

# **Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse in der Produktion**

Bernd Scholz-Reiter, Jan Kolditz, Torsten Hildebrandt, Hartmut Höhns

Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme, Universität Bremen

Unternehmen sind heutzutage einem immer dynamischer werdenden Umfeld ausgesetzt. Nicht zuletzt auf Grund des durch die Globalisierung immer stärker werdenden Wettbewerbs wird es für sie immer wichtiger, sich Wettbewerbsvorteile durch bessere Beherrschung ihrer Prozesse, unternehmensintern wie -übergreifend, zu erarbeiten. Eine Möglichkeit der erhöhten Dynamik zu begegnen stellt die Selbststeuerung logistischer Prozesse dar. Diese soll trotz hoher Komplexität der Umwelt robustere Prozesse ermöglichen. In diesem Beitrag werden Möglichkeiten der Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse diskutiert.

## 1 Einleitung

Dieser Beitrag skizziert Aspekte und Möglichkeiten der Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse, sowie konkrete Ansatzpunkte für Selbststeuerung im Kontext der Produktionslogistik einer Werkstattfertigung. Dabei wird das Paradigma der Selbststeuerung als Lösungsperspektive zur Begegnung der extern, durch die globale Umwelt einwirkenden und der inhärenten Systemdynamik produktionslogistischer Prozesse in der Werkstattfertigung angesehen. Die Selbststeuerung soll dabei trotz hoher Komplexität der Umwelt robustere Prozesse ermöglichen.

Der folgende Abschnitt 2 gibt zunächst einen Überblick zur Idee der Selbststeuerung logistischer Prozesse, insbesondere im Kontext der produktionslogistischen Prozesse der Werkstattfertigung. Hierzu werden ausgehend von den Merkmalen und dem Wirkungsbereich der Produktionslogistik mögliche Ansatzpunkte für die Selbststeuerung diskutiert. Dabei dienen die derzeit definierten Ebenen der Produktionssteuerung zur Erschließung und Einordnung der steuerungsrelevanten Bereiche für die Selbststeuerung in der Produktionslogistik. Abschnitt 3 thematisiert darauf aufbauend die Modellierung unter dem Paradigma der Selbststeuerung. Dabei werden zunächst Anforderungen an eine Methode formuliert und nachfolgend wird vor deren Hintergrund kurz auf bestehende Modellierungsparadigmen eingegangen, um dann ein Konzept zur Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse zu skizzieren. Abschnitt 4 beschließt den Beitrag mit einer kurzen Zusammenfassung sowie einem Ausblick auf zukünftige Forschungsaufgaben.

## **2 Selbststeuerung logistischer Prozesse in der Produktion**

### **2.1 Produktionslogistik: Merkmale, Wirkungsbereich und Zielsetzungen**

Die logistischen Prozesse in der Produktion sind sehr komplex und hängen zudem stark von der betrachteten Fertigungsart (Einzel-, Serien-, Massenfertigung) sowie dem Fertigungsprinzip (Werkstätten-, Gruppen-, Fließprinzip) ab (Much, Nicolai 1995). Die Produktionslogistik umfasst allgemein die Aufgaben der Planung und Steuerung der Fertigungs-, innerbetrieblichen Transport-, Umschlags- und Zwischenlagerungsprozesse. Dies schließt alle relevanten Informationsprozesse (Sommerer 1998) mit ein, welche für die Versorgung der Produktionsprozesse mit Einsatzgütern (z.B. Roh-, Hilfs-, Betriebsstoffe) sowie die Koordination der Abgabe von Halbfertig- und Fertigerzeugnissen an das Absatzlager (Jünemann und Bayer 1998) notwendig sind. Ziel ist insgesamt die Beschleunigung aller Flüsse, insbesondere des Materialflusses (Sommerer 1998), und die Minimierung der Aufwendungen beziehungsweise aller nicht Wert schöpfenden Leistungen wie Blind- (z.B. Zwischenlager, Sicherheitspuffer) oder Fehlleistungen (z.B. Ausschuss, Nacharbeit, Störungen) (Tomys 1995, Hummel und Malorny 1997). Der Wirkungsbereich der Produktionslogistik wird dabei in der Regel auf die Phase vom Eintritt der Güter in den Fertigungsprozess bis zu deren Erreichen des Endlagers begrenzt (Becker und Rosemann 1993).

### **2.2 Selbststeuerung im Kontext der Produktionslogistik**

Auch die Selbststeuerung, die den Steuerungsaspekt dieser Definition von Produktionslogistik aufnimmt, muss bezüglich der skizzierten Phasen der Zielsetzung der Minimierung der Aufwendungen folgen und einen entsprechenden Beitrag zur Verbesserung der Prozesse leisten. Dabei werden unter Selbststeuerung hauptsächlich Informationsprozesse dezentraler Entscheidungsfindung in den heterarchischen Strukturen der Produktionslogistik verstanden. Diese ergeben sich aus den Fähigkeiten und Möglichkeiten der informationellen Repräsentationen (z.B. Softwareagenten) interagierender Systemelemente (z.B. Güter, Maschinen, Fördermittel), mit dem Ziel autonom und zielgerichtet Entscheidungen zu treffen. Diesbezüglich wird gemäß (Jünemann und Bayer 1998) eine starke Kopplung der

Informationsflüsse an die jeweiligen Güter verfolgt, um so eine weit reichende Synchronisation der Informationsflüsse mit den Materialflüssen realisieren zu können. Das Gegenkonzept wäre dementsprechend eine weitgehende Trennung von Informations- und Materialfluss (Jünemann und Bayer 1998).

In Anlehnung an (Jünemann und Bayer 1998) werden unter Informationsfluss die folgenden Funktionen beziehungsweise Arbeitsoperationen subsumiert, die im Rahmen der Selbststeuerung direkt an das jeweilige Objekt, insbesondere an das Gut aber auch an die Maschine und das Fördermittel gekoppelt werden:

- Daten ein- und ausgeben beziehungsweise -lesen,
- Daten transportieren insbesondere unter Nutzung direkter Kommunikation,
- lokale Datenverarbeitung (ordnen, aufbereiten, steuern, disponieren) und
- lokale Datenspeicherung (verwalten).

