

Geleitwort des Herausgebers

Komplexe Wirtschaftssysteme sind einem stetigen Wandel unterworfen, die Herausforderungen an Unternehmen werden immer komplexer. Das äußert sich im verstärkten internationalen Wettbewerb ebenso wie im Bestreben der Gesellschaft, das Erreichte zu sichern. Adäquate Problemlösungen sind daher in zunehmender Weise nur fachübergreifend realisierbar. Im HEINZ NIXDORF INSTITUT der Universität Paderborn und am Fraunhofer Anwendungszentrum für Logistikorientierte Betriebswirtschaft leisten wir mit der interdisziplinären Zusammenarbeit vor allem zwischen der Informatik und den Ingenieurs- und Wirtschaftswissenschaften unseren Beitrag zur Bewältigung dieser Aufgaben.

Der Forschungsschwerpunkt der von mir geleiteten Fachgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM, und des Fraunhofer Anwendungszentrums für Logistikorientierte Betriebswirtschaft liegt dabei auf allen technisch-betriebswirtschaftlichen Fragen, die bei der Gestaltung und Durchführung von inner- und überbetrieblichen Unternehmensprozessen auftreten und mittels innovativer Informationstechnik einer Lösung zugeführt werden können.

Zukunftsorientierte Produktionskonzepte müssen permanent an neue Marktanforderungen angepasst werden. Ziel ist ein optimaler Materialfluss sowie der reibungslose Ablauf der Produktion. Dieser Anspruch ist nur unter zu Hilfenahme von Modellen der Produktionssysteme zur Unterstützung der notwendigen Planungs-, Anpassungs- und Optimierungsprozesse zu realisieren. Diese sind jedoch durch die unterschiedlichen Begriffswelten der beteiligten Akteure oft lediglich bedingt als Kommunikationsbasis einsetzbar.

Herr Kösters widmet seine Arbeit dieser Problematik, indem er ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung von Produktionssystemen erstellt. Dazu wird eine Ontologie für dieses Themengebiet erstellt und mit den Bausteinen verschiedener Stellen-/Transitionsnetz Typen gekoppelt.

Paderborn, April 2006

Wilhelm Dangelmaier

Vorwort

Die vorliegende Arbeit entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM, am Heinz Nixdorf Institut der Universität Paderborn und des Fraunhofer Anwendungszentrums für Logistikorientierte Betriebswirtschaft.

Herrn Prof.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier danke ich nicht nur für die Betreuung meiner Dissertation, sondern auch für die Übertragung herausfordernder Aufgaben in Industrie- und Forschungsprojekten.

Herrn Prof. Dr. Ludwig Nastansky möchte ich an dieser Stelle für die Übernahme des Korreferats danken. Darüber hinaus gilt mein Dank den weiteren Mitgliedern der Prüfungskommission Prof. Dr. Leena Suhl und Prof. Dr. Stefan Betz.

Weiterhin gilt mein Dank allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der Arbeitsgruppe Wirtschaftsinformatik, insbesondere CIM, und des Fraunhofer Anwendungszentrums für Logistikorientierte Betriebswirtschaft, die durch viele gemeinsame Diskussionen und wertvolle Anregungen zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein größter Dank gilt meinen Eltern und meiner Freundin, die mir stets den Rückhalt und die Unterstützung gegeben haben, um das umfangreiche Vorhaben meiner Dissertation weiter zu verfolgen.

Paderborn, April 2006

Christian Kösters

**Ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung der Abläufe
in einem Produktionssystem unter besonderer
Berücksichtigung einer diskreten Produktion**

Dissertation
zur Erlangung der Würde eines
DOKTORS DER WIRTSCHAFTSWISSENSCHAFTEN
(Dr. rer. pol.)
der Universität-Paderborn

vorgelegt von
Dipl.-Wirt.-Ing. Christian Kösters
46286 Dorsten

Paderborn, April 2006

Dekan: Prof. Dr. Peter F. E. Sloane
Referent: Prof. Dr.-Ing. habil. Wilhelm Dangelmaier
Korreferent: Prof. Dr. Ludwig Nastansky

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	i
Abbildungsverzeichnis.....	iv
Tabellenverzeichnis.....	vii
Abkürzungsverzeichnis.....	viii
1 Einleitung	1
2 Problemdefinition.....	7
2.1 Ausgangssituation	7
2.2 Begriffe des Untersuchungsgegenstands	11
2.2.1 Ontologie	11
2.2.2 Modell	12
2.2.3 Produktion	13
2.3 Skizzierung der Problemlösung	15
2.3.1 Entwicklung einer Basisontologie	18
2.3.2 Entwicklung einer Domänenontologie	19
2.3.3 Entwicklung eines ontologiebasierten Modells.....	20
3 Stand der Technik	25
3.1 Ontologien	26
3.1.1 Basisontologien	28
3.1.1.1 Basisontologie im KOWIEN-Projekt.....	28
3.1.1.2 Basisontologie im TOVE-Projekt	29
3.1.2 Domänenontologien	32
3.1.2.1 Enterprise Ontology	32
3.1.2.2 Spezifische TOVE-Ontologien	34
3.1.3 Fazit	35
3.2 Modelle	35
3.2.1 Petri-Netze.....	38
3.2.1.1 Traditionelle Petri-Netze.....	38
3.2.1.2 Gefärbte Petri-Netze	40

3.2.1.3	Prädikats-/Transitionsnetze	41
3.2.1.4	Zeitbewertete Petri-Netze	42
3.2.1.5	Hierarchische Petri-Netze	42
3.2.1.6	Fazit Petri-Netze	43
3.2.2	MFert - Modell der Fertigung	44
3.2.3	ARIS und SAP NetWeaver	46
3.2.4	Fazit	48
4	Zu leistende Arbeiten	51
5	Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion	53
5.1	Basisontologie	53
5.1.1	Objektorientierte Klassen	54
5.1.2	Zeitorientierte Klassen	57
5.1.3	Verhaltensorientierte Klassen	60
5.1.4	Relationen in der Basisontologie	74
5.2	Domänenontologie	76
5.2.1	Produktionssystem	77
5.2.2	Produktionsablauf	79
5.2.3	Produktionsfaktoren	82
5.2.3.1	Gebrauchsobjekte	85
5.2.3.2	Verbrauchsobjekte	89
5.2.3.3	Beschaffung	90
5.2.4	Produkte	91
5.2.4.1	Erzeugnisse	92
5.2.4.2	Vertrieb	92
5.2.5	Produktionsplanung	93
5.2.5.1	Mengenplanung	95
5.2.5.2	Terminplanung	101
5.2.5.3	Kapazitätsplanung	104
5.2.6	Hierarchischer Aufbau der Ontologie	105
5.2.7	Elektronische Erfassung der Ontologie	109
5.3	Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem	110

5.3.1	Objektorientierte Klassen	112
5.3.2	Zeitorientierte Klassen	115
5.3.3	Verhaltensorientierte Klassen.....	115
5.3.4	Kanten	127
5.3.5	Klassen der Domänenontologie.....	128
5.4	Fazit	128
6	Beispielmodell	131
6.1	Anwendungsspezifische Ontologieerweiterung	131
6.2	Modellbildung.....	135
6.3	Fazit	139
7	Prototypische Implementierung	140
7.1	Softwarearchitektur.....	140
7.2	Datenmodell.....	140
7.3	Funktionalität	141
7.4	Beispielmodell	143
8	Zusammenfassung und Ausblick	145
9	Literaturverzeichnis.....	147
10	Stichwortverzeichnis	155
11	Anhang	157

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit	5
Abbildung 2-1: Kombination von Ontologie und Modell.....	13
Abbildung 2-2: Produktion als Input-Output-System	14
Abbildung 2-3: Schritte zum ontologiebasierten Modell	17
Abbildung 2-4: Anwendung des ontologiebasierten Modells.....	18
Abbildung 3-1: Hierarchische Einordnung von Ontologietypen	26
Abbildung 3-2: Basisontologie im KOWIEN-Projekt	29
Abbildung 3-3: Abhängigkeiten von TOVE-Ontologien.....	30
Abbildung 3-4: Zustandsarten	31
Abbildung 3-5: Modellklassifikation	37
Abbildung 3-6: Beispiel Petri-Netz.....	39
Abbildung 3-7: Hierarchische Petri-Netze	43
Abbildung 3-8: Bestandteile des Modells der Fertigung	46
Abbildung 4-1: Aufbau der Arbeit	52
Abbildung 5-1: Einbindung einer AF-Klasse.....	67
Abbildung 5-2: Erfüllung eines Auftrags.....	71
Abbildung 5-3: Teilmodellbildung.....	73
Abbildung 5-4: Klassen der Basisontologie.....	74
Abbildung 5-5: Relationen zwischen den Klassen der Basisontologie.....	75
Abbildung 5-6: Produktionssystem, Produktionslinie und Produktionsstufe	79
Abbildung 5-7: Begriffliche Einordnung	99
Abbildung 5-8: Zugänge und Abgänge in einem Zeitintervall	100
Abbildung 5-9: Bestimmung der nettobedarfsdeckenden Aufträge.....	101
Abbildung 5-10: Vorwrtsterminierung.....	102
Abbildung 5-11: Rckwrtsterminierung.....	103

Abbildung 5-12: Zusammensetzung der Vorgangszeit	104
Abbildung 5-13: Hierarchischer Aufbau der Ontologie	106
Abbildung 5-14: Relationen zwischen ausgewählten Klassen	108
Abbildung 5-15: Screenshot der in Protégé erfassten Gesamtontologie	110
Abbildung 5-16: O-Klasse und Objekt (Individuelle Marken).....	113
Abbildung 5-17: O-Klasse und Objekt (Nichtindividuelle Marken)	114
Abbildung 5-18: VO-Klasse und Vorgang (Individuelle Marken).....	116
Abbildung 5-19: VO-Klasse und Vorgang (Nichtindividuelle Marken)	117
Abbildung 5-20: AF-Klasse und Aufgabe (Individuelle Marken).....	118
Abbildung 5-21: AF-Klasse und Aufgabe (Nichtindividuelle Marken)	118
Abbildung 5-22: Einbindung einer AT-Klasse in ein Modell	119
Abbildung 5-23: AT-Klasse und Auftrag (Individuelle Marken).....	121
Abbildung 5-24: AT-Klasse und Auftrag (Nichtindividuelle Marken)	121
Abbildung 5-25: Teilmodellbildung (Individuelle Marken).....	124
Abbildung 5-26: Teilmodellbildung (Nichtindividuelle Marken)	126
Abbildung 6-1: Anwendungsspezifische Erweiterungen der Ontologie	132
Abbildung 6-2: Der Ablauf zur Produktion von Bremsleitungen.....	136
Abbildung 6-3: Ausschnitt inklusive Zustandstabellen	137
Abbildung 6-4: Verfeinertes Teilmodell tm_1 (Warenannahme)	138
Abbildung 7-1: Datenmodell des Tools OntoMod	141
Abbildung 7-2: Screenshot des Ontologie Browsers	142
Abbildung 7-3: Screenshot der Bearbeitungsfläche von OntoMod.....	143
Abbildung 7-4: Screenshot von dem Beispielmodell in OntoMod.....	144
Abbildung 11-1: Transitionsbeschriftung in PR-/T-Netzen	157
Abbildung 11-2: Fertigungsverfahren nach DIN 8580.....	158
Abbildung 11-3: Auszug aus dem ausgeleiteten OWL-Code der Ontologie.....	159
Abbildung 11-4: Modellbeschriftung – O-Klassen	160

Abbildung 11-5: Modellbeschriftung – VO-Klassen	161
Abbildung 11-6: Modellbeschriftung – Teilmodelle	162
Abbildung 11-7: Teilmodell – Warenkommission.....	163

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3-1: Die Klassen der Activity-State und Time-Ontology	30
Tabelle 3-2: Überblick über die Klassen der Enterprise Ontology.....	32
Tabelle 3-3: Ontologien des TOVE-Projekts.....	34
Tabelle 3-4: Komponenten Petri-Netz.....	38
Tabelle 3-5: Komponenten gefärbtes Petri-Netz	40
Tabelle 3-6: Komponenten eines Prädikats-/Transiotions-Netzes.....	41
Tabelle 3-7: Modellkonstrukte in MFert	45
Tabelle 5-1: Komponenten der Basisontologie	53
Tabelle 5-2: Komponenten der Domänenontologie.....	76
Tabelle 5-3: Zuordnung zur Zeitpunkt- oder Zeitintervallbetrachtung bei der Ermittlung von Bedarfen, Beständen und bestandsverändernden Ereignissen	96
Tabelle 5-4: Modellleistungsmerkmale	111
Tabelle 5-5: Komponenten des ontologiebasierten Modells	111

Abkürzungsverzeichnis

<i>A</i>	<i>Abgang</i>
<i>AMICE</i>	<i>European Computer Integrated Manufacturing Architecture</i>
<i>AU</i>	<i>Ausschuss</i>
<i>BB</i>	<i>Bruttobedarf</i>
<i>CAD</i>	<i>Computer Aided Design</i>
<i>CIM</i>	<i>Computer Integrated Manufacturing</i>
<i>DIN</i>	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
<i>e</i>	<i>Länge einer Einheit</i>
<i>ERM</i>	<i>Entity Relationship Model</i>
<i>ESPRIT</i>	<i>European Strategic Program for Research and Development in Information Technology</i>
<i>EPK</i>	<i>ereignisgesteuerten Prozesskette</i>
<i>FhG</i>	<i>Fraunhofer Gesellschaft</i>
<i>FST</i>	<i>Fertigungssteuerung</i>
<i>GB</i>	<i>Gesperrter Bestand</i>
<i>HNI</i>	<i>Heinz Nixdorf Institut</i>
<i>HTML</i>	<i>Hypertext Markup Language</i>
<i>HTTP</i>	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
<i>IuK</i>	<i>Informations- und Kommunikation</i>
<i>JIT</i>	<i>Just-in-Time</i>
<i>KOWIEN</i>	<i>Kooperatives Wissensmanagement in Entwicklungsnetswerken</i>
<i>LB</i>	<i>Lagerbestand</i>
<i>MFert</i>	<i>Modell der Fertigung</i>
<i>MRP</i>	<i>Manufacturing Ressource Planning</i>
<i>NB</i>	<i>Nettobedarf</i>
<i>OA</i>	<i>Offener Auftrag</i>
<i>O-Klasse</i>	<i>Objektklasse</i>
<i>PB</i>	<i>Physischer Bestand</i>
<i>PPS</i>	<i>Produktionsplanung und Steuerung</i>
<i>RDF</i>	<i>Ressource Description Framework</i>
<i>RDF-S</i>	<i>Ressource Description Framework Schema</i>
<i>RE</i>	<i>Reservierung</i>
<i>REFA</i>	<i>Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation e.V.</i>
<i>SB</i>	<i>Sicherheitsbestand</i>
<i>SCM</i>	<i>Supply Chain Management</i>
<i>STEP</i>	<i>Standard for the Exchange of Product Model Data</i>

<i>TOVE</i>	<i>Toronto Virtual Enterprise</i>
<i>URI</i>	<i>Uniform Ressource Identifier</i>
<i>URL</i>	<i>Uniform Ressource Locator</i>
<i>UTC</i>	<i>Coordinated Universal Time</i>
<i>UML</i>	<i>Unified Modeling Language</i>
<i>VB</i>	<i>Verfügbarer Bestand</i>
<i>VDI</i>	<i>Verein Deutscher Ingenieure</i>
<i>VO-Klasse</i>	<i>Vorgangsklasse</i>
<i>W3C</i>	<i>World Wide Web Consortium</i>
<i>WB</i>	<i>Werkstattbestand</i>
<i>Z</i>	<i>Zugang</i>

1 Einleitung

Das Umfeld, in dem sich heutige produzierende Unternehmen bewegen, hat sich in den letzten Jahren stark gewandelt. Sowohl steigende Komplexität durch Teile- und Varianten- als auch durch Kunden-, Lieferanten- und Vertriebswegevielfalt beeinflussen das Marktumfeld. Verkürzte Produktlebenszyklen verschärfen zusätzlich den sich international ausbreitenden Wettbewerb¹. Diese Rahmenbedingungen beeinflussen direkt den Grad an Komplexität und den Bedarf an Flexibilität innerhalb der Unternehmen. Darüber hinaus steigt die Notwendigkeit der Kooperation der Unternehmen mit ihren Lieferanten und Kunden sowie verschiedenen Beratungsspezialisten. Die Produktionsysteme der Unternehmen müssen notwendigerweise permanent an die neuen Anforderungen angepasst werden. Diese Anpassung kann nicht alleine durch die an der Produktionsplanung und -steuerung (PPS) des Unternehmens beteiligten Mitarbeiter geleistet werden. Vielmehr ist die Integration aller an der Wertschöpfungskette beteiligten Individuen zur Optimierung der Abläufe innerhalb der Produktionssysteme der kooperierenden Unternehmen sinnvoll.

Damit den beteiligten Akteuren ein Verständnis von den Abläufen innerhalb des zu optimierenden und anzupassenden Produktionssystems vermittelt werden kann, muss deren Abbildung als Diskussionsgrundlage erstellt werden. Zur Anpassung der betrachteten Abläufe sind sowohl der aktuelle Zustand des Systems als auch potenzielle zukünftige Zustände von Bedeutung. Daher sollte die Abbildung in Form eines Modells erfolgen, welches das Verhalten des Produktionssystems beschreiben kann. Modellierungsmethoden, die die Einbindung von Regeln zur Vorhersage zukünftiger Systemzustände ermöglichen, sind beispielsweise die verbreiteten höheren Petri-Netze oder auf diesen basierende spezielle Lösungen wie z.B. das Modell der Fertigung (MFert). Die mittels dieser Methoden entwickelten Modelle bestehen aus Symbolen, die es dem Betrachter ermöglichen, wesentliche Bestandteile von Modellen wie z.B. Objektklassen, Objekte und Prozesse sowie deren Instanzen von einander auf Anhieb zu unterscheiden. Durch eine entsprechende Beschriftung der Symbole lässt sich jeder Klasse zudem eine Bezeichnung zuordnen. Anhand der Bezeichnungen können Betrachter, die über das gleiche Verständnis bezüglich der Bedeutung der entsprechenden Begriffe verfügen, das Modell in der gleichen Weise interpretieren. Problematisch wird es jedoch, wenn ein Nutzer einer der verwendeten Bezeichnungen gar keine oder eine andere Bedeutung zuordnet als der Modellautor selbst. In diesem Fall entstehen Terminologieprobleme, die das gemeinsame Entwickeln eines Plans zur

¹Vgl. [KuHe02, S. 2ff], [KiSt01, S. 250ff] und [KrSt00, S. 501]

Erreichung eines gewünschten zukünftigen Systemzustands behindern. Zur Vermeidung von Terminologieproblemen werden heutzutage verstärkt Ontologien eingesetzt. Ontologien enthalten gegenüber klassischen Begriffssammlungen wie z.B. den REFA Standardwerken² Relationen zwischen den definierten Klassen. Mittels einer Ontologie ist es möglich, einer inhaltlichen Beschreibung mehrere Bezeichnungen zuzuordnen. Auf diese Weise lassen sich verschiedene Terminologien ineinander übersetzen. Eine Ontologie lässt sich mit Hilfe geeigneter Werkzeuge in erweiterbaren Datenbanken ablegen. Neben einer reinen sprachlichen Festlegung der Bedeutungen der enthaltenen Klassen und deren Verknüpfung mit anderen Klassen lässt sich jede in einer Ontologie eingeführte Klasse durch zuvor bestimmte Attribute beschreiben. Ist eine nachträgliche Verfeinerung des erfassten Klassenrepertoires notwendig, lassen sich Ontologien erweitern. Zu diesem Zweck können die neuen Begriffe in das bestehende Geflecht eingeordnet werden und Attribute übergeordneter Klassen erben. Mit diesen Attributen erben sie gleichzeitig entsprechend festgelegte Verknüpfungen zu anderen Klassen und lassen sich dadurch schnell in den Gesamtkontext der betrachteten Wissensdomäne einordnen. Es existieren bereits Ontologien, deren Intention es ist, Nutzern einen einheitlichen Einblick in die Wissensdomäne eines Unternehmens zu gewähren. Ein Ansatz, der sich speziell mit den Begriffen zur Beschreibung eines diskreten Produktionssystems auseinander setzt, ist jedoch nicht bekannt. Ferner bieten Ontologien im Gegensatz zu Modellen nicht die Möglichkeit, ein reales System in verschiedenen Zuständen über den Verlauf der Zeit abzubilden. Somit sind sie als eigenständige Lösung nicht geeignet, verschiedenen Individuen ein Bild von Abläufen innerhalb eines Produktionssystems zu vermitteln.

Neben den bereits erwähnten Modellierungsmethoden kommen in produzierenden Unternehmen verschiedene PPS- und ERP-Systeme³ zum Einsatz. Verbreitete Systeme in Form von anzupassender Standardsoftware sind beispielsweise SAP R/3 bzw. in Zukunft SAP NetWeaver⁴ oder Individuallösungen wie z.B. OOPUS (Objekt-Orientierte Planung und Steuerung) VW für die Planung und Steuerung der Motorenfertigung der Volkswagen AG. Zur Erstellung und Anpassung der enthaltenen Planungsalgorithmen an eine gegebene Situation in einem Unternehmen bedienen sich die einführenden Entwickler unterschiedlicher Modellierungsmethoden. Zu diesen zählen Methoden zur Abbildung notwendiger Datenstrukturen (z.B. ERM⁵) und Methoden zur Abbildung der zu berücksichtigenden Geschäftsprozesse (bei SAP die

² Vgl. [REFA85]

³ ERP (Enterprise Ressource Planing)

⁴ Für weitere Informationen siehe: www.sap.de

⁵ ERM (Entity Relationship Model)

ARIS-Methoden, z.B. eEPK⁶). Um diese Systeme bedienen oder sogar anpassen zu können, bedarf es einer sehr zeit- und kostspieligen Einarbeitungszeit. SAP enthält eine Onlinehilfe, die grundlegende Systemfunktionalitäten und Begriffe erörtert. Hauptaugenmerk der Systeme ist jedoch nicht die Vermittlung eines Abbilds eines Produktionssystems, sondern die unternehmensinterne Planung und Steuerung der zur Wertschöpfung notwendigen Geschäftsprozesse. Ein solches System kann daher nicht als unternehmensübergreifende Diskussionsgrundlage zur Verbesserung der Ablaufstrukturen innerhalb eines Produktionssystems genutzt werden, zumal es nicht in jedem Unternehmen vorhanden ist.

Die Idee, die der vorliegenden Arbeit zu Grunde liegt, basiert auf der Kombination einer Modellierungsmethode mit einer erweiterbaren Ontologie, die für die behandelte Wissensdomäne relevante Begriffe und deren Bedeutung enthält. Die Modellierungsmethode soll ermöglichen, dass zukünftige Zustände eines Produktionssystems anhand bestimmter Regeln ermittelt werden können. Dadurch sollen die Vorteile von Modellierungsmethoden und Ontologien vereint und die Schwächen der jeweiligen Einzellösung vermieden werden. Durch die erfolgreiche Umsetzung dieser Idee entsteht die Möglichkeit, mit überschaubarem Aufwand einzelne Teile oder ein gesamtes Produktionssystem in seiner Ablaufstruktur zu erfassen. Jedes Element der so entstandenen Abbildung des gegebenen Systems ist neben einer Bezeichnung und seinen direkten Beziehungen zu anderen Modellelementen detailliert durch die Inhalte der hinterlegten Ontologie in seiner Bedeutung bestimmbar. Auf diese Weise sind die entstehenden Modelle ausführlich dokumentiert und können ohne Recherche- und Kommunikationsaufwand objektiv von verschiedenen Nutzern interpretiert werden. Anhand der einheitlichen Modelle können alle beteiligten Individuen die Ergebnisse einer Umsetzung ihrer Ideen zur Verbesserung der Produktionsabläufe ohne großen Aufwand ermitteln. Darüber hinaus können der Einfluss notwendiger oder erwünschter Veränderungen innerhalb der Produktionssystemablaufstrukturen ermittelt und die Ergebnisse dieser Untersuchungen anderen Personen präsentiert werden. Durch die Zuordnung der Klassenbedeutungen zu den entsprechenden Bezeichnungen werden die durch unterschiedliche Fachrichtungen, Unternehmenskulturen, Ausbildungen, etc. entstehenden Terminologieprobleme zwischen den Akteuren weitestgehend vermieden. Je öfter die Methode angewendet wird, desto umfangreicher wird die enthaltene Ontologie. Folglich reduziert sich der Zeitaufwand zur Erstellung neuer Modelle stetig.

In Abbildung 1-1 wird der Aufbau der Arbeit dargestellt. Nachdem im nachfolgenden Kapitel die Problemstellung erörtert wird, folgt in Kapitel 3 die Beschreibung und Bewertung des Stands der Technik in den relevanten Bereichen. Kapitel 4 enthält als

⁶ eEPK (erweiterte Ereignisgesteuerte Prozess Kette)

Fazit aus Problemstellung und Stand der Technik die durchzuführenden Arbeiten zur Erfüllung der festgelegten Ziele und Anforderungen. In Kapitel 5 wird schließlich das angestrebte Konzept entwickelt. Mit Hilfe des erstellten Konzepts wird in Kapitel 6 ein Beispiel abgebildet. Kapitel 7 enthält eine Beschreibung des erstellten Prototypen, der die erarbeiteten Konzepte auszugsweise umsetzt.

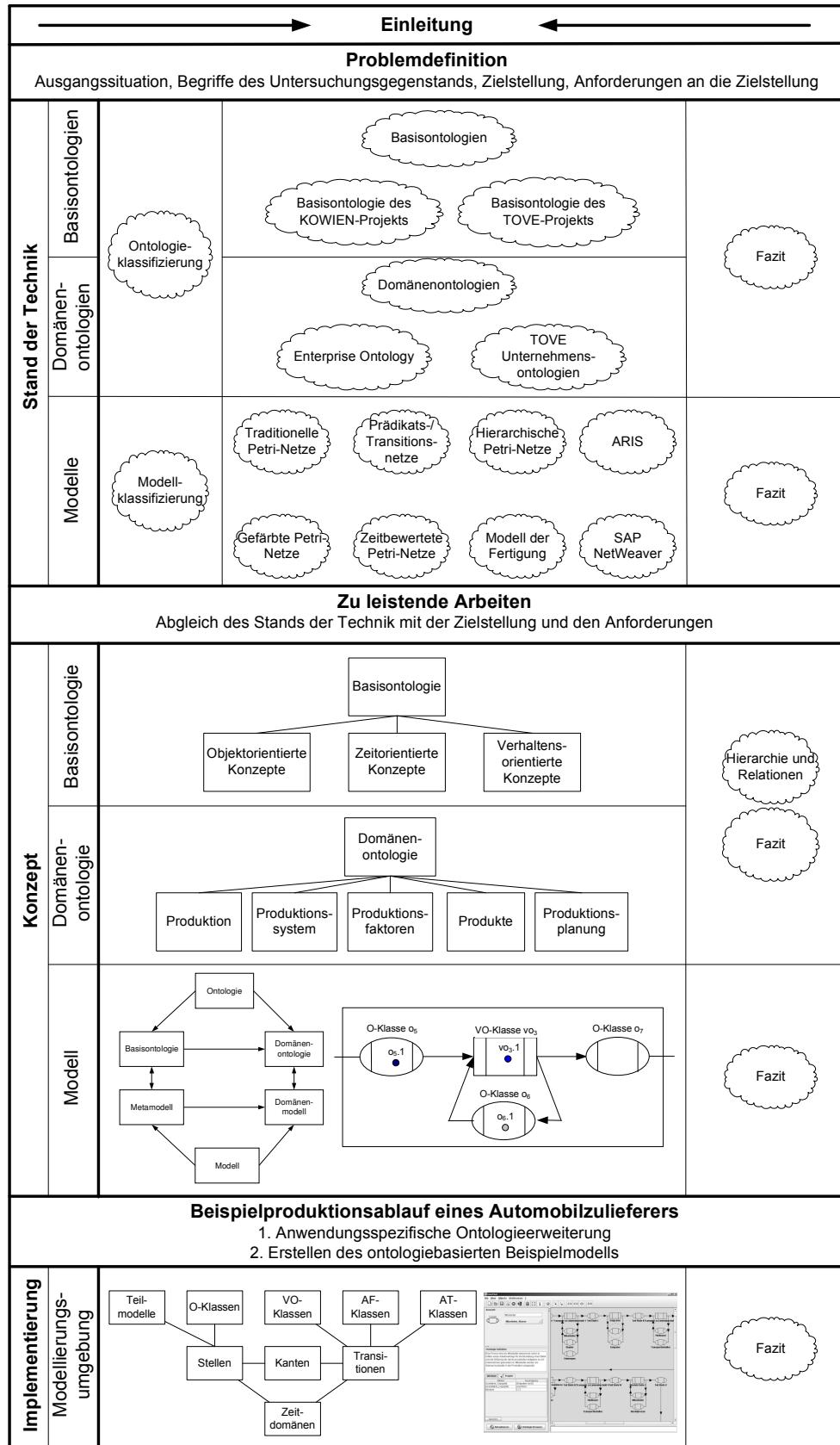


Abbildung 1-1: Aufbau der Arbeit

2 Problemdefinition

Untersuchungsgegenstand dieser Arbeit sind Ontologien und Modelle für produzierende Unternehmen, die eine diskrete Produktion betreiben. Die Ausgangssituation als Grundlage der vorliegenden Arbeit wird in Kapitel 2.1 beschrieben. Anschließend werden als Einstieg in die behandelten Thematiken wichtige Begriffe in Kapitel 2.2 erläutert, um daraufhin die geplanten Ziele und Anforderungen der Arbeit in Kapitel 2.3 zu beschreiben.

2.1 Ausgangssituation

In der Einleitung wurde bereits dargelegt, zu welchem Zweck sich Modelle eines Produktionssystems einsetzen lassen, innerhalb derer die tatsächlichen und zukünftigen Abläufe abgebildet sind. In erster Linie geht es dabei um die Ermittlung von Verbesserungsmöglichkeiten in der Gestaltung der Abläufe innerhalb der Produktionssysteme sowie die Vorhersage von Einflüssen auf zukünftige Zustände eines betrachteten Produktionssystems, die aus absehbaren Veränderungen an der Ablaufgestaltung resultieren.

Darüber hinaus kann neuen Mitarbeitern der Ablauf der Produktion am Modell verdeutlicht werden, um ihnen den Einstieg in ihr Tätigkeitsfeld zu erleichtern. Zusammen mit potenziellen Lieferanten können anhand der Modelle Strategien für die termin- und mengenmäßige Deckung vorhandener Bedarfe ermittelt werden. Die dadurch entstehenden Bedarfe können mit dem bestehenden Produktionsprogramm der Lieferanten kapazitativ abgestimmt werden⁷.

Im vorliegenden Kapitel wird gezeigt, welche Methoden derzeit genutzt werden, um derartige Modelle aufzustellen, welche Arten von Systemen zur Planung und Steuerung einer Produktion eingesetzt werden und welche Werkzeuge zur Vermeidung von Terminologieproblemen in verschiedenen Wissensdomänen bereits bekannt sind. Dabei wird erläutert, worin die Schwierigkeiten bei der Modellerstellung und -interpretation durch verschiedene beteiligte Individuen begründet liegen und wie mit diesen mittels Einsatz der Ergebnisse dieser Arbeit, die aus einer Kombination unterschiedlicher Ansätze entstehen, umgangen werden können.

⁷ Die Auswirkung einer veränderten Auftragslage durch die Abnehmer auf das vorliegende Produktionsprogramm kann ebenfalls bestimmt werden. Beispielsweise kann der Zulieferer in Zusammenarbeit mit dem OEM die Auswirkung neuer Rahmenverträge auf die Auslastung der Kapazitäten ermitteln.

Neben den Mitarbeitern der mit der Produktionsplanung und -steuerung betrauten Abteilung sollen Personen anderer Abteilungen des Unternehmens, betriebsfremde Berater, Mitarbeiter der Lieferanten, neu eingestellte Mitarbeiter sowie Mitarbeiter der Abnehmer mit der gesuchten Methode arbeiten können. Die Terminologien dieser Akteure unterscheiden sich in mehr oder weniger starkem Umfang von einander.

Bereits innerhalb einer Abteilung eines Unternehmens kann das Problem zum Tragen kommen, dass Mitarbeiter mit unterschiedlichen Ausbildungen ein anderes Verständnis für ein und den selben Begriff haben⁸. Besonders schwierig erweist es sich oft, neuen und damit betriebsfremden Mitarbeitern ein präzises Verständnis für die zu beherrschende Wissensdomäne und damit für die konkreten Abläufe in dem zu betreuenden Produktionssystem zu vermitteln. Externe Berater haben durch die Vielzahl ihrer zu bearbeitenden Projekte häufig Schwierigkeiten, sich in der Terminologie des aktuell zu unterstützenden Unternehmens zurecht zu finden. Dadurch gestaltet sich nicht nur die Einarbeitung in das neue Projekt arbeitsintensiv, sondern bereits bei den Gesprächen zur Projektanbahnung zwecks Erstellung des Angebots können Missverständnisse folgenschwere Probleme für beide Seiten nach sich ziehen. Folglich ist ein einheitliches Verständnis für die relevanten Begriffe der verwendeten Wissensdomäne⁹ von großem Vorteil.

Zusammenfassend lassen sich folgende Beziehungen bei einer Kommunikation zwischen zwei Individuen, die innerhalb einer Wissensdomäne jeweils ihre eigene Terminologie einsetzen, festhalten:

1. *Konsens*: Dieselbe Begriffsbezeichnung bk wird für dieselbe Begriffsbedeutung b benutzt ($bk_1 = bk_2, b_1 = b_2$).

⁸ Z.B. können leicht folgenschwere Missverständnisse entstehen, wenn der eine Mitarbeiter unter Bestand den physischen Bestand im Lager, der andere aber den verfügbaren Bestand versteht oder wenn Produktionsfaktoren mit ähnlichen Bezeichnungen aber unterschiedlichem Einsatzspektrum verwechselt werden.

⁹ Wissensdomänen existieren für verschiedene voneinander abgegrenzte Themenbereiche, die aus für die Thematik relevanten Begriffen und den dazugehörigen Definitionen gebildet werden können. Dabei muss zwischen verschiedenen qualitativen Arten von Wissensdomänen unterschieden werden. Zum einen ist es möglich, dass das Wissen eines Wissensbereichs von der subjektiven Auffassung einzelner Individuen unabhängig gebildet werden kann. In diesem Fall ist eine Kommunikation aufgrund der einheitlichen Beschreibungsformen zwischen verschiedenen Personen im Rahmen dieser Wissensdomäne problemlos und ohne Missverständnisse möglich. Problematisch gestaltet sich hingegen der Fall, dass im Rahmen einer Wissensdomäne unterschiedliche Interpretationen bzgl. der Konzeptbedeutung der relevanten Konzeptbezeichnungen existieren. Die Konzeptbezeichnung ist die symbolische Darstellung eines Begriffs, der kommuniziert werden soll, als Zeichenkette aus einem Alphabet (ohne konkrete Bedeutung). Die Konzeptbedeutung besteht aus der inhaltlichen Beschreibung eines Konzepts. Im Rahmen einer Wissensdomäne müssen die Konzepte durch die Verknüpfung der Konzeptbezeichnungen mit den Konzeptbedeutungen gebildet werden.

2. *Kontrast*: Verschiedene Begriffsbezeichnungen bk werden für verschiedene Begriffsbedeutungen b benutzt ($bk_1 \neq bk_2, b_1 \neq b_2$).
3. *Konflikt*: Dieselbe Begriffsbezeichnung bk wird für unterschiedliche Begriffsbedeutungen b benutzt ($bk_1 = bk_2, b_1 \neq b_2$).
4. *Korrespondenz*: Verschiedene Begriffsbezeichnungen bk werden für dieselbe Begriffsbedeutungen b benutzt ($bk_1 \neq bk_2, b_1 = b_2$).

Der unter 1. geschilderte Fall ist im Gegensatz zu 2. - 3. unproblematisch. Eine Verständigung der Individuen ist möglich. In den Fällen 2. – 3. kann keine Aussage über die Gleichheit von Begriffsbezeichnungen und Begriffsbedeutungen getroffen werden, daher ist eine zielgerichtete Kommunikation der beteiligten Individuen nicht gewährleistet.

Die Wissensdomäne, die bei der Erörterung der Abläufe innerhalb eines Produktionsystems zum Einsatz kommt, ist - wie bereits ausführlich beschrieben – ein Beispiel für eine uneinheitliche Wissensdomäne, bei der die Beziehungen zwischen den von den verschiedenen Individuen verwendeten Terminologien oft durch Konflikt, Kontrast und Korrespondenz und nur selten durch Konsens gekennzeichnet sind.

Um dieses Problem einer adäquaten Lösung zuzuführen, ist es notwendig, eine einheitliche Begriffswelt zur Verfügung zu stellen. Mittel der Wahl zu diesem Zweck sind entweder literarische Standardwerke wie z.B. die Methodenlehre der REFA¹⁰ oder aber vermehrt themenspezifische Ontologien.

Begriffsammlungen sind am besten geeignet, um einen ersten Überblick über eine Wissensdomäne zu erlangen oder einen unbekannten Begriff nachzuschlagen. Gegenüber einer Ontologie hat eine Begriffsammlung jedoch den Nachteil, dass die enthaltenen Begriffe im Allgemeinen nicht untereinander in Beziehung stehen. Die Erweiterung um unternehmensspezifische Begriffe oder um verschiedene Varianten einer beschriebenen Klasse von Begriffen ist ebenfalls nicht vorgesehen. Diese Funktionalitäten bieten jedoch rechnergestützte Ontologien, die in einem entsprechenden Werkzeug hinterlegt sind.

Eine Ontologie besteht i.d.R. aus einer übergeordneten, domänenunabhängigen, das hierarchische Grundgerüst bildenden Basisontologie und einer die anwendungsspezifischen Klassen enthaltenden Domänenontologie. Durch die Verwendung einer Ontologie, in der den Bezeichnungen von Klassen, die gewisse Sachverhalte der Realität repräsentieren, entsprechende Bedeutungen zugewiesen wurden, können die zuvor geschilderten Terminologieprobleme umgangen werden. Jeder Nutzer hat somit

¹⁰ Vgl. [REFA85]

die Möglichkeit, seine eigene Begriffswelt in die der Ontologie anhand der hinterlegten detaillierten Beschreibung der Bedeutungen zu übersetzen. Ontologien enthalten neben den Bezeichnungen und Bedeutungen auch Methoden zur Erörterung (semantischer) Relationen zwischen den verschiedenen Klassen und können daher insgesamt gut zur Erfassung und Präsentation von Wissen eingesetzt werden. Eine Ontologie kann somit z.B. erklären, was ein bestimmtes Objekt ist, wofür es eingesetzt werden kann und mit Objekten welchen Typs es in Beziehung stehen kann. Darüber hinaus können in einer Ontologie auch konkrete Instanzen der erfassten Klassen beschrieben werden, die zum Erstellungszeitpunkt existieren. Eine Ontologie kann somit als eine stark vernetzte Datenbank, in der das Wissen eines bestimmten Bereichs abgelegt wird, verstanden werden. Ontologien haben in der Regel jedoch keine anzuwendenden Zeitmodelle. In Ontologien erfolgt die Beschreibung der Zeit lediglich deskriptiv, d.h. es werden Aussagen darüber getroffen, was ein Zeitpunkt oder ein Zeitintervall ist, jedoch kann damit keine Vorhersage darüber getroffen werden, wie ein bestehendes System zu einem bestimmten Zeitpunkt in der Zukunft aussehen wird. Die verbreiteten Ontologien zur Beschreibung von Unternehmen, wie z.B. die Enterprise Ontology haben keine Methoden oder Werkzeuge zur Abbildung von Objektflussbeziehungen über den Ablauf der Zeit. Darüber hinaus ermöglichen Ontologien nicht die grafische Abbildung eines realen Systems und der dort stattfindenden Abläufe.

Es existieren bereits Ansätze zur Abbildung von Abläufen innerhalb eines Produktionssystems, z.B. können anwendungsneutrale Methoden wie Petri-Netze, ARIS oder anwendungsspezifische Ansätze, wie z.B. MFert, KIM oder CIMOSA oder, wenn vorhanden, die Funktionen eines PPS- oder ERP-Systems wie z.B. SAP R/3 oder SAP NetWeaver genutzt werden. Die Gesamtheit dieser Mittel löst jedoch nicht die geschilderten Terminologieprobleme. Zwar existieren größtenteils detaillierte Dokumentationen bzgl. der Bedeutung der einzelnen anzuwendenden Modellkonstrukte, jedoch sind keine Funktionalitäten vorhanden, die die abgebildeten Sachverhalte semantisch klar erörtern¹¹. D.h., dass ein erstelltes Modell zwar formal ablauffähig ist und der Autors des Modells höchst wahrscheinlich exakt weiß, welches Modellelement welchem Teil der Realität entspricht, ein anderer Betrachter interpretiert das Modell jedoch ggf. in anderer Form. Er ordnet in diesem Fall den zu den Modellelementen aufgeführten Bezeichnungen andere Bedeutungen zu und kann daher keine kausal richtigen Schlüsse aus der Betrachtung des Modells ziehen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass weder ein traditionelles Modell noch eine Ontologie allein das ideale Mittel zur Erstellung eines Abbilds der Abläufe eines Produktionssystems zwecks Bildung einer Diskussionsgrundlage für verschiedene

¹¹ Siehe im Gegensatz dazu Ontologien.

Akteure mit unterschiedlichen Terminologien sind. Wie beschrieben fehlt der Ontologie die Abbildungsfunktionalität und dem Modell die Terminologiefunktionalität.

Die Idee zur Lösung der aufgezeigten Probleme liegt in der vorliegenden Arbeit darin, eine Ontologie und ein Modell für die Domäne eines produzierenden Unternehmens in geeigneter Weise zu einem Werkzeug zu verbinden. Die Ontologie bildet dabei sowohl die gemeinsame Basis für die Bestimmung der notwendigen Modellelemente als auch das semantische Grundgerüst in Form der obersten Hierarchieebene für die Enzyklopädie der zu bearbeitenden Wissensdomäne.

Ein mit diesem Werkzeug aufgestelltes Abbild der Abläufe in einem Produktionssystem ist damit anhand der Verknüpfung jedes verwendeten Modellelements zu einer Klasse der Domänenontologie von allen Betrachtern unabhängig ihrer eigenen Terminologie in der gleichen Weise interpretierbar. Gleichzeitig bietet eine solche Methode aber alle Möglichkeiten der zugrunde liegenden Modellierungsmethode und kann so bei geeigneter Auswahl Vorhersagen bzgl. zukünftiger Systemzustände aufgrund veränderter Rahmenbedingungen liefern.

2.2 Begriffe des Untersuchungsgegenstands

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die *Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung von Abläufen in Produktionssystemen unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion*. Zunächst werden daher die den Untersuchungsgegenstand kennzeichnenden Begriffe definiert. Begonnen wird mit den Begriffen *Ontologie*, *Modell*, *Produktionssystem* und *Produktion*.

2.2.1 Ontologie

Eine Ontologie wird als ein Instrument zur Beschreibung eines bestimmten Anwendungsbereiches eingesetzt. Mit Hilfe dieses Instruments wird die Kommunikation zwischen den Akteuren, die sowohl Menschen als auch Maschinen sein können, unterstützt¹². Durch den gezielten Einsatz einer Ontologie lassen sich somit Terminologieprobleme vermeiden. Laut Gruber ist eine Ontologie folgendermaßen definiert:

„Eine Ontologie ist eine formale, explizite Spezifikation einer gemeinsamen Konzeptualisierung.“¹³

¹² Vgl. [Wima05-ol]

¹³ Vgl. [Grub93, S. 1]

Um diese Definition nutzen zu können, müssen die vorkommenden Begriffe bestimmt werden. „*Formal*“ meint, dass die Ontologie durch Maschinen lesbar sein sollte, wobei unterschiedliche Stufen der Formalität möglich sind. „*Explizit*“ bedeutet, dass der Typ der Klassen und die Regeln für ihre Verwendung ausdrücklich bestimmt sind¹⁴. Eine „*Spezifikation*“ ist eine deklarative Beschreibung. „*Gemeinsam*“ bedeutet, dass die Beschreibung des Realitätsausschnitts nicht auf der Sichtweise eines einzelnen Individuums basiert, sondern auf dem Verständnis der Gruppe der potenziellen Nutzer der Ontologie. Dadurch wird erreicht, dass hinsichtlich der in der Ontologie festgelegten Spezifikationen Konsens herrscht. Eine „*Konzeptionalisierung*“ ist eine abstrakte Darstellung der relevanten Phänomene der wirklichen Welt¹⁵. Durch die formale, explizite Spezifikation der Konzeptualisierung des betrachteten Realitätsausschnitts wird somit eine einheitliche Sichtweise geschaffen. Der betrachtete Realitätsausschnitt wird als *Wissensdomäne* der Ontologie bezeichnet.

In der vorliegenden Arbeit ist die Erweiterbarkeit der Ontologie unter Berücksichtigung des auf der Ontologie aufbauenden Modells von großer Bedeutung. Damit Änderungen an der Ontologie nicht gleichzeitig die Anpassung der festgelegten Modellelemente zur Folge haben, soll ein bestimmter Teil der Ontologie nicht mehr nachträglich veränderbar sein. Dieser Teil der Ontologie wird von der obersten Hierarchieebene der die Ontologie ausmachenden Klassen gebildet und als Basisontologie bezeichnet. Die Basisontologie muss aus relativ allgemeingültigen Klassen bestehen, um die Erweiterungsmöglichkeiten der aus diesen Klassen abzuleitenden Klassen nicht zu sehr zu beschränken. Die Klassen auf den Hierarchieebenen unterhalb der Basisontologie bilden die Domänenontologie und sind in ihrer definitorischen Ausrichtung auf die zu betrachtende Wissensdomäne ausgerichtet (und daher weit weniger allgemeingültig als die Klassen der Basisontologie). Die Klassen der Basisontologie müssen darüber hinaus dazu geeignet sein, Modellelemente aus ihnen ableiten zu können, die genutzt werden können, um die durch die (aus den Klassen der Basisontologie abgeleiteten) Klassen der Domänenontologie beschriebenen Sachverhalte in einem Modell abzubilden.

2.2.2 Modell

Die Ontologie soll dem Ziel der vorliegenden Arbeit entsprechend mit einem Modell verknüpft werden. Für die vorliegende Arbeit soll die Definition des Modellbegriffs von Klaus und Buhr gelten:

¹⁴ Vgl. [Unte01, S. 2]

¹⁵ Vgl. [Grub93]

„Ein Modell ist ein bewusst konstruiertes Abbild der Wirklichkeit, das auf der Grundlage einer (Gegenstands-) Struktur-, Funktions- oder Verhaltensanalogie zu einem entsprechenden Original von einem Subjekt eingesetzt bzw. genutzt wird, um eine bestimmte Aufgabe lösen zu können, deren Durchführung mittels direkter Operation am Original zunächst oder überhaupt nicht möglich bzw. unter gegebenen Bedingungen zu aufwendig oder nicht zweckmäßig ist.“¹⁶

Das ontologiebasierte Modell soll eingesetzt werden, um die Abläufe in einem Produktionssystem abzubilden. Die möglichen Einsatzzwecke dieser Modelle wurden in Kapitel 2.1 bereits genannt. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit liefert die Basisontologie die Bestandteile des grundlegenden Metamodells und die Domänenontologie die Enzyklopädie der Realität für das betrachtete System und damit die Grundlage für die Erstellung von Modellen aus dem Bereich der betrachteten Domäne (siehe Abbildung 2-1)¹⁷.

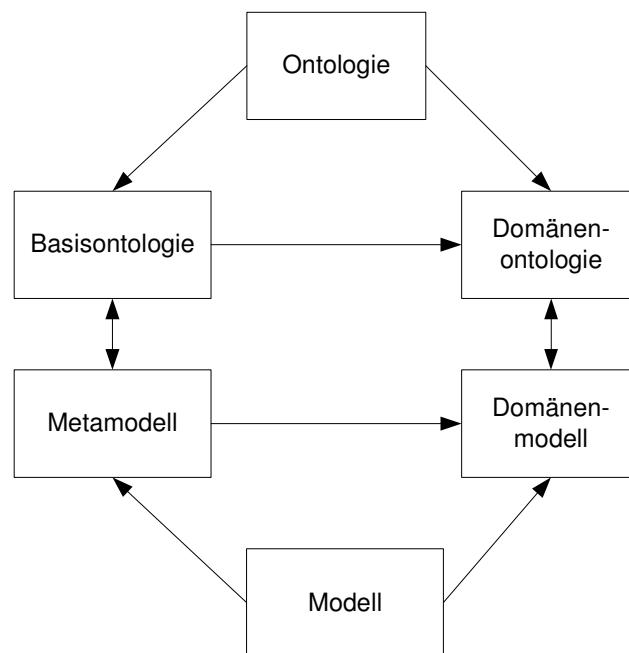


Abbildung 2-1: Kombination von Ontologie und Modell

2.2.3 Produktion

In der vorliegenden Arbeit soll ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem aufgestellt werden. Nachdem bereits definiert

¹⁶ Vgl. [KIBu76]

¹⁷ Vgl. [StNe04]

wurde, was unter einer Ontologie und einem Modell verstanden wird, folgt an dieser Stelle die Bestimmung der Begriffe Produktion bzw. Produktionssystem nach der Festlegung des Unternehmensbegriffs. Laut Gabler-Wirtschaftslexikon ist ein Unternehmen ein *"wirtschaftlich-rechtlich organisiertes Gebilde, in dem auf nachhaltig ertragbringende Leistung gezielt wird, je nach Art der Unternehmung nach dem Prinzip der Gewinnmaximierung oder dem Angemessenheitsprinzip der Gewinnerzielung."*¹⁸

Für die vorliegende Arbeit soll die Definition von Gerum gelten, die bereits Unternehmen mit der Produktion verbindet:

*„Ein Unternehmen ist ein zur Produktion von materiellen oder immateriellen Gütern oder Dienstleistungen arbeitender Betrieb. Dieser stellt die organisatorische Zusammenfassung von persönlichen, sachlichen und immateriellen Mitteln zur fortgesetzten Verfolgung eines arbeitstechnischen Zweckes dar.“*¹⁹

Im Rahmen der Definition wird die Produktion als Tätigkeit eines Betriebs dargestellt. Es geht daraus jedoch nicht hervor, was unter einer Produktion an sich verstanden wird. Weber beschreibt die Produktion folgendermaßen:

*„Die Produktion ist der betriebliche Umwandlungs- und Transformationsprozess, durch den aus den Einsatzgütern²⁰ andere Güter oder Dienstleistungen erstellt werden.“*²¹

Der Zusammenhang zwischen Input, Output und dem Transformationsprozess wird in Abbildung 2-2 dargestellt.

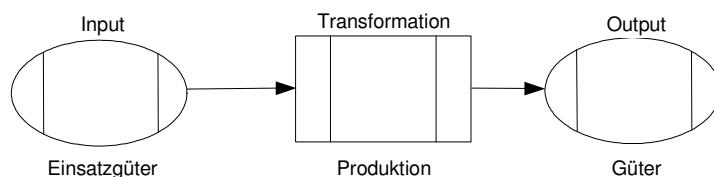


Abbildung 2-2: Produktion als Input-Output-System

Das Untersuchungsgebiet für die vorliegende Arbeit wird durch die Festlegung auf eine *diskrete Produktion* weiter begrenzt. Klaus und Buhr definieren *diskret* und dessen Gegensatz *kontinuierlich* wie folgt:

¹⁸ [Gabl93]

¹⁹ [Geru96]

²⁰ Der Input einer Produktion und damit die Einsatzgüter lassen sich auch als *Einsatzfaktoren* oder *Produktionsfaktoren* bezeichnen.

²¹ [Webe91]

„Diskret – eigtl.: geschieden, unstetig, diskontinuierlich ...“

„Kontinuierlich – stetig, zusammenhängend, lückenlos. ...“²²

Daraus folgt, dass eine *diskrete* Produktion eine unstetige Produktion ist. Die Bereitstellung von Dienstleistungen als Output der Produktion steht nicht im Fokus der Betrachtung. Der Transformationsprozess der Produktion findet innerhalb eines Produktionssystems statt:

Ein Produktionssystem ist eine technisch und organisatorisch selbständige Allokation von Produktionsfaktoren zu Produktionszwecken.²³

Der zielführende Ablauf des Produktionsprozesses setzt eine vorhergehende Planung voraus. Die Erstellung dieses Plans ist die Aufgabe der Produktionsplanung. Schneider²⁴ hat in ihrer Arbeit die nachfolgende Definition der Produktionsplanungsaufgabe bestimmt:

„Die Produktionsplanungsaufgabe stellt einem gegebenen Produktionssystem vorausschauend in sich und mit den Ausgangsdaten konsistente Solldaten über die qualitative, quantitative und zeitliche Zuordnung der Produktionsfaktoren für einen definierten, zielgerichteten Ablauf der Fertigung zur Verfügung.“²⁵

Die Solldaten entsprechen dabei geplanten (zukünftigen) Zuständen des Produktionssystems. Die Ausgangsdaten entsprechen den Zuständen zum Zeitpunkt der Planerstellung. Die Abbildung verschiedener möglicher Zustände des Produktionssystems soll mit Hilfe des ontologiebasierten Modells vorgenommen werden können.

2.3 Skizzierung der Problemlösung

Nachdem die Ausgangssituation und die Begriffe des Untersuchungsgegenstands beschrieben wurden, folgt an dieser Stelle die Festlegung der Zielstellung der Arbeit. Wie zuvor hergeleitet, muss zur Lösung der aufgezeigten Probleme eine geeignete Kombination aus Ontologie und Modell gefunden werden, um die Abläufe in einem Produktionssystem für verschiedene Akteure verständlich abbilden zu können. Dafür muss zunächst im Rahmen einer Ontologie die Definition der domänenunabhängigen sowie domänen spezifischen Klassen erfolgen, die zur Aufstellung des ontologie-

²² [KIBu76]

²³ Vgl. [Hand79]

²⁴ Vgl. [Schn96]

²⁵ Vgl. [DaWa97, S.3]

basierten Modells für die Domäne der produzierenden Unternehmen benötigt werden. Anschließend ist anhand der Klassen der Ontologie ein entsprechendes Modell zu entwickeln.

In Abbildung 2-3 ist schematisch dargestellt, wie die das ontologiebasierte Modell schrittweise entwickelt werden soll. Zweck der Basisontologie ist die Vorgabe weitestgehend domänenunabhängiger, wieder verwendbarer Klassen. Diese bilden darüber hinaus die Grundlage für die Bildung des Metamodells als Grundlage der zu findenden Modellierungsmethode. Um die Klassen der Basisontologie zum Modellieren nutzbar machen zu können, werden eine entsprechende Notationsform sowie Regeln zur Kombination der unterschiedlichen Modellelemente benötigt. Auf den Klassen der Basisontologie aufbauend soll die Domänenontologie Klassen zur Beschreibung der Objekte und Abläufe in einem Produktionssystem liefern. Durch die gleichzeitige Kopplung der Basisontologie mit der Domänenontologie und mit den Konstrukten des Metamodells werden einem Anwender des Modells geeignete Modellkonstrukte zur Abbildung der in der Domänenontologie hinterlegten Klassen vorgegeben. Dadurch entstehen unter Anwendung der Methode von unterschiedlichen Betrachtern interpretierbare und somit nachvollziehbare Modelle.

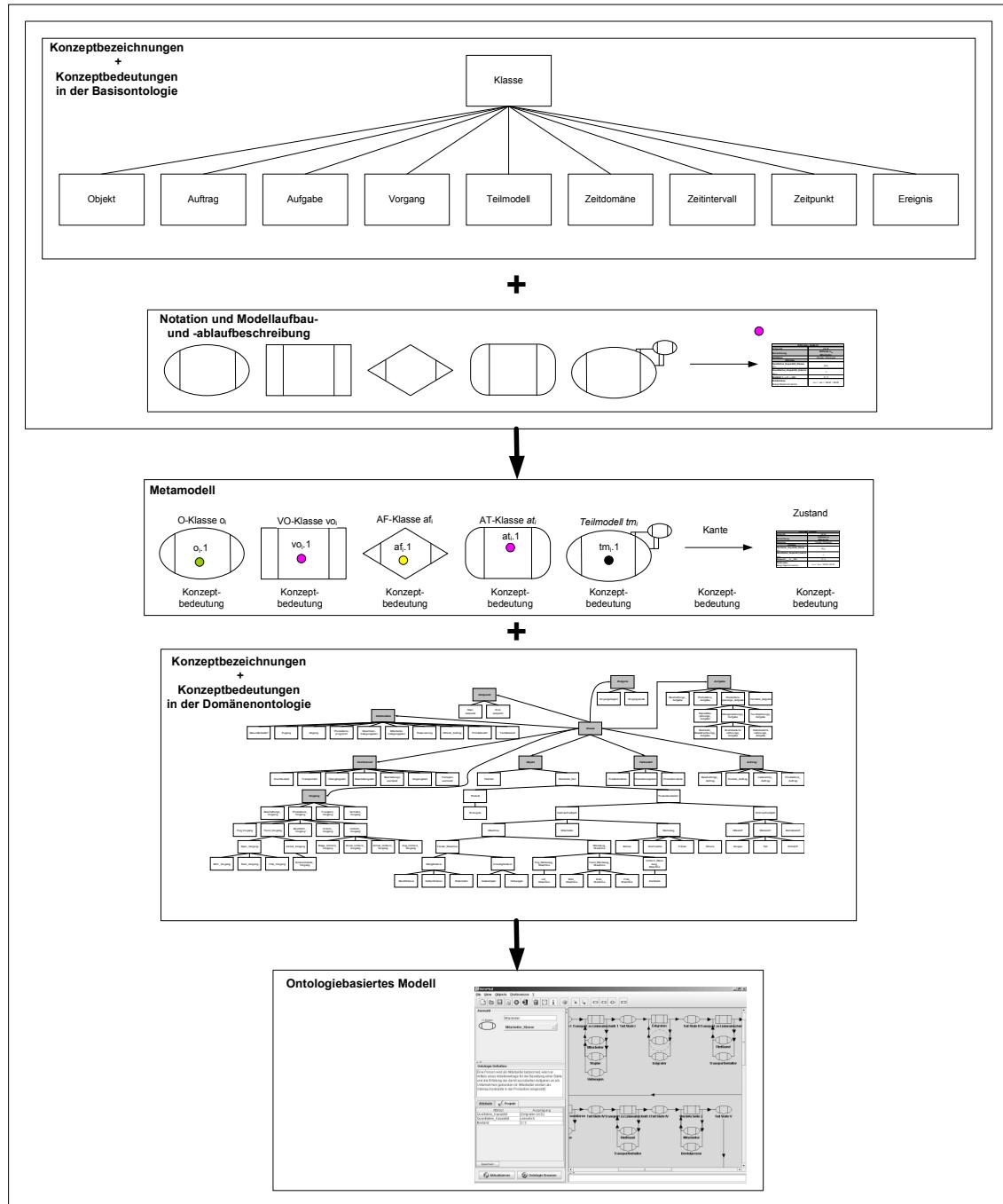


Abbildung 2-3: Schritte zum ontologiebasierten Modell

Abbildung 2-4 verdeutlicht die Entstehung eines Modells eines real vorhandenen Systems unter Anwendung der skizzierten Methode. Zunächst werden die Objekte und deren Verhalten durch die in der Domänenontologie enthaltenen Klassen beschrieben. Durch die in der Ontologie existierende Hierarchie werden nachfolgend die entsprechenden Klassen der Basisontologie ermittelt. Anhand dieser werden Metamodellelemente vorgegeben, die gemäß den in der Methode beschriebenen Regeln zu dem Abbild des realen Systems kombiniert werden. Durch das Hinterlegen von

Regeln, die das Verhalten der Objekte des Systems beschreiben, kann ein zukünftiger Zustand des betrachteten Systems ermittelt werden.

