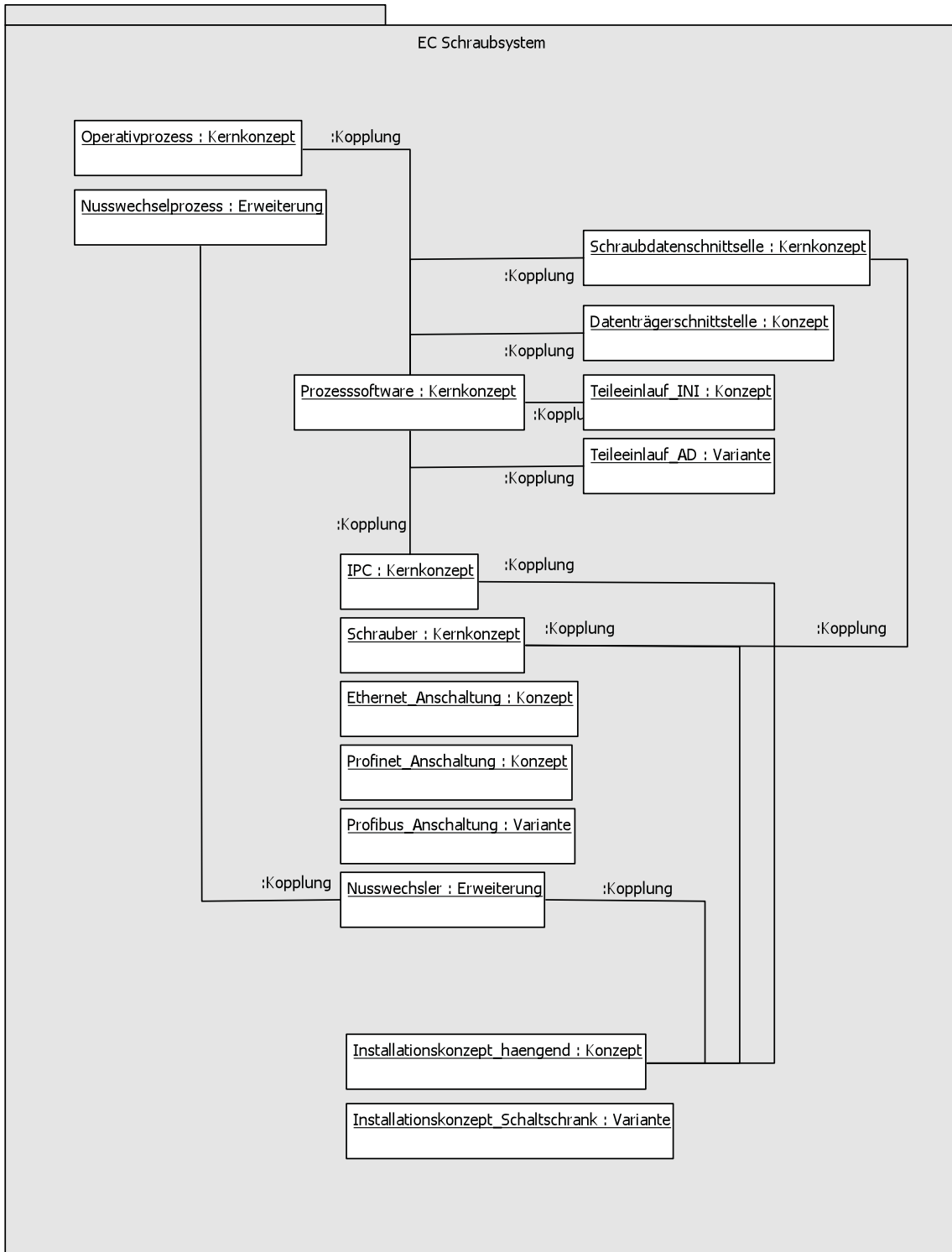


Abbildung 0-1: Struktur der Planungskomponente EC-Schraubsystem



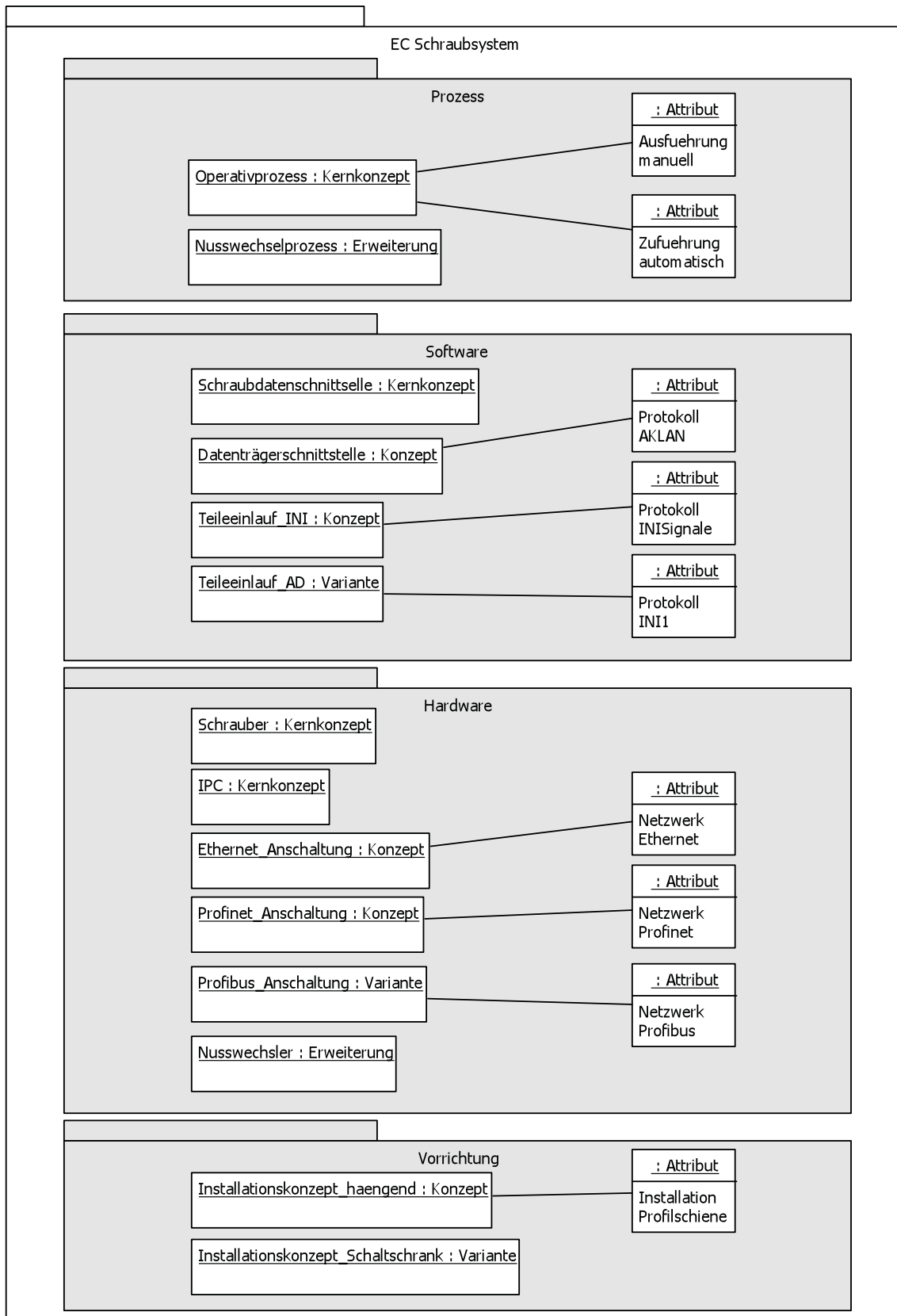


Abbildung 0-2: Attribute der Planungskomponente EC-Schraubsystem

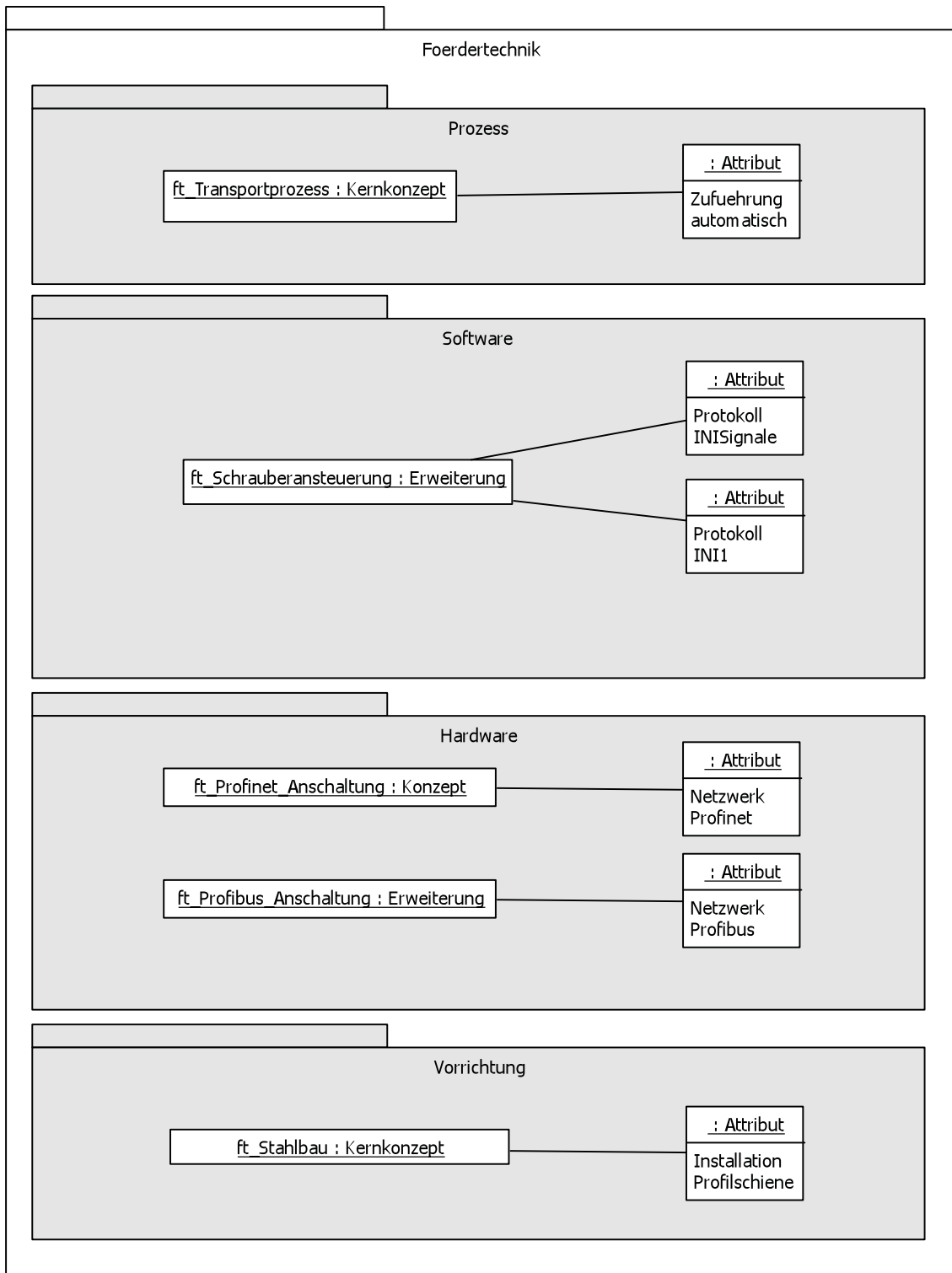


Abbildung 0-3: Attribute der Planungskomponente Foerdertechnik

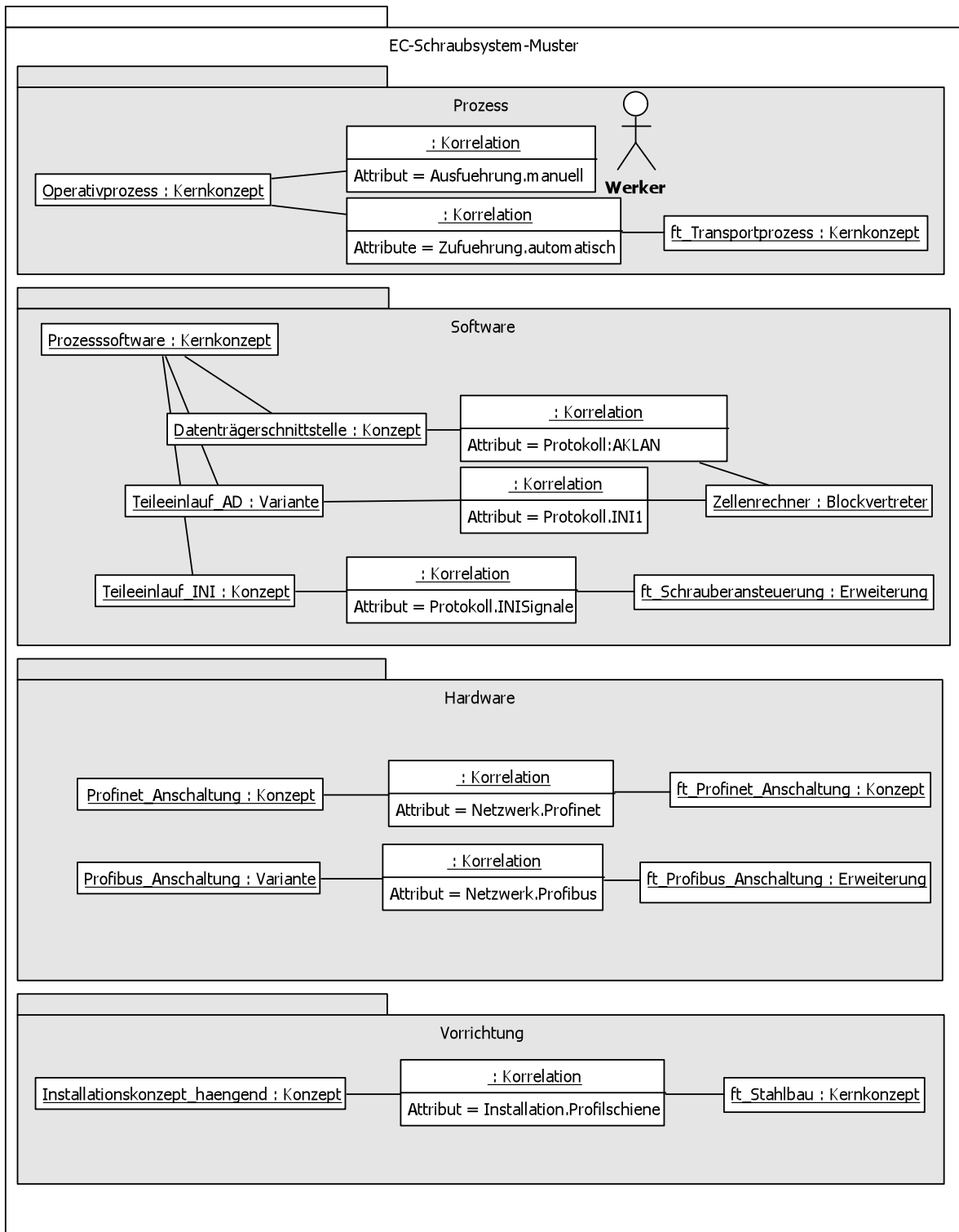


Abbildung 0-4: Anlagemuster des EC-Schraubsystems

# Literaturverzeichnis

- [Ahrens+09] Ahrens, W.; Zgorzelski, P.: Elektronischer Austausch von Produktdaten im PLT-Engineering. In: Automation 2009, VDI Berichte Nr. 2067, 2009, S.413-416.