Durch die so direkt an den Objekten verankerte Möglichkeit zur zielgerichteten, dezentralen Informationsverarbeitung wird insgesamt das übergeordnete Ziel, die Realisierung einer höheren Systemrobustheit (Beibehaltung beziehungsweise Rückkehr in einen stabilen Systemzustand nach Einwirkung einer Klasse von Störungen) angestrebt. Die verteilte Bewältigung der inhärenten Dynamik, die den heterarchischen System- und Prozessstrukturen der Produktionslogistik innewohnt, sowie die grundlegenden Fragen nach der makroskopischen Komplexität (Gesamtverhalten) eines solchen Systems im Verhältnis zu dessen Kompliziertheit (Anzahl der Elemente) sind die gegenwärtigen Fragen bei der Erforschung der Selbststeuerung.

### **2.3 Die Automatisierungspyramide: Entwicklungsperspektiven im Kontext der Selbststeuerung**

Bei einer weitergehenden, detaillierteren Untersuchung des gewählten Anwendungsbereichs, in diesem Fall der Produktionslogistik, stößt man häufig auf eine funktionale und hierarchisch gegliederte Ebenenbeschreibung (Ebenen der Produktionssteuerung) (Pritschow et. al. 1996) der Informations- und Materialflussebenen (Jünemann und Bayer 1998), die bottom-up quasi von kleinen nach größeren Systemeinheiten unterschieden werden. In diesem Zusammenhang wird auch der Begriff der Automatisierungspyramide verwendet. Die Materialflussebene an sich, die derzeit meist in Antriebe und Geber (Ebene 1, z.B. an Lagerbedien- oder Bestückungsgerät), Elementsteuerung (Ebene 2, Klein-SPS oder Mikrocontroller) und Bereichssteuerung (Ebene 3, SPS oder Industrie-PC) unterteilt ist und Sensor/Aktor- oder Feldbussysteme verwendet, wird nicht direkt mit der Selbststeuerung adressiert (Jünemann und Bayer 1998). Hier sind jedoch tief greifende Änderungen erkennbar und möglich, zum Beispiel durch die Miniaturisierung und Verbesserung (z.B. Funkreichweiten, Rechengeschwindigkeit) von Telematik-, Rechner- und Kommunikationstechnologien, so dass diese Gliederung zukünftig wohl nicht mehr in dieser Form bestehen wird. Hierfür werden bereits seit längerer Zeit Konzepte wie technische Multiagentensysteme (Lüth 1998) diskutiert, die sich auf diesen Ebenen (1-3, insbesondere 3) bewegen.

Das Konzept der Selbststeuerung logistischer Objekte zielt vielmehr auf die darüber liegenden Funktionsebenen ab, die wohl zukünftig nicht mehr in dieser Form getrennt werden können sondern immer mehr verschmelzen werden. Diese adressierten Ebenen werden derzeit wie folgt unterteilt (Jünemann und Bayer 1998, Pritschow et al. 1996):

- Materialfluss-Steuerungsebene oder Subsystemsteuerung (Ebene 4) die dezentral sämtliche Operationen eines Teilsystems zielgerichtet steuert,
- Materialfluss-Leitebene oder Systemsteuerung (Ebene 5) in der zum Beispiel Fördermittel koordiniert werden sowie der Materialfluss verfolgt und optimiert wird,
- Logistik-Leitebene oder Darstellung und Kommunikation (Ebene 6) in der beispielsweise die Produktionsplanung, die Auftragsbearbeitung oder die Lagerverwaltung durchgeführt wird.

Diesbezüglich wird deutlich, dass durch die Konzeption und Einführung der selbststeuernden logistischen Objekte, die drei eben aufgeführten Ebenen weitestgehend durch die in einem Objekt vereinten Kompetenzen (z.B. Fördermittel, Maschine oder Gut), quasi objektorientiert gebündelt werden (vgl. The PABADIS consortium 2002). Ergibt sich auf den Ebenen 1 bis 3 ein vergleichbarer Entwicklungstrend, so würde sich zukünftig wohl nur noch ein Gesamtsystem aus Ebenen ergeben und nicht mehr wie bisher eine klassische Automatisierungspyramide aus mindestens 6 Ebenen.

## **2.4 Selbststeuerung in der Produktionslogistik der Werkstattfertigung**

Für die weiter oben beschriebene Selbststeuerung logistischer Prozesse, hauptsächlich verschiedene Informationsprozesse dezentraler, autonomer und zielgerichteter Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen, ist das Fertigungsprinzip der Werkstattfertigung, deren Arbeitssysteme in der Regel nach dem Verrichtungsprinzip (räumlich, organisatorische Einheiten) (Pfohl 2000) angeordnet sind, mit einer Fertigungsart von Einzel- bis Kleinserien, besonders interessant. Das eher auf Großserien orientierte Fertigungsprinzip der Fließfertigung, mit ihrer zumeist starren Verkettung von Fertigungs- und Transportanlagen lässt hingegen kaum Spielraum für die Idee der Selbststeuerung produktionslogistischer Prozesse.

Die Selbststeuerung bezieht sich im Rahmen der Werkstattfertigung insbesondere auch auf die an der Produktion beteiligten Güter, die sich quasi selbständig ihren Weg durch die Werkstatt bis hin zur Fertigstellung des Endprodukts suchen sollen. Dabei soll das jeweilige Gut beziehungsweise Werkstück (z.B. Rohmaterial oder Halbfertig- bzw. Zwischenerzeugnis) über die an ihm zu vollziehenden Bearbeitungsvorgänge bis hin zu einer besonders exponierten Zwischenstufe oder gar bis hin zum Endprodukt informiert sein und selbständig agieren. Dieses bedeutet, dass es zumindest einen weitgehenden Teil seiner Arbeitspläne mit sich führt und darüber urteilen kann, wie, wo und nach welchen Kriterien der jeweils folgende Arbeitsvorgang durchgeführt werden soll. Sind die jeweiligen Arbeits-

vorgänge auf der mitgeführten Arbeitsplan-Wissensbasis dabei sehr unterschiedlich, so bedingt das Fertigungsprinzip der Werkstattfertigung (räumlich, organisatorische Einheiten) in der Regel recht weite und unter Umständen sehr häufige, diskontinuierliche innerbetriebliche Transportvorgänge (Pfohl 2000). Sind es hingegen ähnliche Bearbeitungsvorgänge, so führt das Fertigungsprinzip der Werkstattfertigung dazu, dass ein Gut in verschiedenen Bearbeitungszuständen ein und dieselbe Werkstatt mehrfach durchlaufen kann (Pfohl 2000), welches dann zu Transporten mit eher kurzen, hoch frequentierten Wegstrecken führt.