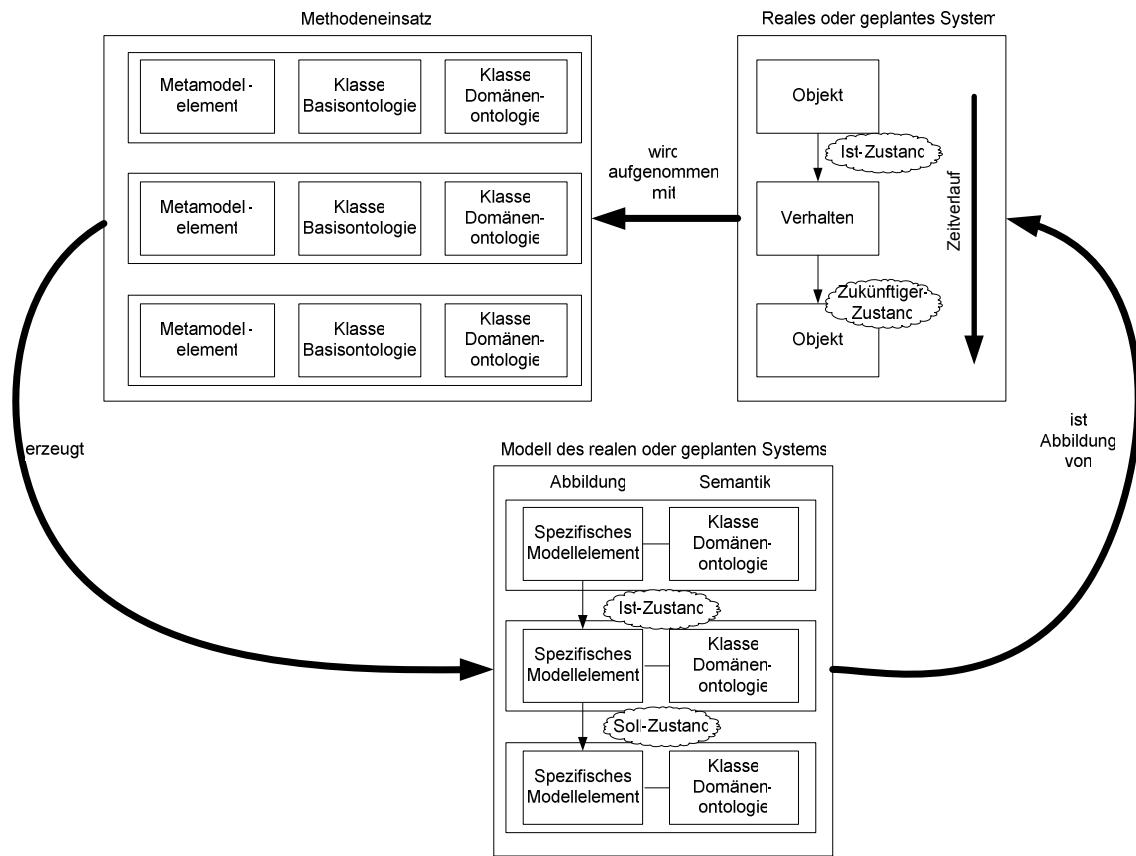


Abbildung 2-4: Anwendung des ontologiebasierten Modells

Die einzelnen im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu erfüllenden Teilaufgaben sind in dem Schema in Abbildung 1-1 zusammenfassend dargestellt. In den nachfolgenden Abschnitten werden die Ziele der einzelnen Stränge der Arbeit vorgestellt.

2.3.1 Entwicklung einer Basisontologie

Jede Ontologie benötigt eine klare hierarchische Struktur. Die Entwicklung der in dieser Arbeit benötigten Ontologie erfolgt Top Down. Die oberste Ebene besteht aus den Klassen der Basisontologie. Wie zuvor beschrieben übernehmen die Klassen der Basisontologie jedoch nicht nur die Aufgabe, als Grundlage zur Ableitung domänenspezifischer Klassen genutzt werden zu können, sondern sie dienen auch als Basis für die Entwicklung der Elemente des Metamodells.

Eine Ontologie kann und sollte während ihres tatsächlichen Einsatzes zur Beschreibung realer Sachverhalte erweitert werden. Diese Erweiterungen sollen jedoch nicht die Basisontologie verändern, sondern lediglich innerhalb der Domänenontologie

stattfinden. Die somit nachträglich nicht mehr anzupassenden Klassen der Basisontologie müssen daher so gestaltet sein, dass sich alle notwendigen Begriffe zur Beschreibung des betrachteten Realitätsausschnitts diesen zuordnen lassen. Nur so kann sichergestellt werden, dass die aus Basis- und Domänenontologie bestehende Gesamtontologie in der Lage ist, die in der Arbeit gesuchte Begriffswelt zur Beschreibung der Abläufe innerhalb eines Produktionssystems zu beherbergen.

Zu den mit der Gesamtontologie zu beschreibenden Sachverhalten zählt, dass sich die Zustände der Objekte eines betrachteten Produktionssystems durch den Ablauf stattfindender Prozesse ändern. Das bedeutet für die Basisontologie, dass sowohl Klassen zur Beschreibung von Objekten an sich als auch Klassen zur Beschreibung von Objekten in ihrem Verhalten über die Zeit bereitzustellen sind. Das bedingt, dass Klassen zur Beschreibung der Zeit an sich sowie Klassen zur Beschreibung von Vorgängen existieren.

Neben den genannten problemspezifischen Zielen und Anforderungen soll die Basisontologie folgende allgemeine Kriterien möglichst gut erfüllen:²⁶

1. *Objektorientierung*: Die Basisontologie muss die Beschreibung von real existierenden Objekten in Form entsprechender Klassen vorsehen.
2. *Verhaltensorientierung*: Zur Beschreibung der über die Zeit stattfindenden Abläufe in einem aus verschiedenen Objekten bestehenden System werden Klassen zur Beschreibung des Verhaltens der Objekte über die Zeit benötigt.
3. *Zeitorientierung*: Damit aus einem Verhalten resultierende Zustandsänderungen zeitabhängig beschrieben werden können, müssen Klassen zur Beschreibung der Zeit vorhanden sein.
4. *Kohärenz*: Mögliche Beziehungen zwischen den Klassen der Basisontologie müssen in Form entsprechender Attribute der Klassen bestimmt werden.

2.3.2 Entwicklung einer Domänenontologie

Die Klassen der Domänenontologie sind aus den Klassen der Basisontologie abzuleiten. Die Domänenontologie soll einen Grundbestand an für die Beschreibung von Abläufen in Produktionssystemen notwendigen Klassen enthalten. Der Grundbestand soll aus für diese Wissensdomäne gängigen Begriffen und deren Bedeutung erläuternden Definitionen bestehen.

²⁶ Vgl. [Grub94]

Um die Konsistenz der Domänenontologie zu gewährleisten, sollen die zur Definition der Bedeutung der Klassen verwendeten fachlichen Begriffe durch in der Domänenontologie enthaltenen Klassen erfolgen. Dieses Prinzip muss bei einer nachträglichen Erweiterung der Domänenontologie beibehalten werden. Die Hierarchie der Domänenontologie entsteht durch das sukzessive Ableiten von Klassen aus bereits enthaltenen Klassen. Die Klassen, die aus einer übergeordneten Klasse abgeleitet werden, müssen daher disjunkt zu einander sein. Beim Ableiten erbt eine Klasse alle Attribute der ihr übergeordneten Klasse.

Potenzielle Beziehungen zwischen den Instanzen der definierten Klassen sollen über die Vergabe entsprechender Attribute beschrieben werden. Tatsächliche Beziehungen zwischen den ein System ausmachenden Klassen und deren Instanzen lassen sich jedoch erst im Rahmen eines konkret erstellten Modells beschreiben und können nicht im Vorhinein bei der Erstellung der Domänenontologie festgelegt werden.

Neben den genannten problemspezifischen Zielen und Anforderungen soll die Domänenontologie folgende Kriterien möglichst gut erfüllen:

1. *Begrifflicher Grundbestand:* Die Domänenontologie soll einen Grundbestand an für die Beschreibung von Abläufen in Produktionssystemen notwendigen Klassen enthalten.
2. *Erweiterbarkeit:* Die Domänenontologie muss um anwendungsspezifische Klassen erweiterbar sein.
3. *Konsistenz:* Um die Konsistenz der Domänenontologie zu gewährleisten, sollen die zur Definition der Bedeutung der Klassen verwendeten fachlichen Begriffe durch in der Domänenontologie enthaltenen Klassen erfolgen.
4. *Klarheit:* Die in der Domänenontologie enthaltenen Klassen sollen verständlich und objektiv beschrieben sein. Die abgeleiteten Klassen einer übergeordneten Klasse müssen zueinander disjunkt sein.
5. *Kohärenz:* Mögliche Beziehungen zwischen den Klassen der Domänenontologie müssen in Form entsprechender Attribute der Klassen bestimmt werden.

2.3.3 Entwicklung eines ontologiebasierten Modells

Den dritten Teil der Problemlösung der vorliegenden Arbeit bildet die Entwicklung von auf der Ontologie aufbauenden Modellkonstrukten. Diese sollen dazu genutzt werden, die Abläufe innerhalb von Produktionssystemen für verschiedene Akteure verständlich

abbilden zu können und durch entsprechende Methoden bzw. Regeln innerhalb des Modells Vorhersagen über zukünftige Zustände des Systems treffen zu können.

Um die Ontologie um die Funktionen einer Modellierungsmethode zur Abbildung von tatsächlichen oder geplanten Abläufen zu erweitern, müssen für die Klassen der Ontologie entsprechende Notationsformen sowie Regeln, wie die so entstandenen Modellbausteine zueinander in Beziehung stehen können, bestimmt werden. Ein Modellbaustein wird somit aus einer Klasse der Ontologie sowie einem diese in einem Modell repräsentierendes Symbol gebildet. Damit die Zahl von Modellelementen nicht gleich der verhältnismäßig hohen Anzahl der in der Ontologie definierten Klassen liegt muss eine Hierarchieebene gefunden werden ab der sich die Symbole mit zunehmender Tiefe der Ontologie nicht mehr verändern. Diese Ebene soll in der vorliegenden Arbeit die Grenze zwischen Basis- und Domänenontologie bilden. Daraus folgt, dass für jede Klasse der Basisontologie ein Symbol festgelegt werden muss. Die Regeln, wie ein so entstandenes Modellelement zu einem anderen Modellelement in Beziehung stehen kann, müssen aus den Attributen der Klasse hergeleitet werden.

Da mit dem ontologiebasierten Modell jedoch nicht nur ein abstraktes aus Objekten, Vorgängen, etc. bestehendes System, sondern ein aus Produktionsfaktoren, Produktionsvorgängen, etc. bestehendes Produktionssystem abgebildet werden soll, müssen auch die Klassen der Domänenontologie entsprechend durch Modellelemente darstellbar sein. Da jede Klasse der Domänenontologie (wenn auch über mehrere Vererbungsschritte) aus einer Klasse der Basisontologie abgeleitet wurde, soll das für die Klasse der Basisontologie ausgewählte Symbol zur Abbildung der Klasse der Domänenontologie in einem konkreten Modell genutzt werden. Damit verschiedene in einem Modell abgebildete Klassen der Domänenontologie, die aus der gleichen Klasse der Basisontologie abgeleitet wurden, voneinander unterschieden werden können, müssen die Symbole zusätzlich mit den Klassenbezeichnungen versehen werden. Über diese Klassenbezeichnung kann ein Modellbetrachter anschließend direkt in der Ontologie die Bedeutung der Klasse und damit des Modellelements nachvollziehen. Die Regeln, wie verschiedene aus der Domänenontologie entnommene Modellelemente innerhalb eines Modells eines Produktionssystems in Beziehung zueinander stehen können, hängt von den Attributen der Klassen der Domänenontologie ab.

In welchem Umfang ein Produktionssystem letztendlich abzubilden ist, hängt von dem konkreten Einsatzzweck des Modells im Einzelfall ab. Für bestimmte Verwendungszwecke muss der Produktionsprozess nicht vollständig hinsichtlich des Umfangs und des Detaillierungsgrades abgebildet werden. Eine Einschränkung des Umfangs hat zur Folge, dass nur ein für das konkret zu lösende Problem relevanter Ausschnitt (z.B. nur die Abläufe zur Produktion eines Produkts, nur die Betrachtung einer Produktionslinie, nur die Erfüllung eines Auftrags) modelliert wird. Die Modellierungsmethode soll daher

die Möglichkeit bieten, bestimmte Teilbereiche eines Produktionssystems in Teilmodellen zu bündeln. Auf diese Weise lässt sich die Übersichtlichkeit des Modells für den Betrachter durch die Reduzierung der sichtbaren Modellelemente verbessern, ohne die Genauigkeit der Vorhersagen der zukünftigen Systemzustände zu verlieren. Darüber hinaus können bereits erstellte Teilmodelle in anderen Modellen eingesetzt werden, wodurch deren Erstellung beschleunigt wird.

Durch die Festlegung entsprechender Attributausprägungen für ein konkret aufgestelltes Modell eines real existierenden Produktionssystems soll die Möglichkeit entstehen, anhand des Modells Vorhersagen über mögliche Zustände des betrachteten Systems treffen zu können.

Der tatsächliche Modellierungsprozess wird durch den Einsatz einer softwarebasierten Modellierungsumgebung erleichtert. Sie soll dem Anwender die Möglichkeit bieten, die in der Ontologie hinterlegten Informationen zu den einzelnen Modellbestandteilen abzurufen. Die Modellierungsumgebung soll prototypisch erstellt werden.

Neben den anwendungsspezifischen Zielen und Anforderungen sollen einige der allgemeinen Anforderungen, die von *Becker, Rosemann und Schütte*²⁷ im Rahmen der *Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM)* aufgestellt wurden, erfüllt werden:

1. *Variabler Detaillierungsgrad*: Der Detaillierungsgrad der Abbildung eines Systems muss veränderbar sein. Es muss möglich sein, innerhalb eines Modells eines Systems einzelne Ausschnitte getrennt voneinander betrachten zu können.
2. *Dynamik*: Mit Hilfe des Modells müssen Abläufe in einem System abbildbar sein und dadurch entstehende Zustandsänderungen vorhersagbar werden.
3. *Ontologiekopplung*: Die Modellelemente sollen einen Bezug zu den Klassen der Ontologie haben.
4. *Konstruktionsadäquanz*: Das Modell muss die notwendigen Konstrukte zur Beschreibung des zu erfassenden Realitätsausschnitts enthalten. Des Weiteren müssen die Intra- und Intermodellkonsistenz sichergestellt werden. Die Intramodellkonsistenz trifft Aussagen über die einheitliche Nutzung von Modellierungskonstrukten innerhalb eines Modells, wohingegen die Intermodellkonsistenz sicherstellen soll, dass reale Sachverhalte in unterschiedlichen Modellen einheitlich dargestellt werden²⁸.

²⁷ Vgl. [BRS95, S: 435ff.], [BeSc96, S. 65ff.], [Rose96, S. 85ff.], [Schü98, S. 111ff.]

²⁸ Vgl. [Schü98, S. 121]

5. *Wirtschaftlichkeit:* Die Kosten des Modelleinsatzes dürfen die Kostenersparnisse, die aus dessen Einsatz resultieren, nicht übersteigen.

3 Stand der Technik

Eine Kombination aus Modellierungsmethode und Ontologie zur Beschreibung von produzierenden Unternehmen ist nicht bekannt. Steinmann und Nejdl haben jedoch grundlegende Überlegungen zu der Idee, aus einer Ontologie ein Modell zu entwickeln, angestellt.

„Unser Beitrag interpretiert die Ontologie als Grundlage der Modellierung, und zwar zum einen, weil sie die Basis für die Findung der Modellierungskonzepte bilden kann, zum anderen, weil wir mit Hilfe solcher ontologiebasierter Modelle Ausschnitte der Realität erfassen (bzw. es zumindest versuchen).“²⁹

Diese Ansicht bzgl. der Rolle der Ontologie in Bezug auf die Erstellung von ontologiebasierten Modellen wird in der vorliegenden Arbeit geteilt und soll für die Domäne der Produktionssysteme umgesetzt werden.

Der Stand der Technik wird entsprechend den Anforderungen an das Ziel der Arbeit in zwei Stränge unterteilt. Zunächst werden in Kapitel 3.1 Ontologien betrachtet. Anschließend folgt in Kapitel 3.2 die Vorstellung verschiedener anwendungsneutraler und anwendungsspezifischer Modelle bzw. Modellierungsmethoden.

Im Zuge der Betrachtung der Ontologien wird mit der Vorstellung einer Ontologieklassifizierung begonnen. Anschließend wird mit Blick auf das Ziel der Arbeit und der zu seiner Erreichung erwogenen Vorgehensweise auf Basisontologien eingegangen. Danach erfolgt die Betrachtung domänenpezifischer Ontologien aus dem Themengebiet der produzierenden Unternehmen.

Im Zuge der Betrachtung der Modelle wird nach Einführung möglicher Modelleigenschaften auf ein Klassifizierungsschema eingegangen. Anschließend werden exemplarisch einige Modellierungsmethoden vorgestellt und hinsichtlich der in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungen bewertet.

Im Rahmen der Beschreibung des Stands der Technik wird dieser anhand der in Kapitel 2 gestellten Anforderungen bewertet. In Kapitel 4 folgt die Festlegung der in Kapitel 5 zu erfüllenden Aufgaben zum Erreichen der gesetzten Ziele.

²⁹ Vgl. [StNe04]

3.1 Ontologien

Ontologien lassen sich nach Guarino³⁰ nach dem Grad der Wiederverwendbarkeit und dem Grad ihrer Aufgabenabhängigkeit klassifizieren. Darüber hinaus lassen sich Ontologien noch durch den Grad der Spezifität charakterisieren. Dieser verhält sich antiproportional zur Wiederverwertbarkeit und proportional zur Aufgabenabhängigkeit³¹. Je detaillierter eine Ontologie ausgearbeitet wird, desto höher ist ihre Spezifität.

Die Klassen einer Basisontologie³² treffen allgemeingültige Aussagen über Raum, Zeit, Materie, Objekte, Ereignisse, Aktionen etc. unabhängig von der Lösung eines speziellen Problems. Basisontologien bestehen in der Regel aus 10 bis 20 Klassen. Aufgrund ihrer allgemeinen Sichtweise weisen diese Ontologien einen hohen Wiederverwendungsgrad auf. Basierend auf einer solchen Ontologie können verschiedene domänenbezogene Ontologien entwickelt werden. Dieser Zusammenhang wird durch die in Abbildung 3-1 dargestellte Ontologieklassenhierarchie deutlich.

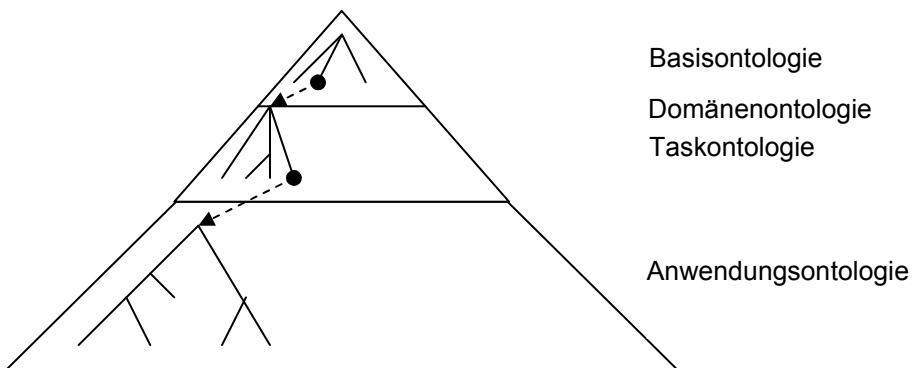


Abbildung 3-1: Hierarchische Einordnung von Ontologietypen

Eine Domänenontologie besteht aus auf eine Wissensdomäne zugeschnittenen Begriffsklassen. Wissensdomänen, für die bereits solche Ontologien erstellt wurden, sind beispielsweise die Medizin, Chemie, Biologie und Unternehmen. Bekannte Beispiele sind CHEMICALS³³, eine Ontologie für chemische Elemente, UMLS (Unified Medical

³⁰ Vgl. [Gua98, S.7]

³¹ Je mehr eine Ontologie auf einen bestimmten Betrachtungsfokus (bzw. auf die Bearbeitung einer bestimmten Aufgabe) ausgerichtet ist, desto spezifischer ist sie. In der Regel steigt der Detailreichtum der enthaltenen Konzepte und damit auch ihre Anzahl proportional zu dem Grad der Spezifität.

³² Basisontologien werden in der Literatur auch als Top-Level-, Upper-Level- oder Generic-Ontologien bezeichnet.

³³ Vgl. [FGP99]

Language System)³⁴, eine Ontologie zur Standardisierung medizinischer Ausdrücke und die in Kapitel 3.1.2.1 beschriebene Enterprise Ontology. Eine Domänenontologie beinhaltet für gewöhnlich ca. 50 bis 1000 Klassen. Das Wiederverwendungspotenzial beschränkt sich auf die erfasste Domäne, da die jeweilige Spezifität der Ontologie zu hoch ist, um die Klassen in anderen Wissensdomänen einzusetzen.

Zur Erstellung einer Domänenontologie wird eine geeignete Basisontologie benötigt. Mittels der darin enthaltenen Begriffe lassen sich auf die Inhalte der Wissensdomäne zugeschnittene Klassen definieren. Diese können anschließend als Terminologie im Rahmen einer Kommunikation innerhalb des Wissensgebiets genutzt werden. Die hierarchische Einordnung der Domänenontologie kann Abbildung 3-1 entnommen werden. Dort wird deutlich, dass zur Erstellung einer Domänenontologie eine Basisontologie benötigt wird.

Taskontologien werden zur Beschreibung komplexer, wiederkehrender Abläufe aufgestellt. Auch hier findet wieder eine Spezialisierung einer Basisontologie statt. Die im Rahmen einer Taskontologie erfassten Aufgaben können aus verschiedenen Wissensdomänen stammen. Hierarchisch liegen Taskontologien mit den Domänenontologien auf einer Ebene (siehe Abbildung 3-1). Der Unterschied liegt in den unterschiedlichen Einsatzmöglichkeiten (einmal breit gefächert auf eine Wissensdomäne und zum anderen domänenübergreifend auf bestimmte Aufgaben). Das Wiederverwendungspotenzial der Taskontologie beschränkt sich logischerweise auf die erfassten Aufgabentypen. Jedoch lässt sich eine solche Ontologie, wie zuvor erwähnt, in verschiedenen Wissensdomänen einsetzen. Für die Lösung der Probleme der vorliegenden Arbeit sind Taskontologien nicht geeignet. Ihre Fähigkeit, domänenübergreifend eingesetzt zu werden, wird nicht benötigt.

Die Klassen, die innerhalb einer Anwendungsontologie beschrieben werden, basieren sowohl auf einer bestimmten Wissensdomäne und somit auf einer Domänenontologie, als auch auf einem bestimmten aufgabenbezogenen Einsatzzweck und damit auf einer Taskontologie. Anwendungsontologien sind daher sehr spezifisch und weisen nur einen sehr geringen Grad der Wiederverwendbarkeit auf. Die hierarchische Einordnung der Anwendungsontologien wird in Abbildung 3-1 verdeutlicht. Diese Ontologien sind für die Problemlösung dieser Arbeit aufgrund ihrer zu hohen Spezifität ungeeignet.

Nachdem die verschiedenen Ontologie-Typen vorgestellt wurden, sollen in den folgenden Kapiteln ausgewählte Ontologien aus den für die vorliegende Arbeit relevanten Bereichen der Basis- und Domänenontologien beschrieben und hinsichtlich der in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungen bewertet werden.

³⁴ Vgl. [PGS98]

3.1.1 Basisontologien

3.1.1.1 Basisontologie im KOWIEN-Projekt

Im Verbundprojekt KOWIEN³⁵ wurden mehrere auf verschiedene Unternehmen zugeschnittene Kompetenz-Ontologien generiert, die unternehmensspezifisch oder zumindest branchenspezifisch sind. Zu diesem Zweck wurden Terminologien entwickelt, die von Unternehmen eingesetzt werden können, um sowohl die vorhandenen als auch die zusätzlich benötigten Kompetenzen ihrer Mitarbeiter einheitlich beschreiben zu können³⁶. Ziel des Einsatzes dieser und anderer Ontologien in Unternehmen ist die Vermeidung von Kommunikationsstörungen zwischen den Akteuren.

Die Klassen der erstellten unternehmensspezifischen KOWIEN-Ontologien sind in einer strikten Hierarchie geordnet. Die Grundlage wird durch eine Art Basisontologie gebildet. Ausgehend von ihrem zentralen Konzept – der *Entität* – wird zwischen Wahrnehmungsformen und Wahrnehmungsinhalten unterschieden (siehe Abbildung 3-2). Als Wahrnehmungsinhalte werden alle empirisch wahrnehmbaren Entitäten bezeichnet, die weiter in konkrete und abstrakte Wahrnehmungsinhalte unterteilt werden. Zeit- und räumliche Wahrnehmungsformen berücksichtigen, dass einer Wahrnehmung eine geografische Position (ein Raum) und eine zeitliche Einordnung zugeordnet werden können³⁷. Zeitliche Wahrnehmungsformen werden in Zeitpunkte und Zeitspannen unterteilt. Entitäten verfügen zu einem bestimmten Zeitpunkt über bestimmte Eigenschaften. Bei einer Spezifikation der Klassen spielen die Relationen zwischen den Zeitspannen eine wichtige Rolle. Punkte, Strecken, Flächen und Räume bezeichnen die räumlichen Wahrnehmungsformen³⁸. Den abstrakten Wahrnehmungsinhalten werden Kompetenzen zugeordnet. Es werden die SubKlassen Faktenkompetenz, Methodenkompetenz, Sozialkompetenz und Selbstkompetenz definiert³⁹. Neben den Kompetenzen bilden die situativen Wahrnehmungsinhalte weitere Formen der abstrakten Wahrnehmungsinhalte. Diese können Zustände und Aktivitäten sein. Ein Zustand einer Entität ist hier als die Gesamtheit von allen Eigenschaftsausprägungen zu einem bestimmten Zeitpunkt definiert. Um einen Zustand zu verändern, muss eine bestimmte Aktivität durchgeführt werden. Aktivitäten lassen sich wiederum in Prozesse und Ereignisse unterteilen. Ob ein Prozess oder ein Ereignis vorliegt, hängt davon ab,

³⁵ KOWIEN – Kooperatives Wissensmanagement in Entwicklungsnetzwerken

³⁶ Vgl. [ABD04, S.3]

³⁷ Vgl. [Alan03, S.38]

³⁸ Vgl. [Alan03, S.40 f.]

³⁹ Vgl. [Alan03, S.42 ff.]

ob der Aktivität eine Zeitspanne (Prozess) oder ein Zeitpunkt (Ereignis) zugeordnet wird. Unter konkreten Wahrnehmungsinhalten werden Objekte verstanden.

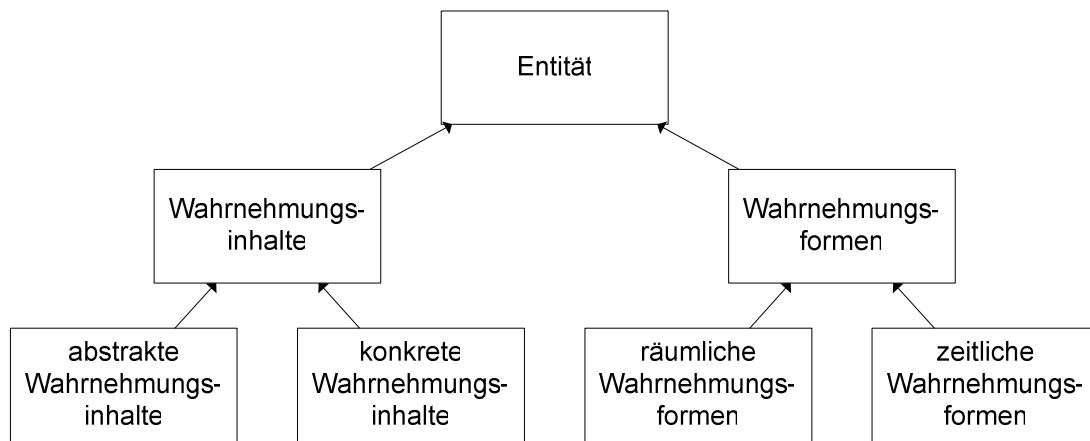


Abbildung 3-2: Basisontologie im KOWIEN-Projekt

Die Basisontologie des KOWIEN-Projekts erfüllt einen Teil der in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungen. Es werden Klassen zur Beschreibung von Objekten, deren Verhalten sowie zeitlichen Zusammenhängen geliefert. Aufgrund der Auslegung der KOWIEN-Ontologie auf die Beschreibung von Mitarbeiterkompetenzen enthält diese für das Ziel der Arbeit zum Teil irrelevante und nicht domänenunabhängige Klassen. Die Einordnung der Aktivitäten als abstrakter Wahrnehmungsinhalt getrennt von dem Strang der zeitlichen Wahrnehmungsformen ist nicht klar beschrieben. Für einen neuen Nutzer der Ontologie gestaltet sich die Unterscheidung der verschiedenen ähnlich formulierten Formen der Wahrnehmungsinhalte nicht eindeutig ersichtlich. Für die im Rahmen der vorliegenden Arbeit zu erstellende Basisontologie kann die Idee der Attributierung verschiedener Objekte und damit die Beschreibung der verschiedenen Systemzustände über die Zeit übernommen werden.

3.1.1.2 Basisontologie im TOVE-Projekt

Als Basisontologie innerhalb des TOVE⁴⁰-Projekts (siehe Abbildung 3-3) nennen Fox und Gruninger die Activity-State- und die Time-Ontology.⁴¹ Die Activity-State-Ontology leitet sich aus dem *Situation Calculus* von Pinto und Reiter ab⁴². Bei dem

⁴⁰ TOVE - Toronto Virtual Enterprise

⁴¹ Vgl. [FoGr98, S.117]

⁴² Vgl. [PiRe91]

Situation Calculus handelt es sich um eine Formalsprache, die Prädikate für bestimmte Elemente enthält⁴³. Die Idee beruht darauf, dass sich ausgehend von einer bestimmten Initialsituation unter Einwirkung unterschiedlicher Aktivitäten verschiedene zukünftige Systemzustände ergeben.

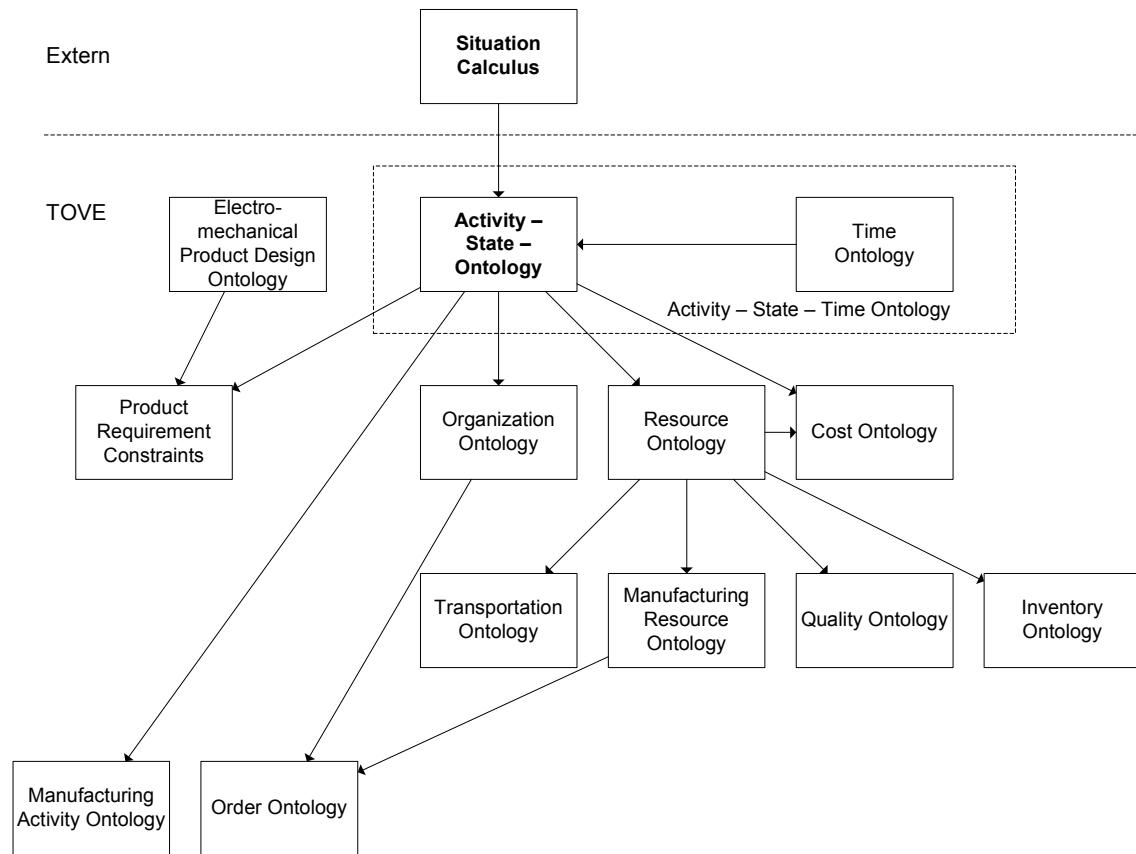


Abbildung 3-3: Abhängigkeiten von TOVE-Ontologien

Die Klassen der Basisontologie des TOVE-Projekts sind in Tabelle 3-1 gelistet. Die Zeitontologie unterscheidet dabei zwischen Zeitpunkten und Zeiträumen.⁴⁴ Eine Aktivität wird allgemein als Transformationsprozess definiert, der sich über einen bestimmten Zeitraum erstreckt. Durch Aktivitäten werden Zustände verändert.

Tabelle 3-1: Die Klassen der Activity-State und Time-Ontology

Activity	State	Time	Duration
activity	terminal state	time point	state duration
subactivity	non-terminal state	interval	activity duration

⁴³ Vgl. [FoGr98, S.116 ff.]

⁴⁴ Vgl. [Fad94, S.37]

		start point	
		end point	

Innerhalb der Ontologie werden die Zustandsarten *Terminal State* und *Non-Terminal State* unterschieden (siehe Abbildung 3-4). Die Terminal States lassen sich durch die Prädikate *use*, *consume*, *release* oder *produce* beschreiben. Non-Terminal States ermöglichen die boolesche Kombination von Zuständen. Es wird hier zwischen den Zuständen *conjunct*, *disjunct*, *exclusive* und *not* unterschieden.

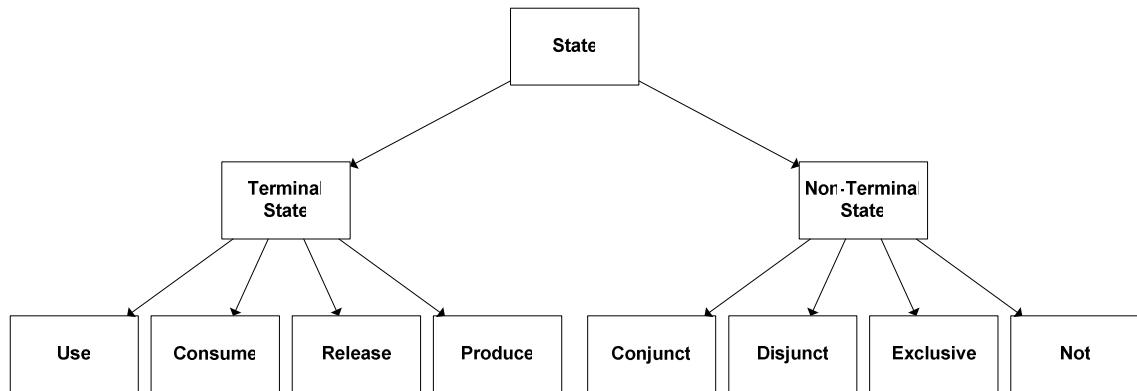


Abbildung 3-4: Zustandsarten

Die vorgestellte TOVE Basisontologie erfüllt nur einen Teil der in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungen. Ein einfaches Zeitmodell sowie die Beschreibung von Verhalten über zustandsverändernde Aktivitäten sind gegeben. Die Beschreibung von Zuständen bzw. Zustandsänderungsmöglichkeiten von Aktivitäten erfolgt über die vorgestellten, fest vorgegebenen Begriffe (*Terminal State*). Durch die Beschränkung auf diese Klassen wird die Flexibilität der Ontologie beschränkt. Zudem sind die möglichen vorgegebenen Zustandsänderungen nicht domänenunabhängig (verbrauchen, produzieren, etc.). Dadurch wird die sinnvolle Bildung einer domänenpezifischen Ontologie, die auf dieser Basisontologie fußt, erschwert. Interessant sind die Ansätze zur Beschreibung der Zustandsänderungen insbesondere in der Kombination mit der in Kapitel 3.1.2.2 beschrieben Ressource-Ontology aus dem TOVE-Projekt. Dort sind Möglichkeiten zur Beschreibung von Beständen und Kapazitäten zu finden, die zur Definition von Objektklassen im Rahmen der Basisontologie implementiert werden können. Dadurch entsteht die Möglichkeit, im Rahmen der Domänenontologie diese Attribute für die Abbildung von Produktionsfaktoren nutzbar zu machen. Für die Beschreibung von Abläufen in einem Produktionssystem ist die Kenntnis der Bestände und Kapazitäten unabdingbar.

3.1.2 Domänenontologien

3.1.2.1 Enterprise Ontology

Die Enterprise Ontology ist eine Ontologie zur Beschreibung gewerblicher Unternehmen. Bedingt durch die moderate Anzahl von 92 Klassen⁴⁵ weist die Ontologie ein hohes Wiederverwendungspotenzial auf. Der Haupteinsatzzweck der Enterprise Ontology ist es, als Kommunikationswerkzeug zwischen verschiedenen Akteuren aus unterschiedlichen Branchen zu dienen. Die Klassen der Enterprise Ontology werden in fünf Hauptkategorien⁴⁶ eingeteilt (siehe Tabelle 3-2). Diese liefern Klassen zur Beschreibung von Aktivitäten, der Unternehmensorganisation, der Unternehmensstrategie, dem Marketing und eines einfachen Zeitmodells. Im Zeitmodell wird definiert, was ein Zeitpunkt, ein Zeitintervall und eine Zeitlinie ist. Diese Klassen sind jedoch nicht speziell für die Enterprise Ontology entwickelt worden. Sie wurden von Lehrer⁴⁷ übernommen, der sich auf die Arbeiten von Allen⁴⁸ bezieht.

Tabelle 3-2: Überblick über die Klassen der Enterprise Ontology

Activity	Organisation	Strategy	Marketing	Time
Activity	Person	Purpose	Sale	Time Line
Activity Specification	Machine	Hold Purpose	Potential Sale	Time Interval
Execute	Corporation	Intended Purpose	For Sale	Time Point
Executed Activity Specification	Partnership	Purpose Holder	Sale Offer	
T - Begin	Partner	Strategic Purpose	Vendor	
T - End	Legal Entity	Objective	Actual Customer	
Pre - Condition	Organisational Unit	Vision	Potential Customer	
Effect	Manage	Mission	Customer	
Doer	Delegate	Goal	Reseller	
Sub - Activity	Management Link	Help Achieve	Product	
Authority	Legal Ownership	Strategy	Asking Price	

⁴⁵ Vgl. [UKMZ98]

⁴⁶ Vgl. [UKMZ98, S.11]

⁴⁷ Vgl. [Lehr93]

⁴⁸ Vgl. [Alle84]

Activity	Organisation	Strategy	Marketing	Time
Activity Owner	Non – Legal Ownership	Strategic Planning	Sale Price	
Event	Asset	Strategic Action	Market	
Plan	Stakeholder	Decision	Segmentation Variable	
Sub - Plan	Employment Contract	Assumption	Market Segment	
Planning	Share	Critical Assumption	Market Research	
Process Specification	Shareholder	Non - Critical Assumption	Brand	
Capability		Influence Factor	Image	
Skill		Critical Influence Factor	Feature	
Resource		Non-Critical Influence Factor	Need	
Resource Allocation		Critical Access Factor	Market Need	
Resource Substitute		Risk	Promotion	

Im Rahmen der Enterprise Ontology wurde eine begrenzte, von den Autoren für eine Unternehmensbeschreibung als relevant erachtete, Anzahl Begriffe zusammengestellt. Die Qualität der zur Bedeutung der enthaltenen fachlichen Klassen gelieferten Definitionen ist eingeschränkt⁴⁹. Die Verknüpfung der fachlichen Begriffe zu Klassen der hinterlegten Metaontologie wird nicht im Rahmen der Dokumentation der Ontologie hinterlegt. Eine Erweiterung der Enterprise Ontology ist dadurch nur schwer möglich. Die für eine Ontologie essentiellen Beziehungen zwischen den einzelnen Klassen beschränken sich maßgeblich auf die Zuordnung der Klassen zu fünf verschiedenen Oberklassen (siehe Tabelle 3-2). Das beschriebene Zeitmodell beschränkt sich auf eine informelle Beschreibung eines Zeitpunkts, eines Zeitintervalls und einer Zeitlinie. Der Bezug der unternehmensbeschreibenden Klassen zu den zeitbezogenen Klassen wird nicht festgelegt. Die Beschreibung der für eine diskrete Produktion relevanten Klassen beschränkt sich auf die Definition von *Ressourcen*, für die jedoch auch die bereits genannten Einschränkungen gelten. Transferierbar sind jedoch ein Teil der Attribute, die zur Bildung der *Activity Specification* festgelegt werden. Wie zuvor festgestellt muss die Basisontologie für die vorliegende Arbeit verhaltensorientierte Klassen wie z.B. Vorgangsklassen beinhalten. Den Instanzen dieser Klasse müssen, wie in der Enterprise Ontology definiert, *Start-* und *Endzeitpunkte* sowie gewisse Bedingungen, die zum Start

⁴⁹ Vgl. [Fran01, S.10]

eines Ablaufs erforderlich sind, zugewiesen werden können. Aus der Oberklasse *Organisation* lassen sich die Ansätze *Person*, *Machine* und *Organisational Unit* in überarbeiteter Form übertragen, um Klassen zur Beschreibung des Aufbaus eines Unternehmens und somit auch eines Produktionssystems zu liefern.

3.1.2.2 Spezifische TOVE-Ontologien

Die TOVE-Ontologien bestehen aus mehreren Ontologien, die sich auf verschiedenen hierarchischen Ebenen befinden. Die Basis bilden die so genannten Kernontologien. Eine davon wurde bereits in Kapitel 3.1.1.2 betrachtet. Auf der nächsten Ebene befinden sich aus diesen abgeleitete Ontologien zur Beschreibung von Informationssystemen, Unternehmenszielen, Kalendern, etc. einer Unternehmung. In der dritten Ebene folgen die unternehmensspezifischen Ontologien. Diese enthalten z.B. Begriffe zum Beschreiben von Geschäftsprozessen, Projektmanagementverfahren, etc. Die Gesamtheit der Ontologien, die im TOVE-Projekt entstanden sind, sollen zur Beschreibung von einzelwirtschaftlichen und öffentlichen Unternehmen genutzt werden können.

Tabelle 3-3: Ontologien des TOVE-Projekts

Unternehmensontologien	abgeleitete Ontologien	Kernontologien
Enterprise Design Ontology	Transportontologie	Serviceontologie
Projektontologie	Bestandsontologie	Produktontologie
Materialontologie	Qualitätsontologie	Aktivitäts-, Zeitontologie
Business Process Ontology	Produktdesignontologie	Organisationsontologie
	Unternehmenszielontologie	Ressourcenontologie
	Planungsontologie	
	Kontrollontologie	
	Produktbedarfsontologie	
	Informationsontologie	
	Ablaufplanungsontologie	
	Elektromechanische-Produktontologie	

Dadurch, dass die TOVE-Ontologien von verschiedenen Autoren ohne eine gemeinsame Zielvorgabe getrennt voneinander entworfen wurden, ist eine heterogene Ontologienlandschaft in diesem Projekt entstanden. Die Klassen der Einzelontologien auf den einzelnen Hierarchieebenen stehen nicht zueinander in Bezug. Eine explizit zur Beschreibung eines Produktionssystems und der dort stattfindenden diskreten

Produktionsabläufe vorgesehene Ontologie existiert nicht. Auszugsweise enthält die *Ressourcenontologie* sowie die *Produktontologie* einige zur Beschreibung von Produktionsfaktoren nutzbare Klassen. Andere Teiltonologien betrachten Klassen zur Beschreibung von Prozessen (z.B. die *Business-Process-Ontologie*). Eine Erweiterung bereits bestehender Ontologien um weitere Klassen ist nicht vorgesehen. Eine Neu-entwicklung einer auf die Ziele der vorliegenden Arbeit ausgerichteten Unternehmens-ontologie wäre die einzige Möglichkeit, die Anforderungen unter Nutzung der TOVE-Methoden zu erfüllen.

Da jedoch auch die Basisontologie des TOVE-Projekts nicht vollständig geeignet ist, die Anforderungen an eine Basisontologie im Sinne der vorliegenden Arbeit zu erfüllen, lassen sich nur einzelne Klassen wieder verwenden. Besonders hilfreich sind dabei die in der *Ressourcenontologie* aufgestellten Klassen zur Beschreibung von *Beständen*, *Verbräuchen* und *Kapazitäten* zu unterschiedlichen *Ressourcen*. Im Rahmen der *Kapazitäten* kann unterschieden werden, ob eine *Ressource* von mehreren *Aktivitäten* gleichzeitig belegt werden kann und in welchem Umfang eine *Aktivität* die *Ressource* verbraucht bzw. wie hoch der *Bestand* einer bestimmten *Ressource* zu einem Zeitpunkt ist. Außerdem lassen sich *Ressourcen* bestimmte räumliche Orte zuordnen. Diese Attribute sollen im Rahmen der Basisontologie auch den die Grundlage für Produktionsfaktoren bildenden Objekten zugewiesen werden.

3.1.3 Fazit

Keiner der im Rahmen des Stands der Technik untersuchten Ansätze erfüllt die in Kapitel 2 aufgestellten Ziele und Anforderungen an eine Basis- bzw. Domänenontologie in vollem Umfang. Eine Neuentwicklung der Basis- und Domänenontologie ist folglich erforderlich, um ein Werkzeug zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktions-system unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion zu erarbeiten. Die vorgestellten Ontologien bieten jedoch teilweise übertragbare Ansätze wie z.B. die Bestände und Kapazitäten von Ressourcen der TOVE-Unternehmensontologie oder die Activity Specification aus der Enterprise Ontology, die in die Neuentwicklung eingebunden werden können.

3.2 Modelle

Nachdem im vorangegangenen Kapitel der Stand der Technik auf dem Gebiet der Ontologien vorgestellt wurde, werden in diesem Kapitel Modellierungsmethoden bzw. Modelle unter Berücksichtigung der Ziele und Anforderungen der vorliegenden Arbeit

vorgestellt. Mertins, Süssenguth und Jochem⁵⁰ haben eine Sammlung verschiedener Modelle und Modellierungsmethoden zum Einsatz in produzierenden Unternehmen zusammengestellt. Durch die Bestimmung von Eigenschaften eines Modells lässt sich dieses klassifizieren. In Abbildung 3-5 wird eine solche Einteilung gegeben⁵¹.

Gegenständliche Modelle liefern eine Systembeschreibung⁵² mittels räumlicher Objekte, wohingegen abstrakte Modelle entweder rein gedanklicher oder sprachlich formulierter Form sein können. Dabei sind gedankliche Modelle ein notwendiger Zwischenschritt, der bei der Abbildung eines realen oder geplanten Systems als Modell durchgeführt werden muss. Sprachliche Modelle hingegen sind Darstellungen, die mittels sprachlicher und/oder graphischer Symbole erstellt werden. Modelle lassen sich auch nach der Art ihres Einsatzzwecks unterscheiden. Beschreibungsmodelle erfassen dabei lediglich Erscheinungen, ohne Aussagen über Ursache-Wirkungs-Beziehungen zu treffen. Erklärungsmodelle beschreiben darüber hinaus die vorliegenden Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge und liefern Hypothesen über vorhandene Gesetzmäßigkeiten. Entscheidungsmodelle erleichtern ihren Anwendern die Bestimmung richtiger Handlungsweisen durch Übertragung der in einem Erklärungsmodell gewonnenen Erkenntnisse auf einen speziellen Anwendungsbereich. Der Formalisierungsgrad eines Modells gibt an, ob die Beschreibung des abzubildenden realen oder geplanten Systems auf einem a priori definierten Formalraum basiert oder nicht. Nur mit einem formalen Modell lässt sich ein reales System in seinem Verhalten, seiner Struktur oder seiner Funktion abbilden. In Strukturmodellen wird der Aufbau und Ablauf innerhalb eines Systems üblicherweise durch Tabellen oder Graphen durchgeführt. In Verhaltensmodellen sollen die Reaktionen eines realen Systems abgebildet werden (z.B. PPS-System zur Unterstützung der Mengenplanung). Mittels eines Funktionsmodells sollen logischerweise Aussagen über die genaue Funktion eines realen Systems getroffen werden. Beispielsweise kann die Simulation einer Fertigung als ein Funktionsmodell bezeichnet werden. Eine Objektbeschreibung definiert ein reales Objekt in verbaler und/oder grafischer Form (z.B. technische Zeichnung eines Gutes unter Berücksichtigung der Regeln einer DIN-Norm). Die Operabilität eines Modells sagt aus, ob im Rahmen des Modells Algorithmen, Daten, etc. hinterlegt sind oder nicht. Ein operables Modell ist jedoch nicht unbedingt selbst direkt lauffähig, da entweder das zur Umsetzung notwendige Programm oder die Daten fehlen können. Erst ein ausführbares Modell enthält alle zur Lösung der Aufgabe eines Modells notwendigen Daten sowie

⁵⁰ Vgl. [MSJ94]

⁵¹ Vgl. [Schn96, S. 36ff] und [Dang03, S. 44ff]

⁵² Ein System ist eine Menge von Elementen (mit Eigenschaften) die untereinander in Beziehung stehen (vgl. [Horv94, S. 91ff])

die Anwendung an sich und ermöglicht so die Darstellung von Zwischen- und Endergebnissen.

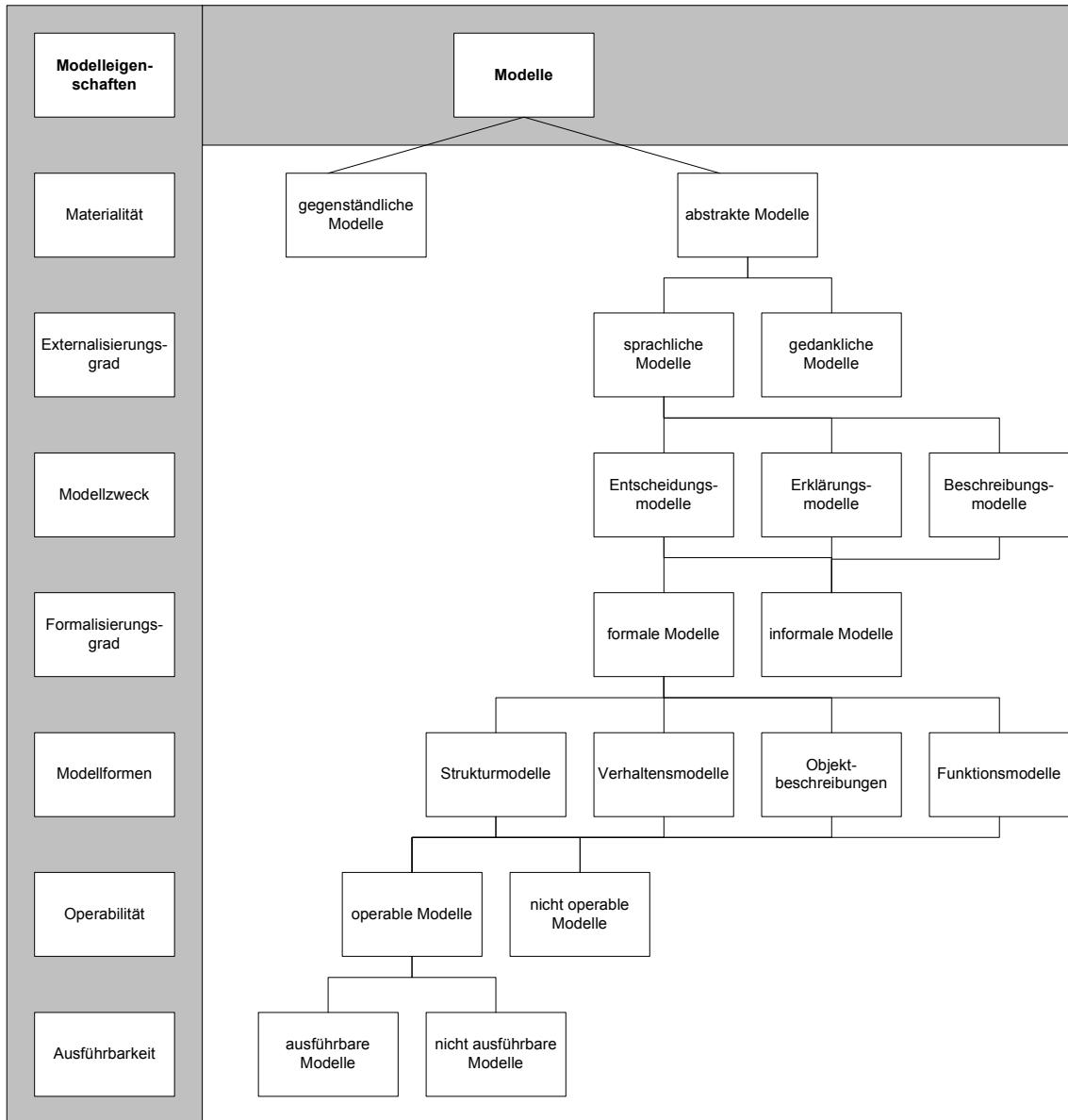


Abbildung 3-5: Modellklassifikation

Die auf der Basisontologie basierende Modellierungsmethode soll die notwendigen Formalismen zur Erstellung der Modelle einer diskreten Produktion liefern. Der Modellzweck kann die Erzeugung von Entscheidungs-, Erklärungs- und/oder Beschreibungsmodellen sein. Insbesondere der Bezug zur hinterlegten Nomenklatur ermöglicht eine schnelle Erstellung eines Beschreibungsmodells. Durch die Abbildung von Beziehungen zwischen einzelnen Klassen der Ontologie lassen sich darüber hinaus Erklärungs- und Entscheidungsmodelle von realen oder geplanten Systemen aus dem Bereich der behandelten Wissensdomäne erstellen. Wenn zudem die Möglichkeit

genutzt wird, Regeln und Bedingungen in das Modell einzubauen, entstehen operable Modelle einer Produktion. Wenn alle für die Ausarbeitung eines Produktionsplans notwendigen Daten bereitstehen, können ausführbare Modelle erstellt werden.

Nachfolgend werden exemplarisch ausgewählte Modellierungsmethoden vorgestellt und auf ihre Verwendbarkeit zur Lösung der in Kapitel 2 aufgezeigten Probleme bewertet. Begonnen wird mit den verschiedenen verbreiteten Arten von Petri-Netzen, die häufig zur Modellierung von Abläufen in der Produktion eingesetzt werden. Anschließend wird das komplett auf Produktionsprozessabbildung spezialisierte MFert betrachtet und im Sinne der Aufgabenstellung bewertet. Als Vertreter der aus mehreren Modellierungsmethoden bestehenden Werkzeuge zur Prozessmodellierung wird abschließend ARIS betrachtet.