- [Andrew+06] Andrew, R.; Shafer, D.: CSS- Anspruchsvolle Websites mit Cascading Stylesheets – Grundlagen, Designtechniken und Referenz. 2. überarb. und erw. Aufl., dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2006.
- [Alexander+77] Alexander, C. et. al. A Pattern Language, Towns Buildings, Construction. Oxford University Press, 1977.
- [AutML09] [www.automationml.org](http://www.automationml.org).
- [Beeger+06] Beeger, R. F.; Haase, A. et.al.: Hibernate – Persistenz in Java-Systemen mit Hibernate 3. dpunkt-Verlag, Heidelberg, 2006.
- [Baumgart05] Baumgart, I. M.: Modularisierung von Produkten im Anlagenbau. Mainz Verlag, Aachen, 2005.
- [Bender05] Bender, K. (Hrsg.): Embedded Systems – qualitätsorientierte Entwicklung. Springer, Berlin und Heidelberg, 2005.
- [Bley+06] Bley, H.; Fritz, J. und Zenner, C.: Die zwei Seiten der Digitalen Fabrik, In ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jg. 101 (2006), 1 / 2, S. 19-23.
- [Bornträger04] Bornträger, A.: MySQL 4. Franzis-Verlag, Poing, 2004.
- [Borowski61] Borowski, K.-H.: Das Baukastensystem in der Technik. Springer, Berlin. 1961.
- [Bracht+05] Bracht, U.; Eckert, C. und Masurat, T.: Ein umfassender Ansatz für Planung und Betrieb In: Intelligenter produzieren, VDMA Verlag 2005 / 1, S. 711-719.
- [Bruegge+04] Bruegge, B.; Dutoit, A. H.: Object-Oriented Software-Engineering. 2<sup>nd</sup> Edition, Pearson, 2004.

