

**Definition eines mechatronischen
Informationsmodells zur Modellierung
von Automatisierungskomponenten und Maschinen**

Von der Fakultät Konstruktions-, Produktions- und Fahrzeugtechnik
der Universität Stuttgart
zur Erlangung der Würde eines
Doktors der Ingenieurwissenschaften (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von
Dipl.-Ing. Axel Reuter
geboren in Eschwege

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. Alexander Verl
Mitberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Michael Weyrich

Tag der mündlichen Prüfung: 13.05.2013

Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen
und Fertigungseinrichtungen
der Universität Stuttgart

2013

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.

ISBN 978-3-8439-1137-5

© Verlag Dr. Hut, München 2013
Sternstr. 18, 80538 München
Tel.: 089/66060798
www.dr.hut-verlag.de

Die Informationen in diesem Buch wurden mit großer Sorgfalt erarbeitet. Dennoch können Fehler nicht vollständig ausgeschlossen werden. Verlag, Autoren und ggf. Übersetzer übernehmen keine juristische Verantwortung oder irgendeine Haftung für eventuell verbliebene fehlerhafte Angaben und deren Folgen.

Alle Rechte, auch die des auszugsweisen Nachdrucks, der Vervielfältigung und Verbreitung in besonderen Verfahren wie fotomechanischer Nachdruck, Fotokopie, Mikrokopie, elektronische Datenaufzeichnung einschließlich Speicherung und Übertragung auf weitere Datenträger sowie Übersetzung in andere Sprachen, behält sich der Autor vor.

1. Auflage 2013

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als Doktorand bei der Bosch Rexroth AG betreut durch das Institut für Steuerungstechnik der Werkzeugmaschinen und Fertigungseinrichtungen der Universität Stuttgart.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. mult. A. Verl für die wohlwollende Unterstützung, die gewährten Freiräume sowie die Übernahme des Hauptberichts meiner Arbeit. Seine wertvollen Anregungen und die damit verbundenen konstruktiven Diskussionen zu den Präsentationen meiner Zwischenergebnisse haben wesentlich zum Gelingen meiner Dissertation beigetragen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. M. Weyrich danke ich für das meiner Arbeit entgegengebrachte Interesse und die Übernahme des Mitberichts.

Danken möchte ich weiterhin der Firma Bosch Rexroth für die Ermöglichung der Promotion, die wertvolle Unterstützung während der Erarbeitung der Ergebnisse und das zu Verfügung gestellte grafische Material.

Bei allen Mitarbeitern der Abteilung zur Entwicklung der IndraMotion Logic Control der Firma Bosch Rexroth möchte ich mich für die offene und freundschaftliche Zusammenarbeit bedanken. Ganz besonders möchte ich mich bei Dr.-Ing. Thomas Brandl und Dr.-Ing. Maik Köhler für die fachliche Betreuung meiner Arbeit und die damit verbundenen zahlreichen konstruktiven Gespräche bedanken, die eine große Hilfe für die Erstellung meiner Arbeit waren.

Herrn Dr.-Ing. Jörg Lewek und Herrn Dr.-Ing. Marco Litto danke ich für die anregenden fachlichen und inhaltlichen Diskussionen sowie für die Unterstützung durch die Bereitstellung Ihrer Engineeringsoftware.

Des Weiteren möchte ich mich bei meinen Eltern bedanken, ohne die ein Studium und die anschließende Doktorarbeit niemals möglich gewesen wären. Meinen Freunden sowie ganz besonders meiner Frau Daniela danke ich für den Rückhalt, die Aufmunterung sowie die Unterstützung während der Erstellung der Arbeit. Meine Frau brachte mir dabei sehr viel Geduld entgegen und hielt mir die ganze Zeit über den Rücken frei.

Stuttgart, im Juni 2013

Axel Reuter

Inhaltsverzeichnis

Deutscher Abstract	11
English Abstract	13
1 Einleitung	15
1.1 Die mechatronische Wertschöpfungskette als Ausgangssituation	15
1.2 Problemstellung infolge individueller Modellierung	17
1.3 Ziel der Arbeit	18
2 Begriffe	21
2.1 Informationsmodelle im Maschinenbau	21
2.1.1 Strukturmodelle	21
2.1.2 Objektorientierte Modellierung	22
2.1.3 Disziplinspezifische Informationsmodelle	22
2.1.4 Mechatronische Informationsmodelle	23
2.2 Engineering im Maschinenbau	23
2.2.1 Engineering	24
2.2.2 Fachdisziplinen im Engineeringprozess	25
2.2.3 Funktionale Zusammenhänge zur Unterstützung des mechatronischen Engineerings	26
2.3 Maschinen und Maschinenbestandteile	27
2.3.1 Sichtweisen und Strukturierungsprinzipien für Maschinen	27
2.3.2 Grundaufbau von Maschinen	28
2.4 Automatisierungskomponenten und -systeme	30
3 Anforderungen	33
3.1 Querschnittsanforderungen an die Modellierungsvorgaben	33
3.2 Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten	37
3.3 Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Maschinen	38
3.4 Zusammenfassung der Anforderungen	38

4	Stand der Technik und Handlungsbedarf	41
4.1	Grundprinzipien zur Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen	41
4.1.1	Dokumentengestützte Modellierung	41
4.1.2	Datenbankgestützte Modellierung	42
4.1.3	Objektorientierte Modellierung	42
4.1.4	Gegenüberstellung der Grundprinzipien	45
4.2	Anwendungsbezogene Struktur- und Informationsmodelle im Maschinenbau	46
4.2.1	Disziplinspezifische Daten- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten	46
4.2.2	Standardisierte Maschinenstrukturen	47
4.2.3	Wissenschaftliche Ansätze zur disziplinübergreifenden Modellierung von Maschinen und Automatisierungskomponenten	50
4.3	Bestehende disziplinübergreifende Engineeringlösungen	53
4.3.1	Mechatronische Engineeringwerkzeuge	53
4.3.2	Disziplinübergreifende Austauschmodelle	55
4.3.3	Weitere disziplinübergreifende Ansätze	56
4.3.4	Vergleich bestehender disziplinübergreifender Engineeringlösungen	58
4.4	Defizite und daraus abgeleiteter Handlungsbedarf	59
5	Modellierungssystematik und -strukturen zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten	61
5.1	Modellierungssystematik zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten	61
5.1.1	Entwicklung eines konzeptionellen Informationsmodells für Automatisierungskomponenten	61
5.1.2	Ableitung eines objektorientierten Informationsmodells zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten	64
5.1.3	Erweiterung des objektorientierten Informationsmodells zur Modellierung von Automatisierungssystemen	66
5.2	Erarbeitung funktionaler Modellierungsstrukturen zur Abbildung verschiedener Automatisierungskomponenten	70
5.2.1	Herleitung einer Methode zur formalen und funktionalen Unterscheidung von Automatisierungskomponenten	70
5.2.2	Definition der Grundfunktionen von Automatisierungskomponenten	72

5.2.3	Ableitung der Basisgeräteklassen für Automatisierungskomponenten	74
5.2.4	Definition logischer Automatisierungskomponenten	76
5.2.5	Funktionale Klassenstruktur zur Abbildung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten	79
5.3	Mechatronisches Strukturmodell für Automatisierungskomponenten und Maschinen	80
5.3.1	Erarbeitung einer mechatronischen Grundstruktur	80
5.3.2	Modellierungsgrenzen der mechatronischen Grundstruktur	82
5.3.3	Schnittstellen der mechatronischen Grundstruktur	83
5.4	Zusammenfassung der Modellierungssystematik und -strukturen zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten	85
6	Herstellerunabhängiges, mechatronisches Informationsmodell für Automatisierungskomponenten und -systeme	87
6.1	Aktorkomponentenmodell	87
6.1.1	Ableitung eines Informationsmodells für Aktoren	87
6.1.2	Kategorisierung verschiedener Arten von Aktoren	89
6.1.3	Definition eines Informationsmodells für Aktoradapter	90
6.1.4	Entwicklung von Regeln für die Kombinationen mehrerer Aktoren und -adapter	93
6.1.5	Ableitung des Aktorkomponentenmodells und der zugehörigen Klassenstruktur	95
6.2	Sensorkomponentenmodell	97
6.2.1	Herleitung eines Informationsmodells für Sensoren	97
6.2.2	Kategorisierung verschiedener Arten von Sensoren	98
6.2.3	Definition eines Informationsmodells für Sensoradapter	100
6.2.4	Ableitung des Sensorkomponentenmodells und der zugehörigen Klassenstruktur	102
6.3	Informationsmodell für Informationsverarbeitungs-komponenten	104
6.3.1	Definition eines Informationsmodells für Informationsverarbeitungen	104
6.3.2	Kategorisierung von Informationsverarbeitungs-komponenten	106
6.3.3	Herleitung von Informationsmodellen für Informationsverarbeitungs-komponenten	107
6.3.4	Ableitung der Klassen- und Kompositionsstruktur für Informationsverarbeitungs-komponenten	108

6.4	Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Automatisierungskomponenten	113
6.5	Modellierung von Automatisierungssystemen	114
6.6	Zusammenfassung der herstellerunabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten und -systemen	116
7	Hersteller- und branchenunabhängige Modellierungsvorgaben für Maschinen sowie Modellierungsebenen für die Modellierungsvorgaben	117
7.1	Branchenunabhängiges Maschinenmodell	117
7.1.1	Definition der Modellierungstiefe im Maschinenmodell	118
7.1.2	Festlegung einer branchenunabhängigen Maschinenstruktur	119
7.1.3	Herleitung des branchenunabhängigen Maschinenmodells	120
7.1.4	Definition von Schnittstellen zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell	124
7.2	Hierarchische Modellierungsebenen für Modellierungsvorgaben	127
7.2.1	Spezifikation der Meta-Meta Modellierungsebene	127
7.2.2	Einführung der abstrakten Modellierungsebene	128
7.2.3	Herleitung der konkreten Modellierungsebene	129
7.2.4	Definition der realen Modellierungsebene	131
7.3	Zusammenfassung der Definitionen zum branchenunabhängigen Maschinenmodell und hierarchischen Modellierungsebenen	133
8	Realisierung und Verifikation	135
8.1	Verwendete Engineeringwerkzeuge	135
8.2	Implementierung der Modellierungsvorgaben im mechatronischen Engineeringwerkzeug	137
8.3	Modellierung einer Automatisierungskomponente	139
8.4	Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine	141
8.5	Fazit zur Realisierung	146
9	Zusammenfassung und Ausblick	147
	Literatur	149

Abkürzungen

2D	Zweidimensional
3D	Dreidimensional
A	Aktor
AIS	Anlageninformationssystem
AK	Automatisierungskomponente
AKM	Automatisierungskomponentenmodell
AML	Automation Modelling Language
AML	Automation Markup Language
AQUIMO	Adaptierbares Modellierungswerkzeug und Qualifizierungsprogramm für den Aufbau firmenspezifischer mechatronischer Engineeringprozesse
BIS	Baukasteninformationssystem
CAD	Computer Aided Design
CIM	Computer-Integrated Manufacturing
CIMOSA	Computer-Integrated Manufacturing Open System Architecture
CNC	Computerized Numerical Control
COLLADA	Collaborative Design Activity
DKU	Domänenübergreifende Konzeptionsumgebung
DXF	Drawing Exchange Format
E	Eingangsinformation
EC	Engineering Center
ECAD	Electronic Computer Aided Design
EDS	Electronic Data Sheet
ERP	Enterprise Resource Planning
FDCML	Field Device Configuration Markup Language
FEM	Finite-Elemente-Methode
GSD	Generic Station Description
GSDML	Generic Station Description Markup Language
HIL	Hardware-In-the-Loop
HMI	Human-Machine Interface

I	Interface
IM	Informationsmodell
IVK	Informationsverarbeitungskomponente
IZE	Integrationsplattform zur Entwicklung
LMS	Prinzipielle Lösungen mechatronischer Systeme
MCAD	Mechanical Computer Aided Design
ME	Modellierungsebene
MEC	Mind8 Engineering Center
MES	Verbundforschungsprojekt MECHASOFT
MG	Messgröße
MKS	Mehrkörpersimulation
MLC	Motion Logic Control
MNS	Maschinennahe Steuerungsfunktionen
MOF	Meta Object Facility
MOP	Mechatronikorientierte Planung
PDM	Produkt-Daten-Management
physMG	Physikalische Messgröße
PLM	Product-Lifecycle-Management
S	Sensor
SDDML	SERCOS Device Description Markup Language
SDS	SERCOS Device Description
SERCOS	Serial Real-time Communication System
SIS	Störungsinformationssystem
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung
STEP	Standard for the Exchange of Product Model Data
SysML	Systems Modeling Language
TIM	Teilinformationsmodell
UML	Unified Modeling Language
VDA-FS	Verband der Automobilindustrie - Flächenschnittstelle
XML	Extensible Markup Language

Deutscher Abstract

Der Trend zu einem ständig wachsenden Angebot an neuen Produkten sowie zu immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen erfordert flexible Produktionsmaschinen und -anlagen, die in immer kürzeren Zeiten zu stetig sinkenden Kosten bei möglichst steigender Qualität entwickelt und hergestellt werden können. Um die dazu notwendige Parallelisierung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess zu ermöglichen, sind anpassbare Automatisierungskomponenten und Maschinenstrukturen sowie entsprechende Informationsmodelle erforderlich. Ziel dieser Arbeit ist daher die Entwicklung durchgängiger, mechatronischer Modellierungsvorgaben für die Unterstützung von Komponenten- und Maschinenherstellern.

Die notwendigen Anforderungen an die zu definierenden Modellierungsvorgaben werden erarbeitet und anhand der drei Kategorien Querschnittsanforderungen, sowie Anforderungen an Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und für Maschinen strukturiert. Die wichtigsten Anforderungen sind dabei Durchgängigkeit für alle Fachdisziplinen, Unabhängigkeit von einzelnen Branchen im Maschinenbau und von Herstellern für Automatisierungskomponenten, Verwendung bestehender disziplinspezifischer Daten- und Informationsmodelle sowie Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Automatisierungskomponenten und Maschinenstrukturen.

Anschließend werden der Stand der Technik in Bezug auf Grundprinzipien zur Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen, vorhandene Struktur- und Informationsmodelle sowie bestehende Engineeringlösungen an den Anforderungen gespiegelt. Dabei stellen sich als Defizite das Fehlen von Modellierungsvorgaben in vorhandenen Engineeringlösungen sowie die Abhängigkeit der bisherigen Modellierung von Branchen und Herstellern heraus.

Um verschiedene Arten von Automatisierungskomponenten sowie deren zugehörige Strukturen und Informationsmodelle formal abbilden zu können, wird ein konzeptionelles Informationsmodell als Basis zur mechatronischen Modellierung entwickelt. Dazu wird eine Methode erarbeitet, die bestehende Daten von Automatisierungskomponenten systematisch in eine funktionale Klassenstruktur überführt. Ziel der anschließend festgelegten mechatronischen Grundstruktur ist die disziplinübergreifende Abbildung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten und zu Maschinen.

Basierend auf diesen Grundlagen ermöglicht das erarbeitete Automatisierungskomponentenmodell die herstellerunabhängige Abbildung von Automatisierungskomponenten und -systemen in einem durchgängigen Informationsmodell. Die dazu innerhalb des Automatisierungskomponentenmodells eingeführten Informations- und Energieflüsse werden als Schnittstellen für die Modellierung der verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten herangezogen und damit Modellierungsvorgaben für Sensor-, Aktor- und Informationsverarbeitungskomponenten erarbeitet. Aufbauend auf diesen Informationsmodellen folgt die Abbildung der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Automatisierungskomponenten sowie die Modellierung von Automatisierungssystemen in einer im Rechner verarbeitbaren Klassenstruktur.

Weiterhin wird ein branchenunabhängiges Maschinenmodell basierend auf einer branchenunabhängigen Funktionsstruktur erarbeitet, das als objektorientierte, im Rechner verarbeitbare Klassenstruktur mit zugehörigen Schnittstellen zum Automatisierungskomponentenmodell festgelegt wird. Anschließend folgt eine Definition hierarchischer Modellierungsebenen zur Bereitstellung der Modellierungsvorgaben für Komponenten- und Maschinenhersteller. Dazu werden vier Modellierungsebenen entwickelt, die eine Trennung zwischen der disziplin- und branchenunabhängigen sowie der hersteller- und maschinentypspezifischen Modellierung ermöglichen.

Die industrielle Einsetzbarkeit der erarbeiteten Modellierungsvorgaben werden durch prototypische Implementierung in einem mechatronischen Engineeringwerkzeug und deren Verwendung bei der Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine nachgewiesen. Damit wird die Eignung der Modellierungsvorgaben für Maschinen mit zugehörigen Maschinenstrukturen und Automatisierungskomponenten bestätigt.

English Abstract

The trend towards an ever-growing range of new products as well as shorter product life cycles requires flexible production machines and equipment, which can be developed in shorter time periods at continuously decreasing costs and increasing quality. In order to facilitate the needed parallelism in the development and construction process, adjustable machine structures and automation components as well as corresponding information models are required. The objective of this thesis is therefore to support component and machine manufacturers by the development of consistent, mechatronic modeling guidelines.

The essential requirements for these modeling guidelines are structured using the following three categories: cross-sectional requirements, requirements for modeling guidelines for automation components as well as for machines. The main requirements are the consistency across all disciplines, as well as the independence of individual sectors of mechanical engineering and the independence of manufacturers of automation components. Further requirements are the use of existing discipline-specific data and information models, as well as flexibility in the modeling of automation components and machine structures.

The state of the art in terms of basic principles for modeling of automation components and machines, existing structure and information models as well as existing engineering solutions is evaluated based on the given requirements. This evaluation shows the deficiencies of modeling guidelines in existing engineering solutions and the lack of dependencies between the previous modeling of individual sectors and manufacturers.

In order to map different types of automation components and their structures as well as information models, a conceptual information model is developed as basis for mechatronic modeling. For this purpose, a method is developed which systematically converts the existing data from automation components to a functional class structure. The aim of the established mechatronic basic structure is the cross-disciplinary mapping of interrelationships between different types of automation components and machines.

These principles allow the development of an automation component model for vendor-independent mapping of automation components and systems in an integrated information model. The introduced information and energy flows within the established

automation component model are used as interfaces for the modeling of various types of automation components. Thus these interfaces are used as modeling guidelines for sensor, actuator, and information processing components. Based on these information models the mapping of interdependencies between the individual automation components and the modeling of automation systems in a computer-processable class structure follows.

Furthermore, an industry-independent machine model is developed based on a cross-industrial, functional structure. This machine model is defined as an object-oriented, computer-processable class structure with interfaces to the automation component model. Subsequently, four hierarchical modeling levels are defined, to provide specified modeling guidelines for component and machine manufacturers. These modeling levels allow to distinguish between the discipline- and industry-independent modeling as well as vendor-specific and machine type-specific modeling.

The industrial applicability of the developed modeling guidelines was tested using a prototypical implementation of the guidelines in a mechatronic engineering tool and their usage in modeling the material supply of a production machine. Thus, the suitability of the modeling guidelines for machines, machine structures and automation components was verified.

1 Einleitung

1.1 Die mechatronische Wertschöpfungskette als Ausgangssituation

Im Maschinen- und Anlagenbau haben sich die verwendeten Werkstoffe und Maschinenelemente über Jahre hinweg bewährt. Maschinenhersteller entwickeln auf dieser Grundlage stets neue anwendungsbezogene Strukturen für Maschinen und Anlagen (Bild 1.1), um ihren Kunden individuelle Lösungen anbieten zu können /1/. Auch die zugehörigen Entwicklungs- und Konstruktionsprozesse im Maschinen- und Anlagenbau werden stetig angepasst und weiterentwickelt /2, 3, 4/. Dabei nimmt der Einsatz von Rechnern und virtualisierenden Methoden /5/ sowie die übergreifende Zusammenarbeit der Fachdisziplinen /4/ immer größer werdende Stellenwerte ein. Für die Begriffe Maschine und Anlage sowie die daraus abgeleiteten zusammengesetzten Begrifflichkeiten wird im Folgenden synonym der Begriff Maschine verwendet.

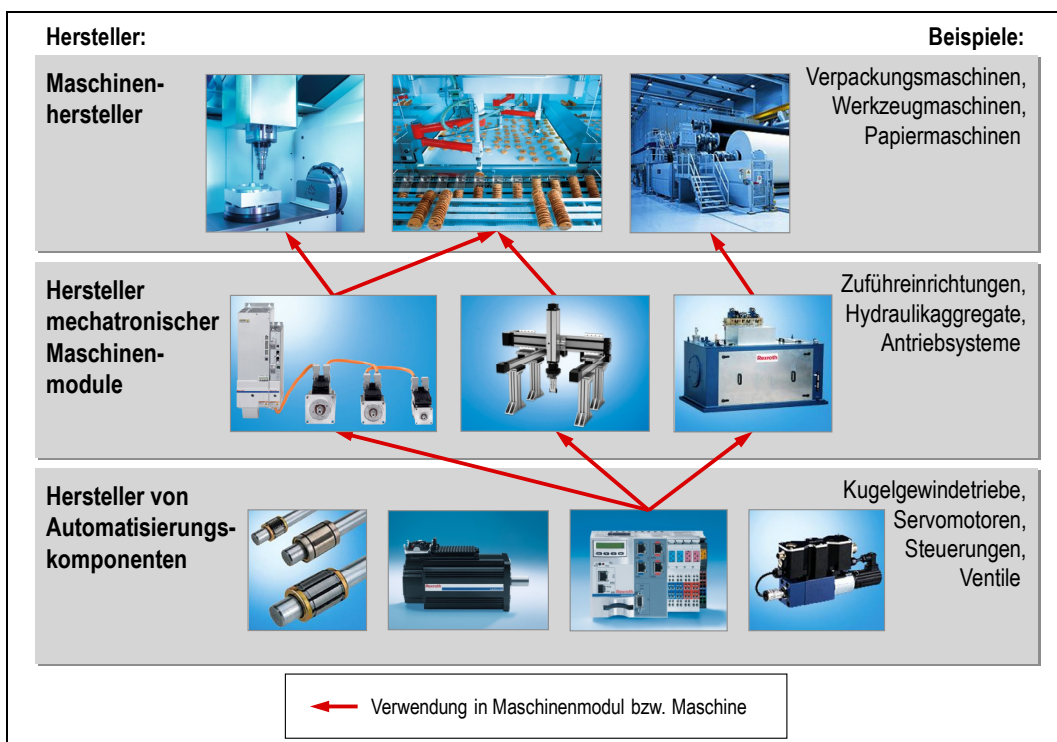


Bild 1.1: Mechatronische Wertschöpfungskette in Anlehnung an /6, 7/

In den letzten Jahren lässt sich bei der Entwicklung und Konstruktion von Maschinen aufgrund der immer enger und damit komplexer werdenden Verknüpfung der beteiligten Fachdisziplinen (Mechanik, Elektrotechnik, Softwaretechnik) ein deutlicher Trend zur

mechatronischen Wertschöpfungskette (Bild 1.1) erkennen /6, 7/. Hierbei werden Automatisierungskomponenten, wie z. B. Steuerungen, Servomotoren und Steuerventile, zunächst zu mechatronischen Maschinenmodulen kombiniert und anschließend zu vollständigen Maschinen verknüpft. Ziel in der industriellen Forschung und der Wissenschaft ist es außerdem die Konstruktions- und Entwicklungsprozesse zu verkürzen (Bild 1.2), um wechselnden Kundenanforderungen bei gleichzeitig steigender Qualität möglichst flexibel begegnen zu können /8, 3/. Maschinen werden daher disziplinübergreifend sowie zeitlich parallel mit der Hilfe von entsprechenden Engineeringwerkzeugen (z. B. /9, 10/) konstruiert und entwickelt /11/.

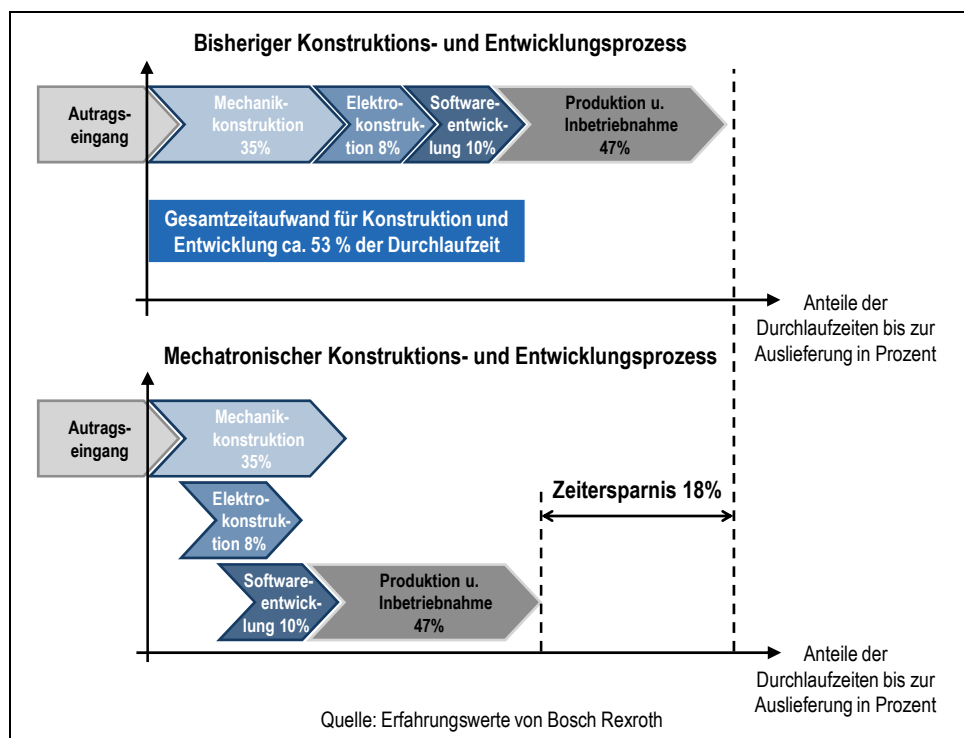


Bild 1.2: Zeitersparnis beim mechatronischen im Vergleich zum bisherigen Konstruktions- und Entwicklungsprozess /2, 4/

Daraus folgt das Ziel der Maschinenhersteller möglichst vorkonfigurierte Automatisierungskomponenten und Maschinenmodule, wie in Bild 1.1 beispielhaft dargestellt, einzusetzen. Dabei spielt die Kombination technologisch anspruchsvoller Bauteile sowie deren Integration zu kundenspezifischen Maschinen eine entscheidende Rolle. Diese flexible, mechatronische Vorgehensweise /6, 7/ ermöglicht eine hohe Produktvielfalt und erzeugt im Vergleich zu bisherigen Herangehensweisen /5/ bei der Konstruktion und Entwicklung von Maschinen geringere Aufwände bezogen auf die Durchlaufzeiten für Maschinenhersteller (vgl. Bild 1.2 und /8/).

1.2 Problemstellung infolge individueller Modellierung

Aktuell wird der Wechsel zur mechatronischen Wertschöpfungskette (Bild 1.1) lediglich durch die Maschinenhersteller und die Hersteller mechatronischer Engineeringwerkzeuge, nicht aber von den Komponentenherstellern, getrieben. Maschinenhersteller konstruieren und entwickeln immer noch mit herkömmlichen, disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugen (z. B. /12, 13, 14/) setzen aber zur Unterstützung zunehmend auf disziplinübergreifende und damit mechatronische Engineeringwerkzeuge (z. B. /9, 10/). Hierzu müssen die Maschinen von den Maschinenherstellern zunächst mit hohem Aufwand individuell in einzelnen Modellen für Maschinenbestandteile (d.h. Automatisierungskomponenten, Maschinenbauteilen und -baugruppen) abgebildet werden /1/. Die daraus resultierenden mechatronischen Informationsmodelle bilden jeweils einzelne Maschinen mit zugehörigen Maschinenbestandteilen in mechatronischen Engineeringwerkzeugen ab, durchgängige maschinen- und komponentenherstellerübergreifende Informationsmodelle entstehen dabei jedoch nicht.



Bild 1.3: Ausgangssituation bei der Anwendung mechatronischer Engineeringwerkzeuge

D.h. bisher ist das disziplinübergreifende Konstruieren und Entwickeln von Maschinen aus einzelnen Maschinenbestandteilen nicht durchgehend methodisch durch Engineeringwerkzeuge unterstützt (Bild 1.3) /11/. Jeder Maschinenhersteller muss momentan die

für den Einsatz von mechatronischen Engineeringwerkzeugen notwendigen Informationsmodelle für seine Maschinen sowie sämtliche Maschinenbestandteile jeweils individuell und anwendungsbezogen erstellen. Die Übernahme (Bild 1.3) der zugehörigen technischen Daten für die Informationsmodelle von Maschinen und deren Bestandteile in mechatronische Engineeringwerkzeuge erfolgt manuell sowie ohne Modellierungsvorgaben. Weiterhin gibt es aktuell kein bestehendes Informationsmodell, welches übergreifend für die Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller einsetzbar ist. Somit entwickelt jeder Maschinenhersteller eigene anwendungsbezogene sowie branchenspezifische Informationsmodelle für die in seinen Maschinen eingesetzten Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller.

Bestehende Engineeringwerkzeuge (z. B. /14, 15/) der einzelnen Komponentenhersteller bilden Automatisierungskomponenten sowie deren Eigenschaften bzw. Konfigurationen herstellerspezifisch und überwiegend nur in einer Fachdisziplin ab. Eine Abstraktion auf eine logische, funktionale Ebene, als Basis für die Abbildung von Automatisierungskomponenten in disziplinübergreifenden Informationsmodellen und damit mechatronischen Engineeringwerkzeugen, ist nicht vorhanden. Die bestehenden mechatronischen Engineeringwerkzeuge stellen somit also nur eine Modellierungsumgebung und eine Methodik jedoch keine Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten zur Verfügung.

1.3 Ziel der Arbeit

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die **Bereitstellung von durchgängigen, mechatronischen Vorgaben zur Modellierung** (nachfolgend als **Modellierungsvorgaben** bezeichnet) **von Automatisierungskomponenten und Maschinen**, um damit den Aufwand für das mechatronische Engineering durch modellgestützte Datenübernahme für den Maschinenhersteller zu reduzieren sowie dem Komponentenhersteller die disziplinübergreifende Modellierung von Automatisierungskomponenten zu ermöglichen (Bild 1.4). Für die Erreichung dieses Ziels sind Modellierungsvorgaben (Bild 1.4) in Form eines herstellerunabhängigen mechatronischen Informationsmodells für Automatisierungskomponenten und eines branchenunabhängigen Maschinenmodells erforderlich, welche in mechatronischen Engineeringwerkzeugen implementiert werden können. Die

Anforderungen an diese Modellierungsvorgaben werden nachfolgenden im Anschluss an die Begriffsdefinitionen dargelegt.



Bild 1.4: Zielsetzung für die Anwendung mechatronischer Engineeringwerkzeuge

2 Begriffe

Im folgenden Kapitel werden wesentliche Begriffe, die für die Einordnung dieser Arbeit notwendig sind und auf die in der Arbeit zurückgegriffen wird, definiert. Dazu werden zunächst Grundbegriffe in Bezug auf Informationsmodelle sowie Entwicklung und Konstruktion im Maschinenbau festgelegt. Anschließend folgen Begriffe zu Maschinen und Automatisierungskomponenten.

2.1 Informationsmodelle im Maschinenbau

Ein **Informationsmodell** (Bild 2.1) ist eine realitätsbezogene Abbildung von Gegenständen (durch den Fokus dieser Arbeit auf den Maschinenbau wird synonym der Begriff Gerät verwendet) sowie deren Merkmalen und Zusammenhängen /16/. Informationsmodelle entstehen durch Formalisierung und Abbildung von spezifischem, mentalem Wissen. Reale Gegenstände werden dazu im Informationsmodell auf **Objekte** /16, 17/ abgebildet. Objekte (Bild 2.1) und Beziehungen zwischen Objekten bilden die Grundbestandteile eines Informationsmodells. Im Maschinenbau dienen Informationsmodelle, durch Beschreibung von Zusammenhängen in Maschinen, der Unterstützung von Konstruktions- und Entwicklungsprozessen /2/. **Meta-Modelle** /18/ dienen der abstrahierten Beschreibung übergeordneter Informationsmodelle und legen dazu deren Syntax sowie Systematik fest /19/.

2.1.1 Strukturmodelle

Ein **Strukturmodell** ist Bestandteil eines Informationsmodells (Bild 2.1). Es wird durch Strukturierung sowie methodisches Vorgehen bei der Erfassung der für das Informationsmodell relevanten Informationen festgelegt. Abzubildende Gegenstände und Zusammenhänge werden dazu nach bestimmten Kriterien schrittweise hierarchisch zerlegt und die dabei gefundenen Beziehungen der Bestandteile in einer Struktur abgebildet. Ziel dieser strukturellen Zerlegung und Abbildung sind wiederverwendbare **Teilmodelle** (Bild 2.1) bestehend aus mehreren Objekten. Regeln für den Zusammenbau von Teilmodellen werden in Form von **Architekturen** /16/ beschrieben.

2.1.2 Objektorientierte Modellierung

Die **objektorientierte Modellierung** /20/ ermöglicht die direkte Implementierung von Informationsmodellen in einer im Rechner verarbeitbaren Form (Bild 2.1). Vorhandene Informationsmodelle können mithilfe der objektorientierten Modellierung in einer unveränderten und somit anschaulichen Betrachtungsweise /21/ implementiert werden.

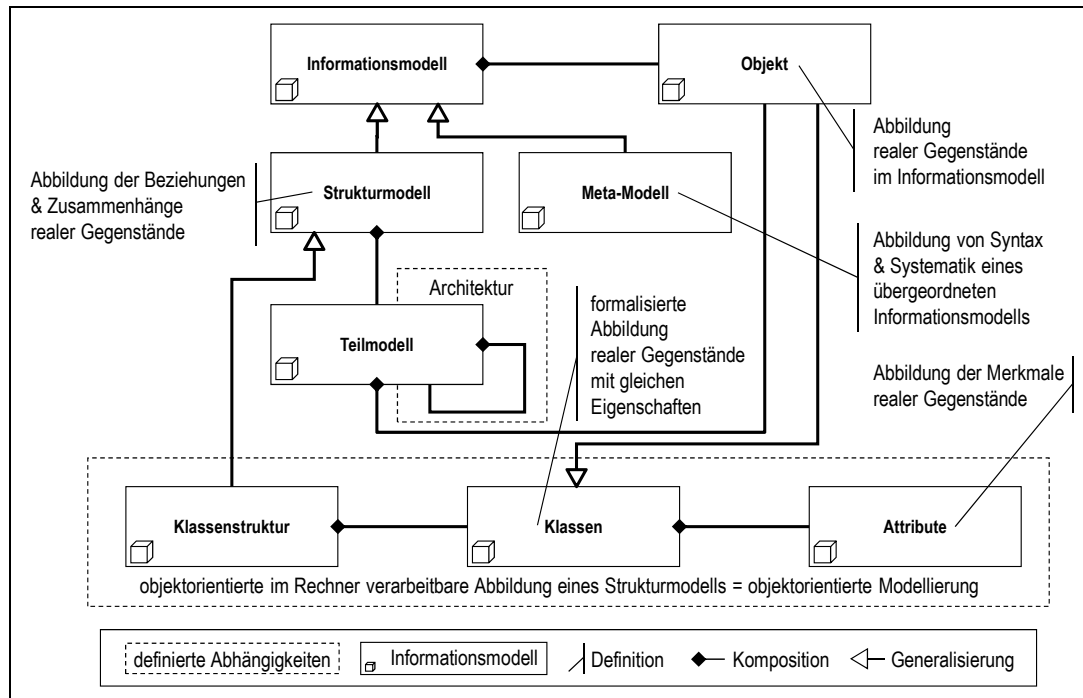


Bild 2.1: Zusammenhänge der Begriff für Informationsmodelle

Einzelne reale Gegenstände werden mit der objektorientierten Modellierung als Objekte abgebildet. Gegenstände mit gleichen Eigenschaften lassen sich zusammenfassend als eine **Klasse** /16/ modellieren. Die zugehörigen Merkmale der Gegenstände werden in **Attributen** /21/ abgebildet. Die zugehörigen Strukturen und Beziehungen mehrerer Klassen werden durch **Klassenstrukturen** /21/, einem Strukturmodell gemäß Kap. 2.1.1 in der objektorientierten Modellierung, abgebildet.

2.1.3 Disziplinspezifische Informationsmodelle

Im Maschinenbau repräsentieren **disziplinspezifische Informationsmodelle** (Bild 2.2) einzelne, für jede Fachdisziplin spezifische Beschreibungsmittel sowie Datenmodelle zur Beschreibung und Abbildung von Merkmalen sowie Zusammenhänge realer Gegen-

stände. Beispiele für disziplinspezifische Informationsmodelle sind die XML Formats for IEC 61131-3 /22/ und die Flächenschnittstelle des Verbands der Automobilindustrie (VDA-FS) /23/.

2.1.4 Mechatronische Informationsmodelle

In **mechatronischen Informationsmodellen** (Bild 2.2) werden die Regeln zur Verknüpfung mehrerer disziplinspezifischer Informationsmodelle zur Beschreibung der über eine Fachdisziplin hinausgehenden und damit disziplinübergreifenden Zusammenhänge sowie Merkmale von realen Gegenständen modelliert. Beispiele für disziplinübergreifende Informationsmodelle sind der Standard for the Exchange of Product Model Data (STEP) /24/ und die Automation Modelling Language (AML) /25/. Die disziplinübergreifende Modellierung mithilfe mechatronischer Informationsmodelle wird nachfolgend als **mechatronische Modellierung** bezeichnet.

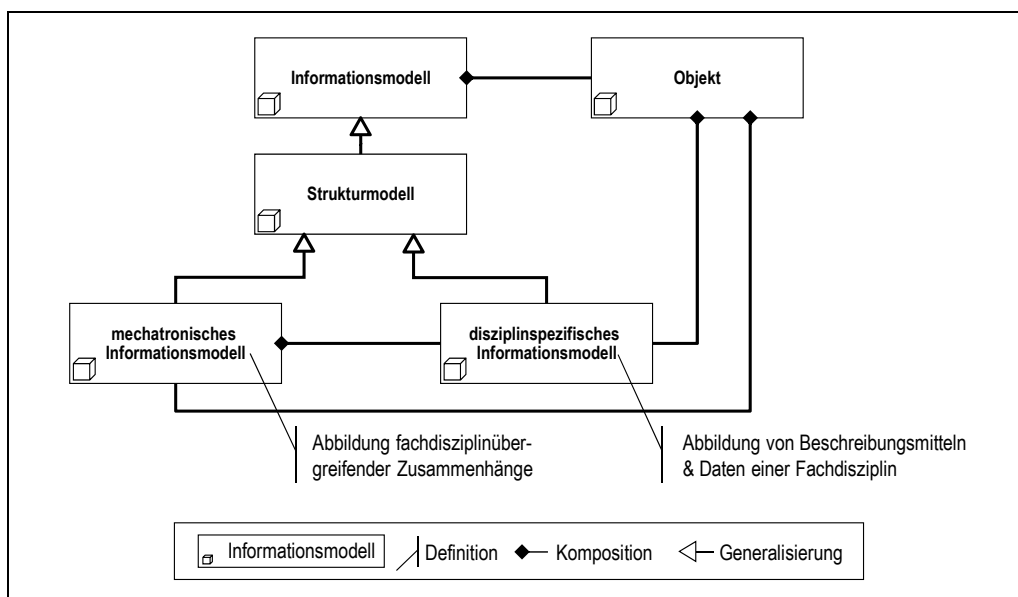


Bild 2.2: Zusammenhänge der Begriffe disziplinspezifisches und mechatronisches Informationsmodell sowie Abhängigkeiten zu Informationsmodellen

2.2 Engineering im Maschinenbau

Nach den zuvor eingeführten Grundbegriffen für Informationsmodelle folgen nun die Definitionen von Begrifflichkeiten bezüglich der Entwicklung und Konstruktion im

Maschinenbau, der daran beteiligten Fachdisziplinen und der Grundlagen für funktionales Entwickeln und Konstruieren.

2.2.1 Engineering

Unter dem Begriff **Engineering** wird das systematische Konstruieren und Entwickeln von Maschinen verstanden /26/. Engineering wird weiterhin in **disziplinspezifisches Engineering** bei der Beteiligung einer Fachdisziplin (Kap. 2.2.2) und in **mechatronisches Engineering** bei disziplinübergreifender Zusammenarbeit der Fachdisziplinen im Maschinenbau unterschieden. Der zugehörige Ablauf von Mechanikkonstruktion, Elektrokonstruktion und Softwareentwicklung bis zur Inbetriebnahme wird als **Engineeringprozess** bezeichnet /27/. Hierbei wird in **sequentielle** und **parallele Engineeringprozesse** (vgl. bisherige und mechatronische Vorgehensweise in Bild 1.2) unterschieden. Im sequentiellen Engineeringprozess verläuft das Engineering der einzelnen Fachdisziplinen zeitlich hintereinander /28/, im parallelen Engineeringprozess erfolgen Abläufe zeitgleich /29/. Ergebnis eines Engineeringprozesses für Bau und Inbetriebnahme einer Maschine sind die notwendigen Konstruktionsunterlagen sowie Maschinenprogramme (z.B. SPS-Programme /30/), die zusammenfassend als **Engineeringunterlagen** bezeichnet werden.

Zur Unterstützung des Engineerings von Maschinen werden **Engineeringlösungen**, d.h. bewährte Herangehensweisen und Methoden in Form von Daten- und Informationsmodellen in Softwarewerkzeuge, eingesetzt. Dabei kommen neben genormten (z. B. /31/) meist herstellerspezifische (z.B. /12, 13, 14, 15/) und damit nicht frei verfügbare Daten- und Informationsmodelle zum Einsatz. Im Maschinenbau eingesetzte Engineeringlösungen lassen sich in **disziplinspezifische** und **disziplinübergreifende Engineeringlösungen** unterteilen (Bild 2.3).

Zur Kategorie disziplinspezifische Engineeringlösungen gehören **disziplinspezifische Engineeringwerkzeuge** (z. B. /12, 13, 14/). Dies sind Softwarewerkzeuge, in denen disziplinspezifische Daten- und Informationsmodelle in einer im Rechner verarbeitbaren Form hinterlegt sind. Disziplinübergreifende Engineeringlösungen unterstützen und ermöglichen disziplinübergreifende Konstruktions- und Entwicklungsprozesse. Sie können wiederum in die zwei Kategorien **mechatronische Engineeringwerkzeuge** und **disziplinübergreifende Austauschmodelle** unterteilt werden. Mechatronische Enginee-

ringwerkzeuge (z. B. /9, 10/) sind Softwarewerkzeuge zur Unterstützung der Abläufe im parallelen Engineeringprozess (vgl. Bild 1.2 - unten). Maschinen werden dazu virtuell in einzelne Maschinenbestandteile zerlegt im Informationsmodell eines mechatronischen Engineeringwerkzeugs abgebildet. Disziplinübergreifende Austauschmodelle (z. B. /24, 25/) sind die Integration und damit die Kombination mehrerer vorhandener, teils proprietärer disziplinspezifischer Daten- und Informationsmodelle in ein einheitliches durchgängiges Datenmodell. Damit dienen sie dem disziplinübergreifenden Datenaustausch zwischen disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugen.

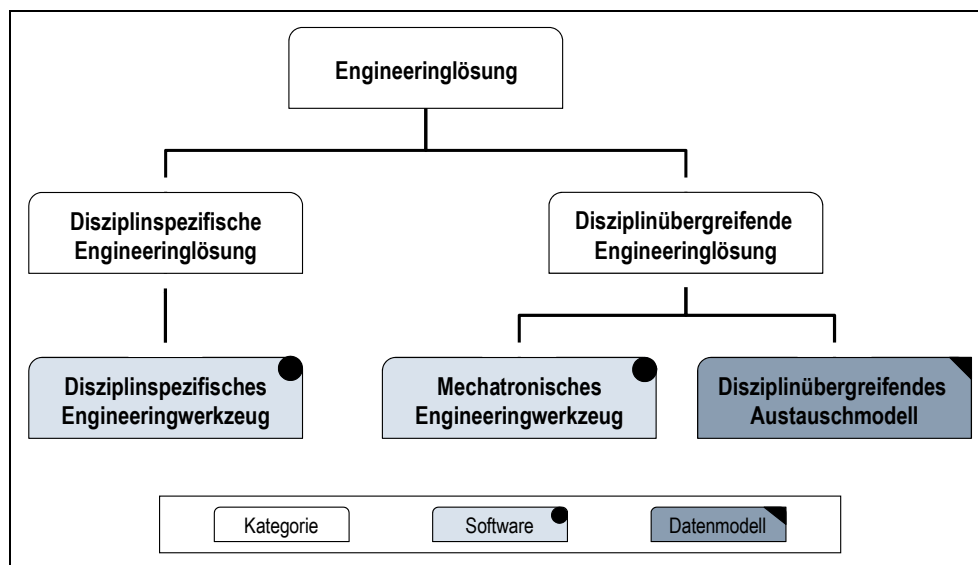


Bild 2.3: Kategorisierung der Engineeringlösungen

2.2.2 Fachdisziplinen im Engineeringprozess

Die am Engineering von Maschinen beteiligten **technischen Fachdisziplinen** sind neben der Mechanik (mit Fluidplanung), die Elektrotechnik sowie die Softwaretechnik. Diese Fachdisziplinen arbeiten im Engineeringprozess jeweils mit den entsprechenden disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugen (vgl. Kap. 2.2.1). Am Engineeringprozess sind weiterhin **nichttechnische Fachdisziplinen**, wie die kaufmännisch geprägten Fachdisziplinen Einkauf, Materialverwaltung und -logistik beteiligt. Die kaufmännisch geprägten Fachdisziplinen werden dabei meist durch Enterprise Resource Planning-Systeme (ERP-Systeme, z. B. /32/) und die damit verbundenen Informationsmodelle unterstützt. **Disziplinübergreifende Hilfsmittel**, wie beispielsweise Simulation /33/ und Dokumentation /41/, lassen sich nicht exklusiv einer Fachdisziplin zuordnen, da mit

diesen Hilfsmitteln teilweise unterschiedliche disziplinspezifische Eigenschaften validiert bzw. dokumentiert werden. Jede Fachdisziplin arbeitet mit eigenen Methoden, Vorgehensmodellen und Beschreibungsmitteln und daher mit jeweils entsprechenden disziplinspezifischen Informationsmodellen (vgl. Kap. 2.1.3).

2.2.3 Funktionale Zusammenhänge zur Unterstützung des mechatronischen Engineerings

Allgemein ist eine **Funktion** definiert als der Zusammenhang zwischen Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie den aktuellen Zustandsgrößen eines Systems mit dem Ziel der Erfüllung einer Aufgabe /34, 35, 45/. Funktionen können dabei zur Realisierung in einzelne **Teilfunktionen** /5/ aufgeteilt werden. In dieser Arbeit betrachtete Systeme sind die notwendigen Maschinenbestandteile zum Bau von Maschinen sowie die Summe der Maschinenbestandteile also die Maschine selbst. Jedes dieser Maschinenbestandteile erfüllt eine oder mehrere Funktionen, welche im Weiteren als **Grundfunktionen** eines Maschinenbestandteils bezeichnet werden.

Grundfunktionen lassen sich weiterhin in die zwei Kategorien **Haupt-** und **Nebenfunktionen** unterteilen (in Anlehnung an /35/). Die Hauptfunktion eines Maschinenbestandteils beschreibt dabei jeweils die primäre Funktion, welche durch das betrachtete Maschinenbestandteil zur Verfügung gestellt wird /35/. Maschinenbestandteile (z.B. ein elektrischer Antrieb für Rotationsbewegungen /36/) können neben ihrer Hauptfunktion zusätzlich eine oder mehrere Nebenfunktionen /35/ (z. B. Anschlüsse für Signalein- und -ausgänge im Gehäuse des elektrischen Antriebs /36/) bereitstellen. Nebenfunktionen spielen bei der Erfüllung der Hauptfunktion jeweils eine unterstützende, aber untergeordnete Rolle. Aufgrund der variierenden Anzahl an Haupt- und Nebenfunktionen, welche von einem Maschinenbestandteil bereitgestellt werden, ergeben sich unterschiedliche **Funktionsumfänge** der einzelnen Maschinenbestandteile. Die Summe aller Haupt- und Nebenfunktionen beschreibt die **Gesamtfunktion** /5/ einer Maschine.

Funktionen von Maschinen sowie deren Bestandteilen lassen sich nach der VDI 2222 /37/ mit der Hilfe der verallgemeinerten Größen **Information**, **Energie** und **Stoff** modellieren. Die jeweils zu diesen Größen gehörigen **Flüsse** /37/ definieren die fließenden Energieformen und Stoffarten sowie die Flussrichtungen in Form von **Energieflüssen** oder **Stoffflüssen**. Für **Informationsflüsse** können zusätzlich zur Richtung, die Art

sowie die Menge an fließenden Informationen definiert werden. Informationsflüsse transportieren auch teilweise Informationen über die parallel verlaufenden Energie- und Stoffflüsse. Die durchgängige Nutzung der hier beschriebenen funktionalen Zusammenhänge und die Fokussierung auf Funktionen im Engineering (Kap. 2.2.1) wird nachfolgend als **funktionales Engineering** bezeichnet. Im herkömmlichen, disziplinspezifischen Engineering werden die hier beschriebenen Zusammenhänge bisher nur teilweise in einzelnen Fachdisziplinen angewendet. Funktionales Engineering wird zur Unterstützung des mechatronischen Engineerings herangezogen /1, 38/.

2.3 Maschinen und Maschinenbestandteile

Den Grundbegriffen zum Engineering von Maschinen schließen sich im Weiteren die verwendeten Begriffe in Bezug auf Maschinen, deren Bestandteile und Strukturen an.

2.3.1 Sichtweisen und Strukturierungsprinzipien für Maschinen

Maschinenstrukturen /29, 17/ sind Strukturmodelle (vgl. Kap. 2.1.1) von Maschinen, die deren strukturellen Aufbau anhand mehrerer miteinander verknüpfter **Strukturierungsprinzipien** /35, 39/ beschreiben. Strukturierungsprinzipien leiten sich aus den unterschiedlichen **Sichtweisen** (d.h. Blickwinkel) der einzelnen Fachdisziplinen auf die Merkmale und Zusammenhänge von Bestandteilen einer Maschine (**Maschinenbestandteile**) ab /11/. Neben **disziplinspezifischen Strukturierungsprinzipien** einzelner Fachdisziplinen gibt es auch **disziplinübergreifende Strukturierungsprinzipien**. Disziplin-spezifische Strukturierungsprinzipien für Maschinen werden eingeteilt in:

- **Mechanische Strukturen**, wie z. B. montage- und fertigungsgerechte Strukturen /5, 35/, Fluidplanungsstrukturen /63/
- **Elektrische Strukturen**, wie z. B. Stromlaufplan- und Schaltschrankstrukturen /40/
- **Softwarestrukturen**, wie z. B. SPS-Programmstrukturen /30/
- **Dokumentationsstrukturen** /41, 42/

- **Nichttechnische Strukturen**, wie z. B. Beschaffungs- und Logistikplanungsstrukturen /43/

Das wichtigste disziplinübergreifende Strukturierungsprinzip ist die **Funktionsstruktur** /37/, welche aus der Unterteilung der Gesamtfunktion einer Maschine in einzelne Teilfunktionen, d.h. Haupt- und Nebenfunktionen der Maschinenbestandteile resultiert (Kap. 2.2.3).