Aus der Sicht des Gesamtsystems Werkstattfertigung mit seinen räumlich, organisatorischen Subsystemen Werkstatt und dessen Elementen Arbeitssystem, Transportsystem und Lager (inkl. Zwischenlager, Puffer), entsteht der selbststeuernde produktionslogistische Prozess im Zusammenhang mit den jeweiligen Gütern (inkl. Bearbeitungszustände) im Rahmen der Auftragsabwicklung, die quasi als Trigger dient. Aus der Auftragsabwicklung ergeben sich neben einer kundenorientierten Produktkonfiguration (Zusammensetzung bzw. Stückliste des Endprodukts), über verschiedene Schritte, beispielsweise der derzeitigen Arbeitsplanung und der weitergehenden Programmplanung, terminierte Bearbeitungsreihenfolgen, die mit der jeweils anzutreffenden Situation in der Werkstatt in der Regel nichts mehr zu tun haben. Daher ist es eine übergeordnete Zielsetzung bei der Selbststeuerung produktionslogistischer Prozesse, dass die jeweiligen Güter (inkl. Bearbeitungszustände) auftragsbezogen, das heißt beispielsweise unter Berücksichtigung von Start- und Fertigstellungsterminen oder Bearbeitungsqualitäten (z.B. Oberflächengüte), die ständig in die autonomen, zielgerichteten Kalkulationen einbezogen werden, sowie unter Einbeziehung von aktuellen Zustandsinformationen über die Arbeits- und Transportsysteme, ihre Arbeitspläne adaptiv terminieren und unter Umständen Bearbeitungsreihenfolgen (sofern technologisch veränderbar) selbst wählen dürfen. Dieser Wahl- oder besser gesagt Abstimmungsprozess wird durch die Fähigkeit der Güter, Arbeits- und Transportsysteme zur direkten Kommunikation unterstützt, durch die die Möglichkeit eröffnet wird sich über die Anzahl der wartenden Güter vor einem Arbeitssystem oder auf einen Transport zu einer bestimmten Bearbeitungsstation auszutauschen. In diesem Zusammenhang sollen sowohl das Gut als auch das Arbeitssystem die Option zur Annahme oder Ablehnung der Bearbeitung haben, beispielsweise die unter Abwägung von maximaler Auslastung und minimalen Rüstzeiten und -kosten (nicht Wert schöpfende Stützleistung) beim Arbeitssystem (Tomys 1995) oder der Realisierung minimaler Durchlaufzeiten, beispielsweise durch Umgehung von Sicherheitspuffern inklusive An- und Abtransport (nicht Wert schöpfende Blindleistung) (Tomys 1995), sowie Ausschließen von Ausschuss und Nacharbeit (Wert mindernde Fehlleistung) (Tomys 1995) auf Seiten des Gutes. Für jeden Bearbeitungsvorgang soll das Gut darüber hinaus in der Lage sein, entsprechend des nächsten anzusteuernenden Arbeitssystems, sei es innerhalb derselben Werkstatt (i.S. von Subsystem) oder in einer anderen, weiter entfernten Werkstatt, ein relevantes Transportmittel (z.B. Gabelstapler) gezielt, via direkter Kommunikation zu allozieren. Weitere relevante produktionslogistische Prozesse im Rahmen der Selbststeuerung können das Kommissionieren, die Materialbereitstellung inklusive Be-

hälterallokation, das Testen und gegebenenfalls die Selbstausschleusung im Rahmen einer Qualitätsprüfung oder das Lackieren sein.

Welche Güter dabei exakt, unter Umständen in Abhängigkeit von deren Bearbeitungszustand, aber bereits auch schon beim Eintritt in die Produktion (z.B. zugelieferte Halbfertigerzeugnisse), mit einer entsprechenden Arbeitsplan-Wissensbasis und der Fähigkeit zur autonomen und zielgerichteten Entscheidungsfindung ausgestattet werden sollen ist gegenwärtig eine grundlegende Frage bei der Erforschung der Selbststeuerung und noch nicht abschließend entscheidbar. Wesentlich jedoch ist, dass unabhängig davon, welche Objekte in einem produktionslogistischen Szenario konkret per Selbststeuerung „intelligent“ gemacht werden, sie müssen neben der reinen Fähigkeit zur direkten Kommunikation mit dem notwendigen Wissen sowie der grundlegenden Fähigkeit zur Abwägung von Alternativen und einer zielgerichteten Auswahl von Handlungsalternativen, z.B. unter Einsatz von Methoden der Entscheidungs- und Spieltheorie (Fischer et al. 1998), ausgestattet werden. Dabei hängen je nach dem späteren Umsetzungskonzept (z.B. Softwareagenten) Kommunikation, Abwägung und zielgerichtete Auswahl (inkl. Handlung) oft untrennbar zusammen.

## 3 Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse

### 3.1 Anforderung an die Modellierung

In diesem Abschnitt werden Anforderungen an Modelle formuliert, von welchen sich direkt Anforderungen an Methoden zur Modellkonstruktion ableiten lassen. Zunächst wird kurz auf die Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (Schütte 1998) eingegangen und anschließend werden darauf aufbauend für die Anwendungsdomäne konkretisierte Anforderungen abgeleitet.

#### 3.1.1 Allgemeine Anforderungen: Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung (GoM)

**Konstruktionsadäquanz** – Der Grundsatz der Konstruktionsadäquanz thematisiert die problembezogene Angemessenheit und Nachvollziehbarkeit der Modellkonstruktion, welche sich durch eine hohe Abhängigkeit von der Konstrukteursperspektive auszeichnet.

**Sprachadäquanz** – Eine bei der Modellierung benutzte Sprache hat zum einen der Problemsituation angemessen zu sein und muss zum anderen bezüglich ihrer Syntax richtig verwendet werden.

**Wirtschaftlichkeit** – Der Grundsatz der Wirtschaftlichkeit betont die Notwendigkeit ökonomischer Vorteilhaftigkeit für die Modellierung.