3.2.1 Petri-Netze

3.2.1.1 Traditionelle Petri-Netze

Der Ursprung von Petri-Netzen liegt in der Dissertation von Petri⁵³, der einen Bedarf an Modellen für asynchrone Maschinen aufzeigt. Inzwischen existieren viele Erweiterungen und Formalisierungen zu dem Thema⁵⁴. Definiert wird ein Petri-Netz PN durch das in Tabelle 3-4 aufgeschlüsselte 6-Tupel⁵⁵ $PN := \{P, T, F, K, W, m_0\}$.

Tabelle 3-4: Komponenten Petri-Netz

Komponente	Beschreibung
P	Menge der Stellen
T	Menge der Transitionen mit $P \cap T = \{\}$ $\wedge P \cup T \neq \{\}$
$F : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \{0,1\}$	Kanten
$K : P \rightarrow N$	Stellenkapazität
$W : F \rightarrow N$	Kantenbewertung
$m_0 \in P \rightarrow N_0$	Anfangsmarkierung

Der Zustand eines durch ein Petri-Netz abgebildeten Systems wird durch seine Markierungen bestimmt. Diese ordnet jeder Stelle eine Menge von Marken zu:

⁵³ Vgl. [Petri62]

⁵⁴ vgl. [LeEg88], [Reis82] oder [Star90]

$$m : P \rightarrow N$$

Abläufe innerhalb des Systems werden folglich durch eine Folge unterschiedlicher Markierungen der Stellen beschrieben. Der Fluss einer Marke von einer Stelle zur nächsten wird durch die Schaltung einer Transition ausgelöst. Eine Transition $t \in T$ kann genau dann schalten, wenn:

- a) auf den Eingangsplätzen genug Marken sind, um alle Eingangskanten zu bedienen $\forall_{\substack{p \in P \\ F(p,t)=1}} W(p,t) \leq m(p)$ und
- b) die Ausgangsplätze die anfallenden Marken aufnehmen können: $\forall_{\substack{p \in P \\ F(t,p)=1}} W(t,p) + m(p) \leq K(p)$.

Sobald eine Transition schaltet, werden an den Stellen, die eine Flussrelation hin zu dieser Transition haben, die Marken entsprechend der Kantenbewertung W gelöscht. Vice versa werden an den Stellen, die eine Flussrelation von der Transition zu sich haben, Marken entsprechend der Kantenbewertung W generiert. Sei m_n die Markierung vor dem Schalten der Transition $t \in T$, dann gilt für die Markierung m_{n+1} nach dem Schalten der Transition:

$$m_{n+1} : P \rightarrow N_0 : p \rightarrow m_n(p) + F(t,p)W(t,p) - F(p,t)W(p,t)$$

Petri-Netze können grafisch dargestellt werden. Dabei werden die Stellen als Kreise und die Transitionen als Rechtecke oder als Linien, die orthogonal zu den ein- und ausgehenden Verbindungen stehen, visualisiert. Die Flussrelationen werden mittels Pfeilen zwischen den Stellen und Transitionen abgebildet (siehe Abbildung 3-6).

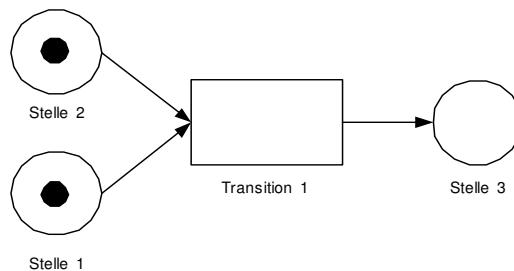


Abbildung 3-6: Beispiel Petri-Netz

⁵⁵ Diese Definition ist angelehnt an die von Abel [Abel90]. In der Literatur existieren noch einige ähnliche Beschreibungen. So existieren z.B. bei Starke [Star90] keine Platzkapazitäten W .

Oft werden Petri-Netze eingesetzt, um die Zustände von Montage-, Kommissionier- oder Transportvorgängen zu modellieren. Insbesondere geteilte Ressourcen von nebenläufigen und ansonsten voneinander unabhängigen Prozessen können durch diese Netze gut modelliert werden⁵⁶. Die anhand des Modells vorgenommene Planung der Schaltungen und die damit implizite Planung der Nutzung der geteilten Ressourcen kann für das abgebildete real existierende System übernommen werden. Damit erfüllen Petri-Netze bereits einen Teil der in Kapitel 2 gestellten Anforderungen. Problematisch an den traditionellen Petri-Netzen ist jedoch, dass ohne eine Hierarchisierung der Netze die Abbildung eines komplexen Produktionssystems unübersichtlich wird. Das Fehlen eines Zeitmodells lässt die Abbildung von unterschiedlichen Vorgangsdauern im Rahmen einer Produktion zudem nicht zu.

3.2.1.2 Gefärbte Petri-Netze

Bei den zuvor beschriebenen traditionellen Petri-Netzen sind die in einem Modell befindlichen Marken nicht unterscheidbar. Die Möglichkeit, die verwendeten Marken von einander zu differenzieren, kann jedoch bei der Abbildung komplexer Systeme zu einer Vereinfachung des Gesamtmodells führen. Zu diesem Zweck wird den einzelnen Marken eine Farbe aus einer Menge von Farben F zugewiesen. Definiert wird ein gefärbtes Petri-Netz CPN durch das in Tabelle 3-5⁵⁷ aufgeschlüsselte 8-Tupel:

$$CPN := \{P, C, T, F, W, S, K, m_0\}$$

Tabelle 3-5: Komponenten gefärbtes Petri-Netz

Komponente	Beschreibung
C	Menge der Farben
$W : F \rightarrow N_0^{C(p)}$	Kantenbewertung
$S : T \rightarrow N_0^{C(p)}$	Transitionsbewertung
$K : P \rightarrow N_0^{C(p)}$	Stellenkapazität
$m_0 : P \rightarrow N_0^{C(p)}$	Anfangsmarkierung

Eine Transition schaltet, sobald genug Marken der benötigten Farben an den Eingangsplätzen zur Verfügung stehen und gleichzeitig die Ausgangsplätze über eine ausreichend hohe freie Kapazität zum Aufnehmen der neu generierten Marken der

⁵⁶ Vgl. [Schm92]

⁵⁷ Die nicht aufgeführten Variablen sind Tabelle 3-4 zu entnehmen

entsprechenden Farbe verfügen. Bestehende komplexe Petri-Netze ohne durch Färbung individualisierte Farbmengen können durch Zusammenlegen von mehreren Stellen in gefärbte Petri-Netze transformiert werden. Umgekehrt kann auch jedes gefärbte Petri-Netz wieder in ein traditionelles entfaltet werden.

Die Färbung ist damit für eine einfache Modellierung hilfreich, erschließt aber aus einer theoretischen Sicht keine neuen Potenziale. Es können folglich mit beiden Varianten eines Petri-Netzes die gleichen Abläufe dargestellt werden. Da ein erstelltes Modell jedoch im Sinne der Arbeit von mehreren Individuen als Kommunikationsgrundlage genutzt werden soll, bietet die Möglichkeit der Komplexitätsreduktion für die Betrachtung umfangreicher Modelle einer Produktion Vorteile.

3.2.1.3 Prädikats-/Transitionsnetze

Neben gefärbten Petri-Netzen bieten die Prädikats-/Transitions-Netze die Möglichkeit, Marken zu individualisieren. Darüber hinaus können neben der Farbe weitere Attribute vergeben werden. Die Schaltvorgänge in den Transitionen können über Regeln, abhängig von den vergebenen Attributen, stattfinden. Definiert wird ein Prädikats-/Transitionsnetz PRT durch das in Tabelle 3-6⁵⁸ aufgeschlüsselte 6-Tupel⁵⁹:

$$PRT := \{P, T, F, A, K, m_0\} \text{ mit}$$

$$A = \{A_P, A_T, A_F\}$$

Tabelle 3-6: Komponenten eines Prädikats-/Transitions-Netzes

Komponente	Beschreibung
A	Beschriftung des Prädikats-/Transitions-Netzes
A_P	Stellenprädikate
A_T	Transitionsbeschriftung
A_F	Kantenbeschriftung
$K : P \rightarrow N_0^{A_P}$	Stellenkapazität
$m_0 : P \rightarrow N_0^{A_P}$	Anfangsmarkierung

Der grundsätzliche Unterschied zu den bereits vorgestellten Petri-Netzen besteht in der Beschriftung A des Prädikats-/Transitions-Netzes. Durch die Möglichkeit der Be-

⁵⁸ Die nicht aufgeführten Variablen sind Tabelle 3-4 zu entnehmen.

⁵⁹ Vgl. [LeEg88, S. 182ff.]

schriftung lässt sich das Netz komplett individualisieren. Dabei werden mit A_P die Stellenprädikate bezeichnet. Diese präsentieren die Kombination aller möglichen Markierungen der Marken einer Stelle.

Durch die gegenüber den gefärbten Netzen größeren Individualisierungsmöglichkeiten lassen sich abzubildende Systeme mit weniger Knoten darstellen. Dadurch werden die erstellten Modelle noch übersichtlicher. Allerdings geht die Steigerung der Übersichtlichkeit zu Lasten der Transparenz der grafischen Darstellung, da jeder einzelne Knoten durch die Beschriftung eine größere Menge an nicht erkennbaren Informationen enthält. Die Beschriftungsmöglichkeiten der Prädikats-/Transitionsnetze sollen für das zu erstellende Modell übernommen werden, da durch diese die in der Ontologie hinterlegten Attribute im Modell eingebunden werden können.

3.2.1.4 Zeitbewertete Petri-Netze

Eine weitere Möglichkeit, Petri-Netze zu erweitern, ist das Einführen einer Zeitbewertungskomponente. In dieser Art von Netzen befinden sich die Marken in zwei Zuständen. Entweder sind sie „*verfügbar*“ oder „*nicht verfügbar*“. Werden Marken an einer Stelle erzeugt, wird ihnen für eine gewisse Zeit⁶⁰ der Zustand „*nicht verfügbar*“ zugeordnet. Nach Ablauf eines festgelegten Zeitintervalls wechselt der Zustand der Marken in „*verfügbar*“. Eingangs befinden sich alle Marken gewöhnlich in dem Zustand „*verfügbar*“. Eine Transition schaltet nur, wenn die entsprechende Menge „*verfügbarer*“ Marken an den Eingangsplätzen zur Verfügung steht.

Die Möglichkeit, durch die Zeitbewertung unterschiedlich lange Vorgangsdauern abzubilden, ist für die Modellierung einer Produktion, in der Prozesse oftmals zeitlich asynchron ablaufen, sehr hilfreich. Die Möglichkeiten der zeitbewerteten Petri-Netze sollen somit in die Erstellung des Modells einfließen.

3.2.1.5 Hierarchische Petri-Netze

Um komplexe Petri-Netze überschaubar zu halten, lassen sich Ausschnitte zu Teilnetzen zusammenlegen. Aus den auf diese Weise entstandenen Teilmodellen können größere Modelle komponiert werden, aus denen wiederum größere Modelle generiert werden können. Durch diese rekursive Unterteilung des Problembereichs entstehen Modellhierarchien entlang zusammengehöriger Modellteile (siehe Abbildung 3-7).

⁶⁰ Wenn diese Zeiten stochastische schwanken, wird das Modell als stochastisches Petri-Netz bezeichnet.

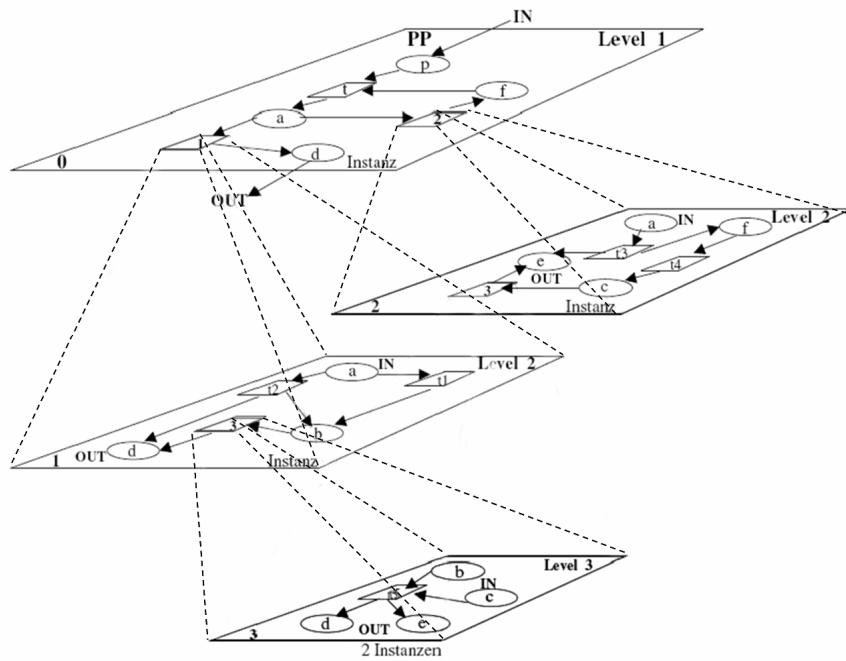


Abbildung 3-7: Hierarchische Petri-Netze

Werden Transitionen durch Teilmodelle auf der nächst detaillierteren Ebene verfeinert, wird ihr Einfluss auf die Berechnung durch das Teilmodell übernommen⁶¹. So kann z.B. eine Maschine und deren Verhalten in einem Untermodell gekapselt werden. Durch wiederholtes Einsetzen von Teilmodellen in Transitionen können große Systeme hierarchisch modelliert werden. Soll ein Modell berechnet werden, fließen die Marken durch die detaillierteste Ebene. Ein autonomes Ausführen einzelner Ebenen ohne deren detailliertere Modelle ist nicht erlaubt.

3.2.1.6 Fazit Petri-Netze

In der Literatur existieren zahlreiche Beispiele für alle möglichen Kombinationen von gefärbten, nicht gefärbten, zeitbewerteten, nicht zeitbewerteten, hierarchischen und nicht hierarchischen Netzen⁶². Die Vor- und Nachteile der einzelnen Netztypen wurden bereits im Anschluss der jeweiligen Kapitel dargelegt. Für die Problemlösung in der Arbeit ist die Kombination aller Möglichkeiten und deren Erweiterung um verschiedene Attributierungsverfahren notwendig. Als methodischer Grundstein für das zu erstellende Modell sollen die Prädikats-/Transitionsnetze mit der Möglichkeit der Netzbescriftung dienen. Dadurch lässt sich die Ontologie bestmöglich mit den Konstrukten des Modells

⁶¹ Vgl. [Abel90]

⁶² Vgl. [LeEg88]

verknüpfen. Von den zeitbewerteten Netzen wird die Möglichkeit, einzelnen, die Vorgänge abbildenden, Transitionen unterschiedliche Zeitdauern zuzuweisen, benötigt. Das ist notwendig, da die Abläufe in einem Produktionssystem in der Regel nicht synchron ablaufen. Zur Verbesserung der Übersichtlichkeit für den Betrachter soll die Färbung der Marken als Option in die zu entwickelnde Modellierungsmethode eingebunden werden. Dadurch lassen sich Instanzen mit unterschiedlichen Ausprägungen einer Klasse direkt von einander unterscheiden. Die Möglichkeit, ein Gesamtmodell in Teilmodelle zu zerlegen, erhöht die Übersichtlichkeit für den Betrachter nochmals. Zudem können bereits erstellte Teilmodelle mit geringem Aufwand in anderen Modellen wieder verwendet werden.

3.2.2 MFert - Modell der Fertigung

Im Gegensatz zu den bisher vorgestellten Modellen ist MFert speziell zur Abbildung von Produktionsvorgängen entwickelt worden. Der Ansatz erhebt den Anspruch, ein operables Modell zu sein, d.h. dass es die Durchführung der Planungsaufgaben der modellierten Fertigung ermöglicht.⁶³.

Innerhalb der Modelle wird zwischen Fertigungselementen und Fertigungsvorgängen unterschieden. Das Verständnis eines Fertigungselements ist dabei sehr weit gefasst. Es können Güter, Personen und Informationsobjekte gemeint sein. Gleichartige Fertigungselemente lassen sich zu Fertigungselementkategorien zusammenfassen. Ein Fertigungsvorgang ist eine konkrete Leistungserstellung, bei der Fertigungselemente eingesetzt und auch generiert werden. Ähnliche Fertigungsvorgänge lassen sich zu Fertigungsvorgangskategorien zusammenfassen. Ein Fertigungselementknoten im Graphen der Fertigung repräsentiert eine Fertigungselementkategorie, die in den zu modellierenden Ablauf involviert ist. Eine Fertigungsvorgangskategorie wird in Form eines Fertigungsvorgangsknotens abgebildet.

Der entstehende Graph der Fertigung repräsentiert die Menge möglicher Produktionsabläufe. In diesem Modell sind die Fertigungselementknoten und die Fertigungsvorgangsknoten die Knoten. Die Kanten sind gerichtet und zeigen mögliche Fertigungselementströme auf und verbinden die Knoten miteinander. Die Richtung der Kanten entspricht dabei der Elementflussrichtung. Der Graph ist bipartit. Eine Kante verbindet folglich immer einen Fertigungselementknoten mit einem Fertigungsvorgangsknoten oder umgekehrt. Fertigungselementknoten werden bei einer Visualisierung des Graphen durch Dreiecke und Fertigungsvorgangsknoten durch Rechtecke repräsentiert.

⁶³ Vgl [DaWi93], [DaWi97], [Dang96], [DaWa97].

Tabelle 3-7: Modellkonstrukte in MFert

Komponente	Beschreibung	Komponente	Beschreibung
	Fertigungselementknoten		Fertigungsvorgangsknoten
	Kante		Punkt an einem Knoten
	Ereignisse auf der Zeitachse		

Mit MFert können verschiedene Zustände zu bestimmten Zeitpunkten eines Produktionssystems abgebildet werden. Zu diesem Zweck werden an den Punkten in den Knoten Ereignisse erfasst (siehe Abbildung 3-8). Der Fertigungselementknoten enthält die Punkte *Abgang*, *Zugang* und *Mitte*. Die Ereignisse werden durch einen sachlichen Bezug (Fertigungselementart), einen zeitlichen Bezug, einen durch den Punkt vorgegebenen Ereignistyp und eine Interpretation gekennzeichnet. Ein einem Zugangs- oder Abgangspunkt zugeordnetes Ereignis stellt einen Fertigungselementzugang oder –abgang dar. Im Punkt vom Typ *Mitte* werden Ereignisse erfasst, die aus zu- und abfließenden Fertigungselementen resultieren. Dort wird folglich der Bestand an Fertigungselementen eines Fertigungselementknotens dokumentiert. Wenn mehrere Ereignisse an einem Punkt zum gleichen Zeitpunkt auftreten, lassen sich diese durch unterschiedliche Interpretationen unterscheiden. Fertigungsvorgangsknoten haben neben den drei beschriebenen Punkten zusätzliche Punkte zur Erfassung *beginnender* und *endender Vorgänge*. An dem Punkt *Mitte* werden laufende Vorgänge erfasst.⁶⁴

⁶⁴ Vgl. [Schn96]

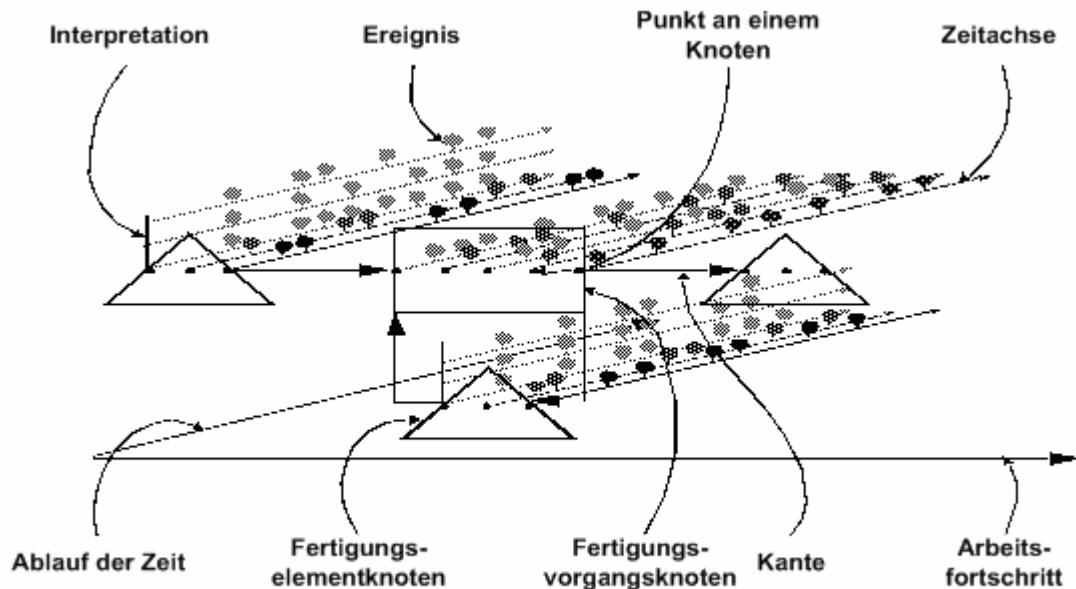


Abbildung 3-8: Bestandteile des Modells der Fertigung

MFert ist dazu geeignet, die Abläufe innerhalb eines Produktionssystems grundsätzlich abzubilden. Die Möglichkeit, Teilmodelle in ein Gesamtmodell einzubinden, um bereits modellierte Realitätsausschnitte weiter zu verwenden, ist nicht gegeben. Eine Verbindung des Modells mit einer Ontologie ist nicht vorgesehen.

3.2.3 ARIS und SAP NetWeaver

Neben den vorgestellten Einzelmodellen existieren auch Modellsysteme, die sich verschiedener Modellierungsmethoden bedienen und die so entstandenen Teilmodelle in ausgewählten Sichten für den Anwender bündeln.

Ein bekanntes Tool dieser Gattung ist ARIS⁶⁵ (Architecture of Integrated Information Systems). ARIS ist ein Konzept zur Modellierung strategischer Geschäftsprozesse. Diese werden im Rahmen einer Gesamtmodellbildung in fünf Beschreibungssichten (die Funktions-, Organisations-, Daten-, Leistungs- und Steuerungssicht) zerlegt, um die Komplexität des modellierten Gesamtsystems für den Betrachter zu reduzieren.

Zur Beschreibung der einzelnen Sichten kommen in ARIS verschiedene Modellierungsmethoden zum Einsatz. Nachfolgend werden einzelne für den Fokus der vorliegenden Arbeit interessante Modelle kurz erörtert.

Zur Abbildung der Aufbaustruktur eines Unternehmens werden im Rahmen der *Organisationssicht* Organigramme erstellt. Anhand dieser lassen sich die vorhandenen Hierarchiebeziehungen innerhalb der Aufbauorganisation erfassen.

Zwecks Darstellung der Zusammenhänge innerhalb der Wertschöpfungskette (WSK) lassen sich einzelne daran beteiligte Funktionen innerhalb von WSK-Diagrammen koppeln.

Haupteinsatzzweck der ARIS-Modelle ist die Gestaltung und Optimierung von Informationssystemen. Zur Erstellung der diesen Systemen zugrunde liegenden Datenmodelle wird innerhalb der *Datensicht* mit Entity-Relationship-Modellen (ERM) gearbeitet. Die Hauptbestandteile eines solchen Modells sind Entitäten mit ihren beschreibenden Attributen. Die Beziehungen zwischen den einzelnen Entitäten werden durch Relationen abgebildet. Zur Abbildung relevanter Prozessabläufe wird innerhalb der *Steuerungssicht* mit erweiterten ereignisgesteuerten Prozessketten (eEPK) gearbeitet. Dabei werden Geschäftsprozesse durch Ereignisse, Funktionen, Kanten und Konnektoren beschrieben⁶⁶. Die Steuerungssicht ist gleichzeitig das Bindeglied zwischen der Funktions-, Organisations-, Daten- sowie Leistungssicht. In ARIS existieren Methoden zur Beschreibung der bilateralen Beziehungen zwischen den Sichten. Bei der Verknüpfung der Funktions- mit der Datensicht werden beispielsweise Datenflussdiagramme und eEPK benutzt, um die Relationen zwischen den Sichten anzuzeigen.

Die ARIS-Methoden werden im Rahmen von SAP zur Aufnahme von im System zu hinterlegenden Geschäftsprozessen genutzt. Eine der neusten Entwicklungen in dieser Richtung ist der SAP NetWeaver. Diese Software dient zur Schaffung einer Geschäftsprozessplattform, die Anwendungsfunktionalität in flexibel kombinierbaren und betriebswirtschaftlich nutzbaren Web Services zur Verfügung stellt⁶⁷. Bei der Implementierung eines Prozesskonzepts in NetWeaver kommt es aufgrund verschiedener Begrifflichkeiten innerhalb der Meta-Modelle immer wieder zu einem Verständnisproblem zwischen der Führungsebene eines Unternehmens, welche das Konzept erstellt, und der IT-Abteilung, die das Konzept in einem DV-System implementiert. Zur Lösung dieses Problems sollen die ARIS-Methoden als Modellierungsumgebung eingesetzt werden. Als Vorteil dieser Methoden wird die Verständlichkeit für betriebswirtschaftlich orientierte Mitarbeiter angesehen. Von SAP werden branchenspezifische Vorlagen der ARIS Modelle geliefert, die auf die

⁶⁵ Das ARIS-Toolset ist eine Software der IDS Scheer AG. Ausführliche Informationen sind unter <http://www.aris.de> zu finden.

⁶⁶ Vgl. [Sche98]

⁶⁷ Vgl. <http://www.sap.de>

tatsächlich in einem Unternehmen stattfindenden Geschäftsprozesse angepasst werden müssen. Diese Anpassung wird zumeist durch externe Beratungshäuser von SAP Experten vorgenommen. Die angepassten Modelle lassen sich anschließend wieder in NetWeaver importieren und sollen dadurch die Struktur und die Beziehungen zwischen den einzelnen in NetWeaver enthaltenen Webservices unternehmensspezifisch abbilden⁶⁸. In Zukunft ist eine komplette Integration der ARIS-Methoden geplant, um mittels einer gemeinsamen Datenbasis die Anpassung von NetWeaver an ein Unternehmen zu beschleunigen. Dadurch entfällt der teilweise manuelle Aufwand zur Synchronisation der Modelle. Außerdem werden Inkonsistenzen zwischen den Modellen in ARIS und NetWeaver vermieden⁶⁹.

Das ARIS-Konzept besitzt kein vorgefertigtes domänenspezifisches Glossar, ARIS ist vielmehr als ein allgemeingültiges Rahmenmodell zur Beschreibung und Modellierung strategischer Geschäftsprozesse ausgelegt. Es besteht jedoch die Möglichkeit, für eine tatsächliche Anwendung ein Fachbegriffsmodell zu erstellen. In diesem lassen sich die einzelnen Begriffe durch Pfeile miteinander in Beziehung stellen. Auf die Abbildung von Produktionsprozessen in einem Produktionssystem sind die ARIS-Methoden nicht ausgelegt. Die simultane Abbildung der Produktionsfaktoren mit den Transformationsprozessen, an denen sie beteiligt sind, ist unter Berücksichtigung der mengen- und zeitmäßigen Kapazitäten und Bedarfe nicht mit einem der in ARIS eingebetteten Modelle sinnvoll möglich. In der bestehenden Form sind die ARIS Modelle, insbesondere die EPK und ERM Methoden, folglich nicht geeignet, um die Ziele der vorliegenden Arbeit zu erfüllen. Das Gleiche gilt für andere Modelle (z.B. KIM, CIMOSA, etc.), die darauf ausgelegt sind, Geschäftsprozesse abzubilden oder als Grundlage zur Erstellung betrieblicher Informationssysteme zu dienen.

3.2.4 Fazit

Die betrachteten Modellierungsmethoden bieten verschiedene Konzepte, die zur Entwicklung der vorliegenden Arbeit genutzt werden können. Die umfangreichsten Möglichkeiten bieten die höheren Petri-Netze. Welche der dort enthaltenen Optionen übernommen werden sollen, wurde in den entsprechenden Kapiteln beschrieben. Die Modellierung der Zeit soll auf den Möglichkeiten der zeitbewerteten Petri-Netze aufbauen. Die Beschreibung der Ereignisse ist in dem MFert Ansatz gut gelöst worden und soll in die Basisontologie und durch diese in das Modell übernommen werden.

⁶⁸ ARIS for SAP NetWeaver, 2005 unter http://www.ids-scheer.com/sixcms/media.php/2152/ARIS_for_SAP_NetWeaver_FS_de_2005-06.pdf

⁶⁹ Webcast-Transcript „Business Process Management unter SAP NetWeaver“, 2004 unter: <http://www.sap.com/community/int>ShowDoc.epx?docid=3392&Type=Transcript>

Die durch den Vergleich des Stands der Technik mit den gestellten Anforderungen und Zielen ermittelten zu erledigenden Aufgaben werden nachfolgend in Kapitel 4 erörtert.

4 Zu leistende Arbeiten

Nachdem in Kapitel 3 der Stand der Technik in den problemrelevanten Bereichen für die vorliegende Arbeit beleuchtet wurde (siehe Abbildung 4-1), sollen an dieser Stelle auf der Grundlage der in Kapitel 2 festgelegten Zielstellung und der an diese gestellten Anforderungen die notwendigen Arbeitsschritte zur Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung von Abläufen in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion festgelegt werden.

Von den in Kapitel 3.1.1 vorgestellten Basisontologien können Teilkonzepte zur Entwicklung einer auf die Ziele der Arbeit angepassten Basisontologie genutzt werden. Die in Kapitel 3.1.2 erörterten domänenspezifischen Ontologien weisen hinsichtlich der aufgestellten Anforderungen verschiedene Schwachpunkte auf. Jedoch lassen sich ausgewählte Klassen bei der Neuentwicklung der auf der Basisontologie fußenden Domänenontologie einbinden.

In Kapitel 3.2 wurden verschiedene Modellierungsansätze untersucht. Ein besonderer Schwerpunkt lag dabei auf den verschiedenen Petri-Netz-Typen. Geeignet für die Ziele der Arbeit sind in Auszügen jeweils Prädikats-/Transitions-, gefärbte, zeitbehaftete und hierarchische Netze. Bei dem MFert Ansatz erwies sich die Beschreibung der Ereignisse sowie die Methode der Modellpunktvergabe als besonders geeignet im Sinne der Problemstellung der vorliegenden Arbeit. Eine Kombination der verschiedenen Ansätze sowie eine geeignete Einbindung der Ontologie gemäß den Zielen und Anforderungen der Arbeit kann somit als eine Teilaufgabe für das folgende Kapitel festgehalten werden.

Eine Kombination einer Ontologie zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem mit einer Modellierungsmethode ist nicht bekannt. Folglich existiert kein Software Tool, in dem dieses Konzept bereits umgesetzt wurde.

Aufgrund der durch die Bewertung des Stands der Technik festgestellten Situation entstehen zusammenfassend für den weiteren Verlauf der Arbeit vier zu leistende Teilaufgaben. Zunächst muss eine mit den Anforderungen und Zielen konforme Basisontologie entwickelt werden. Daraufhin ist eine auf dieser aufbauende Domänenontologie aufzustellen. Als dritte Teilaufgabe lässt sich die Erarbeitung des Modells festhalten. Das Modell muss eine Einbindung der Ontologie ermöglichen. Nachdem in Kapitel 6 die entwickelten Ansätze exemplarisch angewendet wurden, erfolgt in Kapitel 7 die Beschreibung eines Software-Prototyps, mit dessen Hilfe sich ein ontologiebasiertes Modell von Abläufen in einem Produktionssystem aufstellen lässt.

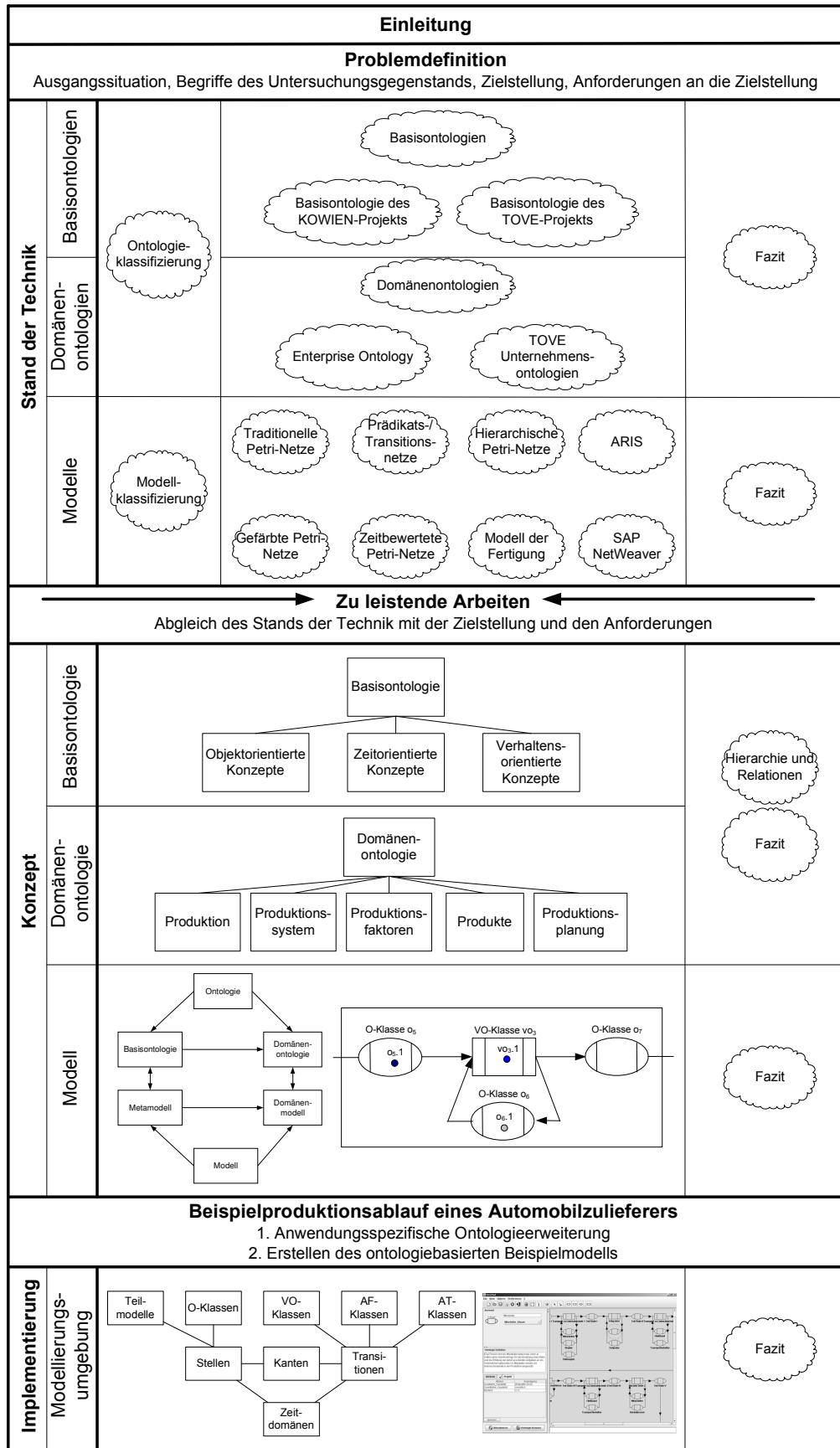


Abbildung 4-1: Aufbau der Arbeit

5 Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion

Um die in Kapitel 2 beschriebenen Ziele zu erreichen, muss ein ontologiebasiertes Modell zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem unter besonderer Berücksichtigung einer diskreten Produktion entwickelt werden. Zu diesem Zweck muss wie zuvor erörtert zunächst eine anwendungsunabhängige Basisontologie als Grundlage der Gesamtontologie entwickelt werden. Aufbauend auf dieser wird eine auf die behandelte Wissensdomäne zugeschnittene Domänenontologie erarbeitet. Basierend auf den in der Ontologie enthaltenen Klassen wird daraufhin das zur Beschreibung vorgesehene Modell generiert.

5.1 Basisontologie

Die Klassen der Basisontologie lassen sich drei verschiedenen Kategorien zuordnen. Zunächst werden objektorientierte Klassen aufgestellt. Da mit der Ontologie dynamische Systeme beschrieben werden können sollen, ist es unerlässlich, verhaltensorientierte Klassen zu bestimmen. „*Von Verhalten eines Systems spricht man dann, wenn eine Veränderung des Zustandes bzw. der Zustandsgrößen des Systems auf der Makroebene beobachtet werden kann.*“⁷⁰ Für die Beschreibung der zeitlichen Einordnung der Zustandsänderungen werden zeitorientierte Klassen benötigt. Formal lässt sich die Basisontologie BO durch folgendes in Tabelle 5-1 erörterte 4-Tupel bestimmen:

$$BO := \{BK, B, A, H\}$$

Tabelle 5-1: Komponenten der Basisontologie

Komponente	Beschreibung
BK	Menge der Klassenbezeichnungen
B	Menge der Klassenbedeutungen
A	Menge der Attribute
H	Menge der Hierarchiebeziehungen

⁷⁰ [Wiki05b-ol]

Jeder möglichen Klassenbezeichnung bk wird im Rahmen der Basisontologie eine Klassenbedeutung b zugeordnet. Neben der Klassenbezeichnung und -bedeutung besteht die Festlegung einer Klasse aus einem Set von Attributen, das Teilmenge von A ist. H enthält die Menge aller Hierarchiebeziehungen zwischen den Klassen. Eine Klasse der Basisontologie soll in der Arbeit durch folgende Syntax gekennzeichnet werden:

Klassenbezeichnung (bk): Spezifikation der semantischen Bedeutung der Klasse in Form eines definierenden Textbausteins (b).

1. **Attribut 1 (a):** Beschreibung des Attributs 1 und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).
2. **Attribut 2 (a):** Beschreibung des Attributs 2 und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).
- n. **Attribut n (a):** Beschreibung des Attributs n und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).

Aus den Klassen der Basisontologie können Klassen, die eine Domänenontologie bilden, abgeleitet werden. Die Domänenontologie wird im Anschluss an die Basisontologie erarbeitet.

5.1.1 Objektorientierte Klassen

Um real existierende Objekte im Rahmen der Ontologie beschreiben zu können, müssen abstrakte Klassen als Werkzeug zu deren einheitlicher Erfassung geschaffen werden. Im Bereich der objektorientierten Betrachtung werden daher in der Basisontologie Objektklassen eingeführt. Für die Instanzen einer Objektklasse gilt folgende Definition:

Objekt: Objekte sind vom Subjekt unabhängige, materielle Gegenstände der menschlichen Erkenntnis⁷¹. Im Rahmen der Basisontologie wird ein Objekt neben seiner Bezeichnung durch bestimmte Attribute beschrieben. Die Ausprägung dieser Attribute bestimmt dabei den Zustand des Objekts. Dieser kann sich mit der Zeit durch das Eintreten von Ereignissen⁷² ändern. Die Zustandsänderung eines Objekts wird als Veränderung von Attributausprägungen des Objekts festgehalten. Ein Objekt lässt sich über die Ausprägungen der folgenden Attribute beschreiben:

1. **Qualitative_Kapazität:** Die qualitative Kapazität eines Objektes trifft eine Aussage darüber, an welchen Vorgangstypen das Objekt beteiligt sein kann. Dadurch lassen sich somit die Fähigkeiten eines Objektes beschreiben.

⁷¹ (vgl. [KIBu76])

2. **Quantitative_Kapazität:** Die quantitative Kapazität eines Objektes gibt an, wie oft ein Objekt in Zukunft noch an Vorgängen beteiligt sein kann. Damit entspricht die quantitative Kapazität der Lebensdauer eines Objekts. Der Wert dieses Attributs liegt zwischen *0* und *unendlich*. Bei *0* ist das Objekt nicht mehr dazu geeignet, an weiteren Vorgängen teilzunehmen.
3. **Simultane_Kapazität:** Die simultane Kapazität eines Objektes gibt an, an wie vielen Vorgängen das Objekt gleichzeitig teilnehmen kann. Der Wert dieses Attributs liegt zwischen *1* und *unendlich*. Werte größer *1* weisen z.B. Drehmaschinen mit mehr als einer getrennt von einander regelbaren Spindel auf. Mit einer solchen Maschine können parallel mehrere Güter bearbeitet werden, somit nimmt dieses Objekt gleichzeitig an mehreren Vorgängen teil. Die Höhe der simultanen Kapazität kann jedoch auch vom verwendeten Zeitmodell abhängen. Wenn das Zeitmodell so gewählt wird, dass das Objekt innerhalb des kleinsten betrachteten Zeitintervalls an maximal einem Vorgang teilnehmen kann, liegt die simultane Kapazität bei *1*. Ein solches Zeitmodell wird gewöhnlich im Rahmen der Terminplanung verwendet. Wird jedoch ein größeres Zeitmodell genutzt, kann ein Objekt in dem kleinsten betrachteten Zeitintervall *ZI* von mehr als einem Vorgang belegt werden. In diesem Fall ist die simultane Kapazität größer als *1*.
4. **Hat_Zeitdomäne:** Jedes Objekt muss einer Zeitdomäne⁷³ zugeordnet werden. Diese Zeitdomäne enthält alle für das Objekt relevanten Zeitpunkte. Relevante Zeitpunkte sind beispielsweise Zeitpunkte, mit denen Zustandsänderungen des Objekts in Verbindung gebracht werden.
5. **Ort:** Ein Objekt befindet sich stets an einer bestimmten geografischen Position.

⇒ **Zustand:** Der Zustand eines Objektes ist die Gesamtheit seiner zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute. Der Zustand eines Objekts kann sich im Zeitverlauf durch die Beteiligung an Vorgängen ändern⁷⁴.

Die gegebene Liste der Attribute lässt sich im Rahmen der Entwicklung von domänen-spezifischen Klassen zweckmäßig erweitern. Denkbar wäre z.B. die Einführung

⁷² Die Definition eines Ereignisses wird in Kapitel 5.1.2 gegeben.

⁷³ Die Definition der Zeitdomäne wird in Kapitel 5.1.2 gegeben.

⁷⁴ Ob ein Objekt, das seinen Zustand geändert hat, nach wie vor zur selben O-Klasse gehört, hängt von der Beschreibung der entsprechenden O-Klasse ab. D.h., damit das Objekt nicht einer anderen O-Klasse zugeordnet werden muss, muss das Objekt in geändertem Zustand nach wie vor die vorgeschriebenen Attributausprägungen aufweisen.

weiterer beschreibender Attribute (E-Modul zur Unterscheidung von Stahlsorten, Hitzebeständigkeit bei Kunststoffen, etc.), um mehr Möglichkeiten der Objektdifferenzierung zu schaffen. Objekte lassen sich in Abhängigkeit ihrer Attribute bzw. deren Ausprägungen Objektklassen zuordnen. Objekte bilden somit die Instanzen einer Objektklasse. Eine Objektklasse ist in der Basisontologie folgendermaßen definiert:

O-Klasse (Objektklasse): Eine O-Klasse ist die Beschreibung einer Menge von Objekten über die Festlegung gemeinsamer Attribute und deren Ausprägungen. Die Objekte sind somit die Instanzen der O-Klasse. Die für alle Instanzen der O-Klasse festgelegten *gemeinsamen* Attribute bzw. deren Ausprägungen werden als *vorgeschriebene* Attribute bzw. Attributausprägungen bezeichnet. Alle untergeordneten O-Klassen und Instanzen müssen die *vorgeschriebenen* Attribute/-ausprägungen aufweisen. Neben den vorgeschriebenen Attributen/-ausprägungen lassen sich *optionale* Attribute definieren. Die optionalen Attribute bzw. deren Ausprägungen müssen nicht bei allen abgeleiteten Instanzen oder der betrachteten O-Klassen untergeordneten O-Klassen übereinstimmen. O-Klassen, von denen keine Instanzen gebildet werden können, werden als abstrakte O-Klassen bezeichnet. O-Klassen, von denen Instanzen gebildet werden können, werden als konkrete O-Klassen bezeichnet. O-Klassen und damit die ggf. aus ihnen abgeleiteten Instanzen können über verhaltensorientierte Klassen miteinander in Beziehung stehen. Eine O-Klasse soll sich durch folgende vorgeschriebene und optionale Attribute kennzeichnen lassen:

1. **Qualitative_Kapazität:** Die qualitative Kapazität einer O-Klasse ist die Vereinigungsmenge der möglichen qualitativen Kapazitäten der Objekte der Klasse. Üblicherweise wird dieses Attribut als vorgeschriebenes Attribut festgelegt, um damit die Objekte anhand ihrer Fähigkeiten zu gruppieren. D.h., dass nur ein Objekt, das eine oder mehrere der in der Menge enthaltenen qualitativen Kapazitäten aufweist, Instanz der Klasse sein kann.
2. **Quantitative_Kapazität:** Die quantitative Kapazität einer O-Klasse ist die Gesamtheit der möglichen quantitativen Kapazitäten der Objekte der Klasse.
3. **Simultane_Kapazität:** Die simultane_Kapazität einer O-Klasse ist die Vereinigungsmenge der möglichen simultanen_Kapazitäten der Objekte der Klasse.
4. **Bestand:** Der Bestand einer O-Klasse entspricht der Menge ihrer momentan existierenden Instanzen. Der Bestand kann als summarische Objektanzahl geführt werden, wenn sich die einzelnen Instanzen in relevanten Attributen nicht voneinander unterscheiden. Bei unterschiedlichen Objekten ist nur eine mengenmäßige Betrachtung sinnvoll.

5. **Hat_Zeitdomäne:** Die Zeitdomäne enthält alle für die Instanzen der Klasse relevanten Zeitpunkte. Relevante Zeitpunkte sind beispielsweise Zeitpunkte, mit denen Zustandsänderungen der Klasse oder der enthaltenen Objekte in Verbindung gebracht werden.
 6. **Ort:** Die geografische Position, an denen sich die Instanzen der O-Klasse befinden.
- ⇒ **Zustand:** Der Zustand einer O-Klasse wird durch die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute beschrieben.

5.1.2 Zeitorientierte Klassen

Die Zeit spiegelt den Ablauf des Geschehens bzw. die Aufeinanderfolge von Ereignissen und somit von Zustandsänderungen wieder⁷⁵. Mittels der Zeit lassen sich Aussagen über die Reihenfolge und die Abstände zwischen einzelnen Ereignissen innerhalb des betrachteten Systems und dessen Umwelt treffen. Soll neben der Eintretensreihenfolge auch die zeitliche Distanz zwischen den Ereignissen abgebildet werden, um Abläufe innerhalb eines Systems zu planen, wird ein Modell der Zeit benötigt. Das Modell der Zeit besteht aus der Menge aller Zeitpunkte. Im System stattfindende Ereignisse können jeweils einem Zeitpunkt zugeordnet werden. Ein Ereignis hat genau wie ein Zeitpunkt keine zeitliche Ausdehnung.

Zeitpunkt: Ein Zeitpunkt t_i ist ein Punkt im Ablauf der Zeit. Er hat keine zeitliche Ausdehnung. Innerhalb einer Zeitdomäne ist er Teil der Menge aller Zeitpunkte T .

- $t_i \in T$

Ereignis: Ein Ereignis ist die Änderung eines Zustands einer oder mehrerer Klassen oder Instanzen. Jedem Ereignis lässt sich ein bestimmter Zeitpunkt⁷⁶ zuordnen. Ein Ereignis wird durch einen *sachlichen* (betroffene Klassen und Instanzen), *mengenmäßigen* (Anzahl der betroffenen Instanzen) und *zeitlichen* Bezug (Eintretenszeitpunkt) gekennzeichnet⁷⁷. Darüber hinaus wird einem Ereignis ein *Typ* zugeordnet. Die Bestimmung des Ereignistyps hängt von der Art der erfolgten Zustandsänderung ab. Dadurch kann innerhalb der Zeitdomäne einer O-Klasse beispielsweise zwischen einem Abgang oder Zugang ihrer Instanzen unterschieden

⁷⁵ vgl. [Wah78, S. 4215]

⁷⁶ vgl. [Wah78]

⁷⁷ Die formale Ableitung von Modellereignissen mit sachlichem und zeitlichem Bezug ist in [Schn96, S.127ff] zu finden.

werden. Zur Differenzierung von Ereignissen des gleichen Typs mit dem gleichen sachlichen und zeitlichen Bezug können *Interpretationen* vergeben werden. Folglich lassen sich einem Ereignis folgende Attribute zuordnen:

1. **Sachlicher Bezug**
2. **Mengenmäßiger Bezug**
3. **Zeitlicher Bezug**
4. **Typ**
5. **Interpretation**

Die benötigte Abbildung des Zeitverlaufs kann auf zwei verschiedene Art und Weisen realisiert werden. Zum einen ist eine der Realität entsprechende kontinuierliche Einordnung der Zeitpunkte denkbar. In einem solchen Zeitmodell werden mögliche Zeitpunkte t_i über die Menge aller positiven reellen Zahlen R^+ dargestellt⁷⁸:

$$\Rightarrow T \subset R^+$$

Die Ordnungsrelation der Zeitpunkte t_i in der Menge aller Zeitpunkte T wird folgendermaßen definiert:

1. $i \in I$ und $I \subset R^+$
2. $T = \{t_i \mid t_i < t_{i+1}\}$ Ordnungsrelation der Zeitpunkte t_i in der Menge aller Zeitpunkte T .

Daraus folgt, dass in einem kontinuierlichen Zeitmodell zwei Zeitpunkte (t_n und t_m) beliebig nah beieinander liegen können. Es existiert jedoch immer ein dritter Zeitpunkt (t_i), der zwischen diesen liegt. Ein kontinuierlicher Wertebereich erfüllt (im Gegensatz zum diskreten Wertebereich) daher die folgende charakteristische Eigenschaft:

1. $t_n \wedge t_m \wedge t_i \in R^+$
2. $\forall t_n, t_m (t_n < t_m \rightarrow \exists t_i (t_n < t_i < t_m))$

Soll ein kontinuierliches Zeitmodell jedoch rechnergestützt z.B. zur Simulation von Systemabläufen genutzt werden, entsteht die Schwierigkeit, dass die Zeitpunkte nicht als vorgegebene Menge eingebunden werden können, sondern über entsprechende den kontinuierlichen Zeitverlauf abbildende Funktionen repräsentiert werden müssen. Die Auswertung dieser Funktionen verursacht eine hohe Auslastung der zur Verfügung stehenden Rechenleistung. Da das im Rahmen dieser Arbeit zu konzipierende Werkzeug die Möglichkeit zur rechnerbasierten Umsetzung offen halten soll, ist der

⁷⁸ siehe [Pich75, S.43]

Einsatz eines diskreten Zeitmodells vorteilhafter. Der Nachteil der geringeren Genauigkeit dieses Zeitmodells ist für die abzubildenden Systeme (Systeme zur diskreten Produktion) irrelevant. Im weiteren Verlauf der Arbeit werden folglich nur diskrete Zeitmodelle berücksichtigt.

In der diskreten Zeitmodellierung wird die Zeit in diskrete Punkte ohne eigene zeitliche Ausdehnung unterteilt. Mögliche Zeitpunkte t_i der Menge aller Zeitpunkte T eines diskreten Zeitmodells können folglich über die Menge aller natürlichen Zahlen N dargestellt werden:

$$\Rightarrow T \subset N$$

Die Ordnungsrelation der Zeitpunkte t_i in der Menge aller Zeitpunkte T wird in einem diskreten Zeitmodell folgendermaßen definiert:

1. $i \in I$ und $I \subset N$
2. $T = \{t_i \mid t_i < t_{i+1}\}$

Für alle Zeitpunkte t_i ist demnach eine Vorgängerrelation definiert, die für je zwei Zeitpunkte eindeutig festlegt, welcher von beiden zeitlich vor dem anderen liegt. Zwischen diesen existiert immer ein vorgegebener Abstand. Die zeitliche Ausdehnung (Dauer) dieses Abstands ist die Grundeinheit e des betrachteten diskreten Zeitmodells.

Um einem in einem betrachteten System stattfindenden Vorgang eine Dauer (die zeitliche Ausdehnung) zuweisen zu können, muss die Länge des Zeitintervalls bestimmt werden, das durch die Ereignisse Vorgangsbeginn und Vorgangsende aufgespannt wird.

Zeitintervall: Ein Zeitintervall ZI entspricht dem Abstand zwischen zwei Zeitpunkten (dem **Anfangszeitpunkt** t_{ai} und dem **Endzeitpunkt** t_{ei}). In einem diskreten Zeitmodell entspricht die Länge eines Zeitintervalls einem ganzzahligen Vielfachen der Länge der Grundeinheit e .

- $n \in N$
- *Dauer des Zeitintervalls ZI: $z_i = n * e$*
- $ZI \subset T$
- $ZI = \{t_i \in T \mid t_{ai} < t_i < t_{ei}\}$ ist die Menge aller Zeitpunkte eines Zeitintervalls ZI

Um für ein Element des betrachteten Systems die relevanten Ereignisse betrachten und planen zu können, werden für diese eigenständige Zeitmengen in Form von Zeitdomänen eingeführt.

Zeitdomäne: Eine Zeitdomäne ZD besteht aus der Menge aller für diese gültigen Zeitpunkte T . Der kleinstmögliche Abstand zwischen zwei Zeitpunkten wird durch die

zeitliche Ausdehnung der Grundzeiteinheit e bestimmt. Jeder Objekt-, Aufgaben-, Auftragsklasse und jedem Teilmodell kann eine Zeitdomäne zugeordnet werden.

- **Hat_Zeitpunkte:** $ZD \subset T \subset N$
- **Hat_Ereignisse:** Innerhalb der Zeitdomäne können Ereignisse an den möglichen Zeitpunkten stattfinden.
- **Grundzeiteinheit:** Der kleinstmögliche Abstand zwischen zwei Zeitpunkten.

Durch den Einsatz einer (Gesamt-)Zeitdomäne für ein System, Teilsystem bzw. Teilmodell, in den sich alle Zeitdomänen der dieses System bildenden Klassen einbinden lassen, können klassenübergreifende Interdependenzen systemweit koordiniert werden. Darüber hinaus wird eine zeitliche Kopplung des betrachteten Systems mit Systemen in seiner Umwelt ermöglicht, sobald der systeminterne Kalender mit einem systemexternen Kalendern in Bezug gebracht wird. Eine solche Zeitdomäne enthält mindestens die Menge aller in dem betrachteten System vorkommenden Zeitpunkte. Die Grundzeiteinheit dieser Zeitdomäne muss daher der kleinsten Zeiteinheit einer der in den einzubindenden Zeitdomänen verwendeten Zeiteinheiten entsprechen, um alle Ereignisse dieser in der (Gesamt-)Zeitdomäne einordnen zu können.

5.1.3 Verhaltensorientierte Klassen

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln die objekt- und zeitorientierten Klassen der Basisontologie definiert wurden, folgt an dieser Stelle die Festlegung der verhaltensorientierten Komponenten. Darunter werden Klassen verstanden, die Zustandsänderungen der an dem betrachteten System beteiligten weiteren Klassen veranlassen. Diese Zustandsänderungen führen zu einem beobachtbaren Verhalten des Systems. Diese Klassen werden in der Basisontologie von Aufträgen, Aufgaben und Vorgängen gebildet. Ein Auftrag ist die Aufforderung einer Stelle an eine andere Stelle, eine bestimmte Aufgabe durchzuführen. Die Aufgabe enthält eine Beschreibung davon, wie ein zukünftiger Zustand innerhalb des Systems auszusehen hat und bei Bedarf auch, wie dieser Zustand zu erreichen ist. Eine tatsächliche Zustandsänderung erfolgt schließlich durch das Stattfinden eines Vorgangs.

Die Einführung der verhaltensorientierten Klassen und deren Instanzen erfolgt *bottom up*, da die Klassen eng miteinander verzahnt sind. Zunächst wird daher definiert, was unter einem Vorgang und einer Vorgangsklasse verstanden wird, um im Anschluss daran zu erläutern, wie ein Vorgang dazu beitragen kann, eine Aufgabe zu erfüllen. Deren Bedeutung für die Festlegung eines Auftrags wird danach erörtert. Abschließend

wird durch die Einführung von Teilmodellen eine Möglichkeit eingeführt, mehrere verschiedene objekt- und verhaltensorientierte Klassen zusammenzufassen.