- [Brussel96] Brussel, H. M. J. van: Mechatronics – A Powerfull Concurrent Engineering Framework. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, Vol. 1, No. 2 1996, S. 127-136.
- [Buschmann+98] Buschmann, F. et. al.: Pattern-orientierte Software-Architektur. Addison-Wesley, München und Boston, 1998.
- [CompoNET 09] CompoNET. [www.componet.de](http://www.componet.de) (20.07.2009).
- [Daenzer+02] Daenzer, W.F. (Hrsg.), Huber, F. (Hrsg.): Systems Engineering. Methodik und Praxis. 11.Aufl., Verlag Industrielle Organisation, Zürich, 2002.
- [Dehnhardt01] Dehnhardt, W.: Scriptsprachen für dynamische Webautritte. Carl Hanser, München und Wien, 2001.
- [Dreher09] Dreher, S.: Schnittigere Planungsabläufe. In: Automobile Produktion, Heft 9, 2009.
- [Dröschel+00] Dröschel, W. (Hrsg.); Wiemers, M. (Hrsg.): Das V-Modell 97. Der Standard für die Entwicklung von IT-Systemen mit Anleitung für den Praxiseinsatz. Oldenbourg Verlag, 2000.
- [Dud07] Duden – Das große Fremdwörterbuch. 4. akt. Aufl., Dudenverlag, Mannheim - Leipzig - Wien - Zürich, 2007.
- [Eißrich05] Eißrich, R.: Die vernetzte und integrierte Planung durch die Digitale Fabrik. In: Intelligenter produzieren, VDMA Verlag 2005/1, S. 4-6.
- [Ehrlenspiel95] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Methoden für die Prozessorganisation, Produktdarstellung und Konstruktion. Hanser, München, 1995.
- [Ehrlenspiel03] Ehrlenspiel, K.: Integrierte Produktentwicklung. Denkabläufe, Methodeneinsatz, Zusammenarbeit. 2. Aufl. Hanser, München, 2003.
- [Ehrlenspiel+07] Ehrlenspiel, K. et. al.: Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren. 6. Aufl., Springer, Berlin und Heidelberg 2007.

- [Favre-Bulle04] Favre-Bulle, B.: Automatisierung komplexer Industrieprozesse. Systeme, Verfahren und Informationsmanagement. Springer, 2004.
- [Finkbeiner07] Finkbeiner, M.: Modularisierung von Maschinen. In: SPS/IPC/Drives 2007 Tagungsband, Verl, A. et. al. (Hrsg.), VDE-Verlag, Berlin, 2007.
- [Firchau+02] Firchau, N. L.; Franke, H.-J.: Methoden zur Variantenbeherrschung in der Produktentwicklung. In: Franke, h.J.; Hesselbach, J. et al. (Hrsg.), Variantenmanagement in der Einzel- und Kleinserienfertigung. Hanser, München, 2002.
- [Föederal04] Baukastenbasiertes Engineering mit Föederal. VDMA Verlag 2004.
- [Frager+09] Frager, O.; Nehr, W.: Modularität und Wiederverwendung im Engineering des Maschinen- und Anlagenbaus. In: atp Automatisierungstechnisch Praxis, Oldenbourg, Jg. 51, 6/2009, S.64-71.
- [Fritsch08] Fritsch, A.: Durch Modularisierung zum mechatronischen Baukastensystem. In: SPS/IPC/Drives 2008 Tagungsband, Verl, A. et. al. (Hrsg.), VDE-Verlag, Berlin, 2008.
- [Früh97] Früh, K. F.(Hrsg.): Handbuch der Prozessautomatisierung, Oldenbourg, 1997.
- [Gamma+93] Gamma, E. et. al. Vlissides: Design Patterns: Abstraction and Reuse of Object-Oriented Design. In: Nierstrasz, O. (Hrsg.): ECOOP 93 – Object-Oriented Programming, Proceedings of 7th European Conference, Kaiserslautern, Germany, Juli 1993, Lecture Notes in Computer Science, Springer, Berlin, Heidelberg und New York , S. 406-431.
- [Gamma+04] Gamma, E. et. al.: Entwurfsmuster. Addison-Wesley, München und Boston, 2004.
- [Goerth99] Goerth, J.: Bauelemente und Grundschaltungen. Teubner, Stuttgart, 1999.
- [Gomez09] Gomez, I.: Spitzennoten für Standort Deutschland. In: Financial Times Deutschland, Tageszeitung, 04.06.2009.

- [Hanßen+02] Hanßen, D und Riegler, T.: Studie Digitale Fabrik – Zentrales Investitionsthema in der Automobilindustrie, Pressegespräch Digitale Fabrik, Leinfelden 2002.
- [Heinen+08] Heinen, T. et. al.: Wandlungsfähigkeit als Ziel der Produktionssystemgestaltung. In: Wandlungsfähige Produktionssysteme. Nyhuis, P. et. al. (Hrsg.) Produktionstechnisches Zentrum, Garbsen 2008.
- [Heisel+04] Heisel, U.; Meitzner, M.: Rekonfigurierbare Bearbeitungssysteme. wt Werkstatttechnik – online, 94, S.517-520.
- [Hildebrand+05] Hildebrand, T. et. al.: PLUG+PRODUCE Gestaltungsstrategien für die wandlungsfähige Fabrik. IBF Chemnitz, 2005.
- [Hood+05] Hood, C.; Wiebel, R.: Optimieren von Requirements Management & Engineering. Springer, Berlin und Heidelberg, 2005.
- [Horn+02] Horn, E.; Reinke, T.: Softwarearchitektur und Softwarebauelemente. Hanser, 2002.
- [Horstmann06] Horstmann, C.: Object-Oriented Design & Patterns. 2.Aufl. John Wiley & Sons, 2006.
- [Hunag02] Hunag, M.: Funktionsmodellierung und Lösungsfindung mechatronischer Produkte. Shaker, Aachen, 2002.
- [Jobst06] Jobst, F.: Programmieren in Java. 5. Aufl., Carl Hauser, München und Wien, 2006.
- [Kemper+01] Kemper, A., Eickler, A.: Datenbanksysteme – Eine Einführung. 4. überarb. und erw. Aufl., Oldenbourg, München und Wien, 2001.
- [Kersten99] Kersten, W.: Wirksames Variantenmanagement durch Einbindung in den Controlling- und Führungsprozess im Unternehmen. In: Plattformkonzepte auch für Kleinserien und Anlagen. VDI Verlag, Düsseldorf, 1999, S. 155-175.
- [Keusch72] Keusch, W.: Entwicklung einer Gleitlagerreihe im Baukastenprinzip, Diss. Tu Berlin, 1972.