**Systematischer Aufbau** – Zur Kompliziertheitsreduktion plädiert der Grundsatz des systematischen Aufbaus für eine Darstellung unterschiedlicher Sichten eines Gegenstandsbereichs sowie die Verfügbarkeit eines sichtenübergreifenden Metamodells zur Verknüpfung derselben. Eine oftmals vorzufindende grundsätzliche Sichteneinteilung unterscheidet zwischen Struktur- und Verhaltenssicht.

**Klarheit** – Der Grundsatz der Klarheit bezieht sich auf die Anschaulichkeit der Modelle für die unterschiedlichen Zielgruppen.

**Vergleichbarkeit** – Die Möglichkeit des Vergleichs unterschiedlicher Modelle muss gewährleistet sein, was insbesondere bei Soll-Ist-Gegenüberstellungen von Bedeutung ist.

### 3.1.2 Konkretisierte Anforderungen an die Modellierungsmethode

Anwenderorientierung – Ein kundenorientiertes Modellqualitätsverständnis stellt eine entscheidende Leitlinie der gesamten Grundsätze ordnungsmäßiger Modellierung dar. Insbesondere unter dem Grundsatz der Klarheit sind subjektiv empfundene Eindrücke wie Verständlichkeit, Anschaulichkeit und Ausdrucksfähigkeit subsumiert. Diese Subjektivität erfordert eine Identifikation und konsequente Berücksichtigung potentieller Konstrukteure bzw. Nutzer. Es sind vor allem die im Einsatzbereich der Methode vorrangig vorhandenen Qualifikationen und fachspezifischen Kenntnisse zu beachten. Der im Kontext der Selbststeuerung in der Logistik als Modellierer und Nutzer anvisierte Prozessexperte verfügt über vertiefte logistische Kenntnisse, jedoch nicht über eine Informatik orientierte Ausbildung.

Anwendungsbereichorientierung – Eng verknüpft mit der Orientierung von Modellen am Anwender ist die Orientierung am Anwendungsbereich. So ist eine möglichst große Übereinstimmung von Eignung eines Modells und Anforderungen an ein Modell in Bezug auf die Problemlösung zu beachten. Der Anwendungsbereich der zu entwickelnden Methode ist durch den Kontext der Logistik und das Paradigma der Selbststeuerung definiert.

Effiziente Modellkonstruktion - Diese Forderung entspringt dem Grundsatz der Wirtschaftlichkeit. Hier sind insbesondere Basisbausteine und vorgefertigte Module zur Erleichterung und Beschleunigung der Modellkonstruktion von Bedeutung. Ebenso können Referenzmodelle für szenarienübergreifend gültige Selbststeuerungskonfigurationen eine Rolle spielen.

Verwendungszweckintegration - Ebenfalls aus dem Ziel der Wirtschaftlichkeit heraus ist die Möglichkeit einer vielfältigen Verwendung der erstellten Modelle erstrebenswert, woraus sich die Anforderung der Verwendungszweckintegration ableitet.

Es wird deutlich, dass sich aus den Grundsätzen teilweise widersprüchliche Anforderungen an ein Modell bzw. eine Methode ergeben. Beispielsweise können die Ziele einer Orientierung am Nutzer und der Zweckintegration konträr zueinander stehen. Konfliktäre Zielbeziehungen lassen sich ebenso zwischen den Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung identifizieren (Schütte 1998). Diese Zielkonflikte gilt es zu beachten und ausgewogen zu handhaben.

### 3.1.3 Spezifische Anforderungen der Selbststeuerung

In einem Modell müssen die entscheidenden Merkmale der Selbststeuerung berücksichtigt werden können. Als solche können zunächst festgehalten werden: Hierarchie, dezentrale Entscheidungsfindung und Interaktion autonomer Systemelemente.

Dezentrale Entscheidungsfindung – Die Fähigkeit der logistischen Objekte zum Treffen von Entscheidungen stellt einen elementaren Ansatz der Selbststeuerung dar. Dies verlangt, dass die prinzipielle Fähigkeit zur Entscheidungsfindung, die

verfolgten Ziele sowie die zugrunde liegenden Parameter und Eingangsgrößen in einem Modell berücksichtigt werden können.

**Interaktion** – Der Begriff der Interaktion beschreibt die Fähigkeit der einzelnen autonomen Systemelemente zu einer wechselseitigen Beeinflussung, von deren Ausgestaltung die Funktionsweise des Gesamtsystems abhängt. In einem Modell muss somit eine Darstellung und Gestaltung der Interaktionen möglich sein, z.B. durch Abbildung von Kommunikations- bzw. Koordinationsmechanismen.

**Ausprägung der Selbststeuerung** – Die unterschiedlichen möglichen Grade der Selbststeuerung eines Systems, welche sich aus unterschiedlichen Niveaus der Selbststeuerungsfähigkeit einzelner logistischer Objekte ergeben, müssen bei der Konstruktion bzw. der Nutzung eines Modells klar werden.

### **3.2 Modellierungsmethoden im Kontext selbststeuernder Prozesse**

Die oben formulierten Anforderungen an eine Methode zur Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse legen eine besondere Berücksichtigung von Erkenntnissen aus den Bereichen (Geschäfts-)Prozessmodellierung, Wissensmodellierung und Agentenmodellierung nahe. Diese Ansätze werden im Folgenden kurz diskutiert, um sowohl ihre Relevanz als auch ihre Defizite im Zusammenhang mit der Modellierung von selbststeuernden Prozessen zu verdeutlichen.

Geschäftsprozessmodellierung dient der Unterstützung von Analyse und Design der Geschäftsprozesse einer Unternehmung. Sie kann zur reinen Dokumentation von Aufbau- und Ablauforganisation ebenso eingesetzt werden wie zur Optimierung bestehender oder zu entwickelnder Prozesse. Darüber hinaus können erstellte Modelle als Basis für die Planung von Informationssystemen dienen (Scheer 2001; Vossen 1996). Die Selbststeuerung erfordert dagegen eine stärker integrierte Betrachtung von Prozessen und den sie ermöglichenden informationstechnischen Möglichkeiten als dies bei dem eher sequentiellen Vorgehen von Geschäftsprozessmodellierung und der darauf aufbauenden Informationssystemplanung der Fall ist. Im Rahmen der Entwicklung selbststeuernder logistischer Prozesse werden die notwendigen Informationssysteme weniger auf vorhandene Geschäftsprozesse zugeschnitten, sie beeinflussen in höherem Maße als bisher die Ausgestaltung der Prozesse. Des Weiteren kann die Art und Weise der Identifikation benötigter Informationen durch Geschäftsprozessmodelle weitgehend beantwortet werden, jedoch findet die Verteilung von Informationen nur unzureichend Beachtung. Ebenso finden im Rahmen von vorhandenen Methoden Möglichkeiten zur Modellierung der zur Verteilung von Informationen notwendigen Kommunikation zwischen selbststeuernden Objekten zu wenig Berücksichtigung.