2.3.2 Grundaufbau von Maschinen

Maschinenstrukturebenen (Bild 2.4) werden nachfolgend als Untergliederungsebenen in Maschinenstrukturen (Bild 2.5) bei der Modellierung von Maschinen verstanden. Die Anzahl an Maschinenstrukturebenen hängt dabei jeweils vom Betrachter ab. **Maschinenstrukturelemente** (Bild 2.4) sind aus Sicht eines Maschinenherstellers die **Baugruppen** /41/ einer Maschine.

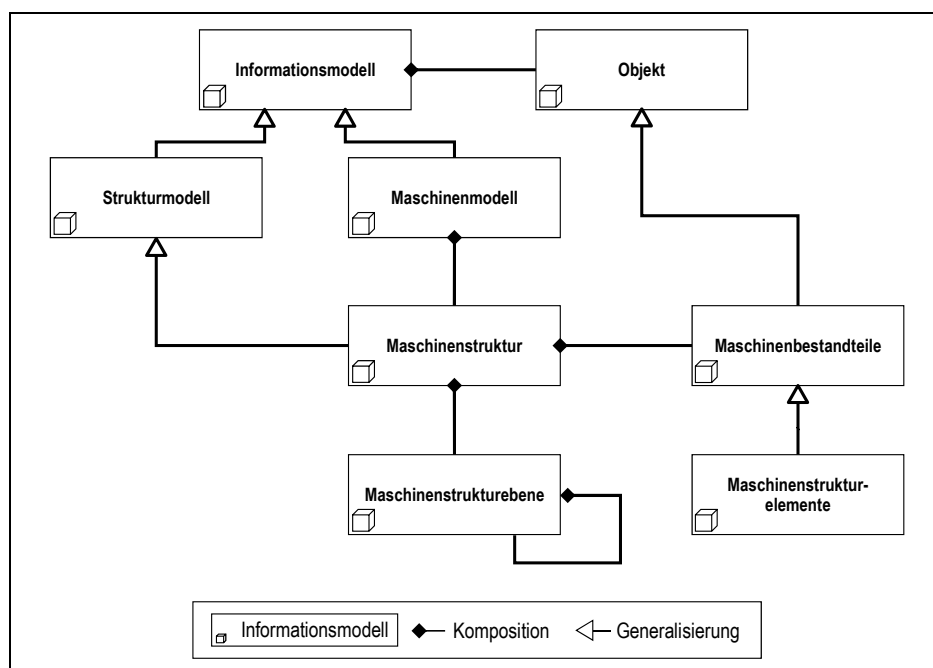


Bild 2.4: Zusammenhänge zur Modellierung von Maschinen sowie Abhängigkeiten zu den in Kap. 2.1 definierten Informationsmodellen

Baugruppen bestehen aus zwei oder mehr **Bauteilen** /5/. Als Bauteile einer Maschine werden nachfolgend neben physisch vorhandenen Maschinenbestandteilen, wie mecha-

nische Maschinenelemente /5/ und elektrische Bauelemente /44/, auch virtuelle Bestandteile wie logische Informationen und Daten über Maschinenbestandteile verstanden. Maschinenstrukturelemente stellen durch die Verbindung von Bauteilen jeweils Teilfunktionen (Kap. 2.2.3) bereit und werden zur Erfüllung der Gesamtfunktion einer Maschine zusammen mit **Maschinenmodulen** in Maschinenstrukturebenen integriert. Maschinenmodule sind Kombinationen mehrerer zusammengehöriger Maschinenstrukturelemente. Maschinenmodule und -strukturelemente können wiederkehrend in gleicher Form in verschiedenen Maschinen verwendet werden.

Ein **Maschinenmodell** (Bild 2.4) ist das Informationsmodell einer realen Maschine. Maschinenmodelle bilden damit reale Maschinenstrukturen und -bestandteile im zugehörigen Zusammenhang ab. Dazu werden im Maschinenmodell neben Maschinenstrukturebenen die Anzahl und Art der verwendeten Maschinenstrukturelemente, aus denen sich die Maschine zusammensetzt, modelliert.

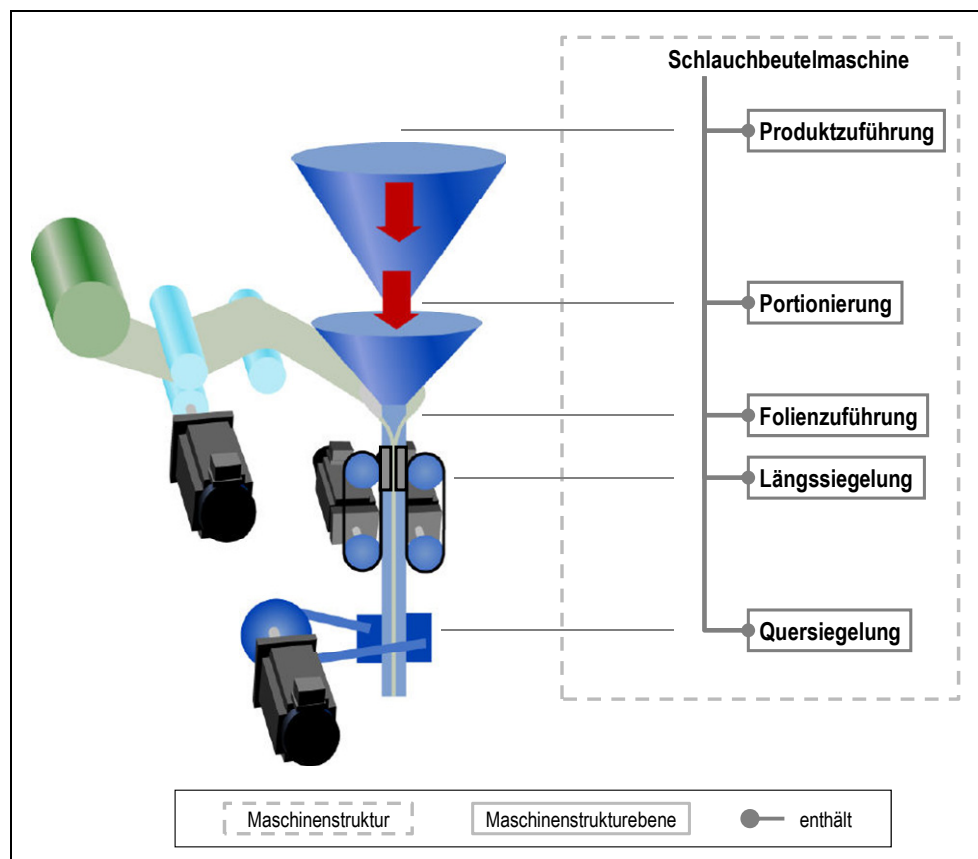


Bild 2.5: Beispiel für eine Maschinenstruktur und gewählte Maschinenstrukturebenen einer Schlauchbeutelmaschine z. B. zum Verpacken von Bonbons.

Der Zweck oder die Aufgabe einer Maschine oder eines Maschinenbestandteils wird als **Anwendung** bezeichnet. Die Anzahl an Maschinenstrukturelementen pro Maschine ist ein Maß für die **Komplexität** einer Maschine. D. h. Maschinen, wie z. B. eine Schlauchbeutelmaschine für das Verpacken von Produkten (Bild 2.5), weisen eine geringe Anzahl an Maschinenstrukturelementen (z.B. bis zu 100) und damit eine geringe Komplexität auf. Druckmaschinen, beispielsweise für den Zeitungsdruck, hingegen weisen eine hohe Komplexität durch die Integration einer hohen Anzahl an Maschinenstrukturelementen (z.B. deutlich mehr als 100) auf.

2.4 Automatisierungskomponenten und -systeme

Automatisierungskomponenten sind Baugruppen bzw. -teile von Maschinen, die zu deren Automatisierung dienen. Weiterhin stellen sie grundlegende Bestandteile mechatronischer Systeme /29/ dar. Automatisierungskomponenten für Maschinen lassen sich in die drei Kategorien **Aktoren**, **Sensoren** und **Informationsverarbeitungen** einteilen. Aktoren (z.B. Servomotoren) fungieren dabei als Wandler einer zugeführten **Hilfsenergie** in eine für nachfolgende Maschinen oder Aktoren notwendige **Nutzenergie**. Die Nutzenergie stellt dabei die jeweils benötigte Form einer Energie dar. Hilfsenergie ist die, vor der Wandlung durch den Aktor, bereitstehende **Energieform**. Mögliche, im Maschinenbau relevante Energieformen für Hilfs- und Nutzenergien sind dabei mechanische, thermische, elektrische oder fluidische Energie. Sensoren (z.B. Temperatursensoren) übernehmen die Aufgabe veränderliche physikalische Messgrößen in elektrische Messsignale umzuwandeln.

Die Informationsverarbeitung (z.B. speicherprogrammierbare Steuerung (SPS)) einer Maschine setzt sich aus mehreren **Informationsverarbeitungskomponenten**, d. h. einzelnen informationsverarbeitenden Bauteilen, zusammen. Informationsverarbeitungen bestehen aus Kombinationen von mehreren Informationsverarbeitungskomponenten, um einen flexiblen, modularen sowie anwendungsspezifischen Aufbau der Informationsverarbeitung einer Maschine zu ermöglichen. Jede Informationsverarbeitungskomponente realisiert dabei einzelne Teilfunktionen (vgl. Kap. 2.2.3). Die Hauptfunktion einer Informationsverarbeitung ist die Verarbeitung von **Ist-Zustandsinformationen** (elektrische Messsignale) entsprechend den Vorgaben eines **Anwenderprogramms** (Steuerungsprogramm) zu **Soll-Zustandsinformationen** (elektrische Stellsignale) /45, 46/. Die Verarbeitung der Ist-Zustandsinformationen wird gegebenenfalls

unter Berücksichtigung vorgegebener Soll-Zustandsinformationen durch eine übergeordnete Informationsverarbeitung (Leitsystem) bzw. durch einen Bediener der Maschine vorgenommen. Daher sind Informationsverarbeitungen hierarchisch aufgebaut /45/.

Ein Verbund aus mehreren Automatisierungskomponenten ist ein **Automatisierungssystem**. Automatisierungssysteme können ebenfalls einen hierarchischen Aufbau aufweisen. Auf den zugehörigen Hierarchieebenen befinden sich jeweils Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Art und Anzahl. Beispiele für Automatisierungssysteme sind branchenspezifische Zusammenstellungen (z. B. /47/ für die Verpackungsbranche) vorkonfigurierter Automatisierungskomponenten. Automatisierungskomponenten sind untereinander sowie hierarchieebenenübergreifend durch topologische Strukturen aus standardisierten **Kommunikationsschnittstellen** (z. B. Feldbusschnittstellen wie Profibus /107/ oder Sercos /109/, vgl. /48, 49/) verbunden. Diese Kommunikationsschnittstellen dienen dem Austausch von Soll- und Ist-Zustandsinformationen in Form von elektrischen **Signalen** zwischen den Automatisierungskomponenten. Die **Informationsdichte** dieser Zustandsinformationen, als Maß für die Menge an übertragenen und verarbeiteten Informationen, kann dabei in Abhängigkeit von der Art der Automatisierungskomponenten sowie der Leistungsfähigkeit des Kommunikationsbusses variieren.

Hergestellt werden Automatisierungskomponenten als Produkte von **Komponentenherstellern** (z. B. /50, 51, 52/). Sie dienen **Maschinenherstellern** (Produzenten von Maschinen) als vorgefertigte sowie vorkonfigurierte Zukaufteile und damit als grundlegende Bestandteile von Maschinen. Komponenten- und Maschinenhersteller sind die **Nutzer** der im Rahmen dieser Arbeit zu definierenden Modellierungsvorgaben.

3 Anforderungen

Aus den in der Einleitung (Bild 1.3) genannten Problemen sind nachfolgend Anforderungen an die zu erarbeitenden Modellierungsvorgaben (Kap. 1.3) abzuleiten. Die differenzierten Anforderungen an die Modellierungsvorgaben leiten sich außerdem aus dem Anspruch und den Forderungen der Nutzer (Kap. 2.4) an die mechatronische Modellierung (vgl. Kap. 2.1.4) von Maschinen sowie deren Bestandteile ab. Die Anforderungen lassen sich in folgende Kategorien einteilen:

- Querschnittsanforderungen an die Modellierungsvorgaben
- Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten
- Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Maschinen

Alle Anforderungen an die Modellierungsvorgaben werden im Weiteren entsprechend dieser Kategorien strukturiert und abschließend zusammenfassend dargestellt.

3.1 Querschnittsanforderungen an die Modellierungsvorgaben

Die Querschnittsanforderungen definieren grundlegende Anforderungen in Bezug auf die Eigenschaften der Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und Maschinen. Die einzelnen Querschnittsanforderungen werden nachfolgend eingeführt und jeweils erläutert.

In der Softwaretechnik legen Modellierungsprinzipien allgemeingültige, theoretische Grundlagen zur Modellierung fest /20, 53/. Da die hier zu erarbeitenden Modellierungsvorgaben Grundlage für die Implementierung von Modellen in mechatronische Engineeringwerkzeuge bilden (vgl. Bild 1.4), muss deshalb die **Modellierung** der Modellierungsvorgaben nach den **Modellierungsprinzipien der Softwaretechnik** /20/ erfolgen:

- **Abstraktion**
- **Strukturierung**

- **Hierarchisierung**
- **Modularisierung**

Um den Durchlauf beim Bau von Maschinen effizienter zu realisieren setzen Maschinenhersteller im Engineeringprozess auf rechnergestütztes Engineering /1, 4, 8, 54/. Die Rechnerunterstützung ermöglicht dabei die optimale Nutzung der zur Verfügung stehenden Ressourcen (d. h. Zeit, Material, Kosten und Mitarbeiter). Die zu definierenden **Modellierungsvorgaben** müssen sich folglich **mit der Unterstützung von Rechnern verarbeiten** lassen.

Die informationstechnische Abstimmung einzelner Fachdisziplinen untereinander ist aufgrund unterschiedlicher Begriffswelten, Herangehensweisen, Informationsmodelle und Lösungsansätze für die Maschinenhersteller eine Herausforderung /87/. Häufig beschränken sich erste Schritte von Maschinenherstellern zu einer mechatronischen Modellierung von Maschinen in der Praxis zunächst auf die Verknüpfung einzelner, disziplinspezifischer Informationsmodelle (vgl. /1, 68, 87, 84/). Die Informationsmodelle der verbleibenden Fachdisziplinen (vgl. Kap. 2.2.2) werden nachträglich in die dann bereits bestehenden Modelle eingefügt und dadurch den zuvor, meist zu restriktiv gewählten Vorgaben (z. B. in der Mechanik, vgl. /55, 87, 84/) untergeordnet. Bei der Weiterentwicklung immer komplexer werdender Maschinen kommt außerdem hinzu, dass bestehende rein mechanische Lösungen häufig durch die Unterstützung elektrischer sowie softwaretechnischer Funktionen ersetzt und damit durch die Zusammenarbeit mehrerer Fachdisziplinen flexibilisiert werden (z. B. beim Werkzeugwechsler in /4/ oder bei der Quersiegelung in Bild 2.5 wurde eine rein mechanische Kurvenscheibe durch die Kombination zweier Servoantriebe ersetzt). Um mechatronisches Engineering effektiv einsetzen zu können, ist deswegen die gleichgestellte Miteinbeziehung aller Fachdisziplinen anzustreben. Daher sind **durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen ohne Fokussierung auf einzelne** Fachdisziplinen erforderlich.

Bei der mechatronischen Modellierung von Maschinen ist es das Ziel die Funktionsstruktur (Kap. 2.3.1) als gemeinsame, disziplinübergreifende Sichtweise zur disziplinübergreifenden Abstimmung aller am Engineeringprozess beteiligten Fachdisziplinen (vgl. Kap. 2.2.2) zu nutzen /4, 56/. Aus den im Lastenheft einer Maschine spezifizierten Kundenanforderungen (z.B. Bild 3.1) werden dabei die erforderlichen Funktionen und Teilfunktionen (z. B. von Maschinenstrukturebenen zum Verpacken von Produkten oder

zum Abwickeln von Folienmaterial in einer Schlauchbeutelmaschine, vgl. Bild 2.5) der zu bauenden Maschine festgelegt /1, 57, 58/. Alle am Engineering beteiligten Fachdisziplinen arbeiten gemeinsam an der Realisierung dieser Funktionen und nutzen dazu das funktionale Engineering (Kap. 2.2.3). Die zu entwickelnden **Modellierungsvorgaben müssen** demzufolge **das funktionale Engineering** entsprechend der Definition in Kap. 2.2.3 **unterstützen**.

Kundenanforderungen → Verpacken von:	Anzupassende Maschinenmodule der Schlauchbeutelmaschine (vgl. Bild 2.3)	Anwendungsspezifische Anforderung an die Aktoren			
		hoch	mittel	gering	
Chips	Portionierung	Positioniergenauigkeit Einlass	-	-	X
		Erfüllung von Sauberkeitsstandards	X	-	-
	Folienzuführung	Drehmoment des Folienwicklers	-	-	X
		Reaktionszeit des Folienwicklers	X	-	-
	Längs- und Quersiegelung	Heizleistung für Siegelung	-	X	-
Pulver (z.B. für Medikamente)	Portionierung	Positioniergenauigkeit Einlass	X	-	-
		Erfüllung von Sauberkeitsstandards	X	-	-
	Folienzuführung	Drehmoment des Folienwicklers	-	X	-
		Reaktionszeit des Folienwicklers	-	X	-
	Längs- und Quersiegelung	Heizleistung für Siegelung	-	X	-
Schrauben	Portionierung	Positioniergenauigkeit Einlass	-	X	-
		Erfüllung von Sauberkeitsstandards	-	-	X
	Folienzuführung	Drehmoment des Folienwicklers	X	-	-
		Reaktionszeit des Folienwicklers	-	-	X
	Längs- und Quersiegelung	Heizleistung für Siegelung	X	-	-

Bild 3.1: Beispiele für branchenabhängige und anwendungsspezifische Kundenanforderungen an eine Verpackungsmaschine und damit an die Maschinenmodule sowie zugehörigen Automatisierungskomponenten am Beispiel einer Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5)

Kunden aus unterschiedlichen Branchen erfordern bei Maschinenherstellern ein breites konstruktives Lösungsspektrum /1, 8/. Aus Gründen der Rationalisierung sind Maschinenhersteller deshalb bestrebt vergleichbare Kundenanforderungen (Bild 3.1) durch einheitliche aber trotzdem erweiterbare Maschinenkonzepte abzudecken. Weiterhin ist aufgrund des technischen Fortschritts auch in Zukunft die Weiterentwicklung bestehender sowie die Entwicklung weiterer Automatisierungskomponenten zu erwarten, aktuell z. B. kabellose Datenübertragungssysteme für Automatisierungskomponenten /59/. Um die daraus folgende Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Automatisierungskomponenten und Maschinen erfüllen zu können, ist die **Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben** zwingend erforderlich.

Aufgrund der Vielfalt branchenabhängiger und anwendungsspezifischer Kundenanforderungen (vgl. Bild 3.1 und /1, 57/) an die Gesamtfunktion einer Maschine ergeben sich vielfältige Forderungen an die Funktionen einzusetzender Automatisierungskomponenten (Bild 3.1 - rechts) sowie damit an den Aufbau einer Maschine. Die in Kap. 2.4 beschriebenen Nutzer stellen dementsprechend unterschiedliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben zur Modellierung von Maschinen und deren Bestandteilen.

Komponentenhersteller fokussieren bei ihren Produkten auf möglichst breite Anwendungsspektren. D. h. die einzelnen Automatisierungskomponenten werden erst durch anwendungsbezogene Konfiguration und Parametrierung an die jeweiligen Anforderungen in einer Maschine angepasst /50, 36/. Maschinenhersteller streben dagegen die Erfüllung spezifischer Kundenanforderungen (vgl. Bild 3.1) an. Dazu müssen die Maschinenhersteller aus den umfangreichen, jeweils nach unterschiedlichen komponentenherstellerspezifischen Kategorien strukturierten Katalogen die notwendigen Automatisierungskomponenten auswählen. Beim Engineering zielen die Maschinenhersteller daher zur Rationalisierung auf einen möglichst optimalen Ressourceneinsatz durch die Standardisierung von Maschinen und deren Bestandteile ab. Um beiden Nutzern einheitliche und durchgängige Modellierungsvorgaben zur Verfügung stellen zu können, ist deshalb die **Unabhängigkeit der zu definierenden Modellierungsvorgaben von einzelnen Branchen im Maschinenbau** (z. B. Verpackungs-, Medizin- oder Automobilbranche) **sowie von Herstellern der Automatisierungskomponenten** gefordert.

Aus Sicht der Nutzer sind neben den gemeinsamen Querschnittsanforderungen zusätzliche, spezifische Anforderungen jeweils an die Modellierungsvorgaben für

Automatisierungskomponenten sowie Maschinen notwendig, diese werden in den nächsten beiden Kapiteln eingeführt.

3.2 Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten

Im Fokus von Maschinenherstellern steht es Kunden flexiblere Maschinen und -module zu geringeren Kosten bei gleichzeitig besserer Regelbarkeit und damit höherer Genauigkeit anbieten zu können /1, 4/, was nur durch eine enge disziplinübergreifende Zusammenarbeit der einzelnen Fachdisziplinen möglich ist /2, 7/. Weiterhin müssen Maschinenhersteller die disziplinübergreifende Modellierung von Automatisierungskomponenten bislang individuell übernehmen, obwohl bereits alle notwendigen disziplinspezifischen Informationsmodelle vom jeweiligen Komponentenhersteller definiert und zur Verfügung gestellt werden. Um dies in den Modellierungsvorgaben abzubilden, ist die Verknüpfung bestehender disziplinspezifischer Informationsmodelle zu einem mechatronischen Informationsmodell für jede Automatisierungskomponente sowie zu **mechatronischen Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten zur Nutzung durch die Komponentenhersteller** erforderlich.

Automatisierungskomponenten sind modular aufgebaut, um flexibel in verschiedenen Maschinen einsetzbar zu sein (z. B. /36, 60/). Die Anpassung (d. h. Konfiguration und Parametrierung) der einzelnen Automatisierungskomponenten wird jeweils anwendungsspezifisch entsprechend den Kundenanforderungen an eine zu bauende Maschine (Bild 3.1 und /36, 60/) realisiert. Daher muss die **Abbildung der Modularität und Flexibilität von Automatisierungskomponenten** auch in den Modellierungsvorgaben erfolgen.

Bestehende disziplinspezifische Engineeringprozesse und -werkzeuge basieren jeweils auf disziplinspezifischen Informationsmodellen und Daten /2, 33/. Disziplinübergreifende Engineeringlösungen (vgl. Kap. 2.2.1) verwenden ebenfalls disziplinspezifische Informationsmodelle als Basis /9, 25/. Darüber hinaus sind die einzelnen Bearbeiter der Fachdisziplinen Inhalt und Aufbau sowie das Arbeiten mit diesen Informationsmodellen und Daten gewöhnt /2, 7/. Deshalb ist auch für die Definition von Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten die **Verwendung bestehender disziplin-**

spezifischer Daten- und Informationsmodelle (z. B. IEC 61131 /61/ vgl. /55/) **von Automatisierungskomponenten** gefordert.

3.3 Zusätzliche Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Maschinen

Maschinenhersteller müssen aufgrund vielfältiger Kundenanforderungen aus unterschiedlichen Branchen /1, 8, 57/ und dem Ziel vorhandene Ressourcen optimal zu nutzen flexible Maschinenstrukturen und -module entwickeln. Maschinenhersteller sind daher bestrebt einheitliche Baugruppen und Bauteile zu entwickeln, die flexibel in unterschiedlichen Maschinentypen verwendet werden können /1/. Auch Kombinationen von Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Komponentenhersteller kommen dabei zum Einsatz. Somit können für vergleichbare Kundenanforderungen identische Maschinenstrukturen und -module eingesetzt werden, die sich an unterschiedliche Randbedingungen (vgl. Bild 3.1) anpassen lassen. Eine Schlauchbeutelmaschine zur Verpackung von Nahrungsmitteln oder Medikamenten unterliegt beispielsweise wesentlich höheren Sauberkeitsstandards im Vergleich zu einer Schlauchbeutelmaschine für das Verpacken von Schrauben, wobei beide Schlauchbeutelmaschinen einen identischen Grundaufbau besitzen können. Daher fordern die Maschinenhersteller diese **Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Maschinenstrukturen sowie Maschinenmodule auch in den Modellierungsvorgaben**.

Darüber hinaus sind zur flexiblen Kopplung von mehreren Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Komponentenhersteller an Maschinenstrukturen und -module geeignete Verbindungen notwendig. Demnach sind diese Verbindungen (nachfolgend in Bezug auf softwaretechnische Informationsmodelle als **Schnittstellen** bezeichnet /20/) **zwischen den Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und Maschinen** erforderlich.

3.4 Zusammenfassung der Anforderungen

Eine zusammenfassende Übersicht aller Anforderungen an die zu erarbeitenden Modellierungsvorgaben zeigt Bild 3.2.

An diesen Anforderungen werden nachfolgend bereits bestehende Modellierungsvorgaben sowie Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen gespiegelt, um somit den Stand der Technik zu erarbeiten.

Anforderungsbereich	Anforderungen
Querschnittsanforderungen an die Modellierungsvorgaben	<ul style="list-style-type: none"> • Beachtung der Modellierungsprinzipien Abstraktion, Strukturierung, Hierarchisierung, Modularisierung • Rechnergestützte Verarbeitbarkeit der Modellierungsvorgaben • Durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen ohne Fokussierung auf einzelne • Unterstützung des funktionalen Engineerings • Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben • Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben von einzelnen Branchen im Maschinenbau und Herstellern für Automatisierungskomponenten
Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten	<ul style="list-style-type: none"> • Mechatronische Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten zur Nutzung durch die Komponentenhersteller • Abbildung der Modularität und Flexibilität von Automatisierungskomponenten • Verwendung bestehender disziplinspezifischer Daten- und Informationsmodelle von Automatisierungskomponenten
Modellierungsvorgaben für Maschinen	<ul style="list-style-type: none"> • Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Maschinenstrukturen sowie Maschinenmodule in den Modellierungsvorgaben • Schnittstellen zwischen Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten

Bild 3.2: Zusammenfassung der Anforderungen an die Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und Maschinen

4 Stand der Technik und Handlungsbedarf

Dieses Kapitel stellt den aktuellen Stand der Technik und der Wissenschaft in Bezug auf bestehende Modellierungsvorgaben sowie zugehörige Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen dar. Dazu werden vorhandene Beschreibungsmittel für Automatisierungskomponenten und Maschinen, anwendungsbezogene Struktur- und Informationsmodelle sowie disziplinübergreifende Engineeringlösungen analysiert und an den zuvor definierten Anforderungen gespiegelt. Abschließend leitet sich daraus der Handlungsbedarf dieser Arbeit ab.

4.1 Grundprinzipien zur Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen

In diesem Unterkapitel werden bekannte Grundprinzipien für die Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen analysiert. Dazu wird zunächst auf die verschiedenen Grundprinzipien zur dokumentengestützten, datenbankorientierten und objektorientierten Modellierung eingegangen. Mischformen dieser Grundprinzipien, z. B. die Verwaltung von Konstruktionszeichnungen in SAP /62/, basieren jedoch jeweils nur auf einem Grundprinzip und können daher auf dieses zurückgeführt werden. Anschließend werden die Grundprinzipien einander gegenübergestellt und anhand der Anforderungen aus Kapitel 3 verglichen.

4.1.1 Dokumentengestützte Modellierung

Mit Hilfe der auf disziplinspezifischen Engineeringunterlagen (z. B. technische Zeichnungen /63/, Stromlaufpläne /64, 65/, Programmablaufpläne /66/) basierenden dokumentengestützten Modellierung werden disziplinspezifische Sichtweisen von realen Gegenständen abgebildet. Die Engineeringunterlagen der einzelnen Fachdisziplinen bauen nach der bisherigen Vorgehensweise in Bild 1.2 aufeinander auf, wodurch nachträgliche Änderungen in den Engineeringunterlagen unbemerkt zu Inkonsistenzen führen können /8, 67/. Die dokumentengestützte Modellierung ist sehr flexibel und läuft jeweils projektbezogen ab. D. h. eine projektneutrale und damit hersteller- und branchenunabhängige Modellierung ist nicht möglich /68/. Aufgrund der disziplinspezifischen Herangehensweise dominiert in der dokumentengestützten Modellierung im Maschinen-

bau häufig die Mechanik als die im sequenziellen Engineeringprozess beginnende Fachdisziplin /55/.

4.1.2 Datenbankgestützte Modellierung

Die datenbankgestützte Modellierung basiert auf Techniken und Methoden der elektronischen Datenverarbeitung /69/. Sie wurde als Unterstützung der dokumentenorientierten Modellierung (Kap. 4.1.1) durch die kontinuierliche Erweiterung der Rechnerunterstützung im Maschinenbau /35/ entwickelt. Vorteile der datenbankorientierten Modellierung sind die durchgängige und abstrahierte Modellierung von Eigenschaften realer Gegenstände sowie die anwendungsbezogene Darstellung dieser Daten in Sichten auf Datenbanken anhand verschiedener Kriterien /69, 70/. Die datenbankgestützte Modellierung hat eine große Verbreitung, da bestehende disziplinspezifische Engineeringwerkzeuge diese im Hintergrund zur Verarbeitung und Speicherung von Eigenschaften und Zusammenhänge modellierter Maschinen sowie deren Bestandteile (z. B. Verwaltung mechanischer Bauteile und -gruppen in SAP /62/) verwenden. Dazu werden jedoch überwiegend proprietäre Informationsmodelle mit eingeschränkten Möglichkeiten für den Austausch modellierter Daten verwenden. Weiterhin ist die datenbankgestützte Modellierung weder funktional noch flexibel erweiterbar, darüber hinaus entstehen hohe Ressourcenaufwände für Pflege und Wartung der Datenbanken.

4.1.3 Objektorientierte Modellierung

Die objektorientierte Modellierung (Kap. 2.1.2) ermöglicht die Modellierung von Aufbau und Funktionen realer Systeme mithilfe objektorientierter Regeln /20/ und eignet sich daher zur Abbildung von Informationsmodellen. Die zur objektorientierten Modellierung gehörenden Architekturen (z. B. /71/) legen dabei Grundlagen für Inhalte und Zusammenhänge der abzubildenden Informationsmodelle fest.

Als grundlegende objektorientierte Architektur für Informationsmodelle in der Softwaretechnik wurde von der Object Management Group (OMG) /72/ die Meta Object Facility (MOF) /71/ standardisiert. Die Definition der MOF sieht die Einführung von mindestens zwei Abstraktionsebenen /71/ zur Beschreibung der Architektur von Informationsmodellen vor. In konkreten Anwendungsfällen (z. B. /68, 73/) werden jedoch

überwiegend vier Ebenen (Ebene M0-M3) verwendet (Bild 4.1). Die MOF wurde entwickelt, um Meta-Modelle (Kap. 2.1) zu spezifizieren und ist als internationaler Standard in der ISO/IEC 19502:2005 /74/ genormt.

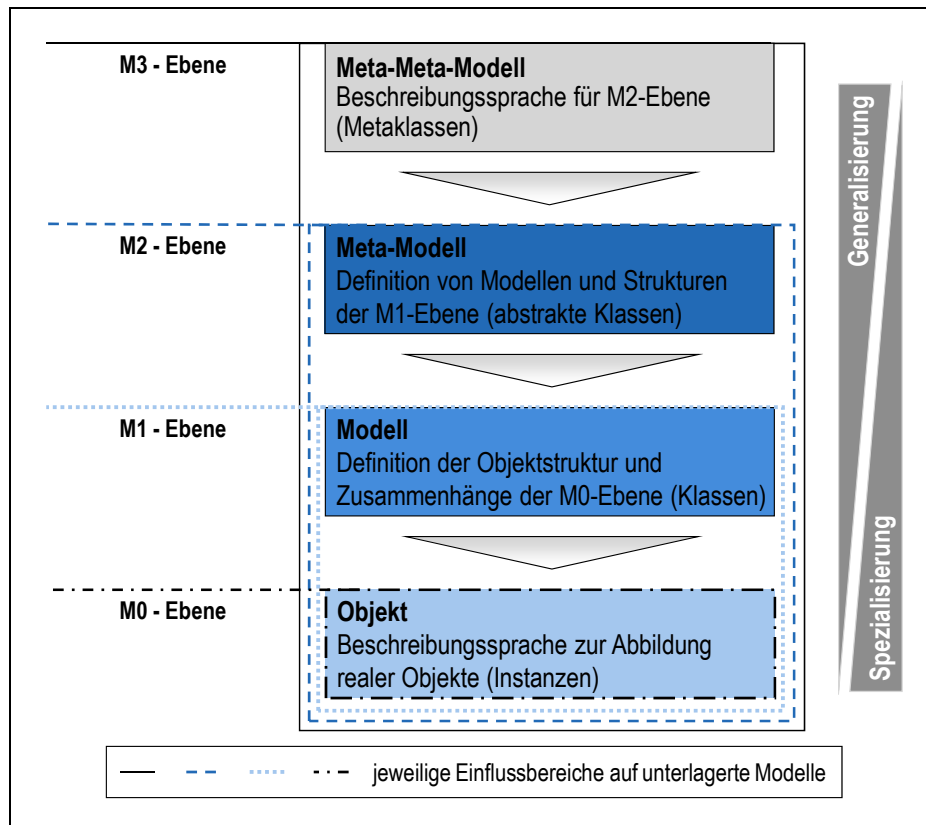


Bild 4.1: Abstraktionsebenen der MOF in Anlehnung an /71/

Im Folgenden werden die einzelnen Ebenen der objektorientierten Architektur aus Bild 4.1 erläutert und am Beispiel der Unified Modeling Language (UML /73/) verdeutlicht. Der Einfluss jeweils übergeordneter Ebenen auf darunterliegende ist in Bild 4.1 durch Rechtecke dargestellt.

Ziel der **Meta-Meta-Ebene (M3-Ebene)** ist die Definition einer Beschreibungssprache für Meta-Modelle. Sie legt damit also Syntax und Semantik der M2-Ebene fest und ist durch sich selbst beschreibbar. Die Meta-Meta-Ebene selbst spezifiziert somit eine anwendungsübergreifende Beschreibungssprache, die als gemeinsame Basis für verschiedene Meta-Modelle (z. B. der Modellierungssprache UML) auf der Meta-Ebene dient.

Die **Meta-Ebene (M2-Ebene)** definiert sowohl Aufbau als auch Struktur der M1-Ebene und stellt damit die Beschreibungssprache dieser Ebene dar. Hierzu werden als Beschreibungssprache auf der Meta-Ebene abstrakte Klassen verwendet. Die Meta-Ebene spezifiziert in Bezug auf das Beispiel UML die Sprache selbst.

Aufgabe der **Modell-Ebene (M1-Ebene)** ist die Spezifizierung von Struktur und Objekten der M0-Ebene. Damit legt sie anwenderspezifisch Semantik und Ausprägung eines Modells in Form von Klassen fest. Die Modell-Ebene definiert im Beispiel der UML anwenderspezifische Modelle für konkrete Anwendungsfälle, z. B. UML-Klassendiagramme eines Softwareentwurfs zur Bibliotheksverwaltung.

Die **Objekt-Ebene (M0-Ebene)** beschreibt reale Gegenstände mit zugehörigen Daten in Form von Instanzen der auf der M1-Ebene definierten Klassen. Im UML-Beispiel enthält die Objekt-Ebene anwenderspezifisch definierte Instanzen, welche reale Gegenstände in einem definierten Anwendungsfall abbilden (z. B. UML-Objektdiagramm für Bücher als Objekte sowie deren Daten: z. B. Titel, Autor, Erscheinungsdatum).

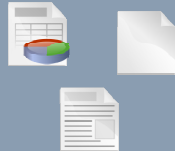
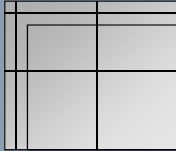













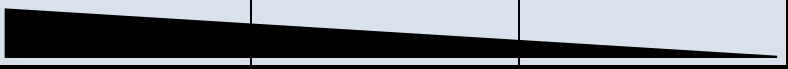
Die MOF schafft durch eine gemeinsame Basis für anwendungsbezogene Meta-Modelle eine Verbindung zwischen unterschiedlichen Meta-Modellen /73/. So entstehende Meta-Modelle sind unabhängig vom jeweiligen Anwendungszweck über das Meta-Meta-Modell miteinander verbunden. Die MOF-Architektur ist bisher nicht Bestandteil disziplinspezifischer Engineeringwerkzeuge. Ansätze zur objektorientierten Modellierung sind jedoch bereits in einigen disziplinübergreifenden Engineeringlösungen realisiert (Kap. 4.3).

Die objektorientierte Modellierung bietet weiterhin folgende Vorteile:

- Natürliche, anschauliche Abbildung realer Gegenstände sowie zugehöriger Zusammenhänge /21/
- Flexible Kopplung einzelner Teilmodelle mittels Schnittstellen /20/
- Möglichkeit zur Definition von Abstraktionsebenen und damit Abgrenzung verschiedener Modellierungsvorgaben /71/

4.1.4 Gegenüberstellung der Grundprinzipien

Beim Vergleich der beschriebenen Grundprinzipien (Kap. 4.1.1 - 4.1.3) zur Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen fällt auf, dass die überwiegend im Maschinenbau eingesetzte dokumentengestützte sowie die datenbankgestützte Modellierung, die gestellten Anforderungen aus Kap. 3.1 nur teilweise erfüllen, vor allem die Beachtung der Modellierungsprinzipien bzw. die Unterstützung des funktionalen Engineerings fehlen. Die objektorientierte Modellierung (Bild 4.2) erzielt in Bezug auf die definierten Anforderungen (Kap. 3), speziell bezogen auf Beachtung der Modellierungsprinzipien und Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben, den höchsten Erfüllungsgrad, bietet bisher jedoch nur eingeschränkt Unterstützung für funktionales Engineering.

Grundprinzip zur Modellierung / Kriterium	Dokumentengestützt	Datenbankgestützt	Objektorientiert
Beachtung der Modellierungsprinzipien			
Beachtung der Modellierungsprinzipien			
Unterstützung des funktionalen Engineerings			
Durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen			
Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben			
Relativer Aufwand für Erweiterungen			




Kriterium:  erfüllt  bedingt erfüllt  nicht erfüllt

Bild 4.2: Vergleich der Grundprinzipien zur Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen

Durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen existieren bislang nicht. Im Anschluss an die hier beschriebenen Grundprinzipien zur Modellierung werden im Maschinenbau verwendete, anwendungsbezogene Struktur- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen analysiert und einander gegenübergestellt.

4.2 Anwendungsbezogene Struktur- und Informationsmodelle im Maschinenbau

Im Folgenden werden die in der Wissenschaft und Praxis vorhandenen Ansätze in Bezug auf anwendungsbezogene Struktur- und Informationsmodelle aufgezeigt. Dazu folgt, nach der Gegenüberstellung disziplinspezifischer Daten- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten, der Stand der Technik in Bezug auf standardisierte Strukturen und disziplinübergreifende Modellierungen für Maschinen.

4.2.1 Disziplinspezifische Daten- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten

Bestehende Daten- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten (Bild 4.3) unterscheiden sich durch die Verwendung in den einzelnen Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2) und lassen sich daher in folgende Kategorien einteilen:

- Hardwaregerätebeschreibungen
- Anwenderprogrammbeschreibungen
- Mechanische, elektrische und fluidische Beschreibungen
- Simulationsbeschreibungen

Beim Vergleich der disziplinspezifischen Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten in Bild 4.3 erschließt sich, dass keines der bestehenden Daten- und Informationsmodelle die zuvor definierten Anforderungen (vgl. Kap. 3.1) vollständig erfüllt.

Die disziplinspezifischen Informationsmodelle sind zwar teilweise erweiterbar und unterstützen das funktionale Engineering, können aber bislang nicht als disziplinübergreifende Modellierungsvorgaben herangezogen werden. Die in Bild 4.3 aufgeführten Beschreibungssprachen (z. B. /75, 76, 77, 78, 79/) wurden zwar als branchen- und herstellerunabhängige Modellierungsvorgaben definiert, werden aber bei der Implementierung in Engineeringwerkzeugen (z. B. /12, 13, 14, 15/) jeweils vom Komponenten- bzw. Softwarehersteller um proprietäre Informationsmodelle erweitert. Disziplinspezifische Daten- und Informationsmodelle liegen damit zwar für jede Automatisie-

rungskomponente vor (Bild 4.3), eine durchgängige Verknüpfung dieser einzelnen Informationsmodelle zur disziplinübergreifenden Beschreibung (vgl. Kap. 3.2) von Automatisierungskomponente fehlt jedoch bisher.

Disziplin-spezifische Informationsmodelle	Beschreibungssprache (nicht proprietäre Datenformate)	Anwendungsbereich	Unterstützung des funktionalen Engineerings	Durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen	Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben	Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben von Branchen und Herst.
Hardwaregeräte-beschreibung	(EDS), GSDML (GSD), FDCML, SDDML (SDS)	Hardwarebeschreibung für Feldgeräte mit Feldbussen wie z.B. Profibus, SERCOS	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Anwender-programm-beschreibung	PLCopen, IEC 61131-3	Definition von Programmstrukturen, Programmiersprachen, Datentypen, Variablen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Mechanische, elektrische & fluidische Beschreibung	MCAD (DXF, VDA-FS, COLLADA), ECAD, Fluidplan	2D u. 3D Anordnungs-skizzen, Funktions-pläne, Zusammen-bauzeichnungen	<input checked="" type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>
Simulations-beschreibung	keine softwareunabhängigen Sprachen, nur proprietäre Datenformate	FEM, HIL, MKS, Prozess- und Materialfluss-simulation	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>	<input checked="" type="radio"/>

Kriterium: <input checked="" type="radio"/> bedingt erfüllt <input type="radio"/> nicht erfüllt		
EDS..Electronic Data Sheet	SDS..SERCOS Device Description /76/	VDA-Fs..VDA - Flächenschnittstelle /23/
GSD..Generic Station Description /75/	SDDML..SDS Markup Language /76/	COLLADA..Collaborative Design /77/
GSDML..GSD Markup Language /75/	CAD..Computer Aided Design	FEM..Fenite-Elemente-Methode
FDCML..Field Device Configuration Markup Language /78/	ECAD..Electronic CAD	HIL..Hardware-in-the-Loop
SERCOS..Serial Real-time Communication System	MCAD..Mechanical CAD	MKS..Mehrkörpersimulation
	2D..zweidimensional	DXF..Drawing Exchange Format /79/
	3D..dreidimensional	

Bild 4.3: Bestehende disziplinspezifische Daten- und Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten, deren Datenformate meist auf XML /80/ basieren

4.2.2 Standardisierte Maschinenstrukturen

Im Folgenden werden standardisierte Maschinenstrukturen miteinander verglichen (Bild 4.4). Hauptziele der dazu betrachteten Normen und Richtlinien sind die Vereinfachung und Vereinheitlichung von Nomenklaturen und Strukturen beim Engineering von Maschinen.

Nach der VDI 2206 /29/ lassen sich disziplinübergreifende Maschinenstrukturen hierarchisch durch die Kombination verschiedener Maschinenstrukturelemente aufbauen. Hierfür werden Maschinenstrukturelemente detailliert eingeführt und beschrieben. Eine Festlegung spezifischer Maschinenstrukturebenen erfolgt jedoch nicht.

In der DIN 40150 /39/ werden Maschinenstrukturebenen zur Ordnung von Maschinenstrukturelementen festgelegt. Dabei erfolgt jedoch weder eine Beschreibung der Beziehungen und Verbindungen zwischen den Maschinenstrukturebenen noch eine Unterscheidung von Maschinenstrukturelementen.

Regeln und Leitlinien zur Erstellung technischer Dokumente in Form von elektrischen Schaltplänen stellt die DIN EN 61082 /65/ bereit. Dabei werden grundsätzliche Beziehungen zwischen den Dokumenten und den Maschinenstrukturen beschrieben. Eine Definition von Maschinenstrukturelementen erfolgt dabei nicht. Neben einer einzigen disziplinspezifischen liegt eine funktionsbezogene Sichtweise als disziplinübergreifende Maschinenstruktur zugrunde.

In der DIN EN 61346 /17/ sind verschiedene disziplinübergreifende Sichtweisen auf Maschinenstrukturelemente definiert, die jeweils in einzelnen Maschinenstrukturen hinterlegt werden. Dabei werden jedoch weder disziplinspezifische Maschinenstrukturen noch Maschinenstrukturebenen eingeführt. Alle disziplinübergreifenden Sichtweisen beschreiben jeweils getrennte Maschinenstrukturen ohne Beachtung und Berücksichtigung von Zusammenhängen zwischen den einzelnen Sichtweisen.

Die DIN EN 61355 /81/ stellt eine Klassifikation sowie Kennzeichnung von Dokumenten für Maschinen bereit. Dabei werden ergänzend zu /17/ weitere Sichtweisen definiert. Maschinenstrukturelemente sowie Zusammenhänge in Form von Maschinenstrukturebenen werden hier nicht festgelegt.

Fokus der DIN EN 62023 /82/ ist die Dokumentation technischer Informationen von Maschinen mithilfe eindeutig festgelegter Maschinenstrukturelemente. Die Maschinenstrukturelemente werden hierbei mit Hilfe von Dokumenten beschrieben. Dazu ist als einzige Maschinenstruktur die disziplinspezifische Sichtweise für Dokumentationen vorgesehen.

Hierarchische Maschinenstrukturebenen definiert die DIN IEC 62264 /83/. Anwendungsbereich ist die Fertigungs- und Prozessindustrie. Ziel der Norm ist eine möglichst vollständige Definition und Beschreibung der Zusammenhänge zwischen Leitsystem und Unternehmensführung in Form von Maschinenstrukturebenen. Es erfolgt jedoch weder eine Betrachtung von Maschinenstrukturelementen noch eine detaillierte Beschreibung der Beziehungen zwischen den Maschinenstrukturebenen.

Kriterium Norm	Modellierung berücksichtigt			
	disziplinspezifische Informationsmodelle	disziplinübergreifende Informationsmodelle	Maschinenstrukturelemente (z.B. AKM)	Maschinenstrukturen und -ebenen
VDI 2206 /29/	○	●	●	○
DIN EN 40150 /39/	○	●	○	●
DIN EN 61082 /65/	●	●	○	○
DIN EN 61346 /17/	○	●	○	○
DIN EN 61355 /81/	●	○	○	○
DIN EN 62023 /82/	●	○	●	○
DIN IEC 62264 /83/	○	○	○	●

Kriterium: ● erfüllt ○ nicht erfüllt AKM..Automatisierungskomponenten

Bild 4.4: Vergleich von Richtlinien und Normen zur Standardisierung von Maschinenstrukturen

Beim Vergleich (Bild 4.4) der betrachteten Standards wird deutlich, dass bisher keiner die Querschnittsanforderungen nach einer durchgängigen Modellierung für alle Fachdisziplinen unter einheitlicher Berücksichtigung aller disziplinspezifischen Informationsmodelle realisiert. Weiterhin zeigt Bild 4.4, dass keiner der vorhandenen Standards die geschlossene Modellierung von Maschinenstrukturelementen und -strukturen (Kap. 3.2 und 3.3) ermöglicht. In der Praxis erfolgt die Strukturierung von Maschinen beim Maschinenhersteller branchen- und firmenspezifisch auf unterschiedliche Weise /2, 8, 55/, daher existiert keine Unabhängigkeit der Modellierung von Branchen und Herstellern (Kap 3.1).

4.2.3 Wissenschaftliche Ansätze zur disziplinübergreifenden Modellierung von Maschinen und Automatisierungskomponenten

Im Bereich des Maschinenbaus befassen sich verschiedene Arbeiten und Forschungsprojekte mit der disziplinübergreifenden Modellierung von Maschinen und Automatisierungskomponenten. Diese Arbeiten werden nachfolgend betrachtet und abschließend miteinander verglichen (Bild 4.5).

Eine Methode zur Modellierung von prinzipiellen Lösungen für Maschinen als mechatronische Systeme (LMS) wird in /84/ aufgezeigt. Im Vordergrund steht dabei die an /35/ angelehnte Beschreibung mechatronischer Systeme durch Funktionen und zugehörige Wirkprinzipien. Dabei werden jedoch nur Funktionen zusammengesetzter Baugruppen, nicht aber die Funktionen einzelner Maschinenstrukturelemente betrachtet. Abbildungen konkreter Maschinenbestandteile sowie deren Beziehungen untereinander sind nicht vorhanden. Unterstützt werden die technischen Fachdisziplinen Mechanik, Elektrotechnik sowie Softwaretechnik. Anforderungen zur Integration der nichttechnischen Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2) werden aufgestellt, aber weder detailliert, noch erfüllt.

Das in /85/ definierte Anlageninformationssystem (AIS) integriert ein Informationsmodell zur Aufbereitung technischer Dokumentation für Maschinen. Mit diesem Informationsmodell können Maschinenstrukturen sowie funktionale Strukturen von Maschinen modelliert werden. Außerdem wird ein Konzept zur Modularisierung und Wiederverwendung von Maschinenstrukturelementen eingeführt. Eine Unterscheidung in der Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen wird nicht vorgenommen. Das entwickelte Informationsmodell beschränkt sich auf die Integration der Fachdisziplin Dokumentation und Software.

Eine Methode zur Generierung von Steuerungssoftware (MNS) nach IEC 61131-3 /61/ wird in /55/ erarbeitet. Hierzu wird ein objektorientiertes Informationsmodell festgelegt, welches Teilmodelle für Maschinenstrukturen und disziplinspezifische Modelle für Informationsverarbeitungskomponenten miteinander verknüpft. Die zugehörige Maschinenstruktur, der die Modelle für Informationsverarbeitungskomponenten direkt und statisch zugeordnet sind, ist dabei auf drei Maschinenstrukturebenen beschränkt und bietet daher nicht die erforderliche Flexibilität in der Modellierung (Kap. 3.3). Das definierte Informationsmodell sieht einen Ansatz zur Verwaltung maschinentypspezifischer und

maschinenunabhängiger Modelle vor, ist aber auf die Fachdisziplin Maschinenbau und die Softwaretechnik begrenzt.

Mit einem disziplinübergreifenden Ansatz (DKU) zur methodischen Konzipierung mechatronischer Maschinen beschäftigt sich /21/. Der Ansatz verfolgt das Ziel mechatronische Engineeringprozesse durch ein abstraktes objektorientiertes Informationsmodell zu unterstützen. Dieses bildet dazu disziplinübergreifende Funktions-, Wirk- und Verhaltenszusammenhänge sowie deren Abhängigkeiten untereinander ab. Modelliert werden dabei jeweils komplette Maschinenmodule, jedoch ohne Detailinformationen zu einzelnen enthaltenen Automatisierungskomponenten. Einbezogen werden in der Modellierung die Disziplinen Mechanik, Elektrotechnik und Softwaretechnik. Eine Integration weiterer Disziplinen ist nicht vorgesehen.