- [Klauke02] Klauke, S.: Methoden und Datenmodell der „Offenen Virtuellen Fabrik“ zur Optimierung simulanter Produktionsprozesse. VDI Fortschritt-Berichte Reihe 20, Nr. 360, VDI Verlag 2002.
- [Koch99] Koch, S.: JavaScript – Einführung, Programmierung, Referenz. 2. akt. und erw. Aufl., dpunkt Verlag, Heidelberg, 1999.
- [Kroll+09] Kroll, O.; Still, W.: Prolist NE100 in der Praxis. In: Automation 2009, VDI Berichte Nr. 2067, 2009, S.65-68.
- [Kühn06] Kühn, W.: Digitale Fabrik, Fabriksimulation für Produktionsplaner. Carl Hanser, München und Wien, 2006.
- [Lashin00] Lashin, G.: Baukastensystem für modulare Straßenbahnfahrzeuge. Konstruktion (2000) 1/2, S. 61-66.
- [Lauber+99] Lauber, R., Göhner, P.: Prozessautomatisierung 1. 3. Aufl., Springer, 1999.
- [Lauber+99b] Lauber, R.; Göhner, P.: Prozessautomatisierung 2. Springer Berlin und Heidelberg. 1999.
- [Lindemann05] Entwicklungsmanagement. Lehrstuhl für Produktentwicklung (Hrsg.), Umdruck zur Vorlesung, München, 2005.
- [Lindemann07] Lindemann, U.: Methodische Entwicklung technischer Produkte. 2. Aufl. Springer, Berlin und Heidelberg, 2007.
- [Lunze06] Lunze, J.: Regelungstechnik 1. 5.Aufl. Springer, Berlin Heidelberg New York, 2006.
- [Kiefer07] Kiefer, J.: Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosseriebau. In: Schriftenreihe Produktionstechnik. Band 43, Bley, H. und Weber, C. (Hrsg.), Saarbrücken 2007.
- [Maul+08] Maul, C.; Zeller, M.: Unterschiede und Gemeinsamkeiten von Leitsystemen in kontinuierlicher und diskreter Fertigung. In: atp Automatisierungstechnische Praxis. Oldenbourg, Jg. 50, 9/2008, S. 36-40.



- [Meier-Noe04] Meier-Noe, U.: Modellierung mechatronischer Systeme – Basis der Systemauslegung und der Wissenskonservierung. Fortschritts-Berichte VDI Reihe 20 Nr. 379, VDI Verlag, Düsseldorf, 2004.
- [Negele06] Negele, H.: Systematische Methodik zur ganzheitlichen Modellierung am Beispiel der integrierten Produktentwicklung. 2.Aufl. Herbert Utz Verlag, München, 2006.
- [Nyhuis+08] Nyhuis, P.; Reinhard, G. et. al.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. Produktionstechnisches Zentrum, Garbsen 2008.
- [Nyhuis+08b] Nyhuis, P., Heinen, T., Reinhart, G. et al.: Wandlungsfähige Produktionssysteme. In: wt Werkstattstechnik online, Jg. 98 (2008), H. 1/2, S. 85-91.
- [Pahl+07] Pahl, G.; Beitz, W.; et al.: Konstruktionslehre. Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Aufl. Springer, Berlin, 2007.
- [Patzak82] Patzak, G.: Systemtechnik – Planung komplexer innovativer Systeme. Springer, Berlin, 1982.
- [Paulwitz09] Paulwitz, M.: Audi verkürzt Durchlaufzeit im Engineering. Produktion, Nr. 24-25/2009 S.10.
- [PD09] Process Designer. Leistungsstarke 3D Umgebung für die Planung von Fertigungsprozessen. Technomatix (Hrsg.), [http://www.plm.automation.siemens.com/de\\_de/Images/process\\_designer\\_tcm73-62432.pdf](http://www.plm.automation.siemens.com/de_de/Images/process_designer_tcm73-62432.pdf) (17.07.2009).
- [Piller+99] Piller, F. Th.; Waringer, D.: Modularisierung in der Automobilindustrie – Neue Formen und Prinzipien. Shaker, Aachen, 1999.
- [Ponn+08] Ponn, J.; Lindemann, U.: Konzeptentwicklung und Gestaltung technischer Produkte. Springer, Berlin und Heidelberg, 2008.