Vorgang: Ein Vorgang ist ein über ein Zeitintervall stattfindendes Geschehen, an dem *1..n* Objekte als Instanzen von *1..n* O-Klassen beteiligt sind. Dieses Zeitintervall wird durch zwei Ereignisse – den Vorgangsbeginn und das Vorgangsende – begrenzt. Zwischen diesen Ereignissen können *1..n* weitere Ereignisse liegen. Durch die Sequenz dieser Ereignisse wird die den Vorgang bestimmende Folge von Zustandsänderungen beschrieben. Das im Rahmen eines Vorgangs stattfindende Geschehen ruft zum einen Zustandsänderungen bei den beteiligten O-Klassen und Instanzen und zum anderen Zustandsänderungen an sich selbst und an der übergeordneten VO-Klasse hervor⁷⁹. Der Übergang von einem Zustand in einen anderen wird in Form eines Ereignisses festgehalten und hat somit keine zeitliche Ausdehnung. Ein Vorgang kann durch folgende Attribute charakterisiert werden:

1. **Zeitdomäne:** Die im Rahmen des Stattfindens eines Vorgangs einer Vorgangsklasse ausgelösten Ereignisse finden innerhalb der für die jeweilige Vorgangsklasse gültigen Zeitdomäne statt. Zu diesen Ereignissen zählen der *Beginn*- und *Endzeitpunkt* eines Vorgangs und die *Zwischenzeitpunkte*, an denen eine Zustandsänderung stattfindet.
2. **Beteiligte_O-Klassen:** Das Attribut *Beteiligte_O-Klassen* legt fest, welche Objekte welcher O-Klassen an dem Vorgang beteiligt sein können. Zudem kann als Ausprägung zu einem Zeitpunkt oder in einem Zeitintervall festgehalten werden, welche Objekte aktuell an den Vorgängen der VO-Klasse beteiligt sind.
3. **O-Klassen_Zustandsänderung:** Die Vorgänge einer VO-Klasse verändern die Zustände der beteiligten O-Klassen und deren Instanzen. Die *O-Klassen_Zustandsänderung* legt fest, in welcher Form (welche Attribute) und in welchem Umfang (quantitativ) sich der Zustand der O-Klassen und deren Instanzen durch die Teilnahme an einem Vorgang der VO-Klasse ändern. Da der Basisontologie ein diskretes Zeitmodell zugrunde liegt, erfolgen diese Änderungen schrittweise und lassen sich in Form von Ereignissen zu entsprechenden im Rahmen der Zeitdomäne existierenden

⁷⁹ Der Zustand einer jeden Klasse oder Instanz ist ein Teil des Zustands des betrachteten Gesamtsystems. Der Zustand des Gesamtsystems ändert sich mit jedem Ereignis innerhalb des Systems. Die Änderung eines jeden Zustands erfolgt immer über ein Ereignis. D.h. ein Zustand ändert sich nicht kontinuierlich über ein Zeitintervall, sondern diskret zu einem Zeitpunkt. Daraus folgt, dass für ein betrachtetes System, in dem ein Vorgang stattfindet, mindestens 3 Zustände und 2 Ereignisse festzuhalten sind. Die Zustände sind Systemzustand (1) vor Beginn, (2) während des und (3) nach Ende des Vorgangs. Die Ereignisse sind Vorgangsbeginn (Übergang zwischen Zustand (1) und (2)) und Vorgangsende (Übergang zwischen Zustand (2) und (3)).

Zeitpunkten festhalten⁸⁰. Ein Vorgang hat mindestens zwei Ereignisse. Das erste Ereignis entspricht dem Übergang des Zustands des Vorgangs selbst sowie der an ihm beteiligten O-Klassen und deren Instanzen vor Beginn des Vorgangs zu dem Zustand nach Beginn des Vorgangs, also zu dem laufenden Vorgang. Das zweite Ereignis entspricht dem Übergang des Zustands, während der Vorgang läuft, zu dem Zustand, nachdem er beendet ist. Einem Vorgang einer VO-Klasse sind *1..n O-Klassen_Zustandsänderungen* zuzuordnen⁸¹.

4. **Bedingungen:** Die *Bedingungen* legen fest, welche Voraussetzungen in Form von gegebenen Zuständen der beteiligten O-Klassen und/oder deren Instanzen sowie der VO-Klasse selbst erfüllt sein müssen, damit eine *O-Klassen_Zustandsänderung*, also ein Teilschritt eines Vorgangs der VO-Klasse stattfinden (beginnen, ablaufen und enden) kann.

⇒ **Zustand:** Der Zustand eines Vorgangs ist die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute.

Die gegebene Liste der Attribute lässt sich im Rahmen der Entwicklung von domänenspezifischen Klassen zweckmäßig erweitern. Denkbar wäre z.B. die Einführung weiterer beschreibender Attribute (zugrunde liegende Verfahren, abgeleitete Zeitspannen, etc.), um mehr Möglichkeiten der Vorgangsdifferenzierung zu schaffen. Vorgänge lassen sich in Abhängigkeit ihrer Attribute bzw. von deren Ausprägungen bestimmten übergeordneten Vorgangsklassen zuordnen. Vorgänge bilden somit die Instanzen einer Vorgangsklasse. Eine Vorgangsklasse ist in der Basisontologie folgendermaßen definiert:

Vorgangsklasse (VO-Klasse): Eine VO-Klasse ist die Beschreibung einer Menge von Vorgängen über die Festlegung gemeinsamer Attribute und deren Ausprägungen. Analog zu einer O-Klasse erfolgt die Klassenbildung bei den VO-Klassen anhand der *vorgeschriebenen* Attribute. Die einzelnen Vorgänge einer Klasse können sich jedoch hinsichtlich *optionaler* Attribute und Attributausprägungen unterscheiden⁸². In Abhängigkeit der benötigten und vorhandenen Kapazitäten der beteiligten O-Klassen, können mehrere Vorgänge einer VO-Klasse parallel oder sequenziell ablaufen. Eine VO-Klasse lässt sich durch folgende Attribute kennzeichnen:

⁸⁰ Durch die Festlegung dieser Ereignisse wird ein Vorgang als Sequenz verschiedener Zustände beschrieben.

⁸¹ Zu diesen Zustandsänderungen zählt u.a. auch die Möglichkeit, Objekte zu generieren und/oder zu entfernen.

⁸² Ein vorgeschriebenes Attribut kann z.B. die Festlegung auf bestimmte beteiligte O-Klassen sein.

1. **Zeitdomäne:** Die Ereignisse der Vorgänge einer VO-Klasse finden in der Zeitdomäne der VO-Klasse statt.

2. **Beteiligte_O-Klassen, 3. O-Klassen_Zustandsänderung, 4. Bedingungen:**

Die sinngemäße Beschreibung dieser Attribute wurde bereits im Rahmen der Definition des Vorgangs gegeben. Auf Klassenebene erfolgt die Festlegung *möglicher* und/oder *erforderlicher*⁸³ Mengen möglicher Attributausprägungen zwecks Klassenbildung.

⇒ **Zustand:** Der Zustand einer VO-Klasse ist die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute.

Vorgänge sind dazu geeignet, Aufgaben durch die Erbringung geforderter Zustandsänderungen zu erfüllen. Für eine Aufgabe soll folgende Definition gelten:

Aufgabe: Eine Aufgabe ist die Forderung, ein bestimmtes Verhalten in Form von *1..n* Zustandsänderungen zu bewirken⁸⁴. Beschreibbar wird die Folge von Zuständen durch die Festlegung der Sach- und Formalziele in Form der Ausprägung der Attribute der beteiligten O-Klassen (Aufgabenobjekte) sowie deren Instanzen. Es ist jedoch nicht (zwingend) erforderlich, alle denkbaren (elementaren) Zwischenzustände auf dem Weg zur Erreichung der gewünschten Zustände in der Aufgabenbeschreibung zu berücksichtigen. Eine Folge von Zuständen wird durch den Ablauf eines⁸⁵ oder mehrerer Vorgänge erreicht. Eine Aufgabe lässt sich durch folgende Attribute beschreiben:

1. **Zeitdomäne:** Die im Rahmen der Erfüllung der Aufgaben ausgelösten Ereignisse (durch die eine Zustandsfolge generierenden Zustandsänderungen) finden innerhalb der für die Aufgabenklasse und die involvierten O-Klassen sowie VO-Klassen definierten Zeitdomäne(n) statt.
2. **Aufgabenobjekt:** Ein Aufgabenobjekt ist ein Objekt, an dem der die Aufgaben erfüllende Vorgang durchgeführt wird⁸⁶. Damit sind die Aufgabenobjekte Teilmenge der an den Vorgängen zur Erfüllung der Aufgabe beteiligten Objekte. Die Teilmenge der Aufgabenobjekte unterscheidet sich von der Teilmenge der Aufgabenträger dahingehend, dass Instanzen der die Aufgabenobjekte bildenden O-Klassen nur einmalig an Vorgängen der VO-Klasse, die zur Erfüllung der Aufgabe durchgeführt

⁸³ Möglicher als *optionale* und erforderliche als *vorgeschriebene* Attributsausprägung zwecks Klassenbildung.

⁸⁴ Vgl. [Dang03, S.30]

⁸⁵ Ein Vorgang kann laut Definition mehrere durch verschiedene Zustände gekennzeichnete Teilschritte enthalten.

⁸⁶ Vgl. [FeSi93]

wird, beteiligt sind, wohingegen die Instanzen der die Aufgabenträger bildenden O-Klassen $2..n$ mal an Vorgängen dieser VO-Klasse beteiligt sein können. Ein Aufgabenobjekt lässt sich daran erkennen, dass das Attribut *Quantitative_Kapazität* des Objekts gleich 1 ist (und somit nicht im Intervall von $[2, n]$ mit $n > 2$ liegt => Aufgabenträger).

3. **Aufgabenträger:** Ein Aufgabenträger ist ein Objekt, das einen Vorgang durchführt, der an der Erfüllung der Aufgabe beteiligt ist. Die Abgrenzung der Aufgabenobjekte von den Aufgabenträgern wurde zuvor getroffen (siehe Aufgabenobjekt).
4. **Sachziel:** Das Sachziel einer Aufgabe enthält die Beschreibung der geforderten Folge der Zustände⁸⁷ der Aufgabenobjekte. Diese geforderte Zustandsfolge wird durch entsprechende Zustandsänderungen mittels eines oder mehrerer Vorgänge (oder mittels ihrer Teilschritte) erreicht. Die im Rahmen des Sachziels geforderten Zustände *müssen zwingend* von den zur Durchführung der Aufgabe vorgesehenen Vorgängen erreicht werden.
5. **Formalziel:** Das Formalziel einer Aufgabe enthält die Beschreibung der gewünschten (optionalen) Folge der Zustände der Aufgabenobjekte und Aufgabenträger. Existiert nur ein möglicher Vorgang oder nur eine mögliche feste Folge von Vorgängen zur Erreichung des Sachziels der Aufgabe, bleibt das Formalziel der Aufgabe unberücksichtigt. Existieren jedoch verschiedene Möglichkeiten, das Sachziel der Aufgabe zu erreichen (unterschiedliche Vorgänge führen zu der geforderten Zustandsfolge), kann die Auswahl der tatsächlich durchzuführenden Vorgänge dahingehend getroffen werden, das Formalziel möglichst zu erreichen.
6. **VO-Klassen_Beteiligung:** Die *VO-Klassen_Beteiligung* legt fest, welche Vorgänge (durch Einschränkung auf bestimmte Attributsausprägungen innerhalb der VO-Klassen, Attributsausprägungsintervalle und der Anforderungen an die bei der VO-Klassenbildung als optional angesehenen Attribute) welcher VO-Klassen die Aufgabe erfüllen können. Wenn nur ein feststehender oder eine feststehende Folge von Vorgängen die Erfüllung des

⁸⁷ Eine *Folge von Zuständen* besteht aus mindestens zwei unterschiedlichen Zuständen eines Objekts. Daraus folgt, dass auch mindestens zwei unterschiedliche Zustände einer O-Klasse eine *Folge von Zuständen* sind. Das bedeutet, dass, um eine *Folge von Zuständen* zu erzeugen, mindestens eine *Zustandsänderung* benötigt wird. Die zeitlich frühesten (direkt bevor die/das O-Klasse/Objekt an einem entsprechenden Vorgang beteiligt wird) Zustände eines/r jeden beteiligten Objekts/O-Klasse lassen sich als dessen/deren Anfangszustände und die jeweils spätesten (direkt nach Beendung eines Vorgangs an dem die/das O-Klasse/Objekt zur Erfüllung der Aufgabe beteiligt waren) Zustände als Endzustände der beteiligten Objekte/O-Klassen bezeichnen. Eine jede relevante Zustandsänderung erzeugt ein Ereignis.

Sachziels ermöglicht, bestimmt diese die Ausprägung des Attributs der tatsächlichen *VO-Klassen_Beteiligung*. Wenn neben der einen möglichen Lösung *1..n* Alternativen in der Wahl der Vorgänge (und damit der potenziell beteiligten VO-Klassen) existieren, muss unter Berücksichtigung des Formalziels die Auswahl getroffen werden. Es ist die Alternative zu wählen, die neben dem Sachziel das Formalziel der Aufgabe am ehesten erfüllt.

⇒ **Zustand:** Der Zustand einer Aufgabe ist die Gesamtheit ihrer zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute. Der Zustand ist direkt abhängig von dem Zustand der Vorgänge, die die Aufgabe erfüllen. Dadurch kann beispielsweise der Fortschritt bei der Erfüllung einer Aufgabe erfasst werden.

Aufgaben lassen sich in Abhängigkeit ihrer Attribute bzw. von deren Ausprägungen bestimmten übergeordneten Aufgabenklassen zuordnen. Aufgaben bilden somit die Instanzen einer Aufgabenklasse. Eine Aufgabenklasse ist in der Basisontologie folgendermaßen definiert:

Aufgabenklasse (AF-Klasse): Eine AF-Klasse ist die Beschreibung einer Menge von Aufgaben über die Festlegung gemeinsamer *vorgeschriebener* Attribute. Die einzelnen Instanzen, also die Aufgaben einer AF-Klasse, unterscheiden sich dann zum einen hinsichtlich ihrer *optionalen* Attribute und zum anderen durch die speziellen Ausprägungen innerhalb der festgelegten Ausprägungsintervalle der *vorgeschriebenen* Attribute⁸⁸. In Abhängigkeit der benötigten und vorhandenen Kapazitäten der an den die Aufgaben erfüllenden Vorgängen beteiligten O-Klassen können mehrere Aufgaben einer AF-Klasse parallel oder sequenziell erfüllt werden. Eine AF-Klasse wird durch folgende Attribute definiert:

1. **Zeitdomäne:** Die Ereignisse der Aufgabe einer AF-Klasse finden in der Zeitdomäne der AF-Klasse statt.
2. **Aufgabenobjekt, 3. Aufgabenträger, 4. Sachziel, 5. Formalziel, 6. VO-Klassen_Beteiligung:**

Die sinngemäße Beschreibung dieser Attribute wurde bereits im Rahmen der Definition der Aufgabe gegeben. Auf Klassenebene erfolgt die Festlegung *möglicher* und/oder *erforderlicher*⁸⁹ Mengen möglicher Attributausprägungen zwecks Klassenbildung.

⁸⁸ Als vorgeschriebenes Attribut kann z.B. festgelegt werden, dass alle Aufgaben einer bestimmten AF-Klasse als Sachziel die Produktion eines bestimmten Gutes haben.

⁸⁹ *Möglich*er als *optional* und *erforderlich* als *vorgeschrieben* Attributsausprägung zwecks Klassenbildung.

⇒ **Zustand:** Der Zustand einer AF-Klasse ist die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute.

In Abbildung 5-1 wird beispielhaft der Zusammenhang zwischen einer AF-Klasse und den zur Erfüllung der Sachziele ihrer Instanzen notwendigen VO-Klassen sowie den daran beteiligten O-Klassen jeweils inklusive einiger ihrer entsprechender Instanzen dargestellt. Die O-Klassen lassen sich in Abhängigkeit ihres Verhältnisses zu den VO-Klassen und damit zur AF-Klasse in Aufgabenobjekte und Aufgabenträger aufteilen. Die Instanz einer AF-Klasse hat an der VO-Klasse vo_1 ein vorgangsauslösendes Ereignis erzeugt. Die Existenz einer zu erfüllenden Aufgabe wird als (Start-)Bedingung in der VO-Klasse gepflegt. D.h., sobald eine zum Betrachtungszeitpunkt zu erfüllende Aufgabe existiert und gleichzeitig die an den sie zu erfüllen angedachten Vorgang geknüpften weiteren Bedingungen erfüllt sind, wird dieser begonnen. Nach Ablauf der im Rahmen der Sach- und ggf. Formalzieldefinition vorgesehenen und durch Zustandsänderungen (erkennbar durch das Eintreten der entsprechenden Ereignisse) erreichten Folge von Zuständen gilt eine Aufgabe als erfüllt. Weitere Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Klassen werden in Kapitel 5.3 im Rahmen der Einführung des ontologiebasierten Modells beschrieben.

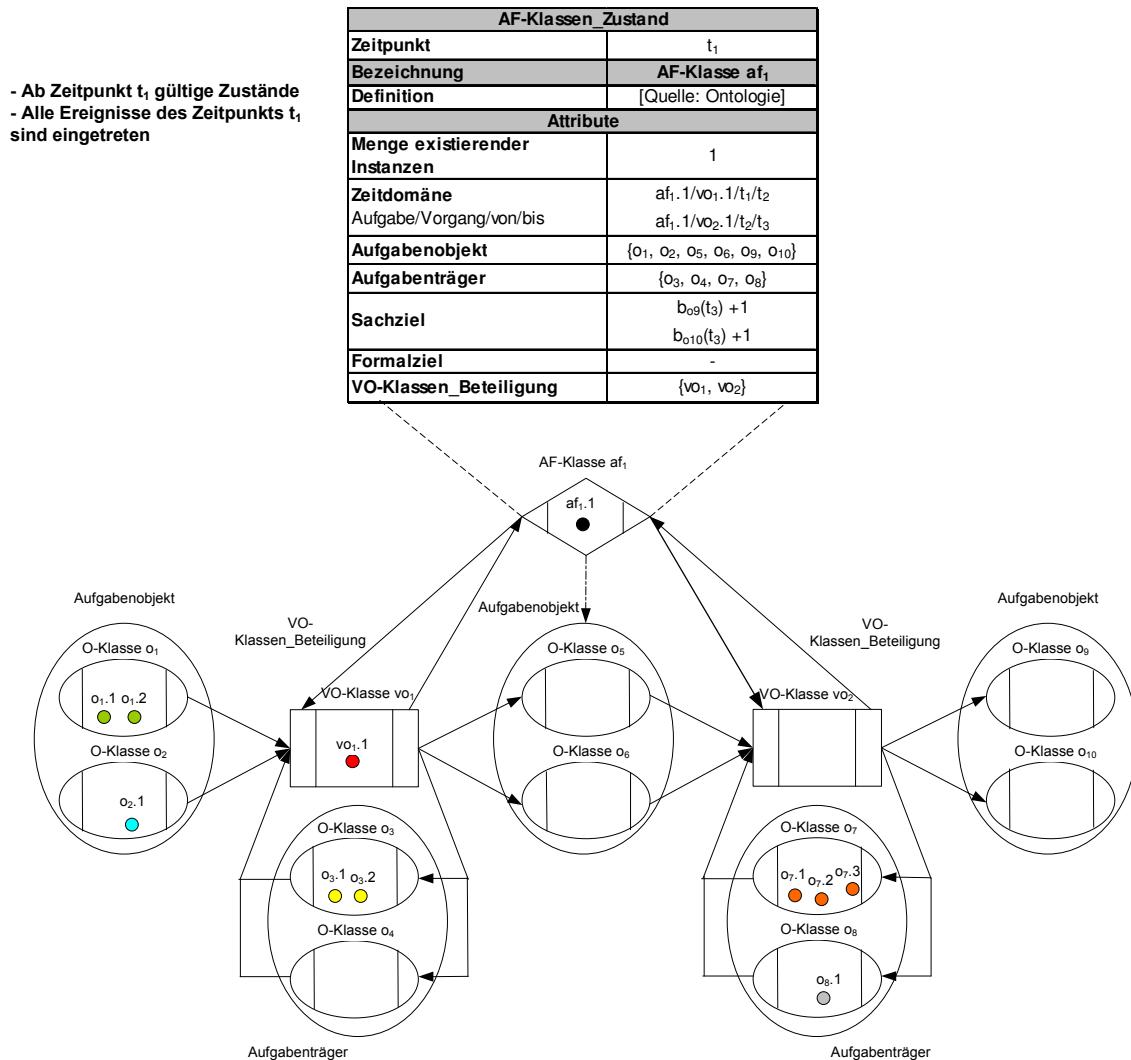


Abbildung 5-1: Einbindung einer AF-Klasse

Nachdem Vorgänge und Aufgaben erläutert wurden, folgt an dieser Stelle die Einführung des Auftragsverständnisses. Laut REFA bilden Aufträge die Grundlage zur Durchführung von Aufgaben in Unternehmen.

„Ein Auftrag ist eine schriftliche oder mündliche Aufforderung einer dazu befugten Stelle (Instanz) an eine andere Stelle desselben Unternehmens, eine bestimmte Aufgabe durchzuführen.“⁹⁰

Um diesen Gedanken konform zu den bereits eingeführten Begriffen in die Basisontologie einzubinden, soll folgende Definition für einen Auftrag gelten:

Auftrag: Ein Auftrag ist die verbindliche von dem Auftraggeber getätigte Aufforderung an den Auftragnehmer, eine Aufgabe zu erfüllen. Der Auftrag kann, muss aber nicht,

⁹⁰ [REFA85, Bd. 2, S. 8]

alle Ausprägungen der die Aufgabe beschreibenden Attribute enthalten. Die Mindestanforderung an die Definition der durchzuführenden Aufgabe liegt in der Festlegung ihres Sachziels. Darüber hinaus kann bestimmt werden, welche Formalziele zu erfüllen sind, welche Vorgänge für die Erreichung des Sachziels zu wählen sind, etc. Ein Auftrag kann durch folgende Attribute charakterisiert werden:

1. **Zeitdomäne:** Die im Rahmen der Erfüllung des Auftrags auszulösenden Ereignisse finden innerhalb der für die AT-Klasse, die AF-Klasse, die VO-Klasse und die involvierten O-Klassen definierten Zeitdomäne statt.
2. **Auftraggeber:** Im Rahmen eines Auftrags wird ein Auftraggeber (üblicherweise eine Instanz einer O-Klasse) festgelegt.
3. **Auftragnehmer:** Im Rahmen eines Auftrags wird ein Auftragnehmer (üblicherweise eine Instanz einer O-Klasse, die i.d.R. Teil der Aufgabenträger der vereinbarten Aufgabe ist) festgehalten.
4. **Sachziel:** Das Sachziel enthält die Beschreibung der vom Auftraggeber geforderten Folge der Zustände eines für den Auftraggeber relevanten Teils der Aufgabenobjekte. Die zur Erreichung der dazu notwendigen Zustandsänderungen lassen sich auch in Form von Ereignissen festhalten. Die im Rahmen des Sachziels geforderten Ereignisse *müssen zwingend* von den zur Durchführung der Aufgabe vorgesehenen Vorgängen erreicht werden, damit der Auftrag als erfüllt angesehen wird⁹¹. Ein Auftrag einer AT-Klasse kann entweder zu einem vorab bestimmten Zeitpunkt (z.B. Produktions_Auftrag einer Schicht endet mit dem Schichtende) oder nach Erbringung eines vorab vereinbarten mengenmäßigen Bezugs (Auftrag über die Herstellung einer Anlage ist erst mit deren Komplettierung beendet) als beendet angesehen werden.
5. **Optionale_Aufgabenspezifikation:** Wie in der obigen Definition angegeben, kann eine im Auftrag vereinbarte zu erfüllende Aufgabe neben der Festlegung des Sachziels beliebig detailliert beschrieben werden. Zu diesem Zweck können Ausprägungen für die Attribute *Formalziel*,

⁹¹ Ein Ereignis ist per Definition durch einen sachlichen, mengenmäßigen und zeitlichen Bezug sowie eine Interpretation zu beschreiben. Um das AF_Sachziel in Form eines Ereignisses festhalten zu können, muss der sachliche Bezug beschrieben werden. Darüber hinaus muss entweder der mengenmäßige und/oder der zeitliche Bezug bestimmt werden. Über die Interpretation können tatsächlich stattfindende Ereignisse einem Auftrag zugeordnet werden. Aus den unterschiedlichen Varianten der Festlegung der Ereignisse resultieren verschiedene Möglichkeiten, einen Auftrag als beendet anzusehen.

Aufgabenobjekt, *Aufgabenträger* und *VO_Klassen-Beteiligung*⁹² bestimmt werden.

⇒ **Zustand:** Der Zustand eines Auftrags ist die Gesamtheit seiner zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute. Der Auftragszustand ist abhängig von dem Zustand der Aufgabe, die zu dessen Erfüllung angestoßen wurde. Dadurch kann beispielsweise der Fortschritt bei der Erfüllung eines Auftrags beurteilt werden.

Auftragsklasse (AT-Klasse): Eine AT-Klasse ist die Beschreibung einer Menge von Aufträgen über die Festlegung gemeinsamer Attribute und deren Ausprägungen. Die AT-Klasse kann (muss aber nicht) alle Ausprägungen der die AF-Klasse beschreibenden Attribute enthalten. Eine AT-Klasse wird durch folgende Attribute gekennzeichnet:

1. **Zeitdomäne:** Die Ereignisse eines Auftrags einer AT-Klasse finden in der Zeitdomäne der AT-Klasse statt.
2. **Auftraggeber, 3. Auftragnehmer, 4. Sachziel, 5. Optionale_Aufgaben-spezifikation:** Die sinngemäße Beschreibung dieser Attribute wurde bereits im Rahmen der Definition des Auftrags bzw. der Aufgabe selbst gegeben. Auf Klassenebene erfolgt die Festlegung möglicher und/oder *erforderlicher*⁹³ Mengen möglicher Attributausprägungen zwecks Klassenbildung.

⇒ **Zustand:** Der Zustand einer AT-Klasse ist die Gesamtheit der zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute.

In Abbildung 5-2 wird beispielhaft dargestellt, wie eine AT-Klasse mit den zur Durchführung eines Auftrags notwendigen anderen Klassen und deren Instanzen in Beziehung steht. Ein Auftrag der AT-Klasse *at₁* wird aus Sicht des Auftragnehmers, dem Objekt *o_{4.1}*, mit dem Erreichen des vereinbarten Sachziels (der Bestandserhöhung um eine Instanz der O-Klasse *o₂*) erfüllt⁹⁴. Die Anbahnung eines Auftrags erfolgt durch einen Vorgang der VO-Klasse *vo₂*, an dem der Auftraggeber und der Auftragnehmer

⁹² Im Rahmen eines Auftrags einer AT-Klasse kann neben der Festlegung der zu erreichenden Zustände, also der Ereignisse, auch vereinbart werden, mittels welcher Vorgänge welcher VO-Klassen die Aufgabe erfüllt wird. Zu diesem Zweck kann die AT-Klasse die Ausprägung des Attributs der Aufgabe *VO_Beteiligung* enthalten. Diese Vorgehensweise ist beispielsweise sinnvoll, wenn im Rahmen eines Bestellauftrags über das Ereignis „*Erzeugnis erstellt*“ hinaus ein bestimmtes Fertigungsverfahren und damit bestimmte Vorgänge zur Erstellung des Erzeugnisses gewünscht werden.

⁹³ *Möglicher* als *optionale* und *erforderliche* als *vorgeschriebene* Attributsausprägung zwecks Klassenbildung.

⁹⁴ Der (im Beispiel dargestellte) Auftrag gilt als erfüllt, wenn die vereinbarte Menge (Mengenbezug wurde unter *AF_Sachziel* festgehalten) von Instanzen der vereinbarten O-Klassen bereitgestellt wird und diese Erfüllung des vereinbarten Sachziels durch die Auftragskontrolle bestätigt wird. Das

beteiligt sind. Ein Auftrag wird nach seiner Freigabe durch einen Vorgang der VO-Klasse vo_3 zu einer zu erfüllenden Aufgabe der AF-Klasse af_1 . Die Aufgabe mit dem im Auftrag vereinbarten Sachziel wird durch einen Vorgang der VO-Klasse vo_1 erfüllt. Nach Erreichen des Sachziels und in dem Beispiel nach erfolgreicher Kontrolle dieses durch einen Vorgang der VO-Klasse vo_4 gilt ein Auftrag als erfüllt. Weitere mögliche Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Klassen und Instanzen werden in Kapitel 5.3 im Rahmen der Einführung des ontologiebasierten Modells beschrieben.

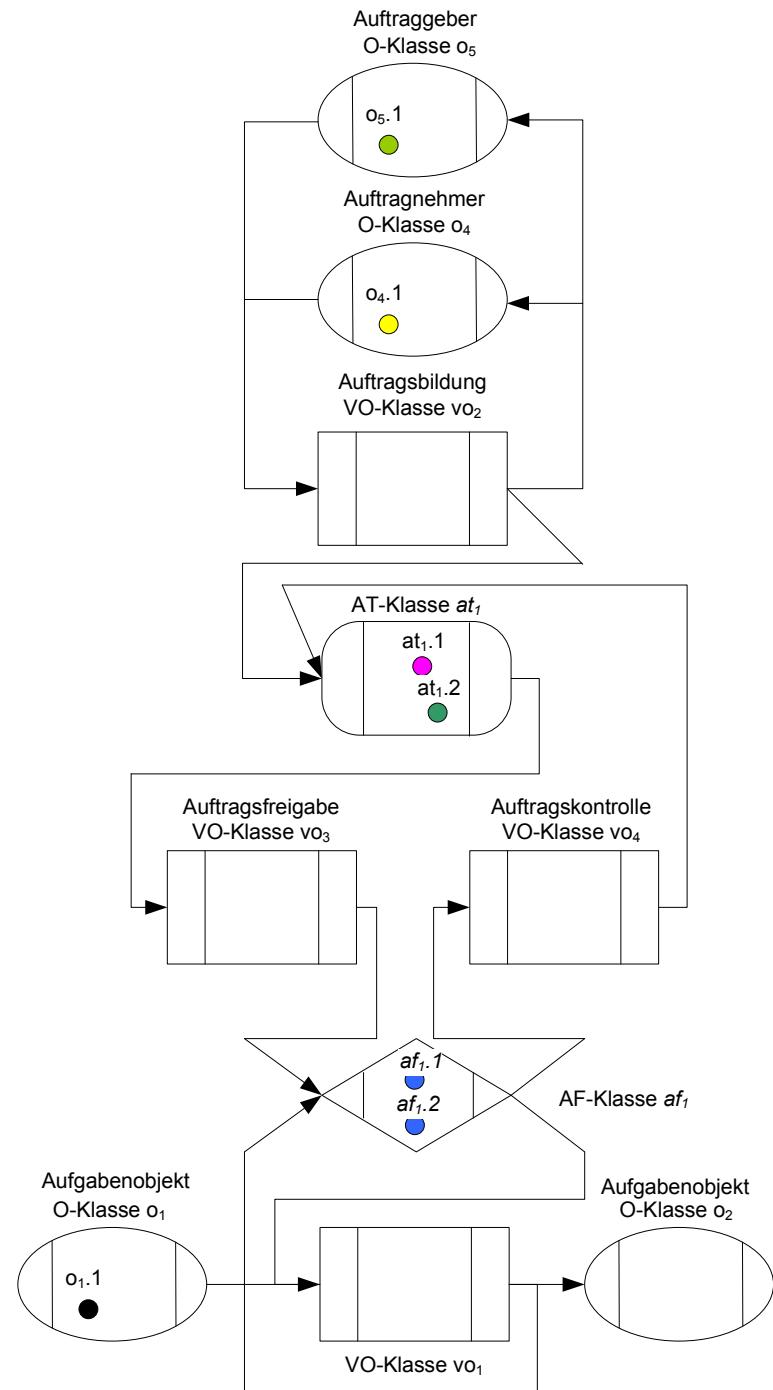


Abbildung 5-2: Erfüllung eines Auftrags

Wenn mit der Ontologie und einem darauf aufbauenden Modell ein komplexes System beschrieben werden soll, ist es sinnvoll, einzelne Ausschnitte dieses Systems innerhalb von Teilmodellen zusammenzufassen. Durch diesen Vergrößerungs-/Verfeinerungsmechanismus entsteht die Möglichkeit ein System in verschiedenen Detaillierungsgraden zu betrachten. Diese Vorgehensweise ist angelehnt an die in Kapitel 3.2.1.5 beschriebenen Möglichkeiten hierarchischer Petri-Netze. Die Schwierigkeit bei der

Einbindung von Teilmodellen in ein Gesamtsystem liegt in der Konzeption der Schnittstellen. Wenn diese nicht im Vorhinein in ihrer Art festgelegt werden, ist die Kompatibilität der verschiedenen Bausteine nicht sichergestellt. Daher wird bei der Definition im Rahmen der Basisontologie festgelegt, dass die Schnittstellen eines Teilmodells immer durch O-Klassen gebildet werden. D.h., dass ein Teilmodell aus mindestens zwei O-Klassen und i.d.R. mindestens einer VO-Klasse besteht. Ein Sonderfall ist ein Teilmodell, das nur aus O-Klassen besteht. Im Rahmen der Basisontologie soll folgende Definition für ein Teilmodell gelten:

Teilmodell: In einem Teilmodell kann ein Ausschnitt eines mit der Ontologie beschriebenen Realitätsausschnitts zusammengefasst werden. Ein Teilmodell kann O-Klassen, VO-Klassen, AF-Klassen, AT-Klassen und weitere Teilmodelle enthalten. Um eine standardisierte Einbindung eines Teilmodells in ein Gesamtsystem zu gewährleisten, dürfen die Schnittstellen nur aus O-Klassen bestehen. Innerhalb des Gesamtsystems kann ein Teilmodell daher wie eine einzelne O-Klasse eingebunden werden. Die Besonderheit dabei ist jedoch, dass andere Objekte austreten als möglicherweise eingetreten sind. Ursache hierfür sind die in dem Teilmodell enthaltenen Vorgänge. Die Attribute eines Teilmodells werden durch die erweiterten Attribute einer VO-Klasse gebildet. Die Attribute der VO-Klasse werden bei der Erfassung eines Teilmodells durch folgende Punkte ergänzt/ersetzt (siehe auch Abbildung 5-3):

1. **Enthaltene_Klassen:** Dieses Attribut beinhaltet die Information, welche Klassen Bestandteil des Teilmodells sind.

2. **Schnittstellen:** In dem Attribut wird festgehalten, welche der enthaltenen Klassen mit welchen teilmodellexternen Klassen in Beziehung stehen.

⇒ **Zustand:** Der Zustand eines Teilmodells ist die Gesamtheit seiner zu einem bestimmten Zeitpunkt gegebenen Ausprägungen der Attribute. Der Zustand wird zudem durch die Zustände der enthaltenen Klassen und deren Instanzen gebildet.

Teilmodell Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell tm_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	1
Beteiligte_O-Klassen (kann)	Auf Klassenebene werden lediglich mögliche Mengen der Attributausprägungen vorgegeben. Die jeweilige Festlegung der Ausprägungen erfolgt auf der Ebene der Instanzen.
O-Klassen_Zustandsänderung	
Bedingungen	
Zeitdomäne Vorgang/von/bis	t_1 : Zugang $\{o_5.1\}$ ✓ t_1 : Beginn $\{vo_3.1\}$ ✓ t_3 : Ende $\{vo_3.1\}$ t_3 : Abgang $\{o_7.1\}$
Dauer	Siehe Instanzebene
Enthaltene_Klassen	O-Klassen $\{o_5, o_6, o_7\}$ VO-Klassen $\{vo_3\}$ AF-Klassen {} AT-Klassen {}
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	$\{o_5\}/\{vo_1\}$ $\{o_8\}/\{vo_4\}$

Teilmodell durchlauf	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell $tm_{1,1}$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Beteiligte_O-Klassen (kann/ist)	$\{o_5, o_6, o_7\}/\{o_5, o_6\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o5}(t_b)-1; b_{o6}(t_b)-1;$ $b_{o6}(t_e)+1; b_{o7}(t_e)+1$
Bedingungen	$b_{o5}(t_b) \geq 1; b_{o6}(t_b) \geq 1;$ $b_{o7}(t_e) < b_{o7} \text{Max}(t_e)$
Zeitdomäne	Beginn $t_b=t_1$, Ende $t_e=t_3$ t_b : Zugang $\{o_5.1\}$ ✓ t_e : Abgang $\{o_7.1\}$
Dauer (Rest/Ges)	2/2 ZE
Enthaltene_Klassen	
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	Siehe Klassenebene.

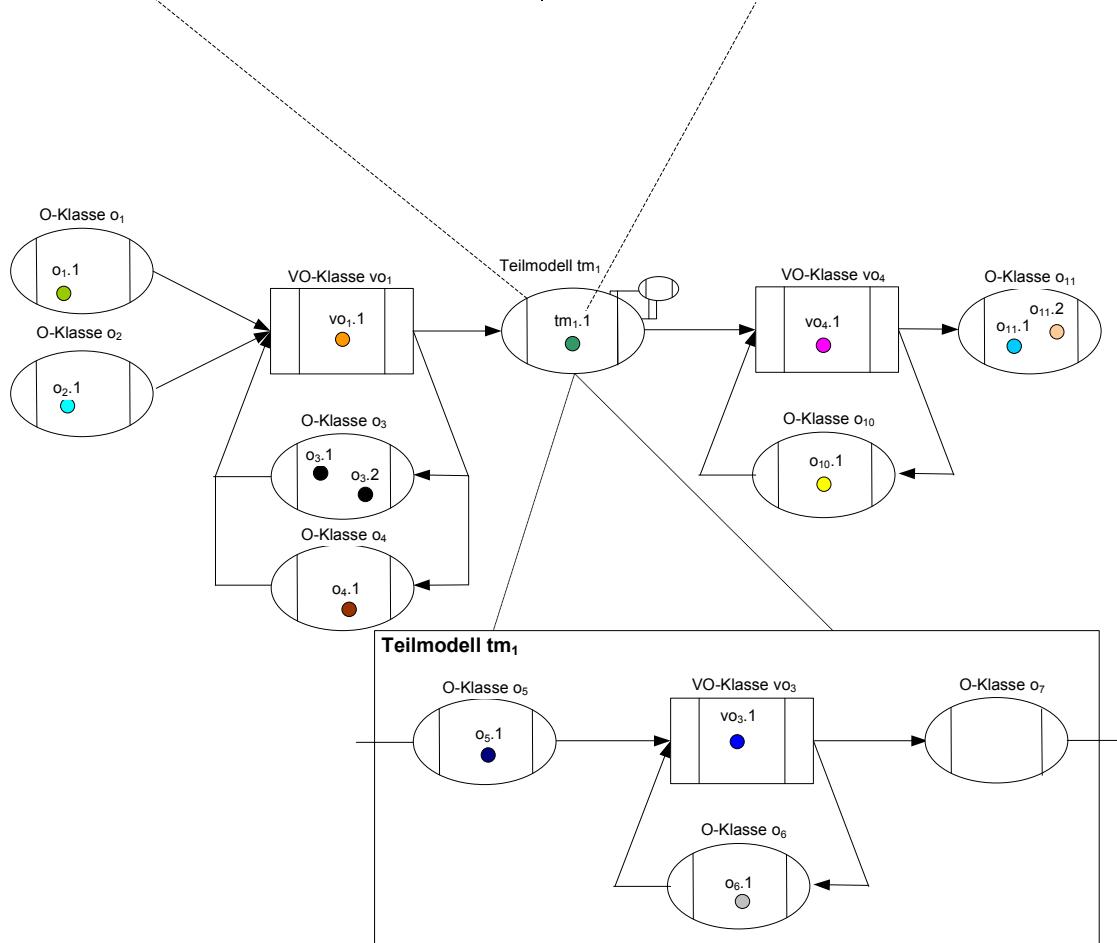


Abbildung 5-3: Teilmodellbildung

5.1.4 Relationen in der Basisontologie

In den vorangegangenen Kapiteln wurden die einzelnen Klassen der Basisontologie sukzessive eingeführt. Eine Übersicht über diese wird in Abbildung 5-4 gegeben. Ausgehend von diesen Klassen werden in den nachfolgenden Kapiteln die die Domänenontologie bildenden Klassen entwickelt und eingeordnet.

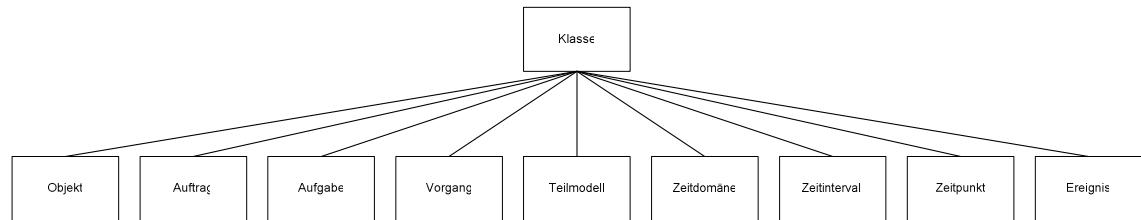


Abbildung 5-4: Klassen der Basisontologie

Neben den durch die Aufstellung der Domänenontologie entstehenden auftretenden Vererbungsbeziehungen sind die Klassen einer Ontologie, wie bereits angedeutet, durch eine Vielzahl weiterer Relationen miteinander verbunden. Diese werden über die den jeweiligen Klassen zugewiesenen Attribute bestimmt. In Abbildung 5-5 sind die wichtigsten Relationen zwischen den Klassen der Basisontologie abgebildet. Zu diesem Zweck wurden die eingeführten Klassen durch zweigeteilte Rechtecke und die Attribute als Vierecke mit abgerundeten Ecken dargestellt. Die Pfeilrichtung der verbindenden Linien verläuft dabei immer von einem Attribut zu der Klasse, zu der das Attribut gehört. Eine Verbindung von einer Klasse über ein Attribut zu einer anderen Klasse bildet eine durch dieses Attribut beschriebene Relation zwischen den beiden Klassen ab. Z.B. hat eine Vorgangsklasse das Attribut *Beteiligte_O-Klassen* und steht über dieses in Bezug zur O-Klasse.

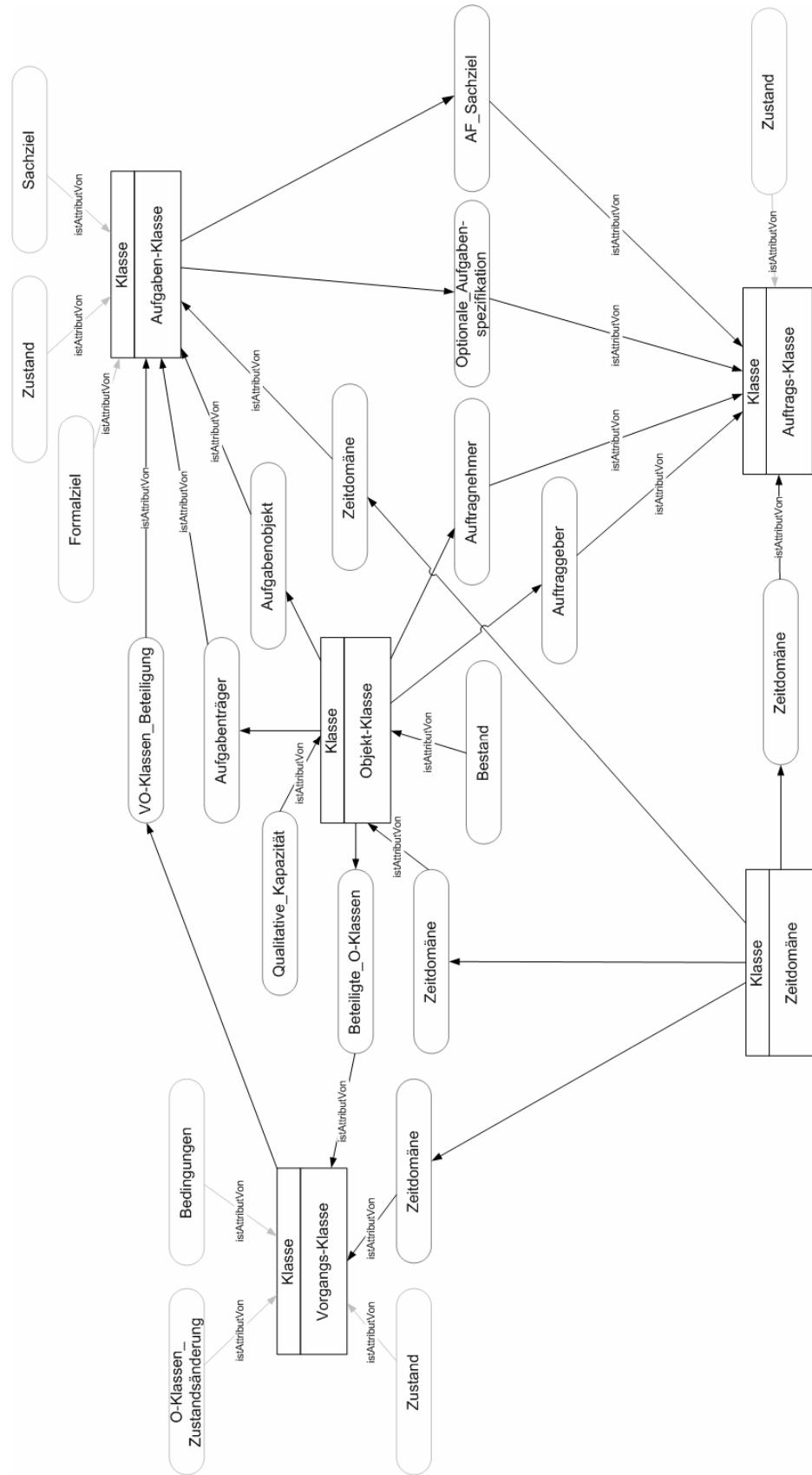


Abbildung 5-5: Relationen zwischen den Klassen der Basisontologie

5.2 Domänenontologie

In diesem Kapitel wird eine auf der zuvor vorgestellten Basisontologie aufbauende Domänenontologie zur Beschreibung eines Produktionssystems und der dort stattfindenden Abläufe erarbeitet. Dabei gilt es, die in Kapitel 2 aufgestellten Anforderungen zu erfüllen. Folglich muss ein Grundbestand relevanter Begriffe in Form entsprechender Klassen generiert werden, die dazu geeignet sind, Inhalte der Wissensdomäne zu beschreiben. Der Aufbau dieses Kapitels orientiert sich an einer möglichen Struktur eines Produktionssystems inklusive der dort ablaufenden Transformations- und Planungsprozesse. Die betrachteten Bestandteile sind die Produktionsabläufe, das Produktionssystem, die Produktionsfaktoren, die Produkte, sowie die zum geregelten Ablauf der Vorgänge notwendigen Produktionsplanungsaufgaben.

Formal lässt sich die Domänenontologie DO durch folgendes in Tabelle 5-2 dargestellte 5-Tupel bestimmen:

$$DO := \{DK, DB, A, BK, H\}$$

Tabelle 5-2: Komponenten der Domänenontologie

Komponente	Beschreibung
DK	Menge der domänenspezifischen Klassenbezeichnungen
DB	Menge der domänenspezifischen Klassenbedeutungen
A	Menge der Attribute
BK	Menge der Klassenbezeichnungen der Basisontologie
H	Menge der Hierarchiebeziehungen

Jeder möglichen Klassenbezeichnung dk wird im Rahmen der Domänenontologie eine Klassenbedeutung db und eine übergeordnete Klasse bk der Basisontologie zugeordnet. Neben der Bezeichnung und Bedeutung sowie der Verknüpfung zur Basisontologie besteht die Festlegung einer Klasse aus einem Set von Attributen, das Teilmenge von A ist. Welche Attribute eine Klasse der Domäne charakterisieren, hängt von der übergeordneten Klasse aus der Basisontologie ab. H enthält die Menge der Hierarchiebeziehungen zwischen den Klassen. Eine Klasse der Domänenontologie soll in der Arbeit durch folgende Syntax gekennzeichnet werden:

Klassenbezeichnung (dk) [Übergeordnete Klasse der Basisontologie (bk)]: Spezifikation der Klasse unter Berücksichtigung des übergeordneten Klasse der Basisontologie in Form eines definierenden Textbausteins (db).

1. **Attribut 1 (a):** Beschreibung des Attributs 1 und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).
2. **Attribut 2 (a):** Beschreibung des Attributs 2 und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).
- n. **Attribut n (a):** Beschreibung des Attributs n und Festlegung möglicher Ausprägungen (falls dies möglich ist).

Um die Konsistenz der Domänenontologie zu gewährleisten sollen, wie in Kapitel 2 gefordert, die zur Definition der Bedeutung der Klassen verwendeten fachlichen Begriffe durch in der Domänenontologie enthaltene Klassen erfolgen. Dieses Prinzip muss bei einer nachträglichen Erweiterung der Domänenontologie beibehalten werden.

Zur Verbesserung der Lesbarkeit und zur Vermeidung von Redundanzen wird in der vorliegenden Arbeit auf die grundsätzliche wiederholte Nennung der einzelnen bereits in der Basisontologie vorgestellten Attribute verzichtet. Die Klassen der Domänenontologie erben jeweils alle Attribute einer ihnen übergeordneten Klasse. Es werden daher nur für eine Klasse neu eingeführte Attribute beschrieben. In Ausnahmefällen, in denen zum Verständnis einer Klasse die Kenntnis von Besonderheiten zu einem zuvor bereits vorgestellten Attribut notwendig ist, wird dieses noch einmal angeführt.

Auf die Vererbungsregeln sowie die Hierarchie der Gesamtontologie wird im Anschluss an die Domänenontologie in Kapitel 5.2.6 eingegangen.

5.2.1 Produktionssystem

Die Aufstellung der Domänenontologie wird mit der Einführung des ein Produktionssystem beschreibenden Teilmodells begonnen. Ein solches Teilmodell enthält die O-, AT-, AF- und VO-Klassen, die zur Beschreibung eines Produktionssystems und der dort stattfindenden Abläufe benötigt werden.

Produktionssystem [Teilmodell]: Ein Produktionssystem enthält die Gebrauchs- und Verbrauchsobjekte, die für die Herstellung der Produkte benötigt werden. Neben diesen O-Klassen enthält ein solches Teilmodell die AT-, AF-, und VO-Klassen, die zur Beschreibung der Abläufe, die zur Bereitstellung der Produkte führen, ausmachen. Ein Produktionssystem wird über die Durchführung von Beschaffungs_Vorgängen mit den benötigten Verbrauchsobjekten versorgt und gibt als Output die durch die Erfüllung der Vertriebs_Vorgänge zu vertreibenden Produkte aus.

Das Produktionssystem als Teilmodell kann nach unterschiedlichen Gesichtspunkten in weitere Teilmodelle untergliedert werden. Es lassen sich demnach verrichtungsorientierte Produktionsstufen und/oder aus mehreren zum Zwecke der

Bereitstellung bestimmter Produkte miteinander verbundenen Gebrauchsobjekten bestehende Produktionslinien bilden.

Produktionsstufe [Teilmodell]: Eine Produktionsstufe fasst miteinander verwandte Produktions_Vorgänge und die daran beteiligten Gebrauchs- und Verbrauchsobjekte zusammen.

Ein Beispiel für eine Produktionsstufe ist die Zusammenlegung aller Urform_Vorgänge bei der Produktion eines Autos zur Bildung der Produktionsstufe *Urformen*.

Produktionslinie: [Teilmodell]: Eine Produktionslinie besteht aus miteinander verbundenen Gebrauchsobjekten⁹⁵, die zur Herstellung von Erzeugnissen einer oder mehrerer Klassen dienen.

Die Zusammenhänge zwischen den beschriebenen Teilmodellen werden in Abbildung 5-6 beispielhaft veranschaulicht. Die Abbildung untergliedert sich in vier übereinander angeordnete Abschnitte, wobei sich die Detaillierung der Darstellung von oben nach unten erhöht. Das dargestellte Produktionssystem wird über Beschaffungs_Vorgänge mit Rohstoffen versorgt. Innerhalb des Produktionssystems werden die Rohstoffe zu Produkten transformiert, die über Vertriebs_Vorgänge abgesetzt werden. Das Produktionssystem besteht aus zwei als Teilmodelle beschrieben Produktionslinien, die wiederum aus jeweils zwei Produktionsstufen bestehen. Jede Produktionsstufe beinhaltet dabei je zwei Produktions_Vorgänge.

⁹⁵ Vgl. [APIC01]

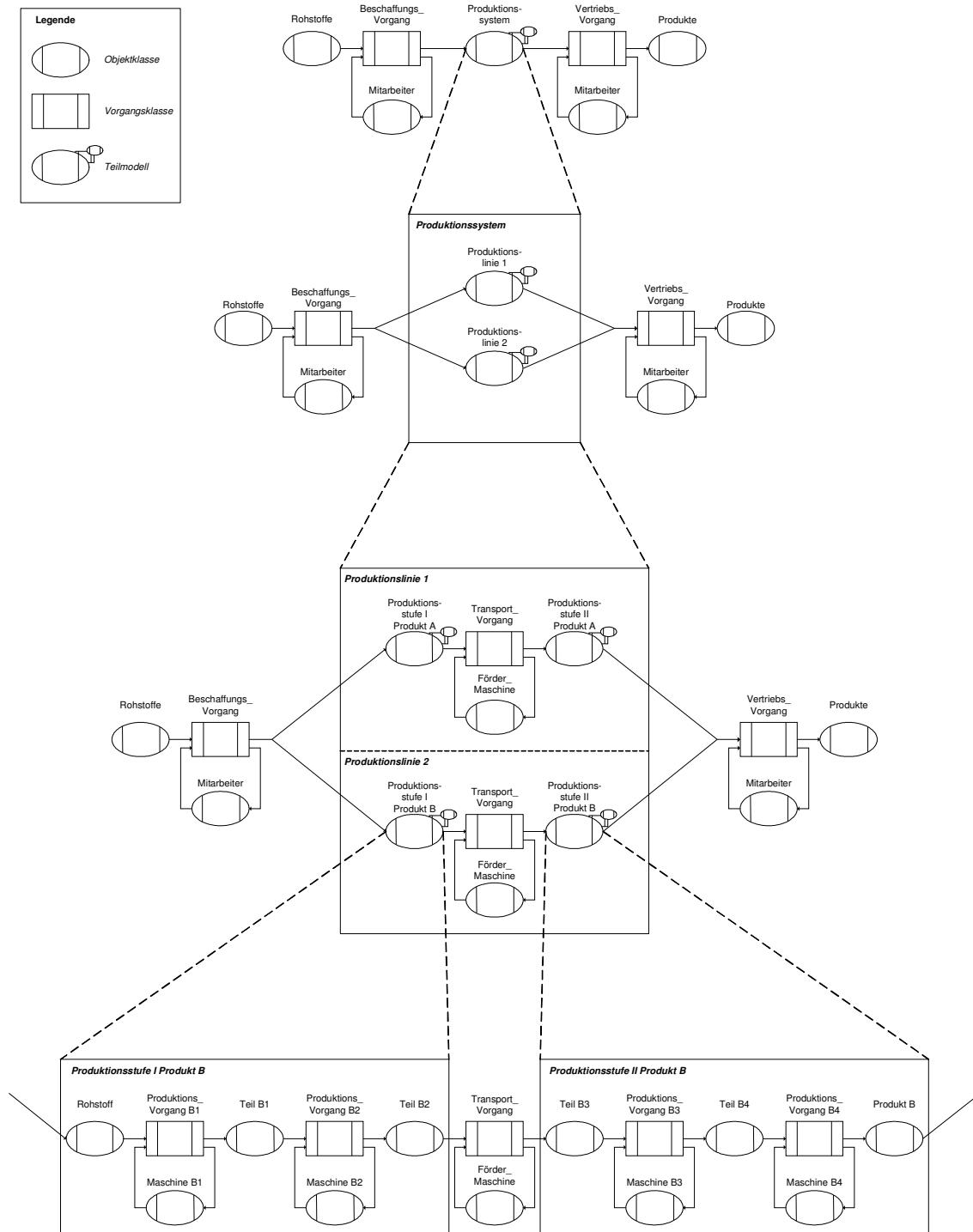


Abbildung 5-6: Produktionssystem, Produktionslinie und Produktionsstufe

5.2.2 Produktionsablauf

Nachdem im vorangegangenen Kapitel ein Produktionssystem als ein aus verschiedenen Klassen bestehendes Teilmodell beschrieben wurde, wird jetzt auf die innerhalb eines solchen Systems stattfindenden Abläufe in Form der zu erfüllenden Aufgaben und

Vorgänge eingegangen. Die grundlegende Aufgabe, die durch ein Produktionssystem erfüllt wird, ist die letztendlich zur Bereitstellung der Produkte führende **Produktions_Aufgabe**:

Produktions_Aufgabe [AF-Klasse]: Das Sachziel einer **Produktions_Aufgabe** ist die Transformation von Verbrauchsobjekten zu Verbrauchsobjekten einer im produktionstechnischen Sinne höheren Güte. Aus produktionstechnischer Sicht stellt das Verbrauchsobjekt höchster Güte das zu erstellende Produkt dar. Über die Festlegung eines Formalziels können zusätzliche Ausprägungen der Attribute der Aufgabenobjekte und/oder des zur Erfüllung der Aufgabe durchzuführenden **Produktions_Vorgangs** vorgegeben werden. Der Aufgabenträger ist in der Regel ein Mitarbeiter mit einer entsprechenden qualitativen Kapazität.

Eine **Produktions_Aufgabe** kann durch das Stattfinden eines oder mehrerer **Produktions_Vorgänge** erfüllt werden:

Produktions_Vorgang [VO-Klasse]: Ein **Produktions_Vorgang** dient der zielgerichteten Zustandsänderung von Verbrauchsobjekten zu Verbrauchsobjekten einer im produktionstechnischen Sinne höheren Güte. Für den Ablauf eines **Produktions_Vorgangs** werden in der Regel Gebrauchsobjekte benötigt.

Der Zusammenhalt der Teilchen analog zu DIN 8580⁹⁶ eines Verbrauchsobjekts soll genutzt werden, um eine widerspruchsfreie Einordnung bekannter und zukünftiger Klassen von **Produktions_Vorgängen** einzuordnen. Der Zusammenhalt wird geschaffen (**Urform_Vorgang**), beibehalten (**Umform_Vorgang**), vermindert (**Trenn_Vorgang**) oder vermehrt (**Füge_Vorgang**, **Beschicht_Vorgang**). Zum Grundbestand der in der Domänenontologie hinterlegten Klassen gehören daher auch sechs aus den Hauptgruppen der Produktionsverfahren abgeleitete **Produktions_Vorgangs-Klassen**:

Urform_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen **Urform_Vorgang** wird ein Rohstoff der sich in einem flüssigen, gasförmigen, plastischen, körnigen oder pulverförmigen Aggregatzustand befindet, in ein Teil in einem festen Aggregatzustand mit einer geometrisch bestimmte Form transformiert. Diese Zustandsänderung wird durch das Schaffen eines neuen Zusammenhalts der Teilchen des Rohstoffs erreicht.