In /86/ werden ein Informationsmodell sowie die zugehörige Erstellungssystematik eines Störungsinformationssystem (SIS) für Maschinen definiert. Entsprechend des Einsatzzwecks als Störungsinformationssystem wird in der erarbeiteten Methode von einer bereits bestehenden Maschine ausgegangen, die per Dekomposition modularisiert wird. D. h. Maschinenstrukturen und die disziplinspezifischen sowie disziplinübergreifenden Maschinenstrukturelemente folgen aus einer funktionalen, montage- sowie softwaretechnischen Dekomposition bestehender Maschinen und deren Bestandteilen. Das dazu erarbeitete Informationsmodell ist jedoch auf die für Störungen relevanten Anwendungsfälle begrenzt.

Im Verbundforschungsprojekt /87/ (MES) wurde ein Informationsmodell für Maschinenbestandteile festgelegt. Es definiert jedoch weder Regeln zur disziplinübergreifenden Kopplung von Maschinenbestandteilen noch Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und Maschinen.

Ein adaptierbares Baukasteninformationssystem (BIS) mit dem Ziel bereits etablierte Engineeringprozesse und -werkzeuge verschiedener Fachdisziplinen miteinander zu verbinden und dadurch zu optimieren wird in /68/ entwickelt. Das dazu definierte Informationsmodell erlaubt den Aufbau und die Modellierung firmenspezifischer Maschinenbaukästen aus disziplinübergreifenden Maschinenelementen. Eine Methodik zur konkreten Modellierung realer Maschinen fehlt dagegen. Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten sind ebenfalls nicht enthalten.

In /88/ wird die disziplinübergreifende Planung von Fertigungszellen (MOP) im Anwendungsbereich Karosserierohbau thematisiert. Dazu wird ein verallgemeinertes Informationsmodell für Maschinenstrukturelemente definiert, aus denen Maschinenmodule aufgebaut werden können. In dieses Informationsmodell werden jedoch nicht bestehende disziplinspezifische Informationsmodelle integriert, sondern die Daten einzeln neu definierten Sichtweisen zugeordnet. Aufgrund der Fokussierung auf den Karosserierohbau liegt nur eine dieser Anwendung entsprechende Maschinenstruktur zugrunde. Ferner wird die Optimierung des mechatronischen Engineeringprozesses aber nicht die Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen angestrebt.

Wissenschaftliche Ansätze	Kriterium								
	LMS /82/	AIS /83/	MNS /53/	DKU /21/	SIS /84/	MES /85/	BIS /63/	MOP /86/	IZE /87/
Beachtung der Modellierungsprinzipien	○	◐	◐	◐	●	◐	●	○	●
Unterstützung des funktionalen Engineerings	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	◐	○
Unterstützung technischer Fachdisziplinen	●	○	◐	●	○	●	●	◐	◐
Unterstützung nichttechnischer Fachdisziplinen	○	◐	◐	○	◐	○	●	◐	◐
Ansatz zur Integration fehlender Fachdisziplinen	○	○	○	○	◐	○	◐	○	○
Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben	◐	◐	○	◐	○	◐	○	◐	◐
Hersteller- und branchenunabhängige Modellierung	●	●	●	●	●	●	●	○	◐
Modellierungsvorgaben für Maschinen und deren -bestandteile (z.B. AK)	○	◐	◐	○	◐	◐	○	●	◐
Verwendung bestehender disziplinspezifischer Informationsmodelle für AK	◐	○	◐	○	○	○	●	○	○
Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Maschinenstrukturen und -module	○	◐	◐	◐	◐	○	◐	◐	○

Kriterium: ● erfüllt ◐ bedingt erfüllt ○ nicht erfüllt AK..Automatisierungskomponente

LMS..prinzipielle Lösungen mechatronischer Systeme DKU..domänenübergreifende Konzeptionsumgebung BIS..Baukasteninformationssystem

AIS..Anlageninformationssystem SIS..Störungsinformationssystem MOP..mechatronikorientierte Planung

MNS..maschinennahe Steuerungsfunktionen MES..Verbundforschungsprojekt MECHASOFT IZE..Integrationsplattform zur Entwicklung

Bild 4.5: Vergleich bestehender wissenschaftlicher Ansätze zur disziplinübergreifenden Modellierung von Maschinen und Automatisierungskomponenten

Eine Methode für interdisziplinäres Entwickeln (IZE) von Werkzeugmaschinen wird in /89/ erarbeitet. Dafür wird ein disziplinübergreifendes Informationsmodell aufgebaut,

welches disziplinspezifische Daten in Softwareentwurfsmustern /90/ hinterlegt. Bestehende disziplinspezifische Informationsmodelle werden dazu nicht weiterverwendet, sondern deren Daten transformiert. Betrachtete Fachdisziplinen in der Modellierung sind Mechanik, Softwaretechnik sowie Vertrieb, aber nicht die Elektrotechnik. Automatisierungskomponenten sind teilweise konkrete Bestandteile in der Modellierung, Maschinenstrukturen dagegen nicht.

In Bild 4.5 werden die Ansätze zur disziplinübergreifenden Modellierung zusammenfassend anhand der zuvor definierten Anforderungen (Kap. 3) miteinander verglichen. Neben fehlenden Konzepten zur Erweiterbarkeit in Bezug auf weitere Fachdisziplinen und Modellierungsvorgaben wird die funktionale Modellierung in den vorliegenden Ansätzen nur bedingt unterstützt. Die meisten Ansätze ermöglichen zwar eine branchenunabhängige Modellierung für Maschinen, aufgrund individueller Modellierungssystematiken der einzelnen Maschinenhersteller lassen sich die dabei entstehenden branchenspezifischen Modelle jedoch nur mit hohem Aufwand vereinen.

4.3 Bestehende disziplinübergreifende Engineeringlösungen

Bisher arbeitet jede Fachdisziplin in bestehenden disziplinspezifischen Engineeringprozessen mit eigenen Methoden, Vorgehensweisen und Informationsmodellen (Kap. 4.2.1), die durch durchgängige Modellierungsvorgaben disziplinübergreifend in Engineeringlösungen (Bild 2.3) abgebildet, unterstützt und parallelisiert (vgl. Bild 1.2) werden müssen. Im Weiteren folgt daher der Stand der Technik in Bezug auf vorhandene disziplinübergreifende Engineeringlösungen und den dazugehörigen Modellierungsvorgaben. Dafür werden zunächst bestehende mechatronische Engineeringwerkzeuge und disziplinübergreifende Austauschmodelle betrachtet. Anschließend werden weitere Methoden und Ansätze aufgezeigt sowie abschließend alle betrachteten Engineeringlösungen anhand der Anforderungen aus Kap. 3 miteinander verglichen.

4.3.1 Mechatronische Engineeringwerkzeuge

Nachfolgend wird der Stand der Technik in Bezug auf vorhandene mechatronische Engineeringwerkzeuge analysiert.

Comos (COM der Comos Industry Solutions GmbH) /10/ ist ein mechatronisches Engineeringwerkzeug mit Fokus auf verfahrenstechnischen Anlagenbau. Comos setzt sich aus mehreren verschiedenen disziplinspezifischen Softwarewerkzeugen zusammen. Damit wird u.a. die Intention verfolgt den kompletten Engineeringprozess durch integrierte, proprietäre Softwarewerkzeuge darzustellen. Dies wurde bisher für das ECAD und die SPS-Programmierung realisiert. Schnittstellen zu anderen disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugen sind dennoch vorhanden. Unterstützt werden bisher die Fachdisziplinen Elektrotechnik, Softwaretechnik sowie die nichttechnischen Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2). Modellierungsvorgaben für Maschinen und deren Bestandteile sind in Comos nicht vorgesehen. Die Modellierung von Maschinenstrukturen und Automatisierungskomponenten erfolgt mittels Skriptsprache. Comos unterstützt die objekt- und datenbankorientierte Modellierung (Kap. 4.1.3).

Der SIMATIC Automation Designer (AD der Siemens AG) /91/ basiert auf Comos /10/ und besitzt daher alle zugehörigen Eigenschaften. Der Automation Designer zielt auf den Einsatz im Maschinenbau ab und unterstützt dazu ebenfalls die Fachdisziplinen Elektrotechnik, Softwaretechnik sowie die nichttechnischen Fachdisziplinen im Engineeringprozess. Die Daten der Mechanikkonstruktion werden nicht unterstützt, eine Ansicht von Planungs- und Layoutdaten ist dennoch möglich. In Bezug auf Softwarewerkzeuge zur Programmierung von Informationsverarbeitungen und -systemen wird zwar auf eine Integration beliebiger Komponentenhersteller hingearbeitet, aktuell liegt der Fokus jedoch auf Geräten und Software von Siemens (wie z. B. SIMATIC S7 und STEP7 /92/).

Das Mind8 Engineering Center (EC der Mind8 GmbH) /9/ und das EPLAN Engineering Center (EC der EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG) /93/ sind identische Softwarewerkzeuge vertrieben durch verschiedene Firmen. Die Methodik des EC basiert auf den Forschungsprojekten MoWiMa /94/ sowie Föederal /2/ und wird aktuell durch AQUIMO /67/ weiterentwickelt. Es baut auf einem offenen Konzept zur Modellierung von Maschinen auf und stellt damit die Grundlage zur objektorientierten Modellierung von Sichtweisen verschiedener Fachdisziplinen auf Maschinenbestandteile bereit. Branchenunabhängige Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten existieren im EC jedoch bisher nicht. Bisher sind Informationsmodelle zur Integration einzelner disziplinspezifischer Engineeringwerkzeuge für die Fachdisziplinen Elektrotechnik, Softwaretechnik und die nichttechnischen Fachdisziplinen durch eine Anbindung an das ERP-System SAP /32/ vorhanden. Im Rahmen von

AQUIMO /67/ wird zusätzlich an der Einbindung der Mechanik gearbeitet. Das EC ist ein föderales Werkzeug. D. h. es zielt nicht auf die Ersetzung der im Engineeringprozess bestehenden disziplinspezifischen Engineeringwerkzeuge ab, sondern auf die disziplinübergreifende Kopplung der vorhandenen disziplinspezifischen Engineeringwerkzeuge. Weiterhin unterstützt das EC die Wiederverwendung von Baugruppen und Bauteilen.

Das mechatronische Engineeringwerkzeug modul.oo (OO der modul.oo GmbH) /95/ integriert die Fachdisziplinen Mechanik und Elektrotechnik sowie das Hilfsmittel Dokumentation. Disziplinübergreifende Maschinenstrukturen sind nicht Bestandteil der Modellierungen. Das Engineeringwerkzeug modul.oo ermöglicht die Wiederverwendbarkeit bereits modellierter Bauteile und -gruppen sowie 3D-Modelle. Der Grundgedanke und damit die Modellierung in modul.oo bauen auf abgeschlossenen Gerätemodulen der LQ-Group /96/ auf, die vorkonfektioniert auf einem mechanischen Träger als eine Baueinheit in Maschinen eingebaut werden. Da diese Randbedingung nicht verallgemeinerbar ist, eignen sich modul.oo und dessen Modellierungsvorgaben nicht zur herstellerunabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten.

4.3.2 Disziplinübergreifende Austauschmodelle

Nach der Analyse vorhandener mechatronischer Engineeringwerkzeuge und zugehöriger Modellierungsvorgaben folgt die Darstellung des Stands der Technik der Modellierungsvorgaben in disziplinübergreifenden Austauschmodellen. Der Vergleich der Austauschmodelle erfolgt zusammenfassend mit den anderen disziplinübergreifenden Engineeringlösungen abschließend in Kap. 4.3.4.

Ziel der Automation Markup Language (AML) /25/ ist die Definition eines disziplinübergreifenden, offenen und nicht proprietären Datenformats für den Datenaustausch zwischen disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugen im Maschinenbau. Dazu stehen die Weiterverwendung bestehender disziplinspezifischer Daten sowie die disziplinübergreifende Kopplung zugehöriger Inhalte im Vordergrund. Baugruppen und Bestandteile von Maschinen werden mit der AML objektorientiert modelliert. Dabei erfolgt keine Einschränkung der Anwendbarkeit auf einzelne Branchen. AML fokussiert zwar den disziplinübergreifenden Datenaustausch, nicht aber Modellierungsvorgaben zur Abbildung von Maschinen und Automatisierungskomponenten. Unterstützt werden die Fachdisziplinen Mechanik und Softwaretechnik.

Der Standard for the Exchange of Produkt Model Data (STEP) /24, 97/ ist ein Standard für den Austausch von Produktdaten zwischen verschiedenen PDM- /98/, CAD- und ERP-Systemen. Integriert sind im STEP neben der Fachdisziplin Mechanik die nicht-technischen Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2). Die zugehörige DIN EN ISO 10303 /24/ legt dazu Archivierung, Speicherung und Austausch von Produktdaten für und während der Produktion fest. STEP enthält keine disziplinübergreifenden Modellierungsvorgaben sowie keine funktionale Herangehensweise zur Modellierung von Maschinen. Weiterhin bilden die Daten im STEP nicht die Grundlage für den disziplinübergreifenden Engineeringprozess ab, sondern sind Ergebnisse der disziplinspezifischen Engineeringprozesse und Engineeringwerkzeuge.

Aktuell wird STEP /24/ durch den ProSTEP iViP e.V. (IVP) /99/ weiterentwickelt. Der Fokus dieser Weiterentwicklung liegt auf der weiteren Standardisierung beim Austausch von Produktdaten in der Produktion und des nachfolgenden Produktlebenszykluses. Dazu werden PLM- sowie PDM-Systeme /98/ und -Methoden entwickelt, mit denen die Daten disziplinspezifisch entsprechend der einzelnen Phasen im Engineeringprozess gesammelt werden. Dies erfolgt jedoch ohne die Abbildung disziplinübergreifender Zusammenhänge. Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten zur Unterstützung des Engineerings sind in ProSTEP iViP ebenfalls nicht vorgesehen.

4.3.3 Weitere disziplinübergreifende Ansätze

An die vorangegangene Betrachtung mechatronischer Engineeringlösungen und disziplinübergreifender Austauschmodelle schließt sich der Stand der Technik in Bezug auf weitere Ansätze für übergeordnete disziplinübergreifende Engineeringlösungen (vgl. Bild 2.3) an. Abschließend folgt zusammenfassend der Vergleich der vorhandenen disziplinübergreifenden Engineeringlösungen in Kap. 4.3.4.

Die Ansätze Computer-Integrated Manufacturing (CIM) /100/ und die zugehörige Erweiterung Computer-Integrated Manufacturing Open System Architecture (CIMOSA) /101/ der Automobilindustrie zielen auf eine durchgängige Unterstützung des Datenaustauschs in der Produktion ab. Diese Ansätze konzentrieren sich dabei auf die Verbesserung der Produktionsprozesse und enthalten keine Modellierungsvorgaben für Maschinen oder deren Bestandteile.

Die Systems Modeling Language (SML) /102/ ist eine auf der UML /16/ basierende durchgängige, disziplinübergreifende Sprache zur Definition und Dokumentation von Anforderungen an Systeme (z. B. Maschinen) über den gesamten Produktlebenszyklus /98/. Die SML stellt eine Erweiterung der UML zur disziplinübergreifenden Modellierung von Anforderungen dar. Unterstützt werden dazu die technischen und nicht-technischen Fachdisziplinen, wobei jeweils nur disziplinübergreifende Systemebenen (also die Maschine) nicht aber disziplinspezifische Details der Maschinenbestandteile betrachtet werden. Somit sind in der SML weder detaillierte Modellierungen für einzelne Fachdisziplinen noch für konkrete Modellierungsvorgaben vorhanden.

Ziel von MTConnect (von der Association for Manufacturing Technology) /103/ ist die Verbesserung der Erzeugung und Aufbereitung von Daten aus der laufenden Produktion von und für Produktionsmaschinen (z. B. CNC-Maschinen). Die zugehörigen Daten werden dazu vor, während und nach Produktionsabläufen zur verbesserten Produktionssteuerung und -überwachung aufgenommen und zwischen Produktionsmaschinen ausgetauscht. Damit fokussiert MTConnect auf die Daten von Erzeugnissen aus der Produktion und die Auswertung dieser Daten aus den Produktionsabläufen, nicht aber das Engineering von Maschinen.

Das adaptierbare Modellierungswerkzeug und Qualifizierungsprogramm für den Aufbau firmenspezifischer mechatronischer Engineeringprozesse (AQU) /67/ zielt auf den firmenübergreifenden Aufbau eines Baukastens mit einzelnen Maschinenbestandteilen zur Modellierung und frühzeitigen sowie disziplinübergreifenden Abstimmung im mechatronischen Engineering ab. Dazu fokussiert AQU den möglichst frühen Einsatz von disziplinübergreifenden Beschreibungsmitteln (hier z. B. Simulationen), die Qualifizierung von Spezialisten und die zugehörige Anpassung in der Organisation eines Unternehmens. In diesem Rahmen wurden Maschinenbestandteile modelliert, die eine flache, firmenübergreifende Struktur angelehnt an Steuerketten /67/ aufweisen. Es erfolgt jedoch weder eine disziplinübergreifende Definition der Abhängigkeiten und Zusammenhänge zwischen den abgebildeten Maschinenbestandteilen noch die Vorgabe einer branchenunabhängigen Maschinenstruktur.

Der Ansatz AutoVIBN (AVB der Technischen Universität München) /56, 104/ verfolgt die automatische Generierung physikalischer Verhaltensmodelle aus CAD-Daten für die virtuelle Inbetriebnahme einer Maschine. An diesen physikalischen Verhaltensmodellen ist die Validierung von Steuerungsprogrammen möglich. Im Rahmen von AVB wurden

Methoden zur disziplinübergreifenden, funktionalen Modellierung von Maschinen erarbeitet. Damit können Zustandsgraphen, 3D-Modelle und logische Zusammenhänge zur funktionalen Abbildung von Maschinenbaugruppen modelliert werden, jedoch nicht die Funktionen einzelner Maschinenbestandteile. Weiterhin sind keine Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten oder Maschinenstrukturen vorhanden. Unterstützt werden in dieser Modellierung nur die Fachdisziplinen Mechanik und Elektrotechnik, eine Integration von Daten nichttechnischer Fachdisziplinen erfolgt nicht.

4.3.4 Vergleich bestehender disziplinübergreifender Engineeringlösungen

Bild 4.6 zeigt den Vergleich der in den Kap. 4.3.1 - 4.3.3 betrachteten disziplinübergreifenden Engineeringlösungen und spiegelt damit den Stand der Technik wieder.

Disziplinübergreifende Engineeringlösungen	Mechatronische Engineeringwerkzeuge				Disziplinübergreifende Austauschmodelle			Kombinierte Methoden & weitere Ansätze		
	COM /10/	AD /89/	EC /9/	OO /93/	AML /22/	STP /21/	IVP /97/	SML /100/	AQU /62/	AVB /102/
Beachtung der Modellierungsprinzipien	◐	◐	●	○	◐	○	○	◐	●	◐
Unterstützung des funktionalen Engineerings	○	○	◐	○	○	○	○	○	◐	◐
Unterstützung technischer Fachdisziplinen	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐	◐
Unterstützung nichttechnischer Fachdisziplinen	●	●	◐	◐	○	◐	◐	◐	◐	○
Ansatz zur Integration fehlender Fachdisziplinen	○	○	●	○	○	○	○	○	◐	○
Erweiterbarkeit der integrierten Modelle	◐	◐	◐	○	○	○	○	○	○	○
Hersteller- und branchenunabhängige Modellierung	○	○	◐	○	●	◐	◐	●	◐	◐
Modellierungsvorgaben für Maschinen und deren -bestandteile (z.B. AK)	○	○	○	○	○	○	○	○	◐	○
Verwendung bestehender disziplinspezifischer Informationsmodelle für AK	◐	◐	●	◐	●	◐	◐	○	●	◐
Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Maschinenstrukturen und -module	●	●	●	◐	●	◐	◐	◐	◐	◐

Kriterium: ● erfüllt	◐ bedingt erfüllt	○ nicht erfüllt	AK..Automatisierungskomponente
COM..Comos	AD..SIMATIC Automation Designer	EC..Mind 8 / EPLAN Engineering Center	OO..modul.oo
AML..Automation Markup Language	STP.. Standard for the Exchange of Produkt Model Data	IVP.. ProSTEP IVP	SML.. Systems Modeling Language
			AQU..AQUIMO
			AVB..AutoVIBN

Bild 4.6: Vergleich bestehender disziplinübergreifender Engineeringlösungen anhand der Anforderungen aus Kap. 3

Aufgrund des Fokus auf die Produktion und die dazugehörigen Daten wurden die Ansätze CIM /100/, CIMOSA /101/ sowie MTConnect /103/ hierbei nicht betrachtet. Durch die Gegenüberstellung in Bild 4.6 wird ersichtlich, dass in vorhandenen Engineeringlösungen sowohl die Unterstützung des funktionalen Engineerings nach Kap. 3.1 als auch Modellierungsvorgaben gemäß Kap. 1.3 zur Abbildung von Maschinen und deren -bestandteilen fehlen /11/. Weiterhin wird die hersteller- und branchenunabhängige Modellierung von Maschinen und Automatisierungskomponenten, die Unterstützung der Fachdisziplinen nach Kap. 2.2.2 und die Erweiterung der integrierten Modelle nur bedingt von einzelnen disziplinübergreifenden Engineeringlösungen realisiert. Beim Vergleich in Bild 4.6 wird daher ersichtlich, dass keine der bisher vorhandenen Engineeringlösungen die definierten Anforderungen in Bezug auf Modellierungsvorgaben aus Kap. 3 erfüllt. Daraus leitet sich nachfolgend der Handlungsbedarf ab.

4.4 Defizite und daraus abgeleiteter Handlungsbedarf

Die Analyse des Standes der Technik (Kap. 4.1 - 4.3) ergibt, dass weder die beschriebenen Grundprinzipien und Informationsmodelle (Kap. 4.1 und 4.2) noch die Engineeringlösungen (Kap. 4.3) bislang die gestellten Anforderungen aus Kap. 3 erfüllen. Defizite sind dabei vor allem:

- **Vorhandene disziplinübergreifende Engineeringlösungen** und zugehörige Informationsmodelle **geben keine Modellierungsvorgaben** für Maschinen und Automatisierungskomponenten **vor**, sondern stellen bisher lediglich Softwarewerkzeuge mit Modellierungsansätzen oder Datenformate für den Austausch von Datenmodellen für das disziplinübergreifende Engineering bereit.
- Die **Modellierung von Maschinen und deren Bestandteilen**, im speziellen auch Zulieferteile wie Automatisierungskomponenten, **erfolgt ohne Modellierungsvorgaben ausschließlich durch die Maschinenhersteller**.
- **Modellierungsvorgaben unabhängig von einzelnen Branchen im Maschinenbau sowie von Herstellern für Automatisierungskomponenten** zur konkreten Beschreibung von Maschinen und deren Bestandteilen **fehlen oder sind nur in Ansätzen vorhanden**.

Aus den genannten Defiziten leitet sich folgender Handlungsbedarf ab:

1. Eine **Systematik und -struktur für mechatronische Modellierungsvorgaben** für Automatisierungskomponenten ist zu erarbeiten (Kap. 5).
2. Darauf aufbauend ist die Definition notwendiger Informationsmodelle für **hersteller- und branchenunabhängige Modellierungsvorgaben** für Automatisierungskomponenten und Maschinen zu entwickeln (Kap. 6 und 7).
3. Zur Nutzung dieser unabhängigen Modellierungsvorgaben durch Komponenten- und Maschinenhersteller sind **Schnittstellen und hierarchische Modellierungsebenen** zur spezifischen Modellierung von Maschinen mit Automatisierungskomponenten zu definieren (Kap. 7).
4. Die **erarbeiteten Modellierungsvorgaben und -ebenen** sind durch die mechatronische Modellierung einer Maschine mit Automatisierungskomponenten und zugehöriger Maschinenstruktur zu **verifizieren** (Kap. 8).

5 Modellierungssystematik und -strukturen zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten

Da bislang Modellierungsvorgaben zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten fehlen (Kap. 4.4), sind im Folgenden eine Modellierungssystematik, funktionale Modellierungsstrukturen sowie ein mechatronisches Strukturmodell zu entwickeln. Der Fokus liegt dabei auf der Erfüllung von Querschnittsanforderungen aus Kap. 3.1 sowie zusätzlicher Anforderungen in Bezug auf Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten aus Kap. 3.2.

5.1 Modellierungssystematik zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten

Um Automatisierungskomponenten sowie deren zugehörige Struktur- und Informationsmodelle mechatronisch abbilden zu können, ist eine geeignete Modellierungssystematik festzulegen. Für die Ermöglichung der rechnergestützten Verarbeitung (vgl. Kap. 3.1) dieser Modellierungssystematik ist weiterhin ein entsprechendes Informationsmodell zu erarbeiten.

5.1.1 Entwicklung eines konzeptionellen Informationsmodells für Automatisierungskomponenten

Aus dem Stand der Technik wird deutlich, dass bisher zwar disziplinspezifische Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten (Kap. 4.2.1) vorhanden sind und Ansätze sowie Vorgaben zur disziplinübergreifenden Modellierung (Kap. 4.3) definiert wurden, die mechatronische Modellierung von Automatisierungskomponenten aber bislang nicht, wie in Kap. 3 gefordert, unterstützt wird (vgl. Bild 4.5 und Bild 4.6). Zur Erarbeitung der somit erforderlichen Modellierungssystematik soll ein **konzeptionelles Informationsmodell** entwickelt werden, welches die existierenden disziplinspezifischen Informationsmodelle (vgl. Bild 4.3) miteinander verbindet. Im Fokus steht dabei die Abbildung aller für das Engineering notwendigen Informationen für Automatisierungskomponenten im konzeptionellen Informationsmodell. Mit dem Ziel die mechatronische Vorgehensweise beim Engineering von Maschinen (Bild 1.2) zu ermöglichen, ist das konzeptionelle Informationsmodell in **sichtspezifische** und **mechatronische Teil-**

informationsmodelle (Bild 5.1) zu unterteilen, die nachfolgend zu definieren sind. Weiterhin sind im konzeptionellen Informationsmodell die Zusammenhänge zwischen diesen Teilinformationsmodellen festzulegen und die gemeinsame disziplinübergreifende Zusammenarbeit der Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2) zu unterstützen.

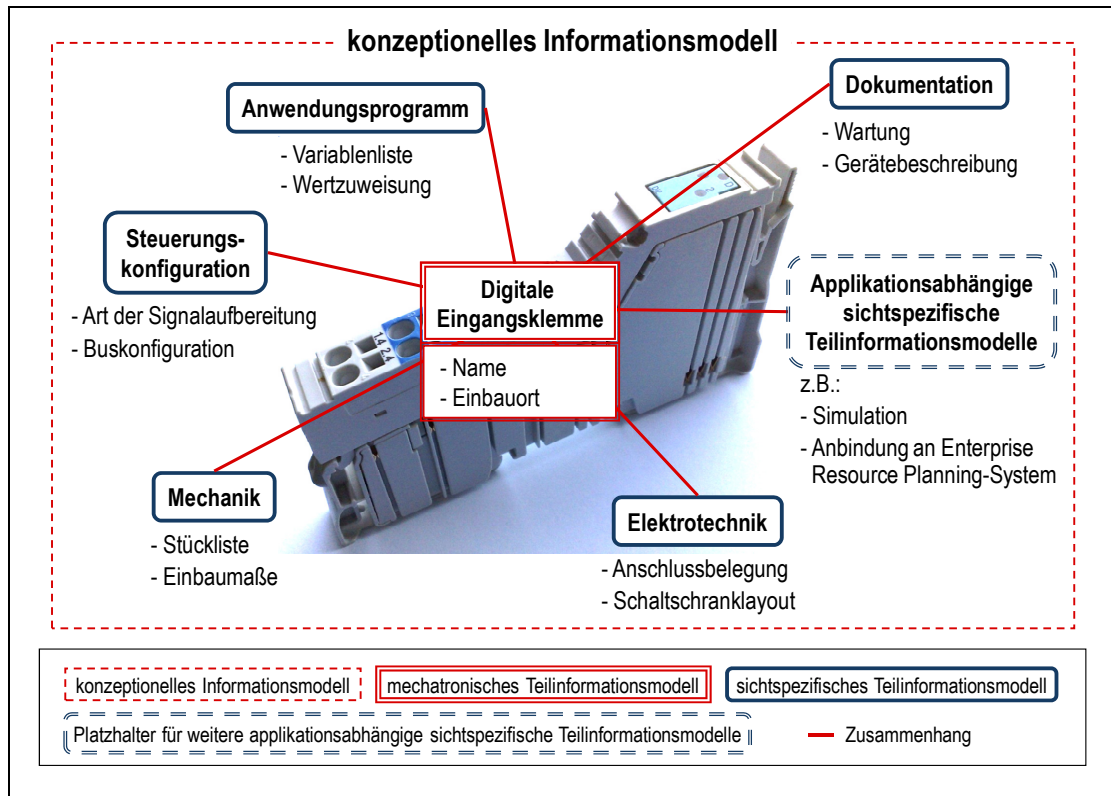


Bild 5.1: Das konzeptionelle Informationsmodell definiert den Zusammenhang zwischen sichtspezifischen und mechatronischen Teilinformationsmodellen, hier beispielhaft an einer digitalen Eingangsklemme

Für das konzeptionelle Informationsmodell werden sichtspezifische Teilinformationsmodelle als Abbildung von Eigenschaften einer Automatisierungskomponente in einer bestimmten Sichtweise definiert. Diese Sichtweisen auf die Automatisierungskomponente können auf Eigenschaften für einzelne Fachdisziplinen (Kap. 2.2.2) beschränkt sein oder ein disziplinspezifisches Informationsmodell (Kap. 4.2.1) der Automatisierungskomponente beschreiben. Disziplinspezifische Informationsmodelle enthalten dabei disziplinspezifische Eigenschaften, wie Beschreibungsdaten und Regeln zur Parametrierung der Automatisierungskomponente. Die notwendigen Informationen lassen sich überwiegend aus den vorhandenen, disziplinspezifischen Daten (Kap. 4.2.1), den Spezifikationen und Datenblättern der einzelnen Automatisierungskomponenten sowie den Komponentenkatalogen der Hersteller extrahieren. Weitere Modellierungs-

informationen ergeben sich aus den Spezifikationen herstellerübergreifend genormter Standards (z. B. XML Formats for IEC 61131-3 /22/).

Beispiel für ein sichtspezifisches Teilinformationsmodell ist die elektrische Sichtweise in einem elektrotechnischen Schaltplan auf Anschlussbelegung und Schaltschranklayout einer digitalen Eingangsklemme (Bild 5.1). Neben den disziplinspezifischen Sichtweisen Mechanik, Elektrotechnik und Softwaretechnik (unterteilt in Steuerungskonfiguration und Anwendungsprogramm) sind die Dokumentation sowie ein Platzhalter für weitere applikationsabhängige Sichten auf die Eingangsklemme als sichtspezifische Teilinformationsmodelle in Bild 5.1 eingeführt. Der Platzhalter dient zur Abbildung zusätzlicher disziplinspezifischer Sichten und Informationsmodelle (z. B. Simulationen vgl. /33/ oder Anbindungen nichttechnischer Fachdisziplinen z. B. an ein Enterprise Resource Planning-System u. a. /62/) einer zu modellierenden Automatisierungskomponente.

Mechatronische Teilinformationsmodelle (Bild 5.1) werden für das konzeptionelle Informationsmodell als Beschreibung von disziplinübergreifenden Zusammenhängen und Sichtweisen der Automatisierungskomponenten festgelegt. Mechatronisch sind diese Teilinformationsmodelle aufgrund der Zusammenführung sowie der disziplinübergreifenden Verknüpfung von gemeinsamen, sichtspezifischen Daten und Eigenschaften einer Automatisierungskomponente. Somit werden logische Verbindungen und Abhängigkeiten zwischen einzelnen sichtspezifischen Teilinformationsmodellen für eine Automatisierungskomponente disziplinunabhängig im mechatronischen Teilinformationsmodell abgebildet. In einem mechatronischen Teilinformationsmodell werden dazu folgende disziplinübergreifende Daten abgebildet:

- Name der Automatisierungskomponente
- Typ der Automatisierungskomponente
- Physikalischer Einbauort der Automatisierungskomponente in der Maschine
- Beschreibung der Anhängigkeit zu anderen Automatisierungskomponenten, d. h. Zuordnung der Automatisierungskomponente in der Hierarchie eines Automatisierungssystems (Kap. 2.4)

Beispiel für ein mechatronisches Teilinformationsmodell ist in Bild 5.1 die Automatisierungskomponente selbst. Es führt die zuvor beschriebenen sichtspezifischen Teilinformationsmodelle logisch zusammen, repräsentiert die gemeinsamen Daten (z. B. „Name“ und „Einbauort“) und ermöglicht dadurch eine durchgängige Abbildung der digitalen Eingangsklemme für alle Fachdisziplinen.

Die übergeordneten Zusammenhänge zwischen spezifischem und mechatronischem Teilinformationsmodell, nämlich die Abhängigkeit von Daten und Eigenschaften der beiden Teilinformationsmodelle zueinander, werden im konzeptionellen Informationsmodell (Bild 5.1) modelliert. D. h. das entwickelte konzeptionelle Informationsmodell definiert, dass mechatronische Teilinformationsmodelle aufgrund der Zusammenführung einzelner sichtspezifischer Daten und Eigenschaften allen sichtspezifischen Teilmodellen überzuordnen sind. Um entsprechend den Querschnittsanforderungen aus Kap. 3.1 die rechnergestützte Verarbeitung des hier definierten konzeptionellen Informationsmodells (Bild 5.1) zu ermöglichen, wird daraus nachfolgend ein objektorientiertes Informationsmodell zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten abgeleitet.

5.1.2 Ableitung eines objektorientierten Informationsmodells zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten

Um das zuvor definierte konzeptionelle Informationsmodell für Automatisierungskomponenten (Kap. 5.1.1) anforderungsgemäß durch Rechner verarbeiten zu können (Kap. 3.1), soll im Weiteren die objektorientierte Modellierung verwendet werden. Diese erlaubt im Vergleich zu anderen Grundprinzipien der Modellierung (vgl. Kap. 4.1) die direkte Abbildung realer Gegenstände sowie deren Zusammenhängen in einer für den Nutzer nachvollziehbaren und erweiterbaren Weise [21, 20]. Die objektorientierte Modellierung erfolgt hierbei in einer einheitlichen Klassenstruktur, die zum einen die Wiederverwendbarkeit modellierter Objekte sichert und zum anderen Mehrfachimplementierungen gleicher Objekte verhindert. Die objektorientierte Modellierung dient somit zur Abbildung des konzeptionellen Informationsmodells aus 5.1.1 und der darin definierten Zusammenhänge im **objektorientierten Informationsmodell** (Bild 5.2). Die zuvor entwickelten Informationsmodelle werden dazu als Klassen modelliert und die zwischen den Informationsmodellen bestehenden Abhängigkeiten mit der zugehörigen Klassenstruktur beschrieben.

Analog zu den Definitionen im konzeptionellen Informationsmodell (Bild 5.1) steht die Klasse für mechatronische Teilinformatiionsmodelle dabei als Ganzes über den Teilen /16/, nämlich den Klassen der sichtspezifischen Teilinformatiionsmodelle. Die Klassen der Teilinformatiionsmodelle sind dementsprechend per Komposition miteinander verbunden. Damit wird die im konzeptionellen Informationsmodell definierte Kopplung zwischen einer Klasse des Typs mechatronisches Teilinformatiionsmodell und mehreren Klassen des Typs sichtspezifisches Teilinformatiionsmodell realisiert. Um gemeinsame Eigenschaften der Teilinformatiionsmodelle, u.a. Definition gleicher Attribute und Datentypen, einheitlich abbilden zu können, wurde als Generalisierung die Klasse konzeptionelles Informationsmodell eingeführt und davon die beiden Teilinformatiionsmodelle entsprechend abgeleitet. Die im Bild 5.2 dargestellte Klassenstruktur stellt die grundlegende Architektur zur objektorientierten Modellierung für alle Arten von Automatisierungskomponenten dar. Alle eingeführten Klassen sind deswegen als abstrakte Klassen /16/ definiert. D. h. zur Abbildung konkreter Automatisierungskomponenten (z. B. einer digitalen Eingangsklemme, vgl. Bild 5.1) sind die abstrakten Klassen entsprechend abzuleiten.

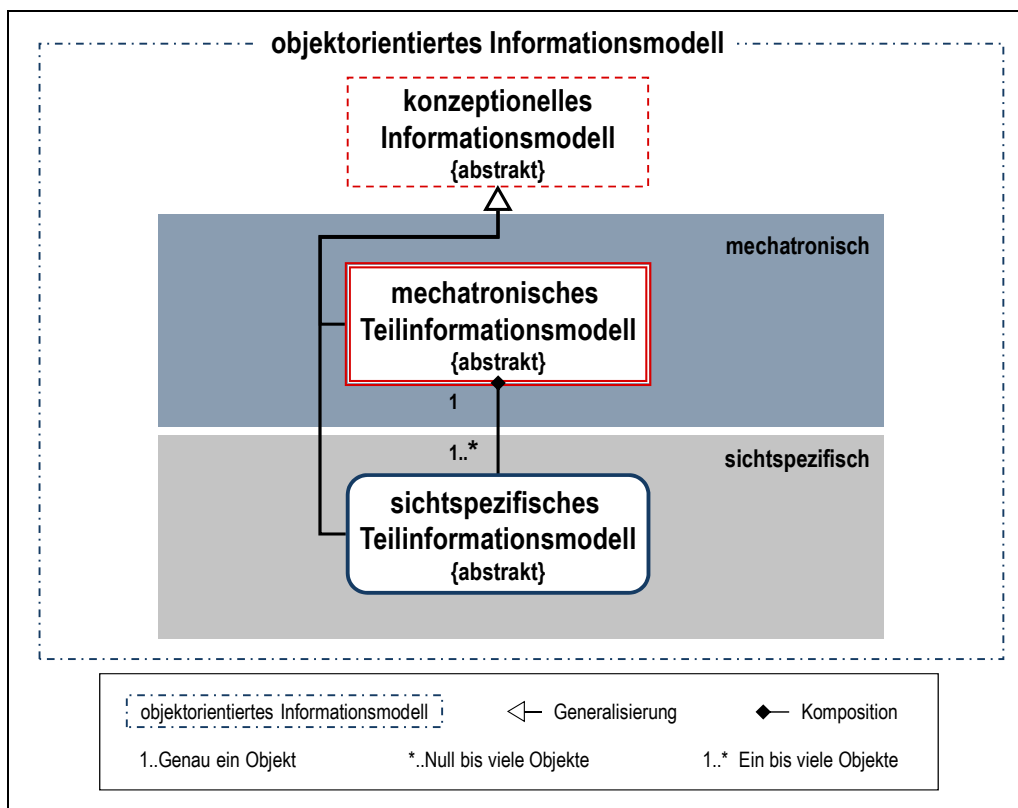


Bild 5.2: Objektorientierte Modellierung des konzeptionellen Informationsmodells in UML-Notation /16, 102/

5.1.3 Erweiterung des objektorientierten Informationsmodells zur Modellierung von Automatisierungssystemen

Automatisierungskomponenten und daraus zusammengesetzte Automatisierungssysteme (Kap. 2.4) bestehen teilweise aus mehreren realen Gegenständen. Ein elektrisches Antriebssystem zum Beispiel besteht aus den Automatisierungskomponenten Servomotor, Wechselrichter und Antriebssteuerung /36/. Jede dieser Teilkomponenten kann dabei wiederum durch mehrere verschiedene sichtspezifische Teilinformationsmodelle beschrieben werden. Auch diese sichtspezifischen Teilinformationsmodelle können wiederum in mehrere Untermodelle einer Sichtweise auf eine Automatisierungskomponente untergliedert sein. Beispielsweise können die sichtspezifischen Teilinformationsmodelle einer Automatisierungskomponente in mehrere Software-Bausteine im Anwendungsprogramm (z. B. mehrere Softwarefunktionen sowie Teile für zentrale Fehlerbehandlung) und in mehrere ECAD-Macros (z. B. jeweils Zeichnungen für die Übersicht sowie verschiedene Einzelheiten) untergliedert sein. Diese verschiedenen Teilinformationsmodelle und Untermodelle einer Sichtweise enthalten zusätzlich Abhängigkeiten untereinander. Somit muss auch die korrespondierende Abbildung im objektorientierten Informationsmodell die Modellierung dieser untergliederten sichtspezifischen Teilinformationsmodelle sowie der aus mehreren Teilkomponenten bestehenden Automatisierungssysteme berücksichtigen. D. h. gemäß den Anforderungen sind Modularität und Flexibilität von Automatisierungskomponenten geeignet abzubilden (Kap. 3.2).

Die Modellierung der untergliederten sichtspezifischen und mechatronischen Teilinformationsmodelle im objektorientierten Informationsmodell lässt sich durch zwei alternative Ansätze (Bild 5.3) realisieren. Der erste Ansatz („einzelne Klassen“) ermöglicht, analog zum erarbeiteten konzeptionellen Informationsmodell (vgl. Bild 5.1), die Modellierung sämtlicher Eigenschaften sowie Zusammenhänge der Teilinformationsmodelle in Form von Attributen und Methoden einer Klasse. Die Modellierung erfolgt dazu in jeweils einer einzelnen Klasse pro Sichtweise bzw. pro Automatisierungskomponente. Der zweite Ansatz („Klassenstruktur“) als Erweiterung des ersten sieht eine zusätzliche Unterteilung der einzelnen Teilinformationsmodelle zur Abbildung der betreffenden Eigenschaften und Zusammenhänge vor. D. h. die einzelnen Teilinformationsmodelle können hierbei jeweils als eigene Klassenstrukturen modelliert werden.

Beim Vergleich beider Ansätze, unter Berücksichtigung von Automatisierungssystemen bestehend aus Teilkomponenten sowie jeweils getrennt für sichtspezifische und mecha-

tronische Teilinformationsmodelle, wird deutlich, dass die Modellierung entsprechend des Ansatzes die gestellten Anforderungen nur bedingt erfüllt. Sowohl die Abbildung bestehender disziplinspezifischer Informationsmodelle (4.2.1) als auch Abstraktion, Modularisierung sowie Hierarchisierung bei der Modellierung der entsprechenden Teilinformationsmodelle sind für Automatisierungssysteme nach dem ersten Ansatz nur eingeschränkt realisierbar. Das objektorientierte Informationsmodell ist daher entsprechend dem zweiten Ansatz um die Möglichkeit zur Abbildung der Teilinformationsmodelle in einzelnen Klassenstrukturen zu erweitern (Bild 5.4).

Ansatz → Abbildung durch		Kriterium				
		Modularisierung	Hierarchisierung	Abstraktion	Berücksichtigung disziplinspezifischer Anforderungen	Verwendung bestehender disziplinspezifischer IM
sichtspezifisches TIM	1. Ansatz: Einzelne Klassen	◐	◐	○	◐	○ - ◐ ^{*1}
	2. Ansatz: Klassenstruktur	●	●	◐	●	●
mechatronisches TIM	1. Ansatz: Einzelne Klassen	○	◐	◐	/	
	2. Ansatz: Klassenstruktur	●	●	●		

IM..Informationsmodell(e) TIM..Teilinformationsmodell ^{*1}..in Abhängigkeit von den bestehenden IM

● erfüllt ◐ bedingt erfüllt ○ nicht erfüllt

Bild 5.3: Vergleich der Modellierungsmöglichkeiten der Klassenstrukturen für Teilinformationsmodelle unter Berücksichtigung von Automatisierungssysteme zusammengesetzt aus mehreren Teilkomponenten

Die Erweiterung des objektorientierten Informationsmodells besteht in der Einführung von zusätzlichen Kompositionsbeziehungen der jeweiligen Klassen für Teilinformationsmodelle mit sich selbst. Damit können Automatisierungssysteme sowie deren untergliederte, disziplinspezifische Informationsmodelle entsprechend den Anforderungen in Bezug auf die Grundprinzipien der Softwaretechnik (Kap. 3.1) abgebildet werden. Ein Teilinformationsmodell stellt dabei jeweils die Oberklasse von einer oder mehrerer Unterklassen von Teilinformationsmodellen dar. Zu beachten ist, dass eine Komposition zwischen den Unterklassen sichtspezifischer Teilinformationsmodelle und übergeordneten mechatronischen Teilinformationsmodellen sowie die Komposition von mechatro-

nischen Teilinformationsmodellen unterhalb von sichtspezifischen Teilinformationsmodellen nicht zulässig ist. Eine solche Komposition würde die definierten Abhängigkeiten zwischen sichtspezifischen und mechatronischen Teilinformationsmodellen, wie sie im konzeptionellen Informationsmodell in Kap. 5.1.1 festgelegt wurden, verletzen.

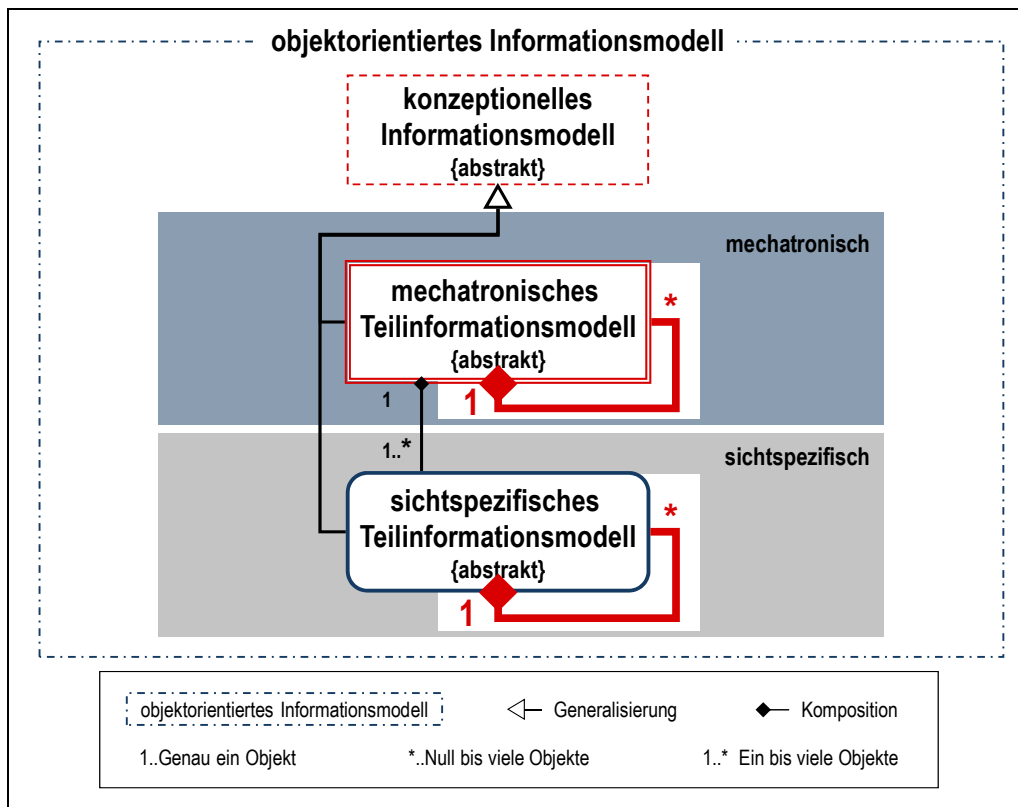


Bild 5.4: Erweiterung des objektorientierten Informationsmodells durch Kompositionen der Teilinformationsmodelle mit sich selbst in UML-Notation /16/, die Erweiterungen zu Bild 5.2 sind mittels dickerer Linien sowie weiß unterlegt dargestellt.

Das objektorientierte Informationsmodell eines Automatisierungssystems setzt sich aus mindestens einem mechatronischen Teilinformationsmodell sowie aus mehreren sichtspezifischen Teilinformationsmodellen zusammen. Die Anzahl der sichtspezifischen Teilinformationsmodelle ist abhängig von der Anzahl der existierenden Sichtweisen auf das Automatisierungssystem. Die beispielhafte Modellierung einer digitalen Eingangsklemme im objektorientierten Informationsmodell ist in Bild 5.5 dargestellt. Die einzelnen Teilinformationsmodelle werden hierbei in die definierte Klassenstruktur des objektorientierten Informationsmodells überführt (Bild 5.4). Jede Sichtweise sowie die Automatisierungskomponente selbst erhalten dadurch ihre Repräsentation als sicht-

spezifische bzw. mechatronische Klasse. Sichtübergreifende Daten (z. B. „Name“) werden in der übergeordneten mechatronischen Klasse „Eingangsklemme“ modelliert, alle sichtspezifischen Daten (z. B. „Einbaubreite“) werden in den jeweiligen sichtspezifischen Klassen (z. B. „Mechanik“) abgebildet.

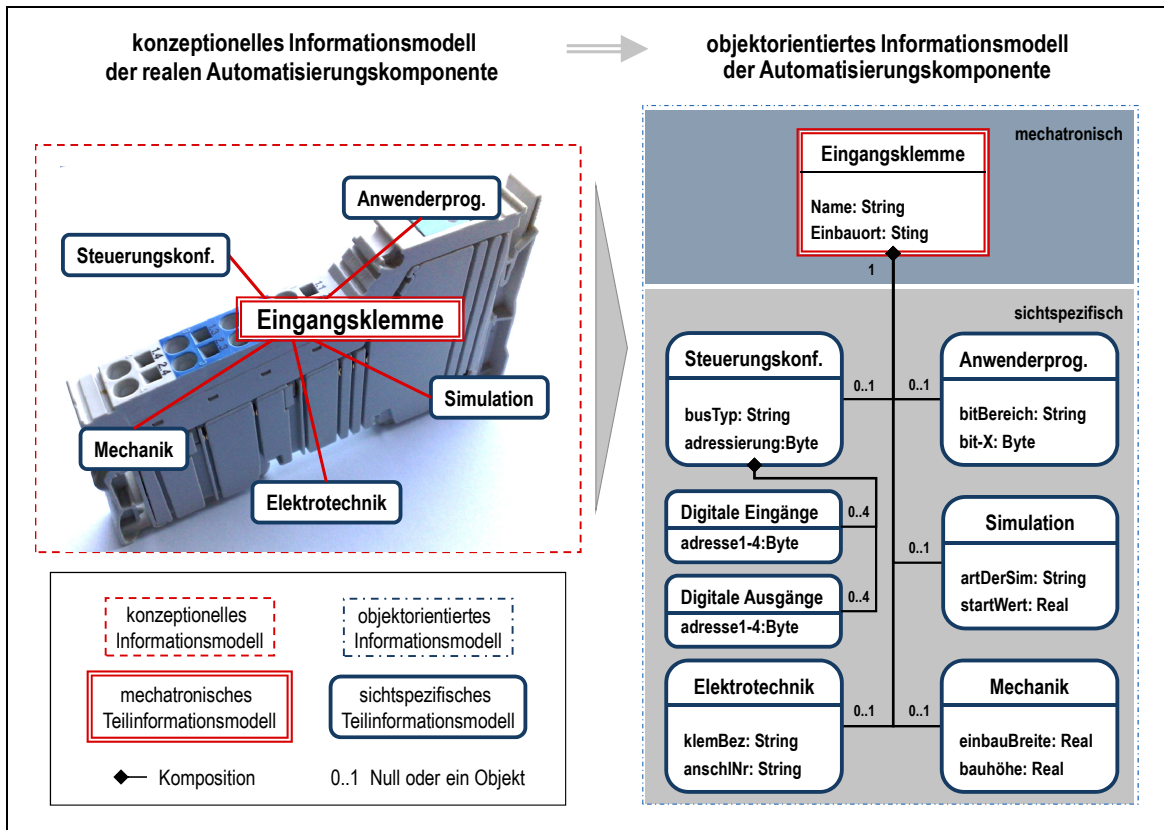


Bild 5.5: Beispielmodellierung einer digitalen Eingangsklemme im objektorientierten Informationsmodell für Automatisierungskomponenten. Aufgrund der Übersichtlichkeit wurden exemplarisch jeweils nur einzelne Attribute dargestellt und auf die Modellierung der Dokumentation verzichtet.