Wissensmodellierung spielt insbesondere im Zusammenhang mit Wissensmanagement und -verarbeitung eine wichtige Rolle. Wissensmanagement beschäftigt sich mit der Aufgabe Wissen in einer Unternehmung als Schlüsselressource zu begreifen und zu nutzen. Wissensverarbeitung ist eng verknüpft mit der Entwicklung von Informationssystemen (Schreiber et al. 2002). Im Rahmen von Entwurf und Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse ist das für die Durchfüh-

zung von Aufgaben notwendige (explizite oder bisher implizite) Wissen strukturiert aufzubereiten. Das Wissen wird mit Hilfe von Kommunikation verteilt und eingesetzt, identifizierte Aufgaben werden selbststeuernden Einheiten zugeordnet. Auf Grund dieser Aspekte ist die Miteinbeziehung von Methoden und Erkenntnissen aus dem Knowledge Engineering für die Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse sinnvoll und notwendig.

Das Agentenkonzept entstammt der verteilten künstlichen Intelligenz und bildet die Grundlage für die Agentenorientierung in der Softwareentwicklung. Zwar lässt sich für den Agentenbegriff keine einheitliche Definition identifizieren, jedoch sind einen Agenten charakterisierende Merkmale wie Flexibilität, Interaktivität, Autonomie, Adaptivität oder Situiertheit (Weiß 2005) auch als wichtige Aspekte bei einem Entwurf von selbststeuernden logistischen Objekten zu sehen. Besondere Schwerpunkte im Bereich der Agentenforschung stellen z.B. Modallogik, Agentenkommunikationssprachen, Wissensrepräsentation sowie die Anwendung und Erweiterung objektorientierter Entwurfs- und Modellierungstechniken dar (Weiß 2000; Weiß 2005). Besonders durch letzteren Aspekt gewinnt die Agentenorientierung über die Möglichkeit der Softwareimplementierung hinaus auch für die Modellierung selbststeuernder Prozesse an Bedeutung. Allerdings lässt der softwareorientierte Fokus der Agentenmodellierung keine direkte Übertragung der Methoden auf die hier anvisierte Verwendung zu, da die informatikspezifische Orientierung der Agentenmodellierung mit einem teilweise hohen Verlust an Anschaulichkeit für fachfremde Personen einher geht. Vielmehr ist eine den oben formulierten Anforderungen entsprechende Anpassung und Integration relevanter Erkenntnisse aus der agentenorientierten Forschung notwendig.

### 3.3 Modellierungskonzept

Bevor im nächsten Abschnitt genauer auf die Modellierungsmethode und das dahinter liegende Sichtenkonzept eingegangen wird, soll hier das Modellierungskonzept im Überblick dargestellt werden. Abbildung 3.1. veranschaulicht das Konzept graphisch.

Auf der untersten Ebene der Abbildung findet sich das zu modellierende (reale oder gedachte) System. Dieses wird modelliert, dargestellt durch den untersten Ebenenübergang. Zusätzlich ist die Unterscheidung in Makro- und Mikroebene bei der Modellierung angedeutet. Für Details hierzu siehe auch den nächsten Abschnitt. Das erstellte Modell wurde einerseits in einer bestimmten Modellierungssprache erstellt, andererseits erfolgte die Erstellung des Modells nach einem bestimmten Modellierungsprozess. Für den Ebenenübergang von der Modell- zur Metamodellebene wurde folglich zwischen sprach- bzw. prozessbasierter Metaisierung unterschieden (vgl. Strahringer 1998; Strahringer 1999). Die Abbildung des Erstellungsprozesses mündet in die Darstellung eines Vorgehensmodells zur Modellierung. Dieses ist Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten und wird im Weiteren nicht näher behandelt. Das Vorgehensmodell soll natürlichsprachlich dargestellt werden und der Prozess seiner Erstellung soll nicht weiter betrachtet

werden, so dass hier auf eine Darstellung der Metametamodell-Ebene verzichtet wurde. Was den Zweig der sprachbasierten Metaisierung und den Übergang von der Modell- zur Metamodell-Ebene angeht, erfolgt hier eine Abbildung der Modellierungssprache bzw. -notation. Die Modellierungsnotation wird auf der Unified Modelling Language (UML) basieren. Zusätzlich wird der Modellierer durch vordefinierte domänenspezifische Klassen und logistik-spezifische Prozessbausteine unterstützt. Darüber hinaus soll in folgenden Forschungsarbeiten eruiert werden, inwieweit eine Erweiterung der UML-Notation zur besseren Darstellung von Teilaspekten eines logistischen Systems sinnvoll ist. Diese Erweiterungen werden in der Abbildung durch das „X“ angedeutet.

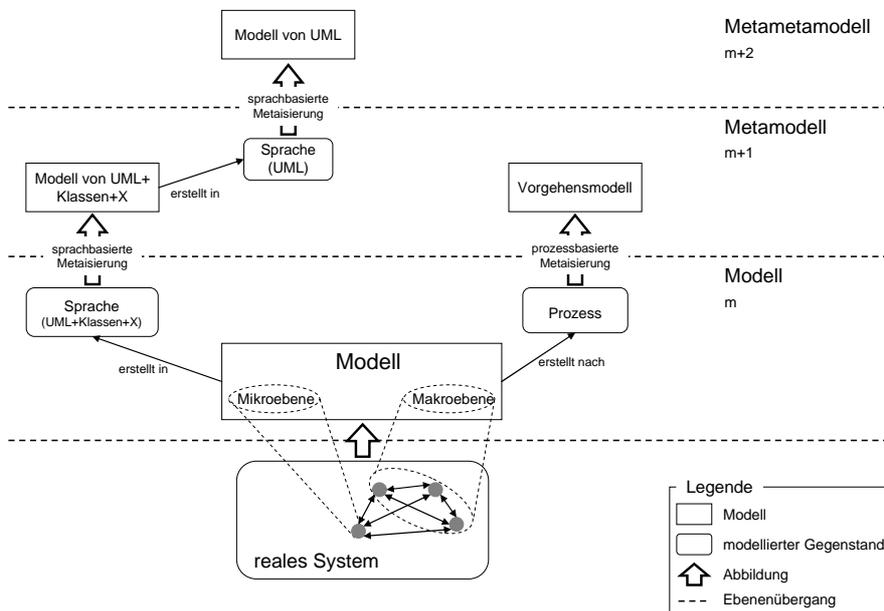
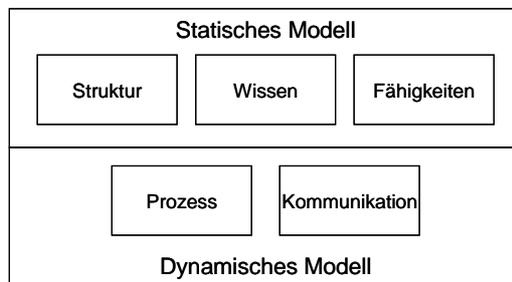