Umform_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen **Umform_Vorgang** wird ein Werkstoff dauerhaft in eine geometrisch andere Form gebracht, ohne dadurch das Volumen des Werkstoffs zu verändern. Der Zusammenhalt der Teilchen wird beibehalten.

- **Biege_Umform_Vorgang:** Bei einem **Biege_Umform_Vorgang** werden flache oder runde Werkstoffe in ihrer geometrischen Form geändert. Dabei gehen keine

⁹⁶ Vgl. [Ever96]

Teilchen verloren. An der Stelle der Umformung des Werkstoffs ergibt sich durch den Biege_Umform_Vorgang eine Querschnittsänderung. Die Außenseite wird gestreckt und die Innenseite gestaucht.

- **Druck_Umform_Vorgang:** Bei einem Druck_Umform_Vorgang wird ein Werkstoff durch das Einbringen einer Druckkraft mittels einer geeigneten Werkzeug_Maschine in seiner Form geändert.
- **Schub_Umform_Vorgang:** Bei einem Schub_Umform_Vorgang wird ein Werkstoff durch das Einbringen einer Schubkraft dauerhaft in seiner Form geändert. Die Schubkraft kann translatorisch (der Werkstoff wird in sich verschoben) oder rotatorisch (der Werkstoff wird in sich verdreht) eingebracht werden.
- **Zug_Umform_Vorgang:** Bei einem Zug_Umform_Vorgang wird ein Werkstoff durch das Einbringen einer Zugkraft mittels einer geeigneten Werkzeug_Maschine in seiner Form geändert.

Trenn_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen Trenn_Vorgang wird die Form eines Werkstoffs durch Aufheben des Zusammenhalts der Teilchen an der Bearbeitungsfläche verändert. Das Volumen des Werkstoffs nach einem Trenn_Vorgang ist somit kleiner als vor dem Vorgangsbeginn. Die entstandene Form ist in der Form des Werkstoffs vor der Bearbeitung enthalten.

- **Span_Vorgang:** Durch einen Span_Vorgang werden Teilchen (hier auch als Späne bezeichnet) von einem Werkstoff mechanisch abgetrennt. Das Abtrennen erfolgt durch den Einsatz dazu geeigneter Werkzeuge bzw. Werkzeug_Maschinen. Das Werkzeug verfügt über eine oder mehrere Schneiden, die dazu in der Lage sind den Zusammenhalt der Teilchen des Werkstoffs an der Bearbeitungsfläche aufzuheben. Während eines Span_Vorgangs bewegen sich die Schneide(n) des Werkzeugs und der Werkstoff relativ zueinander.
 - **Bohr_Vorgang:** Durch einen Bohr_Vorgang entsteht ein kreisrundes Loch in einem Werkstoff. Die Relativbewegung zwischen der Schneide des Werkzeugs (hier Bohrer) und dem Werkstoff zum Aufheben des Zusammenhalts der Teilchen an der Bearbeitungsfläche wird durch eine entsprechende Werkzeugmaschine (hier Bohr_Maschine) herbeigeführt.
 - **Dreh_Vorgang:** Bei einem Dreh_Vorgang wird der zu bearbeitende Werkstoff relativ zum feststehenden Werkzeug gedreht. Durch eine zusätzliche Bewegung entlang der Rotationsachse der Drehbewegung

wird der Zusammenhalt der Teilchen an der Bearbeitungsfläche aufgehoben.

- **Fräs_Vorgang:** Bei einem Fräs_Vorgang wird die Schneide des Werkzeugs relativ zur Bearbeitungsfläche des Werkstoffs gedreht. Der Werkstoff wird zudem relativ zum Fräser orthogonale bewegt. Dadurch wird der Zusammenhalt der Teilchen an der Bearbeitungsfläche aufgehoben.
- **Zerteil_Vorgang:** Durch einen Zerteil_Vorgang wird ein Werkstoff mechanisch durchtrennt. Dabei entstehen im Gegensatz zu einem Span_Vorgang keine zusammenhaltlosen Teilchen (also keine *Späne*).
- **Scherschneide_Vorgang:** Durch einen Scherschneide_Vorgang wird ein Werkstoff durch zwei sich aneinander vorbeibewegende Schneiden (vgl. DIN 8588) eines Werkzeugs (siehe Schere) getrennt.

Füge_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen Füge_Vorgang werden zwei oder mehr Werkstoffe mit einander verbunden. In der Regel wird dazu eine Füge_Werkzeug_Maschine benötigt (z.B. Löt_Maschine).

Beschicht_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen Beschicht_Vorgang wird eine Schicht eines Werkstoffes auf einen anderen Werkstoff aufgetragen. Der aufzutragende Werkstoff muss sich dabei in einem geeigneten Aggregatzustand befinden.

Innerhalb eines Produktionssystems müssen materielle_Güter häufig zwischen den einzelnen Produktions_Vorgängen transportiert werden:

Transport_Vorgang [VO-Klasse]: Durch einen Transport_Vorgang wird der räumliche Aufenthaltsort von einem oder mehreren Objekten verändert. Bei den Objekten bzw. deren Klassen, die innerhalb eines zu beschreibenden Systems an verschiedenen Orten zum Einsatz kommen, muss das Attribut *Ort* berücksichtigt werden. Die Teilnahme an einem Transport_Vorgang verändert daraufhin den Zustand dieser Objekte durch Veränderung der Ausprägung dieses *Attributs*.

5.2.3 Produktionsfaktoren

Die Produktionsfaktoren werden in einem Produktionssystem eingesetzt, um letztendlich Produkte bereitzustellen zu können. Gutenberg⁹⁷ unterteilt die Produktionsfaktoren in den Faktor Arbeit, Betriebsmittel und Werkstoffe. Der Faktor Arbeit wird dabei wiederum in dispositive Arbeitsaspekte (Planung und Organisation)

⁹⁷ vgl. [Beue96]

und objektbezogene Arbeit (Arbeit direkt am Erzeugnis) gegliedert. Für die Domänenontologie wird dieses Verständnis weitestgehend übernommen. Anstatt jedoch menschliche Arbeit als Faktor zu berücksichtigen, werden Mitarbeiter als Gebrauchsobjekte einbezogen. Auf diese Weise können Produktionsfaktoren einheitlich als Objekte betrachtet werden.

Materielles_Gut: Ein materielles_Gut ist ein Objekt, dass direkt (Produkte für Personen) oder indirekt (Produktionsfaktoren) zur Befriedigung der Bedürfnisse von Personen eingesetzt werden kann.

Zur Planung der Abläufe in einem Produktionssystem wird neben der einfachen Angabe des Bestands bestimmter materieller_Güter eine Unterscheidung zwischen verschiedenen Bestandsarten benötigt. Daher werden diese als zusätzliche Attribute für die Klasse materielles_Gut eingeführt. Diese Attribute werden an alle dieser Klasse untergeordneten Klassen vererbt.

- **Physischer Bestand:** Der physische Bestand zu einem Zeitpunkt t ist die Summe aus dem Lager- und Werkstattbestand.
- **Gesperrter Bestand:** Unter gesperrtem Bestand wird ein (noch) nicht zu verwendender Teil des Bestands verstanden. Ein Grund für eine solche Sperrung kann eine noch ausstehende Qualitätsprüfung sein. Nach einer solchen Prüfung wird ein gesperrter Bestand entweder wieder zu verfügbaren Bestand oder zu Ausschuss (in Abhängigkeit von dem Ergebnis der Prüfung).
- **Ausschuss:** Unter Ausschuss werden mit Qualitätsmängeln behaftete und damit nicht mehr zu verwendende Bestände verstanden.
- **Sicherheitsbestand:** Der Sicherheitsbestand schützt als Reserve vor drei verschiedenen Risikoarten. Er deckt Bestandsrisiken (z.B. Qualitätsprobleme mit dem physischen Bestand), Zugangsrisiken (ein Teil der offenen Aufträge wird nicht fristgemäß erfüllt) und Abgangsrisiken (mehr Abgänge als geplant durch höheren oder früher eintretenden Kundenbedarf).
- **Verfügbarer Bestand:** Der verfügbare Bestand zum Zeitpunkt t_1 wird berechnet, wenn eine Entscheidung bzgl. eines bestandsverändernden Ereignisses getroffen werden muss. Das kann beispielsweise ein zu bestätigender eingegangener Kunden_Auftrag mit dem zu vereinbarenden Ereignis über die Bereitstellung einer Menge von Erzeugnissen zum Zeitpunkt t_1 sein. Der verfügbare Bestand zum Zeitpunkt t_1 lässt sich zum (Planungs-) Zeitpunkt t_0 unter Berücksichtigung der Reservierungen, des berechneten physischen und gesperrten Bestands zum Zeitpunkt t_1 sowie des Bruttobedarfs des folgenden Zeitintervalls ($t_1; t_2$) berechnen.

Im Rahmen einer Inventur wird der physische Bestand zu einem bestimmten Zeitpunkt gezählt. Der dadurch ermittelte Wert ersetzt den bis dahin gültigen (berechneten) Wert. Der physische Bestand zu einem späteren Zeitpunkt kann aus dem gezählten Wert und den tatsächlichen Ab- und Zugängen berechnet werden. Eine Planung des physischen Bestands kann unter Berücksichtigung der Reservierungen, der offenen Aufträge, des Bruttobedarfs und des physischen Bestands zum Planerstellungszeitpunkt erfolgen. Das Ergebnis kann sich jedoch zu einem späteren Planerstellungszeitpunkt ändern, da der geplante Bruttobedarf keine fixierte Größe ist. Die Attribute des Ereignisses können der Definition des Bestands entnommen werden. Die Ausprägung des Attributs Interpretation ist gleich *physisch*.

I. Durch Inventur zum Zeitpunkt t_n gezählter physischer Bestand:

$$PB(t_n|t_n) = LB(t_n|t_n) + WB(t_n|t_n)$$

II. Zum Zeitpunkt t_{n+1} für den Zeitpunkt t_{n+1} berechneter physischer Bestand:

$$PB(t_{n+1}|t_{n+1}) = LB(t_{n+1}|t_{n+1}) + WB(t_{n+1}|t_{n+1}) = PB(t_n|t_n) + Z(t_{n+1}|[t_n; t_{n+1}]) - A(t_{n+1}|[t_n; t_{n+1}]) - AU(t_{n+1}|[t_n; t_{n+1}])$$

III. Zum Zeitpunkt t_{n+1} für den Zeitpunkt t_{n+2} geplanter (berechneter) physischer Bestand:

$$PB(t_{n+1}|t_{n+2}) = PB(t_{n+1}|t_{n+1}) + OA(t_{n+1}|[t_{n+1}; t_{n+2}]) - RE(t_{n+1}|[t_{n+1}; t_{n+2}]) - BB(t_{n+1}|[t_{n+1}; t_{n+2}])$$

$LB(t_n|t_{n+1})$ Der zum Zeitpunkt t_n ermittelte Lagerbestand zum Zeitpunkt t_{n+1}

$WB(t_n|t_{n+1})$ Der zum Zeitpunkt t_n ermittelte Werkstattbestand zum Zeitpunkt t_{n+1}

$Z(t_{n+1}|[t_n; t_{n+1}])$ Zugang im Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$

$A(t_{n+1}|[t_n; t_{n+1}])$ Zum Zeitpunkt t_{n+1} für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ erfassste⁹⁸ Abgänge

$AU[t_n; t_{n+1}]$ Ausschuss im Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$

$OA(t_0|[t_n; t_{n+1}])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ vergebene (offene) Aufträge

$BB(t_0|[t_n; t_{n+1}])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ geplanter Bruttobedarf

⁹⁸ An dieser Stelle wird von „erfassten“ Abgängen gesprochen, da der Betrachtungszeitpunkt t_{n+1} am Ende des relevanten Zeitintervalls $[t_n; t_{n+1}]$ liegt.

$RE(t_0|[t_n; t_{n+1}])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ eingeplante Reservierungen

Der verfügbare Bestand kann folgendermaßen berechnet werden:

$VB(t_0|t_n) = PB(t_0|t_n) - SB(t_0|t_n) - GB(t_0|t_n)$ mit

$PB(t_0|t_n) = PB(t_0|t_{n-1}) + OA(t_0|[t_{n-1}; t_n]) - RE(t_0|[t_{n-1}; t_n]) - BB(t_0|[t_{n-1}; t_n])$

Daraus folgt:

$VB(t_0|t_n) = PB(t_0|t_{n-1}) + OA(t_0|[t_{n-1}; t_n]) - RE(t_0|[t_{n-1}; t_n]) - BB(t_0|[t_{n-1}; t_n]) - SB(t_0|t_n) - GB(t_0|t_n)$

$PB(t_0|t_n)$ Der zum Zeitpunkt t_0 berechnete physische Bestand zum Zeitpunkt t_n

$SB(t_0|t_n)$ Der zum Zeitpunkt t_0 vorgesehene Sicherheitsbestand zum Zeitpunkt t_n

$GB(t_0|t_n)$ Der zum Zeitpunkt t_0 bekannte gesperrte Bestand zum Zeitpunkt t_n

$OA(t_0|[t_{n-1}; t_n])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_{n-1}; t_n]$ vergebene (offene) Aufträge

$BB(t_0|[t_{n-1}; t_n])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_{n-1}; t_n]$ geplanter Bruttobedarf

$RE(t_0|[t_{n-1}; t_n])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_{n-1}; t_n]$ eingeplante Reservierungen

Reservierungen, offene Aufträge, Bedarfe, etc. werden in Kapitel 5.2.5.1 erläutert.

Produktionsfaktor [O-Klasse]: Ein Produktionsfaktor ist ein materielles_Gut, das in einem Produktionssystem eingesetzt werden kann. Produktionsfaktoren lassen sich in Abhängigkeit ihrer quantitativen_Kapazität in Gebrauchs- (z.B. Maschinen, Mitarbeiter) und Verbrauchsobjekte (Hilfsstoffe und Werkstoffe, z.B. Teile, Rohstoffe) untergliedern.

5.2.3.1 Gebrauchsobjekte

Produktionsfaktoren lassen sich je nach dem ob sie durch die Teilnahme an Vorgängen verbraucht werden oder nicht in Gebrauchs- und Verbrauchsobjekte unterteilen. Für Gebrauchsobjekte gilt:

Gebrauchsobjekt [O-Klasse]: Ein Gebrauchsobjekt ist ein wieder verwendbarer Produktionsfaktor, der nicht als Bestandteil in ein Erzeugnis eingeht. Ein Gebrauchsobjekt hat damit im Gegensatz zu einem Verbrauchsobjekt üblicherweise

eine quantitative_Kapazität > 1. Die qualitative_Kapazität eines Gebrauchsobjekts bestimmt die Vorgänge, bei denen das Gebrauchsobjekt eingesetzt werden kann.

Mitarbeiter [O-Klasse]: Eine Person wird als Mitarbeiter bezeichnet, wenn er im Sinne eines Gebrauchsobjekts in einem Produktionssystem eingesetzt wird. Welche Produktions_Vorgänge ein Mitarbeiter ausführen kann, hängt von seiner qualitativen_Kapazität ab. Wie oft er dies hintereinander oder gleichzeitig tun kann, wird durch seine quantitative_ und simultane_Kapazität bestimmt.

Werkzeug [O-Klasse]: Ein Werkzeug ist ein Gebrauchsobjekt, das die Durchführung von bestimmten Vorgängen für Mitarbeiter und Maschinen ermöglicht. Im Unterschied zu einer Maschine kann es nicht unabhängig von anderen Teilen oder einem Mitarbeiter eingesetzt werden.

- **Bohrer:** Ein Bohrer ist ein Werkzeug mit einer oder mehrerer Schneiden zum Erzeugen kreisrunder Löcher in Werkstoffen. Ein Bohrer wird in Kombination mit einer Bohr_Maschine in Bohr_Vorgängen eingesetzt.
- **Fräser:** Ein Fräser ist ein Werkzeug mit einer oder mehrerer Schneiden, die während eines Fräsen_Vorgangs in Kombination mit einer Fräsen_Maschine relativ zur Bearbeitungsfläche eines Werkstoffs rotieren. Im Gegensatz zu einem Bohrer wird der Zusammenhalt der Teilchen am Werkstoff nicht nur an der Stirnseite sondern auch am Umfang des Fräzers durch die Schneiden aufgehoben.
- **Drehmeißel:** Ein Drehmeißel ist ein Werkzeug, dass in Kombination mit einer Dreh_Maschine dazu eingesetzt wird, Dreh_Vorgänge durchzuführen. Der Drehmeißel wird dabei fest in der Drehmaschine eingespannt.
- **Schere:** Eine Schere ist ein Werkzeug, das von einem Mitarbeiter in einem Scherschneide_Vorgang eingesetzt werden kann. Das Werkzeug verfügt über zwei drehbare über kreuz gelagerte Schneiden, die sich gegenüber stehen.

Maschine [O-Klasse]: Eine Maschine ist ein Gebrauchsobjekt. Eine Maschine besteht aus miteinander verbundenen Gruppen oder Teilen, von denen mindestens eins beweglich ist⁹⁹. Eine Maschine kann zu Produktions_ und Transport_Vorgängen eingesetzt werden. Das mögliche Einsatzspektrum einer Maschine wird durch die Ausprägung des Attributs qualitative_Kapazität geprägt. Wie oft eine Maschine gleichzeitig oder hintereinander an einem Produktions_Vorgang beteiligt sein kann, lässt sich über die Attribute simultane_ und quantitative_Kapazität bestimmen.

⁹⁹ Vgl. [Euro98]

Je nachdem ob eine Maschine zu Produktions_ oder Transport_Vorgängen eingesetzt wird, wird innerhalb der Domänenontologie zwischen Werkzeug_ und Förder_Maschinen unterschieden.

Förder_Maschine [O-Klasse]: Eine Förder_Maschine ist eine Maschine, die zu Transport_Vorgängen eingesetzt werden kann.

Förder_Maschinen lassen sich in Abhängigkeit der Kontinuierlichkeit des durch die Transport_Vorgänge entstehenden Güterflusses in Stetig- und Unstetigförderer untergliedern.

- **Stetigförderer:** Ein Stetigförderer ist eine Förder_Maschine, die kontinuierlich Objekte von einem zum anderen Ort transportieren kann.
 - **Bandförderer:** Das mittels eines Bandförderers zu bewegende materielle_Gut wird über ein umlaufendes Band, dass zwei oder mehr Orte miteinander verbindet, transportiert.
 - **Kettenförderer:** Das mittels eines Kettenförderers zu bewegende materielle_Gut wird zwischen einer oder mehreren parallel angeordneten, miteinander verbundenen Ketten, transportiert.
 - **Rollenbahn:** Das mittels einer Rollenbahn zu bewegende materielle_Gut wird durch hintereinander angeordnete, sich drehende Rollen bewegt.
- **Unstetigförderer:** Ein Unstetigförderer ist eine Förder_Maschine, die diskontinuierlich Objekte von einem zum anderen Ort transportieren kann.
 - **Hubwagen:** Mit einem Hubwagen können Objekte auf ebenem Untergrund durch einen Transport_Vorgang bewegt werden. Der Hubwagen besteht aus einer Gabel, die unter das zu transportierende materielle_Gut geschoben werden kann.
 - **Gabelstapler:** Ein Gabelstapler ist ein Unstetigförderer für den Transport von materiellen_Gütern innerhalb eines Produktionssystems. Gabelstapler bestehen aus einer vertikal beweglichen Gabel und einem Antrieb.

Werkzeug_Maschine [O-Klasse]: Eine Werkzeug_Maschine ist eine Maschine, die Werkstoffe mithilfe von Werkzeugen bearbeitet. Zur Veränderung der Form der Werkstoffe erzeugt die Maschine eine Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstoff.

In Abhängigkeit der Art der Vorgänge (qualitative_Kapazität), die mit einer Werkzeug_Maschine durchgeführt werden können, lassen sich Umformende_, Fügende_ und Trenn_Werkzeug_Maschinen unterscheiden:

- **Umformende_Werkzeug_Maschine:** Eine Umform_Werkzeug_Maschine ist eine Werkzeug_Maschine, die mit Hilfe eines Werkzeugs (z.B. Stempel) einen Werkstoff mittels eines Umform_Vorgangs dauerhaft in seiner Form gezielt verändern kann. Die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstoff wird dabei durch die Umform_Werkzeug_Maschine (z.B. Kantbank) erzeugt.
 - **Kantbank:** Eine Kantbank ist eine Umform_Werkzeug_Maschine, die mit Hilfe eines Werkzeugs (Stempel und Gesenk) Werkstoffe durch Biege_Vorgänge dauerhaft und gezielt in ihrer Form ändern kann. Der Werkstoff wird dabei durch den Stempel in das Gesenk gedrückt und nimmt dadurch dessen Form an.
- **Trennende_Werkzeug_Maschine:** Eine Trenn_Werkzeug_Maschine ist eine Werkzeug_Maschine, die mit Hilfe eines Werkzeugs (z.B. Bohrer) bei einem Werkstoff den Zusammenhalt der Teilchen mittels eines Trenn_Vorgangs an der Bearbeitungsfläche gezielt auflösen kann. Die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstoff wird dabei durch die Trenn_Werkzeug_Maschine (z.B. Bohr_Maschine) erzeugt.
 - **Bohr_Maschine:** Eine Bohr_Maschine verfügt über die Möglichkeit, Bohrer einzuspannen, und in eine rotierende Bewegung zu bringen. Dadurch können Bohr_Vorgänge durchgeführt werden.
 - **Dreh_Maschine:** Eine Dreh_Maschine verfügt über eine Möglichkeit Drehmeißel und Werkstoffe einzuspannen. Der Werkstoff wird in eine rotierende Bewegung gebracht. Der Drehmeißel kann relativ zu dem rotierenden Werkstoff bewegt werden. Dadurch können Dreh_Vorgänge durchgeführt werden.
 - **Fräs_Maschine:** Eine Fräs_Maschine verfügt über eine Möglichkeit, Fräser und Werkstoffe einzuspannen. Der Fräser wird in eine rotierende Bewegung gebracht. Der Werkstoff kann durch die Maschine in alle Richtungen relativ zum Fräser bewegt werden. Dadurch können Fräs_Vorgänge durchgeführt werden.
- **Füge_Werkzeug_Maschine:** Eine Füge_Werkzeug_Maschine ist eine Werkzeug_Maschine, die mit Hilfe eines Werkzeugs (z.B. Lötspitze) zwei oder mehr Werkstoffe lokal verbindet.
 - **Löt_Maschine:** Eine Löt_Maschine kann über eine Lötspitze Hitze auf Werkstoffe übertragen. Unter Einsatz von Lötzinn an der Verbindungsfläche kann eine Füge_Vorgang durchgeführt werden.

5.2.3.2 Verbrauchsobjekte

Als Verbrauchsobjekte werden an der Produktion beteiligte Objekte bezeichnet, die während ihrer Teilnahme an Produktions_Vorgängen verbraucht werden. D.h., dass sie nach einer bestimmten Anzahl von durchlaufenen Produktions_Vorgängen nicht mehr zur Verfügung stehen. Zu den Gebrauchsobjekten zählen Rohstoffe, Betriebsstoffe, etc.

Verbrauchsobjekt [O-Klasse]: Ein Verbrauchsobjekt ist ein nicht wieder verwendbarer Produktionsfaktor, der entweder als Bestandteil in ein Erzeugnis eingeht (Werkstoff) oder zum Ablauf eines Produktions_Vorgangs benötigt wird (Hilfsstoff). Ein Verbrauchsobjekt hat damit im Gegensatz zu einem Gebrauchsobjekt üblicherweise eine quantitative_Kapazität von 1. Neben den Attributen eines Produktionsfaktors (= denen einer O-Klasse) können folgende Attribute zur Beschreibung eines Verbrauchsobjekts zum Einsatz kommen:

- **Aggregatzustand:** Der Aggregatzustand eines Verbrauchsobjekts kann sich durch die Teilname an Produktions_Vorgängen verändern. Mögliche Ausprägungen sind z.B. fest, flüssig, gasförmig.
- **Form:** Die (geometrische) Form eines Verbrauchsobjekts kann sich durch die Teilname an Produktions_Vorgängen verändern. Die Form kann z.B. als 3D-Modell hinterlegt werden.
- **Teilchen_Zusammenhalt:** Der Teilchen_Zusammenhalt eines Verbrauchsobjekts kann sich durch die Teilname an Produktions_Vorgängen verändern. Mögliche Ausprägungen sind z.B. erhalten, aufgelöst, vermehrt.

In Abhängigkeit davon, ob ein Verbrauchsobjekt in bedeutender Menge Bestandteil eines Erzeugnisses wird oder nur zur Durchführung eines Produktions_Vorgangs benötigt wird, können Verbrauchsobjekte in Werk-, Hilfs- und Betriebsstoffe untergliedert werden.

Werkstoff [O-Klasse]: Ein Werkstoff ist ein Verbrauchsobjekt, das zur Erstellung eines Teils, einer Gruppe oder eines Erzeugnisses unmittelbar innerhalb von Produktions_Vorgängen verwendet wird und in diesen in veränderter oder unveränderter Form nachgewiesen werden kann.

- **besteht_aus:** Durch die Ausprägung dieses Attributs wird einstufig festgehalten, aus welchen anderen Werkstoffen ein Werkstoff besteht.

Rohstoffe, Teile und Gruppen sind Werkstoffe.

- **Teil [O-Klasse]:** Ein Teil ist ein nicht zerlegbares durch einen bestimmten Produktions_Vorgang erstelltes Objekt.

- **Gruppe [O-Klasse]:** Eine Gruppe ist ein in sich geschlossenes, aus zwei oder mehr Teilen und/oder Gruppen niederer Ordnung bestehendes Objekt¹⁰⁰.
- **Rohstoff [O-Klasse]:** Ein Rohstoff ist ein nicht innerhalb eines Produktions_Vorgangs bearbeiteter Werkstoff, aus dem ein Teil erstellt werden kann.

Hilfsstoff [O-Klasse]: Ein Hilfsstoff ist ein Verbrauchsobjekt, das zur Herstellung eines Teils, einer Gruppe oder eines Erzeugnisses nur mittelbar eingesetzt wird und in diesen nur in verhältnismäßig unbedeutenden Mengen nachgewiesen werden kann.

Betriebsstoff [O-Klasse]: Ein Betriebsstoff ist ein Verbrauchsobjekt, das zum Stattfinden von Produktions_Vorgängen benötigt wird, jedoch nicht direkt in ein Erzeugnis eingeht.

5.2.3.3 Beschaffung

Die für den geplanten Ablauf der Produktion notwendigen Produktionsfaktoren müssen entweder innerhalb des verfügbaren Produktionssystems bereits bestehen, selbst produziert oder extern zugekauft werden. Ein festgestellter Bedarf an Zukaufteilen kann den mit der Beschaffung betrauten Mitarbeitern über die Vergabe von Beschaffungs_Aufträgen angezeigt werden.

Beschaffungs_Auftrag [AT-Klasse]: Ein Beschaffungs_Auftrag ist die Aufforderung eines Mitarbeiters des Produktionssystems an den potenziellen Aufgabenträger einer Beschaffungs_Aufgabe, einen Produktionsfaktor zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen.

Ein Beschaffungs_Auftrag wird durch eine Beschaffungs_Aufgabe von einem Mitarbeiter des Produktionssystems erfüllt.

Beschaffungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Das Sachziel einer Beschaffungs_Aufgabe ist die Bereitstellung der benötigten Objekte (Produktionsfaktoren) zu einem bestimmten Zeitpunkt an einem bestimmten Ort. Über die Festlegung eines Formalziels können zusätzliche Ausprägungen der Attribute der Aufgabenobjekte und/oder des zur Erfüllung der Aufgabe durchzuführenden Beschaffungsvorgangs vorgegeben werden. Der Aufgabenträger ist in der Regel ein Mitarbeiter mit einer entsprechenden qualitativen Kapazität.¹⁰¹

¹⁰⁰ siehe DIN 6789

¹⁰¹ Vgl. [Cors00, S. 397]

- **Aufgabenobjekt:** Die zu beschaffenden Güter und die Lieferanten.
- **Aufgabenträger:** Die Mitarbeiter, die die Beschaffungs_Aufgabe durchführen.
- **Sachziel:** Sach-, mengen- und zeitlich richtiger Eingang der benötigten Objekte.

Die Initiierung von Lieferanten_Aufträgen zur Erfüllung einer Beschaffungs_Aufgabe wird durch den Ablauf von Beschaffungs_Vorgängen ermöglicht.

Beschaffungs_Vorgang: Ein Beschaffungs_Vorgang sorgt dafür, dass die für die Produktions_Vorgänge benötigten jedoch nicht im Produktionssystem vorhandenen Produktionsfaktoren zum richtigen Zeitpunkt am gewünschten Ort zur Verfügung stehen. Erreicht wird dieses Ziel durch die Vergabe von Lieferanten_Aufträgen.

Lieferanten_Auftrag: [AT-Klasse]: Ein Lieferanten_Auftrag ist die Aufforderung eines als Aufgabenträger einer Beschaffungs_Aufgabe tätigen Mitarbeiters an ein externes Objekt, einen Produktionsfaktor zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Der Lieferanten_Auftrag wird für das externe Objekt verbindlich, sobald es den Lieferanten_Auftrag annimmt.

Der Primärbedarf und der Teil des Sekundärbedarfs, der eigenproduziert wird, lässt sich über die Vergabe von Produktions_Aufträgen innerhalb des Produktionssystems disponieren. Ein eingehender Kunden_Auftrag hat damit in der Regel die Vergabe bestimmter Produktions_Aufträge zur Folge.

Produktions_Auftrag [AF-Klasse]: Ein Produktions_Auftrag ist die Aufforderung, ein bestimmtes Verbrauchsobjekt zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Die Erzeugung dieses Verbrauchsobjekts erfolgt über die Durchführung eines oder mehrerer Produktions_Vorgänge. Die Festlegung der durchzuführenden Produktions_Vorgänge innerhalb des Produktions_Auftrags ist optional.

- **Auftraggeber:** Bedarfsauslösende Mitarbeiter innerhalb des Produktionssystems.
- **Auftragnehmer:** Mitarbeiter, der die Ausführung der entsprechenden Produktions_Vorgänge betreut.
- **Sachziel:** Verbrauchsobjektsbereitstellung zu einem bestimmten Zeitpunkt.

5.2.4 Produkte

Den gewünschten Output eines Produktionssystems bilden die Produkte. Bei Produkten kann zwischen Erzeugnissen und Dienstleistungen unterschieden werden, die an Außenstehende über Märkte vertrieben werden.

Produkt [O-Klasse]: Ein Produkt ist ein materielles_Gut oder eine Dienstleistung, die als Output eines Produktionssystems¹⁰² entstehen und für externe Objekte (Personen oder Unternehmen) bereitgestellt werden.

5.2.4.1 Erzeugnisse

In der vorliegenden Arbeit werden keine Produkte in Form von Dienstleistungen behandelt. Materielle Produkte werden als Erzeugnisse bezeichnet.

Erzeugnis [O-Klasse]: Ein Erzeugnis ist ein in sich geschlossenes, aus einer Anzahl von Gruppen und/oder Teilen bestehendes funktionsfähiges materielles_Gut, das als Output eines Produktionssystems entsteht.¹⁰³ Die Zusammensetzung eines Erzeugnisses lässt sich durch die Einführung des folgenden Attributs festlegen:

- **besteht_aus:** Durch die Ausprägung dieses Attributs wird einstufig festgehalten, aus welchen Werkstoffen das Erzeugnis besteht.

Von einem Erzeugnis können Varianten gebildet werden. Dies geschieht über die Verwendung unterschiedlicher Werkstoffe, also unterschiedlicher Teile, Gruppen oder Rohstoffe zur Erstellung eines Erzeugnisses.

Erzeugnis_Variante [O-Klasse]: Die Erzeugnis_Varianten unterscheiden sich durch Veränderungen einer Grundausführung eines Erzeugnisses voneinander. Diese Veränderungen entstehen durch unterschiedliche Ausprägungen des Attributs *besteht_aus*.

Die eine Stückliste eines Erzeugnisses oder einer Erzeugnis_Variante bildenden Informationen können über die Ausprägungen des Attributs *besteht_aus* schrittweise abgeleitet werden. Dabei erfolgt der erste Schritt von der Ausprägung auf der Ebene des Erzeugnisses zur Ebene der enthaltenen Teile und Gruppen. Von der Ausprägung ihrer Attribute kann dann schrittweise weiter gegangen werden, bis schließlich alle Bestandteile des Erzeugnisses feststehen.

5.2.4.2 Vertrieb

Die Produkte, die ein Produktionssystem erzeugt, müssen möglichst gewinnbringend auf entsprechenden Märkten veräußert werden. Das zu erreichen, ist Ziel der Vertriebs_Aufgabe.

¹⁰² vgl. [Sabi96]

¹⁰³ Siehe auch DIN 199, Teil 2

Vertriebs_Aufgabe [AF-Klasse]: Das Sachziel einer Vertriebs_Aufgabe ist der Absatz der Produkte. Über die Festlegung eines Formalziels können zusätzliche Ausprägungen der Attribute der Aufgabenobjekte und/oder des zur Erfüllung der Aufgabe durchzuführenden Vertriebs_Vorgangs vorgegeben werden. Der Aufgabenträger ist in der Regel ein Mitarbeiter mit einer entsprechenden qualitativen_Kapazität.

- **Aufgabenobjekt:** Die Erzeugnisse und deren Abnehmer.
- **Aufgabenträger:** Die Mitarbeiter, die die Vertriebs_Aufgabe durchführen.
- **Sachziel:** Verkauf der durch Produktions_Vorgänge erstellten Produkte.

Vertriebs_Vorgang: Ein Vertriebs_Vorgang sorgt dafür, dass die vorhandenen oder noch entstehenden Produkte an potenzielle Kunden abgesetzt werden. Erreicht wird dieses Ziel durch die Annahme und Abwicklung von Bestellungen.

Im Rahmen der Beschaffung und des Vertriebs geht es immer um die Änderung von Rechtszuständigkeiten für die gehandelten materiellen_Güter. Der Übertrag der entsprechenden Besitzrechte wird in Aufträgen fixiert. Eine eingehende Bestellung wird als Kunden_Auftrag bezeichnet:

Kunden_Auftrag [AT-Klasse]: Ein Kunden_Auftrag ist die Aufforderung eines externen Objekts an das Produktionssystem ein Produkt zu einem bestimmten Zeitpunkt bereitzustellen. Der Kunden_Auftrag wird für das Produktionssystem verbindlich, wenn es den Kunden_Auftrag angenommen hat¹⁰⁴.

- **Auftraggeber:** Externes Objekt (in der Regel ein Unternehmen oder eine Person).
- **Auftragnehmer:** Ein Mitarbeiter, der als Aufgabenträger eine Vertriebs_Aufgabe bearbeitet.
- **Sachziel:** Produktbereitstellung zu einem bestimmten Zeitpunkt.

5.2.5 Produktionsplanung

Damit die Abläufe in einem Produktionssystem zielgerichtet stattfinden können, ist ihre vorhergehende Planung notwendig. Im Rahmen der Domänenontologie soll die in Kapitel 2.2 eingeführte Definition der Produktionsplanung Gültigkeit haben. Diese wird an dieser Stelle in der Syntax der Domänenontologie angegeben:

Produktionsplanungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Die Produktionsplanungs_Aufgabe soll einem gegebenen Produktionssystem vorausschauend in sich und mit den

¹⁰⁴ Vgl. [REFA85]

Ausgangsdaten konsistente Solldaten über die qualitative, quantitative und zeitliche Zuordnung der Produktionsfaktoren für einen definierten, zielgerichteten Ablauf der Produktion zur Verfügung stellen¹⁰⁵. Die Solldaten entsprechen geplanten (zukünftigen) Zuständen des Produktionssystems (bzw. der einzelnen daran beteiligten Klassen und Instanzen). Die Ausgangsdaten entsprechen den Zuständen dieser zu einem während der Erfüllung der Aufgabe bestimmten Zeitpunkt. Die Produktionsplanungs_Aufgabe kann in die Mengen-, Termin- und Kapazitätsplanungs_Aufgabe zerlegt werden.

- **Aufgabenobjekt:** Die an dem zu planenden Produktionsablauf beteiligten Gebrauchs- und Verbrauchsobjekte.
- **Aufgabenträger:** Die Mitarbeiter, die eine Produktionsplanungs_Aufgabe durchführen.
- **Sachziel:** Erstellung eines ausführbaren Produktionsprogramms. Dazu müssen ein Mitarbeiter- und ein Maschinenbelegungsplan geschaffen werden.

Zur Erfüllung der Produktionsplanungs_Aufgabe müssen i.d.R. folgende Aufgaben bewältigt werden:

- Mengenplanungs_Aufgabe (vgl. Kapitel 5.2.5.1)
- Terminplanungs_Aufgabe (vgl. Kapitel 5.2.5.2)
- Kapazitätsplanungs_Aufgabe (vgl. Kapitel 5.2.5.3)

Die Zuordnung einer Teilaufgabe zur *Mengen-* oder *Terminplanung* erfolgt in Abhängigkeit des verwendeten Zeitmodells. Wird das Zeitmodell so gewählt, dass je betrachtetem Zeitabschnitt mehrere Ereignisse existieren, sind die anfallenden Aufgaben der Mengenplanung zuzuordnen. Sind die Zeitabschnitte des Zeitmodells nur mit maximal einem Ereignis belegt und umfasst die Vorgangsdauer mehr als einen Zeitabschnitt, werden die Aufgaben mittels einer Terminplanung gelöst. Nachdem die Mengen- und Termine bestimmt wurden, müssen diese durch Belegung der vorhandenen *Kapazitäten* gesichert werden. Diese Zuordnung erfolgt im Rahmen der Kapazitätsplanung. Die Lösung der geschilderten Teilaufgaben erfolgt i.d.R. iterativ. Sowohl für die Ereignisse der Mengen- als auch der Terminplanung sind entweder der sachliche Bezug und der Ereignistyp oder der zeitliche Bezug und der Ereignistyp gegeben und entsprechend zeitlicher oder sachlicher Bezug gesucht.

Die Ergebnisse der Produktionsplanungs_Aufgabe werden innerhalb des Produktionsprogramms und den Mitarbeiter- und Maschinenbelegungsplänen (siehe Kapitel 5.2.5.3) festgehalten.

¹⁰⁵ Vgl. [DaWa97, S.3]

Produktionsprogramm [Zeitdomäne]: Das Produktionsprogramm hält fest, welche Teile, Gruppen und Erzeugnisse in welchen Mengen zu welchen Zeitpunkten oder in einem bestimmten Zeitintervall produziert werden¹⁰⁶. Die Zeitdomäne mit den entsprechenden Informationen kann dem Produktionssystem zu geordnet werden.

5.2.5.1 Mengenplanung

Im Rahmen der Produktionsplanung wird in der Regel mit der Mengenplanung begonnen. Die Mengenplanung ermittelt anhand auftretender Primärbedarfe die Sekundär- und Tertiärbedarfe. Der Mengenplanung nachgelagert (in Abhängigkeit des angewendeten Planungsverfahrens) ist die Termin- bzw. Kapazitätsplanung. Die für Produkte und Verbrauchsobjekte auftretenden Bedarfe werden in den entsprechenden Zeitdomänen der Objekte als Ereignisse über ein betrachtetes Zeitintervall geführt:

Primärbedarf [Zeitdomäne]: Der Marktbedarf an Erzeugnissen eines Unternehmens wird als Primärbedarf bezeichnet. Die in einem betrachteten Zeitintervall auftretenden bedarfserzeugenden Ereignisse werden zum Primärbedarf gebündelt und können in einer Zeitdomäne (z.B. der des Produktionssystems oder der der entsprechenden Erzeugnisse) festgehalten werden.

Sekundärbedarf [Zeitdomäne]: Der Bedarf an Werkstoffen zur Herstellung von Erzeugnissen wird als Sekundärbedarf bezeichnet. Dieser leitet sich direkt aus der Erzeugnisstruktur ab. Die Erzeugnisstruktur kann schrittweise aus dem Attribut besteht_aus des Erzeugnisses und der als Ausprägung aufgeführten Teile und Gruppen abgeleitet werden. Die Bündelung der einzelnen die Sekundärbedarfe erzeugenden Ereignisse über die Zeit ermöglicht eine zeitabschnittsweise Betrachtung des notwendigen Objektflusses. Die Attribute entsprechen denen des Primärbedarfs.

Tertiärbedarf [Zeitdomäne]: Der Bedarf an Hilfsstoffen, die nicht unmittelbar in die Erzeugnisse einfließen, wird als Tertiärbedarf bezeichnet.

In der Domänenontologie werden Bestände immer zu Zeitpunkten und Bedarfe als Summe (der Werte der mengenmäßigen Bezüge) von einzelnen bedarfsgenerierenden Ereignissen über die Dauer eines Zeitintervalls bestimmt (Zuordnung siehe Tabelle 5-3). Dieser Sachverhalt begründet sich darin, dass Bestände als an Zeitpunktenzählbare (oder berechenbare Mengen von) Instanzen verstanden werden und Bedarfe, Zugänge, Abgänge etc. als Fluss von Instanzen über die Zeit zu betrachten sind. Der zeitliche Bezug von bestandsverändernden oder -ermittelnden Ereignissen wird durch deren Eintritts-, Bestimmungs- oder Zählzeitpunkt gegeben.

¹⁰⁶ Vgl. [Jaco96]

Tabelle 5-3: Zuordnung zur Zeitpunkt- oder Zeitintervallbetrachtung bei der Ermittlung von Bedarfen, Beständen und bestandsverändernden Ereignissen

Begriff	Zeitpunkt	Zeitintervall
Primärbedarf		x
Sekundärbedarf		x
Tertiärbedarf		x
Bruttobedarf		x
Nettobedarf		x
Offene Aufträge		x
Ausschuss		x
Abgang		x
Zugang		x
Bestand	x	
Physischer Bestand	x	
verfügbarer Bestand	x	
Reservierter Bestand	x	
Sicherheitsbestand	x	
Gesperrter Bestand	x	

Für die Mengenplanungs_Aufgabe soll im Rahmen der Domänenontologie folgende Definition gelten:

Mengenplanungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Sachziel der Erfüllung der Mengenplanungs_Aufgabe ist die Ermittlung des Sekundär- und Tertiärbedarfs. Durch die Festlegung des Formalziels kann zwischen einer verbrauchs- oder bedarfsorientierten Bestimmung unterschieden werden. Für beide Vorgehensweisen werden die Stücklisten der den Primärbedarf bildenden Produkte benötigt, um die den Sekundär- und Tertiärbedarf bildenden Verbrauchsobjektmengen zu ermitteln. Bei der verbrauchsorientierten Durchführung der Mengenplanungs_Aufgabe werden anhand der tatsächlichen Abgänge der Verbrauchsobjekte deren benötigte Mengen bestimmt. Bei der bedarfsorientierten Vorgehensweise wird für jeden auftretenden Primärbedarf die Menge der benötigten Verbrauchsobjekte berechnet.

Zur Ermittlung der durch die Erfüllung der Beschaffungs_Aufgabe zu besorgenden Verbrauchsobjekte mittels der Nettobedarfsrechnungs_Aufgabe, müssen die Bestände der Verbrauchsobjekte durch die Durchführung der Bestands_Bestellrechnungs_Aufgabe festgestellt werden. Die bestandsunabhängige Bestimmung der Bedarfe erfolgt im Rahmen der Bruttobedarfsrechnungs_Aufgabe.

Bestands_Bestellrechnungs_Aufgabe: Sachziel der Bestands_Bestellrechnungs_Aufgabe ist die Ermittlung der Bestände und Bestandsbewegungen der Produkte und Verbrauchsobjekte.

Bruttobedarfsrechnungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Sachziel der Bruttobedarfsrechnungs_Aufgabe ist die Ermittlung der Sekundär- und Tertiärbedarfe anhand der anliegenden Primärbedarfe ohne Berücksichtigung der Bestände.

Für den Bruttobedarf gilt:

Bruttobedarf BB für die Dauer des durch die Zeitpunkte t_n und t_{n+1} aufgespannten Zeitintervalls¹⁰⁷ zum Planungszeitpunkt t_0 für eine Klasse von Verbrauchsobjekten:

$$BB(t_0|[t_n; t_{n+1}]) = A(t_0|[t_n; t_{n+1}])^{108}$$

A(t_0|[t_n; t_{n+1}]) Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ geplante Abgänge

Im Gegensatz zur Bruttobedarfsrechnungs_Aufgabe werden zur Erfüllung der Nettobedarfsrechnungs_Aufgabe auch die Bestände berücksichtigt:

Nettobedarfsrechnungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Sachziel der Nettobedarfsrechnungs_Aufgabe ist die Ermittlung der Sekundär- und Tertiärbedarfe anhand der anliegenden Primärbedarfe ohne Berücksichtigung der Bestände.

Für den Nettobedarf gilt:

Nettobedarf NB für die Dauer des durch die Zeitpunkte t_n und t_{n+1} aufgespannten Zeitintervalls zum Planungszeitpunkt t_0 für ein Verbrauchsobjekt:

$$NB(t_0|[t_n; t_{n+1}]) = BB(t_0|[t_n; t_{n+1}]) + RE(t_0|[t_n; t_{n+1}]) - VB(t_0|t_n) - OA(t_0|[t_n; t_{n+1}])$$

BB(t_0|[t_n; t_{n+1}]) Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ geplanter Bruttobedarf

RE(t_0|[t_n; t_{n+1}]) Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ eingeplante Reservierungen

VB(t_0|t_n) Zum Zeitpunkt t_0 für Zeitpunkt t_n berechneter verfügbarer Bestand¹⁰⁹

OA(t_0|[t_n; t_{n+1}]) Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ vergebene (offene) Aufträge

¹⁰⁷ Für den Verlauf der Zeit in dem vorliegenden Kapitel gilt folgende Rahmenbedingung: $t_0 < t_n < t_{n+1} < t_{n+m}$ mit $m >= 2$

¹⁰⁸ Syntax: *Objektfluss je Zeitintervall (Planungszeitpunkt|[Startzeitpunkt des relevanten Zeitintervalls; Endzeitpunkt des relevanten Zeitintervalls])*

¹⁰⁹ Syntax: *Elementmenge je Zeitpunkt (Planungszeitpunkt|Betrachtungszeitpunkt)*

Um die Produktions_Vorgänge zum richtigen Zeitpunkt mit den benötigten Verbrauchs- und Gebrauchsobjekten versorgen zu können, müssen die dafür geplanten Abgänge bzw. Zugänge entsprechend zeitnah festgelegt werden, um ohne große Bestände in den Verbrauchsobjektklassen den reibungslosen Ablauf Produktions_Vorgänge gewährleisten zu können. Dabei muss berücksichtigt werden, dass einem geplanten Zugang zu einem Gebrauchsobjekt in der Regel ein Produktions_Vorgang vorangeht, dessen Durchführung eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt und der daher entsprechend früher begonnen werden muss. Folglich müssen die für diesen Vorgang benötigten Verbrauchselemente wiederum früher bereitgestellt werden.

Zugang [Zeitdomäne]: Ein Zugang fügt einer O-Klasse mögliche Instanzen zu. Wenn in dem betrachteten Zeitintervall kein Abgang an der Klasse anliegt, erhöht sich der Bestand der Klasse.

Abgang [Zeitdomäne]: Ein Abgang entnimmt einer O-Klasse eine bestimmte Menge ihrer Instanzen. Wenn in dem betrachteten Zeitintervall kein Zugang an der Klasse anliegt, sinkt der Bestand der Klasse.

Offener_Auftrag [Zeitdomäne]: Als offene_Aufträge zu einem Planungszeitpunkt t_0 werden durch Beschaffungs_ und/oder Produktions_Aufträge veranlasste Lieferungen/Eigenfertigungen von Gebrauchsobjekten bezeichnet, die im Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ zugehen und zur Deckung des in *diesem* oder *nachfolgenden* Zeitintervall/en auftretenden Bedarfs verwandt werden können.

$OA(t_0|[t_n; t_{n+1}])$ Zum Zeitpunkt t_0 für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ vergebene offene_Aufträge

Ein zugeordneter Bruttobedarf bezeichnet eine Menge von Verbrauchsobjekten, die einer bestimmten Klasse von Produktions_Vorgängen zugewiesen sind. Die Verbrauchsobjektklasse bietet aus Sicht der Vorgangsklasse ein fixiertes Nettoangebot. Dieser Sachverhalt wird bei der Verbrauchsobjektklasse als *Reservierung* bezeichnet. Das Zeitintervall, für welches diese Zusammenhänge Gültigkeit haben, wird als *eingefrorene Zone* bezeichnet.

Reservierung [Zeitdomäne]: Durch das Reservieren von Beständen wird ein Teil des Bestands in einem bestimmten Zeitintervall zu einer *Reservierung*.

Ein reservierter Bestand, der für die Erfüllung eines freigegebenen Auftrags verwendet werden sollte, von diesem jedoch nicht zum geplanten Zeitpunkt abgerufen wurde, wird weiterhin reserviert. Der Bestand kann somit zu einem späteren Zeitpunkt zum verspäteten Erfüllen des Produktions_Auftrags verwendet werden. Wenn jedoch feststeht, dass der Produktions_Auftrag auch in Zukunft nicht mehr erfüllt wird, muss der entsprechende Teil des reservierten Bestands wieder in verfügbaren Bestand

umgebucht werden. Diese Umbuchungen finden häufig zum Zeitpunkt einer Inventur statt.

Der Nettobedarf einer Klasse von Verbrauchsobjekten wird in der eingefrorenen Zone zu einem festen Auftrag. Das Bruttoangebot der vorgelagerten Produktions_Vorgangs-Klasse wird als offener Auftrag bei der empfangenden Verbrauchsobjekt Klasse fest verbucht und gleichzeitig verbindlich zur Ausführung freigegeben (Produktions_Auftrag). Dieser Sachverhalt wird als *Fixierung* bezeichnet. Nettobedarfe außerhalb des als eingefrorene Zone bezeichneten Zeitintervalls können bei jeder Planung geändert werden. Einem freigegebenen Auftrag ist deswegen kein Bedarf mehr zugeordnet, der verändert werden könnte. Dies wird durch die Umbuchung des Bedarfs zu einem offenen Auftrag, der einen fixierten Zugang zu einer Verbrauchsobjekt Klasse festlegt, erreicht (vgl. Abbildung 5-7¹¹⁰).

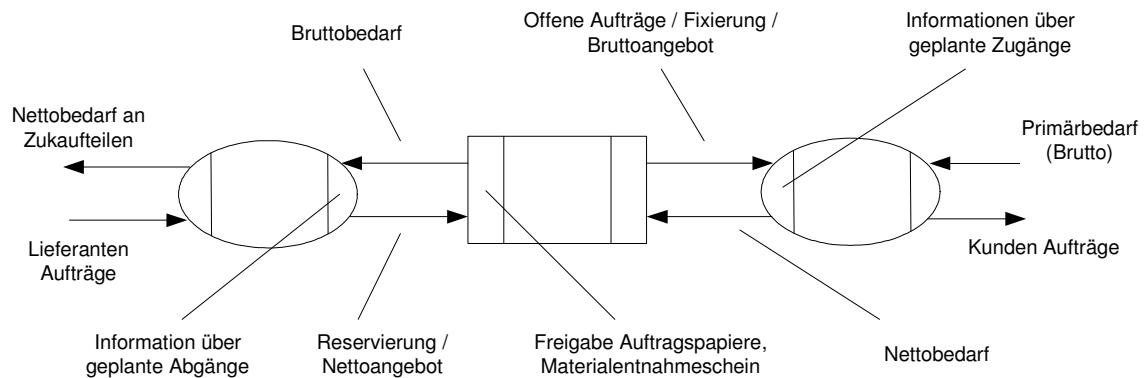


Abbildung 5-7: Begriffliche Einordnung

In Abbildung 5-8 ist der angenommene Verlauf des Flusses der Objekte an einer Verbrauchsobjekt Klasse zwischen zwei Zeitpunkten dargestellt. Im Regelfall kann von einem über die Dauer des Zeitintervalls verteilten Abgangs der zur Deckung des Bruttobedarfs benötigten Verbrauchsobjekte ausgegangen werden. Daher können zu dessen Deckung vorgesehene Beschaffungs_Aufträge in dem gleichen Zeitintervall eingeplant werden¹¹¹.

¹¹⁰ vgl. [Ruet04, S. 154ff.]

¹¹¹ Hier gilt: $(PB(t_n) + OA[t_n; t_{n+1}]) \geq BB[t_n; t_{n+1}]$; daraus folgt, dass der geplante Vorgang welcher, die den Bruttobedarf generierenden Verbrauchsobjekte benötigt, zum Zeitpunkt t_n beginnen kann.

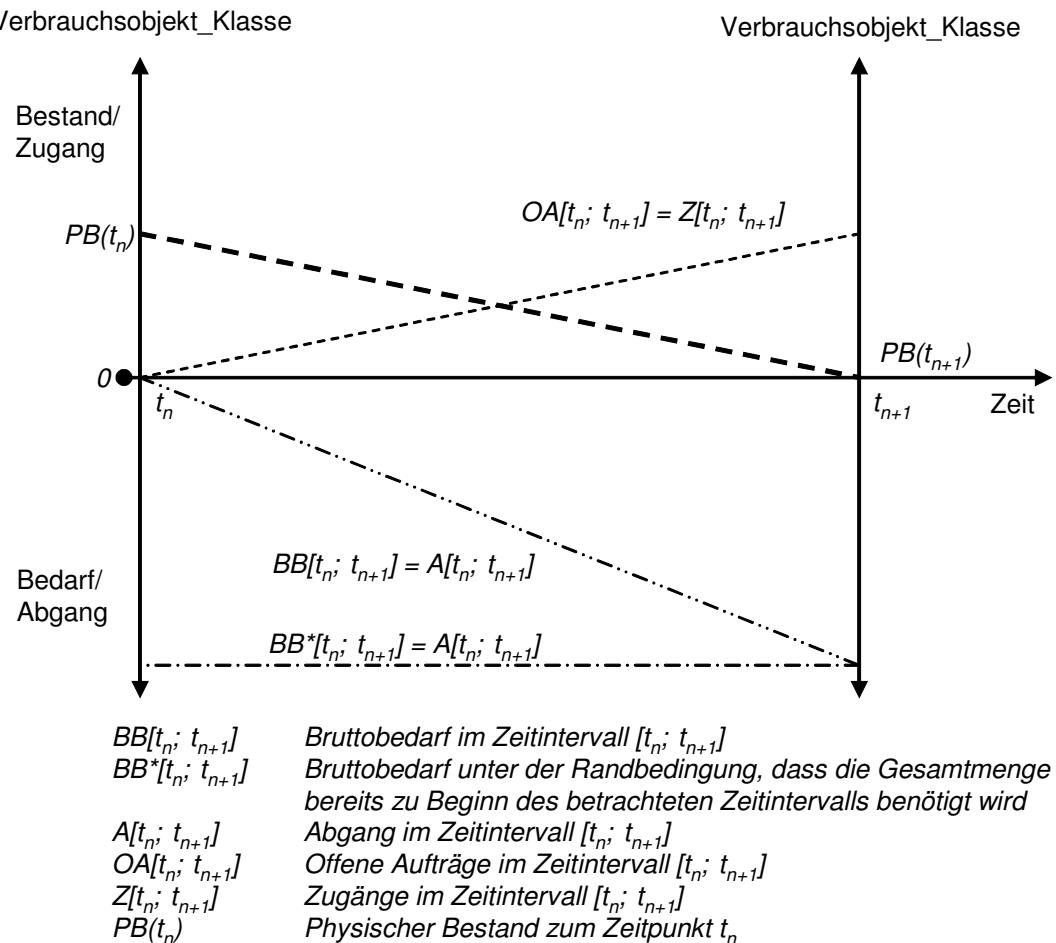


Abbildung 5-8: Zugänge und Abgänge in einem Zeitintervall

Falls in dem betrachteten Ausschnitt eines Produktionssystems vor Beginn eines Produktions_Vorgangs bereits die *Gesamtmenge* der zu verarbeitenden Verbrauchsobjekte benötigt wird, müssen die Beschaffungs-/Produktions_Aufträge entsprechend früher erfüllt werden. Der in Abbildung 5-8 dargestellte Verlauf verliert für diesen Sonderfall seine Gültigkeit. Der für das Zeitintervall $[t_n; t_{n+1}]$ anliegende Bruttobedarf muss dann als zur Abszisse parallel verlaufende Gerade ($BB^*[t_n; t_{n+1}]$) dargestellt werden und ließe sich auf diese Weise in der abgebildeten Situation nicht decken, da die benötigte Gesamtmenge der Verbrauchsobjekte erst am Ende des Zeitintervalls durch die vollständige Erfüllung des offenen Auftrags $OA[t_n; t_{n+1}]$ zum Zeitpunkt t_{n+1} zur Verfügung steht¹¹².

In Abbildung 5-9 sind die zuvor eingeführten Größen beispielhaft berechnet worden. Dabei wurden der Primärbedarf und der Sicherheitsbestand innerhalb *aller* Zeit-

¹¹² Hier gilt: $PB(t_n) < BB[t_n; t_{n+1}]$; daraus folgt, dass der geplante Prozess welcher, die den Bruttobedarf generierenden Verbrauchsobjekte benötigt, nicht zum Zeitpunkt t_n beginnen kann.

intervalle, der physische Bestand zum Ist-Zeitpunkt t_1 und die Reservierungen für das Zeitintervall I vorgegeben. Die Zustände wurden im linken Teil der Grafik für den Zeitpunkt t_1 beschrieben, wobei bereits alle Ereignisse für den Zeitpunkt t_1 eingetreten sind.