Eine Unterscheidung in verschiedene Arten von Automatisierungskomponenten, die Unterstützung des funktionalen Engineerings sowie die Übernahme von bestehenden disziplinspezifischen Daten- und Informationsmodellen wurde in den bisher erarbeiteten Informationsmodellen nicht beachtet. Dies sowie die Vorgabe mechatronischer Modellierungsstrukturen sind daher Gegenstand der nachfolgenden Kapitel.

5.2 Erarbeitung funktionaler Modellierungsstrukturen zur Abbildung verschiedener Automatisierungskomponenten

Nach der Entwicklung des objektorientierten Informationsmodells in Kap. 5.1.2 und 5.1.3 zur mechatronischen Modellierung folgt nun die Erarbeitung einer funktionalen Modellierungsstruktur zur Unterstützung des funktionalen Engineerings entsprechend der in Kap. 3.1 festgelegten Anforderungen an Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten. Da eine direkte Abbildung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten aufgrund der vielen Eigenschaften und Bestandteile von Automatisierungskomponenten (vgl. Bild 5.1) fehleranfällig ist, wird im Folgenden eine Methode in mehreren einzelnen Schritten hergeleitet. Ziel dieser Methode ist entsprechend der Anforderung aus Kap. 3.1 und 3.2 die Überführung der für Automatisierungskomponenten bestehenden disziplinspezifischen Daten- und Informationsmodelle in eine objektorientierte, funktionale Klassenstruktur.

5.2.1 Herleitung einer Methode zur formalen und funktionalen Unterscheidung von Automatisierungskomponenten

Nachfolgend wird, entsprechend der Anforderung nach Unterstützung des funktionalen Engineerings (Kap. 3.1), eine Methode zur formalen und funktionalen Abbildung von Automatisierungskomponenten hergeleitet.

Die Methode löst sich dabei von den bestehenden topologieorientierten Sichtweisen in Bezug auf Kommunikationsschnittstellen (Kap. 2.4) der Automatisierungskomponenten. Grund hierfür ist, dass trotz Standardisierung nicht jeder Komponentenhersteller für alle denkbaren Kommunikationsschnittstellen Automatisierungskomponenten anbietet. Die Methode leitet herstellerübergreifende Grundfunktionen einzelner Automatisierungskomponenten ab. Dadurch unterstützt die Methode die erforderliche Funktionsstruktur (Kap. 2.3.1) und vermeidet eine direkte individuelle Abbildung von Automatisierungskomponenten (Bild 5.6), die bisher beim Maschinenhersteller in der Anwendung mechatronischer Engineeringwerkzeuge (Kap. 1.2) eingesetzt wird. Ziel der Methode ist es mithilfe festgelegter Grundfunktionen sowie Basisgeräteklassen eine funktionale Klassenstruktur zur Modellierung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten festzulegen. Die zu definierende funktionale Klassenstruktur setzt dabei zur Sicher-

stellung der erforderlichen rechnergestützten Verarbeitung (Kap. 3.1) auf dem zuvor definierten objektorientierten Informationsmodell (Kap. 5.1.3) auf.

Die Methode orientiert sich an einer Bottom-up-Vorgehensweise /20/, um von konkreten Automatisierungskomponenten sowie deren disziplinspezifischen Informationen schrittweise zu abstrahieren und auf eine übergeordnete funktionale Klassenstruktur zu formalisieren. Die umgekehrte, in der Softwaretechnik oft eingesetzte, Top-down-Vorgehensweise /20/ würde aufgrund der vielfältigen Eigenschaften von Automatisierungskomponenten (vgl. Bild 5.1) die Gefahr bergen, dass wesentliche Eigenschaften nicht in der Abbildung enthalten wären. Die Methode unterteilt sich daher nach der Bottom-up-Vorgehensweise in die folgenden drei Schritte (Bild 5.6):

- Analyse und Abstraktion
- Kombination der Grundfunktionen
- Formalisierung und Abbildung

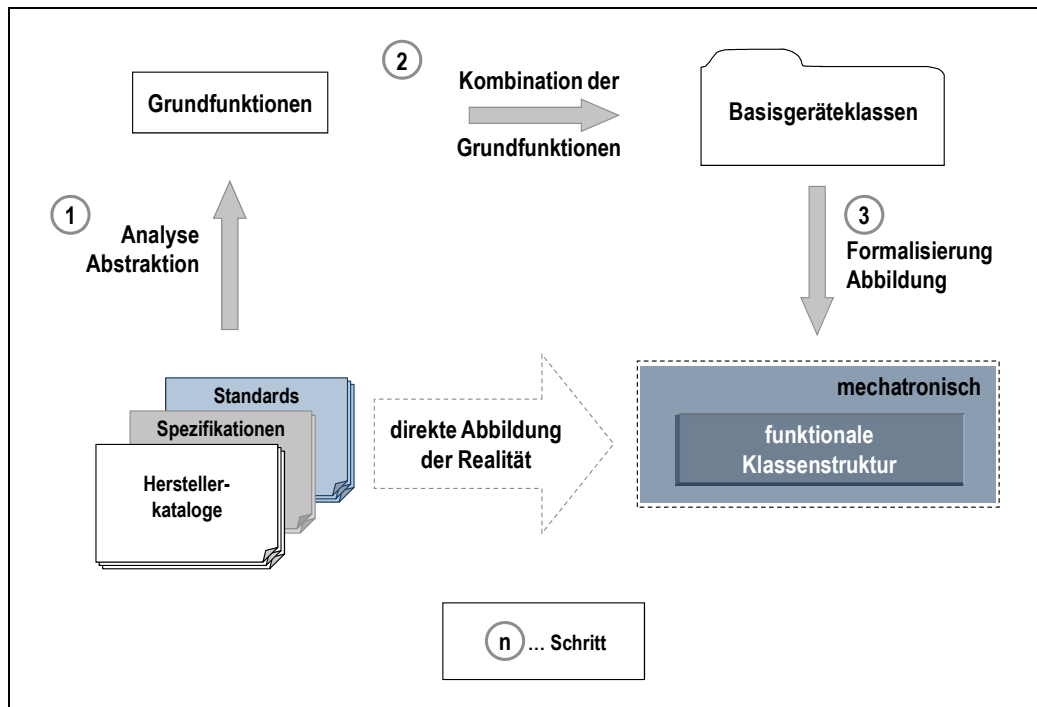


Bild 5.6: Methode zur funktionalen Modellierung von Automatisierungskomponenten

Ziel von Analyse und Abstraktion der disziplinspezifischen Informationen in Bild 5.6 ist die Festlegung der Grundfunktionen von Automatisierungskomponenten. Durch die Kombination der so erarbeiteten Grundfunktionen lassen sich anschließend unabhängige Basisgeräteklassen unter funktionalen Gesichtspunkten ableiten. Abschließend ist die Formalisierung der Grundfunktionen und Basisgeräteklassen, mittels dem zuvor definierten objektorientierten Informationsmodell, in einer funktionalen Klassenstruktur für Automatisierungskomponenten zu erarbeiten. Die einzelnen Schritte der Methode (Bild 5.6) werden in den folgenden Kapiteln hergeleitet und detailliert.

5.2.2 Definition der Grundfunktionen von Automatisierungskomponenten

Entsprechend des ersten Schritts der zuvor eingeführten Methode nach Bild 5.6 werden die Grundfunktionen von Automatisierungskomponenten durch die Analyse und Abstraktion bestehender disziplinspezifischer Informationen erarbeitet. Das Kriterium für das Auffinden einer Grundfunktionen von Automatisierungskomponenten sind wiederkehrende und damit unerlässliche Funktionen (Kap. 2.2.3) bei Automatisierungskomponenten. Aus der Analyse und Abstraktion von Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Hersteller (u.a. /50, 92, 105, 106/) anhand des Kriteriums resultieren die in Bild 5.7 dargestellten Grundfunktionen. Diese treten in Automatisierungskomponenten sowohl einzeln als Hauptfunktion (Kap. 2.2.3) als auch miteinander kombiniert als jeweils eine Hauptfunktion mit zusätzlichen Nebenfunktionen auf (Bild 5.7). Die Grundfunktionen werden daher entsprechend ihrer Funktion wie folgt definiert:

- **Steuerung bzw. Regelung realisieren** durch Verarbeitung bzw. Rückkopplung vorgegebener Soll-Zustände. Soll-Zustandsinformationen folgen dabei entweder aus Vorgaben in einem Anwenderprogramm oder aus ein übergeordnetes Leitsystem (Kap. 2.4). Bei der Rückkopplung mit Hilfe von Messgrößen handelt es sich um einen geschlossenen Regelkreis, andernfalls ohne Rückkopplung um einen geöffneten und damit gesteuerten Regelkreis /45/.
- **Visualisierung bereitstellen** von Messgrößen und Zuständen der Maschine für den Maschinenbediener.
- **Eingabeschnittstelle bereitstellen** ermöglicht dem Maschinenbediener die Beeinflussung aktueller Maschinenabläufe und Prozesszustände. Die Kombina-

tion der Grundfunktionen Visualisierung bereitstellen und Eingabeschnittstelle ermöglicht ein zum Leitsystem parallelen Regelkreis über den Maschinenbediener.

- **Kommunikationsschnittstelle bereitstellen** zur Kommunikation der Automatisierungskomponenten untereinander. Jede Automatisierungskomponente stellt als Nebenfunktion mindestens eine Kommunikationsschnittstelle bereit. Es gibt aber Automatisierungskomponenten, deren Hauptfunktionalität das Bereitstellen von Kommunikationsschnittstellen ist (z. B. Feldbuskoppler vgl. Bild 5.7). Diese Grundfunktion legt dabei nicht die Art der Kommunikation (z. B. Übertragungsmedium, Protokoll, Art der Daten) fest. Die Art der Kommunikation ist jeweils anhängig von herstellerepezifischen Ausprägungen der betrachteten Automatisierungskomponenten.
- **Eingang bereitstellen** dient dem Einlesen und der Übertragung elektrischer Messsignale (Kap. 2.4). Analoge Messsignale werden dabei digitalisiert und zusammen mit den digitalen Messsignalen bereitgestellt.
- **Ausgang bereitstellen** dient zur Ausgabe von Soll-Zustandsinformationen und damit elektrischer Steuersignale in physikalische Stellgrößen der Maschine. Die Soll-Zustandsinformationen werden dazu digital zum Ausgang übertragen und dort analog gewandelt oder direkt in eine Stellgröße für nachfolgende Automatisierungskomponenten umgeformt.
- **Energie wandeln** als Grundfunktion realisiert den notwendigen Eintrag einer Energieform (Kap. 2.4) zur gezielten Beeinflussung einer Maschine sowie deren Zustände. Diese geschieht entsprechend der vorgegebenen Stellgrößen.
- **Messgröße aufnehmen** sorgt für die notwendige Wandlung von veränderlichen, physikalischen Messgrößen der Maschine in analoge bzw. digitale Messsignale.

Aus der durchgeführten Analyse (vgl. Bild 5.7) können im Folgenden funktionale Basisgeräteklassen definiert und zusammen mit den Grundfunktionen eine funktionale Klassenstruktur für das geforderte funktionale Engineering von Automatisierungskomponenten abgeleitet werden.

Automatisierungs- komponenten	Grundfunktionen								
	Steuerung / Regelung realisieren	Visualisierung bereitstellen	Eingabe- schnittstelle bereitstellen	Kommunikations- schnittstellen bereitstellen	Eingang bereitstellen	Ausgang bereitstellen	Energie wandeln	Messgröße aufnehmen	
Industrie PCs	Hf	-	-	Nf	-	-	-	-	-
Embedded Controller	Hf	-	-	Nf	(Nf)	(Nf)	-	-	-
Technologie Module	-	-	-	Hf	-	-	-	-	-
Visualisierungspanels	-	Hf	(Nf)	Nf	-	-	-	-	-
Bedienfelder	-	(Nf)	Hf	Nf	-	-	-	-	-
Feldbusgeräte									
Feldbuskoppler	-	-	-	Hf	(Nf)	(Nf)	-	-	-
Feldbus-E/A's	-	-	-	Nf	Hf	Hf	-	-	-
Antriebssteereinheiten	- / Hf*	-	-	Nf	(Nf)	(Nf)	-	-	-
Aktoren	-	-	-	Nf	-	-	Hf	-	-
Sensoren	-	-	-	Nf	-	-	-	-	Hf

Hf ..bereitgestellte Hauptfunktion
 Nf ..bereitgestellte Nebenfunktion
 * ..bei Interpolation im Antrieb

(Nf) ..optional bereitgestellte Nebenfunktion
 - ..nicht bereitgestellte Funktion
 E/A's ..Eingänge / Ausgänge

Bild 5.7: Analyse und Abstraktion von Automatisierungskomponenten aus Herstellerkatalogen (u.a. /50, 92, 105, 106/) zur Definition von Grundfunktionen

5.2.3 Ableitung der Basisgeräteklassen für Automatisierungskomponenten

Im zweiten Schritt der Methode nach Bild 5.6 werden Basisgeräteklassen aus der vorangegangenen Analyse von Automatisierungskomponenten verschiedener Hersteller (Kap. 5.2.2) abgeleitet. Ziel ist dabei Basisgeräteklassen als Kategorien, zur Unterscheidung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten, zu definieren. Als Grundlage und somit als Oberklasse der abzuleitenden Basisgeräteklassen dient das im objektorientierten Informationsmodell eingeführte mechatronische Teilinformationsmodell (Kap. 5.1.2). Mit dieser Oberklasse kann die Abbildung einheitlicher Eigenschaften bei der mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten sichergestellt werden. D. h. alle von der Klasse mechatronisches Teilinformationsmodell abgeleiteten Unterklassen basieren dadurch auf den zuvor definierten Zusammenhängen des objektorientierten Informationsmodells aus Kap. 5.1.3.

Die in Kap. 5.1 definierte mechatronische Modellierungssystematik unterscheidet bisher nicht in verschiedene Arten von Automatisierungskomponenten. Entsprechend der Definition in Kap. 2.4 gibt es drei verschiedene Kategorien von Automatisierungs-

komponenten. Diese sind Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitungen. Diese Einteilung gespiegelt an der vorangegangenen Analyse von Automatisierungskomponenten verschiedener Hersteller (vgl. linke Spalte in Bild 5.7) zeigt, dass diese Einteilung für alle am Engineeringprozess beteiligte Fachdisziplinen anwendbar ist /29/ und damit die erforderliche Durchgängigkeit für alle Fachdisziplinen (Kap. 3.1) erfüllt. Dementsprechend werden daraus die Basisgeräteklassen **Aktorkomponente**, **Informationsverarbeitungskomponente** und **Sensorkomponente** abgeleitet (Bild 5.8) und zugehörige Eigenschaften werden im Folgenden detailliert hergeleitet. Die Generalisierung aller Basisgeräteklassen wird durch die Klasse Basisgerät abgebildet (Bild 5.8). Über die Klasse Basisgerät wird damit die Modellierung gemeinsamer Eigenschaften aller Basisgeräteklassen zentralisiert sowie eine bessere Kapselung der Eigenschaften der einzelnen Unterklassen realisiert.

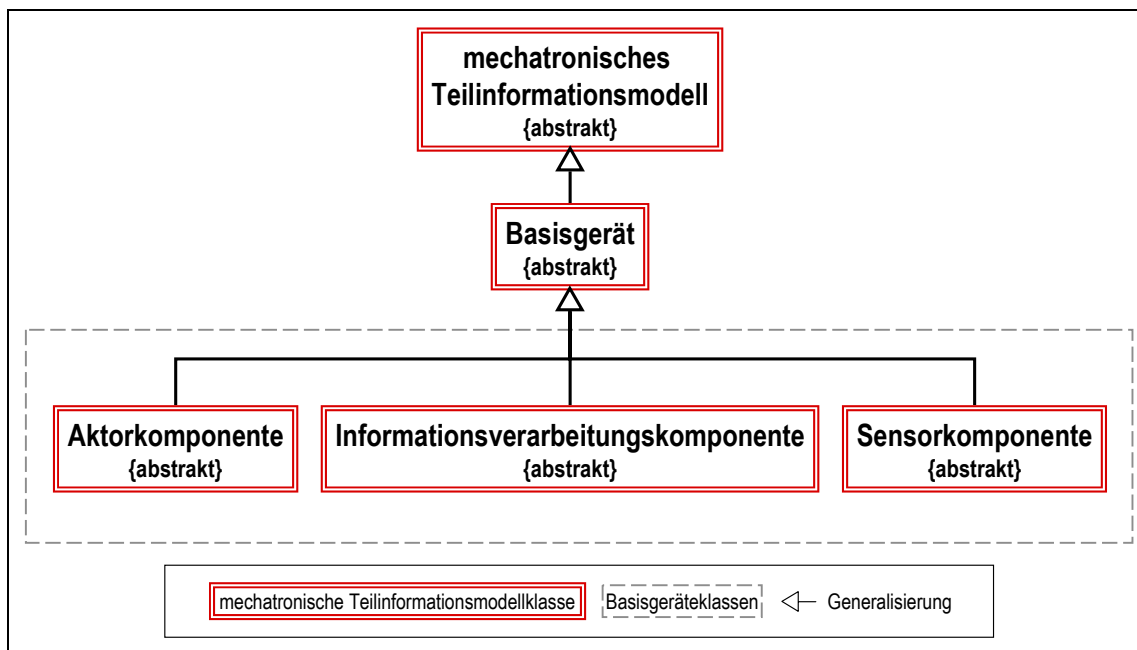


Bild 5.8: Basisgeräteklassen zur Unterscheidung von Automatisierungskomponenten bei der mechatronischen Modellierung nach Kap. 5.1.3

Die Eigenschaften der einzelnen Basisgeräte leiten sich aus der vorangegangenen Analyse (Bild 5.7) wie folgt her:

- **Aktorkomponenten** stellen Kräfte und Momente zur Realisierung von Bewegungen in Maschinen bereit. Sie sorgen somit für die Umsetzung elektrischer Steuersignale in beabsichtigte physikalische Reaktionen.

- Elemente der Basisgeräteklasse **Informationsverarbeitungskomponente** übernehmen die Aufgaben Steuern bzw. Regeln sowie die Interaktion mit dem Maschinenbediener und die Signalübertragung zu den Aktor- und Sensorkomponenten. Sie stellen außerdem Kommunikationsschnittstellen zu übergeordneten oder auf gleicher Ebene befindlichen Informationsverarbeitungskomponenten zur Verfügung (Kap. 2.4).
- Elemente der Basisgeräteklasse **Sensorkomponente** dienen der Aufnahme von physikalischen Messgrößen einer Maschine. Sie führen die Aufbereitung der Messgrößen in elektrische Signale für die folgende Weiterverarbeitung durch.

Die hier abgeleiteten Basisgeräteklassen orientieren sich restriktiv an realen Geräten zur Automatisierung von Maschinen. Daher ist eine feste und eindeutige Zuordnung der zuvor definierten Grundfunktionen aus Kap. 5.2.2 zu den hier eingeführten Basisgeräteklassen durchführbar. Eine solche Art der Zuordnung kann jedoch nicht, wie in Kap. 3.1 gefordert, unabhängig auf Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller angewendet werden. Hintergrund hierfür ist, dass der Analyse nach Bild 5.7 lediglich abstrahierte aber nicht konkrete Automatisierungskomponenten sämtlicher Komponentenhersteller zugrunde liegen. Deswegen ist im Folgenden eine flexiblere Verknüpfung, d.h. die notwendige Abstraktion zwischen hardwaretechnischer Realisierung in einem Basisgerät und zugeordneter Grundfunktionen, zu entwickeln.

5.2.4 Definition logischer Automatisierungskomponenten

Um die geforderte Unabhängigkeit bei der Modellierung von Automatisierungskomponenten unterschiedlicher Komponentenhersteller (Kap. 3.1) sicherzustellen, folgt im Modellierungsschritt Formalisierung (Bild 5.6) die Definition der Klasse **logische Automatisierungskomponente**. Diese zusätzliche Klasse zielt auf die Abstraktion vorhandener hardwaretechnischer Realisierungen und zugeordneter Grundfunktionen. D. h. durch die Klasse logische Automatisierungskomponente muss eine variable Zuordnung zwischen den zuvor definierten Grundfunktionen und Basisgeräten (Kap. 5.2.2 und 5.2.3) definiert werden. Die Klassen **Basisgerät** und **Grundfunktion** werden dazu per Komposition mit der zusätzlich definierten Klasse logische Automatisierungskomponente assoziiert (Bild 5.9). In der Klasse logische Automatisierungskomponente

werden weiterhin Konfigurationsregeln sowie Zuordnungen der Klassen Basisgerät und Grundfunktion zueinander festgelegt.

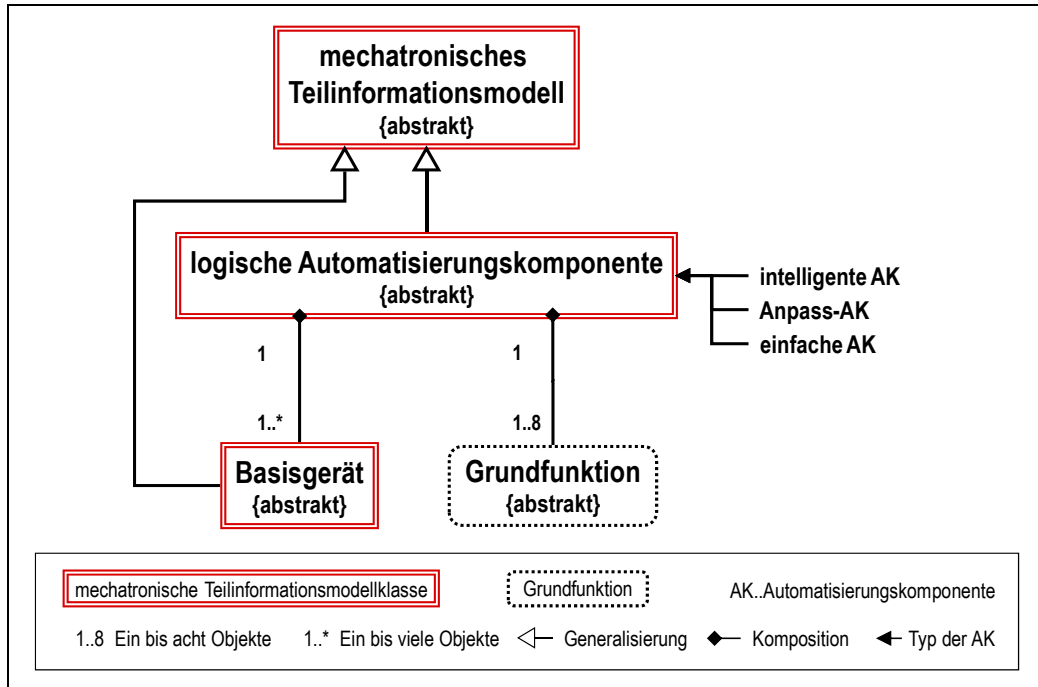


Bild 5.9: Verknüpfung von Basisgeräten und Grundfunktionen in der Klasse logische Automatisierungskomponente

Instanzen der Klasse logische Automatisierungskomponente bilden durch die Komposition von Basisgeräteklassen und verschiedenen Grundfunktionen unterschiedliche Funktionsumfänge von Automatisierungskomponenten (Bild 5.7) ab. Um diese Funktionsumfänge anhand der zu verarbeitenden Informationsdichten (Kap. 2.4) zu unterscheiden werden folgende Kategorien und damit Typen für logische Automatisierungskomponenten (Bild 5.9) hergeleitet:

- **Einfache Automatisierungskomponenten** weisen analoge oder digitale Ein- bzw. Ausgangssignale mit, im Vergleich zu standardisierten Kommunikationsschnittstellen (Kap. 2.4), geringer Informationsdichte auf. Signale einfacher Automatisierungskomponenten müssen daher mit entsprechendem Aufwand aufbereitet und ausgewertet werden. Einfache Automatisierungskomponenten vereinen dazu bis zu drei Grundfunktionen. Ein Beispiel für eine einfache Automatisierungskomponente ist ein analoger Temperatursensor (z. B. PT 100), der ein analoges Ausgangssignal liefert.

- Zur Anpassung von Signalen und damit der Informationsdichte einfacher Automatisierungskomponenten an standardisierte Kommunikationsschnittstellen (Kap. 2.4) werden **Anpassautomatisierungskomponenten** eingeführt. Anpassautomatisierungskomponenten integrieren dazu zwei bis vier Grundfunktionen in einer logischen Automatisierungskomponente und dienen damit der Adaption der Kommunikation zwischen einfachen und intelligenten Automatisierungskomponenten. Ein Feldbuskoppler mit integrierten Ein- und Ausgängen sowie standardisiertem Feldbusanschluss (z. B. Profibus /107/) ist ein Beispiel für eine Anpassautomatisierungskomponente.
- Aufgrund ihrer eigenen Signalinterpretation weisen **intelligente Automatisierungskomponenten** eine hohe Informationsdichte auf. Intelligente Automatisierungskomponenten integrieren dazu ebenfalls drei bis sechs Grundfunktionen in einer logischen Automatisierungskomponente und stellen standardisierte Kommunikationsschnittstellen zur Verfügung. Über diese standardisierten Kommunikationsschnittstellen übertragen sie vorverarbeitete Zustandsinformationen zu nachfolgenden intelligenten Automatisierungskomponenten oder Anpassautomatisierungskomponenten. Beispiel für eine intelligente Automatisierungskomponente ist ein elektrischer Servoantrieb /108/ mit integrierter Regelung und standardisiertem Feldbusanschluss (z. B. SERCOS III /109/).

Die vorangegangene Herleitung legt implizit Eigenschaften zur Kombination der Typen logischer Automatisierungskomponenten fest. D. h. während sich intelligente Automatisierungskomponenten direkt kombinieren lassen bedarf es Anpassautomatisierungskomponenten zur Adaption einfacher Automatisierungskomponenten an intelligente Automatisierungskomponenten. Die eingeführte flexible Verknüpfung von Basisgeräten und Grundfunktionen, über die Klasse logische Automatisierungskomponente, ermöglicht die variable Modellierung der Funktionsumfänge von Automatisierungskomponenten verschiedenen Komponentenhersteller. Dadurch ist die Grundlage zur herstellerunabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten geschaffen.

5.2.5 Funktionale Klassenstruktur zur Abbildung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten

Die vorangegangenen Definitionen funktionaler Modellierungsstrukturen dienen der funktionalen Modellierung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten. Die dazu entwickelte Methode (Kap. 5.2.1 bis 5.2.3) überführt bestehende Daten von Automatisierungskomponenten systematisch in eine funktionale Klassenstruktur (Bild 5.10). Diese funktionale Klassenstruktur baut, um die erforderliche rechnergestützte Verarbeitung (Kap. 3.1) sicherzustellen, auf dem zuvor definierten objektorientierten Informationsmodell (Kap. 5.1.3) auf. Diese Formalisierung bildet somit die Grundlage zur erforderlichen Unterstützung des funktionalen Engineerings sowie zur unabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller in einem Informationsmodell.

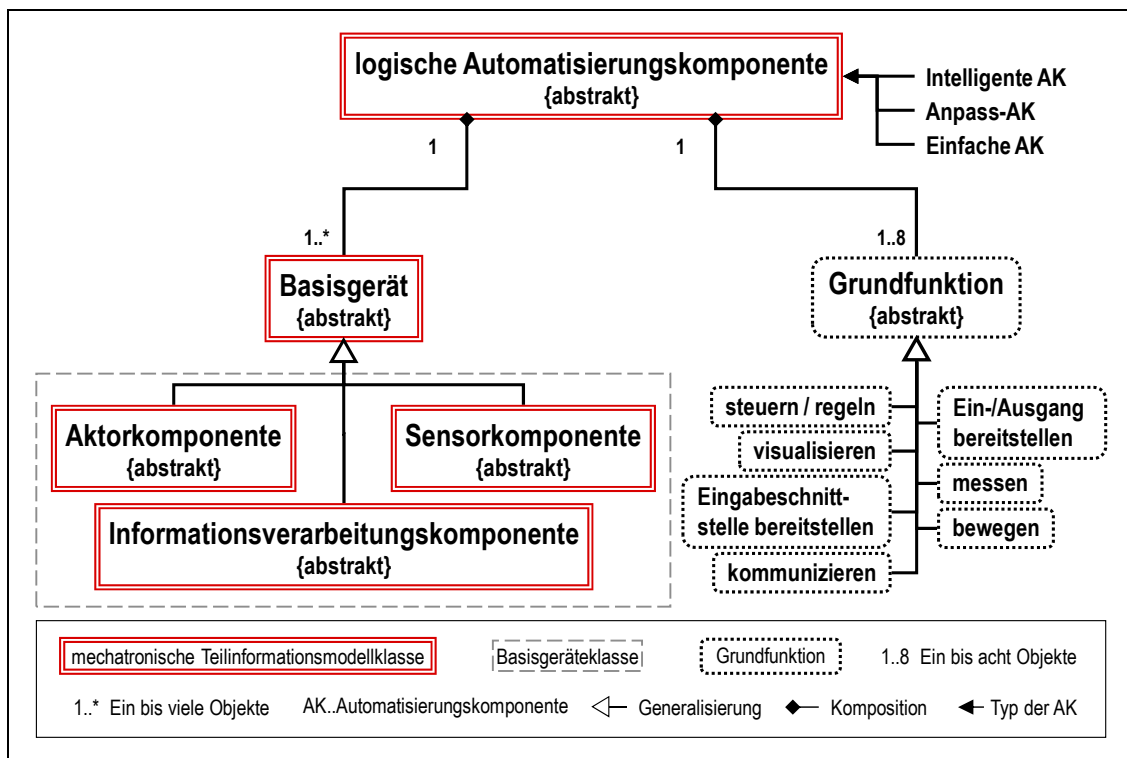


Bild 5.10: Funktionale Klassenstruktur zur funktionalen Modellierung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten

Die hier definierte funktionale Klassenstruktur unterscheidet zwar in verschiedene Basisgeräteklassen, gibt aber keine Struktur für die mechatronische Modellierung mit diesen Klassen vor. D. h. die Abbildung der Zusammenhänge zwischen den verschie-

denen Automatisierungskomponenten sowie die Abhängigkeiten zwischen Automatisierungskomponenten und Maschine sind im Folgenden zu erarbeiten.

5.3 Mechatronisches Strukturmodell für Automatisierungskomponenten und Maschinen

Um die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Automatisierungskomponenten sowie die Abhängigkeiten zwischen Automatisierungskomponenten und Maschine abzubilden, sind nachfolgend eine mechatronische Grundstruktur für Automatisierungskomponenten und Maschinen sowie zugehörige Modellierungsgrenzen dieser Grundstruktur herzuleiten. Ziel ist dabei entsprechend den Anforderungen aus Kap. 3.1 und 3.2 durchgängige Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen zu definieren sowie die mechatronische Modellierung von Automatisierungskomponenten zur Verfügung zu stellen.

5.3.1 Erarbeitung einer mechatronischen Grundstruktur

Ziel der zu erarbeitenden mechatronischen Grundstruktur ist die disziplinübergreifende Abbildung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Automatisierungskomponenten sowie zwischen Automatisierungskomponenten und Maschinen. Als Anforderungen sind dafür die Durchgängigkeit der Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen sowie die Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben von Branchen und Komponentenherstellern (Kap. 3.1) zu erfüllen. Die zuvor definierte funktionale Modellierungsstruktur aus Kap. 5.2 dient dabei als Grundlage für die Unterscheidung verschiedener Automatisierungskomponenten.

Als Grundlage für eine mechatronische Grundstruktur werden aus dem Bereich Automatisierungstechnik die topologische Struktur von Kommunikationsschnittstellen (z. B. Feldbusse wie Profibus /107/ oder Sercos /109/) und die in /29/ (vgl. Kap. 4.2.2) definierte Struktur eines mechatronischen Systems verglichen. Bei der Gegenüberstellung beider Strukturen anhand der Querschnittsanforderungen (Kap. 3.1) wird deutlich, dass die topologische Struktur die gestellten Anforderungen nur eingeschränkt erfüllt (Bild 5.11).

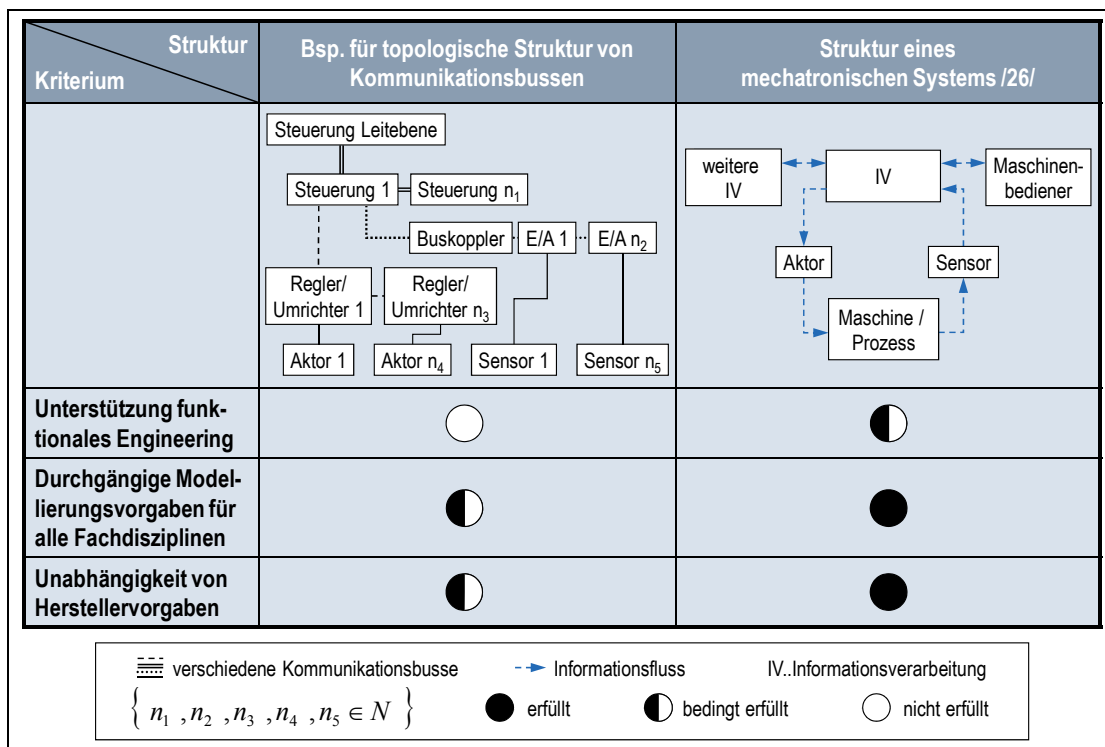


Bild 5.11: Gegenüberstellung von Strukturen für Automatisierungskomponenten

Die Grundanforderungen, in Bezug auf die Unterstützung des funktionalen Engineerings und die Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben von Herstellern und Branchen werden nicht erfüllt, da die topologischen Strukturen von Kommunikationsschnittstellen auf die Abbildung des spezifisch durch Komponentenhersteller definierten Zusammenspiels (/50, 92, 105, 106/) von Automatisierungskomponenten abzielt. Die gegenübergestellte Struktur mechatronischer Systeme dagegen erfüllt die Grundanforderungen durch Beschreibung der disziplinübergreifenden Zusammenhänge zwischen Automatisierungskomponenten und Maschinen.

Aufgrund dessen wird im Folgenden die Struktur mechatronischer Systeme (Bild 5.11 rechts) als Grundstruktur zur Modellierung von Automatisierungskomponenten herangezogen. Neu ist hierbei die Modellierung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Automatisierungskomponenten und der Maschine durch Informations-, Energie- und Stoffflüsse (Kap. 2.2.3). D. h. genauer die Anwendung der in /29/ definierten Struktur im Zusammenspiel mit dem zuvor für Automatisierungskomponenten definierten objektorientierten Informationsmodell (Kap. 5.1.3). Dazu sind weiterführend die Modellierungsgrenzen der mechatronischen Modellierung sowie die damit festgelegte Umgebung näher zu spezifizieren.

5.3.2 Modellierungsgrenzen der mechatronischen Grundstruktur

Das in Kap. 5.3.1 ausgewählte mechatronische Grundmodell enthält neben den Automatisierungskomponenten auch die Maschine. Entsprechend der Anforderung nach Beachtung der Modellierungsprinzipien (vgl. Kap. 3.1) sind daher Modellierungsgrenzen für Automatisierungskomponenten und Maschinen zu definieren sowie die daraus resultierende Umgebung festzulegen. Die mechatronische Grundstruktur wird in das **Automatisierungskomponentenmodell**, das **Maschinenmodell** sowie in die **Umgebung** der beiden Modelle aufgeteilt (Bild 5.12). Diese Aufteilung sowie die definierten Modellierungsgrenzen der mechatronischen Grundstruktur leiten sich aus den unterschiedlichen Betrachtungsweisen der Nutzer (Kap. 2.4) ab.

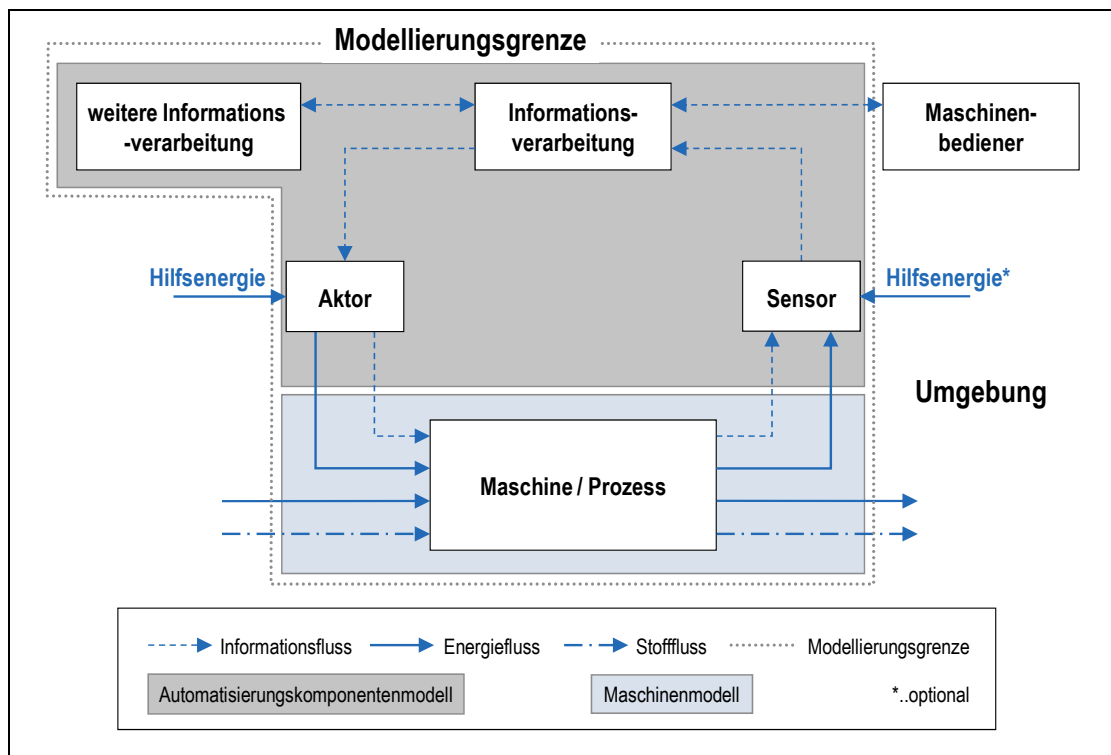


Bild 5.12: Zusammensetzung der mechatronischen Grundstruktur (Kap. 5.3.1)

Automatisierungskomponenten sind für Maschinenhersteller Zukaufteile (Bild 1.1). Komponentenhersteller hingegen richten das Hauptaugenmerk auf Eigenschaften einzelner Automatisierungskomponenten und weniger auf die gesamte Maschine. Automatisierungskomponenten müssen somit getrennt von der Maschine, aber abhängig von Einsatzzweck sowie Anwendung in der Maschine, betrachtet und damit modelliert werden können.

Automatisierungskomponenten werden daher im Weiteren im Automatisierungskomponentenmodell abgebildet. Diese erfolgt unter Anwendung des definierten objektorientierten Informationsmodells sowie der zugehörigen funktionalen Klassenstruktur aus den Kap. 5.1 und 5.2 und den hier eingeführten strukturellen Zusammenhängen.

Die sich außerhalb der definierten Modellierungsgrenze (Bild 5.12) befindende Umgebung ist über die unterschiedlichen Arten von Flüssen (Kap. 2.2.3) mit den definierten Modellen verbunden. Diese Flüsse sowie deren Eigenschaften werden nachfolgend im Detail erarbeitet.

5.3.3 Schnittstellen der mechatronischen Grundstruktur

Die Umgebung außerhalb sowie die beiden Modelle innerhalb der zuvor definierten Modellierungsgrenzen (Bild 5.12) sind über die in Kap. 2.2.3 eingeführten drei Arten von Flüssen miteinander verbunden. Bei der Modellierung wird deswegen in **innere Flüsse** zwischen dem Automatisierungskomponenten- und dem Maschinenmodell sowie in **äußere Flüsse** zwischen den beiden Modellen und der Umgebung unterschieden.

Bei den Energie- und Stoffflüssen werden in der weiteren Modellierung nur die **logischen Zusammenhänge** betrachtet. Das bedeutet logische Zusammenhänge, wie das Vorhandensein der Flüsse, die Art des fließenden Mediums oder der fließenden Energie, die Flussrichtung und die Unterscheidung in die Flussarten (Kap. 2.2.3), sind hierbei Gegenstand der Modellierung. Eine Betrachtung von Störeinflüssen sowie physikalischer Zusammenhänge und Eigenschaften der Flüsse, wie z. B. die fließenden Mengen, erfolgt dabei nicht.

Die äußeren Flüsse sind:

- Der Informationsfluss zwischen dem Maschinenbediener und der Informationsverarbeitung, über den der Maschinenbediener Einfluss auf das Verhalten der Maschine und damit der mechatronischen Grundstruktur nimmt.
- Die Hilfsenergieflüsse in das Automatisierungskomponentenmodell, die zur Versorgung der Automatisierungskomponenten mit der für den Betrieb notwendigen Energie sowie der Maschinen oder des Prozesses mit der notwendigen

Prozessenergie dienen. Die Prozessenergie ist die Energie, die zur Produktion oder zur Aufrechterhaltung des Prozesses in der Maschine notwendig ist.

- Die zwischen Maschine und Umgebung wirkenden Energie- und Stoffflüsse (Bild 5.12). Die in der Maschine oder dem Prozess entstehende sowie die nicht verbrauchte Energie fließt zurück in die Umgebung.

Diese Flüsse über die Modellierungsgrenzen (Bild 5.12) bilden damit jeweils die Schnittstellen zur Umgebung. Von außen in das Maschinenmodell fließende Stoffe werden von der Maschine verarbeitet bzw. vom Prozess gewandelt und in resultierender Form in die Umgebung zurückgeführt.

Am Beispiel der Schlauchbeutelmaschine in Bild 2.5 ergeben sich folgende äußeren Flüsse zwischen Umgebung und zugehörigen Modellen:

- Flüsse aus der Umgebung in das Automatisierungskomponenten- oder Maschinenmodell:
 - Informationsfluss vom Maschinenbediener zum Automatisierungskomponentenmodell zur Anpassung des Maschinenverhaltens, z. B. der Verarbeitungsgeschwindigkeit der Schlauchbeutelmaschine
 - Energieflüsse zum Automatisierungskomponentenmodell zur Versorgung der Automatisierungskomponenten
 - Stofffluss von zu verpackenden Produkten in das Maschinenmodell der Schlauchbeutelmaschine
 - Stofffluss aus Folienmaterial in das Maschinenmodell als Verpackungsmaterial für die zu verpackenden Produkte
- Flüsse aus dem Automatisierungskomponenten- oder Maschinenmodell in die Umgebung:
 - Informationsfluss vom Automatisierungskomponentenmodell zum

Maschinenbediener in Form von Maschinenzustandsdaten z. B. Anzahl bereits verpackter Produkte

- Energiefluss der nicht zum Verpacken verbrauchten Energie aus dem Maschinenmodell in die Umgebung
- Vom Maschinenmodell abfließender Stofffluss aus verpackten Produkten

Innere Flüsse sind die Informations- und Energieflüsse zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell. Vom und zum Maschinenmodell gibt es jeweils sowohl Informationsflüsse als auch Energieflüsse zu und aus dem Automatisierungskomponentenmodell (vgl. Bild 5.12). Das Maschinenmodell wird als Regelstrecke /45/ über die Informationsflüsse durch das Automatisierungskomponentenmodell rückgekoppelt. Dadurch ist über diese Informationsflüsse ein geschlossener Regelkreis zwischen beiden Modellen (Kap. 5.2.2) definiert.

Die hier beschriebenen inneren Flüsse legen die entsprechenden Schnittstellen zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell fest. Eine durchgängige und detaillierte Modellierung dieser Schnittstellen erfolgt im Weiteren jeweils getrennt im Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell.

5.4 Zusammenfassung der Modellierungssystematik und -strukturen zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten

Um Automatisierungskomponenten sowie deren zugehörige Strukturen und Informationsmodelle formal abbilden zu können, wurde ein konzeptionelles Informationsmodell (Kap. 5.1.1) entwickelt. Dieses Informationsmodell bildet die Grundlage zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten. Die sich daran anschließende Definition funktionaler Modellierungsstrukturen dient der funktionalen Modellierung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten. Die dazu entwickelte Methode (Kap. 5.2.1-5.2.3) überführt bestehende Daten von Automatisierungskomponenten systematisch in eine funktionale Klassenstruktur (Bild 5.10). Ziel der anschließend festgelegten mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12) ist die disziplinübergreifende Abbildung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten. Die eingeführte mechatronische Grundstruktur bildet

weiterhin die Zusammenhänge zwischen Automatisierungskomponenten, Maschine und Maschinenbedienern ab. Betrachtet werden dafür Informations-, Energie- und Stoffflüsse als Schnittstellen der mechatronischen Grundstruktur. Damit ist die Basis für Modellierungsvorgaben zur mechatronischen Modellierung verschiedener Arten von Automatisierungskomponenten festgelegt. Im Weiteren folgt entsprechend der erarbeiteten Aufteilung der Modelle (Bild 5.12) die differenzierte Modellierung des Automatisierungskomponenten- und des Maschinenmodells.

6 Herstellerunabhängiges, mechatronisches Informationsmodell für Automatisierungskomponenten und -systeme

Ziel dieses Kapitels ist es aufbauend auf der zuvor entwickelten Modellierungssystematik hersteller- und branchenunabhängige Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten entsprechend den in Kap. 3.2 genannten Anforderungen zu erarbeiten. Dazu sind die in Kap. 5.2.4 hergeleiteten Arten von Automatisierungskomponenten jeweils in einzelnen Informationsmodellen für Aktor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten abzubilden. Die jeweiligen Spezifika der einzelnen Automatisierungskomponenten sowie bestehende Abhängigkeiten zwischen diesen Informationsmodellen (Bild 5.12) sind dafür ebenfalls herzuleiten und zu modellieren. Als Grundlage dient das zuvor definierte objektorientierte Informationsmodell (Bild 5.4) zusammen mit der funktionalen Klassenstruktur (Bild 5.10) sowie den Zusammenhängen in der mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12).

6.1 Aktorkomponentenmodell

Die zu entwickelnde detaillierte Abbildung von Aktoren geht nach der Basisdefinition zur mechatronischen Modellierung auf die verschiedenen Arten zu modellierender Aktoren ein. Abschließend folgen die Herleitung der Abhängigkeiten im Aktorkomponentenmodell sowie die sich daraus ableitende objektorientierte Modellierung der Zusammenhänge in einer nach Kap. 3.1 erforderlichen, im Rechner verarbeitbaren Klassenstruktur.

6.1.1 Ableitung eines Informationsmodells für Aktoren

Als Voraussetzung zur Ableitung einer mechatronischen Modellierung von Aktoren dient die Grunddefinition (Kap. 2.4). Wird diese Grunddefinition gezielt um die im Automatisierungskomponentenmodell (Bild 5.12) eingeführten Modellierungsstrukturen, d. h. durch Schnittstellen in Form von Informations- und Energieflüssen, erweitert, wird daraus die Basisdefinition zur mechatronischen Modellierung von Aktoren (Bild 6.1) hergeleitet.

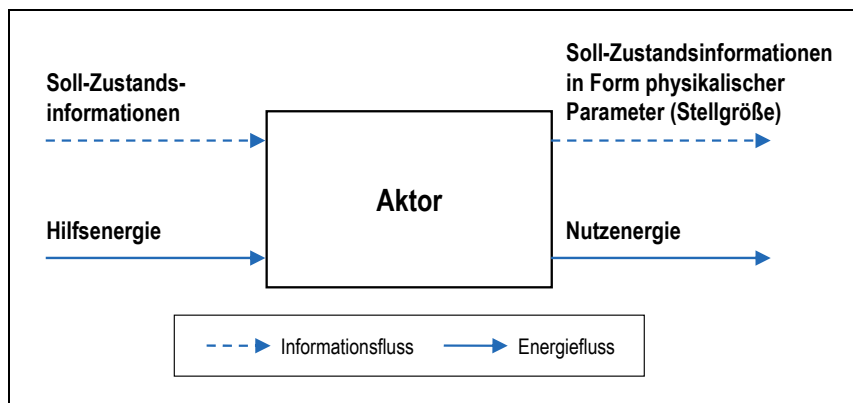


Bild 6.1: Informationsmodell für Aktoren in Anlehnung an /29/

Festzuhalten ist dementsprechend, dass zugeführte Hilfsenergien von Aktoren in andere Energieformen (d.h. nach Kap. 2.4 in die erforderlichen Nutzenergien für die Maschine) unter Beachtung vorgegebener Soll-Zustandsinformationen gewandelt werden. Beispielsweise wird die dem Servomotor der Folienzuführung in der Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5) zugeführte elektrische Hilfsenergie in eine mechanische Nutzenergie (Drehmoment) zur Abwicklung der Verpackungsfolie gewandelt. Die Wandlung der Hilfsenergie wird durch die Vorgabe entsprechender Soll-Zustandsinformation gesteuert bzw. geregelt. Weiterhin stellt der Aktor die gewandelte Hilfsenergie als Nutzenergie zur Realisierung beabsichtigter Bewegungen oder Energieeinträge in der Maschine bereit. Nach der entwickelten Basisdefinition geben Aktoren die zugeführten Soll-Zustandsinformationen in Form physikalischer Parameter und vorwiegend mit der Nutzenergie verknüpft weiter (Bild 6.1).