Abb. 3.1. Überblick über die Modellierungskonzeption

Dieses (sprachbasierte) Metamodell ist wiederum in einer bestimmten Art und Weise dargestellt. Auch hier ließe sich wieder zwischen sprach- und prozessbasierter Metaisierung unterscheiden, wobei hier allerdings nur erstere von Interesse ist. Zur Darstellung der Modellierungsnotation wird auf die UML als Möglichkeit einer semiformalen Modellierung zurückgegriffen werden. Um anzudeuten, dass auch diese Modellierungssprache abgebildet bzw. spezifiziert sein muss, wurde auf der obersten Ebene noch das „Modell von UML“ dargestellt, mithin also die UML-Spezifikation (vgl. OMG 2005). Diese befindet sich bezüglich der von uns beabsichtigten Modellierung auf der Ebene eines Metametamodells, folgt man strikt nur der sprachbasierten Metaisierung.

### 3.4 Sichtenkonzept

Bei der Erstellung von Prozessmodellen ist von einem hohen Maß an Komplexität auszugehen. Ein Sichtenkonzept dient der Verringerung der Komplexität bei der Modellkonstruktion (Scheer 1998), was auch in dem Grundsatz des systematischen Aufbaus Ausdruck findet (Schütte 1998). Ausgehend von den zuvor vorgestellten Anforderungen wird im Folgenden ein Sichtenkonzept für die Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse vorgeschlagen, dessen Sichten in Abbildung 3.2. dargestellt sind. Grundsätzlich wird zwischen einem statischen und einem dynamischen Modell unterschieden. Das statische Modell beschreibt den Aufbau, das dynamische Modell das Verhalten des zu modellierenden Systems (OMG 2005).



**Abb. 3.2.** Sichtenkonzept

Den Ausgangspunkt bildet die Struktursicht zur Darstellung der relevanten logistischen Objekte. Als Ausgangsbasis für diese Sicht dienen UML-Klassendiagramme. Neben Objekten und Klassen können in der Struktursicht auch Beziehungen zwischen diesen dargestellt werden, etwa in Form von Assoziationen oder Vererbungsbeziehungen. In dieser Sicht wird die Modellierung durch vordefinierte und erweiterbare domänenspezifische Klassen unterstützt.

Die Wissenssicht beschreibt das Wissen, welches bei den logistischen Objekten für eine dezentrale Entscheidungsfindung vorhanden sein muss. Hierbei sollten situative und temporale Aspekte Berücksichtigung finden. Für einfache Darstellungen reichen an dieser Stelle UML-Klassendiagramme aus, für komplexere Zusammenhänge, etwa zur Darstellung der erwähnten temporalen Zusammenhänge, muss auf eine dedizierte Sprache zur Wissensrepräsentation zurückgegriffen werden (etwa Conceptual Graphs, vgl. Sowa 2000), wobei in diesem Zusammenhang noch zu untersuchen ist, inwieweit die gewonnene Ausdrucksfähigkeit durch zusätzliche Komplexität in der Anwendung erkauft wird. Dies erscheint insbesondere im Hinblick auf die angestrebte Nutzung der Modellierungsmethode durch einen Prozessexperten notwendig.

Die Fähigkeiten-Sicht stellt die Fähigkeiten der einzelnen logistischen Objekte dar. Im logistischen System ablaufende Prozesse benötigen bestimmte Fähigkeiten, welche von den beteiligten logistischen Objekten zur Verfügung gestellt werden müssen. Diese Fähigkeiten sind als Problemlösungsmethoden zu sehen und

damit Abstraktionen von Lösungsstrategien für in der Realität auftretende Problemtypen.

Die Prozesssicht bildet die zeitlogische Abfolge von Aktivitäten und Zuständen der logistischen Objekte ab. Hier können Entscheidungsprozesse der Objekte modelliert werden. Die Prozesssicht spielt dabei eine zentrale Rolle bei der Verknüpfung der Sichten des statischen Modells und der Abbildung des Verhaltens der bisher ausschließlich statisch betrachteten logistischen Objekte. Als zu verwendende Notation sollen hierfür sowohl Aktivitätsdiagramme als auch Zustandsdiagramme benutzt werden (vgl. Oestereich 2003).

Die Kommunikationssicht stellt den Inhalt und die zeitliche Abfolge des Informationsaustauschs zwischen den logistischen Objekten dar. Die Abbildung der Kommunikation ist insbesondere bei autonom entscheidenden, ansonsten nur lose gekoppelten Objekten zur Modellierung ihrer Interaktion notwendig. (Weiß und Jakob 2005). Zur Darstellung der Kommunikation sollen UML-Sequenzdiagramme zur Abbildung des zeitlichen Verlaufs sowie Klassendiagramme zur Darstellung der Kommunikationsinhalte Verwendung finden.

Zusätzlich zum beschriebenen dynamischen und statischen Modell unterscheiden wir zwischen einer Mikro- und einer Makrosicht (vgl. Weiß 2000). Die Makrosicht beschreibt die Interaktion zwischen den selbststeuernden logistischen Objekten. Sie stellt gewissermaßen die externe Sicht auf das System, seine Elemente und deren Beziehungen und Interaktionen dar. Im Gegensatz dazu beschreibt die Mikrosicht die Abläufe innerhalb der selbststeuernden logistischen Objekte. Für die Mikrosicht erscheinen insbesondere die Prozess-, die Wissens- und die Fähigkeiten-Sicht von Bedeutung, während für die Makrosicht alle vorgeschlagenen Sichten relevant sind.