- Ab Zeitpunkt t_1 gültige Zustände
- Ereignisse für Zeitpunkt t_1 sind eingetreten

O-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	O-Klasse o_2
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Qualitative_Kapazität_Klasse ql_2	$\{vo_1\}$
Quantitative_Kapazität_Instanz	1
Bestand bo_2/bo_2Max	25/100
Zeitdomäne	Tabelle "Zeitdomäne o_2 "

VO-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	1
Bezeichnung	VO-Klasse vo_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	25
Beteiligte_O-Klassen (kann)	$\{o_1, o_2\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in ql_1(t_1)) - 1 \text{ UND}$ $b_{o2}(t_2) < bo_2Max$
Bedingungen	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in ql_1(t_1)) \geq 1 \text{ UND}$ $b_{o2}(t_2) < bo_2Max$
Zeitdomäne	Tabelle "Zeitdomäne vo_1 "
Dauer	1 ZE

Zeitdomäne o_2					
Zeitpunkt	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Zeitintervall	1	2	3	4	5
Primärbedarf	0	10	15	10	15
Reservierung	15				
Sicherheitsbestand	10	10	10	10	10
Berechneter Physischer Bestand	25	10	25	10	0
Offene Aufträge	15				
verfügbarer Bestand	15	0	15	0	0
Nettobedarf	0	0	0	10	15

Zeitdomäne vo_1					
Zeitpunkt	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Ende geplanter Vorgänge	0	0	0	10	15
Beginn geplanter Vorgänge	0	0	10	15	0
Ende freigegebener Vorgänge	0	25	0	0	0
Beginn freigegebener Vorgänge	25	0	0	0	0

Zeitdomäne o_1					
Zeitpunkt	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5
Zeitintervall	1	2	3	4	5
Primärbedarf	0	0	10	15	0
Reservierung	25	0	0	0	0
Sicherheitsbestand	10	10	10	10	10
Berechneter Physischer Bestand	25	10	10	0	0
Offene Aufträge	10				
verfügbarer Bestand	15	0	15	0	0
Nettobedarf	0	0	10	15	0

O-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	O-Klasse o_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Qualitative_Kapazität_Klasse ql_1	$\{vo_1\}$
Quantitative_Kapazität_Instanz	1
Bestand bo_1/bo_1Max	25/100
Zeitdomäne	Tabelle "Zeitdomäne o_1 "

Abbildung 5-9: Bestimmung der nettobedarfsdeckenden Aufträge

5.2.5.2 Terminplanung

Nachdem die Mengenplanungs_Aufgabe erfüllt wurde, müssen im Rahmen der Terminplanung Aussagen über die Eintretenszeitpunkte der Ereignisse (z.B. Beginn- und Ende der zur Bereitstellung des in der Mengenplanungs_Aufgabe bestimmten Umfangs an Verbrauchsobjekte notwendigen Produktions_Vorgänge) innerhalb der (Gesamt-)Zeitdomäne des Produktionssystems getroffen werden.

Terminplanungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Sachziel der Erfüllung der Terminplanungs_Aufgabe ist die Ermittlung der Zeitpunkte, zu denen die Vorgänge innerhalb des Produktionssystems beginnen und enden müssen, damit der Primärbedarf befriedigt werden kann. Die Terminplanungs_Aufgabe nutzt die Ergebnisse der Mengenplanungs_Aufgabe.

Im Rahmen der Terminplanung kann u.a. zwischen drei Methoden - der Vorwärts-, Rückwärts- oder Mittelpunktterminierung - unterschieden werden¹¹³. Bei der Vorwärtsterminierung wird ausgehend von einem fixen Startzeitpunkt der früheste Endzeitpunkt eines Produktionsablaufs berechnet. Die Vorwärtsterminierung wird z.B. angewandt, wenn Eilaufträge zum frühestmöglichen Zeitpunkt produziert werden sollen oder wenn für die Erstellung eines Angebots der frühestmögliche Endtermin bestimmt werden soll.

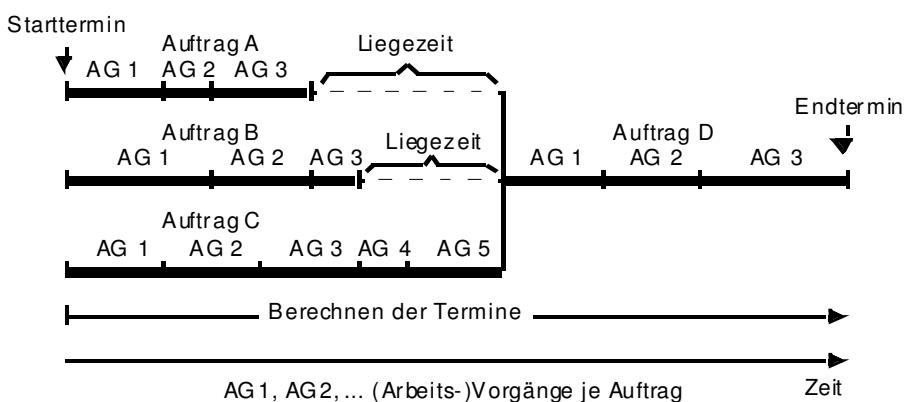


Abbildung 5-10: Vorwärtsterminierung

Bei der Rückwärtsterminierung wird vom Endzeitpunkt des letzten Produktions_Vorgangs ausgehend über die dazwischen liegenden Produktions_Vorgänge der Startzeitpunkt des ersten Produktions_Vorgangs ermittelt. Die Rückwärtsterminierung wird eingesetzt, wenn die Endzeitpunkte vorgegeben sind.

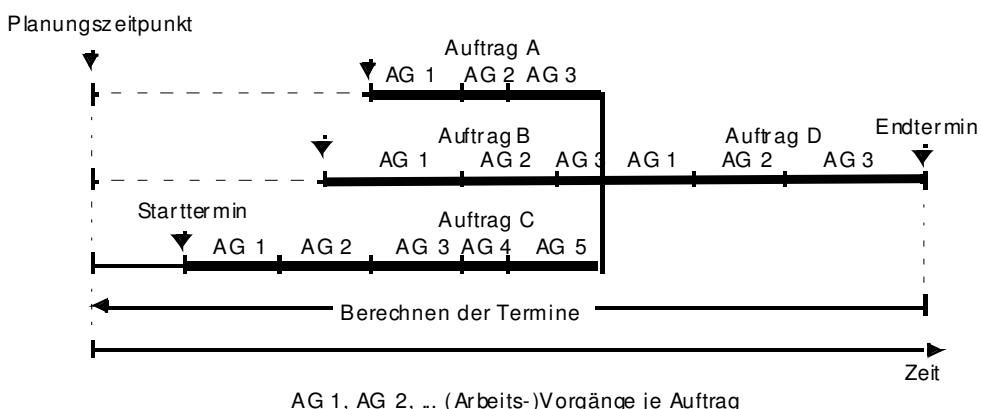


Abbildung 5-11: Rückwärtsterminierung

Bei der Mittelpunktterminierung wird von einem Mittelpunktzeitpunkt ausgegangen. Von diesem Zeitpunkt aus wird in die Zukunft eine Vorwärtsterminierung und in die Vergangenheit eine Rückwärtsterminierung vorgenommen. Mit einer Mittelpunktterminierung ist es möglich, bei einem beliebigen Produktions_Vorgang (z.B. für Vorgänge, die in dem Produktionsablauf einen Engpass aufgrund von limitierten Kapazitäten der Gebrauchsobjekte bilden) aufzusetzen. Für diesen Produktions_Vorgang kann ein fixer Zeitpunkt festgelegt werden.

Im Rahmen der Erfüllung der Terminplanungs_Aufgabe werden verschiedene Begrifflichkeiten für bestimmte Zeitintervalle eingesetzt. Der nachfolgend beschriebene Auszug dieser soll dem Grundbestand der Domänenontologie hinzugefügt werden.

Bearbeitungszeit [Zeitintervall]: Das die Bearbeitungszeit eines Produktions_Vorgangs bildende Zeitintervall wird durch den Start- und Endzeitpunkt des Vorgangs aufgespannt.

Bearbeitungswartezeit [Zeitintervall]: Die Bearbeitungswartezeit ist das durch die Wartezeit vor dem eigentlichen Startzeitpunkt eines Produktions_Vorgangs entstehende Zeitintervall.

Transportwartezeit [Zeitintervall]: Die Transportwartezeit ist das durch die Wartezeit vor dem eigentlichen Startzeitpunkt eines Transport_Vorgangs entstehende Zeitintervall.

Transportzeit [Zeitintervall]: Die Transportzeit ist die Länge des Zeitintervalls, das durch die Ereignisse Vorgangsbeginn und Vorgangsende eines Transport_Vorgangs (z.B. zwischen zwei produktionstechnisch aufeinander folgenden Produktions_Vorgängen) aufgespannt wird.

Übergangszeit [Zeitintervall]: Die Übergangszeit setzt sich aus der Bearbeitungswartezeit, Transportwartezeit und Transportzeit zusammen.

Vorgangszeit [Zeitintervall]: Unter der Vorgangszeit versteht man das Zeitintervall vom Beginn eines Produktions_Vorgangs bis zum Eintreffen der durch diesen generierten Verbrauchsobjekte beim nachfolgenden Produktions_Vorgang. Dieses Zeitintervall setzt sich aus der Bearbeitungszeit und der Übergangszeit zusammen¹¹⁴.

¹¹³ Vgl. [Univ72]

¹¹⁴ Vgl. [Univ72]

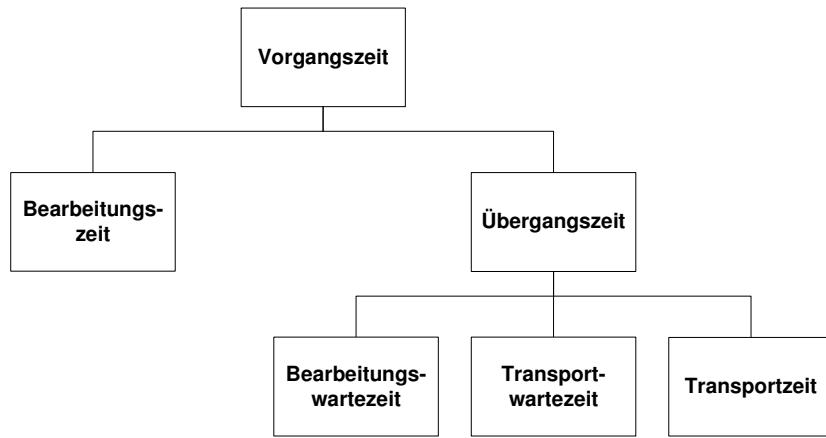


Abbildung 5-12: Zusammensetzung der Vorgangszeit

Durchlaufzeit [Zeitintervall]: Die Durchlaufzeit ist das Zeitintervall vom Beginn des ersten Produktions_Vorgangs bis zum Abschluss des letzten Produktions_Vorgangs eines Gebrauchsobjekts (üblicherweise entsteht am Ende einer derartigen Kette von Produktions_Vorgänge ein Erzeugnis). Sie setzt sich aus den einzelnen Zeitintervallen der Produktions_Vorgänge zusammen. Besteht das zu fertigende Verbrauchsobjekt aus mehreren Gruppen, so resultiert die Durchlaufzeit aus dem zeitlich gesehen längsten Teil-Ast.

5.2.5.3 Kapazitätsplanung

In der Kapazitätsplanung sind Start- und Endzeitpunkte eines Produktions_Auftrags sowie die Zwischentermine (Anfangs- und Endzeitpunkte) der einzelnen Produktions_Vorgänge unter Berücksichtigung eines begrenzten Kapazitätsangebots der Gebrauchs- und Verbrauchsobjekte festzulegen.

Kapazitätsplanungs_Aufgabe [AF-Klasse]: Durch die Erfüllung der Kapazitätsplanungs_Aufgabe sollen die im Rahmen der Terminplanungs_Aufgabe festgelegten Start- und Endtermine unter Berücksichtigung der quantitativen_Kapazitäten der Gebrauchsobjekte bestätigt werden. Ist die Einhaltung der Zeitpunkte mit den vorhandenen quantitativen_Kapazitäten nicht möglich, muss die Terminplanungs_Aufgabe unter Berücksichtigung der festgestellten Schwierigkeiten erneut angestoßen werden.

Alternativ zur erneuten Durchführung der Terminplanungs_Aufgabe im Fall von festgestellten Engpässen können die vorhandenen Kapazitäten aufgestockt werden. Nachdem die Kapazitätsplanungs_Aufgabe erfüllt wurde, stehen die Belegungen der Gebrauchsobjekte fest. Die Zuordnung der quantitativen_Kapazität zu durchzu-

führenden Produktions_Vorgängen wird in den Zeitdomänen der Gebrauchsobjekte festgehalten. Auf diese Weise entstehen Mitarbeiter- und Maschinenbelegungspläne.

Mitarbeiterbelegungsplan: [Zeitdomäne]: Der Mitarbeiterbelegungsplan gibt an, wann ein Mitarbeiter an welchem Produktions_Vorgang beteiligt ist. Es werden jeweils die Ereignisse, die die Start- und Endzeitpunkte dieser bilden, festgehalten.

Maschinenbelegungsplan [Zeitdomäne]: Der Maschinenbelegungsplan gibt an, wann eine Maschine an welchem Produktions_Vorgang beteiligt ist. Es werden jeweils die Ereignisse, die die Start- und Endzeitpunkte dieser bilden, festgehalten.

5.2.6 Hierarchischer Aufbau der Ontologie

Nachdem in den vorangegangenen Abschnitten die auf der Basisontologie aufbauende Domänenontologie vorgestellt wurde, soll die entstandene hierarchische Struktur der Gesamtontologie veranschaulicht werden. Die in Abbildung 5-13 zu sehende Struktur der Ontologie ist wie zuvor beschrieben durch die mehrfache Vererbung und die Bildung disjunkter Sub-Klassen entstanden.

Die in der Abbildung grau hinterlegte, durch die Klassen der Basisontologie gebildete, oberste Hierarchieebene diente dabei als nicht zu erweiternde Grundlage. Die eingezeichneten Linien von einer Klasse der Basisontologie zu einer Klasse der Domänenontologie beschreiben immer eine „*ist ein*“ Beziehung. D.h. z.B., dass eine Beschaffungs_Aufgabe eine Aufgabe ist. Die auf einer Ebene unter einer Klasse befindlichen Klassen sind zudem disjunkt. D.h. z.B., dass eine Beschaffungs_Aufgabe keine Produktions_Aufgabe ist. Bei einer zukünftigen Erweiterung der Ontologie um weitere Klassen der Domänenontologie müssen diese Regeln beachtet werden, um die strukturelle Integrität der Ontologie zu wahren.

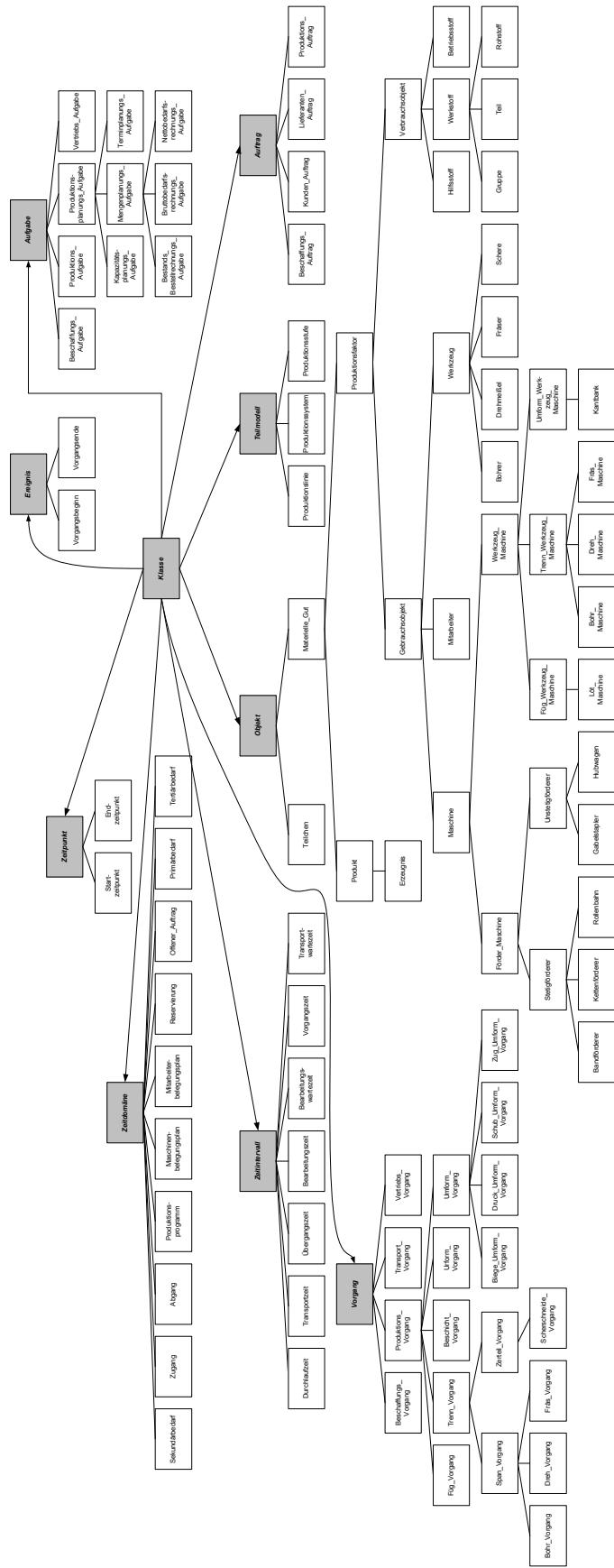


Abbildung 5-13: Hierarchischer Aufbau der Ontologie

Die Beziehungen der Klassen untereinander können den jeweiligen Definitionen entnommen werden. Die Abhängigkeiten entstehen durch die vorgegebenen sowie optionalen Ausprägungen der Attribute. Zu jeder VO-Klasse kann beispielsweise innerhalb des Attributs `Beteiligte_O-Klassen` ein Set von O-Klassen bestimmt werden, zu denen diese Klasse in Beziehung steht (stehen kann). Diese Art der Relationen wurden in Kapitel 5.1 bereits erläutert. Die dort geschilderten Abhängigkeiten gelten in dieser Form auch für die Klassen der Domänenontologie.

Mit Hilfe der Ontologie kann ein Produktionssystem beschrieben werden, indem die reale Situation anhand der Klassenbezeichnungen, -bedeutungen und Attributausprägungen in die Terminologie der Ontologie übersetzt wird. Zunächst muss entschieden werden, um welchen Typ von Klasse es sich bei einem realen Konstrukt handelt. Anschließend wird dieser Klassentyp einer Klasse der Basisontologie zugeordnet. Daraufhin wird anhand der dieser unterstellten Klassen der Domänenontologie eine geeignete ausgewählt. Falls noch keine entsprechende Klasse definiert wurde, muss die Domänenontologie an dieser Stelle um eine entsprechende Klasse erweitert werden.

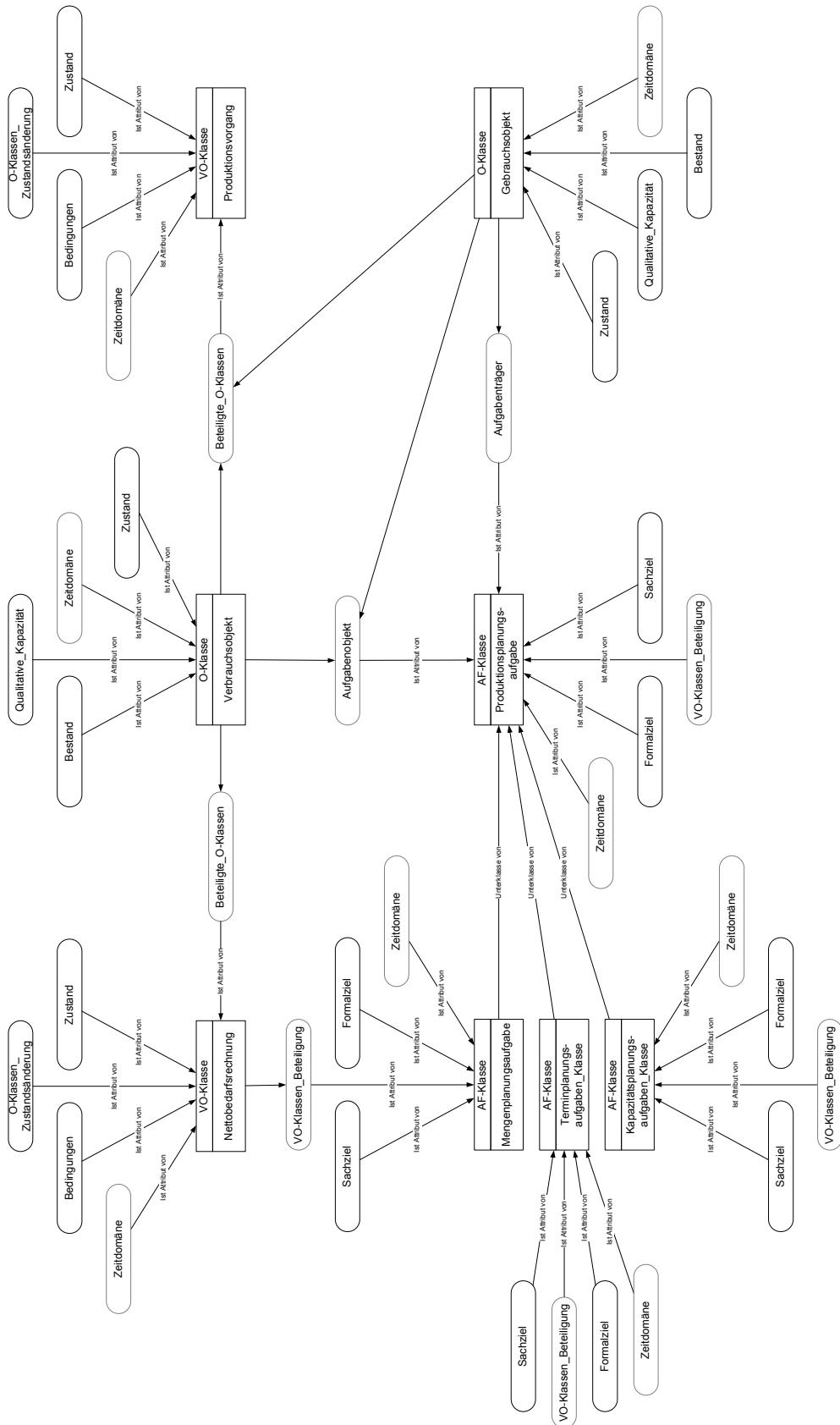
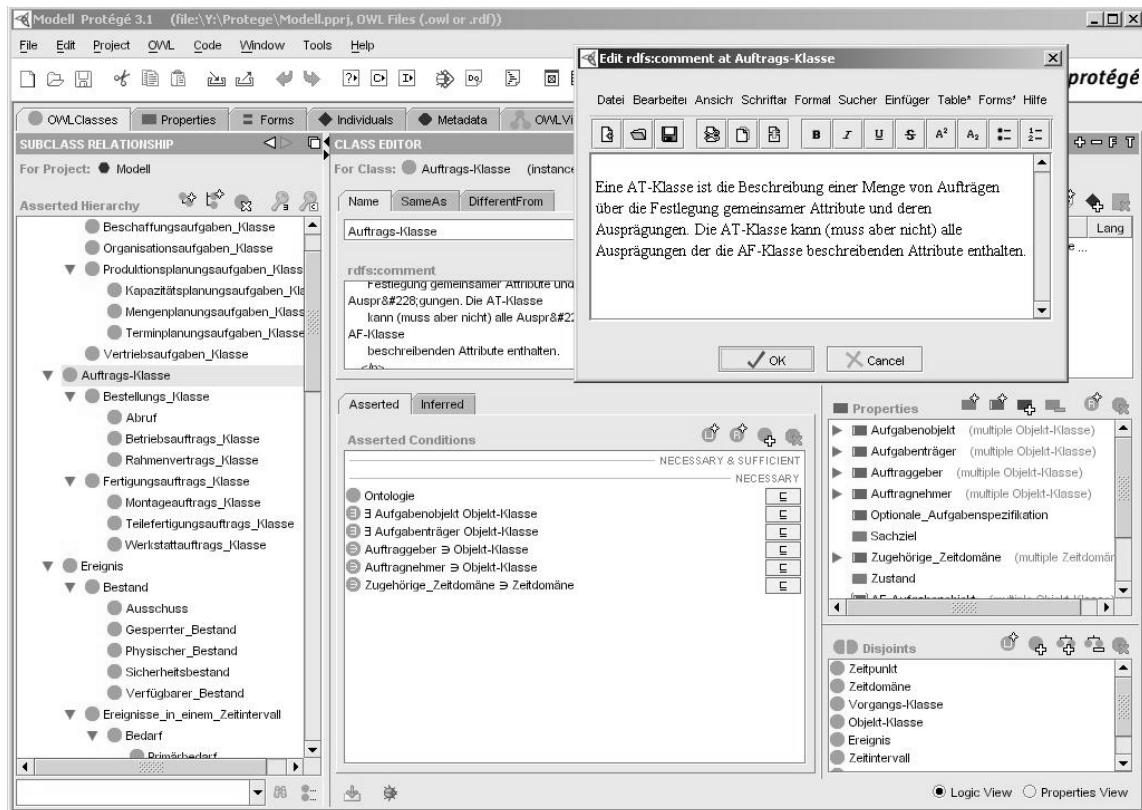


Abbildung 5-14: Relationen zwischen ausgewählten Klassen

5.2.7 Elektronische Erfassung der Ontologie

Um die erstellte Ontologie interessierten potenziellen Nutzern zur Verfügung zu stellen kann die Ontologie in einem gängigen Ontologietool erfasst werden. Für diesen Zweck ist das Tool Protégé¹¹⁵ prädestiniert. Protégé ist eine auf Java basierende Entwicklungs-umgebung für Ontologien und andere wissensbasierte Systeme. Mit dem Tool lassen sich Ontologien vollständig, d.h. einschließlich aller Klassen, Instanzen, Relationen und Attribute, erfassen. Es kann durch zahlreiche Plug-Ins beliebig erweitert werden. Auf diese Weise kann es dazu genutzt werden, die übertragenen Ontologien in der formalen Beschreibungssprache *Web Ontology Language (OWL)* auszugeben. In OWL kann die Ontologie publiziert und verteilt werden und kann somit von anderen Entwicklern als Grundlage oder zu Zwecken der Erweiterung bestehender Ontologien genutzt werden.

Abbildung 5-15 zeigt die Hauptmaske der Entwicklungsumgebung mit der Hierarchieansicht der Klassen links und verschiedenen Listenansichten in der Mitte und rechts. Das oberste Eingabefeld in der Mitte benennt die ausgewählte Klasse, darunter befindet sich ein Textfeld zur Eingabe eines Kommentars im HTML-Format. Die Liste in der Mitte der Maske gibt eine Übersicht der über Attribute festgelegten Beziehungen der ausgewählten Klasse zu anderen Klassen der Ontologie.



¹¹⁵ Download unter: <http://protege.stanford.edu/>

Abbildung 5-15: Screenshot der in Protégé erfassten Gesamtontologie

Die in den vorangegangenen Kapiteln vorgestellten Klassen der Ontologie wurden in Protégé hinterlegt und in den verschiedenen Formaten ausgeleitet. Auf diese Weise kann die Ontologie durch verschiedenen Nutzer angewendet und erweitert werden. Im Anhang der Arbeit befindet sich in Abbildung 11-3 ein Auszug der Ontologie im OWL Format. Die Inhalte lassen sich durch die Nutzung der allgemeingültigen Ontologiesprache in andere Anwendungen importieren.

5.3 Entwicklung eines ontologiebasierten Modells zur Beschreibung der Abläufe in einem Produktionssystem

Nachdem in den vorangegangenen Kapiteln zunächst eine Basis- und Domänenontologie entwickelt wurde, folgt in diesem Kapitel der Entwurf einer auf der Ontologie aufbauenden Modellierungsmethode.

Für die im Rahmen der Basisontologie aufgestellten Klassen sollen geeignete Modellkonstrukte gefunden werden. Grundlage der Modellierungsmethode bilden die verschiedenen in Kapitel 3.2 vorgestellten Arten von Stellen-/Transitionsnetzen sowie der MFert Ansatz. Für den vorgesehenen Anwendungszweck sind zeitbehaftete, hierarchische, interpretierte, individuelle und nicht individuelle Netze zu berücksichtigen. Eine Übersicht über die Eigenschaften der zu berücksichtigenden Netztypen bietet Tabelle 5-4.

Zeitbehaftete Netze werden benötigt, um asynchrone Vorgänge abzubilden. Ein Produktionssystem ist ein komplexes System, in dem zahlreiche zeitlich parallele Prozesse unterschiedliche Vorgangslaufzeiten aufweisen. Um die Komplexität des Modells eines solchen Systems auf ein für den Betrachter überschaubares Maß zu reduzieren, sollen Teilmodelle gebildet werden können. Diese Möglichkeit bieten hierarchische Netze. Um die Komplexität des Netzes weiter zu reduzieren, sollen ähnliche Stellen und Transitionen nach Bedarf durch Stellen und Transitionen, die unterschiedliche Marken enthalten dürfen, ersetzt werden. Die Attributierung wird in diesem Fall von der Klassenebene (Stellen und Transitionen) auf die Instanzenebene (Marken) verlagert. Auf Klassenebene werden in diesem Fall lediglich Mengen beschrieben, innerhalb derer sich die tatsächlichen Attributausprägungen der Instanzen bewegen dürfen, um die Klassenzugehörigkeit zu wahren. Nur Elemente, bei denen alle Ausprägungen ihrer Attribute Teil der für die Klasse vorgegeben Mengen sind, können als Instanz der entsprechenden Klasse bezeichnet werden. Im Gegensatz zu den Netzen mit individuellen Marken erfolgt die Attributierung bei Netzen ohne individuelle

Marken auf Klassenebene, d.h., dass alle Instanzen der Klasse die gleichen Attributausprägungen aufweisen.

Tabelle 5-4: Modellleistungsmerkmale

	Netz ohne individuelle Marken	Netz mit individuellen Marken
Stellen-Parameter	x	x
Transitions-Parameter	x	x
Kanten-Parameter	x	x
Marken-Parameter		x
Zeitparameter	x	x
Hierarchischer Aufbau	x	x

In den nachfolgenden Ausführungen werden die Knotentypen jeweils für die Verwendung mit und ohne individuelle Marken beschrieben. Wann welche Netzart zum Einsatz kommt, hängt von der abzubildenden Situation ab.

Definiert wird das aufzustellende Modell durch das in Tabelle 5-5 aufgeschlüsselte 9-Tupel:

$$\begin{aligned}
 OIM &:= \{P, T, F, A, K, \tau, \mathfrak{R}, DO, m_0\} \text{ mit} \\
 &\text{der Modellbeschriftung } A = \{A_P, A_T, A_F\} \text{ und} \\
 &\text{der Modellstruktur } \mathfrak{R} = \{D, f, r\} \text{ und} \\
 &\text{der Domänenontologie } DO := \{DK, DB, A, BK, T\} \text{ (vgl. 5.2)}
 \end{aligned}$$

Tabelle 5-5: Komponenten des ontologiebasierten Modells

Komponente	Beschreibung
P	Menge der Stellen
A	Beschriftung des Modells
A_P	Beschriftung der Stellen
A_T	Beschriftung der Transitionen
A_F	Kantenbeschriftung
T	Menge der Transitionen mit $P \cap T = \{\} \wedge P \cup T \neq \{\}$
$F : (P \times T) \cup (T \times P) \rightarrow \{0,1\}$	Kanten

$K : P \rightarrow N_0^{A_p}$	Stellenkapazität
\mathfrak{R}	Modellstruktur
D	Menge der Attributausprägungen
f	Menge der mathematischen Funktionen
r	Menge der Relationen zwischen Stellen und Attributen
τ	Zeitdomänen $\tau : P, T \rightarrow Z$ Z ist die Menge gültiger Zeitpunkte
$m_0 : P \rightarrow N_0^{A_p}$	Anfangsmarkierung

Eine vollständige formale Definition von interpretierten Stellen-/Transitionsnetzen liefern Leszak und Eggert¹¹⁶. Die O-Klassen, AF-Klassen und AT-Klassen bilden die Menge der drei vorkommenden Stellentypen. Der Stellentyp ist Teil der Beschriftung A_p einer Stelle. Die weiteren modellrelevanten Attribute der Stellen werden ebenfalls als Stellenbeschriftung festgehalten. Die Transitionen eines Modells werden durch die Menge vorkommender VO-Klassen gebildet. Die festgelegten Bedingungen und Regeln, die den Ablauf eines Vorgangs beschreiben, werden in Form der Transitionsbeschriftungen abgelegt. Die Beschriftung einer Marke ist eine Teilmenge von A_p (*bei einer Stelle*) bzw. A_T (*bei einer Transition*). In welcher Form die in der Ontologie beschriebenen Klassen in dem Modell berücksichtigt werden, wird in den nachfolgenden Kapiteln erörtert.

5.3.1 Objektorientierte Klassen

Eine O-Klasse lässt sich durch eine in Form einer dreigeteilten Ellipse visualisierten Stelle im Modell abbilden (siehe Abbildung 5-16 und Abbildung 5-17). Das Symbol wird durch eine eindeutige Bezeichnung der O-Klasse beschriftet. Die drei Bereiche innerhalb der Ellipse entsprechen dem Zugang, der Mitte und dem Abgang der Stelle. Eine Instanz einer O-Klasse, also ein Objekt, wird durch eine Marke repräsentiert. Die Stellen und deren Marken lassen sich grundsätzlich auf zwei verschiedene Weisen beschreiben.

Zum einen können alle Objekte einer Klasse identische Attributausprägungen haben. In diesem Fall lassen sich die Objekte nicht voneinander unterscheiden. Daraus folgt, dass auch die Marken innerhalb der Stelle nicht unterschiedlich sind. Um die Komplexität der Darstellung des Modells durch eine geringere Anzahl von Stellen reduzieren zu können, bietet es sich an, mit gefärbten Marken zu arbeiten. In diesem Fall können sich die Objekte einer Klasse durch ihre Attributausprägungen von einander unterscheiden.

¹¹⁶ Siehe [LeEg88]

In einem Netz mit gefärbten Marken findet die Attributierung auf der Ebene der Instanzen, hier also auf der Objektebene statt. Die Objekte einer O-Klasse unterscheiden sich innerhalb der Mengen der möglichen Attributausprägungen voneinander (siehe Abbildung 5-16). Objekte einer O-Klasse, die sich in einer oder mehreren Attributausprägungen (innerhalb der für die Klasse gültigen Menge der Ausprägungen) signifikant unterscheiden, können so durch unterschiedlich gefärbte Marken innerhalb der Stelle unterschieden werden. Die den aktuellen Zustand der O-Klasse bzw. des Objekts beschreibenden Tabellen enthalten die in der Basisontologie hinterlegten Attribute mit den entsprechenden Ausprägungen zum Betrachtungszeitpunkt t_1 . Neben den Attributen werden eine eindeutige Klassenbezeichnung und ein Link zur entsprechenden Definition in der Ontologie vorgesehen. Die Zeitdomäne des Objekts enthält Informationen über vergangene, aktuelle und zukünftig geplante Ereignisse, in die das Objekt involviert ist. In dem Beispiel werden Daten zu der geplanten Belegung des Objekts im Zeitintervall t_2 bis t_3 mit dem Vorgang $vo_1,1$ der VO-Klasse vo_1 festgehalten.

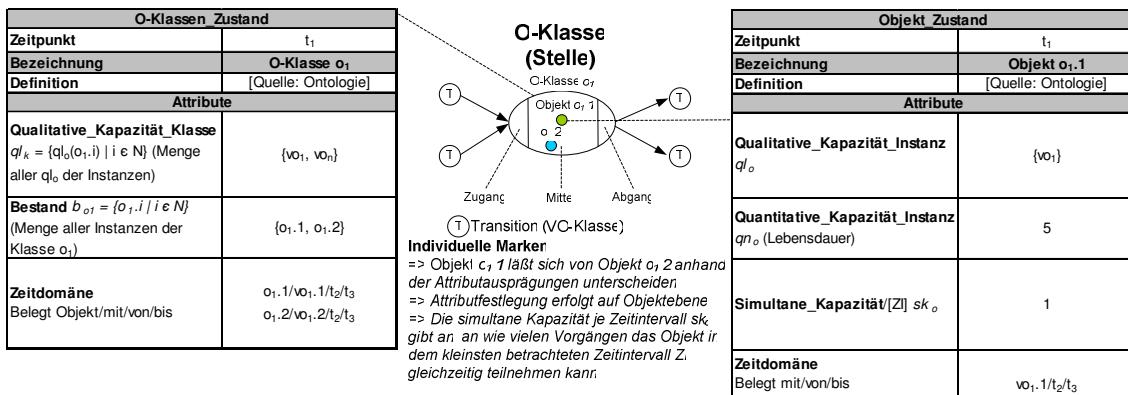


Abbildung 5-16: O-Klasse und Objekt (Individuelle Marken)

In einem Netz mit einfarbigen, also nichtindividuellen Marken findet die Attributierung auf der Ebene der Klassen, hier also der O-Klassen, statt. Die Objekte einer O-Klasse unterscheiden sich in diesem Fall nicht voneinander (siehe Abbildung 5-17). Dargestellt werden kann mit einfarbigen Netzen das Gleiche (kein Unterschied in der Ausdrucksstärke zwischen den beiden Modellarten (einfarbig/mehrfarbig)). Wenn ein gefärbtes Netz jedoch in ein nicht gefärbtes Netz gewandelt werden soll, muss für jede mögliche Farbe einer Marke einer Stelle eine zusätzliche Stelle in dem ungefärbten Netz erstellt werden. Dadurch verliert das Gesamtmodell an Übersichtlichkeit für den Betrachter. Die Komplexität der einzelnen Stellen an sich ist jedoch geringer, da weniger Bedingungen aufgrund der Gleichartigkeit der Marken zu berücksichtigen sind.

O-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	O-Klasse o_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Qualitative_Kapazität_Klasse $q'_{lk} (q'_{lk} = q'_{lo})$	$\{vo_1, vo_n\}$
Quantitative_Kapazität_Instanz qn_o (gilt für alle Instanzen der Klasse)	1
Bestand $b_{o_1}/b_{o_1}Max$ $b_{o_1} = \sum o_{1,i} \text{ mit } i \in N$ ($b_{o_1}Max$: maximal mgl. Bestand der Klasse o_1)	2/15
Zeitdomäne Belegt Objekt/mit/von/bis	$o_{1,1}/vo_1, 1/t_2/t_3$ $o_{1,2}/vo_1, 2/t_2/t_3$

O-Klasse (Stelle)

Keine individuellen Marken:

- => Objekt $o_{1,1}$ lässt sich nicht von Objekt $o_{1,2}$ unterscheiden
- => Attributfestlegung erfolgt ausschließlich auf Klassenebene
- => Quantitative Kapazität aller Instanzen der Klasse immer gleich (entweder für alle 1 oder für alle unendlich)
- => Die simultane Kapazität je Zeitintervall sk_o gibt an, an wie vielen Vorgängen das Objekt in dem kleinsten betrachteten Zeitintervall ZI gleichzeitig teilnehmen kann. Im Rahmen der Terminplanung wird das Zeitmodell üblicherweise so gestaltet, dass $sk_o = 1$ ist, d.h., in ZI findet nur ein Vorgang je Objekt $o_{1,i}$ der Klasse o_1 statt. Bei einer Betrachtung im Sinne einer Mengenplanung, können innerhalb von ZI mehrere Vorgänge ohne näher bestimmbarer Start- und Endzeitpunkte je Objekt stattfinden. sk_o kann daher in Abhängigkeit von der Leistungsfähigkeit des Objekts >1 sein.

Objekt Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Objekt $o_1,1$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Simultane_Kapazität/Zl sk_o	1
Zeitdomäne Belegt Objekt/mit/von/bis	$vo_1,1/t_2/t_3$

Abbildung 5-17: O-Klasse und Objekt (Nichtindividuelle Marken)

Neben den beschriebenen Attributen werden der Betrachtungszeitpunkt, eine eindeutige Klassenbezeichnung und ein Link zur entsprechenden Definition in der Ontologie vorgesehen. Nicht nur die Klasse an sich wird durch Attribute gekennzeichnet. Auch die Objekte selbst sind analog zu den Definitionen in der Basisontologie durch bestimmte Attribute beschreibbar:

Der Strom der Objekte durch die Stelle findet bei beiden Modellvarianten über die drei Bereiche statt. In den Zugang treten Marken über die angeschlossenen gerichteten Kanten in die Stelle ein. Durch die Bündelung der Objekte in dem Bereich Zugang lässt sich eine Aussage über die Summe aller Zugänge in bestimmten Zeitintervallen an der Stelle treffen. Die Zugänge erhöhen den bereits in der Mitte der Stelle befindlichen Bestand an Objekten. Über wegführende Kanten können die Marken die Stelle wieder verlassen. Die Gesamtheit dieser Objekte wird im Abgang erfasst. Die Kanten verbinden die Stelle ausschließlich mit Transitionen. Die Transitionen entsprechen den VO-Klassen.

Jeder O-Klasse lassen sich die in der Basisontologie definierten Attribute zuordnen. Da im Rahmen des Modells die Inhalte der hinterlegten Domänenontologie für die einzelnen eingesetzten Klassen bzw. Objekte in dem Modell abrufbar sein sollen, müssen diese Informationen zu den entsprechenden Repräsentationsobjekten hinterlegt werden. Diese Informationen lassen sich im Kopf der entsprechenden Zustandstabelle festhalten (Ontologielink über den Punkt *Definition* in Abbildung 5-16).

5.3.2 Zeitorientierte Klassen

Bereits in der Basisontologie wurde einhergehend mit den Definitionen festgelegt, dass die einzelnen Klassen über eigene Zeitdomänen verfügen. Die Zeitdomänen der aus der Ontologie abgeleiteten Modellbausteine fungieren als mindestens für die Klassen- und Instanzlebensdauer gültiger Kalender. Sämtliche Zeitdomänen innerhalb des Modells bedienen sich eines diskreten Zeitmodells. Um die Ereignisse an den unterschiedlichen Klassen eines abgebildeten Systems zueinander in einen zeitlichen Bezug setzen zu können, wird ein übergeordneter Kalender benötigt. Dieser wurde bereits im Rahmen der Ontologie in Kapitel 5.1.2 beschrieben. In diesen übergeordneten Kalender müssen sich alle Zeitdomänen einordnen lassen. D.h., dass die kleinste vorkommende Zeiteinheit die Grundzeiteinheit des übergeordneten Kalenders bildet.

Um die innerhalb einer Produktion vorkommenden asynchronen Prozesse durch verschiedenste VO-Klassen und den darin stattfindenden Vorgängen modellieren zu können, müssen den Transitionen im nächsten Kapitel unterschiedlich lange Schaltzeitdauern zugeordnet werden. Durch diese Festlegung lassen sich den einzelnen Vorgängen entsprechend des abzubildenden Systems vorgegebene Vorgangsdauern zuordnen.

5.3.3 Verhaltensorientierte Klassen

Eine VO-Klasse lässt sich in einem Modell durch ein in drei Bereiche aufgeteiltes Rechteck grafisch darstellen (siehe Abbildung 5-18). Das Symbol wird durch eine eindeutige Bezeichnung der VO-Klasse beschriftet. Eine VO-Klasse entspricht einer Transition, bei der in Abhängigkeit der festgelegten Ausprägungen der Attribute *Bedingungen*, *O-Klassen_Zustandsänderung* und *Beteiligte_O-Klassen* die Zustände der partizipierenden O-Klassen sowie der VO-Klassen und dadurch auch des betrachteten Gesamtsystems verändert werden.

Eine Instanz einer VO-Klasse ist ein Vorgang. Dieser wird je nach Ausprägung der Attribute durch eine entsprechende Marke abgebildet. Die Vorgangsmarken befinden sich innerhalb des Rechtecks im mittleren Bereich. Der Zugang und Abgang ist den teilnehmenden Objekte, Aufgaben und Aufträge abbildenden Marken vorbehalten. Der Zugang ist über gerichtete Kanten mit den diesen Elementen übergeordneten durch Stellen repräsentierten Klassen verbunden. Eine Transition kann nur mit Stellen verbunden werden. Sobald alle für den Beginn eines Vorgangs nötigen Marken im Zugang eingetroffen sind, kann der Vorgang beginnen. Dieses Ereignis generiert eine Vorgangsmarke im mittleren Bereich der Transition.

Mit dem Ereignis des Endes des Vorgangs werden die Marken der Objekte in den entsprechenden Zuständen generiert. Die Marke des Vorgangs wird gelöscht. Falls eine

Aufgabe den Vorgang initiiert hat, wird eine Aufgabenmarke generiert, in der die Erfüllung durch den Vorgang vermerkt ist, und an die vorgelagerte AF-Klasse geleitet, um dort das Signal zu geben, dass die Aufgabe abgeschlossen wurde. Dieses Signal wird benötigt, um Aufträge, die durch die Aufgabe erfüllt werden, als abgeschlossen zu erkennen.

In der Zeitdomäne der VO-Klasse werden alle Ereignisse, die an der VO-Klasse stattfinden erfasst. Dazu zählen die Zugänge und Abgänge von Objekten, Aufgaben und Aufträgen sowie der Beginn und das Ende der Vorgänge. Die Vorgänge der VO-Klassen sind durch Vorgangsduern gekennzeichnet. Die Länge dieser Zeitintervalle variieren zwischen den Vorgängen verschiedener Klassen. Beim Einsatz von gefärbten Marken können sie sich zudem zwischen den Vorgängen einer VO-Klasse unterscheiden. Die Zeitdomänen der Vorgänge enthalten die Informationen zu den mit dem betrachteten Vorgang in Verbindung stehenden Ereignissen. Neben den Zeitdomänen sind VO-Klassen und Vorgänge in Abhängigkeit der verwendeten Markentypen durch weitere in der Basisontologie beschriebene Attribute gekennzeichnet. Beim Einsatz gefärbter Marken (siehe Abbildung 5-18) können sich die Vorgänge einer Klasse von einander unterscheiden. Die Festlegung der Attribute erfolgt somit auf der Ebene der Instanzen, also bei den Vorgängen selbst.

VO-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	VO-Klasse vo_1
Definition	[Quelle: Ontologie]

Attribute	
Menge existierender Instanzen	2
Beteiligte_O-Klassen (kann)	Auf Klassenebene werden lediglich mögliche Mengen der Attributausprägungen vorgegeben. Die jeweilige Festlegung der
O-Klassen_Zustandsänderung	Ausprägungen erfolgt auf der Ebene der Instanzen.
Bedingungen	t_1 : Zugang $\{o_1,1, o_1,2\} \vee$ t_1 : Beginn $\{vo_1,1, vo_1,2\} \vee$ t_2 : Ende $\{vo_1,1, vo_1,2\}$ t_2 : Abgang $\{o_2,1, o_2,2\}$
Zeitdomäne	Vorgang/von/bis
Dauer	Siehe Instanzen

VO-Klasse (Transition)

Vorgangs Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Vorgang $vo_1,1$
Definition	[Quelle: Ontologie]

Attribute	
Beteiligte_O-Klassen (kann/ist)	$\{o_1, o_2\}/\{o_1\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in q_{o1}(t_b)) - 1$ UND $b_{o2}(t_b) + 1$
Bedingungen	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in q_{o1}(t_b)) \geq 1$ UND $b_{o2}(t_b) < b_{o2}\text{max}$
Zeitdomäne	Beginn $t_b=t_1$, Ende $t_e=t_2$ t_1 : Zugang $\{o_1,1\} \vee$ t_2 : Abgang $\{o_2,1\}$
Dauer (Rest/Ges)	1/1 ZE

Abbildung 5-18: VO-Klasse und Vorgang (Individuelle Marken)

Beim Einsatz einfarbiger Marken (siehe Abbildung 5-19) lassen sich die Vorgänge einer Klasse nicht voneinander unterscheiden. Folglich werden die Attribute auf Klassen-ebene bestimmt. Neben den Attributen werden der Betrachtungszeitpunkt, eine eindeutige Klassenbezeichnung und ein Link zur entsprechenden Definition in der Ontologie vorgesehen.

VO-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	VO-Klasse vo_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	2
Beteiligte_O-Klassen (kann)	$\{o_1, o_2\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in q _o(t_b)) - 1$ UND $b_{o2}(t_e) + 1$
Bedingungen	$b_{o1}(\text{mit } vo_1 \in q _o(t_b)) \geq 1$ UND $b_{o2}(t_e) < b_{o2\max}$
Zeitdomäne	t_1 : Zugang $2x(o_1, i) \vee$ t_1 : Beginn $(vo_1, 1, vo_1, 2) \vee$ t_2 : Ende $(vo_1, 1, vo_1, 2)$ t_2 : Abgang $2x(o_2, i)$
Dauer (Ges)	1 ZE

Vorgangs Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Vorgang $vo_1, 1$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Beteiligte_O-Klassen (ist)	$\{o_1\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	Die Festlegung der Attributausprägungen erfolgt auf Klassenebene, da sich die Instanzen einer Klasse nur durch die Restlaufzeit voneinander unterscheiden.
Bedingungen	Beginn $t_0=t_1$, Ende $t_e=t_2$ t_1 : Zugang $\{o_1, 1\} \vee$ t_2 : Abgang $\{o_2, 1\}$
Dauer (Rest/Ges)	1/1 ZE

VO-Klasse (Transition)

VO-Klasse (Transition)

VC-Klasse vc₁

VC-Klasse vc₂

Stelle (O-Klasse AF-Klasse AT-Klasse)

Keine individuellen Marken

=> Vorgang vc, 1 lässt sich nicht von Vorgang vc, 2 unterscheiden

Abbildung 5-19: VO-Klasse und Vorgang (Nichtindividuelle Marken)

Vorgänge einer VO-Klasse können die Sach- und Formalziele einer Aufgabe einer AF-Klasse erfüllen. Die AF-Klasse lässt sich als eine durch eine in drei Bereiche unterteilte Stelle darstellen (siehe Abbildung 5-20). Das Symbol wird durch eine eindeutige Bezeichnung der AF-Klasse beschriftet. Eine Instanz einer AF-Klasse ist eine Aufgabe. Diese wird durch eine Marke abgebildet. Im Zugang treten neu generierte Aufgaben oder zurückkehrende bereits bearbeitete Aufgaben ein. Wenn mit der Erfüllung einer Aufgabe durch einen Vorgang begonnen werden soll, fließt die Marke über eine gerichtete Kante zu der die VO-Klasse repräsentierenden Transition. Nach dem Beenden des Vorgangs kehrt die Aufgabenmarke in einem geänderten Zustand (Aufgabe erfüllt) zurück. Sind für die Erfüllung einer Aufgabe mehrere Vorgänge gleichzeitig vorgesehen, muss die die Aufgabe repräsentierende Marke entsprechend der Anzahl vervielfältigt werden und zu den entsprechenden VO-Klassen fließen. Die von dort wiederkehrenden Marken müssen anschließend wieder vereint werden. Sind zur Erfüllung einer Aufgabe mehrere Vorgänge unterschiedlicher VO-Klassen hintereinander vorgesehen, wird die Aufgabenmarke schrittweise ($af_1, vo_1, af_1, vo_2, etc.$) an die entsprechenden VO-Klassen gesendet. Analog zu den bisher eingeführten Modelllementen kann auch bei den Aufgaben zwischen individuellen und nicht individuellen Netzen unterschieden werden. Die AF-Klasse in Abbildung 5-20 wird durch die in der Basisontologie definierten Attribute charakterisiert. Die Zeitdomäne der Aufgabe enthält Informationen über vergangene, aktuelle und zukünftig geplante Ereignisse, in die die Aufgabe involviert ist. In dem Beispiel werden Daten zu der geplanten Erfüllung der Aufgabe im Zeitintervall t_2 bis t_3 mit dem Vorgang $vo_1, 1$ der VO-Klasse vo_1 festgehalten. Das Attribut *VO-Klassen_Beteiligung* beschreibt die VO-Klasse, deren Vorgänge geeignet sind, die Aufgabe zu erfüllen. In einem gefärbten Netz können sich die O-Klassen_Zustandsänderungen der Vorgänge einer Klasse unterscheiden. Daraus

folgt, dass u.U. nicht alle Vorgänge der angegebenen VO-Klasse das Sachziel der Aufgabe erfüllen können. Sollte dies der Fall sein, kann die Angabe der VO-Klassen_Beteiligung weiter verfeinert und ein Vorgang (der das Sachziel erfüllt) anstatt der VO-Klasse angegeben werden.

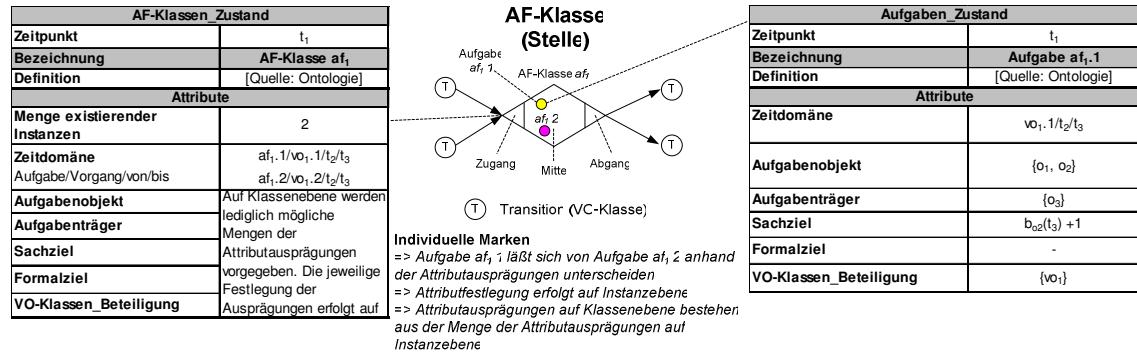


Abbildung 5-20: AF-Klasse und Aufgabe (Individuelle Marken)

In einem Netz ohne individuelle Marken (siehe Abbildung 5-21) unterscheiden sich die Aufgaben einer AF-Klasse nicht voneinander. Von daher werden die Attribute nicht auf Instanz-, sondern auf Klassenebene festgelegt.

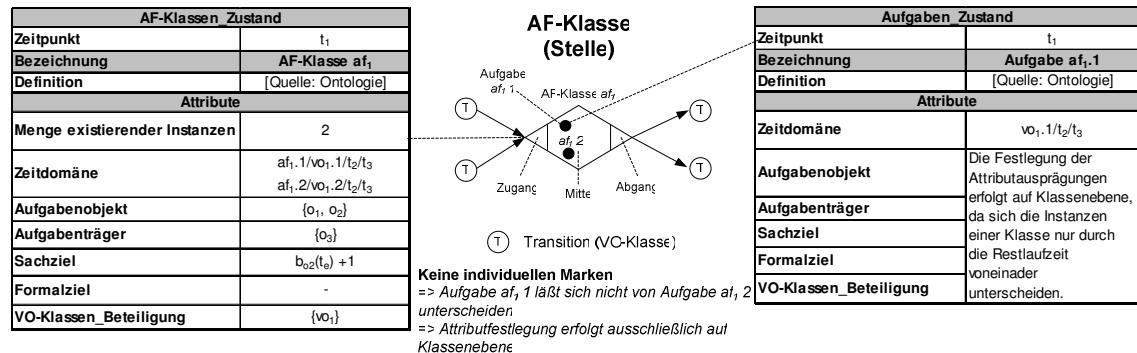


Abbildung 5-21: AF-Klasse und Aufgabe (Nichtindividuelle Marken)

Die Notwendigkeit, eine Aufgabe festzulegen und zu erfüllen, kann aus der Vereinbarung eines Auftrags zwischen zwei Parteien resultieren. Ein Auftrag ist die verbindliche, von dem Auftraggeber getätigte, Aufforderung an den Auftragnehmer, eine Aufgabe zu erfüllen. Wenn dieser den Auftrag annimmt, ist er auch für ihn verbindlich. Die Zusammenhänge zwischen den an der Auftragsbildung und Erfüllung beteiligten Klassen wird in Abbildung 5-22 beispielhaft dargestellt. Zunächst vereinbaren Auftraggeber und Auftragnehmer den Auftrag. Dadurch wird ein Auftrag generiert, der daraufhin in der AT-Klasse at_1 zu finden ist. Dieser Auftrag wird zum Zwecke des Beginns seiner Erfüllung zunächst durch einen Vorgang der VO-Klasse vo_3

freigegeben. Dadurch entsteht eine Aufgabenmarke mit den im Auftrag vereinbarten Attributausprägungen. Diese Aufgabe wird durch einen geeigneten Vorgang erfüllt. Im Beispiel ist dafür ein Vorgang der VO-Klasse vo_1 vorgesehen. Dieser generiert unter Nutzung eines Objekts der O-Klasse o_1 ein Objekt der O-Klasse o_2 . Wenn der Vorgang planmäßig stattfand, wird eine Aufgabenmarke generiert, die ein Kennzeichen enthält, dass die Aufgabe erfüllt wurde. Diese Marke löst die Auftragkontrolle durch einen Vorgang der VO-Klasse vo_4 aus, woraufhin eine Auftragsmarke mit der Attributausprägung *Erfüllung 100%* generiert wird. Der Auftrag ist daraufhin abgeschlossen, und die Marke kann entweder archiviert oder gelöscht werden.