Aktoren sind Maschinenbestandteile, welche in Maschinen jeweils nur in spezialisierten Ausprägungen (z. B. als Servomotor) eingesetzt werden. Aktoren werden für die Modellierungsvorgaben deshalb als logische Grundelemente von Maschinen nach Bild 6.1 definiert, die einzeln oder kombiniert in spezifischen Ausprägungen vorkommen. Die für den Bau von Maschinen verwendeten Aktoren weisen, jeweils abhängig vom Komponentenhersteller, verschiedene Ausprägungen zur Realisierung bestimmter Anwendungszwecke auf. Diese Unterschiede werden deswegen im Weiteren für die Entwicklung eines herstellerunabhängigen Aktorkomponentenmodells abstrahiert und in Modellierungsvorgaben abgebildet.

6.1.2 Kategorisierung verschiedener Arten von Aktoren

Zur Unterscheidung verschiedener Arten von Aktoren kategorisieren KomponentenhHersteller diese anhand realisierter Wirkprinzipien, beabsichtigter Anwendungszwecke oder zuzuführender Hilfsenergien (Bild 6.2).

Kriterium	Kategorisierung von Aktoren anhand:		
	Wirkprinzipien	Anwendungszweck	Hilfsenergie
Unabhängigkeit vom Komponentenhersteller	◐	◐	●
Durchgängigkeit für alle Fachdisziplinen	○	●	●
Abbildung der Modularität von AK	○	○	◐
Abbildung der Flexibilität von AK	○	○	◐
Erweiterbarkeit der Kategorien für das AKM	◐	◐	●

AK..Automatisierungskomponente AKM..Automatisierungskomponentenmodell

● erfüllt ◐ bedingt erfüllt ○ nicht erfüllt

Bild 6.2: Kategorisierungen zur Unterscheidung verschiedener Arten von Aktoren

Die Bewertung dieser Kategorien bezüglich der Anforderungen aus Kap. 3.1 und Kap. 3.2 zeigt die Unterscheidung von Aktoren anhand der zuzuführenden Hilfsenergien den größten Erfüllungsgrad (Bild 6.2). Durch die Kategorisierung anhand von Hilfsenergien können im Vergleich größere Unabhängigkeiten vom Komponentenhersteller und den Fachdisziplinen sowie bessere Modularität und Erweiterbarkeit bei der Modellierung erzielt werden. Für die nachfolgende Entwicklung der Modellierungsvorgaben für Aktoren erfolgt daher die Unterscheidung anhand der jeweils zuzuführenden Hilfsenergien.

Beispiele für Aktoren zur Wandlung von Hilfsenergie in Nutzenergie zeigt Bild 6.3, u.a. wandelt ein Elektromotor elektrische Energie in mechanische Energie. Die Diagonale in Bild 6.3 repräsentiert eine spezielle Form von Aktoren. Diese führen keine Wandlung, sondern eine Anpassung durch, d.h. zugeführte Hilfsenergie sowie resultierende Nutzenergie sind dabei jeweils von identischer Energieform. Die detaillierte Herleitung dieser Aktoradapter folgt im nächsten Abschnitt.

		→ Nutzenergie				
nach		mechanische Energie	elektrische Energie	fluidische Energie	chemische Energie	thermische Energie
von						
Hilfsenergie	mechanische Energie	Mechanische Übersetzung (z.B. Getriebe)	Generator	Pumpe, Kompressor		Bremse
	elektrische Energie	Elektromotor	Leistungselektronik (z.B. Wechselrichter)	Membranpumpe	Chemischer Energiespeicher	elektrische Heizung
	fluidische Energie	Fluidmotor, linear Zylinder		Fluidischer Energiespeicher, Ventile		
	chemische Energie	Verbrennungsmotor	Chemischer Energiespeicher			Heizung (mit fossilem Brennstoff)
	thermische Energie	Turbine	Thermovoltaik		Thermischer Prozess	Heathpipe

Aktorkomponente
 Aktoradapter
 ⊗ ..keine relevanten Aktoren im Maschinenbau

Bild 6.3: Beispiele für im Maschinenbau relevante Arten von Aktoren und Erweiterungsbauteile für Aktoren in Anlehnung an /110/

6.1.3 Definition eines Informationsmodells für Aktoradapter

Aktoradapter (vgl. Diagonale in Bild 6.3) werden nachfolgend als Bauteile zur Anpassung von Informationsflüssen für Aktoren definiert. D.h. sie dienen der Adaptierung der Informationsflüsse vorangestellter oder nachfolgender Aktoren (Bild 6.4 sowie Bild 6.6) und passen damit die Grundfunktionen von Aktoren an anwendungsabhängige Randbedingungen an. Ziele der Verwendung von Aktoradaptern in Maschinen sind flexiblere Möglichkeiten zur Steuer- oder Regelung von Aktoren sowie Adaption der Parameter zwischen verschiedenen Aktoren (Bild 6.5).

Beispielsweise wird durch den Einsatz mehrerer Aktoradapter (Ventile) die individuelle Steuer- oder Regelung mehrerer Aktoren (Linearzylinder) bei der Versorgung durch einen gemeinsamen Aktor, d. h. eine Pumpe, realisiert. Die jeweiligen Energieformen und Richtungen der Energieflüsse werden dabei nicht durch die Aktoradapter beeinflusst (Bild 6.5).

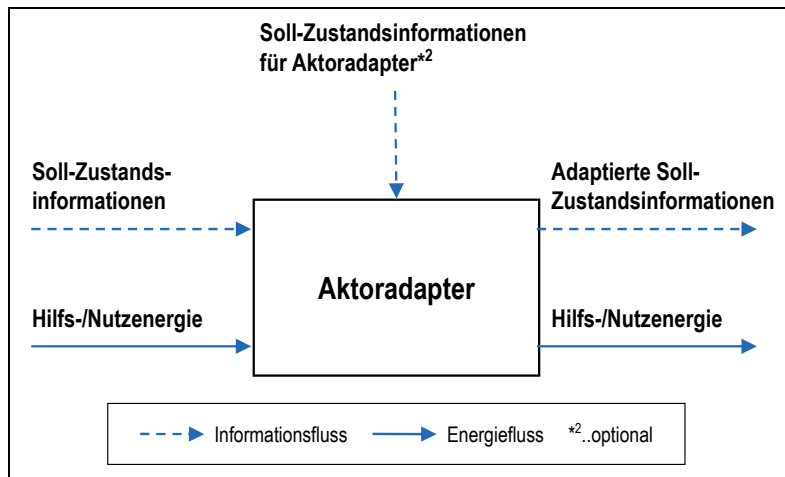


Bild 6.4: Informationsmodell der Informations- und Energieflüsse des Aktoradapters

Daraus wird abgeleitet, dass Aktoradapter keine Adaption der zugeführten Hilfs- oder Nutzenergie durchführen. Die zur Energie gehörigen Parameter werden jedoch entsprechend der entwickelten Definition durch die Adaption des Informationsflusses vom Aktoradapter angepasst. Ein mechanischer Aktoradapter z. B. ein Getriebe (Bild 6.3) passt das Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsdrehzahl dem Verhältnis zwischen Eingangs- und Ausgangsdrehmoment an und verändert gegebenenfalls die Drehrichtung (Bild 6.5 und /111/). Adaptiert werden von Aktoradapters dabei jeweils nur die Informationsflüsse, welche zu bzw. von den Aktoren fließen. D. h. die Höhe und Form der Eingangsenergie ist gleich der Ausgangsenergie. Dies gilt unter der zur Erarbeitung logischer Zusammenhänge hinreichenden Annahme (vgl. Kap. 5.3.3), dass idealisierte Aktoren und Adapter keine Verluste aufweisen.

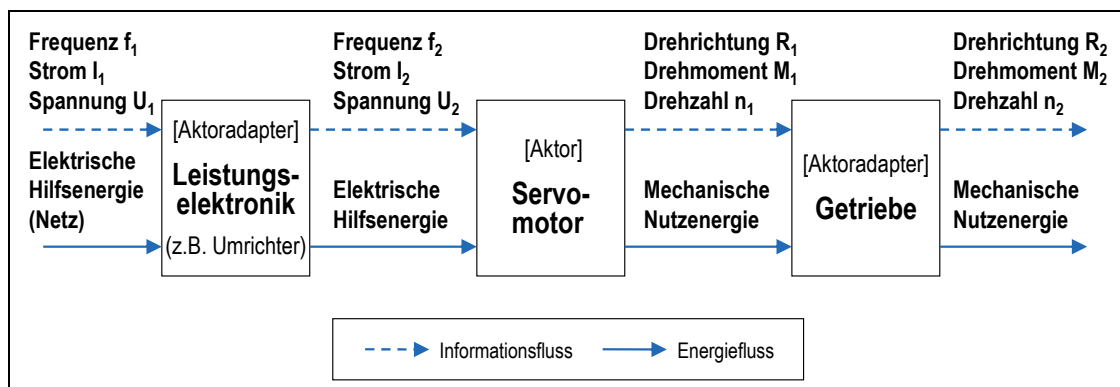


Bild 6.5: Aktor mit vorangestelltem und nachfolgendem Aktoradapter am Beispiel eines Servomotors mit Leistungselektronik und Getriebe

Der logische Zusammenhang zwischen den Eingangs- und Ausgangsinformationen eines Aktoradapters wird in dieser Arbeit als Adaptionfunktion definiert. Ein Aktoradapter weist entweder fest eingeprägte oder von außen veränderliche Adaptionfunktionen auf. Fest eingeprägte Adaptionfunktionen weisen vor allem Übersetzungen, wie z. B. Hebel, Getriebe oder AC/DC-Wandler, auf. Aktoradapter mit von außen veränderlichen Adaptionfunktionen lassen sich über den in Bild 6.4 dargestellten optionalen Eingang für zusätzliche Soll-Zustandsinformationen für Aktoradapter entwickeln. Über diesen Eingang kann die Adaptionfunktion durch entsprechende Vorgaben beeinflusst und damit die Adaption der Soll-Zustandsinformationen für vorangehende oder nachfolgende Aktoren gesteuert werden. Beispiele für Aktoradapter mit veränderlichen Adaptionfunktionen sind u.a. Ventile oder Transistoren von Leistungselektroniken (Bild 6.3).

Eine Spezialisierung des Aktoradapters ist die fest mit einem Aktor gekoppelte Bauform (Bild 6.6). Dabei sind Aktor und -adapter baulich fest miteinander verbunden und in einem gemeinsamen Gehäuse untergebracht. Beispiele für diese Bauform sind u.a. drehzahlvariable Hydraulikpumpen und -motoren sowie Servomotoren mit integrierter Leistungselektronik (z. B. /36/). Weitere Abhängigkeiten bei der Kombination von mehreren Aktorkomponenten und Aktoradapter werden im Folgenden betrachtet.

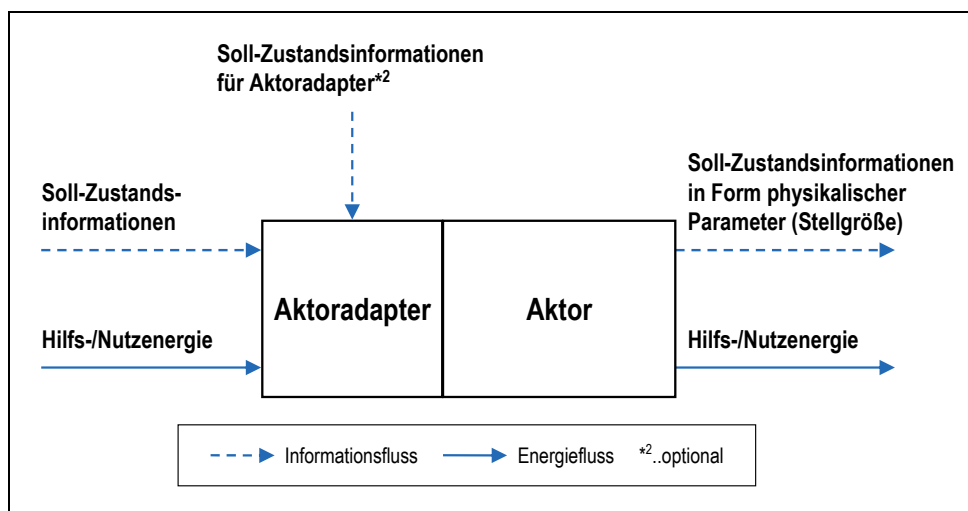


Bild 6.6: Informationsmodell der spezialisierten, fest mit einem Aktor gekoppelten Bauform eines Aktoradapters

6.1.4 Entwicklung von Regeln für die Kombinationen mehrerer Aktoren und -adapter

Die vielseitigen Randbedingungen technischer Anwendungen in Maschinen (vgl. Bild 3.1) lassen sich oft nur durch eine Kombination von Aktoren und -adaptern erfüllen. Kombinationen sind also jeweils für mehrere Aktoren oder -adapter untereinander (Bild 6.8) sowie zwischen Aktoren und -adaptern (Bild 6.5) möglich. Die abgeleiteten Zielsetzungen der Kombinationsmöglichkeiten sind im Bild 6.7 zusammengefasst.

Vorangestelltes Element \ Nachfolgendes Element	Ziele der Kombination von Aktoren und -adaptern:	
	Aktor	Aktoradapter
Aktor	Wandlung der zur Verfügung stehenden Hilfsenergie zum Erhalt erforderlicher Nutzenergie	Adaption der Ausgangsinformation/-parameter des vorangestellten Aktors
Aktoradapter	Adaption der Eingangsinformation/-parameter des nachfolgenden Aktors	Adaption von Informationen/ Parameter zum Erhalt erforderlicher Eingangs-/Ausgangsinformation/-parameter

Bild 6.7: Abgeleitete Zielsetzungen bei der Kombination von Aktoren und -adaptern

Sind Ein- und Ausgangsflüsse sowie zugehörige Parameter verschiedener Aktoren und -adapter nicht kompatibel, muss die Wandlung von Energie oder die Adaption von Parametern über zusätzliche Zwischenstufen (Bild 6.8) erfolgen. Als Zwischenstufen dienen zusätzliche Aktoren oder -adapter. Im Beispiel der Linearbewegung in Bild 6.8 ist die Wandlung der zur Verfügung stehenden elektrischen Netzenergie in eine mechanische Linearbewegung durch den Aktor Fluidpumpe als Zwischenstufe realisiert. Daraus leitet sich ab, dass die Wandlung von Energien sowie die Adaption von Parametern aufgrund anwendungsspezifischer Anforderungen und Randbedingungen in Maschinen nur teilweise über eine oder mehrere Zwischenstufen realisierbar ist. Weiterhin leitet sich für die Kombinierbarkeit von Aktoren und -adaptern aus den Beispielen in Bild 6.5 und Bild 6.8 folgende zu erfüllende Voraussetzungen ab:

- die Kompatibilität zwischen Ein- und Ausgangsflüssen der verschiedenen zu verbinden Aktoren und -adapter muss gewährleistet sein, d.h. nur Aktoren und -adapter mit gleichen Energieflüssen dürfen kombiniert werden

- die Kompatibilität der Parameter der zu verbindenden Ein- und Ausgangsflüsse muss ebenfalls zulässig sein, d.h. die zu kombinierenden Aktoren und -adapter müssen gleiche Parameter aufweisen
- Adaption von inkompatiblen Parametern oder Ein- und Ausgangsflüssen muss technisch und damit physikalisch durch weitere Aktoren oder -adapter möglich sein

Die Festlegung einer Lösung für die Adaption inkompatibler physikalischer Parameter von Ein- sowie Ausgangsflüssen ist aufgrund der Einflussfaktoren (z. B. geometrische Abmaße, unterschiedliche Leistungsgrößen) in Bezug auf die jeweilige Anwendung (Kap. 2.3.2) nicht allgemeingültig möglich. Für die Modellierung der logischen Zusammenhänge (vgl. Kap. 5.3.3) ist eine detailliertere Analyse physikalischer Inkompatibilitäten im Aktorkomponentenmodell nicht erforderlich und damit die Erfüllung der definierten Voraussetzungen hinreichend.

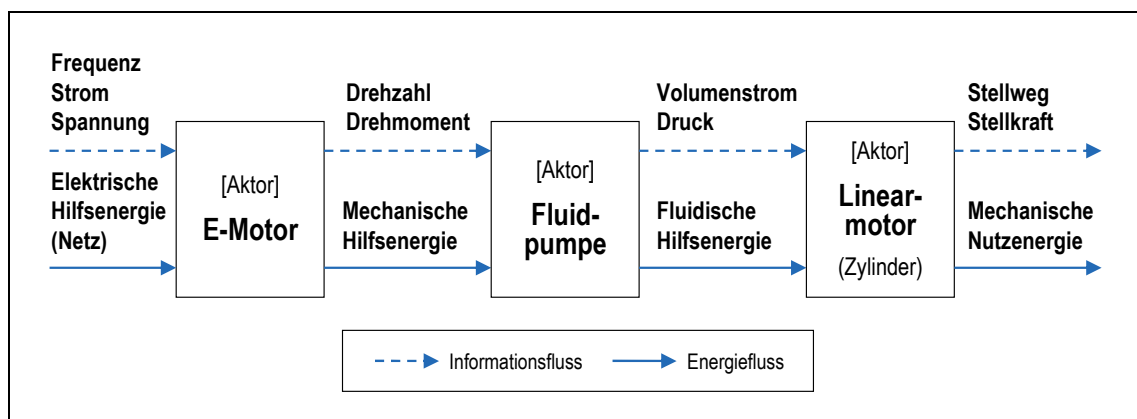


Bild 6.8: Kombination mehrerer Aktoren am Beispiel einer elektrohydraulischen Linearbewegung, z. B. zur Betätigung der Portionierung einer Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5)

Mithilfe der erarbeiteten Beschreibung der einzelnen Elemente und der zugehörigen Abhängigkeiten folgt nun entsprechend der Anforderungen an die Modellierungsvorgaben nach Kap. 3 die Definition des Aktorkomponentenmodells.

6.1.5 Ableitung des Aktorkomponentenmodells und der zugehörigen Klassenstruktur

Für die zuvor erarbeiteten Informationsmodelle für Aktoren und -adapter (Kap. 6.1.1 - 6.1.3) sowie die dazwischen bestehenden Zusammenhänge (Kap. 6.1.4) ist entsprechend der Anforderung aus Kap. 3.1 ein im Rechner verarbeitbares Informationsmodell, das Aktorkomponentenmodell (Bild 6.9), zu entwickeln. Das Aktorkomponentenmodell wird dazu nach den Anforderungen aus Kap. 3.1 und Kap. 3.2 sowie mithilfe der zuvor festgelegten mechatronischen Modellierungssystematik (Kap. 5.1) und den zugehörigen Modellierungsstrukturen (Kap. 5.2 und Kap. 5.3) herstellerunabhängig modelliert.

Die Informationsmodelle für Aktoren und -adapter werden dazu jeweils als einzelne mechatronische Teilmodellklassen modelliert (Bild 6.9). Beide Klassen sind aufgrund gemeinsamer Eigenschaften (vgl. Bild 6.1 mit Bild 6.4) als Spezialisierung von der gemeinsamen Oberklasse **Aktorkomponente** (Bild 6.9) abzuleiten. Zur Abbildung der verschiedenen Arten von Aktoren werden Aktoren und -adapter nach Kap. 6.1.2 anhand der Energieformen:

- Mechanisch
- Elektrisch
- Fluidisch
- Thermisch
- Chemisch

kategorisiert. Damit lassen sich die entsprechenden Aktoren verschiedener Komponentenhersteller anhand der Hilfsenergien einordnen und durch spezialisierte Unterklassen modellieren (Bild 6.9). Die in Kap. 3.1 geforderte Erweiterbarkeit des Aktorkomponentenmodells ist aufbauend auf der objektorientierten Modellierung nach Kap. 5.2 durch die Definitionen weiterer Kategorien sowie entsprechender, spezialisierter Unterklassen für Aktoren und -adapter möglich.

Die Klasse Aktorkomponente sowie deren Unterklassen realisieren jeweils das Interface (Softwareschnittstelle) **I_Aktor** bzw. die davon abgeleiteten spezialisierten Interfaces (Bild 6.9). Diese Softwareschnittstellen dienen zur Modellierung der in Kap. 6.1.4 entwickelten Regeln für die Kombination von Aktoren und -adaptern. Sie ermöglichen aber auch den Aufbau von Abhängigkeiten zu anderen Klassenstrukturen und bilden damit die innerhalb der mechatronischen Grundstruktur eingeführten Schnittstellen (Kap. 5.3.3). D. h. Aktoren und -adapter können über die hier definierten Softwareschnittstellen, ohne Bindung an Vererbungsstrukturen, flexibel in Maschinenstrukturen eingebunden werden. Damit lassen sich gemäß der Anforderung aus Kap. 3.2 sowohl die vorhandene Flexibilität als auch Modularität bei der Verwendung von Aktoren modellieren. Die Realisierungen spezifischer Aktoren in Form von jeweiligen Softwareschnittstellen wurden zur Übersichtlichkeit in Bild 6.9 nur für die Klassen **Aktoradapter_mechanisch** und **Aktor_fluidisch** eingezeichnet. D. h. jede spezifische Klasse von Aktoren und -adaptern besitzt ebenfalls eine der entsprechenden Softwareschnittstellen **I_A_mechanisch**, **I_A_elektrisch**, **I_A_fluidisch**, **I_A_thermisch** oder **I_A_chemisch** als Realisierung.

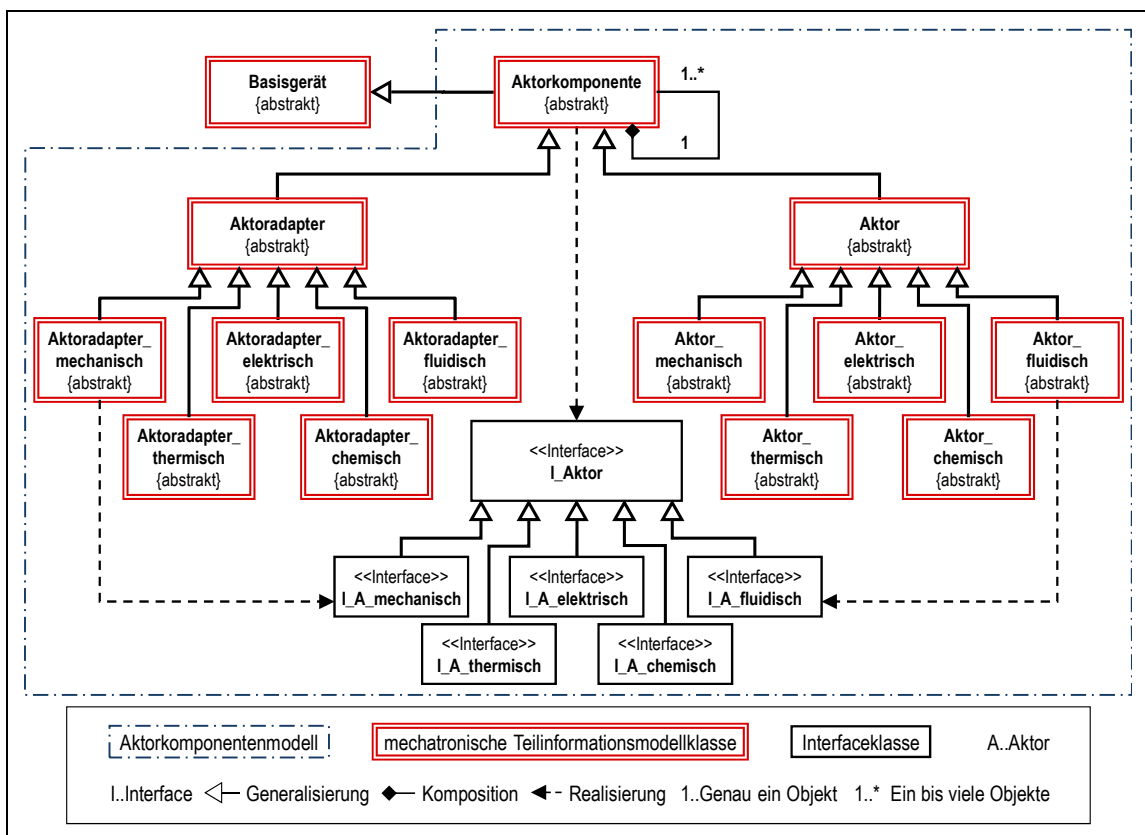


Bild 6.9: Klassenstruktur des Aktorkomponentenmodells

Die zuvor eingeführten Kombinationen aus mehreren Aktoren und -adaptern (Bild 6.5 und Bild 6.8) werden in Bild 6.9 durch die Kompositionsbeziehung der Klasse Aktorkomponente mit sich selbst modelliert. Die erlaubten Kombinationen werden dabei im Aktorkomponentenmodell durch die spezialisierten Softwareschnittstellen, welche die jeweiligen Unterklassen der Aktoren und -adapter realisieren, verifiziert. Im Anschluss an die Definition der objektorientierten Klassenstruktur zur Abbildung von Aktoren im Aktorkomponentenmodell folgen entsprechende Modellierungen für Sensoren und Informationsverarbeitungen.

6.2 Sensorkomponentenmodell

Analog zur mechatronischen Modellierung von Aktoren erfolgt auch die detaillierte Abbildung von Sensoren unter der Berücksichtigung der Anforderungen aus Kap. 3.2. Dazu schließt sich an die Kategorisierung verschiedener Sensorarten, die Definition des Sensorkomponentenmodells sowie eine objektorientierte Modellierung der zugehörigen Zusammenhänge in einer nach Kap. 3.1 geforderten Klassenstruktur an.

6.2.1 Herleitung eines Informationsmodells für Sensoren

Als Voraussetzung zur Herleitung einer mechatronischen Modellierung von Sensoren dient, analog zur Abbildung für Aktoren aus Kap. 6.1.1, die zuvor eingeführte mechatronische Modellierungssystematik aus Kap. 5.1. Damit ist die Grunddefinition für Sensoren (Kap. 2.4), durch die im Automatisierungskomponentenmodell (Bild 5.12) eingeführten Schnittstellen in Form von Informations- und Energieflüssen zu erweitern. Aus der Grunddefinition und der mechatronischen Modellierungssystematik wird damit als Ergebnis das in Bild 6.10 dargestellte Informationsmodell für Sensoren abgeleitet.

Sensoren dienen nach Kap. 2.4 der Wandlung physikalischer Messgrößen von Maschinen in Ist-Zustandsinformationen und damit elektrische Messsignale. D. h. beispielsweise die Kraft (Folienspannung), mit welcher die Folie auf die Führungsrolle in der Folienzuführung der Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5) wirkt, wird von einem Kraftsensor in ein elektrisches Messsignal umgewandelt. Bestimmte Sensoren benötigen optional, abhängig vom Messprinzip, zusätzliche Energie zur Wandlung der physikalischen Messgrößen. Modelliert wird dies im Informationsmodell in Bild 6.10 als

optionale Zuführung von Hilfsenergie oder von Energie aus der Maschine. Bei diesen Energieflüssen handelt es sich jedoch, im Gegensatz zu den Hilfsenergieflüssen für Aktoren, um vergleichsweise geringe Energiemengen.

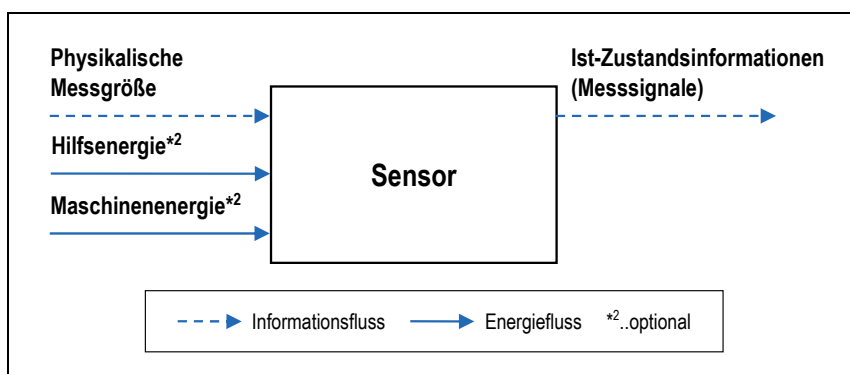


Bild 6.10: Informationsmodell für Sensoren in Anlehnung an /29/

Sensoren sind ebenfalls, wie Aktoren, Maschinenbestandteile und somit logische Grundelemente, welche in Maschinen jeweils nur in spezifischen Ausprägungen (z. B. als Kraftsensor) verbaut werden. Die herstellereigenen Ausprägungen von Sensoren sind dabei jeweils auf die Anwendung abgestimmt. Zur Definition eines herstellerunabhängigen Sensorkomponentenmodells entsprechend der Anforderung aus Kap. 3.1 sind im Weiteren Kategorien zur Unterscheidung von Sensoren zu definieren.

6.2.2 Kategorisierung verschiedener Arten von Sensoren

Sensoren werden von Komponentenherstellern anhand spezifizierter Standards, realisierter Messprinzipien oder resultierender Messgrößen (Bild 6.11) kategorisiert. Im Vergleich erzielt hierbei die Unterscheidung nach Messgrößen, gespiegelt an den Anforderungen, den größten Erfüllungsgrad (Bild 6.11). Diese Art der Kategorisierung ermöglicht die nach Kap 3.2 geforderte Modularität und Flexibilität bei der Modellierung von Sensorkomponenten sowie die erforderliche Unabhängigkeit von Fachdisziplinen und Komponentenherstellern entsprechend Kap. 3.1. Durch die Unterscheidung von Sensoren anhand der Messgrößen können im Vergleich größere Unabhängigkeiten vom Komponentenhersteller und den Fachdisziplinen sowie höhere Modularität, Flexibilität und Erweiterbarkeit bei der Modellierung erreicht werden.

Kriterium	Kategorisierung von Sensoren anhand:		
	Standard (z.B. Normen)	Messprinzipien	Messgrößen
Unabhängigkeit vom Komponentenhersteller	●	◐	●
Durchgängigkeit für alle Fachdisziplinen	○	●	●
Abbildung der Modularität von AK	○	○	◐
Abbildung der Flexibilität von AK	○	○	◐
Erweiterbarkeit der Kategorien für das AKM	○	◐	●

AK..Automatisierungskomponente AKM..Automatisierungskomponentenmodell

● erfüllt ◐ bedingt erfüllt ○ nicht erfüllt

Bild 6.11: Vergleich der Kategorisierungen von Sensoren

Sensoren werden daher für die nachfolgende Entwicklung der Modellierungsvorgaben für Sensoren anhand der jeweiligen Messgrößen unterschieden. Beispiele für Sensoren, die eine Wandlung von physikalischen Messgrößen in Ist-Zustandsinformationen durchführen, zeigt Bild 6.12. Für die Einteilung von Sensoren in der Modellierung werden aus vorhandenen physikalischen Messgrößenkategorien (vgl. Bild 6.12) folgende Kategorien abgeleitet:

- Mechanisch
- Thermodynamisch
- Elektrisch
- Optische und andere physikalische Messgrößen

Analog zu Aktoradaptern (Kap. 6.1.3) gibt es auch für Sensoren entsprechende Bauteile zu deren Anpassungen. Die Definition eines zugehörigen Informationsmodells folgt im nächsten Abschnitt.

Messgrößenkategorie	Beispiele physikalischer Größen	Beispiele für Sensoren	Kategorie in der Modellierung
Geometrisch	Länge, Radius, Breite, Höhe, Abstand, Flächen- + Volumeninhalt	Ultraschallsensor, Absolutwert- u. Inkrementalgeber	Mechanisch
Kinematisch	Zeitdauer, Geschwindigkeit, Beschleunigung, Drehzahl	Beschleunigungssensor, Inkrementalgeber	
Mechanisch	Masse, Kraft, Moment (Torsion, Drehmoment,...), Energie, Arbeit, Druck, Spannung, Dehnung	Dehnungsmessstreifen, Wägezelle	
Thermodynamisch	Temperatur, Wärmemenge	Thermoelement, Widerstandsthermometer	Thermodynamisch
Elektrisch + magnetisch	Stromstärke, Spannung, Widerstand, elektrische Feldstärke, magnetischer Fluss	Hall-Sensor, magnetisch induktiver Durchflussmesser	Elektrisch
Fotometrisch + optisch	Lichtstärke, Beleuchtungsstärke, Brechwert/-kraft	Fotozelle, -diode	Optische und andere physikalische Messgrößen
Atomar + molekular + Kernphysik	Strahlungsintensität	Halbleiterdetektor	

Bild 6.12: Beispiele für im Maschinenbau relevante Messgrößenkategorien und Sensoren sowie deren Kategorisierung in der Modellierung, in Anlehnung an /28, 112/

6.2.3 Definition eines Informationsmodells für Sensoradapter

Im Weiteren werden Sensoradapter als Bauteile definiert, die eine anwendungsabhängige Anpassung von Informationsflüssen sowie zugehörigen Parametern von und zu Sensoren an das jeweilige Messprinzip oder nachfolgende Automatisierungskomponenten ermöglichen (Bild 6.13). Sensoradapter werden in Maschinen mit dem Ziel der flexiblen Anpassung physikalischer Messgrößen an entsprechende Messverfahren sowie zur Anpassung von bereits aufgenommenen Ist-Zustandsinformationen an nachfolgende Automatisierungskomponenten eingesetzt. D. h. mittels Sensoradapter sind jeweils Anpassungen von Messbereichen an veränderliche physikalische Parameter sowie an unterschiedliche Bewegungsformen möglich. In Abhängigkeit des eingesetzten Messprinzips und der zu adaptierenden Parameter eines Sensors benötigen Sensoradapter gegebenenfalls zusätzliche Hilfsenergie. Dies wird in Analogie zum Informationsmodell für Sensoren nach Bild 6.10 anhand eines optional vorhandenen Energieflusses im Informationsmodell für Sensoradapter (Bild 6.13) abgebildet. Im Gegensatz zu Aktoradaptern weisen Sensoradapter keine von außen veränderlichen Adaptionsfunktionen auf (vgl. Kap. 6.1.3).

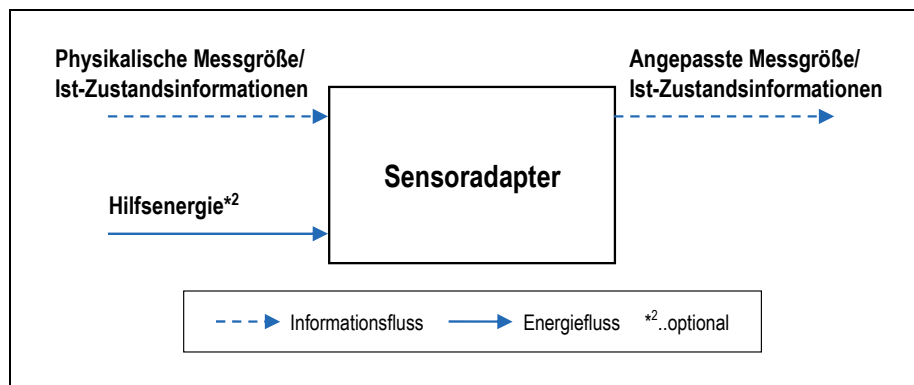


Bild 6.13: Informationsmodell der Informations- und Energieflüsse des Sensoradapters

Typische Beispiele für adaptierbare Messgrößen und damit Sensoradapter im Maschinenbau sind:

- mechanische Messgrößen (z. B. Weg, Spannung, Dehnung)

Beispiele für mechanische Sensoradapter → mechanische Übersetzungen (z. B. Seilzug, Hebel)

- elektrische Messgrößen (z. B. Spannung, Strom, Frequenz)

Beispiele für elektrische Sensoradapter (meist unterstützt durch Hilfsenergie)
→ Messverstärker, Messumformer, Filter

Durch eine mechanische Hebelübersetzung können beispielsweise Messgrößen aus schwer zugänglichen Stellen einer Maschine herausgeführt oder aufgenommene Messgrößen eines Sensors elektrisch per Messverstärker verstärkt werden (Bild 6.14). Eingesetzt werden solche Kombinationen aus Sensoren und -adaptern z. B. zur Messung der Folienspannung in der Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5). Um die hier entwickelte Definition für Sensoradapter sowie die zuvor erarbeitete mechatronische Abbildung von Sensoren anforderungsgemäß in einem im Rechner verarbeitbaren Informationsmodell abbilden zu können, wird nachfolgend die zugehörige durchgängige Klassenstruktur abgeleitet.

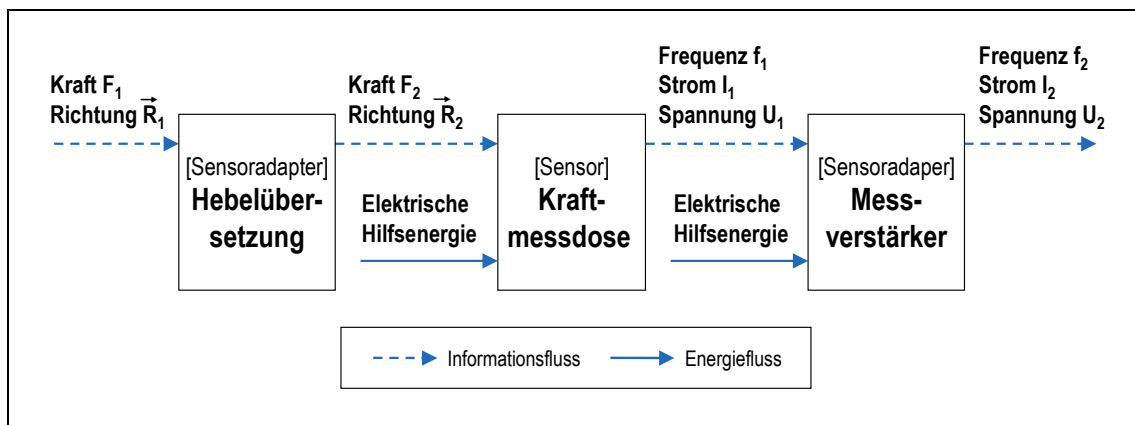


Bild 6.14: Sensor mit vorangestelltem und nachfolgendem Aktoradapter am Beispiel eines Kraftaufnehmers mit Hebelübersetzung und Messverstärker

6.2.4 Ableitung des Sensorkomponentenmodells und der zugehörigen Klassenstruktur

Analog zum Aktorkomponentenmodell aus Kap. 6.1.5 sind die erarbeiteten Informationsmodelle für Sensoren (Kap. 6.2.1) und -adapter (Kap. 6.2.3) sowie zugehörige Zusammenhänge gemäß der Anforderung aus Kap. 3.1 in einem im Rechner verarbeitbaren Informationsmodell abzubilden. Das dazu herzuleitende Informationsmodell wird im Weiteren als Sensorkomponentenmodell (Bild 6.15) bezeichnet. Das Sensorkomponentenmodell wird nach den Anforderungen aus Kap. 3.1 und Kap. 3.2 mithilfe der zuvor festgelegten mechatronischen Modellierungssystematik (Kap. 5.1) sowie den zugehörigen Modellierungsstrukturen (Kap. 5.2 und Kap. 5.3) herstellerunabhängig modelliert.

Die entwickelten Informationsmodelle für Sensoren und -adpater werden jeweils als einzelne mechatronische Teilmodellklassen abgebildet (Bild 6.15). Aufgrund gemeinsamer Eigenschaften von Sensoren und -adaptern (vgl. Bild 6.10 mit Bild 6.13) sind die betreffenden Teilmodellklassen als Spezialisierung von der Klasse **Sensorkomponente** abzuleiten. Die verschiedenen Arten von Sensoren sowie die zugehörigen -adapter werden, wie in Kap. 6.2.2 eingeführt, anhand der Messgrößen unterschieden und entsprechend kategorisiert. Im Maschinenbau finden häufig mechanische sowie elektrische Sensoradapter Verwendung, Sensoradapter für andere physikalische Messgrößen sind dagegen seltener. Unterklassen zur Spezialisierung von Sensoradapter werden daher, im Gegensatz zur feineren Unterscheidung für Sensoren, nur einge-

schränkt abgebildet. Da das Sensorkomponentenmodell auf der objektorientierten Modellierung nach Kap. 5.2 aufbaut, ist auch hier die geforderte Erweiterbarkeit nach Kap. 3.1 durch die Definitionen weiterer Kategorien realisiert.

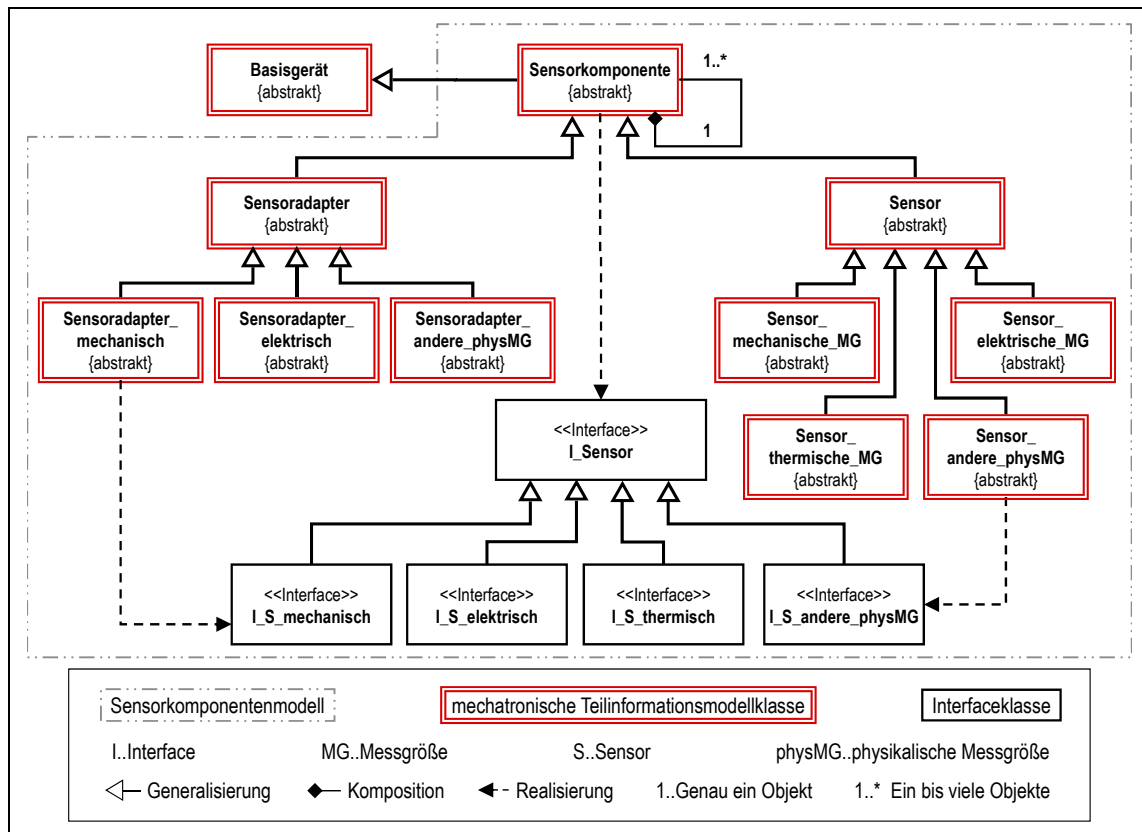


Bild 6.15: Klassenstruktur des Sensorkomponentenmodells

Die Klasse **Sensorkomponente** sowie deren Unterklassen realisieren jeweils das Interface **I_Sensor** bzw. die davon abgeleiteten spezialisierten Interfaces (Bild 6.15). Die hier eingeführten Softwareschnittstellen erfüllen, analog zu den Softwareschnittstellen im Aktorkomponentenmodell (Kap 6.1.5), das Ziel Regeln für Kombinationen aus Sensoren und -adaptern sowie Kompatibilitäten und Abhängigkeiten zu weiteren Klassenstrukturen zu ermöglichen. Bei der Darstellung der Realisierungen spezifischer Sensorkomponenten in Form von Softwareschnittstellen wurde zur Übersichtlichkeit in Bild 6.15 nur für die Klassen **Sensoradapter_mechanisch** und **Sensor_andere_physMG** eingezeichnet. Damit besitzt jede spezifische Klasse von Sensoren und -adaptern ferner eine der entsprechenden Softwareschnittstellen **I_S_mechanisch**, **I_S_elektrisch**, **I_S_thermisch** oder **I_S_andere_physMG** als Realisierung.

Die zuvor definierten Abhängigkeiten bei der Kombination von Sensoren mit entsprechenden Sensoradaptern (Kap. 6.2.3) werden, ebenfalls analog zum Aktorkomponentenmodell, durch die Kompositionsbeziehung der Klasse Sensorkomponente mit sich selbst repräsentiert. Die erlaubten Kombinationen werden dabei im Sensorkomponentenmodell durch die spezialisierten Softwareschnittstellen der Unterklassen für Sensoren und -adapter verifiziert. Der Definition der objektorientierten Klassenstrukturen zur Abbildung von Sensoren folgt die Modellierung von Informationsverarbeitungen.

6.3 Informationsmodell für Informationsverarbeitungskomponenten

Der Modellierung von Sensoren und Aktoren schließt sich die nach Kap. 3.2 geforderte, mechatronische Modellierung von Informationsverarbeitungskomponenten an. Dazu folgen nach der Definition von Informationsverarbeitungen die Kategorisierung und Klassifizierung von Informationsverarbeitungskomponenten. Anschließend leitet sich daraus das im Rechner verarbeitbare Informationsmodell (Kap. 3.1) für Informationsverarbeitungskomponenten mit zugehöriger objektorientierter Klassenstruktur zur Modellierung der Zusammenhänge ab.

6.3.1 Definition eines Informationsmodells für Informationsverarbeitungen

Zur Herleitung eines Informationsmodells für Informationsverarbeitungen wird die Grunddefinition aus Kap. 2.4 durch die im Automatisierungskomponentenmodell (Bild 5.12) eingeführten Informationsflüsse erweitert und damit das in Bild 6.16 dargestellte Informationsmodell einer Informationsverarbeitung abgeleitet. Die unabhängige Abbildung von Informationsverarbeitungen verschiedener Komponentenhersteller (Kap. 3.1) sowie die Erfüllung der Anforderungen nach Flexibilität, Modularität und Erweiterbarkeit nach Kap. 3.1 und Kap. 3.2 sind hierbei das Ziel der Modellierung.

Entsprechend der in Kap. 5.3.1 eingeführten mechatronischen Grundstruktur bildet eine Informationsverarbeitung das verbindende Element, welches die beiden zuvor erarbeiteten Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten (Kap. 6.1.1 und 6.2.1) logisch miteinander verkoppelt. Informationsverarbeitungen schließen damit durch entsprechende Informationsflüsse die Regelstrecke /45/ zwischen Aktoren, Maschine und Sensoren zu einem Regelkreis. Im dazu entwickelten Informationsmodell (Bild

6.16) wird dies abgebildet durch die Ist-Zustandsinformationen (Messsignale) aus dem Informationsmodell für Sensoren (Bild 6.10), die zusammen mit den gegebenenfalls von einem Leitsystem oder einem Bediener vorgegebenen Soll-Zuständen (Steuersignale, z. B. höhere Produktionsgeschwindigkeit) in die Informationsverarbeitung fließen. Am Ausgang des Informationsmodells der Informationsverarbeitung stehen die aufbereiteten Ist-Zustandsinformationen (z. B. aktueller Maschinenzustand) für Bediener und Leitsysteme zur Verfügung. Die durch Informationsverarbeitungen verarbeiteten Soll-Zustandsinformationen dienen als Steuer- und Regelinformationen für die nachfolgenden Informationsmodelle für Aktoren (Bild 6.1).

Informationsverarbeitungen können entsprechend der Steuerungspyramide hierarchisch (Kap. 2.4 und /46/) aufgebaut werden. Übergeordnete Leitsysteme lassen sich ebenfalls mit dem hier eingeführten Informationsmodell für Informationsverarbeitungen (Bild 6.16) modellieren und besitzen daher einen identischen Aufbau. D. h. die Schnittstellen sind dabei identisch, lediglich die Anbindung an Informationsmodelle für Sensoren und Aktoren wird indirekt über untergeordnete Informationsmodelle für Informationsverarbeitungen realisiert. Aufgrund des Fokus auf Informationsverarbeitungen für Maschinen erfolgt jedoch keine detaillierte Betrachtung dieser Zusammenhänge.

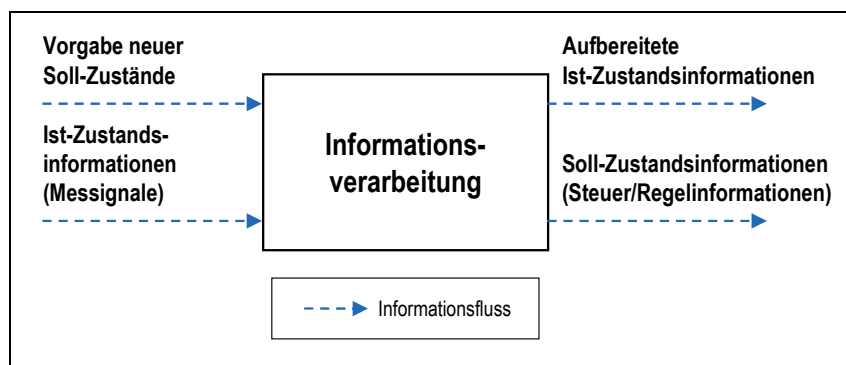


Bild 6.16: Informationsmodell einer Informationsverarbeitung in Anlehnung an /29/

Die vielfältigen Anwendungszwecke von Informationsverarbeitungen im Maschinenbau werden durch ihren modularen Aufbau abgedeckt. Beispielsweise die Informationsverarbeitung zur Steuerung der Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5) besteht aus Baugruppen zum Einlesen von Messsignalen (z. B. Folienspannung) und zur Ausgabe von Steuersignalen (z. B. Wickelgeschwindigkeit) sowie einer zentralen informationsverarbeitenden Baugruppe. Die Abbildung dieser einzelnen Baugruppen und Zusammenhänge erfolgt daher im Weiteren durch die Definition eines Informationsmodells für Informationsverarbeitungskomponenten.

6.3.2 Kategorisierung von Informationsverarbeitungs-komponenten

Informationsverarbeitungen setzen sich nach Kap. 2.4 aus einzelnen Informationsverarbeitungs-komponenten zusammen. Um diese entsprechend der Anforderungen aus Kap. 3.1 und Kap. 3.2 mechatronisch sowie herstellerunabhängig modellieren zu können, sind Kategorien zur Unterscheidung von Informationsverarbeitungs-komponenten festzulegen. Informationsverarbeitungs-komponenten werden von Komponentenherstellern auf verschiedene Weise kategorisiert (Bild 6.17). Unterschieden wird dabei anhand des Anwendungszwecks in verschiedenen Branchen, der Performance von Informationsverarbeitungs-komponenten oder der durch Informationsverarbeitungs-komponenten erfüllten Funktionen nach Kap. 5.2.2.