- [Prolist05] Produktdatenaustausch auf der Basis standardisierter PROLIST-Merkmallisten für PLT-Geräte und –Systeme. atp Automatisierungstechnische Praxis. Oldenbourg, Sonderdruck 7-8/2005.
- [Renner07] Renner, I.: Methodische Unterstützung funktionsorientierter Baukastenentwicklung am Beispiel Automobil. Verlag Dr. Hut, München, 2007.
- [Riepe03] Riepe, B.: Integrierte Produktstrukturmodellierung in den frühen Phasen der Produktentstehung. Books on Demand Verlag, Norderstedt, 2003.
- [Robertson+08] Robertson, S. und Robertson, J.: Mastering the Requirements Process. 2. Aufl., Addison-Wesley Boston, 2008.
- [Roddeck06] Roddeck, W.: Einführung in die Mechatronik. 3. Aufl. Teubner, Wiesbaden, 2006.
- [Ropohl75] Ropohl, G.: Systemtechnik – Grundlagen der Anwendung. Carl Hanser, München, 1975.
- [Ropohl79] Ropohl, G.: Eine Systemtheorie der Technik – Grundlagen der allgemeinen Theorie. Carl Hanser, München und Wien, 1979.
- [Ropohl99] Ropohl, G.: Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik, 2. Aufl., Carl Hanser, München und Wien, 1999.
- [Ropohl09] Ropohl, G.: Allgemeine Technologie – Eine Systemtheorie der Technik. 3 Aufl. Universitätsverlag Karlsruhe, 2009.
- [Roth00] Roth, K.: Konstruktion mit Konstruktionskatalogen. Bd. 1: Konstruktionslehre. 3. Aufl. Springer, Berlin, 2000.
- [Roth01] Roth, K.: Konstruktion mit Konstruktionskatalogen. Bd. 2: Konstruktionskataloge. 3. Aufl. Springer, Berlin, 2001.
- [Rude98] Rude, S.: Wissensbasiertes Konstruieren. Shaker, Aachen, 1998.
- [Rupp02] Rupp, C.: Requirements- Engineering und –Management. 2. Aufl. Carl Hauser, München und Wien, 2002.

- [Sauer04] Sauer, O.: Einfluss der Digitalen Fabrik auf die Fabrikplanung. wt Werkstatttechnik online (2004) 1 / 2 , S.31-34.
- [Seiler-Hornke+03] Seiler-Hornke, J.; Soltendick, W.: Apache – Den Webserver installieren, konfigurieren und administrieren. 2. überarb. und erw. Aufl., Carl Hanser, München und Wien, 2003.
- [Schmieder+05] Schmieder, M.; Thomas, S.: Plattformstrategien und Modularisierung in der Automobilentwicklung. Shaker-Verlag, Aachen 2005.
- [Schmigalla95] Schmigalla, H.: Fabrikplanung: Begriffe und Zusammenhänge. Hanser, München und Wien, 1995.
- [Schlögl07] Einsatz der Digitalen Fabrik von der Anlagenplanung bis in den laufenden Betrieb. In: Automation 2007, VDI Berichte Nr. 1980, 2007, S.717-725.
- [Schraft+98] Schraft, R. D., Kaun, R.: Automatisierung in der Produktion. Erfolgsfaktoren und Vorgehen in der Praxis. Springer, 1998.
- [Schütten03] Schütten, U.: Konzept eines modulbasierten Engineerings in der Anlagenautomatisierung. Dissertation, Essen, 2003.
- [Stang+03] Stang, S.; Warneck, G.: Plattform Engineering – neue Wege zu neuartigen Konzepten. Konstruktion (2003) 3, S. 72-75.
- [Tille+05] Tille, T.; Schmitt-Landsiedel, D.: Mikroelektronik. Springer, Berlin 2005.
- [VDI2206] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 2206, Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme. VDI-Verlag, Düsseldorf, 2004.
- [VDI3633] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2000.
- [VDI3694] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 3694: Lastenheft/Pflichtenheft für den Einsatz von Automatisierungssystemen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2008.

- [VDI4499] Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.): VDI-Richtlinie 4499, Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2006.
- [Vogel-Heuser09] Vogel-Heuser, B.: Visionen für das Engineering der Automatisierungstechnik 2020. In: atp Automatisierungstechnische Praxis. Oldenbourg, Jg. 51, 5/2009 S. 49-56.
- [Warnecke96] Warnecke, H.-J.: Die Fraktale Fabrik. Revolution der Unternehmenskultur. Springer. 1996.
- [Weber02] Weber, K.-H.: Inbetriebnahme verfahrenstechnischer Anlagen. 2. Aufl., VDI-Verlag, Düsseldorf, 2002.
- [Weilkiens06] Weilkiens, T.: Systems Engineering mit SysML/UML dpunkt.verlag Heidelberg. 2006.
- [Wemhöner06] Wemhöner, N.: Flexibilitätsoptimierung zur Auslastungssteigerung im Automobilrohbau. In: Berichte aus der Produktion. Eversheim, W. et. al. (Hrsg.), Band 12/2006.
- [Westkämper+03] Westkämper, E.; Bierschenk, S. und Kuhlmann, T.: Digitale Fabrik – nur was für die Großen?, In: wt Werkstattstechnik 93 (2003) H. 1/2, S. 22-26.
- [Wiendahl+02] Wiendahl, H.-P.; Harms, T.; Heger, C.: Kontextsensitiver Einsatz von Virtual Reality im Rahmen der Digitalen Fabrik, Tagungsband zum 1. Paderborner Workshop Augmented Reality und Virtual Reality in der Produktentstehung, HNI-Verlagsschriftenreihe, Bd. 107, Paderborn 2002.
- [Wildemann05] Wildemann, H.: Variantenmanagement. Leitfaden zur Komplexitätsreduzierung, -beherrschung und -vermeidung in Produkt und Prozess. 13. Aufl. TCW Verlag, München, 2005.
- [Willke93] Willke, H.: Systemtheorie. Gustav Fischer, Stuttgart, 1993.
- [Witsch+08] Witsch, D. et. al.: Entwurf wiederverwendbarer Steuerungssoftware mit Objektorientierung und UML. In: atp Automatisierungstechnische Praxis, Oldenbourg, Jg. 50, 5 / 2008, S. 54-60.
- [ZVEI06] Integrierte Technologie-Roadmap Automation 2015+.