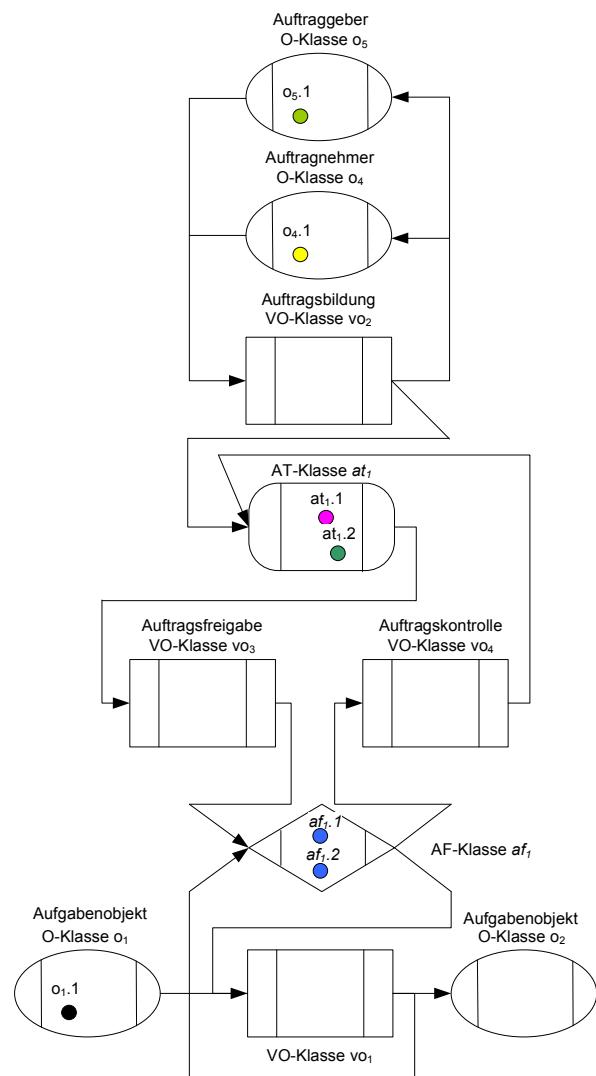


Abbildung 5-22: Einbindung einer AT-Klasse in ein Modell

Die AT-Klasse selbst lässt sich im Modell als eine in drei Bereiche unterteilte Stelle grafisch in Form eines Rechtecks mit abgerundeten Ecken darstellen

(siehe Abbildung 5-23). Das Symbol wird durch eine eindeutige Bezeichnung der AT-Klasse beschriftet. Eine Instanz einer AT-Klasse ist ein Auftrag. Dieser wird durch eine Marke abgebildet. Die Attribute einer AF-Klasse wurden teilweise bereits in der Basisontologie erläutert. Im Rahmen des Modells wurden jedoch zusätzliche Attribute eingefügt:

- ⇒ *Menge existierender Instanzen*: Die Eigenschaft dient als Zähler, wie viele Aufträge der Klasse derzeit auf eine Freigabe bzw. den Beginn oder ihre weitere Erfüllung warten.
- ⇒ *Freigabe Auftrag/[JA, NEIN]*: Dieses Attribut bietet eine Übersicht darüber, welche Aufträge derzeit bereits freigegeben wurden und für welche eine Freigabe noch aussteht.
- ⇒ *Erfüllung/x%*: Dieses Attribut bietet eine Übersicht darüber, welche Aufträge derzeit zu welchem Grad erfüllt wurden. Aufträge, bei denen der erfüllende Vorgang an sich noch nicht begonnen hat, bekommen den Wert 0 % zugewiesen. Wenn sich die Erfüllung eines Vorgangs nicht quantifizieren lässt, wird die Angabe dieses Attributs hinfällig oder erfolgt in einem Schritt (0, 100 %).
- ⇒ *AF-Klasse, Auftraggeber, Auftragnehmer, AF_Aufgabenobjekt, AF_Sachziel, AF_Formalziel, AF_VO-Klassen_Beteiligung*: Diese Attribute werden in einem gefärbten Netz auf Instanzebene festgelegt. Auf Klassenebene können hier lediglich Attributmengen vorgegeben werden, um eine Zuordnung eines Auftrags zu einer Klasse zu gewährleisten.

Neben den beschriebenen Attributen werden der Betrachtungszeitpunkt, eine eindeutige Klassenbezeichnung und ein Link zur entsprechenden Definition in der Ontologie vorgesehen. In dem Attribut *AF-Klasse* eines Auftrags wird die Menge der im Auftrag vereinbarten AF-Klassen festgehalten, deren Instanzen in der Lage sind, den Auftrag zu erfüllen. In einem gefärbten Netz können sich die Sachziele und Formalziele der Aufgaben einer Klasse unterscheiden. Daraus folgt, dass u.U. nicht alle Aufgaben der angegebenen AF-Klasse in der Lage sind, den Auftrag zu erfüllen. Um dieses Problem zu lösen, ist insbesondere in einem gefärbten Netz die Angabe der genauen Aufgabenspezifikation (in Form der Ausprägung der entsprechenden Attribute) notwendig.

AT-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	AT-Klasse at_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	2
Freigabe Auftrag/[JA,NEIN]	$at_1.1/[Ja]$ $at_1.2/[JA]$
Erfüllung Auftrag/x%	$at_1.1/0\%$ $at_1.2/20\%$
Zeitdomäne Auftrag/von/bis	$at_1.1/t_2/t_3$ $at_1.2/t_2/t_3$
AF-Klasse	
Auftraggeber	Auf Klassenebene werden lediglich mögliche
Auftragnehmer	Mengen der
Aufgabenobjekt	Attributausprägungen vorgegeben. Die jeweilige
Aufgabenträger	Festlegung der
Sachziel	Ausprägungen erfolgt auf
Formalziel	der Ebene der Instanzen.
VO-Klassen Beteiligung	

Auftrags Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Auftrag $at_1.1$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Freigabe [JA,NEIN]	[Ja]
Erfüllung x%	0%
Zeitdomäne	$af_1.1/t_2/t_3$
AF-Klasse	{ af_1 }
Auftraggeber	{ $o_5.1$ }
Auftragnehmer	{ $o_4.1$ }
Aufgabenobjekt	{ o_1, o_2 }
Aufgabenträger	{ o_3 }
Sachziel	$b_{o2}(t_3) + 1$
Formalziel	-
VO-Klassen Beteiligung	{ vo_1 }

Abbildung 5-23: AT-Klasse und Auftrag (Individuelle Marken)

In einem Netz ohne individuelle Marken (siehe Abbildung 5-24) unterscheiden sich die Aufträge einer AT-Klasse nicht voneinander. Von daher werden die Attribute nicht auf Instanz-, sondern auf Klassenebene festgelegt. Die Angabe der objektbezogenen Attribute erfolgt in dem Beispiel in Form der O-Klassen, denen die potenziellen Objekte angehören. Eine Angabe von Instanzen ist auf Klassenebene nicht möglich, da jeder Auftrag von anderen Instanzen, die jedoch die gleichen Attributsausprägungen aufweisen, erfüllt wird. Die Zeitdomäne des Auftrags enthält Informationen über vergangene, aktuelle und zukünftig geplante Ereignisse, in die der Auftrag involviert ist. In dem Beispiel werden Daten zu der geplanten Erfüllung des Auftrags im Zeitintervall t_2 bis t_3 mit der Aufgabe $af_1.1$ der AF-Klasse af_1 festgehalten.

AT-Klassen Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	AT-Klasse at_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	2
Freigabe Auftrag/[JA,NEIN]	$at_1.1/[Ja]$ $at_1.2/[JA]$
Erfüllung Auftrag/x%	$at_1.1/0\%$ $at_1.2/20\%$
Zeitdomäne	$at_1.1/t_2/t_3$ $at_1.2/t_2/t_3$
AF-Klasse	{ af_1 }
Auftraggeber	{ o_5 }
Auftragnehmer	{ o_4 }
Aufgabenobjekt	{ o_1, o_2 }
Aufgabenträger	{ o_3 }
Sachziel	$b_{o2}(t_0) + 1$
Formalziel	-
VO-Klassen Beteiligung	{ vo_1 }

Auftrags Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Auftrag $at_1.1$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Freigabe	[Ja]
Erfüllung x%	0
Zeitdomäne	$af_1.1/t_2/t_3$
AF-Klasse	Die Festlegung der Attributausprägungen erfolgt auf Klassenebene, da sich die Instanzen einer Klasse nur durch die Freigabe und den Grad der Erfüllung voneinander unterscheiden.
Auftraggeber	Auftragnehmer
Aufgabenobjekt	da sich die Instanzen einer Klasse nur durch die Freigabe und den Grad der Erfüllung voneinander unterscheiden.
Aufgabenträger	
Sachziel	
Formalziel	
VO-Klassen Beteiligung	

Abbildung 5-24: AT-Klasse und Auftrag (Nichtindividuelle Marken)

Um zum einen die Komplexität eines erstellten Modells für den Betrachter zu reduzieren und gleichzeitig die Möglichkeit zu haben, bereits erstellte Abbildungen eines bestimmten Realitätsausschnitts wieder zu verwenden, werden die bereits in der Basisontologie vorgestellten Teilmodelle als weiteres Konstrukt eingeführt.

Das in Abbildung 5-25 dargestellte System beinhaltet das Teilmodell tm_1 . Dieses setzt sich aus der VO-Klasse vo_4 und den an dieser beteiligten O-Klassen o_5 , o_6 und o_7 zusammen. Die Eingangsstelle o_5 ist über eine gerichtete Kante mit dem Gesamtsystem an die VO-Klassen vo_1 gebunden. Die Ausgangsstelle o_7 weist Verknüpfungen zur VO-Klasse vo_4 auf. Sollen für das abgebildete Gesamtsystem zukünftige Systemzustände ermittelt werden, kann dies anhand der markierten Ausgangssituation sowie den in den beteiligten Klassen durch entsprechende Attribute aufgestellten Regeln und Bedingungen geschehen.

Der zukünftige Systemzustand wird durch eine Markierung zu einem späteren Zeitpunkt beschrieben. Mit der Änderung der Markierung ändern sich die Zustände der beteiligten Klassen und deren Instanzen. Diese Zustandsänderung äußert sich in entsprechenden Attributausprägungen.

Durch wiederholtes Einsetzen von Teilmodellen können große Systeme hierarchisch modelliert werden (vgl. auch hierarchische Petri-Netze in Kapitel 3.2.1.5). Werden Stellen und Transitionen durch Teilmodelle auf der nächst detaillierteren Ebene verfeinert, wird ihr Einfluss auf die Berechnung (Durchlauf der Marken) durch das Teilmodell übernommen. So kann z.B. das Verhalten einer einzelnen Maschine oder aber auch das einer gesamten Produktionslinie in einem Teilmodell gekapselt und in ein größeres System eingebunden werden.

Das Symbol für ein Teilmodell entspricht dem um ein Rechteck und eine Ellipse erweiterten Symbol einer O-Klasse (siehe Abbildung 5-25). Ein stattfindender Durchlauf durch das Teilmodell wird durch eine Instanz in Form einer Marke dargestellt. Für ein Teilmodell kann wie für alle anderen Modellbausteine auch ein Zustand bestimmt werden. Dieser wird durch die Ausprägung der Attribute des betrachteten Teilmodells zu einem Zeitpunkt beschrieben. Zunächst werden ausgewählte Attribute des in Abbildung 5-25 dargestellten Teilmodells beschrieben¹¹⁷. In dem Beispiel werden gefärbte Marken berücksichtigt:

⇒ *Beteiligte_O-Klassen (kann), O-Klassen_Zustandsänderung, Bedingungen:*
 Die Attributausprägungen können zwischen den Instanzen des Teilmodells in einem gefärbten Netz variieren, daher werden diese nicht auf Klassen-ebene fixiert. Es lassen sich jedoch bei Bedarf Mengen für mögliche Attri-

¹¹⁷ Für die restlichen Attribute siehe Definition des Teilmodells in der Basisontologie in Kapitel 5.1.3.

butausprägungen vorgeben, um auf diese Weise die Zugehörigkeit der Instanzen überprüfbar zu machen.

- ⇒ *Zeitdomäne*: In der Zeitdomäne des Teilmodells werden alle Ereignisse erfasst, die innerhalb des Teilmodells stattfinden. Die Haken hinter den zum Zeitpunkt t_1 terminierten Ereignissen signalisieren, dass diese bereits eingetreten sind. In dem Beispiel wurden innerhalb der Zeitdomäne nur die Ereignisse erfasst, die für den Ablauf des Gesamtmodells von Bedeutung sind. Die Daten zu den teilmodellinternen Ereignissen wurden aus Gründen der Übersichtlichkeit ausgeblendet.
- ⇒ *Dauer*: Die Dauer des Durchlaufs durch das Zeitmodell kann in einem gefärbten Netz nur für konkrete Instanzen angegeben werden, da sich diese zwischen diesen unterscheiden kann.

Neben den beschriebenen Attributen werden der Betrachtungszeitpunkt, eine eindeutige Teilmodellbezeichnung und ein Link zur entsprechenden Definition in der Ontologie vorgesehen. Nicht nur das Teilmodell an sich wird durch Attribute gekennzeichnet. Auch die Durchläufe selbst sind analog zu den Definitionen in der Basisontologie durch bestimmte Attribute beschreibbar:

- ⇒ *Beteiligte_O-Klassen (kann/ist)*: Zu „kann“ wird die Gesamtmenge vorgesehener O-Klassen und zu „ist“ die bereits in den Ablauf des Teilmodells involvierte Menge von O-Klassen aufgeführt.
- ⇒ *O-Klassen_Zustandsänderung*: In dem abgebildeten Beispiel wird der Bestand $b_{o5/6}$ der O-Klassen o_5 , und o_6 zum Zeitpunkt t_b (hier t_1 als Beginn des Durchlaufs) durch Abzug jeweils eines Objektes um 1 reduziert. Durch den Durchlauf wird zum Zeitpunkt t_e (bei diesem konkreten Teilmodell hier t_3) ein Objekt der O-Klasse o_7 generiert und dieser Klasse zugeführt, wodurch sich der Bestand der Klasse um 1 erhöht.
- ⇒ *Dauer (Rest/Ges)*: Die Gesamt- und Restdauer des Durchlaufs betragen zwei Zeiteinheiten. Ereignisse haben keine zeitliche Ausdehnung. Der aktuelle Betrachtungszeitpunkt ist t_1 .
- ⇒ *Enthaltene_Klassen, Schnittstellen*: Die Ausprägungen dieser Attribute werden auf Klassenebene bestimmt.

Teilmodell Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell tm_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	1
Beteiligte_O-Klassen (kann)	Auf Klassenebene werden lediglich mögliche Mengen der Attributausprägungen vorgegeben. Die jeweilige Festlegung der Ausprägungen erfolgt auf der Ebene der Instanzen.
O-Klassen_Zustandsänderung	
Bedingungen	
Zeitdomäne	$t_1: \text{Zugang } \{o_5.1\} \vee$ $t_1: \text{Beginn } \{vo_3.1\} \vee$ $t_3: \text{Ende } \{vo_3.1\}$ $t_3: \text{Abgang } \{o_7.1\}$
Dauer	Siehe Instanzebene
Enthaltene_Klassen	O-Klassen $\{o_5, o_6, o_7\}$ VO-Klassen $\{vo_3\}$ AF-Klassen $\{\}$ AT-Klassen $\{\}$
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	$\{o_5\}/\{vo_1\}$ $\{o_8\}/\{vo_4\}$

Teilmodell durchlauf	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell $tm_{1,1}$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Beteiligte_O-Klassen (kann/ist)	$\{o_5, o_6, o_7\}/\{o_5, o_6\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o5}(t_b)-1; b_{o6}(t_b)-1;$ $b_{o6}(t_e)+1; b_{o7}(t_e)+1$
Bedingungen	$b_{o5}(t_b) \geq 1; b_{o6}(t_b) \geq 1;$ $b_{o7}(t_e) < b_{o7} \text{Max}(t_e)$
Zeitdomäne	Beginn $t_b=t_1$, Ende $t_e=t_3$ $t_b: \text{Zugang } \{o_5.1\} \vee$ $t_e: \text{Abgang } \{o_7.1\}$
Dauer (Rest/Ges)	2/2 ZE
Enthaltene_Klassen	
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	Siehe Klassenebene.

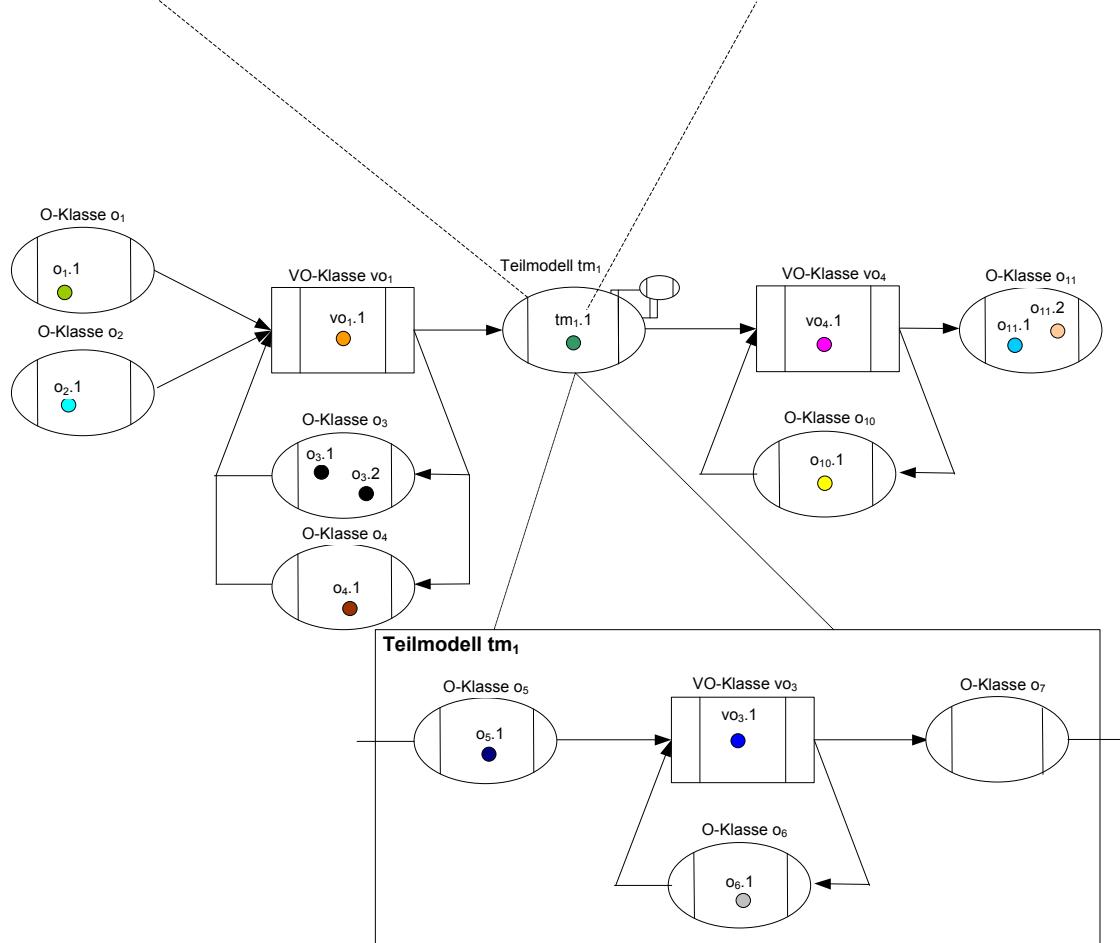


Abbildung 5-25: Teilmodellbildung (Individuelle Marken)

In einem Netz ohne individuelle Marken (siehe Abbildung 5-26) unterscheiden sich die Durchläufe eines Teilmodells nicht voneinander. Von daher werden die Attribute nicht auf Durchlauf- sondern auf Teilmodelebene festgelegt.

Anhand der beiden Modelle in Abbildung 5-25 und Abbildung 5-26 wird der bereits genannte Komplexitätsunterschied in der Darstellung zwischen der Modellierung mit gefärbten und ungefärbten Marken deutlich. Die Komplexität des einfarbigen Modells ist an der O-Klasse o_{11} und der VO-Klasse vo_4 durch die Notwendigkeit, eine zusätzliche Stelle (o_{11a} und o_{11b}) sowie eine zusätzliche Transition (vo_{4a} und vo_{4b}) einzufügen, angestiegen. In dem gefärbten Netz wird durch die zwei unterschiedlich gefärbten Marken in der O-Klasse o_{11} verdeutlicht, dass sich die Objekte dieser Klasse unterscheiden können. In dem dargestellten Fall sollen zwei Typen von Objekten der O-Klasse o_{11} existieren können. Zum Erstellen des ersten Typs (im ungefärbten Netz Objekte der O-Klasse o_{11a}) werden jeweils eine Instanz der O-Klasse o_7 und o_{10} in einem Vorgang der VO-Klasse vo_4 (im ungefärbten Netz Vorgang der VO-Klasse vo_{4a}) bearbeitet. Der zweite Typ benötigt die gleichen Objekte, entsteht jedoch aus der Durchführung eines anderen Vorgangstyps der VO-Klasse vo_4 . Dieser Vorgang ist in dem ungefärbten Netz eine Instanz der VO-Klasse vo_{4b} .

Daraus folgt, dass nicht für alle Kanten an der Transition vo_4 in dem gefärbten Netz ein *UND* gilt, sondern über die unterschiedliche Ausprägung der *O-Klassen_Zustandsänderung* und der *Bedingungen* der zwei möglichen Vorgangstypen der VO-Klasse vo_4 selektiv festgelegt werden kann, Instanzen welcher Klassen zur Durchführung eines Vorgangs benötigt werden. Da sich in dem ungefärbten Netz die Marken einer Transition nicht voneinander unterscheiden können, müssen alle Eingangs- und Ausgangskanten mit *UND* verbunden sein. Daher muss für die Erstellung eines zweiten Objekttyps auch eine zweite VO-Klasse angelegt werden. Auf die Eigenschaften der Kanten wird in Kapitel 5.3.4 eingegangen.

Teilmodell Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell tm_1
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	1
Beteiligte_O-Klassen (kann)	$\{o_5, o_6, o_7\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o5}(t_b)-1; b_{o6}(t_b)-1$ $b_{o6}(t_e)+1; b_{o7}(t_e)+1$
Bedingungen	$b_{o5}(t_b) \geq 1; b_{o6}(t_b) \geq 1;$ $af_1, x(t_b) = \text{Wahr};$ $b_{o7}(t_e) < b_{o7} \text{Max}(t_e)$
Zeitdomäne	$t_b: \text{Zugang } \{o_5, 1\} \vee$ $t_b: \text{Beginn } \{vo_3, 1\} \vee$ $t_e: \text{Ende } \{vo_3, 1\}$ $t_e: \text{Abgang } \{o_7, 1\}$
Dauer (Ges)	2 ZE
Enthaltene_Klassen	O-Klassen $\{o_5, o_6, o_7\}$ VO-Klassen $\{vo_3\}$ AF-Klassen $\{\}$ AT-Klassen $\{\}$
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	$\{o_5\}/\{vo_1\}$ $\{o_7\}/\{vo_4\}$

Teilmodell durchlauf / Vorgangs Zustand	
Zeitpunkt	t_1
Bezeichnung	Teilmodell $tm_{1,1}$
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Beteiligte_O-Klassen	Die Festlegung der Attributausprägungen erfolgt auf Klassenebene, da sich die Instanzen einer Klasse nur durch die Restlaufzeit voneinander
O-Klassen_Zustandsänderung	
Bedingungen	
Zeitdomäne	Beginn $t_b=t_1$, Ende $t_e=t_3$ $t_b: \text{Zugang } \{o_5, 1\} \vee$ $t_e: \text{Abgang } \{o_7, 1\}$
Dauer (Rest/Ges)	2/2 ZE
Enthaltene_Klassen	
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	Siehe Klassenebene.

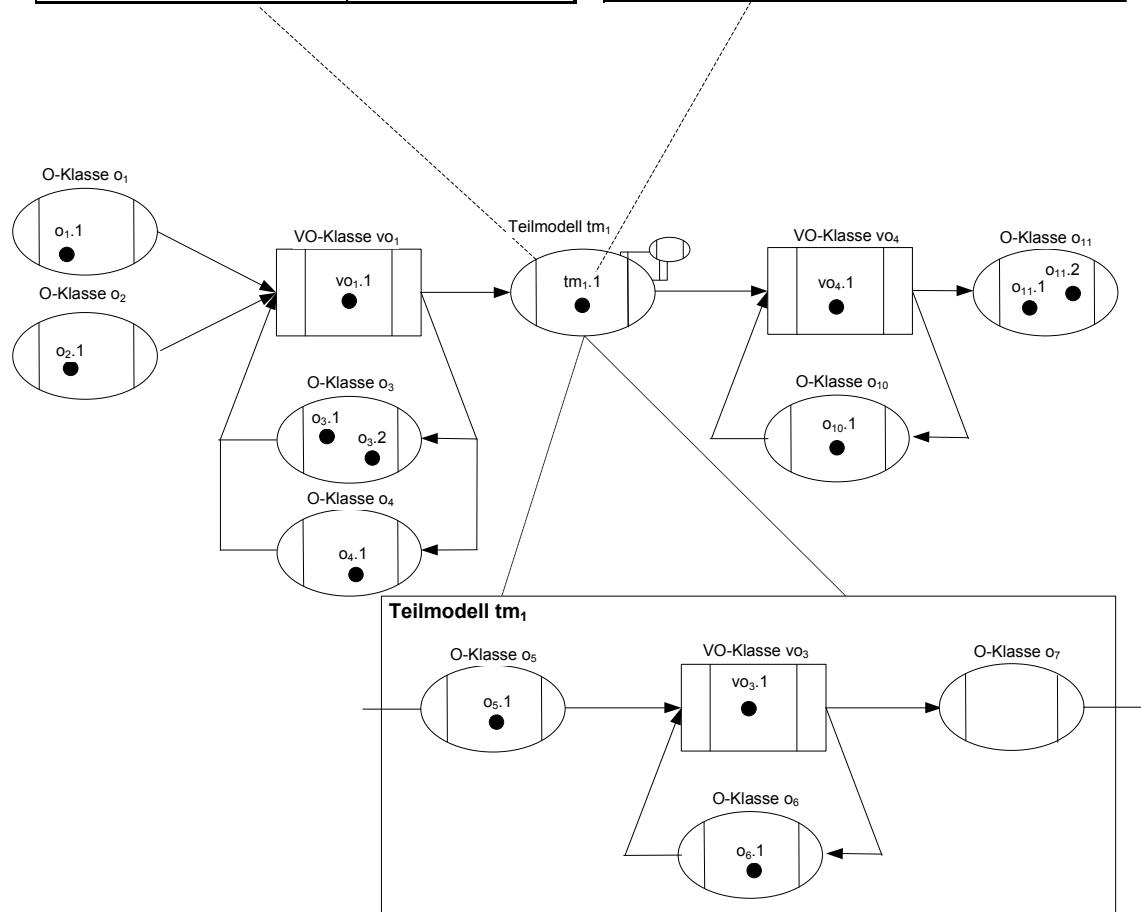


Abbildung 5-26: Teilmodellbildung (Nichtindividuelle Marken)

5.3.4 Kanten

Die vorgestellten Modellbausteine werden über gerichtete Kanten verbunden. Dabei lassen sich Stellen und Teilmodelle stets nur mit Transitionen verbinden. Eine Transition kann mit einer Stelle und einem Teilmödell verbunden werden. VO-Klassen entsprechen Transitionen, O-Klassen, AF-Klassen und AT-Klassen bilden die möglichen Stellentypen. Die Kanten erhalten über Regeln, die im Rahmen der Vorgangsfestlegung in Form des Attributs *O-Klassen_Zustandsänderung* hinterlegt sind, Gewichtungen. Auf diese Weise kann modelliert werden, dass von den anliegenden Eingangs-O-Klassen unterschiedlich viele Instanzen für einen Vorgang benötigt werden. In einem ungefärbten Netz können die Kantengewichte nicht von Vorgang zu Vorgang einer VO-Klasse wechseln. Wenn das der Fall wäre, würden sich die Vorgänge in ihren Attributsausprägungen unterscheiden. Das ist nur möglich beim Einsatz gefärbter Marken.

Bei der Verwendung gefärbter Marken für eine VO-Klasse kann über die Auslegung der Attribute *O-Klassen_Zustandsänderung* und *Bedingungen* ausgewählt werden, welche der auf die Transition gerichteten Kanten vor, während oder nach dem Vorgang durch den Fluss einer Marke der anliegenden Stellen aktiviert wird. Diese Option besteht beim Einsatz ungefärbter Marken in einer VO-Klasse nicht, da sich wie zuvor erwähnt die Vorgänge einer Klasse nicht voneinander unterscheiden können.

Wenn also beispielsweise der Verschleiß der Maschinen in einem Maschinenpark mit modelliert werden soll, bietet sich die Wahl eines gefärbten Netzes an. In diesem Fall, unterscheiden sich die Maschinen der O-Klasse *Maschinenpark* hinsichtlich ihrer verbleibenden *quantitativen Kapazität* voneinander. Innerhalb eines Vorgangs kann diese sukzessive für die involvierten Instanzen reduziert werden, bis sie schließlich bei 0 angelangt ist. Eine Instanz mit einer quantitativen Kapazität von 0 könnte entsprechend der für die Klasse getroffenen Attributsausprägungsintervalle somit ihre Zugehörigkeit zu der Klasse *Maschinenpark* verlieren und würde dementsprechend gelöscht. Die vom Abgang der VO-Klasse zum Zugang der O-Klasse *Maschinenpark* führende gerichtete Kante würde somit gemäß der genannten Beispielregelung nach Ende des Vorgangs, der die quantitative Kapazität des Objekts *Maschine* auf 0 reduziert hat, nicht mehr aktiviert und die Marke wie erläutert noch in der VO-Klasse gelöscht werden. In einem ungefärbten Netz wäre dies so nicht möglich, da die Marken einer O-Klasse identisch sein müssen. D.h., dass die quantitative Kapazität entweder 1 oder unendlich für alle Objekte der Klasse ist. Eine verschleißende Maschine muss daher, auf anderem (aufwendigeren) Wege modelliert werden. Für jede Maschine muss eine eigene O-Klasse erstellt werden. Um den Verschleiß jetzt abbilden zu können, muss die Klasse entsprechend der Lebensdauer der Maschine über eine entsprechende Anzahl von Marken als Anfangsmarkierung verfügen. Die verschlissene Maschine lässt sich

folglich daran erkennen, dass alle Marken der O-Klasse entnommen wurden. Vom Abgang der VO-Klasse führt bei dieser Art der Modellierung keine Kante zum Zugang der O-Klasse.

Welche Art der Modellierung schließlich für einen Anwendungsfall gewählt wird, hängt somit von den aus diesem resultierenden Ansprüchen an das zu erstellende Abbild ab. Je komplexer die zu modellierende Situation ist, desto eher bietet sich der Einsatz eines gefärbten Netzes an. Für die Erstellung eines Grobplans eines Produktionsablaufs kann jedoch ein ungefärbtes Netz besser geeignet sein.

5.3.5 Klassen der Domänenontologie

Durch die innerhalb der Definitionen der Domänenontologie getroffenen Verknüpfungen zu den Klassen der Basisontologie wird die Auswahl des zur Abbildung der entsprechenden Klasse zu wählenden Modellbausteins vorgegeben.

Durch die Kopplung des Modells an die Klassen der Ontologie und damit an die Bausteine der Domänenontologie soll dem bzw. den Anwender(n) stets deren gesamter Inhalt als Nachschlage- und Regelwerk entsprechend dem Ziel der vorliegenden Arbeit zur Verfügung stehen. Durch diese Kopplung lassen sich die in Kapitel 2.1 aufgezeigten Verständnis- und Kommunikationsprobleme ausräumen. Durch die Erweiterbarkeit der Domänenontologie lässt sich diese an immer neue Anwendungsszenarien anpassen. Durch eine softwaretechnische Umsetzung der ontologiebasierten Modellierungsmethode lässt sich der geschaffene Ansatz in der Praxis einsetzen. Im Rahmen der Arbeit wurde bereits ein ausbaufähiger Prototyp hierfür entwickelt (vgl. Kapitel 6).

5.4 Fazit

Das vorgestellte ontologiebasierte Modell wurde anhand der in Kapitel 2 aufgestellten Ziele und Anforderungen entwickelt. Die Stärken und Schwächen der bestehenden Ansätze hinsichtlich der aufgestellten Anforderungen wurden jeweils in Kapitel 3 diskutiert. Die Inhalte der aufgestellten Definitionen wurden aus verschiedenen Quellen zusammengetragen oder neu in Abhängigkeit der anderen Klassen hergeleitet. Dadurch werden die Unabhängigkeit und Objektivität der Ontologie gewährleistet. Jedem Begriff und dessen Bedeutung wird eine Klasse der Basisontologie zugeordnet. Zwischen den einzelnen Klassen bestehende Zusammenhänge (Hierarchiebeziehungen sowie Abhängigkeiten und Begriffszugehörigkeiten) wurden aufgezeigt. Die einzelnen Klassen sind definitorisch klar voneinander getrennt, Widersprüche werden auf diese Weise vermieden. Erweiterungen des Begriffsbestands können unabhängig von den Hierarchieebenen der Domänenontologie vorgenommen werden. Die neu

einzu führenden Klassen können anhand der durch die Basisontologie vorgegebenen Syntax in das bestehende System integriert werden. Da jeder Klasse in der aufgestellten Ontologie eine Beschreibung sowie weitere erläuternde Attribute zugeordnet wurden, ist eine Übersetzung bestehender Terminologien in die neu erstellte Ontologie leicht möglich. In der Literatur sind verschiedene Möglichkeiten zum Ontologietransfer zu finden¹¹⁸.

Das Modell wurde wie gefordert anhand der Klassen der Basisontologie entwickelt. Durch dieses Vorgehen lassen sich automatisch die ebenfalls aus der Basisontologie entstandenen Klassen der Domänenontologie mit Hilfe des Modells abbilden.

Sowohl die Ontologie als auch das Modell enthalten Klassen, die dazu geeignet sind, die Abläufe in einem Produktionssystem für verschiedene Akteure verständlich zu beschreiben.

¹¹⁸ Siehe z.B. [Stuc03], [WVVS+01]

6 Beispielmodell

Um die Eignung der erstellten Konzepte zur tatsächlichen Abbildung eines Ablaufs in einem Produktionssystem zu testen, wurde mit der vorgestellten Methode die Produktion von Bremsleitungen bei einem Automobilzulieferer abgebildet. Das Modell wurde nach einem Ortstermin in der Produktion mit Hilfe eines bestehenden Arbeitsplans erstellt, jedoch zur Veröffentlichung der Ergebnisse anonymisiert und bzgl. des Zahlenmaterials geändert. Nachfolgend wird zunächst der Modellerstellungsprozess erläutert und im Anschluss daran das Ergebnis vorgestellt.

6.1 Anwendungsspezifische Ontologieerweiterung

Im Rahmen der Aufnahme des Ist-Zustandes des zu betrachtenden Produktionssystems sowie der darin ablaufenden Vorgänge wurden die vorhandenen realen Objekte und Prozesse in die Terminologie der Ontologie übersetzt. Zu diesem Zweck wurde die Domänenontologie um entsprechende anwendungsspezifische Klassen entlang der bestehenden Hierarchie erweitert. Dabei wurde darauf geachtet, dass nur Fachbegriffe verwendet wurden, die bereits an anderer Stelle in der Ontologie in Form entsprechender Klassen definiert wurden. Der Aufbau der erweiterten Ontologie ist in Abbildung 6-1 dargestellt. Die anwendungsspezifischen Klassen sind dabei dick umrandet. Die Bedeutung der Klassen wurde zudem in der Ontologie in Protégé und dem erstellten Tool OntoMod hinterlegt.

Beispielsweise wurden zur Beschreibung der zur Produktion benötigten technischen Geräte entsprechende Klassen unterhalb der Klasse *Werkzeug_Maschine* angelegt. Zur Beschreibung der verschiedenen Zwischenprodukte wurden entsprechende Klassen unter der Klasse *Teil* angelegt. Die genauen Beschreibungen der Vorgänge ließen sich bei den verschiedenen Klassen der *Produktions_Vorgänge* einordnen. Auf diese Weise wurden für alle zu beschreibenden Aspekte des realen Systems Klassen generiert.

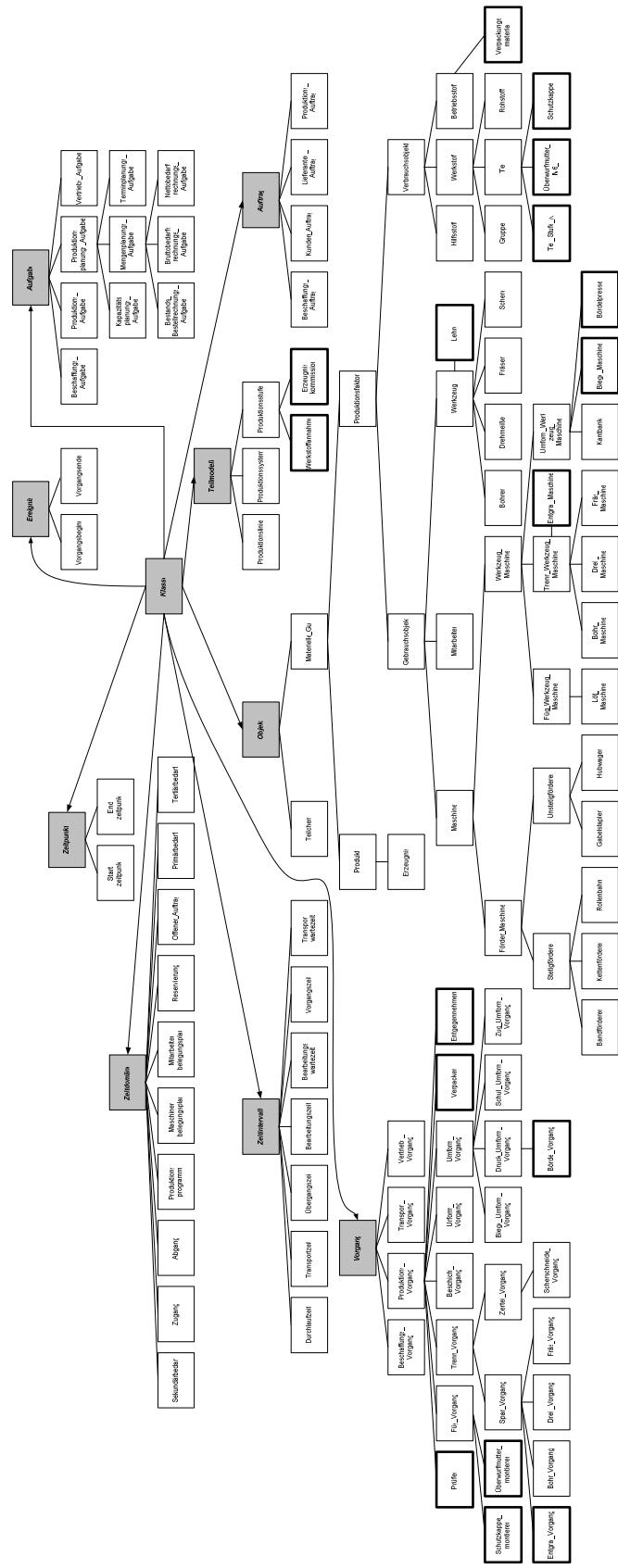


Abbildung 6-1: Anwendungsspezifische Erweiterungen der Ontologie

Nachfolgend werden die entsprechenden anwendungsspezifischen Definitionen aufgeführt. In den Klammern hinter der Klassenbezeichnung ist neben der entsprechenden Klasse der Basisontologie die übergeordnete Klasse der Domänenontologie angegeben. Die Attributsausprägungen können der in Protégé hinterlegten Ontologie sowie den im Anhang der Arbeit angegebenen Ausführungen (siehe Abbildung 11-4 und Abbildung 11-5) entnommen werden.

Objekte:

Biege_Maschine [O-Klasse, Umformende_Werkzeug_Maschine]: Eine Biege_Maschine ist eine Umformende_Werkzeug_Maschine, die das winkelige Umformen von Rohren durch einen Biege_Umform_Vorgang ermöglicht.

In dem beschriebenen Beispiel wird dadurch eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VII* durch Umformen einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VI* produziert werden. Zum Betreiben der Maschine ist ein Mitarbeiter erforderlich.

Bördelpresse [O-Klasse, Umformende_Werkzeug_Maschine]: Eine Bördelpresse ist eine Umformende_Werkzeug_Maschine, die zum Umformen einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_II* bzw. *IV* während eines Bördel_Vorgangs eingesetzt werden kann. Zum Betreiben der Maschine ist ein Mitarbeiter erforderlich.

Durch den Maschineneinsatz entstehen in dem Beispiel die über kegelige Aufweitungen verfügenden Instanzen der O-Klassen *Teil_Stufe_III* bzw. *V*.

Entgrat_Maschine [O-Klasse, Trenn_Werkzeug_Maschine]: Eine Entgrat_Maschine ist eine Maschine, die zum spanenden Entfernen eines produktionsbedingten Grates an einem Teil eingesetzt werden kann. Zum Betreiben der Maschine ist ein Mitarbeiter erforderlich.

Die Entgrat_Maschine wird in dem betrachteten Produktionssystem dazu verwendet, um Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_I* in Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_II* mittels eines Vorgangs der VO-Klasse Entgrat_Vorgang zu transformieren.

Lehre [O-Klasse, Werkzeug]: Eine zur Prüfung des Werkstücks auf Einhaltung der Toleranzen geeignetes Werkzeug bezeichnet man als *Lehre*.

Überwurfmutter_M6_1 [O-Klasse, Teil]: Überwurfmutter mit einem M6 x 1,0 Gewinde in Standardhöhe aus Edelstahl.

Schutzkappe [O-Klasse, Teil]: Schutzkappe für Muttern, Polyäthylen, schwarz, d = 10 mm.

Teil_Stufe_I [O-Klasse, Teil]: Die Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_I* sind Stahlrohre in der Abmessung 1000x6x1,5 (Länge x Durchmesser x Wandstärke (*[mm]*)).

Teil_Stufe_II [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_II* entsteht durch das Durchführen eines *Entgrat_Vorgangs* an einer Instanz der Klasse *Teil_Stufe_I*.

Teil_Stufe_III [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_III* wird durch die Durchführung eines *Bördel_Vorgangs* an einer Seite einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_II* generiert.

Teil_Stufe_IV [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_IV* wird durch Anbringen von zwei M6 *Überwurfmuttern* an ein Teil der *Stufe_III* generiert. Die *Überwurfmuttern* müssen mit ihrer Gewindeseite jeweils zum Stahlrohrende zeigen.

Teil_Stufe_V [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_V* wird durch einen *Bördel_Vorgang* der zweiten Seite einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_IV* generiert.

Teil_Stufe_VI [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VI* wird durch das *Schutzkappe_montieren* von jeweils einer Schutzkappe an den Rohrenden einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_V* generiert.

Teil_Stufe_VII [O-Klasse, Teil]: Eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VII* wird durch einen *Biege_Umform_Vorgang* einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VI* produziert.

Die Biegung erfolgt in dem Beispiel in einem rechten Winkel im Abstand von 100 mm vom Rohrende. Der Biegeradius beträgt 30 mm.

Verpackungsmaterial [O-Klasse, Betriebsstoff]: Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_VII* werden zum Schutz vor Transportschäden in Verpackungsmaterial eingepackt. Das Verpackungsmaterial besteht aus entsprechend geformten Kartonagen.

Vorgänge:

Bördel_Vorgang [VO-Klasse, Druck_Umform_Vorgang]: Bei einem *Bördel_Vorgang* wird ein Rohr kegelig aufgeweitet, um anschließend mit Hilfe einer Überwurfmutter eine lösbare Rohrverbindung herstellen zu können. Für die Durchführung eines *Bördel_Vorgangs* werden ein *Mitarbeiter* und eine *Bördelpresse* benötigt.

In dem Beispiel wird mittels eines *Bördel_Vorgangs* eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_II* durch das kegelige Umformen der 1. Seite des Werkstücks zu einer Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_III* transformiert.

Entgrat_Vorgang [VO-Klasse, Span_Vorgang]: Durch einen *Entgrat_Vorgang* werden scharfe, bei einem *Trenn_Vorgang* entstandene Kanten, von einem Teil entfernt. Des Weiteren werden Instanzen der O-Klassen *Mitarbeiter* und *Entgrat_Maschine* benötigt.

Überwurfmutter_montieren [VO-Klasse, Füge_Vorgang]: Durch einen Vorgang der VO-Klasse *Überwurfmutter_montieren* werden zwei *Überwurfmuttern_M6_1* in der entsprechenden Ausrichtung (Gewinde jeweils zur Stahlrohrendseite) an einem *Teil der Stufe_III* angebracht. Ergebnis eines solchen Vorgangs sind Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_IV*. Des Weiteren werden Instanzen der O-Klasse *Mitarbeiter* benötigt.

Schutzkappe_montieren [VO-Klasse, Füge_Vorgang]: Durch einen Vorgang der VO-Klasse *Schutzkappe_montieren* wird jeweils eine *Schutzkappe* an jeder Seite eines *Teils der Stufe_V* angebracht. Ergebnis eines solchen Vorgangs sind Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_VI*. Des Weiteren werden Instanzen der O-Klasse *Mitarbeiter* benötigt.

Prüfen [VO-Klasse, Produktions_Vorgang]: Die Überprüfung der Einhaltung der vorgegebenen Toleranzen erfolgt durch Vorgänge der VO-Klasse *Prüfen*. Neben den zu prüfenden Teilen wird je eine Instanz der O-Klassen *Mitarbeiter* und *Lehre* benötigt.

Verpacken [VO-Klasse, Produktions_Vorgang]: Der Vorgang, eine Instanz der O-Klasse *Teil_Stufe_VII* mit einer Instanz von *Verpackungsmaterial* zur Sicherung vor Transportschäden zu versehen, wird als *Verpacken* bezeichnet.

Entgegennehmen [VO-Klasse, Produktions_Vorgang]: Durch einen Vorgang der VO-Klasse *Entgegennehmen* werden Instanzen der O-Klasse *Teil_Stufe_I* zu Anfang der Produktion der Bremsleitungen angenommen. Für einen Ablauf dieses Vorgangs ist je eine Instanz der Klasse *Mitarbeiter* und *Gabelstapler* erforderlich.

Teilmodelle:

Werkstoffannahme [Teilmodell, Produktionsstufe]: Die Vorgänge *Entgegennehmen* und *Transport_Vorgang* zu Linienabschnitt 1 sind mit ihren korrespondierenden O-Klassen in dem Teilmodell *Warenannahme* zusammengefasst. Über dieses Teilmodell treten in der Produktion zu verarbeitende Objekte in ein.

Erzeugniskommission [Teilmodell, Produktionsstufe]: In dem Teilmodell *Warenkommission* sind die VO-Klassen *Prüfen* und *Verpacken* einschließlich ihrer beteiligten O-Klassen enthalten. Über dieses Teilmodell verlassen die in der Produktion erstellten Produkte das Modell.

6.2 Modellbildung

Nach erfolgter kompletter Erweiterung der Ontologie wurden den abzubildenden realen Sachverhalten entsprechende Modellkonstrukte zugewiesen. Die Auswahl der zu verwendenden Modellkonstrukte erfolgt anhand der Einordnung der abzubildenden Elemente in der Ontologie (siehe Abbildung 6-1 und Abbildung 6-2).

Die einzelnen Modellbausteine stehen über Kanten in Beziehung, durch die der aus dem Produktionsprozess resultierende Materialfluss repräsentiert wird. In Abbildung 6-2 ist das entstandene Modell abgebildet. Es wurde mit einfarbigen Marken umgesetzt, da sich die Instanzen innerhalb der Klassen nicht voneinander unterscheiden. Eine sinnvolle Zusammenlegung mehrerer Klassen zu einer unter Einführung gefarbter Marken ist in dem betrachteten Fall nicht möglich.

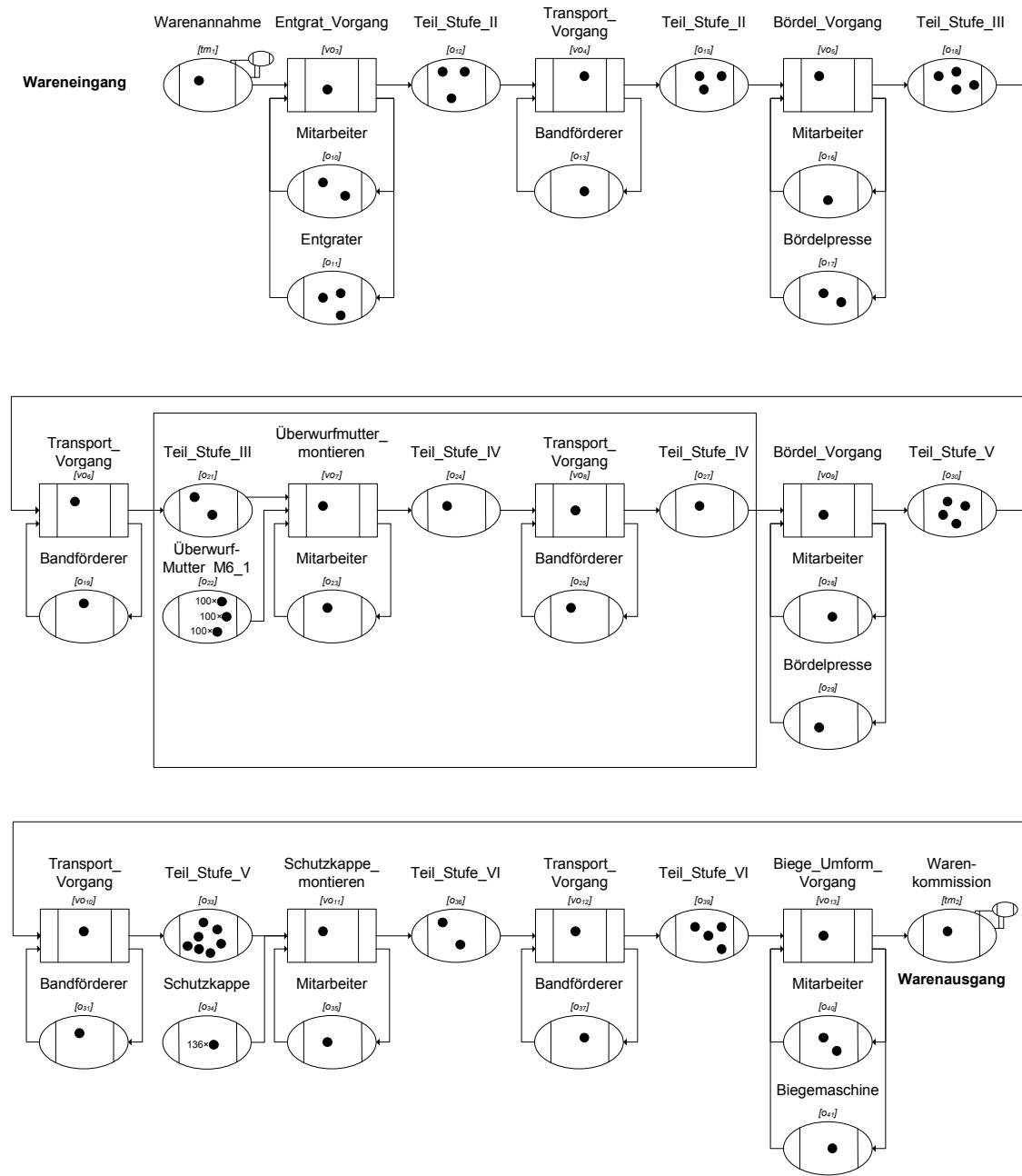


Abbildung 6-2: Der Ablauf zur Produktion von Bremsleitungen

Dieses Modell unterscheidet sich auf den ersten Blick nicht wesentlich von Modellen, die mit MFert, ARIS oder als Petri-Netz erstellt wurden. Der Unterschied liegt in der

Kopplung des Modells mit der Ontologie. Anhand der Bezeichnung der Modellelemente kann jeder Betrachter die Bedeutung der Klassen der Ontologie entnehmen. Neben der Bedeutung besteht jede Klasse der Ontologie auch aus einer Beschreibung der zugehörigen Attribute, deren Ausprägungen den Zustand des abgebildeten Elements prägen.

Für den in Abbildung 6-2 umrandeten Teilbereich des Gesamtmodells werden in Abbildung 6-3 beispielhaft die Zustandstabellen für die Modellelemente abgebildet. Diese enthalten die Beschreibung der Zustände der O-Klassen und die Festlegung der enthaltenen VO-Klassen inklusive der Bedingungen für deren Stattfinden sowie der Auswirkungen der Abläufe in Form der resultierenden Zustandsänderungen an den beteiligten Klassen. Darüber hinaus sind zum Betrachtungszeitpunkt existierende Instanzen der Klassen in Form von Marken abgebildet.

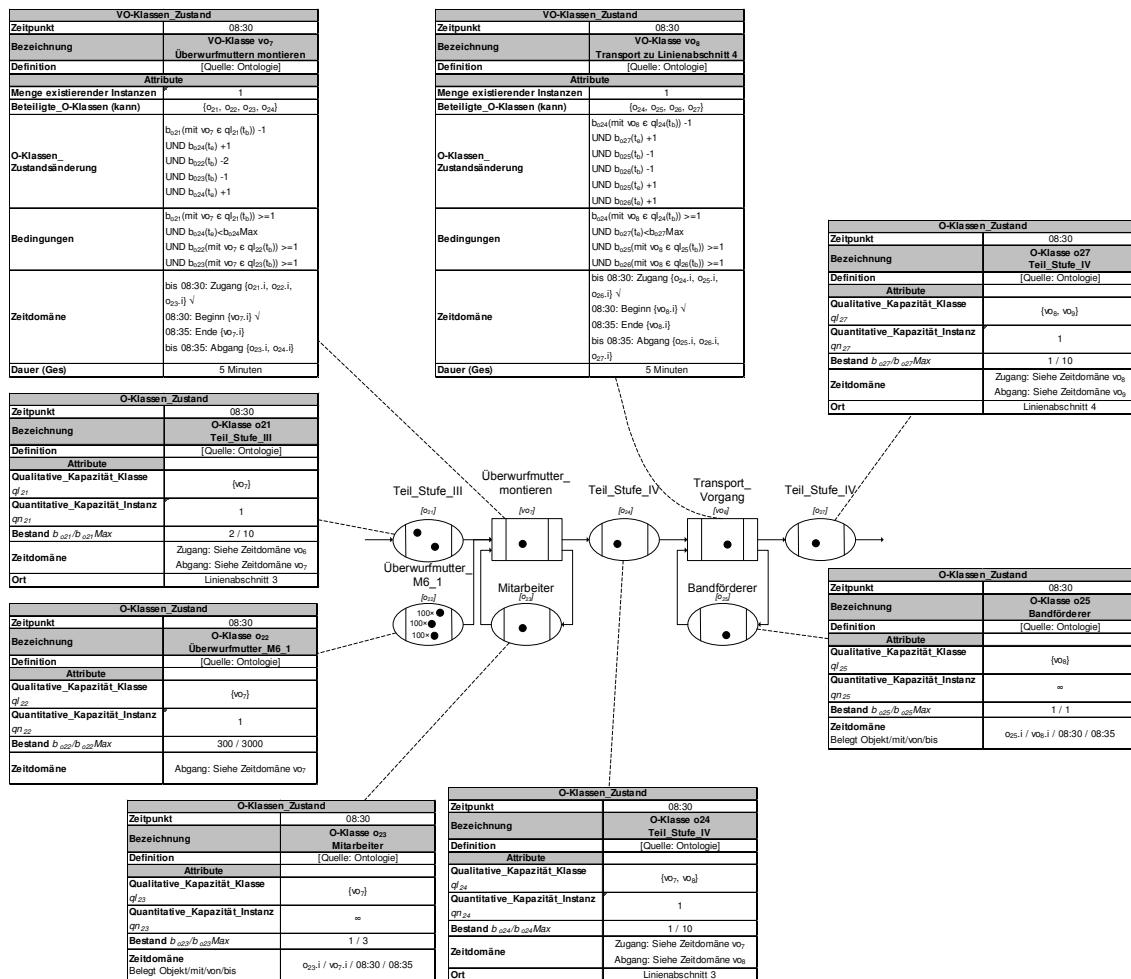


Abbildung 6-3: Ausschnitt inklusive Zustandstabellen

In Abbildung 6-4 ist das die Warenannahme beschreibende Teilmodell tm_1 verfeinert abgebildet. Auch hier sind die Zustandstabellen der einzelnen Klassen mit in der

Abbildung enthalten. Aufgrund des Umfangs der gesamten Beschreibungen der einzelnen Modellelemente sind die restlichen Tabellen im Anhang zu finden.