Kriterium	Kategorisierung von Informationsverarbeitungs-komponenten anhand:		
	Einsatzzweck (z.B. Verfahrenstechnik)	Performance (z.B. Anzahl E/A's, Rechenleistung)	Funktion
Unabhängigkeit vom Komponentenhersteller	◐	○	●
Unabhängigkeit von Fachdisziplinen	◐	●	●
Durchgängige Strukturen	○	◐	●
Abbildung der Modularität realer AK	◐	○	●
Flexibilität bei der Abbildung von AK	○	○	◐
Erweiterbarkeit des AKM	◐	◐	●

AK..Automatisierungskomponente	AKM..Automatisierungskomponentenmodell
● erfüllt	◐ bedingt erfüllt
○ nicht erfüllt	A..Ausgang
	E..Eingang

Bild 6.17: Kategorisierungen zur Unterscheidung von Informationsverarbeitungs-komponenten

Die Kategorisierung nach der Funktion ermöglicht dabei, gemessen an den Anforderungen, den größten Erfüllungsgrad. Im Vergleich wird dadurch die Unabhängigkeit von Komponentenherstellern und Fachdisziplinen sowie die beste Abbildung von Modularität und Erweiterbarkeit bei der Modellierung erzielt. Im Weiteren erfolgt daher die Modellierung von Informationsverarbeitungs-komponenten anhand der jeweils realisierten Grundfunktion (Kap. 5.2.2).

6.3.3 Herleitung von Informationsmodellen für Informationsverarbeitungs-komponenten

Informationsverarbeitungen für Maschinen bestehen, wie schon in der Grunddefinition (Kap. 2.4) festgelegt, aus einer Kombination von mehreren Informationsverarbeitungs-komponenten (Bild 6.18). Informationsverarbeitungs-komponenten lassen sich daher wie Informationsverarbeitungen auch in einem Informationsmodell abbilden, das ebenfalls die in Bild 6.16 dargestellten Schnittstellen aufweist. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass diese Schnittstellen im Informationsmodell für Informationsverarbeitungs-komponenten nur optional vorhanden sind. Das bedeutet nicht alle möglichen Informationsflüsse einer Informationsverarbeitung sind auch an jeder Informationsverarbeitungs-komponente vorhanden, wie beispielhaft in Bild 6.18 dargestellt. Grund dafür ist die Spezialisierung der einzelnen Informationsverarbeitungs-komponenten auf jeweils einzelne Grundfunktionen, wie z. B. das Bereitstellen von Eingängen. Damit ergibt auch in der Modellierung erst die Verknüpfung mehrerer Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten (Bild 6.18) das vollständige Informationsmodell der Informationsverarbeitung einer Maschine, welches dann wiederum alle in Bild 6.16 beschriebenen Schnittstellen zur Verfügung stellt.

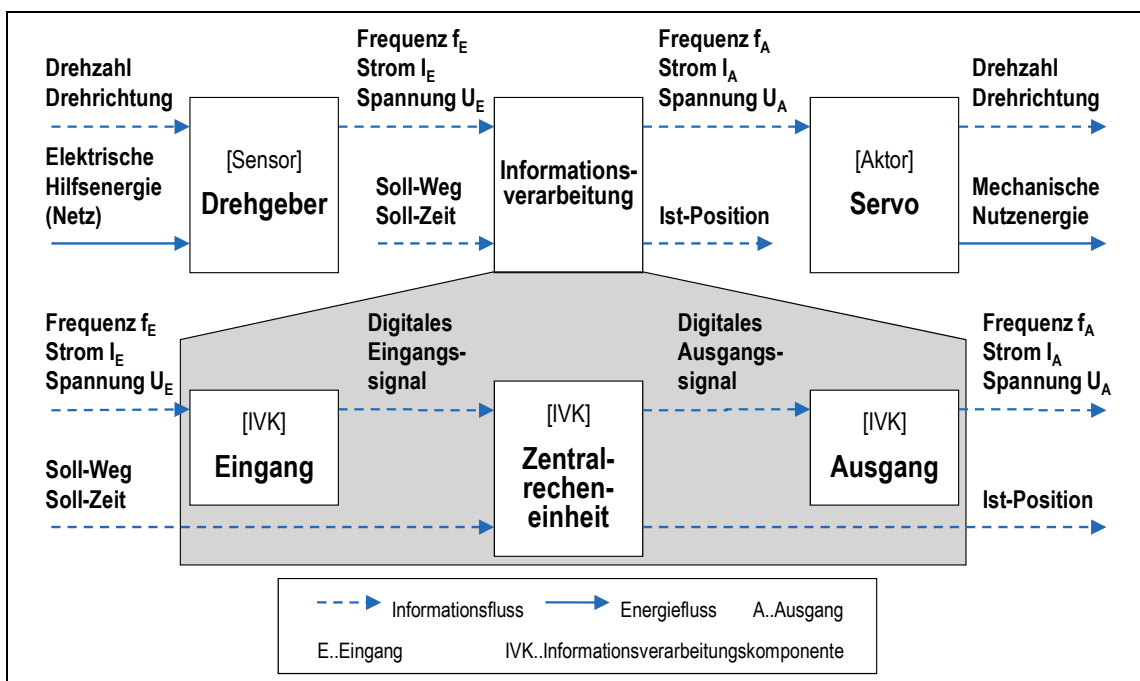


Bild 6.18: Beispiel für die Zusammensetzung des Informationsmodells einer Informationsverarbeitung aus mehreren Informationsmodellen für Informationsverarbeitungs-komponenten

Zur Definition der einzelnen Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten dienen die in Kap. 5.2.2 definierten Grundfunktionen. Diese bilden die notwendige Basis zur erforderlichen mechatronischen Modellierung von Informationsverarbeitungs-komponenten unterschiedlicher Komponentenhersteller entsprechend Kap. 3.1 und 3.2. Die zuvor modellierten Automatisierungskomponenten (Kap. 6.1.1 und 6.2.1) bilden bisher die Grundfunktionen Energie wandeln und Messgröße aufnehmen ab. D. h. die verbleibenden Grundfunktionen sind durch Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten abzubilden. Daraus leiten sich die in Bild 6.19 dargestellten Informationsverarbeitungs-komponenten ab. Bild 6.19 zeigt weiterhin Beispiele entsprechender Informationsverarbeitungs-komponenten. Um die erarbeiteten Informationsverarbeitungs-komponenten nach den Anforderungen in Kap. 3.1 und Kap. 3.2 modular, flexibel sowie durch Rechner verarbeitbar abbilden zu können, wird im Weiteren eine entsprechende Klassenstruktur entwickelt.

Grundfunktion	Abgeleitete Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten		Beispiele realer Informationsverarbeitungs-komponenten
Steuerung/Regelung realisieren	Zentralrecheneinheit		Industrie-PC, Embedded Controller, Microcontroller
Visualisierung bereitstellen	Bedienerschnittstelle	Visualisierung	Visualisierungspanel, LED-Anzeige
Eingabeschnittstelle bereitstellen		Eingabeschnittstelle	Tastenfeld, Touchscreen
Kommunikations-schnittstelle bereitstellen	Kommunikationsschnittstelle		Buskoppler, Switch, Kommunikationsmodul
Eingang bereitstellen	Sensor-Aktor-Anbindung	Eingang	Analoge und digitale Eingangsbaugruppen
Ausgang bereitstellen		Ausgang	Analoge und digitale Ausgangsbaugruppen

Bild 6.19: Ableitung von Informationsverarbeitungs-komponenten aus Grundfunktionen und entsprechende Beispiele für Informationsverarbeitungs-komponenten

6.3.4 Ableitung der Klassen- und Kompositionsstruktur für Informationsverarbeitungs-komponenten

Zur Abbildung der zuvor erarbeiteten Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten im Rechner folgt die Definition einer objektorientierten Klassenstruktur (Kap. 6.1.5 und 6.2.4). Grundlage dieser Abbildungen bilden auch hier

die in Kap. 5 beschriebenen mechatronischen Zusammenhänge und Strukturen, die definierten Grundfunktionen sowie die gestellten Anforderungen in Bezug auf Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben und zur Modularität sowie Flexibilität bei der Abbildung nach Kap. 3.1 und Kap. 3.2.

Die zuvor entwickelten Informationsmodelle für Informationsverarbeitungs-komponenten (Kap. 6.3.3) erfüllen jeweils eine der in Kap. 5.2.2 definierten Grundfunktionen. Neben diesen Informationsverarbeitungs-komponenten bieten Komponentenersteller Informationsverarbeitungs-komponenten an, die optional mehrere Grundfunktionen in Form von einzelnen Haupt- und Nebenfunktionen zusammenfassen (Bild 5.7). Um diese Zusammenhänge im Informationsmodell abbilden zu können ist im Folgenden eine modulare Struktur für Informationsverarbeitungs-komponenten zu definieren. Damit Informationsverarbeitungs-komponenten entsprechend der zuvor definierten Zusammenhänge und Eigenschaften aus Kap. 6.3.1 - Kap. 6.3.3 modelliert werden können, wird die Klasse **Informationsverarbeitungsteilkomponente** eingeführt (Bild 6.20). Diese Klasse wird unabhängig von der in Bild 5.10 definierten Struktur direkt von der Klasse mechatrisches Teilinformationsmodell abgeleitet. Sie ist somit keine Unterklasse der nach Kap. 6.3.3 einzuführenden Klasse **Informationsverarbeitungs-komponente** (Bild 6.21). Eine solche Vererbungsstruktur würde die gestellten Anforderungen in Bezug auf Modularität, Flexibilität sowie Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben zu stark einschränken, da demnach jede Informationsverarbeitungs-komponente nur eine einzelne Grundfunktion erfüllen könnte.

Von der Klasse Informationsverarbeitungsteilkomponente sind entsprechend der Herleitung in Kap. 6.3.3 die Unterklassen

- **Sensor-Aktor-Anbindung**
- **Kommunikationsschnittstelle**
- **Benutzerschnittstelle**
- **Zentralrecheneinheit**

abzuleiten (Bild 6.20). Diese Unterklassen weisen die Gemeinsamkeit auf, dass sie alle Bestandteile einer Informationsverarbeitungs-komponente sein können. Die Klasse

Sensor-Aktor-Anbindung ist dabei zusätzlich in die Klassen **Eingang**, **Ausgang** (Bild 6.19) sowie zugehörige Module zu unterteilen. Die Klasse Sensor-Aktor-Anbindung bildet darüber die Gemeinsamkeiten ihrer Unterklassen ab, um sowohl Verbindungen von Automatisierungskomponenten mit einzelnen Ein- und Ausgängen (z. B. Bild 6.18) als auch Verknüpfungen mehrerer Ein- und Ausgänge modellieren zu können. Die einzelnen Eigenschaften der Ein- und Ausgabebaugruppen, wie z. B. digitale und analoge Ein- und Ausgänge sowie spezifische Typausprägungen, werden in Form von Parametern der entsprechenden Klassen abgebildet.

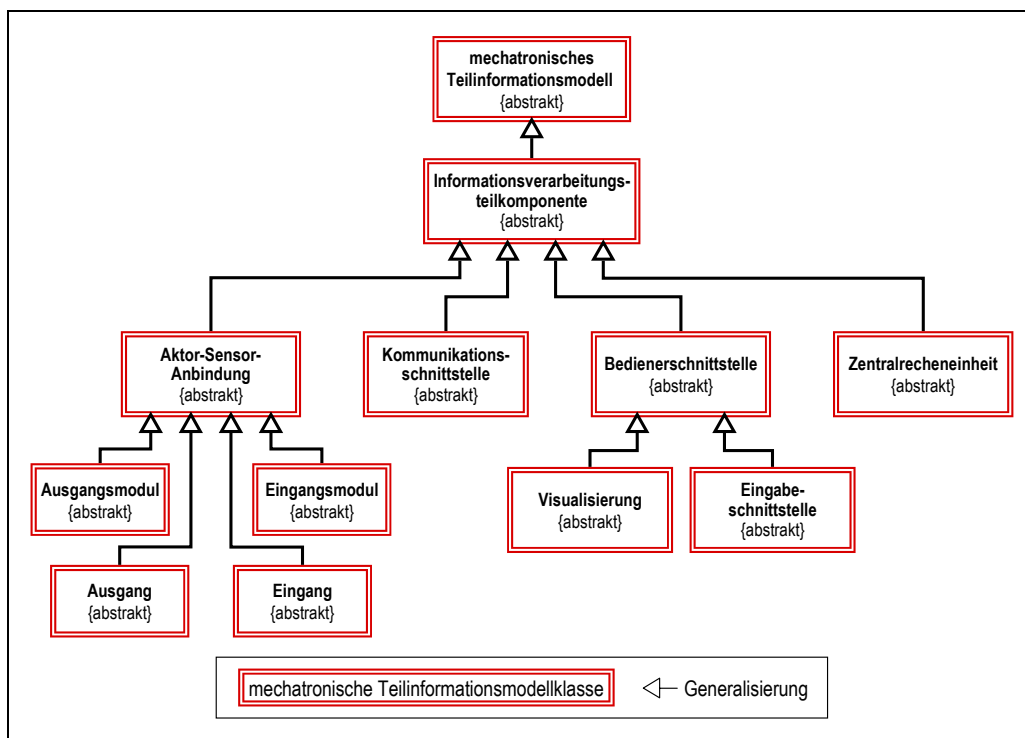


Bild 6.20: Objektorientierte Klassenstruktur für Informationsverarbeitungsteilkomponenten

Die Klasse Benutzerschnittstelle wird nach Bild 6.19 durch die Klassen **Visualisierung** und **Eingabeschnittstelle** spezialisiert. Hintergrund hierfür ist, dass Benutzerschnittstellen jeweils aus einer Visualisierung von Maschinendaten, einer Eingabeschnittstelle zur Anpassung von Maschinengrößen oder aber aus der Kombination beider Grundfunktionen bestehen können. Die Klasse Benutzerschnittstelle beschreibt wiederum die zugehörigen Gemeinsamkeiten beider Unterklassen. Durch den objektorientierten Ansatz zur Modellierung von Informationsverarbeitungsteilkomponenten ist die Möglichkeit für die Erweiterung um zusätzliche Klassen und damit um weitere informationsverarbeitende Automatisierungskomponenten gemäß Kap. 3.1 gewährleistet.

Informationsverarbeitungskomponenten sind durch jeweilige Spezifika der einzelnen Komponentenhersteller, wie z. B. die Anzahl an Ausgängen einer Informationsverarbeitungskomponente, geprägt. Zur Abbildung von Informationsverarbeitungskomponenten unterschiedlicher Komponentenhersteller (Kap. 6.3.3) in einem durchgängigen Informationsmodell gemäß der Anforderung aus Kap. 3.1, ist daher eine Kompositionsstruktur abzuleiten, die dies berücksichtigt. Weiterhin sind dieser Kompositionsstruktur die zugehörigen Konfigurationszusammenhänge, wie sich beispielsweise nach Bild 6.18 einzelne Informationsverarbeitungsteilkomponenten zu Informationsverarbeitungskomponenten zusammensetzen, abzubilden. Informationsverarbeitungskomponenten müssen flexibel, modular und herstellerunabhängig, zusammengesetzt aus einzelnen Grundfunktionen, modelliert werden können (Kap. 3.1 und Kap. 3.2). D. h. das zuvor erarbeitete Informationsmodell für Informationsverarbeitungskomponenten (Bild 6.19) mit fester Zuordnung von Grundfunktionen zu einzelnen Informationsverarbeitungskomponenten wird dazu entsprechend erweitert. Die zuvor eingeführten Informationsverarbeitungsteilkomponenten (Bild 6.20) werden demnach per Kompositionsbeziehungen, mit der bereits in Kap. 5.2.3 definierten Klasse Informationsverarbeitungskomponente, verbunden (Bild 6.21).

Grundlage der Kompositionsstruktur nach Bild 6.21 bildet die funktionale Modellierung mithilfe der eingeführten Grundfunktionen aus Kap. 5.2.2. Die zuvor anhand der Grundfunktionen definierten Informationsverarbeitungsteilkomponenten (Bild 6.20) werden per Kompositionsbeziehungen mit der Klasse Informationsverarbeitungskomponente verbunden (Bild 6.21). Dadurch können Informationsverarbeitungskomponenten mit unterschiedlichen Funktionsumfängen modular entsprechend Bild 5.7 abgebildet werden. Mithilfe der Klasse Informationsverarbeitungskomponente lassen sich mehrere Grundfunktionen und damit Informationsverarbeitungsteilkomponenten, wie im Bild 6.18 dargestellt, zusammenfassen.

Alle Informationsverarbeitungskomponenten besitzen als Gemeinsamkeit mindestens eine Kommunikationsschnittstelle. Diese ist zum Austausch von Zustandsinformationen notwendig. Weitere Informationsverarbeitungsteilkomponenten können optionale Bestandteile der Klasse Informationsverarbeitungskomponente sein. Anzahl und Art der Bestandteile orientieren sich jeweils an den zu modellierenden Informationsverarbeitungskomponenten (Bild 5.7 und Bild 6.19).

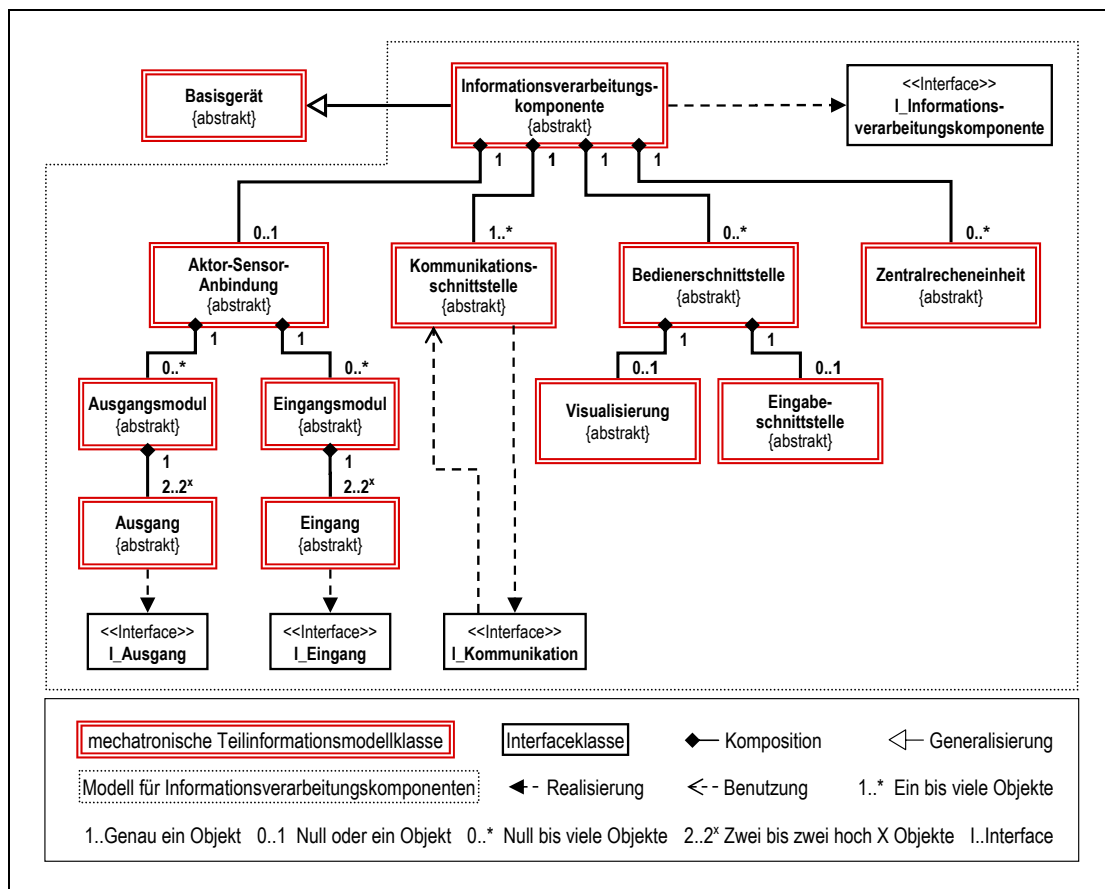


Bild 6.21: Kompositionsstruktur zur Modellierung von Informationsverarbeitungs-komponenten

Analog zum Actor- und Sensormodell werden auch im Informationsmodell für Informationsverarbeitungs-komponenten nach Bild 6.21 Softwareschnittstellen spezifiziert, um Regeln zur Kombination von Informationsverarbeitungs-, Actor- und Sensor-komponenten sowie Kompatibilitäten und Abhängigkeiten zu anderen Klassenstrukturen abbilden zu können. Die Softwareschnittstelle **I_Informationssystem-komponente** ermöglicht die Verwendung von Informationsverarbeitungs-komponenten innerhalb der mechatronischen Grundstruktur ohne Bindung an strenge Vererbungs-strukturen. Die Klassen Ein- und Ausgang realisieren zusätzlich entsprechende Soft-wareschnittstellen (**I_Eingang** und **I_Ausgang**, vgl. Bild 6.21), um Verbindungen zu Sensoren und Aktoren herstellen zu können. Die Realisierung der Softwareschnittstelle **I_Kommunikation** durch die Klasse Kommunikationsschnittstelle dient zur Modellierung von Kommunikationsbustopologien (Kap. 2.4). Die entsprechende Modellierung der dazugehörigen Abhängigkeiten erfolgt im nächsten Abschnitt.

6.4 Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Automatisierungskomponenten

Nach der Modellierung von Aktor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten (Kap. 6.1 - 6.3) sind nun die Abhängigkeiten zwischen den Automatisierungskomponenten (Bild 5.12) gemäß der Anforderungen aus Kap. 3.2 zu modellieren. Abzubilden sind dabei jeweils, entsprechend der mechatronischen Grundstruktur (Kap. 5.3.1), die Abhängigkeiten zwischen Sensor- sowie Aktorkomponenten zu Informationsverarbeitungskomponenten. Grundlage dieser Abhängigkeiten bilden die zugehörigen Informationsflüsse zwischen den Automatisierungskomponenten nach Bild 5.12. Die Abbildung der Informationsflüsse erfolgt dabei mithilfe der in Kap. 6.3.4 eingeführten Softwareschnittstellen (Bild 6.22). Die Modellierung kann somit unabhängig von den Vererbungsstrukturen der einzelnen Informationsmodelle für Aktor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten erfolgen.

In der mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12) ist die Informationsverarbeitung als verbindendes Element zwischen Sensoren und Aktoren festgelegt. Die von Sensoren aufgenommenen Ist-Zustandsinformationen werden mit Hilfe von Informationsverarbeitungskomponenten digitalisiert und verarbeitet (Bild 6.18). Um diese Abhängigkeit als direkte Kopplung abzubilden, wird die Softwareschnittstelle I_Eingang des Informationsverarbeitungsmodells benutzt (Bild 6.22). Damit können die Informationsmodelle für Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten direkt ohne Erweiterung um zusätzliche Klassen über die Softwareschnittstellen miteinander verbunden werden. Analog leitet sich die Benutzung der Softwareschnittstelle I_Ausgang durch die Klasse Aktorkomponente, zur Übernahme der verarbeiteten Soll-Zustandsinformationen der vorgeschalteten Informationsverarbeitungskomponenten, her.

Neben dieser Möglichkeit zur direkten Kopplung von Aktor- und Sensorkomponenten an Informationsverarbeitungskomponenten ist auch eine Verbindung logischer Automatisierungskomponenten (Kap. 5.2.3) über standardisierte Kommunikationsschnittstellen (Kap. 2.4) zu erarbeiten. Dies ist mithilfe der bereits eingeführten Softwareschnittstelle I_Kommunikation möglich. D. h. für Anpassungs- und intelligente Automatisierungskomponenten erfolgt die Kopplung durch die als Klassen modellierte Kommunikationsschnittstelle mit der Softwareschnittstelle I_Kommunikation. Die jeweils in der Kommunikationstopologie untergeordneten Automatisierungskomponenten werden dazu über die Softwareschnittstelle I_Kommunikation an die übergeordnete Automatisierungskomponente, die die Kommunikationsschnittstelle bereitstellt, angebunden.

Einfache Automatisierungskomponenten ohne Kommunikationsschnittstellen lassen sich über die in Bild 6.22 eingeführten Softwareschnittstellen anbinden. Wie sich basierend auf den hier eingeführten Möglichkeiten zur Kopplung von Sensoren, Aktoren sowie Informationsverarbeitungskomponenten, Automatisierungssysteme ableiten lassen, wird nachfolgend erarbeitet.

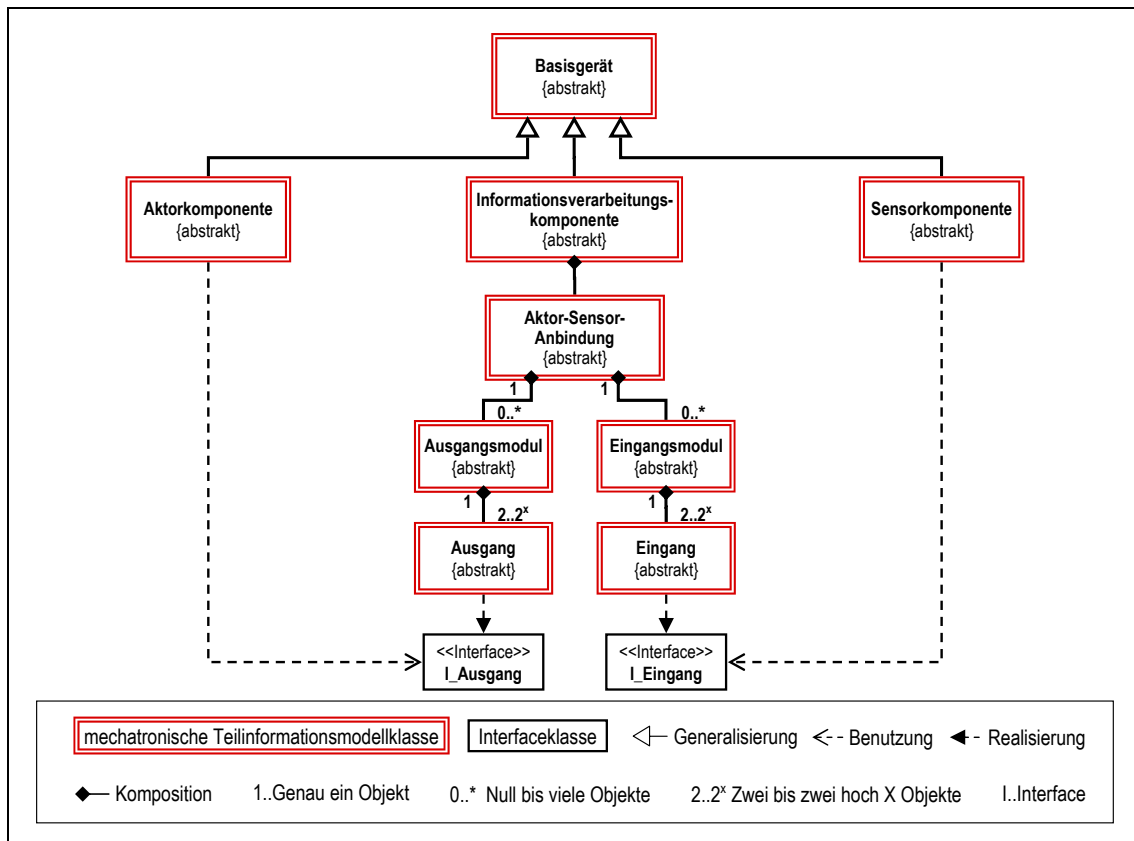


Bild 6.22 Modellierung der Abhängigkeiten zwischen Actor- sowie Sensorkomponenten zu Informationsverarbeitungskomponenten

6.5 Modellierung von Automatisierungssystemen

Beim Engineering von Maschinen werden Automatisierungskomponenten zunächst als einzelne Bauteile integriert und abschließend zu Automatisierungssystemen (Kap. 2.4) verbunden. Dazu werden einzelne, auch von unterschiedlichen Komponentenherstellern gelieferte, Automatisierungskomponenten jeweils zu einem Automatisierungssystem kombiniert. Komponentenhersteller bieten daher, neben einzelnen Automatisierungskomponenten, ebenso vorkonfigurierte Automatisierungssysteme für vordefinierte

Anwendungszwecke (Kap. 2.4) an. Diese Eigenschaften sind im Weiteren ebenfalls durch die zuvor erarbeiteten Informationsmodelle (Kap. 6.1 - 6.3) abzubilden.

Grundsätzlich setzen sich Automatisierungssysteme aus mehreren logischen Automatisierungskomponenten (Kap. 5.2.3) zusammen (Bild 6.23). Die Verbindung erfolgt dazu über die in den Modellen für Sensor-, Aktor- und Informationsverarbeitungskomponenten (Kap. 6.1 - 6.3) entwickelten Strukturen, unter Beachtung der zuvor hergeleiteten Abhängigkeiten zwischen Automatisierungskomponenten (Kap. 5.2.5 und Kap. 6.4).

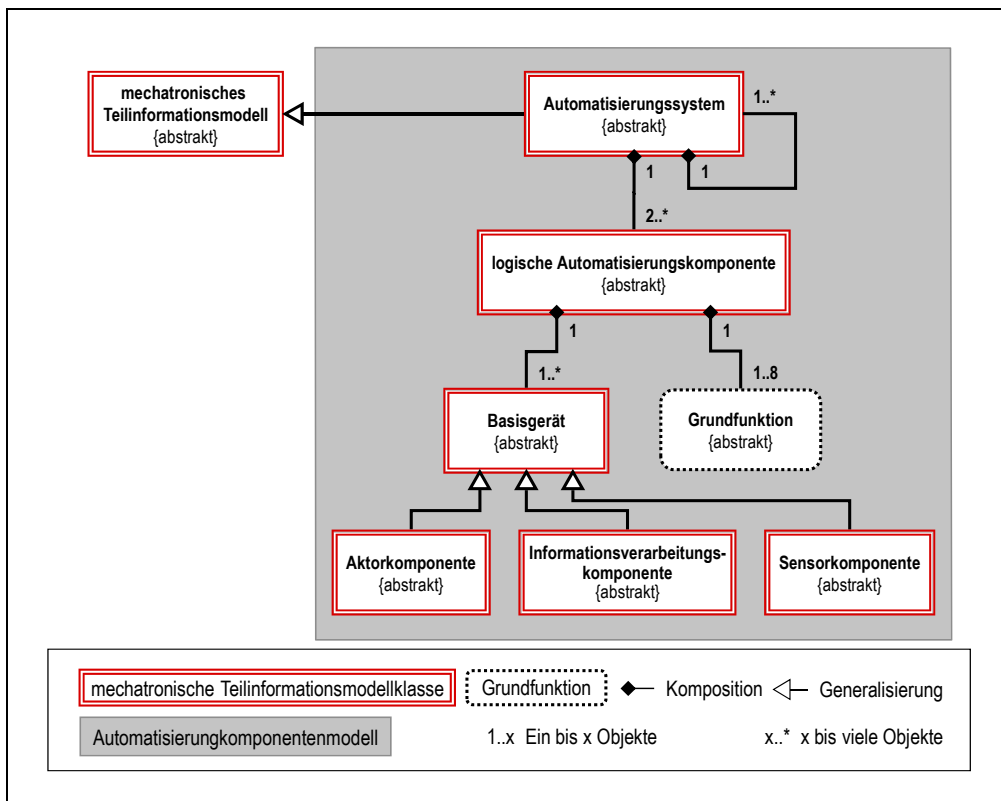


Bild 6.23 Modellierung von Automatisierungssystemen aus Aktor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten

D. h. Automatisierungssysteme bestehen aus verschiedenen Aktor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponenten und vereinen damit ebenfalls deren Grundfunktionen. Automatisierungssysteme können, genauso wie Informationsverarbeitungen (Kap. 6.3.1), einen hierarchischen Aufbau (Kap. 2.4) aufweisen. Das bedeutet Maschinen höherer Komplexität (Kap. 2.3.2) können somit mehrere Automatisierungssysteme enthalten. Diese Hierarchie wird in der Modellierung (Bild 6.23) durch die Kompositionsbeziehung der Klasse Automatisierungssystem mit sich selbst abgebildet.

Einzelne Instanzen der Klasse Automatisierungssystem können dabei jeweils unterschiedliche Arten und Anzahlen von Automatisierungskomponenten enthalten. Die Klassen Automatisierungssystem und logische Automatisierungskomponente mit den zugehörigen Unterklassen bilden zusammen das Automatisierungskomponentenmodell nach Bild 5.12 ab.

6.6 Zusammenfassung der herstellerunabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten und -systemen

Aufbauend auf den Grundlagen zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten aus Kap. 5 ermöglicht die hier erarbeitete Modellierung die herstellerunabhängige Abbildung von Automatisierungskomponenten und -systemen. Die dazu innerhalb des Automatisierungskomponentenmodells (Bild 5.12) eingeführten Informations- und Energieflüsse wurden als Schnittstellen bei der Modellierung der verschiedenen Automatisierungskomponenten herangezogen. Ziel war die anforderungsgemäße Abbildung von Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller in einem durchgängigen Informationsmodell (Kap. 3.1).

Die verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten wurden dazu jeweils in einzelnen Modellen abgebildet (Kap. 6.1 - 6.3) und deren entsprechende Spezifika modelliert. D. h. es wurden herstellerunabhängige Modellierungsvorgaben für Sensor-, Aktor- und Informationsverarbeitungskomponenten erarbeitet. Aufbauend auf diesen Informationsmodellen folgte anschließend die Abbildung der Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Automatisierungskomponenten (Kap. 6.4) sowie die Modellierung von Automatisierungssystemen (Kap. 6.5).

Erfüllt werden damit die Anforderungen aus Kap. 3.1 und Kap. 3.2 in Bezug auf die Abbildung von Modularität und Flexibilität, Unabhängigkeit von Komponentenherstellern und Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und -systeme (Kap. 3.3). Die Realisierung erfolgt im Einzelnen durch die objektorientierte Modellierung der Automatisierungskomponenten als Klassen und durch die Einführung entsprechender Softwareschnittstellen. Im Anschluss folgt die Definition von branchenunabhängigen Modellierungsvorgaben für Maschinen und von Modellierungsebenen zur spezifischen Modellierung von Maschinen anhand der definierten Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten.

7 Hersteller- und branchenunabhängige Modellierungsvorgaben für Maschinen sowie Modellierungsebenen für die Modellierungsvorgaben

An die vorausgehende Definition des Automatisierungskomponentenmodells schließt sich in diesem Kapitel die Detaillierung des in der mechatronischen Grundstruktur eingeführten Maschinenmodells (Bild 7.1) an. Ziel ist dabei die Erfüllung der Anforderungen nach Kap. 3.1 sowie der zusätzlichen Anforderungen in Bezug auf die Modellierungsvorgaben für Maschinen nach Kap. 3.3. Um weiterhin die Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten und Maschinen nach den geforderten Modellierungsprinzipien der Softwaretechnik und damit entsprechend der Anforderungen aus Kap. 3.1 zur Verfügung stellen zu können werden anschließend hierarchische Modellierungsebenen definiert. Im Fokus steht dabei außerdem die Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben von verschiedenen Branchen und Herstellern zu gewährleisten.

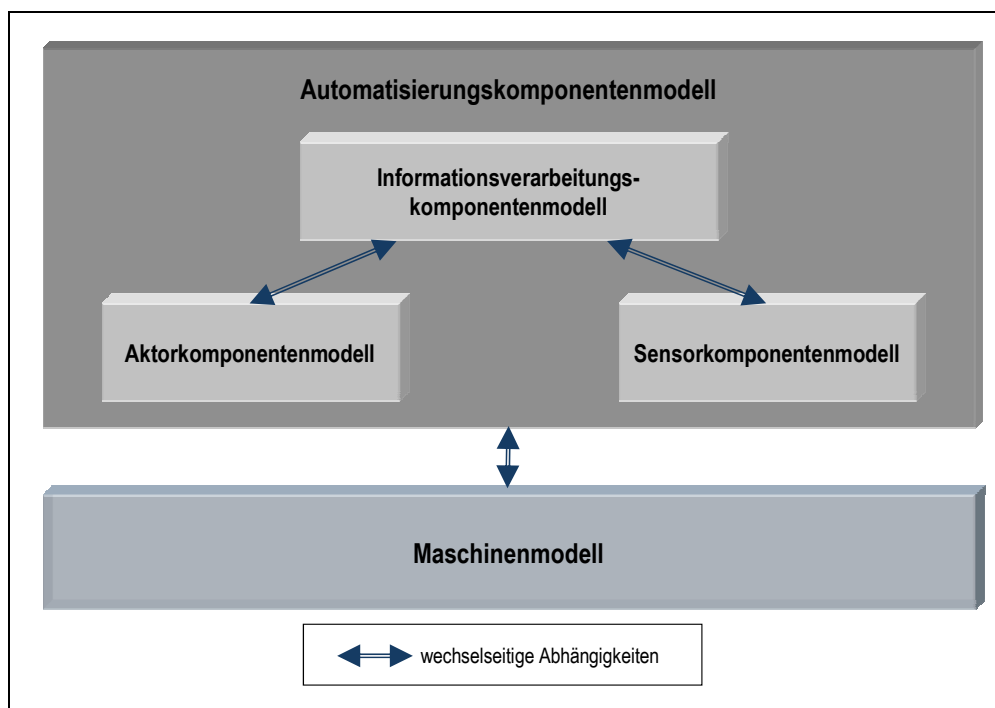


Bild 7.1 Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell (Bild 5.12)

7.1 Branchenunabhängiges Maschinenmodell

Zur Modellierung von Maschinen mithilfe der zuvor eingeführten mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12) ist ein Maschinenmodell zu definieren, welches gemäß

Kap. 3.1 branchenunabhängig für Maschinen aus dem Bereich Fabrikautomatisierung einsetzbar ist. Dazu wird nach der Betrachtung von Modellierungstiefen für Maschinenmodelle eine branchenunabhängige Struktur für Maschinen festgelegt. Weiterhin folgt gemäß Kap. 3.3 die Abbildung dieser Maschinenstruktur sowie der zugehörigen Schnittstellen zum Automatisierungskomponentenmodell in einem nach Kap. 3.1 rechnergestützt verarbeitbaren Maschinenmodell.

7.1.1 Definition der Modellierungstiefe im Maschinenmodell

Der Einstieg in das mechatronische Engineering ist für Maschinenhersteller ohne Modellierungsvorgaben mit einem hohen Aufwand für das Unterteilen und Untergliedern von Maschinen in jeweils geeignete Maschinenstrukturebenen und -elemente verbunden (vgl. Kap. 1.2). Dazu müssen Maschinenstrukturen festgelegt werden, welche von allen involvierten Fachdisziplinen akzeptiert und eingehalten werden. Wichtig ist daher die eindeutige Definition von Grenzen für Maschinenstrukturebenen.

Die im Stand der Technik aufgezeigten Informationsmodelle für Maschinen (Kap. 4.2.3 und 4.3) sind branchenspezifisch fokussiert. Zugehörige Modellierungstiefen, d. h. die Granularität der zugehörigen Maschinenstrukturebenen, dieser Maschinenmodelle variieren teilweise stark. Theoretisch können mehr als zehn Maschinenstrukturebenen in einem Maschinenmodell eingeführt werden. Das bedeutet Hersteller komplexer Sondermaschinen wählen beispielsweise eine wesentlich höhere Anzahl an Maschinenstrukturebenen als Hersteller von Serienmaschinen. Damit einhergehend ist die Forderung nach Flexibilität hinsichtlich modellierbarer Maschinenstrukturen (Kap. 3.3). Modellierungstiefen für Maschinenmodelle sind abhängig von:

- Art und Typ der Maschine (z. B. Sondermaschine, Serienmaschine)
- Branchen (z. B. Autoindustrie, Verpackungsindustrie, Zeitungsdruckmaschinen)
- Prozessen (z. B. Engineeringprozessen, PLM-Prozessen)
- Standards (z. B. Normen, Kunden- und Werkstandards)
- Organisationsstrukturen (z. B. Historie, Firmenkultur)

Die Anzahl an Maschinenstrukturebenen in einem Maschinenmodell lässt sich somit nicht branchenunabhängig festlegen. Daher muss die Modellierungstiefe im Maschinenmodell jeweils maschinenspezifisch vom Maschinenhersteller variabel nachgebildet werden können. Variable Modellierungstiefen sind somit grundlegend für die nachfolgende Auswahl von Maschinenstrukturen.

7.1.2 Festlegung einer branchenunabhängigen Maschinenstruktur

Bestehende Maschinenmodelle sowie zugehörige standardisierte Maschinenstrukturen (Bild 7.2) variieren anwendungsspezifisch stark (Kap. 4.2.2 und 4.2.3). Diese Varianz ist dabei von identischen Faktoren abhängig, wie die Variation der Modellierungstiefen für Maschinenmodelle (vgl. Kap. 7.1.1).

Strukturierungsprinzip Kriterium	Mechanische Struktur	Elektrische Struktur	Softwarestruktur	Dokustruktur	Nichttech. Struktur	Funktionsstruktur
Hierarchisierbare Struktur	●◐	○	●	○	●◐	●◐
Unterstützt funktionales Engineering	●◐	●◐	●◐	○	○	●
Unabhängigkeit von Fachdisziplinen	○	○	○	●◐	●◐	●
Erweiterbarkeit der Struktur	●◐	●◐	●	●◐	●◐	●◐
Unabhängigkeit von Branchen/Herstellern	●◐	●◐	●◐	●◐	●◐	●
Flexibilität hinsichtlich Maschinenstrukturen	○	●◐	●◐	●	●◐	●

Doku..Dokumentation Nichttech..nichttechnische

● erfüllt ●◐ bedingt erfüllt ○ nicht erfüllt

Bild 7.2 Vergleich von Strukturierungsprinzipien (Kap. 2.3.1) für Maschinen

Bei der Gegenüberstellung möglicher Strukturierungsprinzipien für Maschinen (Bild 7.2) weist die Funktionsstruktur aufgrund ihres modularen und disziplinunabhängigen Aufbaus im Vergleich den höchsten Erfüllungsgrad in Bezug auf die gestellten Anforderungen von Kap. 3.1 und Kap. 3.3 auf. Die übrigen Strukturierungsprinzipien erfüllen die Forderungen nach Unabhängigkeit von Fachdisziplinen oder Branchen nur bedingt. Somit bildet die Funktionsstruktur die Grundstruktur für das branchenunabhängige

Maschinenmodell. Für dieses Maschinenmodell gilt, dass die Gesamtfunktion, d.h. die Gemeinsamkeit aller Funktionen einer Maschine, für die Summe aller Teilfunktionen der einzelnen Maschinenstrukturelemente einer Maschine steht (Kap. 2.2.3).

Die verbleibenden disziplinspezifischen Maschinenstrukturen in Bild 7.2 sind jedoch für die einzelnen Fachdisziplinen jeweils von großer Bedeutung. Daher müssen diese im Maschinenmodell als untergeordnete Strukturen der branchenübergreifenden Maschinenstruktur abgebildet werden können. Nachfolgend sind die erarbeiteten Zusammenhänge für branchenunabhängige Maschinenstrukturen anforderungsgemäß in einer im Rechner zu verarbeitenden Form gemäß Kap. 3.1 zu modellieren.

7.1.3 Herleitung des branchenunabhängigen Maschinenmodells

Den zuvor in Kap. 7.1.1 und Kap. 7.1.2 erarbeiteten Grundlagen zur Definition eines branchenunabhängigen Maschinenmodells folgt nun die Herleitung zur objektorientierten Modellierung des Maschinenmodells. Ziel ist dabei die Definition eines im Rechner verarbeitbaren, möglichst flexiblen Maschinenmodells, welches die erforderliche disziplinübergreifende sowie branchenunabhängige Modellierung gemäß Kap. 3.1 erfüllt. Dafür sind ebenfalls die erarbeiteten Festlegungen zu Modellierungstiefen aus Kap. 7.1.1 und zu Maschinenstrukturen aus Kap. 7.1.2 abzubilden. Weiterhin sind die Erweiterbarkeit der Maschinenstruktur nach Kap. 3.1 sowie die Möglichkeit zur flexiblen Abbildung verschiedener Maschinen nach Kap. 3.3 sicherzustellen. Die Modellierung des Maschinenmodells teilt sich dazu in zwei Abschnitte auf. In diesen werden zunächst die Maschinenstrukturen anhand von Maschinenstrukturebenen und anschließend die Baugruppen der Maschine mit Hilfe von Maschinenstrukturelementen (Kap. 2.3.2) modelliert.

Um die flexible Untergliederung einer Maschinen in variable Modellierungstiefen für unterschiedliche Maschinen gemäß Kap. 7.1.1 mit der Funktionsstruktur als Hauptstruktur nach Kap. 7.1.2 zu ermöglichen, wird die Klasse **Maschinenstrukturebene** (Bild 7.3) definiert. Beliebige Maschinenstrukturen sowie -typen können anhand der eingeführten Kompositionsbeziehung dieser Klasse mit sich selbst modelliert werden. Als Beispiel ist in Bild 7.3 die Untergliederung in die Maschinenstrukturebenen System, Funktionsgruppe und Funktionselement in Anlehnung an DIN 40150 /39/ abgebildet.

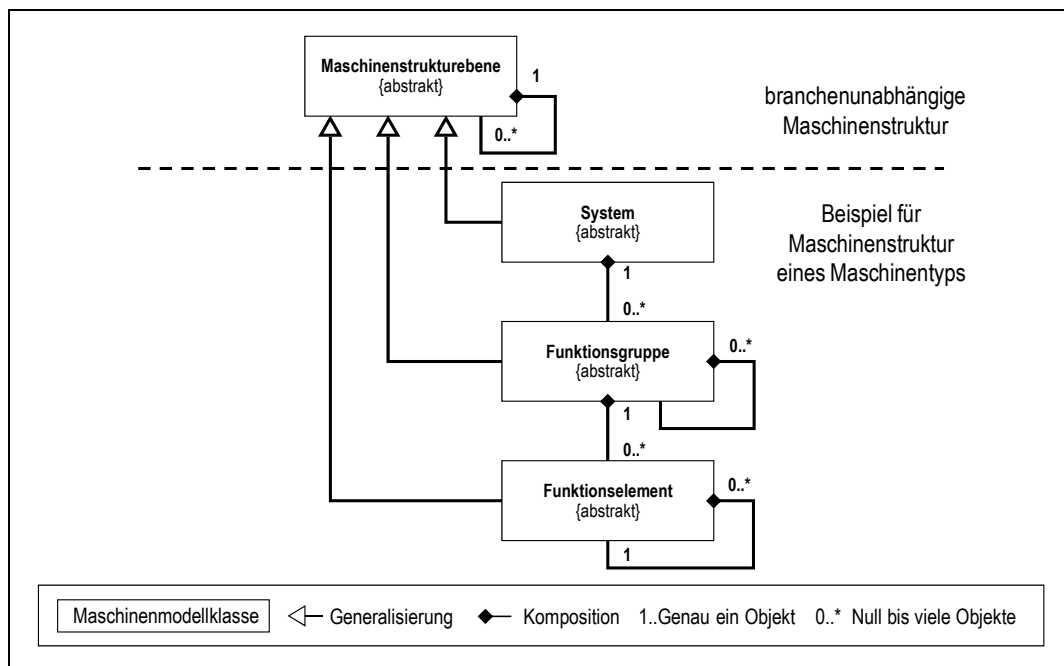


Bild 7.3 Objektorientierte Klassenstruktur zur Modellierung der branchenunabhängigen Maschinenstrukturen sowie Beispiel für eine Maschinenstruktur in Anlehnung an DIN 40150 /39/

Zur Anbindung der zuvor definierten Modelle für Automatisierungskomponenten aus Kap. 6 an die Maschinenstrukturebenen ist die Definition für Maschinenstrukturelemente aus Kap. 2.3.2 entsprechend zu erweitern. Bei der Kombination mehrerer Baugruppen zu Maschinenstrukturelementen muss zur Berücksichtigung der Anforderungen nach durchgängigen Modellierungsvorgaben für alle Fachdisziplinen (Kap. 3.1) eine Unterscheidung in **disziplinspezifische** sowie **disziplinübergreifende Baugruppen** erfolgen (Bild 7.4). Somit lässt sich sicherstellen, dass sowohl disziplinspezifische als auch disziplinübergreifende Sichten der einzelnen Fachdisziplinen im Informationsmodell entsprechend abgebildet werden können.

Disziplinspezifische Baugruppen sind Bestandteile einer Maschine, die für diverse Funktionen benötigt werden jedoch im Engineeringprozess aufgrund der disziplinspezifischen Eigenschaften nur von der jeweiligen Fachdisziplin in die Maschine integriert werden können. Beispiele für disziplinspezifische Baugruppen, eingeteilt anhand der jeweils zugehörigen Fachdisziplinen, sind:

- mechanisch: Maschinenelemente /5/ wie z. B. Verbindungselemente, Gehäuse sowie hydraulische und pneumatische Rohrleitungen

- elektrisch: elektrische Bauelemente wie z. B. Kabel, Sicherungen und Stromversorgungen
- softwaretechnisch: Softwaremodule wie z. B. Datenbanken, Benutzeroberfläche und Fehlerbehandlungen

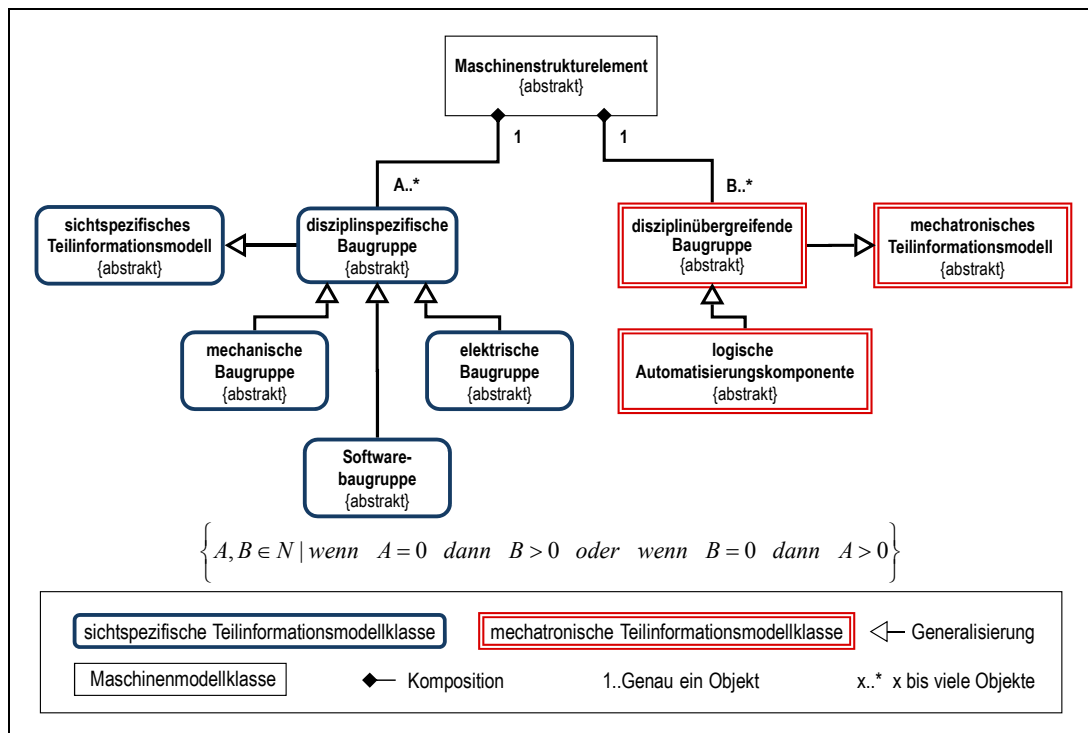


Bild 7.4 Schnittstellen einer Maschine zum Automatisierungskomponentenmodell (Kap. 5.3.3)

Disziplinübergreifende Baugruppen hingegen müssen während des Engineeringprozesses wegen der zugehörigen disziplinübergreifenden Eigenschaften jeweils von mehreren Fachdisziplinen gemeinsam in die Maschine integriert werden. Neben Automatisierungskomponenten gibt es folgende disziplinübergreifende Baugruppen, nachfolgend beispielhaft mit den jeweils zugehörigen Fachdisziplinen in Klammern aufgeführt:

- Installationsbaugruppen wie z. B. Schaltschränke, Kabeldurchführungen und -schächte (Mechanik und Elektrotechnik)
- Sicherheitstechnik wie z. B. Notastaster, Lichtschranken und Schalter für Sicherheitsbereiche (Mechanik, Elektrotechnik und Software)

Zur Abbildung disziplinspezifischer und -übergreifender Baugruppen sind demnach die Klassen disziplinspezifische Baugruppe, disziplinübergreifende Baugruppe (Bild 7.4) sowie die Klasse **Maschinenstrukturelement** zur Kombination beider Arten von Baugruppen einzuführen. Mithilfe dieser Klassen lassen sich jeweils einzelne Baugruppen oder über die Klasse **Maschinenmodule** (Bild 7.5) vereint mehrere disziplinspezifische sowie -übergreifende Baugruppen modellieren. Maschinenstrukturelemente können sich aus disziplinspezifischen und disziplinübergreifenden Baugruppen zusammensetzen. Hierbei gilt jedoch, dass Maschinenstrukturelemente mindestens eine disziplinspezifische oder eine disziplinübergreifende Baugruppe enthalten müssen um als Bestandteil einer Maschine zu fungieren (vgl. Kompositionsbeziehung der Klasse Maschinenstrukturelement zu den Klassen disziplinspezifische und disziplinübergreifende Baugruppe in Bild 7.4).