# Abbildungsverzeichnis

ABBILDUNG 1-1: AUFBAU DER ARBEIT .....	3
ABBILDUNG 2-1: TYPISCHER AUFBAU EINES INDUSTRIELLEN AUTOMATISIERUNGSSYSTEMS [FAVRE-BULLE04] ..	11
ABBILDUNG 3-1: DIE DIGITALE FABRIK INTEGRIERT DIE VIRTUELLE UND DIE REALE FABRIK [KÜHN06] .....	20
ABBILDUNG 3-2: MECHATRONISCHE KOMPONENTEN IM FUNKTIONALEN ENGINEERING [FÖDERAL04].....	23
ABBILDUNG 3-3: RELEVANTE EBENEN INNERHALB DES ACHT-EBENEN-KONZEPTS [ROPOHL99] .....	26
ABBILDUNG 3-4: SCHEMA ZUR MUSTERBESCHREIBUNG [BUSCHMANN+98] .....	35
ABBILDUNG 4-1: GEDÄMPFTER FEDER-MASSE-SCHWINGER ALS BEISPIEL EINES MODELLS .....	48
ABBILDUNG 4-2: EINTEILUNG DES SOZIOTECHNISCHEN FABRIKSYSTEMS IN SUBSYSTEME .....	51
ABBILDUNG 4-3: ERKLÄRUNGSHIERARCHIE DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK FÜR DIE ANLAGENPLANUNG .....	52
ABBILDUNG 4-4: EINBETTUNG VON AUTOMATISIERUNGSSYSTEMEN IN DAS FERTIGUNGSSYSTEM .....	54
ABBILDUNG 4-5: ABSTRAKTES MECHATRONISCHES SYSTEM [MEIER-NOE04] .....	55
ABBILDUNG 4-6: KLASSIFIZIERUNG DER PLANUNGSKOMPONENTEN.....	59
ABBILDUNG 4-7: UNTERTEILUNG EINER PLANUNGSKOMPONENTE IN BLÖCKE .....	60
ABBILDUNG 4-8: HIERARCHISCHE UNTERTEILUNG DER PLANUNGSKOMPONENTE IN DISZIPLINEN .....	61
ABBILDUNG 4-9: PLANUNGSKOMPONENTE SCHRAUBSYSTEM MIT DEN BLÖCKEN WINKELSCHRAUBER UND IPC ..	62
ABBILDUNG 4-10: BEISPIEL EINER KOPPLUNG ZWISCHEN ZWEI BLÖCKEN.....	63
ABBILDUNG 4-11: VARIANTEN ZUR ANPASSUNG AN PROJEKTBEZOGENE RANDBEDINGUNGEN.....	64
ABBILDUNG 4-12: PLANUNGSKOMPONENTE SCHRAUBSYSTEM MIT VARIANTEN .....	65
ABBILDUNG 4-13: BEISPIELE FÜR KORRELATIONEN EINER PLANUNGSKOMPONENTE .....	68
ABBILDUNG 4-14: BEISPIEL EINER KORRELATION .....	69
ABBILDUNG 4-15: ATTRIBUT ZUR MODELLIERUNG DER KORRELATION ZWISCHEN SCHRAUBSYSTEM UND FÖRDERTECHNIK.....	70
ABBILDUNG 4-16: EBENENMODELL DER ANLAGENMUSTER.....	71
ABBILDUNG 4-17: SPEZIALISIERUNG DER KLASSE PLANUNGSKOMPONENTE .....	73
ABBILDUNG 4-18: KLASSENDIAGRAMM DER PLANUNGSKOMPONENTE. ....	73
ABBILDUNG 4-19: SPEZIALISIERUNG DER ABSTRAKTEN KLASSE BLOCK .....	74
ABBILDUNG 4-20: KLASSENMODELL DER ANLAGENMUSTER.....	75
ABBILDUNG 4-21: KLASSENDIAGRAMM ZUR UNTERTEILUNG DES ANLAGENMUSTERS IN EBENEN .....	76
ABBILDUNG 4-22: KOPPLUNGEN UND KORRELATIONEN ALS SPEZIALISIERUNG DER KLASSE WECHSELWIRKUNG	77
ABBILDUNG 4-23: KLASSENDIAGRAMM DER KLASSE STRUKTUR .....	77
ABBILDUNG 4-24: SPEZIALISIERUNG DER KLASSE STRUKTUR NACH DISZIPLINEN .....	78

ABBILDUNG 5-1: ROLLENMODELL DER AUTOMATISIERUNGSTECHNIK-PLANUNG .....	82
ABBILDUNG 5-2: EBENENBEZOGENE ABSTIMMUNGEN DER PLANER IM PROJEKTVERLAUF .....	85
ABBILDUNG 5-3: ABSTIMMUNG EINER PLANUNGSKOMPONENTE AUF HARDWAREEBENE.....	86
ABBILDUNG 5-4: DATENSTRUKTUR TEIL 1 – I OMPONENTE .....	87
ABBILDUNG 5-5: DATENSTRUKTUR TEIL 2 - I USTER.....	88
ABBILDUNG 5-6: DATENSTRUKTUR TEIL 3 – I TANDARD- UND PROJEKTBIBLIOTHEK .....	89
ABBILDUNG 5-7: CLIENT-SERVER ARCHITEKTUR DES PLANUNGSWERKZEUGS. ....	90
ABBILDUNG 5-8: SCHNITTSTELLENÜBERSICHT DER CLIENT-SERVER-ARCHITEKTUR .....	91
ABBILDUNG 5-9: BUSINESS LOGIC DER JAVA-APPLIKATION .....	92
ABBILDUNG 5-10: ATPLAN BENUTZEROBERFLÄCHE: NEUE KOMPONENTE ERSTELLEN .....	94
ABBILDUNG 5-11: AKTIVITÄTSDIAGRAMM: ANMELDEN AM ATPLAN-SERVER.....	94
ABBILDUNG 5-12: NEUE KOMPONENTE ANLEGEN.....	95
ABBILDUNG 5-13: MUSTERANSICHT IM ATPLAN-TOOL .....	96
ABBILDUNG 5-14: MUSTER ANLEGEN .....	97
ABBILDUNG 5-15: PROJEKTKONFIGURATIONEN ANLEGEN .....	98
ABBILDUNG 5-16: PLANUNGSWERKZEUG ALS KOOPERATIONS-PLATTFORM .....	99
ABBILDUNG 6-1: 3D DARSTELLUNG EINES EC-SCHRAUBSYSTEMS .....	103
ABBILDUNG 6-2: ABGESTIMMTER SIGNALVERLAUF DES TEILEEINLAUFS .....	109
ABBILDUNG 6-3: EXEMPLARISCHES SOFTWAREMUSTER DES EC-SCHRAUBSYSTEMS .....	110
ABBILDUNG 6-4: PROZESSMUSTER DER PLANUNGSKOMPONENTE EC-SCHRAUBSYSTEM .....	111
ABBILDUNG 6-5: PROZESSMUSTERDARSTELLUNG DES ATPLAN-WERKZEUGS.....	112
ABBILDUNG 6-6: DARSTELLUNG DES SOFTWAREMUSTERS IM ATPLAN-TOOL.....	113
ABBILDUNG 6-7: MODELL DES HARDWAREMUSTERS DER PLANUNGSKOMPONENTE EC-SCHRAUBSYSTEM.....	114
ABBILDUNG 6-8: DARSTELLUNG DES VORRICHTUNGSMUSTERS IM ATPLAN-WERKZEUG .....	115
ABBILDUNG 0-1: STRUKTUR DER PLANUNGSKOMPONENTE EC-SCHRAUBSYSTEM.....	123
ABBILDUNG 0-2: ATTRIBUTE DER PLANUNGSKOMPONENTE EC-SCHRAUBSYSTEM.....	124
ABBILDUNG 0-3: ATTRIBUTE DER PLANUNGSKOMPONENTE FOERDERTECHNIK .....	125
ABBILDUNG 0-4: ANLAGENMUSTER DES EC-SCHRAUBSYSTEMS .....	126