Für die unterschiedlichen Sichten sind Schablonen vorgesehen, welche eine effiziente Modellkonstruktion unterstützen sollen.

### 3.5 Anwendungsbeispiel

In diesem Abschnitt werden zwei Beispiele, jeweils eines aus dem Bereich der statischen und der dynamischen Sicht, zur Verdeutlichung des beschriebenen Modellierungskonzepts gegeben. Hierzu werden ein der Struktursicht zuzuordnendes Klassendiagramm sowie ein der Kommunikationssicht zugehöriges Sequenzdiagramm gezeigt. Das Klassendiagramm beschreibt die für ein hier nicht weiter spezifiziertes Szenario relevanten Objekte sowie deren statische Beziehungen zueinander, das Sequenzdiagramm zeigt den Informationsaustausch zwischen Objekten durch Kommunikation.

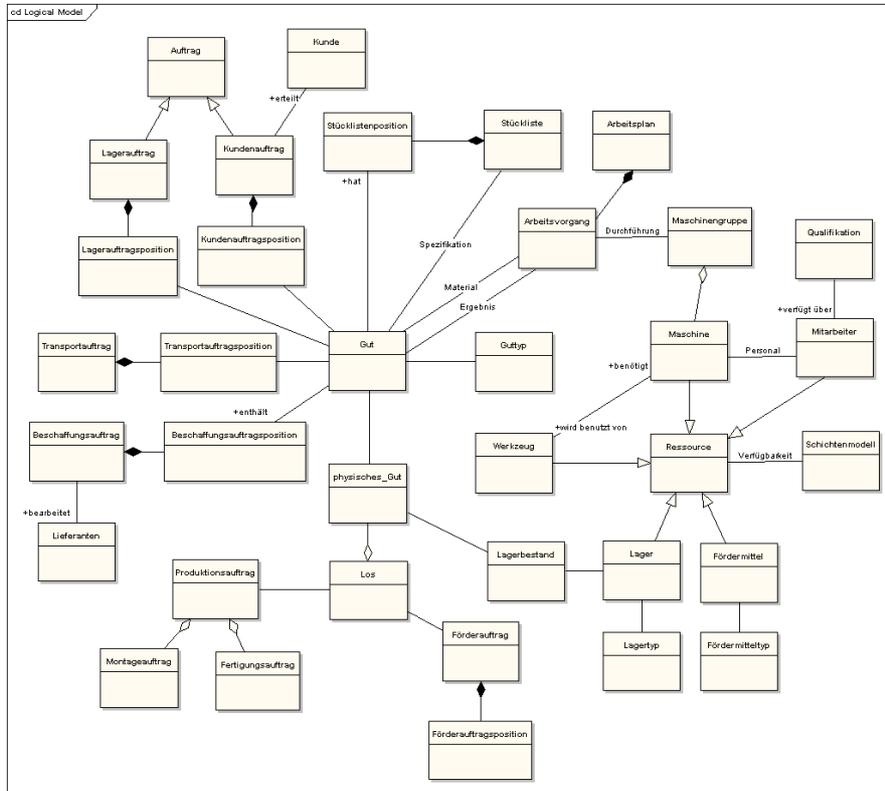


Abb. 3.3. Klassendiagramm zur Darstellung der relevanten Objekte

Abbildung 3.3. zeigt einen Ausschnitt der dem Modellierer zur Verfügung stehenden Klassen. Von diesen Klassen kann er Instanzen anlegen, aber auch dieses Klassenmodell ändern bzw. erweitern. Die Abbildung zeigt einige relevante Klassen sowie die wichtigsten Beziehungen zwischen ihnen. In der Darstellung der Beziehungen wurde aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit auf die Hinzufügung von Multiplizitäten verzichtet. Als zentral sind die Klassen Gut und Ressource auszumachen. Erstere ist eine Abstraktion mehrerer gleichartiger physikalischer Güter. Physisches Gut steht für ein konkretes Objekt im Materialfluss (beispielsweise ein konkretes Endprodukt), während Gut überall dort zum Einsatz kommt, wo ein Gut (dies können sowohl Endprodukte als auch Materialien und Zwischenprodukte sein) nur anonym bezeichnet werden soll. Ressource steht als gemeinsame Basisklasse für physische und eher statische Bestandteile einer Fertigung. Spezialisierungen hiervon sind etwa Maschine, Werkzeug oder Lager. Sowohl physische Güter als auch Ressourcen kommen als selbststeuernde Entitäten infrage.

Das Sequenzdiagramm in Abbildung 3.4. zeigt einen exemplarischen Kommunikationsablauf für die Bestimmung der Maschine, welche den für ein physisches

Gut als nächstes anstehenden Arbeitsgang durchführen wird. Es wird von gewissen Selbststeuerungsfähigkeiten der einzelnen Objekte ausgegangen, welche in der Fähigkeiten-Sicht explizit darzustellen wären, hier aber schon implizit vorausgesetzt sind. Ein physisches Gut ist demzufolge in der Lage selbstständig Transportmittel und Maschinen anzusprechen, um die notwendigen Informationen zu erhalten. Die Transportmittel verfügen über Informationen zu den notwendigen Transportzeiten und -möglichkeiten für Güter zwischen nachgefragten Objekten bzw. Orten sowie zu ihrer Belegung und können diese Informationen auch an anfragende Teile zurückmelden. Ebenso verfügen Maschinen über entsprechende Fähigkeiten zur Kommunikation und Planung ihrer Belegung. Die von dem Gut an sich selbst gerichteten Nachrichten können bedeuten, dass dieses über die notwendigen Informationen verfügt oder dass ein in einem anderen Diagramm modellierter Ablauf angestoßen wird um die Informationen zu erhalten.