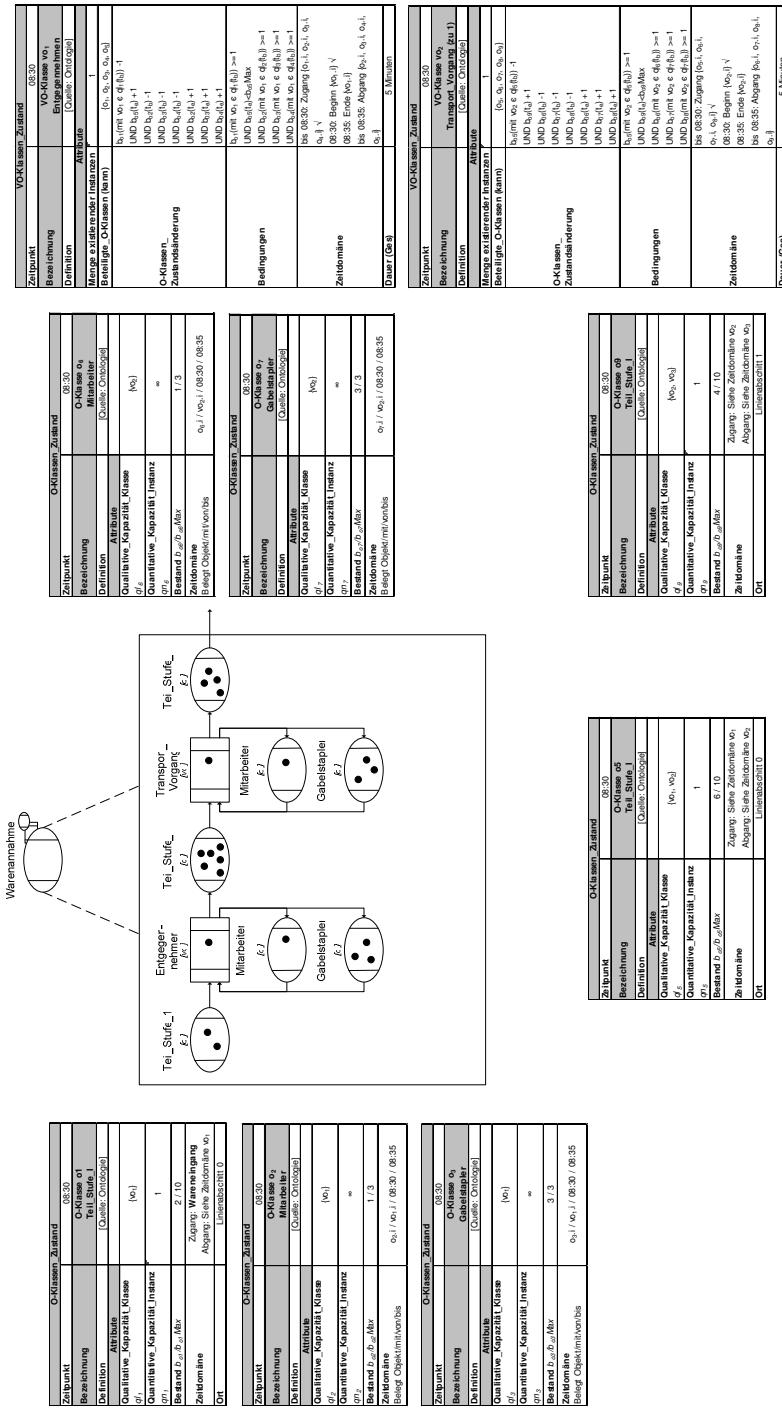


Abbildung 6-4: Verfeinertes Teilmodell tm_1 (Warenannahme)

6.3 Fazit

Anhand des erstellten Modells zur Abbildung der Abläufe in diesem Produktionssystem können sich verschiedene Betrachter ein Bild von dem realen System machen, ohne dieses tatsächlich zu betrachten. Für ein einheitliches Verständnis bei der Interpretation des Modells sorgen die jedem Element des Modells zugeordneten Klassen der Ontologie. Damit ist das Ergebnis der Modellbetrachtung unabhängig von der Terminologie des Betrachters. Neben der geschilderten beschreibenden Funktion kann mit dem Modell anhand der hinterlegten Regeln und Bedingungen eine Vorhersage bzgl. zukünftiger Zustände des Produktionssystems getroffen werden. Der Fluss der Marken veranschaulicht dabei über die Zeit stattfindende Abläufe.

Die zukünftige Erstellung weiterer Modelle in diesem Anwendungsumfeld ist mit geringerem Aufwand möglich, da die Ontologie bereits erweitert wurde.

7 Prototypische Implementierung

Die in den vorangegangenen Kapiteln erarbeiteten Konzepte wurden im Rahmen eines Softwareprototyps umgesetzt. Dieses Tool ist eine serverbasierte Modellierungs-umgebung, mit deren Hilfe sich Zusammenhänge aus der im Rahmen der Arbeit bearbeiteten Wissensdomäne erfassen lassen.

7.1 Softwarearchitektur

Damit der Prototyp auf verschiedenen Rechnern an unterschiedlichen Standorten ohne mehrfache Datenhaltung eingesetzt werden kann, ist eine 2-Schicht Architektur vorgesehen. Die Kopplung der Schichten erfolgt über das TCP/IP Protokoll. Die Daten in Form der Inhalte der Ontologie sowie bereits erstellter Modelle werden in einer SQL Datenbank auf einem Server (*MySQL 4.0.14-nt*) gespeichert. Die Anwendung an sich ist eine JAVA Applikation und wird direkt auf den Clients installiert. Um zusätzliche Rechner mit der Software ausstatten zu können, soll das Installationsprogramm im Internet zum Download bereitgestellt werden. Als Datenbankmanagementsystem wird *phpMyAdmin 2.5.3-rc2* verwendet.

7.2 Datenmodell

In Abbildung 7-1 wird das Datenmodell des Tools schematisch dargestellt. Gut erkennbar ist die direkte Kopplung zwischen den wichtigsten Klassen der Basisontologie zu den entsprechenden Modellelementen. Durch die Verknüpfungen der entsprechenden Tabellen wird erkennbar, wie welche Klassen im Modell abgebildet werden (z.B. O-Klassen als Stellen, VO-Klassen als Transitionen, etc.). Die Beziehungen zwischen verschiedenen Bausteinen eines erstellten Modells werden über Kanten realisiert. Für die als Stellen und Transitionen abgebildeten Modellelemente können wie in der Ontologie bestimmt eigene Zeitdomänen gepflegt werden.

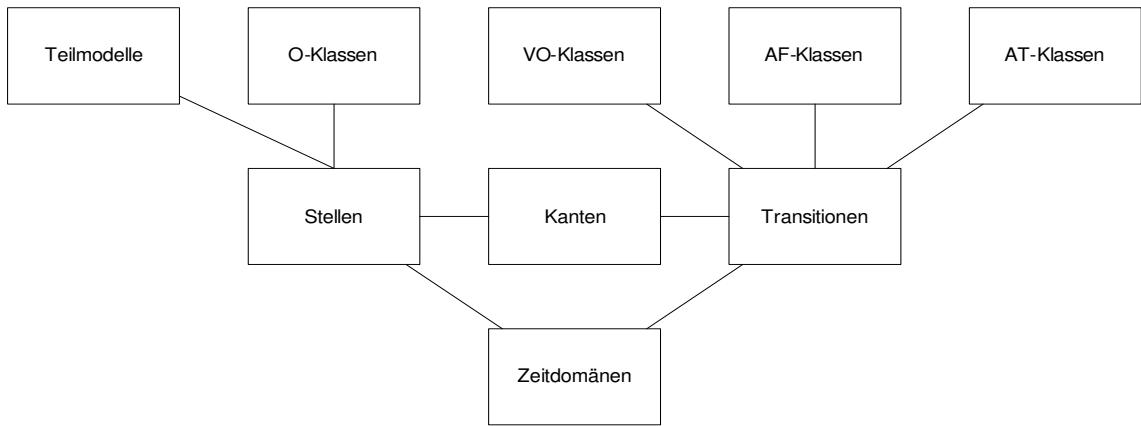


Abbildung 7-1: Datenmodell des Tools OntoMod

Neben den Klassen und Instanzen werden deren Attribute mit den Ausprägungen in der Datenbank abgelegt. Die erstellten Modelle lassen sich abspeichern und zu einem späteren Zeitpunkt wieder laden und weiter bearbeiten.

7.3 Funktionalität

Der Einsatzzweck des Prototyps ist die Erstellung von ontologiebasierten Modellen aus dem in der Arbeit betrachteten Umfeld. Die entwickelte Basis- und Domänenontologie sind bereits in der Datenbank hinterlegt. Die Klassen der Ontologie können in dem Tool über den Ontologie Browser eingesehen, geändert und erweitert werden (siehe Abbildung 7-2). Das Bearbeiten der Ontologie erfolgt dabei Top-Down, d.h. dass zunächst ausgewählt wird, welche Klassentypen betrachtet werden (Auswahl in der Box *Top Level Klassen*). Anschließend können in den Auswahlboxen unter Sub Level Klassen die bestehenden Klassen auf den verschiedenen Hierarchieebenen eingesehen werden. Dabei kann auf einer beliebigen Ebene eine Klasse hinzugefügt oder entfernt werden. Im unteren Bereich des Fensters werden dabei die zu der markierten Klasse abgespeicherten Informationen (Beschreibung und Attribute) präsentiert.



Abbildung 7-2: Screenshot des Ontologie Browsers

In der in Abbildung 7-3 dargestellten Hauptansicht des Tools lassen sich die eigentlichen Modelle erstellen. Dabei stehen alle in Kapitel 5.3 aus der Basisontologie abgeleiteten Modellelemente zur Verfügung. Über die Reiter in dem Modellierungsfenster lassen sich mehrere Modelle parallel öffnen und bearbeiten. Im linken Frame werden die in der Ontologie hinterlegten Informationen zu dem ausgewählten Modelllement angezeigt.

Das Einfügen neuer Modellelemente auf der Bearbeitungsfläche erfolgt durch die Auswahl einer entsprechenden Klasse der Basisontologie. Anschließend muss dem neu eingefügten Symbol eine Klasse der Domänenontologie zugeordnet werden, die der ausgewählten Klasse der Basisontologie untergeordnet ist. Diese Zuordnung erfolgt über die im linken oberen Frame zur Verfügung gestellte Baumstruktur. Die zu den einzelnen Klassen hinterlegten Zeitdomänen lassen sich über den Button mit dem Uhrensymbol öffnen.

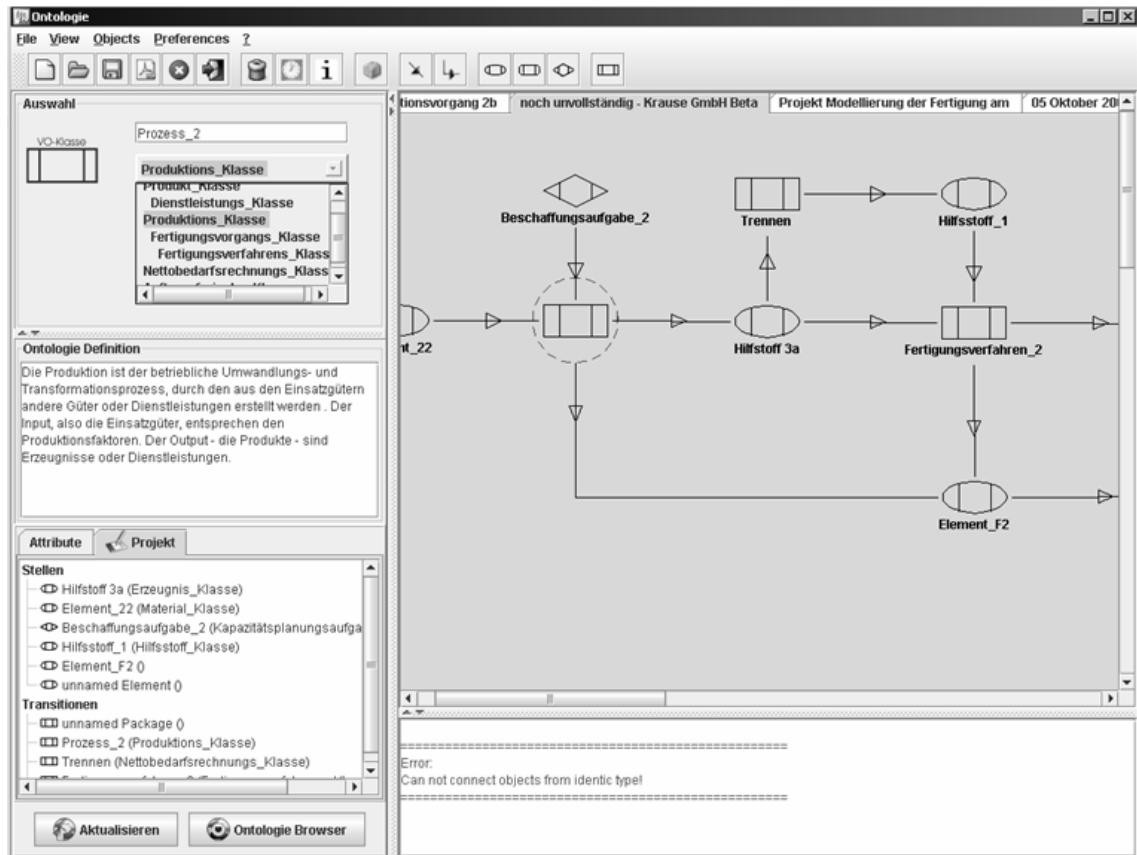


Abbildung 7-3: Screenshot der Bearbeitungsfläche von OntoMod

Sämtliche erstellten Modelle lassen sich abspeichern und als PDF oder in Papierform ausdrucken.

7.4 Beispielmodell

Das bereits in Kapitel 6 erstellte Modell wurde zum Testen der Funktionalität des Tools aufgenommen. Der Vorteil der Softwarelösung gegenüber der Nutzung eines reinen Grafikprogramms wie MS Visio liegt in der engen Kopplung der Modellelemente mit den Ontologiebausteinen in einem Werkzeug. Auf diese Weise kann ein Betrachter mit einem Klick auf einen Modellbaustein direkt seine in der Ontologie hinterlegten Informationen abrufen. Dadurch wird die Interpretierbarkeit der Modelle noch weiter verbessert.

In Abbildung 7-4 ist ein Screenshot von der Modellierungsoberfläche mit einem Ausschnitt des Gesamtmodells dargestellt. Die O-Klasse Mitarbeiter ist gerade markiert, daher werden in dem linken Frame die zugehörigen Informationen angezeigt. Die Beschreibung der Klasse die das Modellelement darstellt befindet sich in dem Feld

Ontologie Definition, die Attribute mit den entsprechenden Ausprägungen sind im unteren Bereich angegeben.

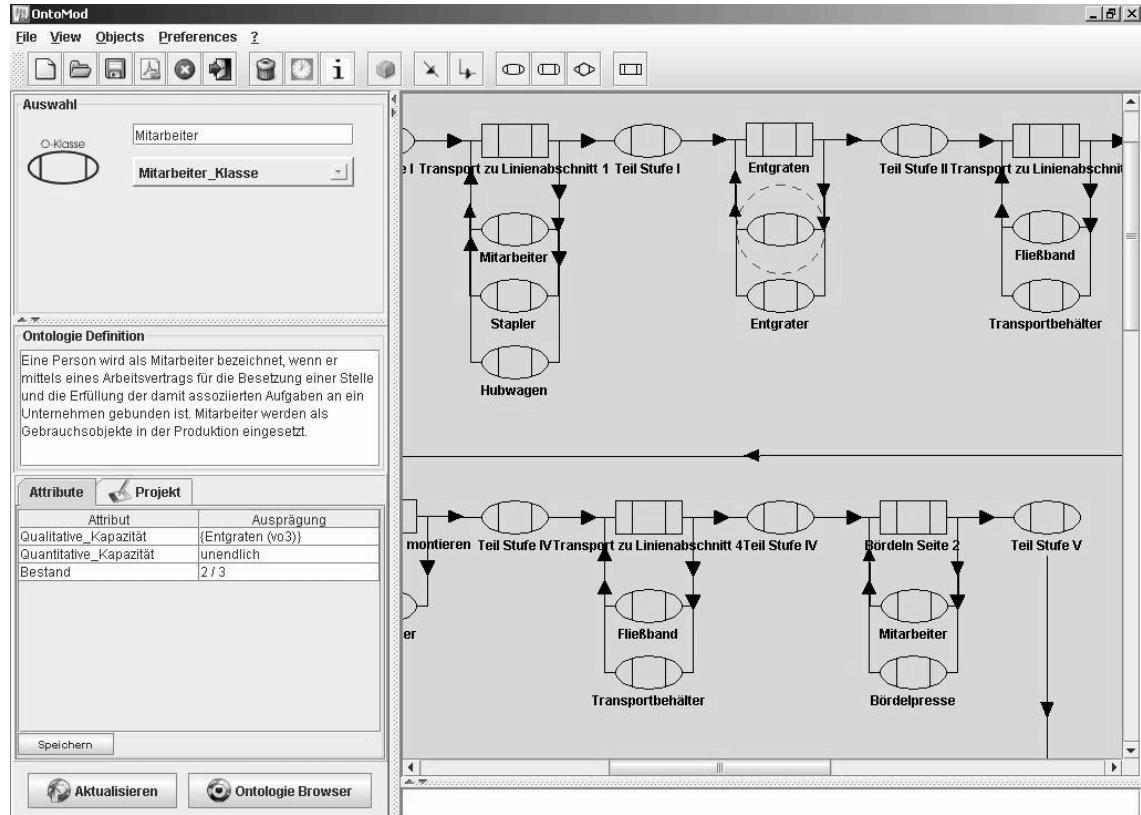


Abbildung 7-4: Screenshot von dem Beispielmodell in OntoMod

8 Zusammenfassung und Ausblick

Zur Unterstützung der Planung der Abläufe in einem Produktionssystem eines Unternehmens gilt es, den gegebenen Zustand eines Produktionssystems und der darin ablaufenden Prozesse abzubilden. Die Abbildung muss für alle beteiligten Individuen verständlich sein.

Die Grundlage für ein einheitliches Verständnis wird durch die Bereitstellung einer auf die Domäne zugeschnittenen, erweiterbaren Ontologie geschaffen. In ihr werden Objekte und Vorgänge definitorisch beschrieben. Einer jeden Klasse wird eine eindeutige Bezeichnung zugeordnet. Auf diese Weise lassen sich Terminologieprobleme (Konflikt, Kontrast und Korrespondenz) vermeiden.

Um eine erweiterbare, domänen spezifische Ontologie aufzustellen zu können, wird zunächst eine Basisontologie als Grundlage benötigt. Durch diese wird die oberste Ebene des hierarchischen Aufbaus der Gesamtontologie gebildet. Zur Beschreibung eines Produktionssystems und der dort stattfindenden Abläufe werden Klassen zur Beschreibung von Objekten, der Zeit sowie dem Verhalten von Objekten benötigt. Das Verhalten der Objekte findet über den Ablauf der Zeit statt. Das Verhalten wird durch Zustandsänderungen der Objekte und bedingt dadurch des Gesamtsystems beschreibbar.

Um Abläufe innerhalb komplexer Systeme nicht nur verbal, sondern auch visuell beschreiben zu können, bedarf es eines geeigneten Modells. Um für ein erstelltes Modell die Interpretierbarkeit für Nutzer verschiedener Fachrichtungen sicherzustellen, bietet sich die Kombination mit einer auf die entsprechende Wissensdomäne zugeschnittenen Ontologie an. Damit die Konsistenz zwischen Modell und Ontologie sichergestellt werden kann, ist jeder Baustein des Modells mit einer Klasse der Basisontologie gekoppelt. Da jede Klasse der Domänenontologie einer Klasse der Basisontologie untergeordnet ist, kann mit Hilfe des Modells jeder erfasste Sachverhalt der Domäne dargestellt werden.

Zur Erfüllung der Teilaufgaben der Produktionsplanung ist nicht nur die Einsicht in eine gegebene Situation interessant, sondern darüber hinaus die Abbildung potenzieller zukünftiger Systemzustände. Daher lassen sich in dem erstellten Modell Regeln und Bedingungen hinterlegen, die Aussagen über die Entwicklung des Systemzustands über die Zeit zulassen.

Um die Nutzung des ontologiebasierten Modells zu vereinfachen, wurde ein Software Prototyp entwickelt, mit dessen Hilfe sich ein System abbilden lässt. Zu den grafischen Repräsentanten lassen sich die in einer Datenbank hinterlegten Klassenbeschreibungen der Ontologie abrufen.

Denkbar wäre es, in Zukunft die Software dahingehend weiterzuentwickeln, dass auch die Simulation und damit die Vorhersage zukünftiger Systemzustände möglich wird. Zudem kann der begriffliche Grundbestand der Domänenontologie durch einen praktischen Einsatz des Werkzeugs erweitert werden. Neben der Erweiterung der bestehenden Ontologie können Domänenontologien für andere Wissensbereiche aufgestellt werden. Wenn sich diese aufbauend auf der bestehenden Basisontologie bilden lassen, wäre die Übernahme der entwickelten Modellelemente problemlos möglich.

9 Literaturverzeichnis

- [ApBD04] Apke, S.; Bremer, A.; Dittmann, L.: *Konstruktion einer Kompetenz-Ontologie, dargestellt am Beispiel der Deutschen Montan Technologie GmbH (DMT)*, Projektbericht 6/2004, Projekt KOWIEN, Institut für Produktion und Industrielles Informationsmanagement, Universität Duisburg-Essen (Campus Essen), Essen, 2004
- [Abel90] Abel, D.: *Petri-Netze für Ingenieure – Modellbildung und Analyse diskret gesteuerter Systeme*, Springer, Berlin u.a., 1990
- [Ahre98] Ahrens, V.: *Dezentrale Produktionsplanung und -steuerung: Systemtheoretische Grundlagen und Anwendungspotentiale*, Düsseldorf VDI, 1998
- [Alan03] Alan, Y.: *Konstruktion der KOWIEN-Ontologie*, KOWIEN-Projektbericht 2, Essen, 2003
- [Alle84] Allen, J.: *Towards a general theory of action and time*. In Artificial Intelligence 23, S. 123-154, 1984
- [Andl29] Andler, K.: *Rationalisierung der Fabrikation und optimale Losgröße*, München: Diss. Univ., 1929
- [Bär77] Bär, W.: *Produktionsplanung und Auftragsbearbeitung im Industriebetrieb*, Wiesbaden, 1977
- [Bamb96] Bamberger, R.: *Entwicklung eines Werkzeuges zum Störungsmanagement in der Produktionsregelung*, Universität Stuttgart, 1996.
- [BaWe88] Backhaus, K.; Weiss, P.A.: *Integration von betriebswirtschaftlichen und technisch orientierten Systemtechnologien in der Fabrik der Zukunft*, in: Fertigungssteuerung I: Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, S.49 – 72, Adam, D. (Hrsg.), Wiesbaden, 1988
- [Bret04-ol] W.-R. Bretzke: "Available to Promise": *Lieferzeitzusagen müssen belastbar werden*, unter: <http://www.mylogistics.net/de/news/themen/key/news28012/jsp>, 2004
- [Broc71] Brockhaus Enzyklopädie, 13. Band, F.A. Brockhaus, Wiesbaden, 1971
- [Cors97] Corsten, H. (Hrsg.): *Handbuch Produktionsmanagement – Strategien, Führung, Technologie, Schnittstellen*, Gabler, Wiesbaden, 1997
- [Cors00] Corsten, H.: *Produktionswirtschaft, Einführung in das industrielle Produktionsmanagement*, R. Oldenbourg, München / Wien, 2000
- [Dang96] Dangelmaier, W.: *Modellorientiertes Generierungssystem für Fertigungssteuerungssysteme*, Zwischenbericht, DFG Schwerpunkt-

- programm Modellierung der Produktion, Berichtszeitraum 1. Mai 1995 bis 31.Mai 1996
- [Dang03] Dangelmaier, W.: *Produktion und Information, System und Modell*, Springer, Berlin, 2003
- [DaWa97] Dangelmaier, W.; Warnecke, H.-J.: *Fertigungslenkung. Planung und Steuerung des Ablaufs der diskreten Fertigung*, Springer, Berlin, 1997
- [DaWi93] Dangelmaier, W.; Wiedenmann, H.: *Modell der Fertigungssteuerung*, Berlin, Beuth-Verlag, 1993
- [DaWi97] Dangelmaier, W.; Wiedenmann, H.: *Modellbasiertes Planen und Steuern der Fertigung*, Berlin, Beuth-Verlag, 1997
- [DoWa81] Dolezalek, C. M.; Warnecke, H.-J.: *Planung von Fabrikanlagen*, 2. Auflage, Springer, Berlin, 1981
- [Ever96] Eversheim, W.: *Fertigungstechnik und -verfahren*, in: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl. Sp. 1534, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- [Euro98] Europäisches Parlament: Richtlinie 98/37/EG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Maschinen, 1998
- [Fens01] Fensel, D.: *Ontologies – A Silver Bullet for Knowledge Management and Electronic Commerce*, Springer, Berlin / Heidelberg, 2001
- [FGPP99] Fernandez-Lopez, M.; Gomez-Perez, A.; Pazos-Sierra, A.; Pazos-Sierra, J.: *Building a Chemical Ontology Using METHODOLOGY and the Ontology Design Environment*, in IEEE Jan / Feb, S. 37 – 46, 1999
- [Foer93] Foerster, H.: *Wissen und Gewissen: Versuch einer Brücke*, Suhrkamp, Frankfurt am Main, 1993
- [FoSc00] Fowler, M.; Scott, K.: *UML konzentriert – Eine strukturierte Einführung in die Standard-Objektmodellierungssprache*, 2. aktualisierte Auflage, Deutsche Übersetzung von Mester, A.; Sczittnick, A.; Graw, G., Addison-Wesley, 2000
- [Fran01] Frank, U.: *Informatik und Wirtschaftsinformatik – Grenzziehungen und Ansätze zur gegenseitigen Befruchtung*, in: Desel, J.: Das ist Informatik, Berlin / Heidelberg, Springer, 2001
- [Gabl93] Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden, 1993
- [Gabl00] Gabler Wirtschaftslexikon, Wiesbaden, 2000
- [Geru96] Gerum, E.: *Mitbestimmung in der Produktion*, in: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft. 2. Aufl., Sp. 1216, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996

- [GeNi87] Genesereth, M.; Nilsson, N.: *Logical foundations of artificial intelligence*, Morgan Kaufmann, Los Altos, Kalifornien, USA, 1987
- [GlPe96] Glaser, H.; Petersen, P.: *PPS-Systeme*, in: Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Auflage, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- [GüTe03] Günther, H.-O. Tempelmeier H.: *Produktion und Logistik*, 5. Aufl., Springer, Berlin, 2003
- [Groc74] Grochla, E.: *Das Kölner Integrationsmodell*, in: Grochla, E. (Hrsg.) et al.: Integrierte Gesamtmodelle der Datenverarbeitung. S. 189 – 360, München / Wien, 1974
- [Grub93] Gruber, T.: *A translation approach to portable ontology specifications*, in: Knowledge Acquisition 5, S. 199 – 220, Academic Press, London (u.a.), 1993
- [Grub94] Gruber, T.: *Towards principles for the design of ontologies used for knowledge sharing*, in: International Journal of Human – Computer Studies, 43 (5/6), S. 907 – 928, Elsevier, Amsterdam, 1994
- [Guar97] Guarino, N.: *Understanding, Building, and Using Ontologies*, in: International Journal of Human – Computer Studies, Elsevier, Amsterdam, 1997
- [GuGi95] Guarino, N.; Giaretta, P.: *Ontologies and Knowledge Bases: Towards a Terminological Clarification*, in: Mars, N.: Towards Very Large Knowledge Bases: Knowledge Building and Knowledge Sharing, IOS Press, Amsterdam, 1995
- [Hack89] Hackstein, R.: *Produktionsplanung und -steuerung (PPS) – Ein Handbuch für die Betriebspraxis*, VDI, Düsseldorf, 1989
- [Hand79] *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Sp. 1557, Poeschel, Stuttgart, 1979
- [Heid93] Heidegger, M.: *Sein und Zeit*, Niemeyer, Tübingen, 1993
- [Hoff80] Hoffmann, F.: *Organisation, Begriff der*, in: Grochla, E.: Handwörterbuch der Organisation, Poeschel, Stuttgart, 1980
- [Horv94] Horváth, P.: *Controlling*, 5. Aufl., Vahlen-Verlag, München, 1994
- [Jaco96] Jacob, H.: *Produktions- und Absatzprogrammplanung*, in: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, 2. Aufl., Sp. 1468. Stuttgart: Schäffer-Poeschel, 1996
- [Kern79] Kern, W. (Hrsg.): *Handwörterbuch der Produktionswirtschaft*, Carl Ernst, Stuttgart, 1979
- [Kern93] Kern, W.: *Industrielle Produktionswirtschaft*, 5. Aufl., Stuttgart, 1993

- [KiSt01] Kistner, K.-P.; Steven, M.: *Produktionsplanung*, 3. Auflage, Physica, Heidelberg, 2001
- [KIBu76] Klaus, G., Buhr, M.: *Philosophisches Wörterbuch*, Freiburg / Basel / Wien, 1976
- [Klug89] Kluge, F.: *Etymologisches Wörterbuch der deutschen Sprache*. 22. Aufl., de Gruyter, Berlin, 1989
- [Kois80] Koisol, E.: *Ablauforganisation*, in: Grochla, E.: *Handwörterbuch der Organisation*, Stuttgart: Poeschel, 1980
- [Kono84] Kono, T.: *Strategy and Structure of Japanese Enterprises*, Macmillan, London, 1984
- [Kowi05-ol] KOWIEN-Ontologien unter: <http://www.kowien.uni-essen.de>, Essen, 2005
- [KuHe02] Kuhn, A.; Hellingrath, H.: *Supply Chain Management – Optimierte Zusammenarbeit in der Wertschöpfungskette*, Springer, Berlin (u.a.), 2002
- [Kurb98] Kurbel, K.: *Produktionsplanung und -steuerung: Methodische Grundlagen von PPS-Systemen und Erweiterungen*, 3. Aufl., Oldenbourg, München, 1998
- [KrSt00] Krüger, R.; Steven M.: *Supply Chain Management im Spannungsfeld von Logistik und Management*, in: WiSt Wirtschaftswissenschaftliches Studium (2000), Heft 9, S. 501 – 507, 2000
- [Krus96] Kruse, C.: *Referenzmodellgestütztes Geschäftsprozeßmanagement – Ein Ansatz zur prozessorientierten Gestaltung vertriebslogistischer Systeme*, Gabler, Wiesbaden, 1996
- [Lang99] Langemann, T.: *Modellierung als Kernfunktion einer systemorientierten Analyse und Bewertung der diskreten Produktion*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 1999
- [Laake95] Laakes, R.: *Just-in-Time-Produktion*, Gabler, Wiesbaden , 1995
- [LeEg88] Leszak, M.; Eggert, H.: *Petri-Netz-Methoden und -Werkzeuge – Hilfsmittel zur Entwurfsspezifikation und –validation von Rechensystemen*, Springer-Verlag, Berlin (u.a.), 1988
- [Lehr93] Lehrer, N.: *Knowledge representation specification language*, Technical report, DARPA / Rome Laboratory Planning and Scheduling Initiative, 1993
- [Mae03] Maedche, A.: *Ontology Learning for the semantic web*, 2. Aufl., Kluwer Academic Publisher, Dordrecht, 2003
- [Male70] Maleri, R.: *Betriebswirtschaftliche Probleme der Dienstleistungsproduktion*, Dissertation, Mannheim, 1970

- [Meix04] Meixner, U.: *Einführung in die Ontologie*, Wiss. Buchges., Darmstadt, 2004
- [MSJ94] Mertins, K.; Süssenguth, W.; Jochem, R.: *Modellierungsmethoden für rechnerintegrierte Produktionsprozesse*, Carl Hanser, München / Wien, 1994
- [NeSa96] Newen, A.; von Savigny, E.: *Einführung in die Analytische Philosophie*, Wilhelm Fink, München, 1996
- [Nonn94] Nonnenmacher, M.G.: *Informationsmodellierung unter Nutzung von Referenzmodellen – Die Nutzung von Referenzmodellen zur Implementierung industriebetrieblicher Informationssysteme*, Peter Lang GmbH, Europäischer der Wissenschaften, Frankfurt am Main, 1994
- [Oest04] Oestereich, B.: *Objektorientierte Softwareentwicklung, Analyse und Design mit der UML 2.0*, 6. Aufl., Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München, 2004.
- [Petri62] Petri, C.A.: *Kommunikation mit Automaten*, Dissertation, Universität Bonn, 1962.
- [PGS98] Pisanelli, D.; Gangemi, A.; Steve, G.: *An Ontological Analysis of the UMLS Metathesaurus*, in: Proceedings of AMIA 98 Conference, 1998
- [REFA75] REFA (Hrsg.): *Methodenlehre der Planung und Steuerung*, Carl Hanser, München, 1975
- [REFA85] REFA (Hrsg.): *Methodenlehre der Planung und Steuerung*, 5 Bände, Carl Hanser, München, 1985
- [Reis82] Reisig, W.: *Petri Nets – An Introduction*, in: Brauer, W.; Rozenberg, G.; Salomaa, A.: EATCS Monographs on Theoretical Computer Science, 4. Aufl., Springer, Berlin (u.a.), 1982
- [Rohl95] Rohloff, M.: *Produktionsmanagement in modularen Strukturen*, Oldenbourg, München (u.a.), 1995
- [Rüth04] Rüther, M.: *Ein Beitrag zur klassifizierenden Modularisierung von Verfahren für die Produktionsplanung*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 2004
- [Sabi96] Sabisch, H.: *Produkte und Produktgestaltung*, in: Kern, W.; Schröder, H.-H.; Weber, J. (Hrsg.): Handwörterbuch der Fertigungswirtschaft. 2. Aufl., Sp. 1439, Schäffer-Poeschel, Stuttgart, 1996
- [Sche90] Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik – Informationssysteme im Industriebetrieb*, Springer, Berlin (u.a.), 1990
- [Sche98] Scheer, A.-W.: *Modellierungsmethoden Metamodelle – Anwendungen*, Springer, Berlin (u.a.), 1998

- [Sche99] Schekelmann, A.: *Materialflussteuerung auf der Basis des Wissens mehrerer Experten*, HNI-Verlagsschriftenreihe, Paderborn, 1999
- [Schm92] Schmidt, C.: *Petri-Netze: Ein Instrument zur Lösung logistischer Probleme im CIM-Bereich*, in: Wirtschaftsinformatik, 34, S. 66 – 75, 1992
- [Schn02] Schneeweiss, W. G.: *Petri-Netz-Bilder-Buch*, LiLoLe-Verlag, Hagen, 2002
- [Schö02] Schönsleben, P.: *Integrales Logistikmanagement – Planung und Steuerung von umfassenden Geschäftsprozessen*, 3. Aufl., Springer-Verlag, Berlin / Heidelberg, 2002
- [Scho80] Schomburg, E.: *Entwicklung eines betriebstypologischen Instrumentariums zur systematischen Ermittlung von Anforderungen an EDV-gestützte Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme im Maschinenbau*, Dissertation, RWTH Aachen, 1980
- [Schü98] Schütte, R.: *Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle*, Gabler, Wiesbaden, 1998
- [Schr89] Schröder, H.-H.: *Entwicklungsstand und -tendenzen bei PPS-Systemen. Arbeitsbericht Nr. 26 des Seminars für allgemeine Betriebswirtschaftslehre, Industriebetriebslehre und Produktionswirtschaft der Universität zu Köln*, Köln, 1989
- [Sinz96] Sinz, E. J.: *Ansätze zur fachlichen Modellierung betrieblicher Informationssysteme. Entwicklung, aktueller Stand und Trends*, in: Heilmann, H.; Heinrich, L. J.; Roithmayr, F. (Hrsg.): *Information Engineering*. S. 123 – 143, Oldenbourg-Verlag, München / Wien, 1996
- [Star90] Starke, P. H.: *Analyse von Petri-Netz-Modellen*, Teubner, Stuttgart, 1990
- [Stra03] Strang, T.: *Vergleich von Wissensmodellen – Technical Report*, IB 554 – 03/02, 2003
- [StNe04] Steinmann, F.; Nejdl, W.: *Modellierung und Ontologie*, Universität Hannover, 2004
- [Stot89] Stotko, E. C.: *CIM-OSA*, in: CIM-Management, Band 1, S. 9 – 15, 1989
- [Stuc03] Stuckenschmidt, H.: *Ontology-Based Information Sharing in weakly structured environments*, Dissertation, Universität Amsterdam, 2003
- [Söhn95] Söhner, V.: *Hierarchisch integrierte Produktionsplanung und -steuerung*, Physika, Heidelberg, 1995
- [SWJ95] Schreiber, G.; Wielinga, B.; Jansweijer, W.: *The KAKTUS view on the 'O' Word*, in: Proceedings of IJCAI95 Workshop on Basic Ontological Issues in Knowledge Sharing, Montreal, 1995

- [Tack01] Tacken, Jürgen: *Eine Pr/T-Netz basierte durchgängige Entwurfsmethodik für eingebettete Realzeitsysteme*, Dissertation, Shaker, Aachen, 2001.
- [TöJü92] Tönshoff, H. K.; Jürging, C. P.: *CIMOSA - Geschäftsprozeßmodellierung zur Anforderungsbeschreibung für unternehmensspezifische CIM-Anwendungen*, CIM-Management, 1992
- [UKMZ97] Uschold M.; King M.; Moralee, S.; Zorgios, Y.: *The Enterprise Ontology*, Edinburgh, 1997
- [Unte01] Unterstein, Klaus: *Ontologiebasierte Wissensextraktion*, Dortmund, 2001
- [UsGr96] Uschold, M., Grüninger, M.: *Ontologies: Principles, Methods and Applications*, University of Edinburgh, 1996 AIAI-TR-191 unter: <http://citeseer.nj.nec.com/uschold96ontologie.html>
- [VDI73] VDI-Richtlinie 3300: *Materialfluß-Untersuchungen*, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1973
- [VDI83] VDI: *Lexikon der Produktionsplanung- und steuerung*, VDI, Düsseldorf, 1983
- [Wahr78] H. Wahrig: *Deutsches Wörterbuch*, Bertelsmann Lexikon-Verlag, Gütersloh, 1978
- [Warn84] Warnecke, H.J.: *Der Produktionsbetrieb. eine Industriebetriebslehre für Ingenieure*, Springer, Berlin, 1984
- [WeZa02] Weiber, R.; Zanner, B.: *E-Transformation: Holpriger Weg ins E-Business Zeitalter*, in: technologie & management, Heft 3-4, 2002
- [Wima05-ol] *Ontologiedefinition Wiman-Server*, unter: <http://wiman.server.de/servlet/is/2339/?spawned=true>
- [Wiki05a-ol] Wikipedia, unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Hauptseite>, 2005
- [Wiki05b-ol] Wikipedia, unter: <http://de.wikipedia.org/wiki/Systemverhalten>, 2005
- [Wolf30] Wolff, C.: *Philosophia prima siva ontologia*, Frankfurt / Leipzig, 1730
- [Wolf03] Wolf, J.: *Organisation, Management, Unternehmensführung, Theorie und Kritik*, Gabler, Wiesbaden, 2003
- [WVVS+01] Wache, H.; Vögele, T.; Visser, U.; Stuckenschmidt, H.; Schuster, G.; Neumann, H.; Hübner, S.: *Ontology-based integration of information – a survey of existing approaches*, in: Stuckenschmidt, H. (Hrsg.): IJCAI-01 Workshop: Ontologies and Information Sharing, Seattle, WA, 2001, S. 106 – 117.
- [Zäpf82] Zäpfel, G.: *Produktionswirtschaft. Operatives Produktionsmanagement*, de Gruyter, Berlin, 1982

10 Stichwortverzeichnis

<i>A</i>	<i>G</i>
<i>Abgang</i> 98	<i>Füge_Werkzeug_Maschine</i> 88
<i>Aufgabe</i> 63	<i>Gabelstapler</i> 87
<i>Aufgabenklasse (AF-Klasse)</i> 65	<i>Gebrauchsobjekt</i> 85
<i>Aufgabenobjekt</i> 63	<i>Gesperrter Bestand</i> 83
<i>Aufgabenträger</i> 64	<i>Gruppe</i> 90
<i>Auftrag</i> 67	<i>H</i>
<i>Auftragsklasse (AT-Klasse)</i> 69	<i>Hilfsstoff</i> 90
<i>Ausgangsdaten</i> 15	<i>Hubwagen</i> 87
<i>Ausschuss</i> 83	<i>I</i>
<i>B</i>	<i>Inventur</i> 84
<i>Bandförderer</i> 87	<i>K</i>
<i>Bearbeitungswartezeit</i> 103	<i>Kantbank</i> 88
<i>Bearbeitungszeit</i> 103	<i>Kapazitätsplanung</i> 104
<i>Bestands_Bestellrechnungs_Aufgabe</i> 97	<i>Kapazitätsplanungs_Aufgabe</i> 104
<i>Betriebsstoff</i> 90	<i>Kettenförderer</i> 87
<i>Bohr_Maschine</i> 88	<i>Kunden_Auftrag</i> 93
<i>Bohrer</i> 86	<i>L</i>
<i>Bruttobedarfsrechnungs_Aufgabe</i> 97	<i>Löt_Maschine</i> 88
<i>D</i>	<i>M</i>
<i>Dreh_Maschine</i> 88	<i>Maschine</i> 86
<i>Drehmeißel</i> 86	<i>Maschinenbelegungsplan</i> 105
<i>Durchlaufzeit</i> 104	<i>Materielles_Gut</i> 83
<i>E</i>	<i>Mengenplanungs_Aufgabe</i> 96
<i>Ereignis</i> 57	<i>Mitarbeiter</i> 86
<i>Erzeugnis</i> 92	<i>Mittelpunktterminierung</i> 103
<i>F</i>	<i>Modell</i> 12
<i>Förder_Maschine</i> 87	<i>N</i>
<i>Formalziel</i> 64	<i>Nettobedarfsrechnungs_Aufgabe</i> 97
<i>Fräs_Maschine</i> 88	
<i>Fräser</i> 86	

<i>O</i>	
<i>Objekt</i>	54
<i>Offener_Auftrag</i>	98
<i>O-Klasse (Objektklasse)</i>	56
<i>P</i>	
<i>Physischer Bestand</i>	83
<i>Primärbedarf</i>	95
<i>Produkt</i>	92
<i>Produktions_Auftrag</i>	91
<i>Produktions_Vorgang</i>	80
<i>Produktionsablauf</i>	79
<i>Produktionsfaktor</i>	85
<i>Produktionslinie</i>	78
<i>Produktionsplanungs_Aufgabe</i>	93
<i>Produktionsprogramm</i>	95
<i>Produktionsstufe</i>	78
<i>R</i>	
<i>Reservierung</i>	98
<i>Rohstoff</i>	90
<i>Rollenbahn</i>	87
<i>Rückwärtsterminierung</i>	102
<i>S</i>	
<i>Sachziel</i>	64
<i>Schere</i>	86
<i>Sekundärbedarf</i>	95
<i>Sicherheitsbestand</i>	83
<i>Solldaten</i>	15
<i>Stetigförderer</i>	87
<i>T</i>	
<i>Teil</i>	89
<i>Teilmodell</i>	72
<i>Terminplanung</i>	101
<i>Terminplanungs_Aufgabe</i>	102
<i>Tertiärbedarf</i>	95
<i>Transportwartezzeit</i>	103
<i>Transportzeit</i>	103
<i>Trennende_Werkzeug_Maschine</i>	88
<i>U</i>	
<i>Übergangszeit</i>	103
<i>Umformende_Werkzeug_Maschine</i>	88
<i>Unstetigförderer</i>	87
<i>V</i>	
<i>Variante</i>	92
<i>Verbrauchsobjekt</i>	89
<i>verfügbarer Bestand</i>	83
<i>Vertriebs_Aufgabe</i>	93
<i>Vorgang</i>	61
<i>Vorgangsklasse (VO-Klasse)</i>	62
<i>Vorgangszeit</i>	103
<i>Vorwärtsterminierung</i>	102
<i>W</i>	
<i>Werkstoff</i>	89
<i>Werkzeug</i>	86
<i>Werkzeug_Maschine</i>	87
<i>Z</i>	
<i>Zeit</i>	57
<i>Zeitdomäne</i>	59
<i>Zeitintervall</i>	59
<i>Zeitpunkt</i>	57
<i>Zugang</i>	98

11 Anhang

A_F und A_T bezeichnen die Kanten- und Transitionsbeschriftungen und werden wie folgt definiert¹:

„Jede Kante $(p,t) \in F$ bzw. $(t,p) \in F$ weist als Beschriftung eine formale Summe über n -Tupel aus Variablen für ein gewisses $n \in N_0$ auf. Es gilt folgende Konsistenzbedingung (K1):

Alle Tupel als Teil der Kantenbeschriftung von $(p,t) \in F$ (bzw. von $(t,p) \in F$), für $p \in P$, $t \in T$, haben alle dieselbe Stelligkeit x_P , = arity $(A_P(p))$, d.h., diese Stelligkeit ist identisch mit der Stelligkeit des Stellen-Prädikats $A_P(p)$. Damit haben auch alle Tupel in allen Inschriften von Kanten, die in der unmittelbaren Umgebung einer Stelle p liegen, dieselbe Stelligkeit.“

$$\forall p \in P, \forall t \in T : f = (p,t) \text{ oder}$$

$$f = (p,t) \Rightarrow \text{arity}(A_F(f)) = \text{arity}(A_P(p))$$

„Jede Transition kann (optional) als Beschriftung eine erfüllbare Formel aufweisen. Jede solche Formel $A_T(t)$ für eine Transition $t \in T$ operiert auf individuellen strukturierten Marken, die bei einer Aktivierung der Transition ausgewählt werden. Dabei wird u.a. die betreffende Formel ausgewertet. Auswertung und Markenauswahl hängen dabei ab von

- der Markierung von Stellen $p \in P$, die in der t -Umgebung liegen, d.h. für die eine Kante $(p,t) \in F$ bzw. $(t,p) \in F$ existiert;
- den zugehörigen Beschriftungen aller t -Umgebungskanten $A_F(p,t)$ bzw. $A_F(t,p)$.“

Abbildung 11-1: Transitionsbeschriftung in PR-T-Netzen

Hauptgruppen					
Urformen	Umformen	Trennen	Fügen	Beschichten	Stoffeigenschaft ändern
Definitionen					
Fertigen eines festen Körpers aus formlosen Stoff	Bildsames Ändern der Form eines festen Körpers	Form ändern eines festen Körpers durch örtliches Aufheben des Zusammenhaltes	Zusammenbringen von Werkstücken, auch mit formlosem Stoff	Aufbringen einer fest haftenden Schicht aus formlosen Stoff	Verändern Eigenschaften der des Werkstück-Werkstoffes
Zusammenhalt der Stoffteilchen bzw. Bestandteile wird geschaffen beibehalten vermindert oder aufgehoben vermehrt					
Gruppen					
aus dem flüssigen Zustand	Druckumformen	Zerteilen	Zusammensetzen	aus dem flüssigen Zustand	Verfestigen durch Umformen
aus dem plastischen Zustand	Zugdruck-umformen	Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden	Füllen	aus dem plastischen Zustand	Wärmebehandeln
aus dem breiigen Zustand	Zugumformen	Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden	An-Einpressen und	aus dem breiigen Zustand	Thermomechanisches Behandeln
aus dem körnigen oder pulverförmigen Zustand	Biegeumformen	Abtragen	Fügen Urformen durch	aus festem oder körnigem Zustand	Sintern, Brennen
aus dem span- oder faserförmigen Zustand	Schubumformen	Zerlegen	Fügen Urformen durch	durch Schweißen	Magnetisieren
aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand			Fügen Schweißen durch	durch Löten	Bestrahlen
aus dem ionisierten Zustand			Fügen Löten durch	aus dem gas- oder dampfförmigen Zustand	Photochemische Verfahren
			Kleben	aus dem ionisierten Zustand	
			Textiles Fügen		

Abbildung 11-2: Fertigungsverfahren nach DIN 8580

```
<owl:Class rdf:ID="Produkt_Klasse">

<owl:disjointWith>

<owl:Class rdf:ID="Produktionsfaktor_Klasse"/>

</owl:disjointWith>

<owl:disjointWith>

<owl:Class rdf:ID="Gebrauchsobjekt_Klasse"/>

</owl:disjointWith>

<rdfs:subClassOf>

<owl:Class rdf:about="#Objekt-Klasse"/>

</rdfs:subClassOf>

<owl:disjointWith>

<owl:Class rdf:ID="Verbrauchsobjekt_Klasse"/>

</owl:disjointWith>
```

Abbildung 11-3: Auszug aus dem ausgeleiteten OWL-Code der Ontologie

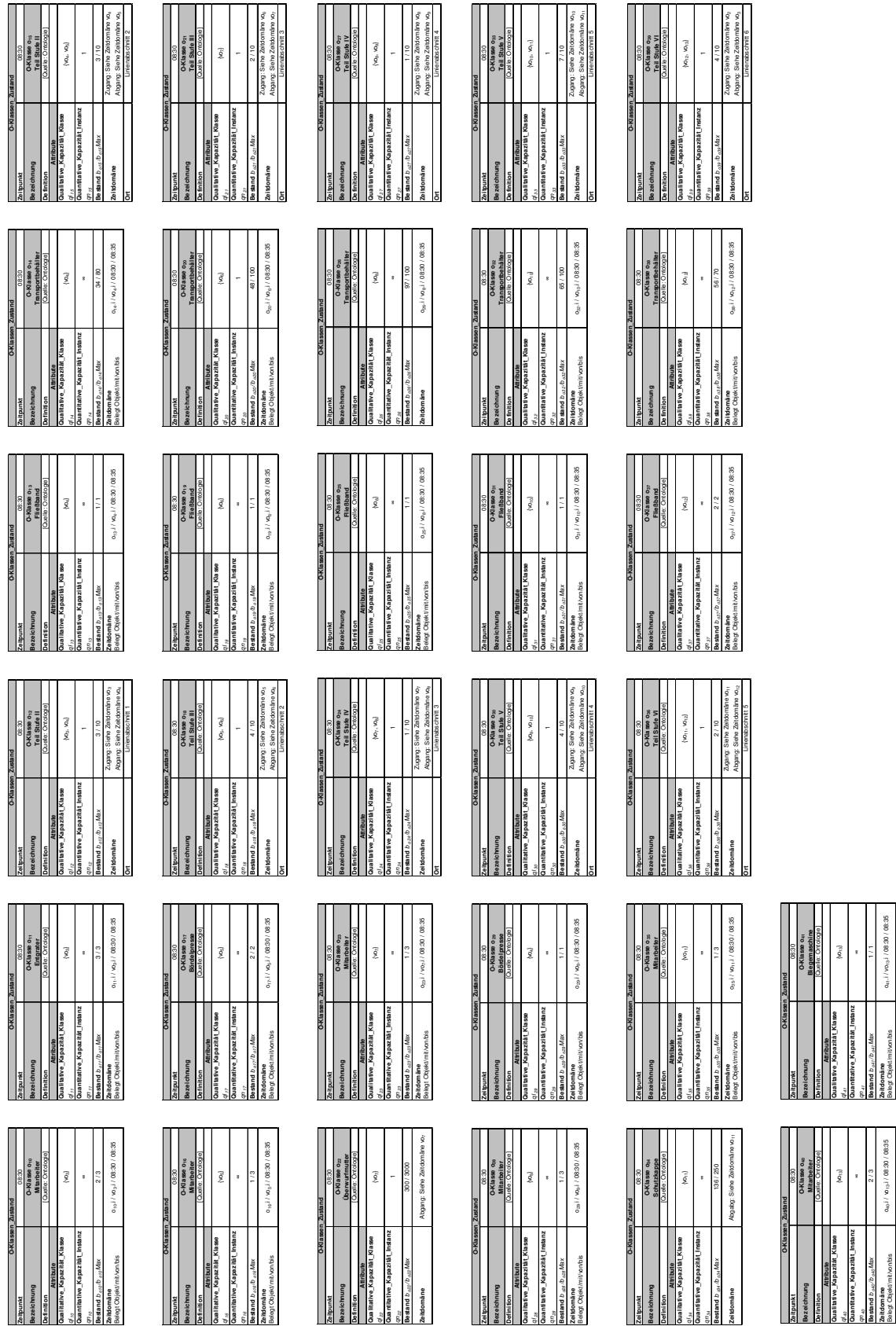


Abbildung 11-4: Modellbeschriftung – O-Klassen

Abbildung 11-5: Modellbeschriftung – VO-Klassen

Teilmodell Zustand	
Zeitpunkt	08:30
Bezeichnung	Teilmodell tm_1 Warenannahme
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	1
Beteiligte_O-Klassen (kann)	$\{o_1, o_9\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o1}(t_b)-1$ $b_{o9}(t_e)+1$
Bedingungen	$b_{o1}(t_b) \geq 1$ $b_{o9}(t_e) < b_{o9} \text{Max}(t_e)$
Zeitdomäne	$t_b: \text{Zugang } \{o_1, i\} \vee$ $t_e: \text{Abgang } \{o_9, i\}$
Dauer (Ges)	10 Minuten
Enthaltene_Klassen	O-Klassen $\{o_1, o_2, o_3, o_4, o_5, o_6, o_7, o_8, o_9\}$ VO-Klassen $\{vo_1, vo_2\}$ AF-Klassen {} AT-Klassen {}
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	$\{o_1\}/\{\text{Warenausgang}\}$ $\{o_9\}/\{\text{Warenausgang}\}$

Teilmodell Zustand	
Zeitpunkt	08:30
Bezeichnung	Teilmodell tm_2 Warenkommission
Definition	[Quelle: Ontologie]
Attribute	
Menge existierender Instanzen	1
Beteiligte_O-Klassen (kann)	$\{o_{42}, o_{48}\}$
O-Klassen_Zustandsänderung	$b_{o42}(t_b)-1$ $b_{o48}(t_e)+1$
Bedingungen	$b_{o42}(t_b) \geq 1$ $b_{o48}(t_e) < b_{o48} \text{Max}(t_e)$
Zeitdomäne	$t_b: \text{Zugang } \{o_{42}, i\} \vee$ $t_e: \text{Abgang } \{o_{48}, i\}$
Dauer (Ges)	10 Minuten
Enthaltene_Klassen	O-Klassen $\{o_{42}, o_{43}, o_{44}, o_{45}, o_{46}, o_{47}, o_{48}\}$ VO-Klassen $\{vo_{14}, vo_{15}\}$ AF-Klassen {} AT-Klassen {}
Schnittstellen (Eingang/extern) (Ausgang/extern)	$\{o_{42}\}/\{vo_{13}\}$ $\{o_{48}\}/\{\text{Warenausgang}\}$

Abbildung 11-6: Modellbeschriftung – Teilmodelle

VO-Klassen Zustand		08:30
Zeitpunkt	Bezeichnung	VO-Klassen VO _{i+4} Prüfen [Online-Offline]'
Definition	Menge existierender Instanzen	Attribute
Beteiligte VO-Klassen (fewm)		$\{o_{i+1}, o_{i+2}, o_{i+3}\}$
Bezeichnung	Bez _{i+1} (mit VO _{i+1} & O _{i+1} (t _{i+1})) - 1	
O-Klassen-Zustandsänderung	UND $Bool(t_{i+1}) + 1$	
	UND $Bool(t_{i+1}) - 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_0$	
	UND $Bool(t_{i+1})_1$	
	UND $Bool(t_{i+1}) + 1$	
Bedingungen	UND $Bool(t_{i+1})_0$	
	UND $Bool(t_{i+1})_1 >= 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_0 >= 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_1 >= 1$	
Zeitdomäne	08:30: Zeitung [o _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
	08:30: Beginn [VO _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
	08:35: Ende [VO _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
Dauer (Secs)	5 Minuten	

VO-Klassen Zustand		08:30
Zeitpunkt	Bezeichnung	VO-Klassen VO _{i+5} Variation [Online-Offline]'
Definition	Menge existierender Instanzen	Attribute
Beteiligte VO-Klassen (fewm)		$\{o_{i+1}, o_{i+2}, o_{i+3}\}$
Bezeichnung	Bez _{i+1} (mit VO _{i+1} & O _{i+1} (t _{i+1})) - 1	
O-Klassen-Zustandsänderung	UND $Bool(t_{i+1}) + 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_0$	
	UND $Bool(t_{i+1})_1$	
	UND $Bool(t_{i+1}) + 1$	
Bedingungen	UND $Bool(t_{i+1})_0 >= 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_1 >= 1$	
	UND $Bool(t_{i+1})_0 >= 1$	
Zeitdomäne	08:30: Zeitung [o _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
	08:30: Beginn [VO _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
	08:35: Ende [VO _{i+1} , o _{i+2} , o _{i+3}]	
Dauer (Secs)	5 Minuten	

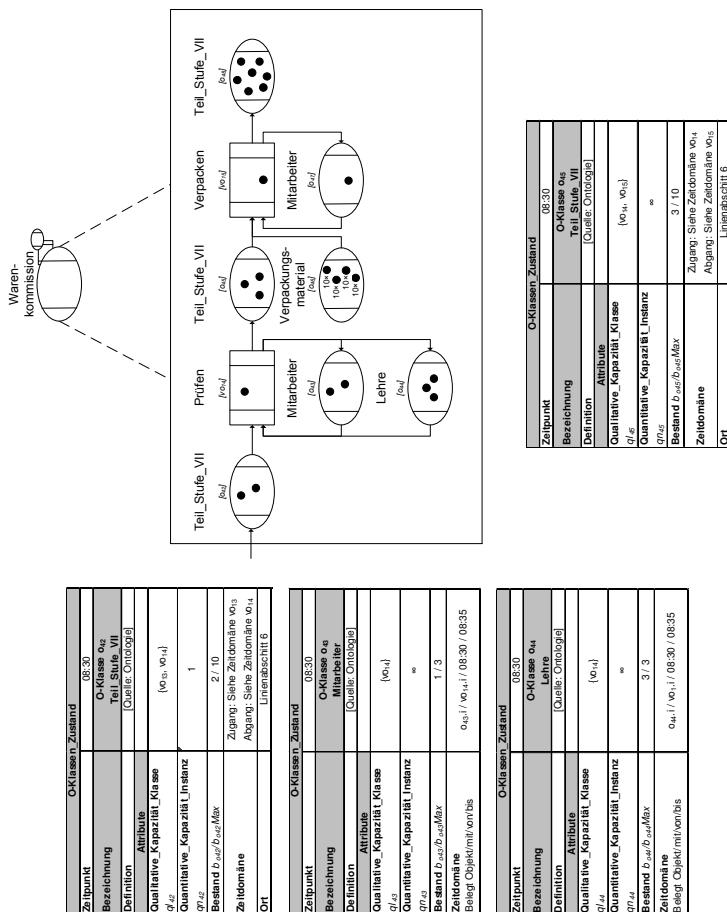


Abbildung 11-7: Teilmodell – Warenkommission