## Glossar

Automatisierungskonzept	Lösung eines Automatisierungsproblems; A. sind Modelle der Fertigungsanlage bzw. von Teilen der Fertigungsanlage, die zu einem sehr frühen Zeitpunkt im Anlagenlebenszyklus erstellt werden.
Betriebsmittel	B. sind Anlagen, Einrichtungen, Maschinen, Werkzeuge und Vorrichtungen, die zur Herstellung eines Gutes notwendig sind.
Business Logic	Die B.L. ist eine Abgrenzung der durch die Aufgabenstellung selbst motivierten Logik eines Softwaresystems von der technischen Implementierung.
Concurrent Engineering	Weiterentwicklung des Simultaneous Engineering
Datenautomatisierung	Die D. sorgt für eine anforderungsgemäße Verfügbarkeit von Daten über die gesamte Prozesskette eines Unternehmens. Die Bereitstellung sowie teilweise die Verarbeitung erfolgt automatisch gemäß definierter Prozesse.
Fertigungsplanung	Die F. ist die Planung der Teilefertigung und Montage eines Produktes als Teilaspekt der Produktion.

Planungskomponente	Eine P. ist ein abgegrenzter Teil der bei der Planung erarbeiteten Information; sie beinhaltet ein – in der Planung entwickeltes – Konzept.
Formalisierung	Die F. ist der Vorgang des Formalisierens einer Sache. Etwas wird formalisiert, wenn ihm bestimmte strenge Form gegeben wird, es in einer strengen Form dargestellt oder bei seiner Durchführung eine vorgegebene strenge Form eingehalten wird. [Wikipedia] [Dud07]
Formalismus	F. ist die Bevorzugung der Form vor dem Inhalt [Dud07]
Funktion	Eine F. ist ein allgemeiner und gewollter Zusammenhang zwischen Eingang und Ausgang eines Systems mit dem Ziel, eine Aufgabe zu erfüllen. [Pahl+07]
Funktionsstruktur	Eine F. ist die Verknüpfung von Teilfunktionen zu einer Gesamtfunktion [Pahl+07]
Gewerk	Ein G. bezeichnet eine Einteilung in Tätigkeitsfelder. Im Automobilbau spricht man von den Gewerken: Presswerk, Karosseriebau, Lack, Montage und Aggregate.
Informationsmodell	Ein I. ist eine abstrakte Abbildung von Objekten mit ihren Eigenschaften und Beziehungen.



Instandhaltung	Unter I. wird die Wartung von technischen Anlagen zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit verstanden. Im Kontext dieser Arbeit wird unter I. vor allem eine Organisationseinheit verstanden, deren Aufgabe der Betrieb einschließlich der notwendigen Wartung von Produktionsanlagen ist.
Konsistenz	Widerspruchsfreiheit
Konzept	Ein K. ist eine prinzipielle Lösungsvariante.
Produktionsplanung	Unter der P. versteht man die operative, zeitliche, mengenmäßige und räumliche Planung der Produktion eines Gutes.
Profibus	(Process Field Bus) ist ein Standard für die Feldbus-Kommunikation in der Automatisierungstechnik.
Profinet	(Process Field Network) ist der offene Industrial Ethernet Standard für die Automatisierungstechnik.
Retooling	Unter R. versteht man den Wiedereinsatz von Komponenten und Werkzeugen.
Simultaneous Engineering	S ist eine Vorgehensweise in der technischen Entwicklung, bei welcher die Produktentwicklung und die Fertigungsplanung zeitlich parallelisiert sind.

User Interface	Benutzeroberfläche (etwa einer Software)
Virtuelle Inbetriebnahme	V.-R. ist die erstmalige Nutzung einer Anlage, wobei die reale Steuerung und das reale Steuerungsprogramm verwendet wird, der übrige Teil der Anlage aber in einem virtuellen Modell simuliert wird.
V-Modell	Das V. ist ein Vorgehensmodell zur qualitätsorientierten Entwicklung von Software.
Wirkprinzip	Das W. ist ein Grundsatz, von dem sich eine bestimmte Wirkung zur Erfüllung der Funktion ableitet (physikalischer, biologischer, chemischer Effekt oder Effekte sowie geometrische und stoffliche Merkmale in Verbindung mit einer Teilfunktion). [Pahl+ 07]