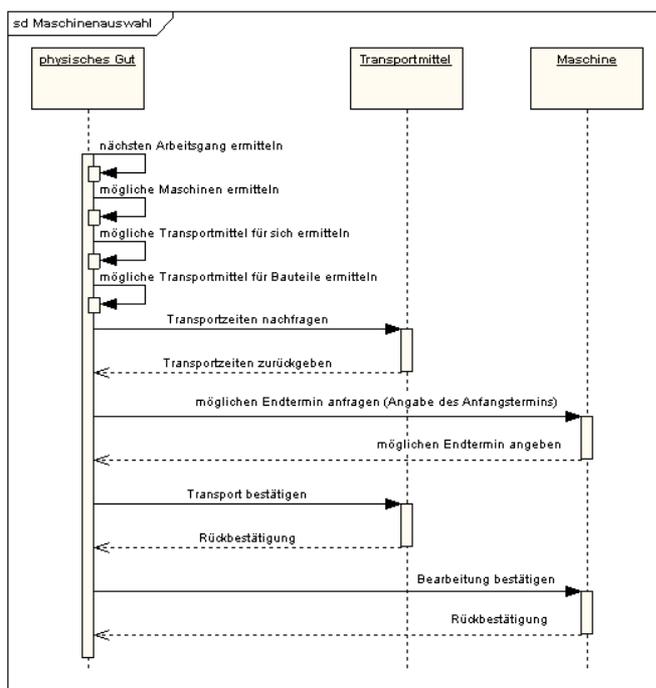


Abb. 3.4. Sequenzdiagramm zur Auswahl einer Maschine

Dieser Ablauf ist für eine bestimmte Verteilung von Informationen und Fähigkeiten und damit für eine bestimmte Ausprägung eines aus selbststeuernden Objekten bestehenden Systems gültig. Eine geänderte Konfiguration (siehe auch Kapitel 2) zieht gegebenenfalls auch geänderte Abläufe nach sich, welche jedoch nach gleichem Muster modelliert werden können.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag befasste sich mit der Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse. Hierzu wurden zunächst die Grundlagen der Selbststeuerung kurz dargestellt um im Hauptteil dann näher auf die Modellierung an sich einzugehen. Hierbei wurden zunächst Anforderungen an die Modellierung definiert um dann im nächsten Abschnitt kurz auf relevante verwandte Modellierungsmethoden einzugehen. Daran anschließend erfolgte eine Darstellung unserer Modellierungskonzeption, zunächst grob im Überblick, um dann genauer einzelne Aspekte wie das Sichtenkonzept vorzustellen. Die Darstellung des Konzepts beschließt die Erläuterung einiger Aspekte anhand eines Beispiels.

Zukünftige Forschungsarbeiten werden sich mit der weiteren Detaillierung einzelner Aspekte des Konzepts sowie der Erarbeitung eines Vorgehensmodells befassen. Letztlich sollen diese Arbeiten in die Erstellung eines Werkzeugs münden, das die vorgestellte Methode bestehend aus Notation und Vorgehensmodell optimal umsetzt und einen Prozessexperten bei Modellierung und Entwurf selbststeuernder logistischer Prozesse unterstützt.

## Literatur

- Becker J, Rosemann M (1993) Logistik und CIM – Die effiziente Material- und Informationsflussgestaltung im Industrieunternehmen. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Fischer K, Ruß Ch, Vierke G (1998) Decision Theory and Coordination in Multiagent Systems. DFKI, Saarbrücken
- Hummel Th, Malorny Ch (1997) Total Quality Management – Tipps für die Einführung. Carl Hanser, München Wien
- Jünemann R, Beyer A (1998) Steuerung von Materialfluss- und Logistiksystemen – Informations- und Steuerungssysteme, Automatisierungstechnik. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Lüth T (1998) Technische Multiagentensysteme – Verteilte autonome Roboter- und Fertigungssysteme. Carl Hanser, München Wien
- Much D, Nicolai H (1995) PPS-Lexikon. Cornelsen, Berlin
- Oestereich B (2003) Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung mit der UML. dpunkt, Heidelberg
- OMG Object Management Group: Unified Modeling Language Specification, Version 2.0. <http://www.uml.org/> Abruf am 21.01.2005
- Pfohl H-Chr (2000) Logistiksysteme – Betriebswirtschaftliche Grundlagen. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Pritschow G, Duellen G, Bender K (1996) Steuerung von Produktionssystemen, In: Eversheim W, Schuh G (1996) Betriebshütte – Produktion und Management. Springer, Berlin Heidelberg New York, S. 10-73ff
- Scheer A-W (1998) Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse. Springer, Berlin Heidelberg New York
- Scheer A-W (2001) ARIS – Modellierungsmethoden, Metamodelle, Anwendungen, Springer, Berlin Heidelberg New York
- Sommerer G (1998) Unternehmenslogistik – Ausgewählte Instrumentarien zur Planung und Organisation logistischer Prozesse. Carl Hanser, München Wien
- Sowa J (2000) Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations. Brooks/Cole, Pacific Grove
- Schreiber G et al. (2002) Knowledge Engineering and Management – The CommonKADS Methodology. MIT Press, Cambridge
- Schütte R (1998) Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung - Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Gabler, Wiesbaden
- Strahringer S (1998) Ein sprachbasierter Metamodellbegriff und seine Verallgemeinerung durch das Konzept des Metaisierungsprinzips, In: Klaus Pohl, Andy Schürr, Gottfried Vossen (Hrsg.): CEUR Workshop Proceedings zur Modellierung '98 (GI-Workshop in Münster, 11.-13. März 1998), CEUR-WS/Vol-9.

- Strahinger S (1999) Probleme und Gefahren im Umgang mit "Meta"-Begriffen: ein Plädoyer für eine sorgfältige Begriffsbildung, In: Proceedings of the International Knowledge Technology Forum (KnowTechForum) '99, 16.-18. September 1999, Potsdam
- The PABADIS consortium (2002) Development of a machine representation – Task 2.3. of Work Package 2. <http://www.pabadis.org/htdocs/info.html> Abruf am 22.03.2005
- Tomys A-K (1995) Kostenorientiertes Qualitätsmanagement – Qualitätscontrolling zur ständigen Verbesserung der Unternehmensprozesse. Carl Hanser, München Wien
- Vossen G, Becker J (1996) Geschäftsprozessmodellierung und Workflow-Management – Modelle, Methoden, Werkzeuge. International Thomson Publishing, Bonn Albany
- Weiß G (2000) Multiagent Systems – A modern approach to distributed artificial intelligence. The MIT Press, Cambridge
- Weiß G, Jakob R (2005) Agentenorientierte Softwareentwicklung. Springer, Berlin Heidelberg New York