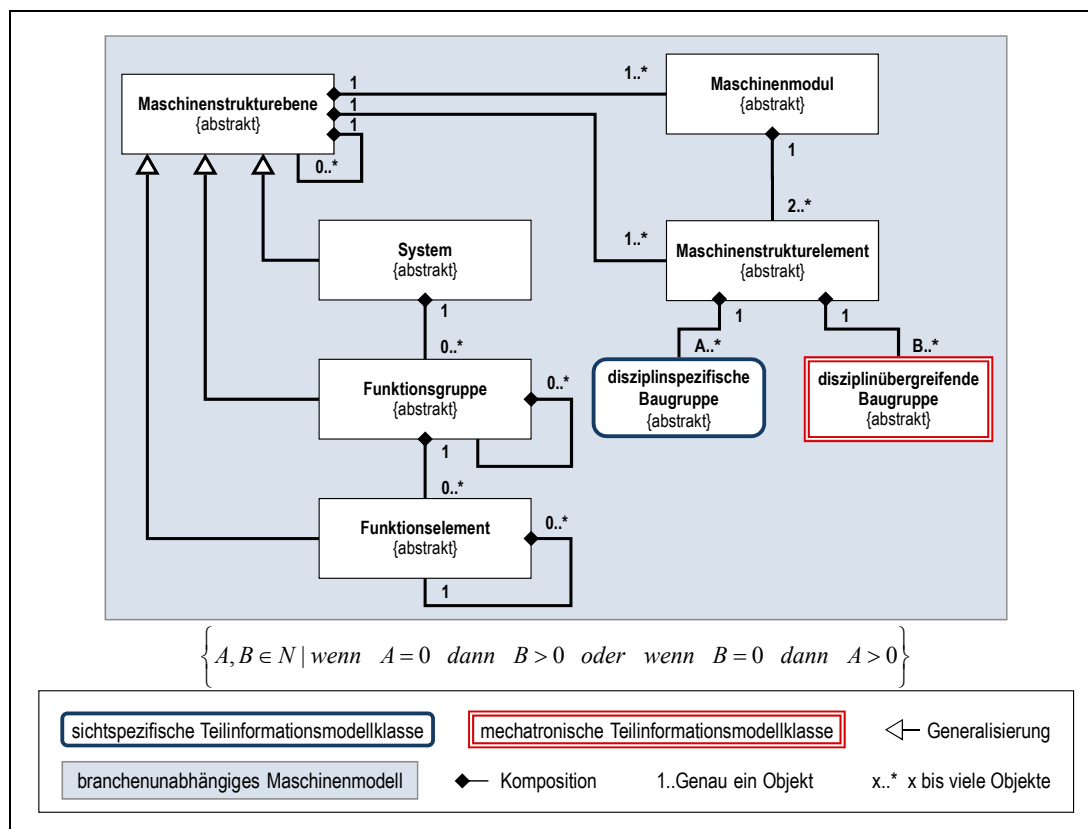


Bild 7.5 Zusammenhang zwischen Maschinenstrukturebenen und -elementen

Als weitere Abstraktion zwischen den zuvor definierten Klassen mechatronisches Teilinformationsmodell und logische Automatisierungskomponente (Bild 5.9) wird zusätzlich die Klasse disziplinübergreifende Baugruppe (Bild 7.4) eingeführt. Begründung hierfür ist die Realisierung der Erweiterbarkeit der Modellierungsvorgaben um zusätz-

liche Informationsmodelle für Maschinen. Der Zusammenhang zwischen Maschinenstrukturebenen und Maschinenstrukturelementen ergibt sich aus der zugehörigen Grunddefinition nach Kap. 2.3.2. Die Klasse Maschinenstrukturelement sowie die Klasse Maschinenmodul werden daher entsprechend per Kompositionsbeziehung mit der Klasse Maschinenstrukturebene verbunden (Bild 7.5) und bilden zusammen mit den Klassen für die Baugruppen das branchenunabhängige Maschinenmodell.

Die einzelnen Maschinenstrukturelemente und -module erfüllen als Bestandteile von Maschinenstrukturebenen wiederkehrend gleiche Teilfunktionen. D. h. sie können jeweils unabhängig von verschiedenen Maschinentypen vordefiniert werden. Die Maschinenmodule fassen dabei jeweils entsprechende Baugruppen zur Erfüllung erforderlicher Teilfunktionen zusammen. Vordefinierte Maschinenstrukturelemente und -module können damit gemäß Kap. 3.3 flexibel in verschiedene Maschinentypen integriert werden. Nach der Definition des branchenunabhängigen Maschinenmodells sind abschließend die Schnittstellen zwischen Maschinen und Automatisierungskomponenten entsprechend der mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12) abzubilden.

7.1.4 Definition von Schnittstellen zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell

Zur Anbindung des in Kap. 6 erarbeiteten Automatisierungskomponentenmodells an das in Kap. 7.1.3 entwickelte Maschinenkomponentenmodell müssen gemäß der Anforderung nach Schnittstellen zwischen den Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten aus Kap. 3.3 diese Schnittstellen definiert werden. Analog zur mechatronischen Modellierung von Automatisierungskomponenten (Kap. 6.1.1, Kap. 6.2.1 und Kap. 6.3.1) lassen sich die Schnittstellen einer Maschine in der mechatronischen Grundstruktur (Bild 5.12) mit Hilfe von Flüssen abbilden (Bild 7.6).

Eine Maschine weist, neben äußeren Flüssen (Kap. 5.3.3) zur Umgebung, Informations- und Energieflüsse als Schnittstellen zu Automatisierungskomponenten auf (Bild 7.6). Diese inneren Flüsse werden in eingehende und damit von Aktoren (Kap. 6.1) geprägte sowie in ausgehende und somit von Sensoren (Kap. 6.2) aufgenommene Flüsse unterschieden. Maschinen werden als Regelstrecke /45/ mithilfe der internen Flüsse über Automatisierungskomponenten rückgekoppelt. Analog zur Definition der Gesamtfunktion in Kap. 7.1.2 integriert eine Maschine somit mehrere, zu einzelnen Teilfunktionen

gehörige, Regelstrecken, welche jeweils durch einzelne Automatisierungskomponenten rückgekoppelt werden. D. h. im Maschinenmodell sind jeweils mehrere Schnittstellen zum Automatisierungskomponentenmodell in Form von eingehenden sowie ausgehenden Informations- und Energieflüssen abzubilden. Die Zusammenhänge der äußeren Flüsse von und zur Maschine wurden bereits in Kap. 5.3.3 betrachtet und sind daher nicht Bestandteil der folgenden Modellierung.

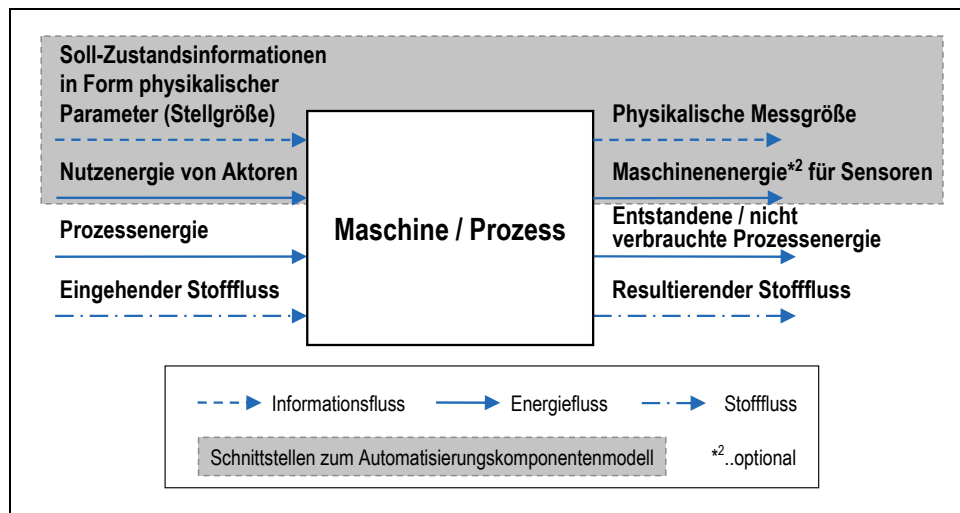


Bild 7.6 Schnittstellen einer Maschine zum Automatisierungskomponentenmodell (Kap. 5.3.3)

Grundlage der objektorientierten Modellierung für Schnittstellen zwischen Automatisierungskomponenten und einer Maschine bilden die zuvor im Automatisierungskomponentenmodell erarbeiteten Softwareschnittstellen (Bild 7.7). D. h. die Softwareschnittstellen der einzelnen Automatisierungskomponenten, festgelegt im Actor-, Sensor- und Informationsverarbeitungskomponentenmodell (Kap. 6.1.5, Kap. 6.2.4 und Kap. 6.3.4), ermöglichen durch Anbindung an das Maschinenmodell die erforderliche Verbindung zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell (Kap. 3.3). Durch die Softwareschnittstellen lassen sich, ohne Bindung an die definierten Vererbungsstrukturen, Kompatibilitäten und Abhängigkeiten zwischen Maschinenstrukturebenen und -elementen spezifizieren. Automatisierungskomponenten können damit über definierte Softwareschnittstellen flexibel mit den gewählten Maschinenstrukturebenen verbunden werden. Um die erforderlichen Zusammenhänge zwischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodellen zu modellieren, sind dazu nach Abbildung einer anwendungsbezogenen Maschinenstruktur die notwendigen Automatisierungskomponenten über die erarbeiteten Softwareschnittstellen mit den jeweiligen

Maschinenstrukturebenen zu verknüpfen. Diese Verknüpfung ist beispielhaft in Bild 7.7 aufgezeigt. Zur Übersichtlichkeit wurden die abgeleiteten Softwareschnittstellen der Klassen I_Aktor und I_Sensor (Kap. 6.1.5 und Kap. 6.2.4) nicht in Bild 7.7 dargestellt.

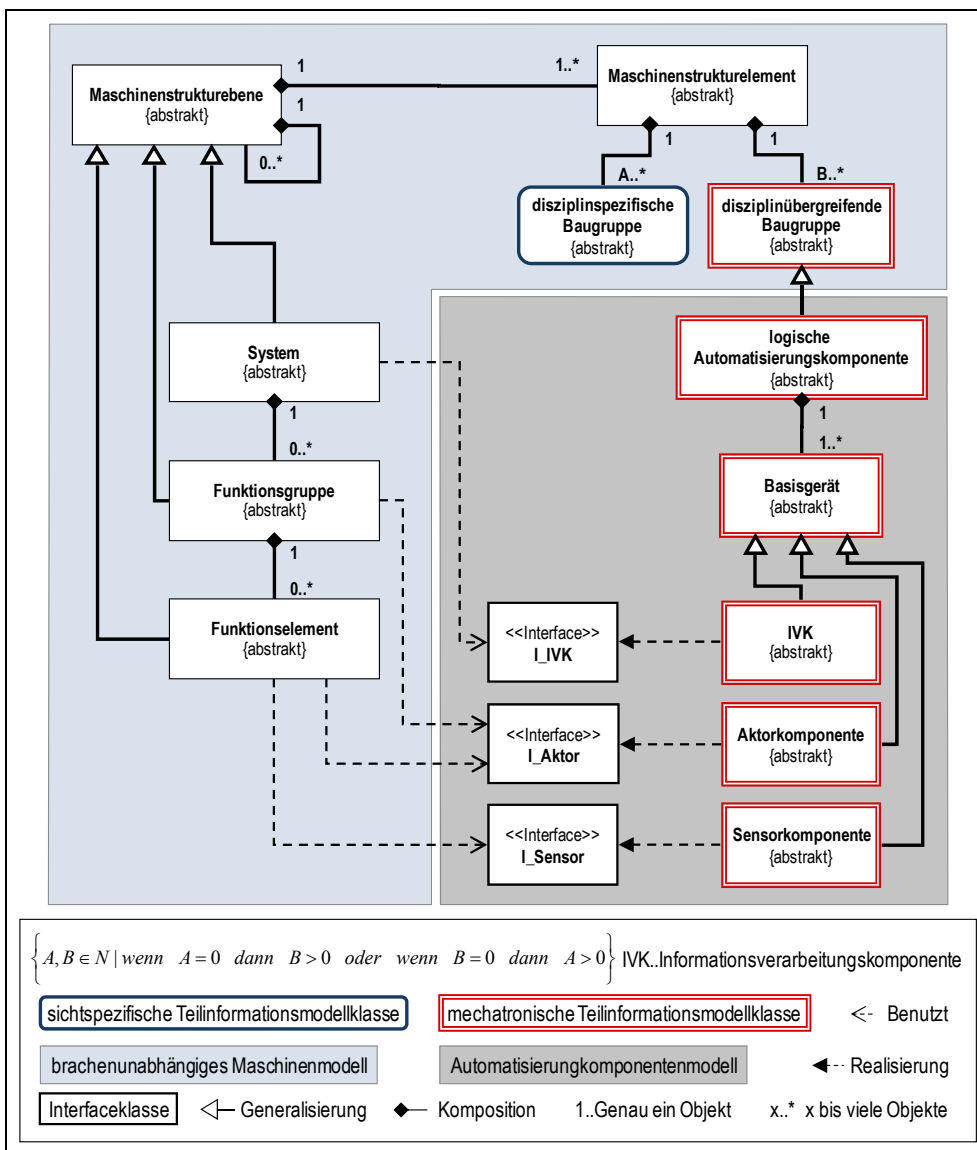


Bild 7.7 Objektorientierte Modellierung der Schnittstellen zwischen brachenunabhängigem Maschinenmodell und Automatisierungskomponentenmodell

Automatisierungskomponenten realisieren Schnittstellen, die den zuvor zu definierenden Maschinenstrukturebenen zugeordnet werden können. Das heißt für die einzelnen Maschinenstrukturebenen wird definiert welche Kategorie von Automatisierungskomponenten auf der jeweiligen Ebene verwendet werden darf. Hierüber lässt sich für jede Kategorie von Automatisierungskomponenten eine eindeutige Zuordnung zu einer

oder mehreren Maschinenstrukturebenen in der Maschine vornehmen. So können Aktoren beispielsweise auf den Maschinenstrukturebenen Funktionsgruppe und Funktionselement in die Maschine integriert werden, Sensoren bzw. Informationsverarbeitungskomponenten hingegen jeweils exklusiv auf den Maschinenstrukturebenen Funktionselement bzw. System. Die in Bild 7.7 eingezeichnete Kompositionsbeziehung zwischen Informationsverarbeitungskomponenten und Maschinen ist in der mechatronischen Grundstruktur nicht vorgesehen. Diese Kompositionsbeziehung wird eingeführt, um die örtliche Zuordnung der einzelnen Informationsverarbeitungskomponenten zu Maschinenstrukturebenen abbilden zu können. Nach der Modellierung des branchenunabhängigen Maschinenmodells und der entsprechenden Schnittstellen folgt abschließend die Einführung von Modellierungsebenen zur Bereitstellung der Informationsmodelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen für die Nutzung durch Maschinen- und Komponentenhersteller.

7.2 Hierarchische Modellierungsebenen für Modellierungsvorgaben

Der hersteller- und branchenunabhängigen Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen folgt die Definition hierarchischer Modellierungsebenen gemäß der in Kap. 3.1 geforderten Modellierungsprinzipien. Ziel ist die Bereitstellung der zuvor definierten, unabhängigen Modellierungsvorgaben für die Nutzung durch Maschinen- und Komponentenhersteller. Aufgrund der in Kap. 4.1.3 und Kap. 4.1.4 herausgearbeiteten Vorteile soll dazu die objektorientierte Modellierung herangezogen werden. In Anlehnung an die MOF Architektur aus Kap. 4.1.3 ist dazu eine Hierarchie zu definieren, die die Ableitung der zuvor abstrakt definierten Klassen für die hersteller- und maschinentypspezifische Modellierung (nachfolgend synonym als spezifische Modellierung bezeichnet) konkreter Maschinen erlaubt sowie eine Trennung zwischen unabhängiger und spezifischer Modellierung realisiert. Folglich werden im Weiteren vier hierarchische Modellierungsebenen definiert sowie der Aufbau und die zugehörigen Zusammenhänge dieser Modellierungsebenen erarbeitet.

7.2.1 Spezifikation der Meta-Meta Modellierungsebene

Die Meta-Meta Modellierungsebene als oberste der zu erarbeitenden Modellierungsebenen (Bild 4.1) spezifiziert die Architektur für die objektorientierte Modellierung

(Kap. 2.1.1). Diese Modellierungsebene legt, analog einer objektorientierten Programmierumgebung, die Grundlagen zur objektorientierten Modellierung von realen Gegenständen fest. Daher werden hier neben dem allgemeinen Aufbau von Klassen und deren Attributen, die Zusammenhänge und Schnittstellen von Klassen definiert. D. h. hier wird das in Kap. 5.1.3 definierte objektorientierte Informationsmodell zur Abbildung der mechatronischen und disziplinspezifischen Teilinformationsmodelle implementiert. Die zugehörigen Informationsmodelle sind abstrakt definiert und enthalten daher keine herstellerspezifischen oder anwendungsbezogenen Eigenschaften.

Analog der Zusammenhänge in der MOF Architektur (Kap. 4.1.3) bauen die einzelnen Modellierungsebenen (Bild 4.1 und Bild 7.8) aufeinander auf und definieren für die jeweils darunterliegenden den Rahmen der Modellierung. Die Meta-Meta Modellierungsebene definiert dementsprechend die notwendigen Grundstrukturen und Zusammenhänge aller folgenden Modellierungsebenen. Vorteil dieser Herangehensweise ist die Portierbarkeit der so entstehenden, gemäß Kap. 3.1 rechnergestützt verarbeitbaren, Informationsmodelle auf alle, die Objektorientierung unterstützenden, mechatronischen Engineeringwerkzeuge (vgl. Kap. 4.3.1).

7.2.2 Einführung der abstrakten Modellierungsebene

Als nachfolgende Modellierungsebene wird die abstrakte Modellierungsebene eingeführt um die, in den Kap. 6 sowie Kap. 7.1 definierten hersteller- und branchenunabhängigen, Modelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen (Bild 7.8) abzubilden. Diese Modellierungsebene enthält, wie die Meta-Meta Modellierungsebene (Kap. 7.2.1), ausschließlich abstrakte Klassen und -strukturen. Diese Klassen bauen auf den abstrakten Klassen des objektorientierten Informationsmodells nach Kap. 5.1.3 auf. Mithilfe dieser Klassen lässt sich eine übergeordnete Struktur definieren, die Regeln und Grenzen für die Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinen vorgibt und somit als Modellierungsvorgabe dient. Die Modellierung kann dadurch hersteller- und branchenunabhängig erfolgen und trotzdem konkrete Vorgaben (z. B. Attribute) für die in Maschinen bestehenden Zusammenhänge (vgl. Bild 7.7) enthalten.

Aufgabe der abstrakten Modellierungsebene ist die Bereitstellung von Modellierungsvorgaben, d. h. sowohl funktional als auch strukturell, in einer objektorientierten Klassenstruktur in Form von Beziehungen und Zusammenhängen für Automatisierungs-

komponenten und Maschinen. Hierbei erfolgt aufgrund der Forderung gemäß Kap. 3.1 nach Unabhängigkeit der Modellierungsvorgaben keine Festlegung auf einzelne Komponentenhersteller, Maschinentypen oder Branchen. Auf der abstrakten Modellierungsebene werden dazu das in Kap. 6 definierte, herstellerunabhängige Automatisierungskomponentenmodell und das in Kap. 7.1 definierte, branchenunabhängige Maschinenmodell implementiert (Bild 7.8). Diese unabhängigen Modellierungsvorgaben bilden damit die Vorgabe zur Modellierung spezifischer Automatisierungskomponenten und Maschinenstrukturen auf den nachfolgenden Modellierungsebenen.

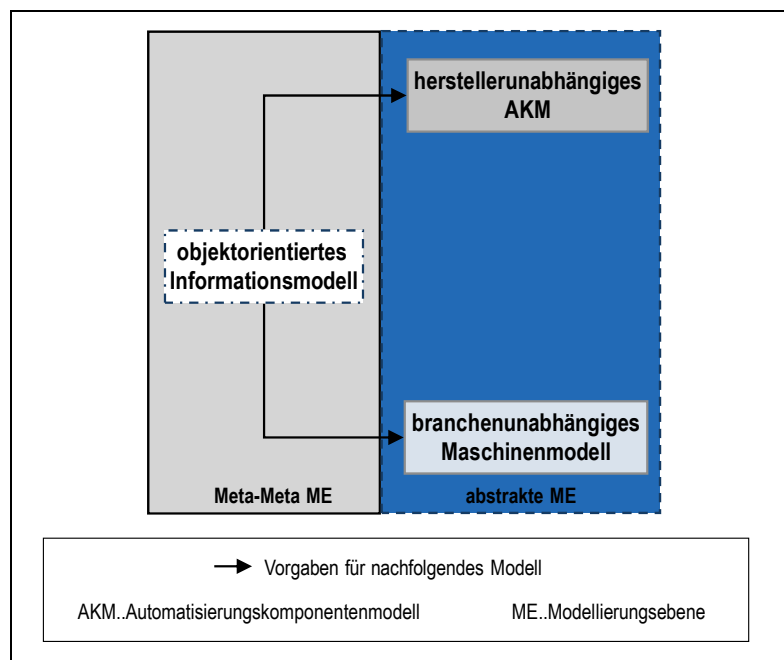


Bild 7.8 Zusammenhang zwischen Meta-Meta und abstrakter Modellierungsebene

7.2.3 Herleitung der konkreten Modellierungsebene

Ziel der herzuleitenden konkreten Modellierungsebene ist die Abbildung konkreter Automatisierungskomponenten und Maschinen unter Verwendung der entwickelten unabhängigen Modellierungsvorgaben. Dazu sind die Klassen der abstrakten Modellierungsebene (Kap. 7.2.2), entsprechend der zugehörigen Klassenstrukturen, abzuleiten. Die daraus resultierenden Klassen sind nicht mehr abstrakt definiert, sondern instanzierbar. Die konkrete Modellierungsebene ermöglicht damit die durchgängige Abbildung konkreter Typen von Automatisierungskomponenten und Maschinen mit zugehörigen Eigenschaften sowie Konfigurationsmöglichkeiten. D. h. auf dieser

Modellierungsebene erfolgt die Modellierung herstellerspezifischer Automatisierungskomponentenmodelle und maschinentypspezifischer Maschinenmodelle (Bild 7.9).

Komponentenhersteller können somit auf der konkreten Modellierungsebene jeweils herstellerspezifische Modelle für ihre Automatisierungskomponenten mit Hilfe der, auf den übergeordneten Modellierungsebenen (Bild 7.9) spezifizierten, Modellierungsvorgaben definieren. Dazu werden die Daten der verschiedenen Automatisierungskomponenten, z. B. in Form von Spezifikationen und disziplinspezifischen Informationsmodellen (Kap. 4.2.1), nach Bild 5.6 in abgeleiteten Klassen hinterlegt. Abgebildet werden dabei entsprechend Kap. 5.1 und Kap. 5.2 jeweils Funktionsumfang und Eigenschaften der einzelnen Automatisierungskomponenten.

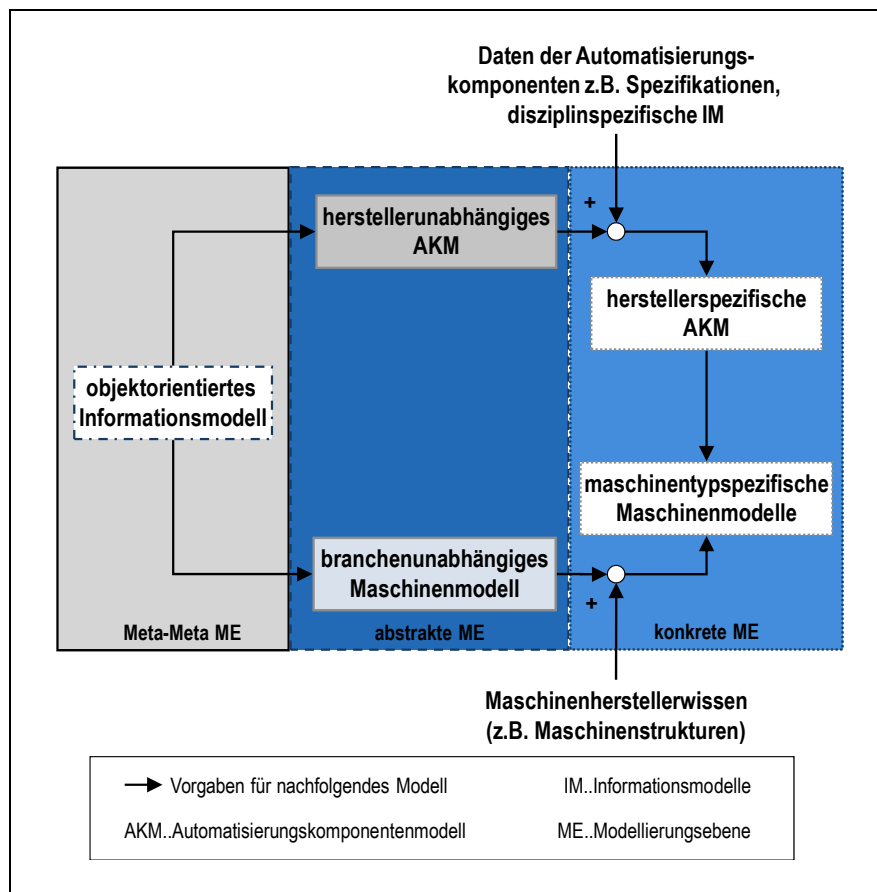


Bild 7.9 Zusammenhang zwischen abstrakter und konkreter Modellierungsebene

Maschinenhersteller hingegen können auf der konkreten Modellierungsebene ihr vorhandenes firmenspezifisches Wissen in Form von Maschinenstrukturen und maschinentypspezifischen Maschinenmodellen modellieren (Bild 7.9). D. h. neben einer grundlegenden Maschinenstruktur, die allen Maschinen eines Maschinenherstellers

gemeinsam ist, können hier spezifische Maschinenstrukturebenen und -elemente für verschiedene Maschinentypen hinterlegt werden. Beispielsweise eine Maschinenstruktur für verschiedene Arten von Verpackungsmaschinen bildet die grundlegende Maschinenstruktur für den Maschinentyp Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5).

Die Konfiguration neuer, anwendungsbezogener Maschinentypen kann sowohl durch die Verwendung bereits abgebildeter maschinentypabhängiger und -unabhängiger Modelle, als auch durch die Modellierung weiterer Maschinenelemente und -strukturebenen mithilfe der Modellierungsvorgaben erfolgen. Ziel ist die Modellierung möglichst aller denkbaren Optionen eines Maschinentyps, um flexibel auf Kundenanforderungen reagieren zu können. Weiterhin legt der Maschinenhersteller hier die Zusammenhänge zwischen den herstellerspezifischen Automatisierungskomponentenmodellen der Komponentenhersteller und seinen maschinentypspezifischen Maschinenmodellen fest (Kap. 7.1.4). Dies erfolgt, wie beispielhaft in Bild 7.7, dargestellt durch die Zuordnung von Automatisierungskomponenten verschiedener Kategorien (Kap. 2.4) zu den definierten Maschinenstrukturebenen maschinentypspezifischer Maschinenstrukturen.

Nach der Einführung der konkreten Modellierungsebene zur Modellierung der Typen von Automatisierungskomponenten und Maschinen folgt abschließend die projektbezogene Modellierung von Maschinen. Zur Erstellung dieser Modelle wird im Folgenden die vierte und letzte Modellierungsebene definiert und abgegrenzt.

7.2.4 Definition der realen Modellierungsebene

Die reale Modellierungsebene (Bild 7.10) dient Maschinenherstellern zur auftragsbezogenen Projektierung von Maschinenmodellen für Kunden z. B. einer Schlauchbeutelmaschine (Bild 2.5) zur Verpackung von Schrauben. Diese Modellierungsebene wird definiert, um das Modellieren von kundenspezifisch zu bauenden Maschinen und die Abbildung der zugehörigen Automatisierungskomponenten zu ermöglichen. Dazu werden die jeweils notwendigen Eigenschaften und Abhängigkeiten anhand der, auf der übergeordneten konkreten Modellierungsebene (Kap. 7.2.3) spezifizierten, Modellierungsvorgaben konfiguriert und parametrisiert (Bild 7.10).

Das Informationsmodell einer zu bauenden Maschine ist mithilfe der hersteller- und maschinentypspezifischen Modelle für Automatisierungskomponenten und Maschinen

Auf der realen Modellierungsebene werden somit, im Gegensatz zu den übergeordneten Modellierungsebenen, weder neue Klassen noch zusätzliche Strukturen definiert, sondern die vorhandenen instanziiert und verwendet. Die zugehörigen Abhängigkeiten werden in den spezifizierten Klassenstrukturen konfiguriert und die Instanzen der einzelnen Maschinenbestandteile werden parametrisiert. D. h. auf der realen Modellierungsebene werden die von den Komponenten- und Maschinenherstellern als disziplinspezifische Teilmodelle hinterlegten Eigenschaften und Zusammenhänge mit projektbezogenen Daten verknüpft und damit zu einem realen Maschinenprojekt komplettiert. Ergebnis sind die Engineeringunterlagen für den Bau der Maschine.

7.3 Zusammenfassung der Definitionen zum branchenunabhängigen Maschinenmodell und hierarchischen Modellierungsebenen

Im vorliegenden Kapitel wurden nach der Definition eines branchenunabhängigen Maschinenmodells hierarchische Modellierungsebenen (Bild 7.10) zur Bereitstellung der erarbeiteten Modellierungsvorgaben eingeführt. Dabei wurden, neben grundlegenden Querschnittsanforderungen aus Kap. 3.1, die zusätzlichen Anforderungen in Bezug auf Modellierungsvorgaben für Maschinen (Kap. 3.3) erfüllt.

Dementsprechend erfolgte die Detaillierung des in der mechatronischen Grundstruktur eingeführten Maschinenmodells (Bild 7.1) in einem disziplin- und branchenunabhängigen Maschinenmodell, welches zur Abbildung von Maschinen verschiedener Branchen einsetzbar ist. Nach der Betrachtung von Modellierungstiefen (Kap. 7.1.1) für Maschinen wurde dazu die Funktionsstruktur als branchenunabhängige Struktur ausgewählt (Bild 7.2). Abschließend folgte die Abbildung der Maschinenstrukturen (7.1.3) in einer im Rechner verarbeitbaren Form. D. h. es wurde ein objektorientiertes Informationsmodell sowie die Definition zugehöriger Schnittstellen zum Automatisierungskomponentenmodell (Kap. 7.1.4) erarbeitet. Damit einhergehend wurden Maschinenstrukturebenen sowie Maschinenstrukturelemente zur Abbildung von Maschinenstrukturen und Baugruppen für Maschinen definiert.

Im Anschluss an die Modellierung des branchenunabhängigen Maschinenmodells erfolgte die Definition hierarchischer Modellierungsebenen zur Bereitstellung der Modellierungsvorgaben aus dem Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodell für Komponenten- und Maschinenhersteller. Dazu wurde eine Hierarchie von vier

Modellierungsebenen (Bild 7.10) in Anlehnung an die MOF Architektur (Kap. 4.1.3) entwickelt, die eine Trennung zwischen der disziplin- und branchenunabhängigen sowie der hersteller- und maschinentypspezifischen Modellierung realisiert. Mit den hierarchischen Modellierungsebenen lassen sich Modelle für konkrete Automatisierungskomponenten und Maschinen abbilden, miteinander kombinieren und wiederverwenden. Beispiele für eine detaillierte Modellierung mit den definierten Modellierungsvorgaben und -ebenen folgen im anschließenden Realisierungskapitel.

8 Realisierung und Verifikation

Die erarbeiteten Modellierungsvorgaben (Kap. 5 - Kap. 7) wurden bei der Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine erprobt. Hierfür wurden die zugehörigen Automatisierungskomponenten sowie die Maschinenstruktur modelliert. Die erarbeiteten Modellierungsvorgaben wurden dazu in einem mechatronischen Engineeringwerkzeug implementiert und anschließend mithilfe eines disziplinspezifischen Engineeringwerkzeugs an der Materialzuführung getestet. Im Folgenden werden zuerst die verwendeten Engineeringwerkzeuge vorgestellt, das Vorgehen bei der Implementierung der Modellierungsvorgaben beschrieben und im Anschluss exemplarisch eine Automatisierungskomponente modelliert. Abschließend folgen die Modellierung der Materialzuführung sowie ein Fazit.

8.1 Verwendete Engineeringwerkzeuge

Zur Verifikation der Modellierungsvorgaben dienen das mechatronische Engineeringwerkzeug Mind8 Engineering Center /9/ (nachfolgend als MEC bezeichnet) sowie das disziplinspezifische Engineeringwerkzeug Rexroth IndraWorks /14/. Das MEC wurde verwendet, da es beim Vergleich der mechatronischen Engineeringwerkzeuge (Bild 4.6) den höchsten Erfüllungsgrad in Bezug auf die gestellten Anforderungen aufweist.

Neben den bereits in Kap. 4.3.1 beschriebenen Eigenschaften bietet das MEC:

- eine Methodik zur objektorientierten Modellierung von Strukturen bzw. Eigenschaften und damit eine Modellierungsumgebung für die Abbildung der im Rahmen der Kap. 5 bis 7 definierten Modellierungsvorgaben,
- eine automatische Generierung sowie eine baukastenbasierte Wiederverwendung der abgebildeten Modelle und Engineeringunterlagen und
- die Möglichkeit zur disziplinübergreifende Kopplung vorhandener, disziplinspezifischer Engineeringwerkzeuge.

Das MEC baut dazu auf der Programmiersprache Java /113/ in der Entwicklungsumgebung Eclipse /114/ auf. Anwenden des MEC sind jedoch nicht sämtliche Möglichkeiten der objektorientierten Programmierung in Eclipse zugänglich.

D.h. folgende Implementierungen fehlen:

- Die in der objektorientierten Programmierung zulässige, flexible Kopplung von Klassen per Komposition (wie u.a. in Bild 7.7) ist nur möglich, wenn diese direkt von der im MEC definierten Systemklasse „MechatronicComponent“ abgeleitet werden (Bild 8.1).
- Die Abbildung der in Kap. 7.2 erarbeiteten Modellierungsebenen ist ebenfalls nur eingeschränkt möglich, da bereits fest vordefinierte, nicht adaptierbare Modellierungsebenen im MEC vorgegeben sind.

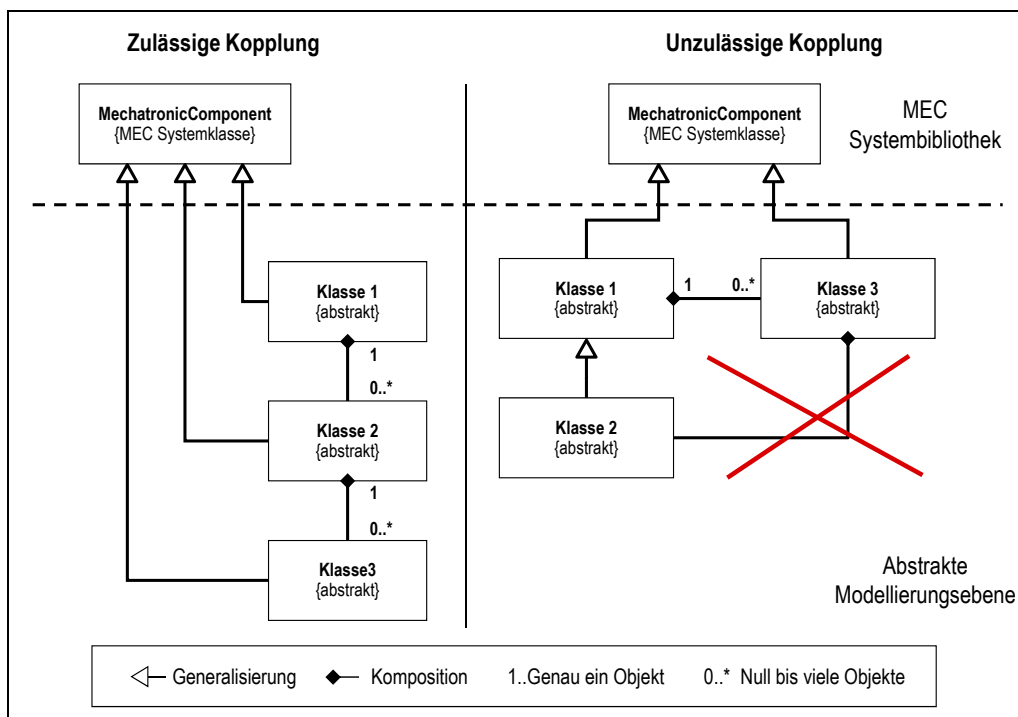


Bild 8.1: Zulässige und unzulässige Kopplungen von Klassen im MEC

Rexroth IndraWorks /14/ ist eine geräteübergreifende Programmier- und Konfigurationsumgebung für elektrische Steuerungs- und Antriebssysteme von Bosch Rexroth (z. B. /50, 36/) und dient der Validierung der beispielhaft in den Modellierungsvorgaben hinterlegten disziplinspezifischen Informationen. Dazu bietet IndraWorks eine durch-

gängige Oberfläche für die Projektierung, Programmierung, Parametrierung, Bedienung, Visualisierung und Diagnose der herstellereigenen Antriebe und Steuerungen. Die Programmierung der Automatisierungskomponenten erfolgt mit der in IndraWorks integrierten SPS-Programmierungsumgebung Rexroth IndraLogic /115/ nach dem IEC-Standard 61131 /61/.

Der Austausch und damit die Kopplung von MEC und IndraWorks erfolgt über die Extensible Markup Language (XML /80/). D.h. die im MEC modellierten disziplinspezifischen Daten werden per XML-Dateien zu IndraWorks übertragen. Mit IndraWorks können die Daten anschließend auf die einzelnen Automatisierungskomponenten geladen und diese dann damit in Betrieb genommen werden.

8.2 Implementierung der Modellierungsvorgaben im mechatronischen Engineeringwerkzeug

Zur Integration der erarbeiteten Modellierungsvorgaben in das MEC wurde, aufgrund der in Kap. 8.1 beschriebenen Einschränkungen des MEC, die Implementierung entsprechend angepasst. Bei der Implementierung wurde dazu wie folgt vorgegangen:

- Implementierung der hierarchischen Modellierungsebenen (Kap. 7.2):
 - Die bereits im MEC vorhandenen Modellierungsebenen Bibliothekskatalog und Projekt-Katalog (Bild 8.2 - links) sind mit dem Aufbau der in Kap. 7.2.2 und Kap. 7.2.3 definierten konkreten sowie realen Modellierungsebene vergleichbar. Aufgrund der eingeschränkten Adaptionmöglichkeiten dieser Modellierungsebenen im MEC wurden daher diese Modellierungsebenen für die Abbildung der Modellierungsvorgaben verwendet.
 - Die Meta-Meta (Kap. 7.2.1) sowie die abstrakte Modellierungsebene (Kap. 7.2.2) wurden anhand abstrakter Klassenstrukturen eingeführt und mit den vorhandenen Modellierungsebenen verbunden (Bild 8.2 - rechts).

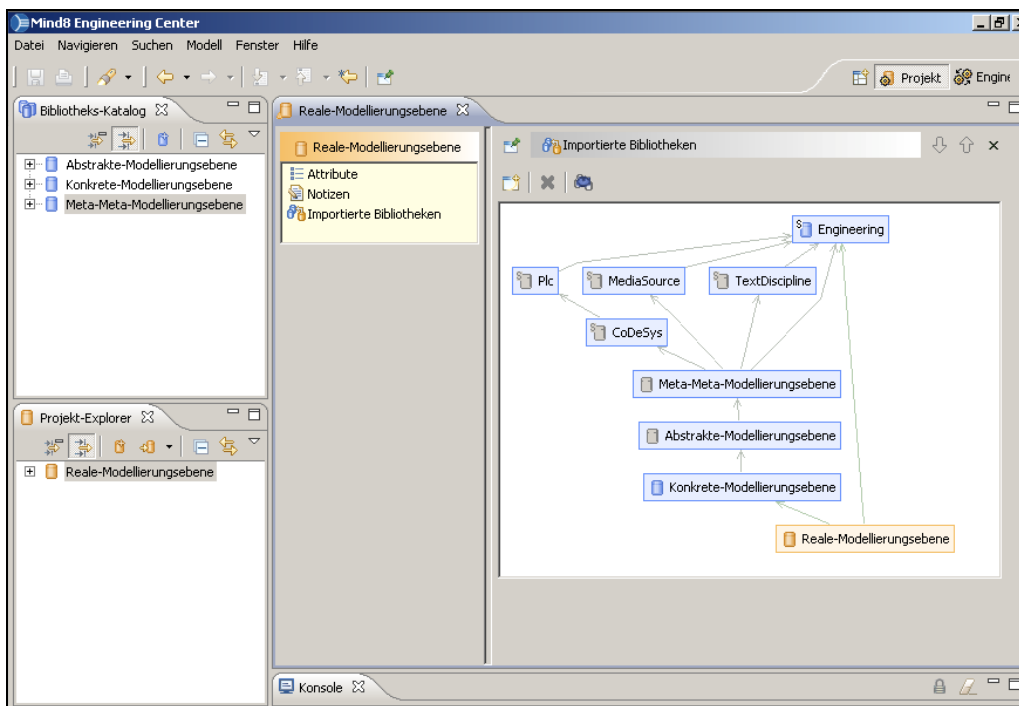


Bild 8.2: Implementierung der in Kap. 7.2 entwickelten Modellierungsebenen im MEC, die mit einem „S“ gekennzeichneten Modellierungsebenen sind im MEC festvorgegebene System-Modellierungsebenen

- Implementierung des herstellerunabhängigen Automatisierungskomponentenmodells (Kap. 5 - 6) und des branchenübergreifenden Maschinenmodells (Kap. 7.1):
 - Aufgrund der in Bild 8.1 dargestellten Einschränkung des MEC wurden bei der Implementierung alle Klassen (analog der Klasse 1 und 3 in Bild 8.1), an die optional weitere Klassen per Komposition angebunden werden müssen, direkt von der MEC Systemklasse abgeleitet. Die Klassen wurden demzufolge, abweichend von der in Bild 7.7 definierten Klassenstruktur, per Komposition (Unterebenen der Klasse Maschinenstrukturebene in Bild 8.3 - rechts unten) verbunden und somit also nicht, wie in den Modellierungsvorgaben vorgesehen, per Vererbung.
 - Darauf aufbauend wurden die Klassen des herstellerunabhängigen Automatisierungskomponentenmodells (Kap. 6) sowie des branchenübergreifenden Maschinenmodells (Kap. 7.1) auf der abstrakten Modellierungsebene modelliert (Bild 8.3 - links).

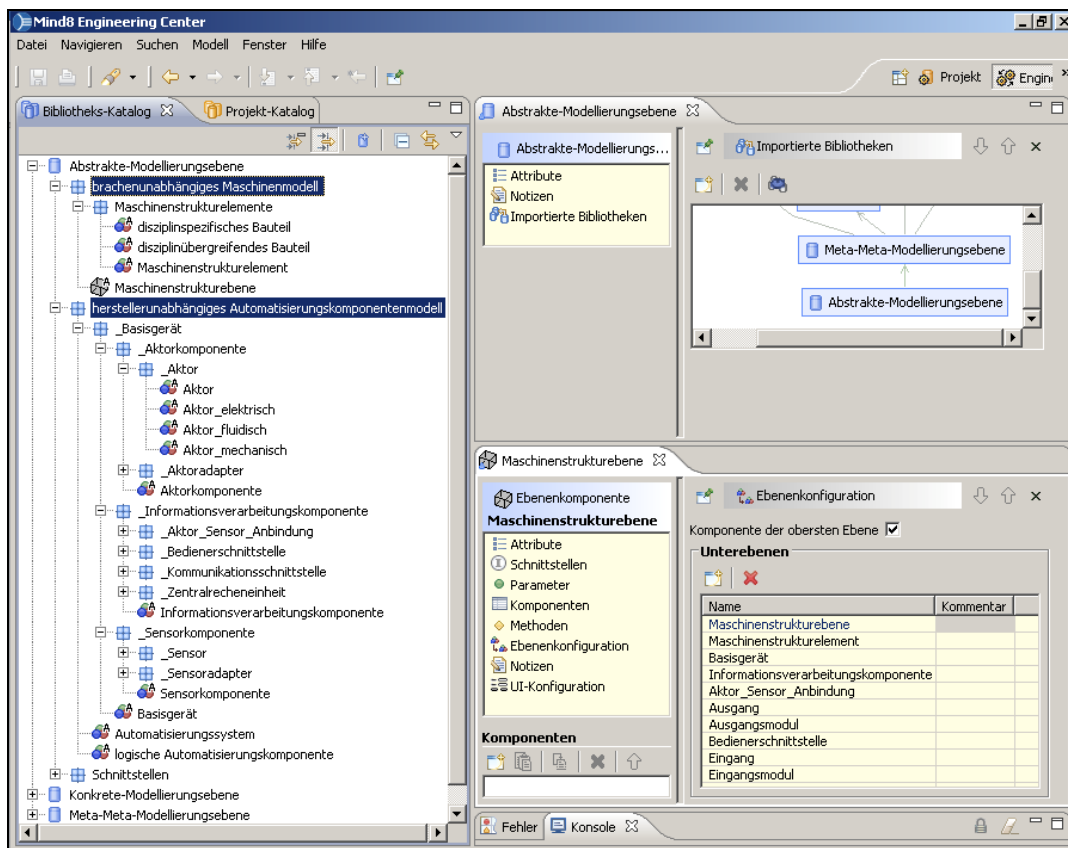


Bild 8.3: Implementierung des herstellerunabhängigen Automatisierungskomponentenmodells aus Kap. 6 und des branchenübergreifenden Maschinenmodells nach Kap. 7.1

Die Modellierung von Automatisierungskomponenten und Maschinenstruktur der Materialzuführung auf der konkreten und der realen Modellierungsebene werden nachfolgend jeweils in einem gesonderten Kapitel dargestellt.

8.3 Modellierung einer Automatisierungskomponente

Mit den im MEC implementierten Modellierungsvorgaben für Automatisierungskomponenten wurden verschiedene Automatisierungskomponenten von Bosch Rexroth abgebildet (Bild 8.6). Exemplarisch dafür wird hier die Abbildung der speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) des Typs MLC L65 (Motion Logic Control Baureihe L65) /60/ von Bosch Rexroth beschrieben. Die MLC L 65 ist eine SPS, die neben einer Recheneinheit mehrere Kommunikationsschnittstellen (d.h. Inlinebus, Ethernet und Profibus) sowie jeweils acht digitale Ein- und Ausgänge in einer Baugruppe vereint (Bild 8.4).

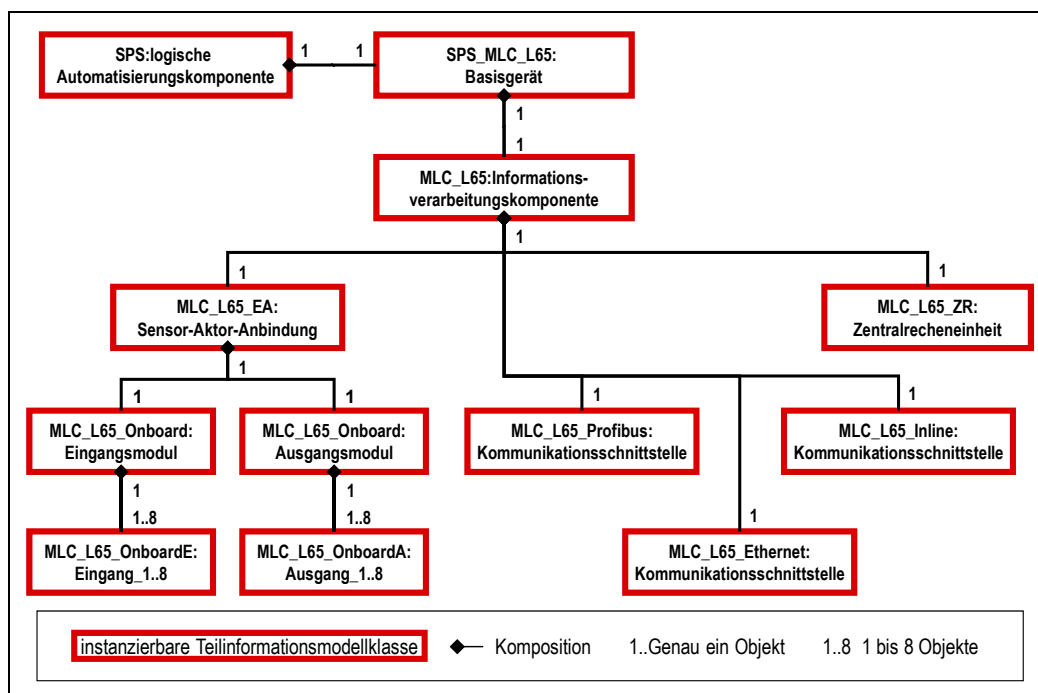


Bild 8.4: Herstellerspezifisches Automatisierungskomponentenmodell der MLC L65 auf der konkreten Modellierungsebene

Dementsprechend lässt sich die MLC L65 wie in Bild 8.4 dargestellt mit den Modellierungsvorgaben aus Kap. 6.3 auf der konkreten Modellierungsebene als Informationsverarbeitungs-komponenten mit Sensor-Aktor-Anbindung, Kommunikationsschnittstellen und einer Zentralrechen-einheit modellieren. Das zugehörige disziplinspezifische Informationsmodell der MLC L65 ist nach Kap. 8.1 eine XML-Datei (Auszug in Bild 8.5). In diesem sind u.a. neben dem Namen der Steuerung, die IP-Adresse und der verwendeten Firmware auch die Adressen der in der Steuerung integrierten (Onboard) Ein- und Ausgänge sowie das Kommunikationsmodul nach dem SERCOS III Standard (109) beschrieben.

```
<MLC name="Steuerung_1_MLC_L65" libraryName="IndraMotion MLC L65" ip="10.104.92.79"
  firmware="FWA-CML65*-ML*-04V16" hardware="IndraMotion MLC L65"
  author="axelreut" comment="erstellt mit Mind8 Engineering Center" plcAddressMode="BYTE">
  <Onboard>
    <Channel iecAddress="%IB0" name="" type="BYTE" comment="" />
    <Channel iecAddress="%QB0" name="" type="BYTE" comment="" />
  </Onboard>
  <Inline />
  <FM_SERCOS3 libraryName="SERCOS III (CFL01.1-R3)" fmSlot="1" author="" comment="" />
</MLC>
```

Bild 8.5: Auszug aus dem disziplinspezifischen Informationsmodell der MLC L65 in Form einer XML-Datei (/80/)

Die Abbildung des herstellerspezifischen Automatisierungskomponentenmodells der MLC L65 (Bild 8.4) sowie des dazugehörigen disziplinspezifischen Informationsmodells (Bild 8.5) im MEC mithilfe der erarbeiteten und entsprechend Kap. 8.2 ins MEC integrierten Modellierungsvorlagen ist in Bild 8.6 dargestellt.

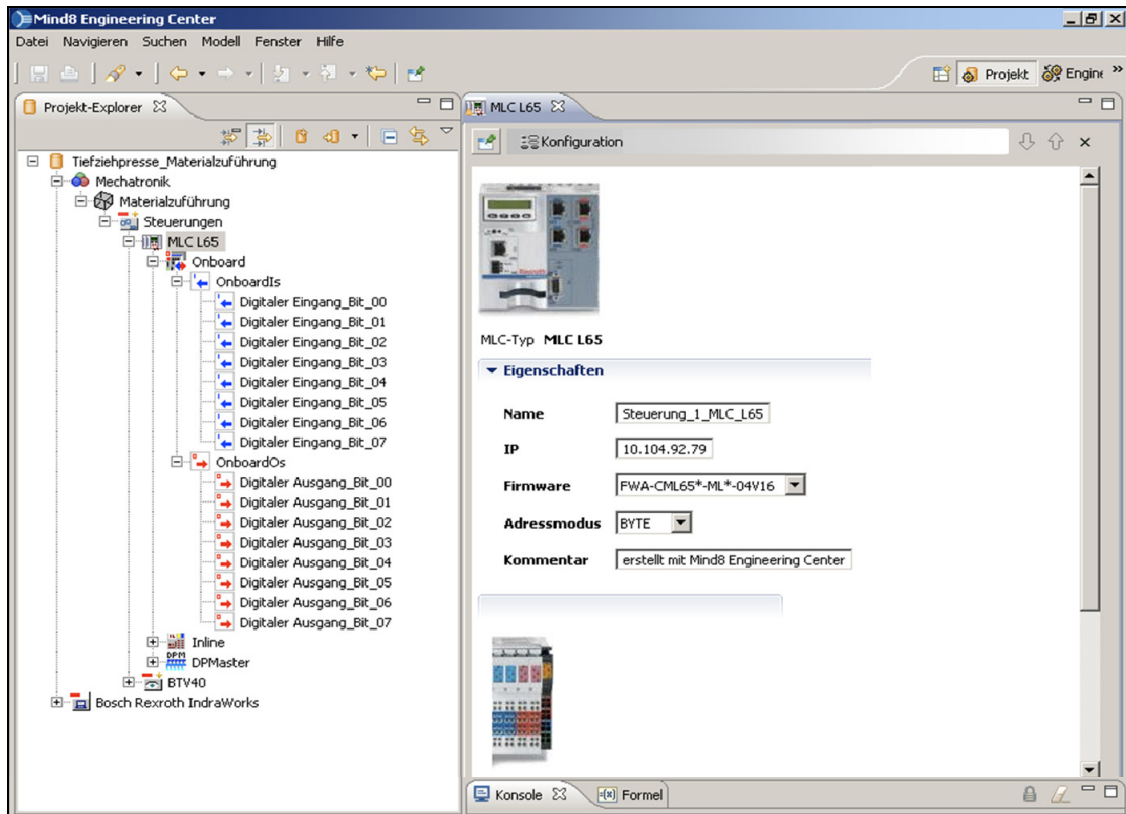


Bild 8.6: Informationsmodell der MLC L65 im MEC

8.4 Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine

Für die Verifikation der Ergebnisse dieser Arbeit wurde mithilfe der in den Kap. 5 - Kap. 7 entwickelten Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten die Materialzuführung einer Produktionsmaschine (Bild 8.8 und Bild 8.9) im MEC modelliert (Bild 8.10) und anschließend mit Rexroth IndraWorks in Betrieb genommen (Bild 8.11).

Als Maschine für die Verifikation dient supplementär zu den in vorangegangenen Kap. verwendeten Beispielen aus dem Bereich Verpackungsmaschinen (z. B. Schlaubeutelmaschine Bild 2.5) die Materialzuführung einer Produktionsmaschine. Dies zeigt, dass

die anhand von Beispielen für Verpackungsmaschinen entwickelten Modellierungsvorgaben ohne Anpassungen für andere Arten von Maschinen verwendet werden können. Für Materialzuführungen von Produktionsmaschinen gelten entsprechend angepasste Kundenanforderungen (vgl. Bild 3.1), wie beispielhaft in Bild 8.7 dargestellt. Wesentliche Einflussfaktoren für die Maschinenelemente einer Materialzuführungen sind Größe, Gewicht und Geometrie der zur Produktionsmaschine zu- und abzuführenden Teile.

Kundenanforderungen → Zuführung verschiedener Teile:	Anzupassende Maschinenmodule der Materialzuführung (vgl. Bild 8.8)	Anwendungsspezifische Anforderung an die Maschinenelemente			
		hoch	mittel	gering	
Kunststoffteile (z.B. für Automobilbau)	Greifer	Greifkraft	-	-	X
		Größe des Greifers	-	X	-
	x-/y-/c-Achse	Kraft-/Drehmoment an der Achse	-	-	X
		Aktionsradius	X	-	-
	z-Achse	Art des Aktors	elektromechanisch		
Blecheteile (Dicke z.B. 0,3 mm für Tiefziehpresse)	Greifer	Greifkraft	-	X	-
		Größe des Greifers	-	-	X
	x-/y-/c-Achse	Kraft-/Drehmoment an der Achse	-	X	-
		Aktionsradius	-	X	-
	z-Achse	Art des Aktors	fluidisch (Pneumatik)		
Rotorwellen (z.B. Montage eines Elektromotors)	Greifer	Greifkraft	X	-	-
		Größe des Greifers	X	-	-
	x-/y-/c-Achse	Kraft-/Drehmoment an der Achse	X	-	-
		Aktionsradius	-	-	X
	z-Achse	Art des Aktors	fluidisch (Hydraulik)		

Bild 8.7: Beispiele für anwendungsspezifische Kundenanforderungen an die Materialzuführung einer Produktionsmaschine und damit an die Maschinenmodule sowie zugehörigen Maschinenelemente

Die zu modellierende Materialzuführung dient der Zuführung von Blechen zur Umformung in einer Produktionsmaschine (Tiefziehpresse), für das Umsetzen der Halbzeuge vom ersten auf den zweiten Pressenstempel, für die Entnahme des fertigen Werkstücks

sowie des Abfalls. Dazu besitzt die Materialzuführung drei Achsen, um Bewegungen in x-, y- und z-Richtung ausführen zu können (Bild 8.8). Weiterhin ist eine Drehachse (c-Achse) zum Schwenken um die x-Achse verbaut. Die Aufnahme der Bleche, Halbzeuge, des Abfalls und der fertigen Werkstücke erfolgt über mehrere Vakuumsauggreifer. Die nachfolgende Beschreibung der Materialzuführung zeigt neben den einzelnen Automatisierungskomponenten (Bild 8.9) die jeweiligen Klassen, entsprechend der Definitionen in Bild 6.9, Bild 6.15 und Bild 6.21, zur Abbildung der Automatisierungskomponenten im MEC in Klammern auf.

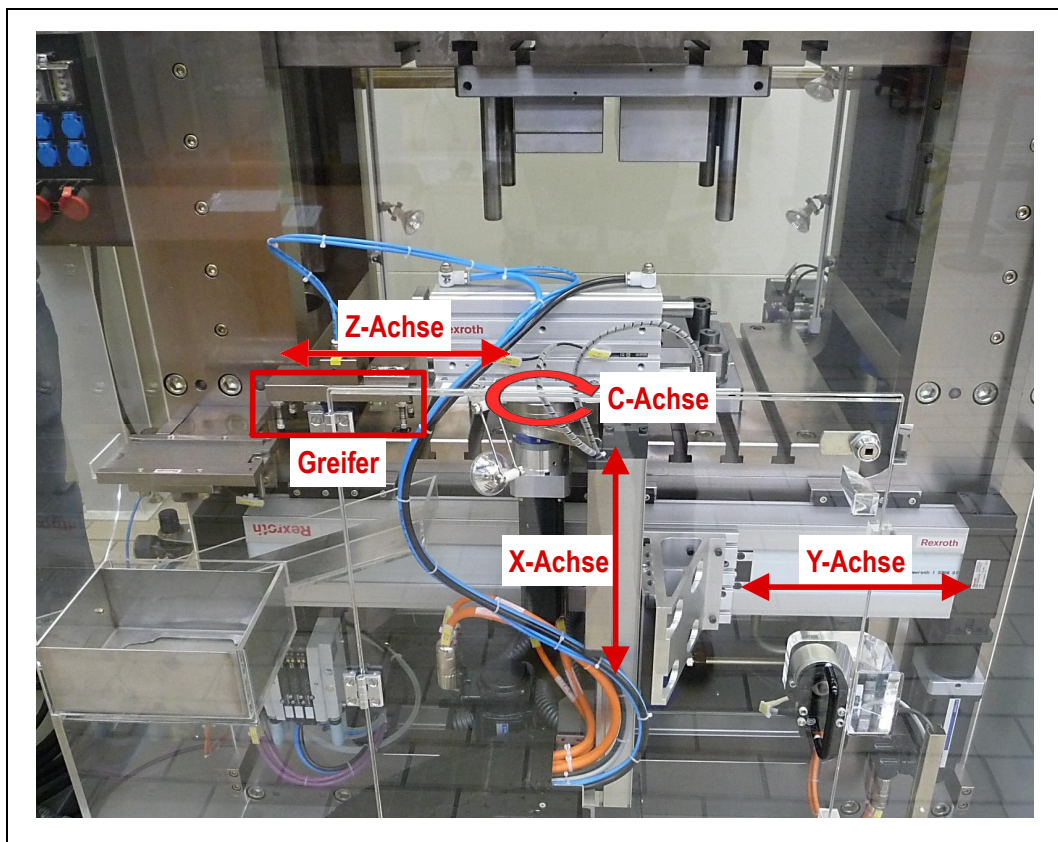


Bild 8.8: Materialzuführung der Produktionsmaschine mit Achszuordnung

Die c-Achse ist als Servomotor mit Drehgeber (elektrischer Aktor mit mechanischem Sensor), die x- und y-Achse sind als Servomotoren mit Linearachsen und Endlagenschalter (elektrischer Aktoren, mechanische Aktoradapter und mechanische Sensoren) ausgeführt (Bild 8.9). Die Servomotoren werden über Wechselrichter (elektrische Aktoradapter) mit Energie versorgt. Die z-Achse ist eine pneumatische Linearachse mit Endlagenschaltern (fluidischer Aktor und mechanische Sensoren) mit vorangeschalteter pneumatischer Ventilinseln und Druckluftaufbereitung (beides fluidische Aktoradapter). Der Greifer besteht aus einem mechanischen Träger (mechanischer Aktoradapter) und

besitzt mehrere Vakuumsauggreifer (fluidische Aktoren). Die Vakuumsauggreifer werden über Vakuumventile (fluidische Aktoradapter) angesteuert. Die Steuerung der gesamten Materialzuführung erfolgt über eine SPS (Informationsverarbeitungs-komponente vgl. Bild 8.4 mit Aktor-Sensor-Anbindung, Kommunikationsschnittstellen und Zentralrecheneinheit).

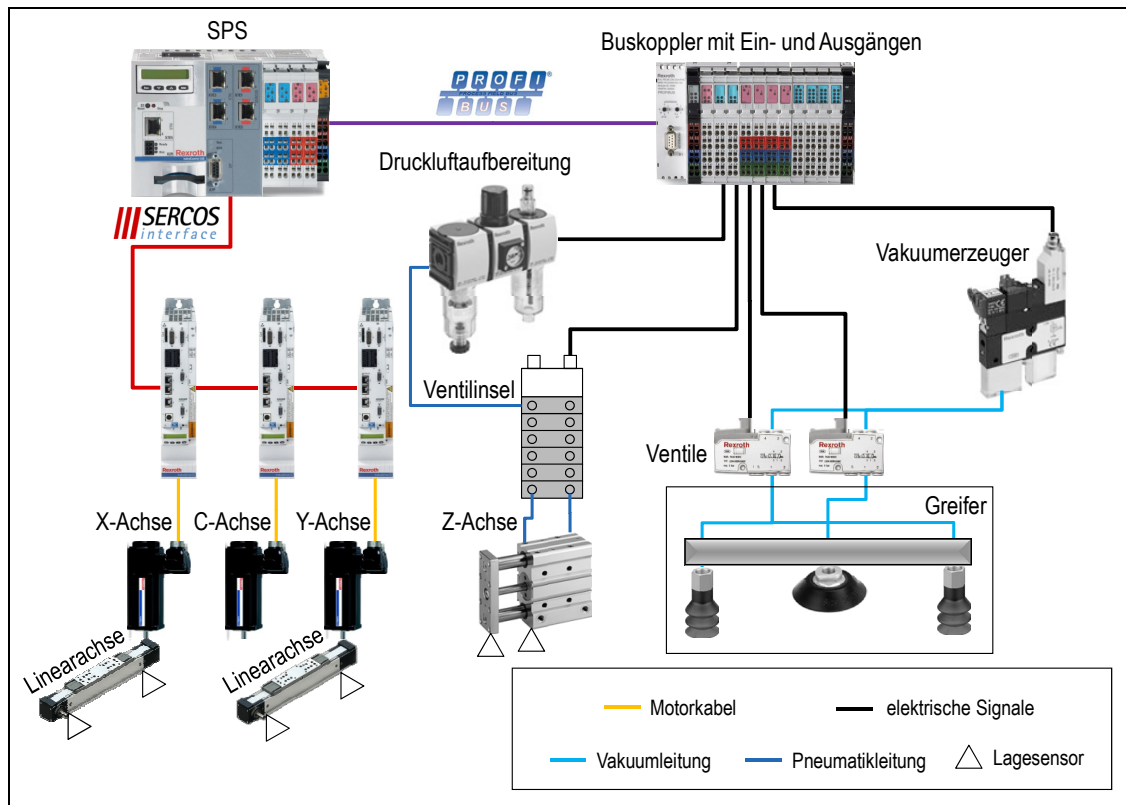


Bild 8.9: Automatisierungskomponenten der Materialzuführung mit Achszuordnung

Die Steuersignale des Anwenderprogramms für die Materialzuführung werden, wie in Bild 8.9 dargestellt, an die Wechselrichter sowie über einen Buskoppler mit Ein- und Ausgängen (Informationsverarbeitungs-komponente mit Aktor-Sensor-Anbindung und Kommunikationsschnittstellen) an die Druckluftaufbereitung, den Vakuumerzeuger und die verschiedenen Ventile übertragen. Die Sensoren werden über die Eingänge des Buskopplers eingelesen.

Bild 8.10 stellt das mechatronische Informationsmodell der Materialzuführung mit zugehöriger Maschinenstruktur sowie den zugehörigen Automatisierungskomponenten aus Bild 8.9 im MEC dar. Aus dem Informationsmodell im MEC wurden die Daten für das disziplinspezifische Informationsmodell der Materialzuführung (Bild 8.11) in

IndraWorks generiert. Das disziplinspezifische Informationsmodell in IndraWorks enthält dementsprechend auch die Daten zur Inbetriebnahme der Automatisierungskomponenten der Materialzuführung.

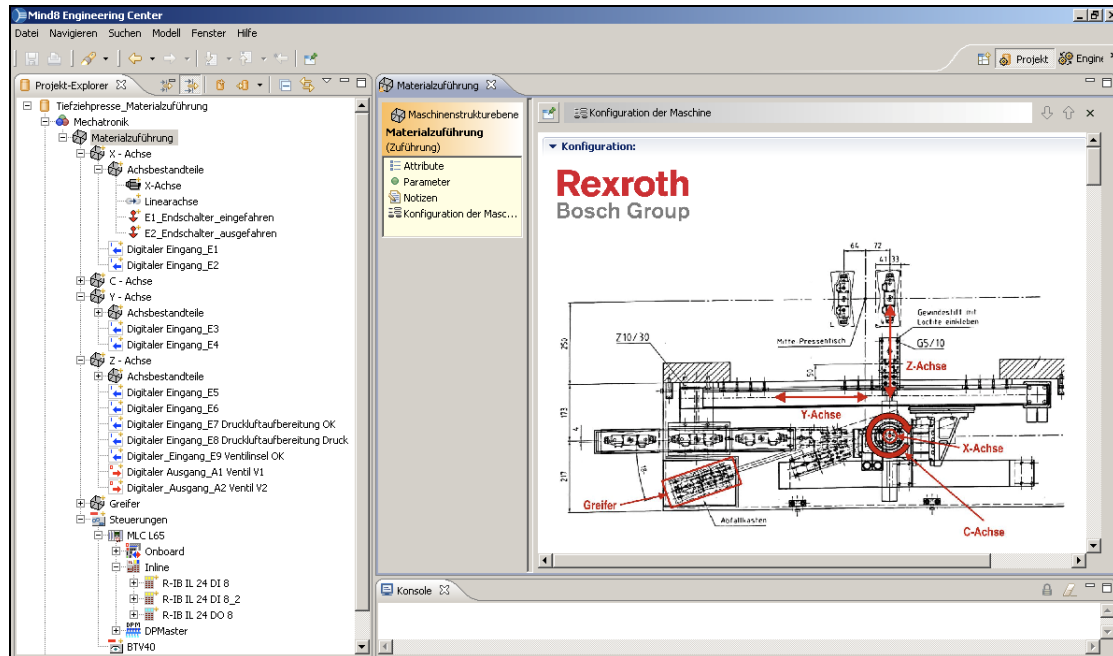


Bild 8.10: Informationsmodell der Materialzuführung im MEC

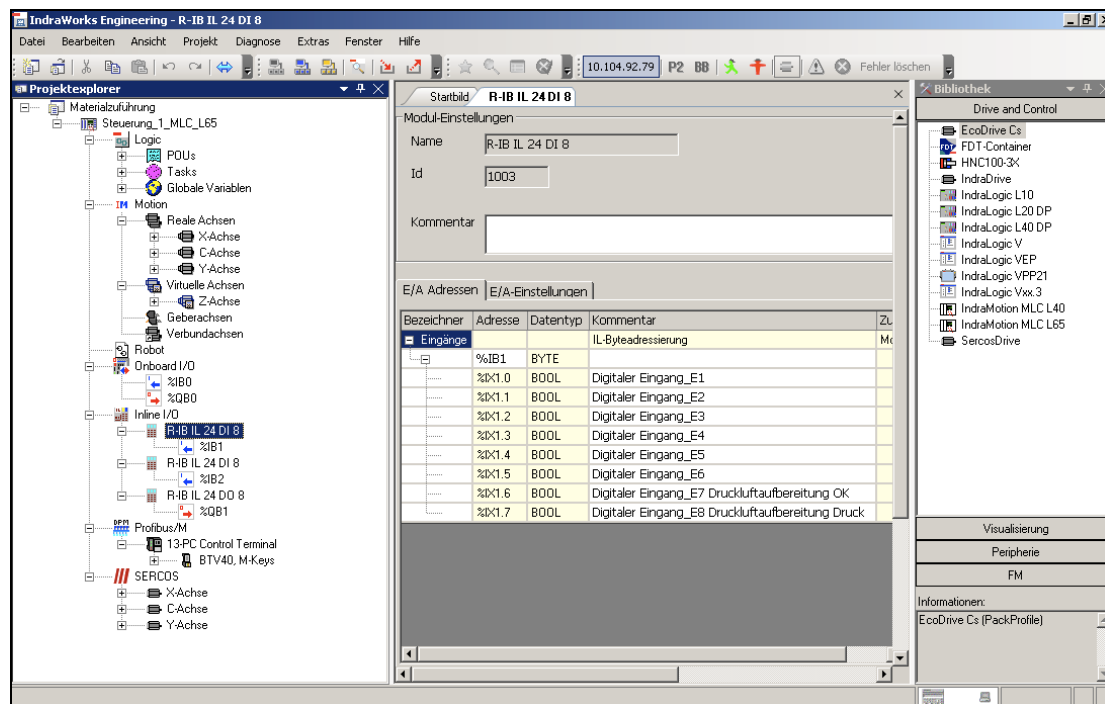


Bild 8.11: Disziplinspezifisches Informationsmodell der Materialzuführung in IndraWorks

8.5 Fazit zur Realisierung

Die Kap. 8.2 - 8.4 zeigen, dass die in dieser Arbeit definierten Modellierungsvorgaben (vgl. Kap. 8.1) in bestehende Engineeringwerkzeuge implementiert und damit für Nutzer (Kap. 2.4) zur Verfügung gestellt werden können. Durch die Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine (Kap. 8.4) wurde belegt, dass eine beliebige Maschine mit zugehöriger Maschinenstruktur sowie Automatisierungskomponenten mithilfe der erarbeiteten Modellierungsvorgaben mechatronisch abgebildet und mithilfe dieser Modelle in Betrieb genommen werden kann. Mit Hilfe der Modellierungsvorgaben kann die in Bild 8.7 aufgezeigte kundenspezifische Varianz der Automatisierungskomponenten sowie der Maschinenbestandteile in der Materialzuführung ohne Neukonstruktion modelliert und generiert werden.

Folgende Vorteile der in dieser Arbeit definierten Modellierungsvorgaben wurden in der praktischen Realisierung sowie in Gesprächen mit Maschinen- und Komponentenherstellern deutlich:

- Komponentenhersteller erhalten durchgängige, herstellerübergreifende Modellierungsvorgaben für die mechatronische Modellierung von Automatisierungskomponenten.
- Maschinenhersteller können flexible Maschinenstrukturen definieren sowie auf die zuvor bereits von Komponentenherstellern modellierte Bibliotheken für Automatisierungskomponenten zurückgreifen.
- Im mechatronischen Engineering kann in Verbindung mit den entwickelten Modellierungsvorgaben das in Bild 1.2 dargestellte parallele Arbeiten der Fachdisziplinen realisiert und damit eine Zeiteinsparung von bis zu 18% im Engineeringprozess erreicht werden.

Auf diese Weise wurde durch die Nutzer ebenfalls bestätigt, dass die in Kap. 3 gestellten Anforderungen an die Definition von Modellierungsvorgaben für Maschinen und Automatisierungskomponenten bei der Modellierung konkreter Maschinen erfüllt werden.

9 Zusammenfassung und Ausblick

Der Trend zu einem ständig wachsenden Angebot an neuen Produkten sowie zu immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen erfordert flexible Produktionsmaschinen und -anlagen, die in immer kürzeren Zeiten zu stetig sinkenden Kosten bei möglichst steigender Qualität entwickelt und hergestellt werden können. Um die dazu notwendige Parallelisierung im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess zu ermöglichen, sind anpassbare Maschinenstrukturen und Automatisierungskomponenten sowie entsprechende Informationsmodelle erforderlich.

In der vorliegenden Arbeit wurden daher durchgängige, mechatronische Modellierungsvorgaben zur Unterstützung der Komponenten- und Maschinenhersteller erarbeitet, die:

- Automatisierungskomponenten verschiedener Komponentenhersteller sowie Maschinen und deren Strukturen disziplinübergreifend und unabhängig von Maschinentypen in Modellierungsvorgaben abbilden
- Den Einsatz von Rechnern und die übergreifende Zusammenarbeit der Fachdisziplinen im Entwicklungs- und Konstruktionsprozess verbessern, um damit den Aufwand der Maschinenhersteller für das mechatronische Engineering durch modellgestützte Datenübernahme zu reduzieren
- Die disziplinübergreifende Modellierung von Automatisierungskomponenten durch die Komponentenhersteller ermöglichen.

Dazu wurden folgende wesentliche Neuerungen gegenüber bestehenden Informationsmodellen für Automatisierungskomponenten und Maschinen erarbeitet:

- Zur formalen, disziplinübergreifenden Abbildung der verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten wurde ein Informationsmodell sowie eine Methode zur systematischen Überführung bestehender Daten von Automatisierungskomponenten in eine entsprechende funktionale Klassenstruktur entwickelt. Weiterhin wurde für die disziplinübergreifende Abbildung der Zusammenhänge zwischen verschiedenen Arten von Automatisierungskomponenten und Maschinen eine mechatronische Grundstruktur festgelegt.

- Zur durchgängigen Abbildung der Automatisierungskomponenten und -systeme verschiedener Komponentenhersteller wurden Modellierungsvorgaben entwickelt. Dazu wurden Modelle für Sensoren, Aktoren und Informationsverarbeitungen sowie für die Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Automatisierungskomponenten und deren Schnittstellen hergeleitet.
- Durch die Anwendung der branchenunabhängigen Funktionsstruktur auf das in der mechatronischen Grundstruktur festgelegte Modell für Maschinen, wurde ein branchenunabhängiges Maschinenmodell abgeleitet. Damit können Maschinen, deren Strukturen sowie zugehörige Schnittstellen zu Automatisierungskomponenten abgebildet werden.
- Für die Bereitstellung der Modellierungsvorgaben des Automatisierungskomponenten- und des Maschinenmodells zur Nutzung durch Komponenten- und Maschinenhersteller wurden hierarchische Modellierungsebenen definiert.

Die industrielle Einsetzbarkeit der erarbeiteten Modellierungsvorlagen wurde durch eine prototypische Implementation in ein mechatronisches Engineeringwerkzeug und deren Verwendung bei der Modellierung der Materialzuführung einer Produktionsmaschine nachgewiesen. Damit wurde die Eignung der Modellierungsvorgaben für Maschinen mit zugehörigen Maschinenstrukturen und beliebige Automatisierungskomponenten sowie für den Einsatz bei Komponenten- und Maschinenherstellern bestätigt.

Ansatzpunkte für weiterführende Entwicklungen ergeben sich in Bezug auf

- die rechnergestützte Automatisierung der Methode zur modellgestützten Datenübernahme von vorhandenen disziplinspezifischen Informationsmodellen für Automatisierungskomponenten in die Modellierungsvorgaben und
- den Übergang vom bestehenden Forward-Engineering zum Round-Trip-Engineering, d.h. durchgängige Rückführung von auftragsbezogenen Informationen aus Inbetriebnahmen realer Maschinen in die hersteller- bzw. maschinentypspezifischen Automatisierungskomponenten- und Maschinenmodelle.

Literatur

- /1/ Scheffels, Gerald: Mind8.Studio im Sondermaschinenbau: Steuerungsprogramm automatisch generiert. In: SPS-Magazin, Ausgabe 11, 2007, S. 97...100
- /2/ Korajda Izabela; Litto Marco; Mangold Christoph: Baukastenbasiertes Engineering mit Föderal. Ein Leitfaden für Maschinen und Anlagenbauer. Frankfurt am Main: VDMA, 2004
- /3/ Angerbauer, Ronald: SPS-Software aus dem Baukasten - Ein Erfahrungsbericht. In: VDMA-Nachrichten, 01-2002, S. 45...46
- /4/ Siegler, Reinhold: 1. AQUIMO-Tag: Vision eines mechatronischen Engineeringprozesses. VDMA, 4. Dezember 2008, Frankfurt a. M.
- /5/ Wittel, Herbert; Muhs, Dieter; u.a.: Roloff/Matek: Maschinenelemente - Normung, Berechnung, Gestaltung. 19. Auflage. Wiesbaden: Vieweg+Teubner Verlag, 2009
- /6/ Schlögl, Wolfgang: Digitale Fabrik 2.0 - Die digitale Fabrik am Übergang zur realen Fabrik. In: Gesellschaft für Fertigungstechnik (Hrsg.): Stuttgarter Impulse Fertigungstechnik für die Zukunft, Fertigungstechnisches Kolloquium Stuttgart. 2008 – Tagungsband, Stuttgart: Gesellschaft für Fertigungstechnik, 2008, S. 453...461

- /7/ Litto, Marco: 1. AQUIMO-Tag: AQUIMO im Überblick -
Mitarbeit in Arbeitskreisen.
VDMA, 4. Dezember 2008, Frankfurt a. M.
- /8/ Paulwitz, Michael: Standardisierung im Sondermaschinenbau:
Baukastenbasierte Schaltplanerstellung.
In: SPS-Magazin, Ausgabe 11, 2008,
S. 90...94
- /9/ N.N.: Mind8 Engineering Center.
Mind8 GmbH, Stuttgart, 2009
- /10/ N.N.: Comos Basic.
Comos Industry Solutions GmbH, Schwelm,
2009
- /11/ Reuter, Axel;
Kircher, Christian;
Verl, Alexander: Manufacturer-independent mechatronic
information model for control systems.
In: Production Engineering, Volume 4,
Numbers 2-3, online, Springer Verlag, 2010,
S. 165-173
- /12/ N.N.: CATIA.
Dassault Systemes, Vélizy-Villacoublay,
Frankreich, 2010
- /13/ N.N.: EPLAN Electric P8.
EPLAN Software & Service GmbH & Co.
KG, Monheim am Rhein, 2010
- /14/ N.N.: Rexroth IndraWorks.
Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, 2010

- /15/ N.N.: SIMATIC STEP 7.
Siemens AG, München, 2010
- /16/ Balzert, Heide: Lehrbuch der Objektorientierung: Analyse
und Entwurf mit der UML 2.
2. Auflage. München: Spektrum
Akademischer Verlag, 2005
- /17/ N.N. : Norm DIN EN 61346 1997-01:
Strukturierungsprinzipien und
Referenzkennzeichnung - Teil 1: Allgemeine
Regeln,
Teil 2: Klassifizierung von Objekten und
Kodierung von Klassen
- /18/ Jeckle, Mario: Konzepte der Metamodellierung - Zum
Begriff Metamodell.
In: Softwaretechnik Trends 20:2, 2000, S.
29-30
- /19/ Jeusfeld, Manfred A.;
Jarke, Matthias;
Mylopoulos, John.: Metamodeling for Method Engineering.
Cooperative Information Systems.
Cambridge (USA): The MIT Press, 2009
- /20/ Balzert, Helmut: Lehrbuch der Softwaretechnik:
Basiskonzepte und Requirements
Engineering.
3. Auflage. Heidelberg: Akademischer
Verlag, 2009

- /21/ Lippold, Christian: Eine domänenübergreifende Konzeptionsumgebung für die Entwicklung mechatronischer Systeme. Dissertation Universität Bochum. Aachen: Shaker Verlag, 2001
- /22/ N.N.: Technical Paper, PLCopen Technical Committee 6, XML Formats for IEC 61131-3, Version 2.01 - Official Release, 2009, <http://www.plcopen.org/> (19.04.2010)
- /23/ N.N.: DIN 66301 1986-07: Rechnergestütztes Konstruieren: Format zum Austausch geometrischer Informationen.
- /24/ Anderl, Reiner; Trippler, Ditmar: STEP: Standard for the Exchange of Product Model Data - eine Einführung in die Entwicklung, Implementierung und industrielle Nutzung der Normenreihe ISO 10303 (STEP) Stuttgart, Leipzig: Teubner, 2000
- /25/ Draht, Rainer: Datenaustausch in der Anlagenplanung mit AutomationML: Integration von CAEX, PLCopen XML und COLLADA Berlin; Heidelberg [u.a.] : Springer Verlag, 2010
- /26/ Dorf, Richard C.; u.a.: The Engineering Handbook - The Electrical Handbook Series 2. Edition. Boca Raton; London [u.a.]: CRC Press Inc., 2004

- /27/ Verl, Alexander;
Haubelt, Andreas;
Müller, Verena: Baukastenbasiertes simulationsgestütztes Engineering.
In: A&D Kompendium 2009/2010,
München: publish-industry Verlag GmbH,
2009, S. 72-74
- /28/ Czichos, Horst: Mechatronik - Grundlagen und Anwendungen technischer Systeme.
2. Auflage. Wiesbaden: Vieweg + Teubner Verlag, 2008
- /29/ N.N.: Norm VDI 2206 2004-06:
Entwicklungsmethodik für mechatronische Systeme.
- /30/ Neumann, Peter;
u.a.: SPS-Standard: IEC 1131. Programmierung in verteilten Automatisierungssystemen.
3. Auflage. München; Wien: Oldenbourg Verlag, 2000
- /31/ N.N.: DIN EN 61131 2004-03: Grundlagen Speicherprogrammierbarer Steuerungen.
- /32/ N.N.: SAP ERP.
SAP AG, Walldorf, 2010
- /33/ Reuter, Axel;
Müller, Verena;
Verl, Alexander: Disziplinübergreifendes Engineering - Integration von Simulationsdaten in mechatronische Komponentenmodelle.
In: wt Werkstattstechnik online, Ausgabe 05-2010, Düsseldorf, 2010, S. 399...406

- /34/ Rodenacker, Wolf G.: Methodisches Konstruieren: Grundlagen, Methodik, praktische Beispiele. 4. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.] : Springer Verlag, 1991
- /35/ Pahl, Gerhard;
Beitz, Wolfgang;
u.a.: Konstruktionslehre: Grundlagen erfolgreicher Produktentwicklung. Methoden und Anwendung. 7. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer Verlag, 2007
- /36/ N.N.: Bosch Rexroth AG: Rexroth IndraDrive Mi Antriebssysteme - Projektierung. Ausgabe 3. Lohr am Main, 2008 - Firmenschrift
- /37/ N.N.: VDI 2222 Blatt 1 1997-06: Konstruktionsmethodik - Methodisches Entwickeln von Lösungsprinzipien.
- /38/ N.N.: Funktionales Engineering - Baukasten für disziplinübergreifendes Projektieren. In: IEE Automation, 49. Jahrgang 2004, Nr. 3, S. 48-51,
- /39/ N.N.: Norm DIN 40150 1997-10: Begriffe zur Ordnung von Funktions- und Baueinheiten.
- /40/ N.N.: DIN 40910 1990-1: Leitfaden für die technische Dokumentation elektrotechnischer und leittechnischer Einrichtungen.

- /41/ N.N.:
DIN 6789-1 1990-09:
Dokumentationssystematik - Aufbau
technischer Produktdokumentationen.
- /42/ DIN e.V.:
DIN-Taschenbuch 351: Dokumentations-
wesen.
Berlin, Wien, Zürich: Beuth Verlag, 2003
- /43/ Heuser, Raimund;
Günther, Frank;
Hatzfeld, Oliver:
Integrierte Planung mit SAP - Konzeption,
Methodik, Vorgehen.
2. Auflage. Bonn: Galileo-Press, 2003
- /44/ Reisch, Michael:
Elektronische Bauelemente: Funktion,
Grundsaltungen, Modellierung mit SPICE.
2. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.]:
Springer Verlag, 2007
- /45/ Lunze, Jan:
Automatisierungstechnik - Methoden für die
Überwachung und Steuerung kontinuierlicher
und ereignisdiskreter Systeme.
2. Auflage, München: Oldenbourg Verlag,
2008
- /46/ Pritschow, Günter:
Einführung in die Steuerungstechnik.
München, Wien: Hanser, 2006
- /47/ N.N.:
Bosch Rexroth AG: IndraMotion for
Packaging - Automatisierungssystem für die
Verpackungsindustrie.
Lohr am Main, 2010 - Firmenschrift

- /48/ Tröster, Fritz: Steuerungs- und Regelungstechnik für Ingenieure. 2. Auflage. München, Wien: Oldenburg Wissenschaftsverlag, 2005
- /49/ Wellenreuther, Günter; Zastrow, Dieter: Automatisieren mit SPS - Theorie und Praxis. 3. Auflage. Wiesbaden: Vieweg, 2005
- /50/ N.N.: Bosch Rexroth AG: Automatisierungssysteme und Steuerungskomponenten. Lohr am Main, 2009 - Firmenschrift
- /51/ N.N.: Siemens AG: SIMATIC - Das durchgängige Automatisierungssystem für die Fertigungsindustrie. Nürnberg, 2009 - Firmenschrift
- /52/ N.N.: Festo AG & Co. KG.
<http://www.festo.de> (11.10.2010)
- /53/ Wirth, Niklaus: A Brief History of Software Engineering. In: IEEE Annals of the History of Computing. Volume 30, Issue No. 3, Juli-Sept. 2008, Online : IEEE Computer Society, 2008, S. 32-39,
<http://dx.doi.org/10.1109/MAHC.2008.33>
(11.12.2010)
- /54/ Lossack, Ralf-Stefan: Wissenschaftstheoretische Grundlagen für die rechnerunterstützte Konstruktion. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer Verlag, 2006

- /55/ Lutz, Rainer: Softwaretechnik für maschinennahe Steuerungsfunktionen bei Fertigungseinrichtungen. Dissertation Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 1999
- /56/ Botaschanjan, Jewgenij; Hummel, Benjamin; Lindworsky, Alexander: Interdisziplinäre Funktionsmodellierung im Anlagenbau. In: ZWF Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Ausgabe 01-02 2009, München: Carl Hanser Verlag, 2009, S. 71...75
- /57/ Döbele, Mathias: Methode zur Wiederverwendung von Planungskomponenten für die Planung automatisierter Fertigungsanlagen. In: VDI-Berichte/VDI-Tagungsbände Sachgebiet: Mess- und Automatisierungstechnik, Band Nr.: 2067: Automation 2009 Der Automationskongress in Deutschland, 16. und 17. Juni 2009, Baden-Baden. Düsseldorf : VDI-Verlag, 2009, S. 421-424
- /58/ Fritsch, Anton: Durch Modularisierung zum mechatronischen Baukastensystem. In: Alexander Verl, Walter Schumacher, Klaus Bender (Hrsg.): SPS IPC DRIVES 2008 - Elektrische Automatisierung, Systeme und Komponenten; Fachmesse & Kongress, 25.-27. November 2008, Nürnberg. Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 2008, S. 503-510

- /59/ Scheible, Guntram: WLAN, Bluetooth, Zigbee und Co:
Wireless bis in die Maschinenebene.
In: Alexander Verl, Walter Schumacher,
Klaus Bender (Hrsg.): SPS IPC DRIVES
2008 - Elektrische Automatisierung, Systeme
und Komponenten; Fachmesse & Kongress,
25.-27. November 2008, Nürnberg.
Berlin, Offenbach: VDE-Verlag, 2008,
S. 179-186
- /60/ N.N.: Bosch Rexroth AG: Rexroth IndraMotion
MLC - Motion-, Robot- und Logic-Control in
einer innovativen Systemlösung.
Lohr am Main, 2010 - Firmenschrift
- /61/ N.N.: Norm DIN EN 61131 2003-12:
Speicherprogrammierbare Steuerungen -
Teil 3: Programmiersprachen
- /62/ Steck, Ralf: SAP als PLM-System - Direktschnittstellen
verbinden CAD- und ERP-Systeme.
In: CAN CAM, Ausgabe 3-4 2008, S. 29-30
- /63/ Hoischen, Hans;
Hesser, Wilfried: Technisches Zeichnen.
31. Auflage. Berlin: Cornelsen, 2007
- /64/ DIN e.V.: DIN Taschenbuch 514: Normen über
Graphische Symbole für die Elektrotechnik
Schaltzeichen.
Berlin: Beuth Verlag, 1995

- /65/ N.N.: Norm DIN EN 61082 2007-03:
Dokumente der Elektrotechnik - Teil 1:
Regeln.
- /66/ N.N.: Norm DIN 66001 1983-12:
Informationsverarbeitung:
Sinnbilder und ihre Anwendung.
- /67/ Angerbauer, Ronald;
Buck, Raphael;
u.a.: AQUIMIO: Adaptierbares
Modellierungswerkzeug und
Qualifizierungsprogramm für den Aufbau
firmenspezifischer mechatronischer
Engineeringprozesse - Ein Leitfaden für
Maschinen- und Anlagenbauer.
Frankfurt am Main: VDMA, 2010
- /68/ Lewek, Jörg: Adaptierbares Informationssystem zur
Erstellung baukastenbasierter
Fertigungseinrichtungen.
Dissertation Universität Stuttgart.
Heimsheim: Jost-Jetter, 2005
- /69/ Saake, Gunter;
Sattler, Kai-Uwe;
Heuer, Andreas: Datenbanken: Konzepte und Sprachen.
4. Auflage. Heidelberg, München [u.a.]:
mitp, 2010
- /70/ Inderpal, Ashish Gupta;
Mumick, Singh: Materialized views. techniques,
implementations, and applications.
Cambridge, Mass. [u.a.] : Massachusetts
Institute of Technology, 1999

- /71/ Object Management Group.: Meta Object Facility (MOF) Core Specification.
OMG Available Specification, Version 2.0, January 2006,
<http://www.omg.org/spec/MOF/2.0/PDF/>
(10.08.2009)
- /72/ N.N.: The Object Management Group (OMG).
<http://www.omg.org/> (08.10.2009)
- /73/ Object Management Group.: OMG Unified Modeling Language (OMG UML) Infrastructure
Version 2.2, February 2009,
<http://www.omg.org/spec/UML/2.2/Infrastructure/PDF/> (10.08.2009)
- /74/ N.N.: ISO/IEC 19502 2005-11:
Informationstechnik - Spezifikation der
Meta Object Facility (MOF).
- /75/ Popp, Manfred: Das PROFINET-IO-Buch - Grundlagen und
Tipps für Anwender.
Heidelberg: Hüthig, 2005
- /76/ N.N.: Norm IEC 61158 2010-08:
Industrial communication networks -
Fieldbus specifications - Part 1: Overview
and guidance for the IEC 61158 and IEC
61784 series

- /77/ Arnaud, Rémi;
Barnes, Marc C.:
Collada - Sealing the gulf of 3D digital
content creation.
Wellesley, MA: Transatlantic Publishers,
2006
- /78/ N.N.:
FDCML 2.0 Specification.
Version 1, 2002, <http://www.FDCML.org/>
(28.10.2010)
- /79/ N.N.:
Wikipedia: Drawing Interchange Format
(DXF).
[http://de.wikipedia.org/wiki/Drawing_
Interchange_Format](http://de.wikipedia.org/wiki/Drawing_Interchange_Format) (28.10.2010)
- /80/ Becher, Margit:
XML : DTD, XML-Schema, XPath, XQuery,
XSLT, XSL-FO, SAX, DOM.
Herdecke, Witten : W3L-Verlag, 2009
- /81/ N.N.:
Norm DIN EN 61355 2009-03:
Klassifikation und Kennzeichnung von
Dokumenten für Anlagen, Systeme und
Ausrüstungen - Teil 1: Regeln und Tabellen
zur Klassifikation.
- /82/ N.N.:
Norm DIN EN 62023 2001-07:
Strukturierung technischer Information und
Dokumentation.
- /83/ N.N.:
Norm DIN IEC 62264 2008-01:
Integration von Unternehmens-EDV und
Leitsystemen - Teil 3: Aktivitätsmodelle für
das operative Produktionsmanagement.

- /84/ Kallmeyer, Ferdinand: Eine Methode zur Modellierung prinzipieller Lösungen mechatronischer Systeme. Dissertation Universität Paderborn. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe, 1998
- /85/ Brandl, Thomas: Anlageninformationssystem - Informationsmodell und Erstellungssystematik. Dissertation Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 1999
- /86/ Litto, Marco: Störungsinformationssystem- Informationsmodell und Erstellungssystematik. Dissertation Universität Stuttgart. Heimsheim: Jost Jetter Verlag, 2002
- /87/ Reinhart, Gunther;
Anton, Oliver;
Lercher, Bernd: Funktionsorientiertes Sichtenmodell für die Entwicklung mechatronischer Systeme. In: VDI-Z Integrierte Produktion, Ausgabe 11-12, Düsseldorf, 2001, S. 67...70
- /88/ Kiefer, Jens: Mechatronikorientierte Planung automatisierter Fertigungszellen im Bereich Karosserierohbau. Dissertation Universität des Saarlandes. Schriftenreihe Produktionstechnik, Band 43. Saarbrücken, 2007

- /89/ Lercher, Bernd: Konzeption und System einer Integrationsplattform zur Entwicklung von Werkzeugmaschinen. Dissertation Technische Universität München. München, 2008
- /90/ Eilebrecht, Karl; Starke, Gernot: Patterns kompakt - Entwurfsmuster für effektive Software-Entwicklung. 2. Auflage. München: Elsevier GmbH, Spektrum Akademischer Verlag, 2007
- /91/ N.N.: SIMATIC Automation Designer. Siemens AG, Nürnberg, 2010, <http://www.siemens.de/simatic-automation-designer> (30.10.2010)
- /92/ N.N.: Siemens AG: SIMATIC Controller - die innovative Lösung für alle Automatisierungsaufgaben. Nürnberg, 2009 - Firmenschrift
- /93/ N.N.: EPLAN Engineering Center. EPLAN Software & Service GmbH & Co. KG, Monheim am Rhein, 2009, <http://www.eplan.de/produkte/mechatronik/eplan-engineering-center.html> (30.10.2010)

- /94/ N.N.: MoWiMa - Modellierung und Wiederverwendung objektorientierter Maschinensoftware. Abschlußpräsentation des BMBF-Verbundprojekts MoWiMa, VDMA Frankfurt am Main, 30. April 1998, <http://www.isg-stuttgart.de/mowima.html> (30.10.2010)
- /95/ N.N.: modul.oo engineering tool. modul.oo GmbH, Besigheim, 2009, <http://www.modul-oo.de/produkte/engineering-tool/> (30.10.2010)
- /96/ N.N.: LQ Mechatronik-Systeme GmbH, Besigheim, 2010, <http://www.lq-group.com/de/produkte> (30.12.2010)
- /97/ Grabowski H.;
Anderl R.;
Polly A.: Integriertes Produktmodell. 1. Auflage, Berlin: Beuth, 1993.
- /98/ Eigner, Martin;
Stelzer, Ralph: Product Lifecycle Management: Ein Leitfaden für Product Development und Life Cycle Management. 2. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.] : Springer, 2009
- /99/ N.N.: ProSTEP iViP e.V. <http://www.prostep.org/> (07.11.2010)

- /100/ Scheer, August-Wilhelm: CIM – Computer Integrated Manufacturing : Der computergesteuerte Industriebetrieb. 4. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.] : Springer, 1990
- /101/ ESPRIT Consortium AMICE: CIMOSA : open system architecture for CIM 2. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer, 1993
- /102/ Weilkiens, Tim: Systems Engineering mit SysML/UML - Modellierung, Analyse, Design. 2. Auflage. Heidelberg: dpunkt Verlag, 2008
-
- /103/ N.N.: MTConnect
<http://www.mtconnect.org/> (12.11.2010)
- /104/ Botaschanjan, Jewgenij;
Hensel, Thomas;
u.a.: AutoVIBN - Abschlussbericht: Automatische Generierung von Verhaltensmodellen aus CAD-Daten für die qualitätsorientierte virtuelle Inbetriebnahme. Institut für Informatik, Technische Universität München, Juni 2010, <http://autovibn.in.tum.de> (12.11.2010)
- /105/ N.N.: Rockwell Automation: Large Control Systems - GuardLogix Controllers - User Manual. Milwaukee, Januar 2010 - Firmenschrift
- /106/ N.N.: Mitsubishi Electric: System Q - Die Automatisierungsplattform - Technischer Katalog. Ratingen, August 2007 - Firmenschrift

- /107/ Felser, Max: ROFIBUS Handbuch - eine Sammlung von Erläuterungen zu PROFIBUS Netzwerken. Berlin: epubli, 2009
- /108/ Schulze, Manfred: Elektrische Servoantriebe - Baugruppen mechatronischer Systeme. München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag, 2008
- /109/ N.N.: SERCOS International e.V.: SERCOS III - Universelle Echtzeit-Kommunikation mit Ethernet, 2007, <http://www.sercos.de> (05.05.2010)
- /110/ Rebhan, Eckard (Hrsg.): Energiehandbuch - Gewinnung, Wandlung und Nutzung von Energie. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer Verlag, 2002
- /111/ Grote, Karl-Heinrich; Feldhusen, Jörg: Dubbel - Taschenbuch für den Maschinenbau. 22. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer Verlag, 2007
- /112/ Isermann, Rolf: Mechatronische Systeme - Grundlagen. 2. Auflage. Berlin; Heidelberg [u.a.]: Springer Verlag, 2008
- /113/ Grüger, Guido; Stark, Thomas: Handbuch der Java-Programmierung - Standard Edition Version. 6. Auflage. München; Boston [u.a.]: Addison-Wesley Longman Verlag, 2009

/114/ N.N.:

Eclipse, Eclipse Foundation.

<http://www.eclipse.org/> (11.10.2010)

/115/ N.N.:

Rexroth IndraLogic.

Bosch Rexroth AG, Lohr am Main, 2010

Lebenslauf

Persönliches:

Axel Reuter

geb. am 05. August 1980 in Eschwege

verheiratet



Schulbildung:

1997 - 2000 Berufliches Gymnasium Eschwege
Zweig: Elektrotechnik
Abschluss: Allgemeine Hochschulreife

Wehrdienst:

2000 - 2001 zehnmonatiger Grundwehrdienst

Studium:

2001 - 2007 Universität Karlsruhe (TH)
Fachrichtung Maschinenbau
Abschluss: Diplom-Ingenieur

2005 - 2006 Halbjähriges Auslandsfachpraktikum bei Bosch Rexroth
Corporation in Tsuchiura Japan, Abteilung: Production Department

Berufstätigkeit:

2007 - 2010 Doktorand bei Bosch Rexroth Electric Drives and Controls GmbH
in Lohr am Main
Betreuung durch Prof. Verl vom ISW, Universität Stuttgart

Seit 2010 Systementwicklungsingenieur bei Robert Bosch GmbH
in Schwieberdingen, Abteilung: Entwicklung aktiver Generatoren

Seit 2012 Teilprojektleitung Mildhybrid-System bei Robert Bosch GmbH
in Schwieberdingen, Abteilung: Entwicklung aktiver Generatoren