

# Selbststeuerung in der Produktion – ein Modellierungskonzept

Bernd Scholz-Reiter, Torsten Hildebrandt, Jan Kolditz und Hartmut Höhns, Universität Bremen

Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen und ist Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.

Dipl.-Wirt.-Inf. Torsten Hildebrandt ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen und wissenschaftlicher Redakteur der Zeitschrift Industrie Management.

Dipl.-Wirtsch.-Ing. Jan Kolditz ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen.

Dipl.-Ing. Hartmut Höhns ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen.

Die Beherrschung von Dynamik und Komplexität logistischer Systeme wird auch in Zukunft für Unternehmen weiter an Bedeutung gewinnen. Eine Möglichkeit dieser Herausforderung zu begegnen stellt die Selbststeuerung logistischer Prozesse dar. Dieser Artikel thematisiert die Anforderungen an eine Methode zur Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse sowie die darauf aufbauende Entwicklung einer solchen. Es wird ein Überblick zu den entworfenen Modellierungs- und Sichtenkonzepten gegeben.

Die Selbststeuerung logistischer Prozesse wird als eine Möglichkeit vorgeschlagen, um die zunehmenden Komplexität und Dynamik logistischer Systeme besser beherrschen zu können [1]. Gestützt auf neue technologische Möglichkeiten bzw. in Vorwegnahme abzusehender technologischer Weiterentwicklungen in diesem Bereich, insbesondere der Verfügbarkeit leistungsfähiger Systeme zur Funkidentifikation von Objekten, wird versucht, Planungs- und Steuerungsentscheidungen nicht mehr von einer zentralen Instanz vornehmen zu lassen, sondern diese Entscheidungen möglichst dezentral vorzunehmen und den logistischen Objekten selbst zu übertragen. Zielsetzung ist hierbei eine höhere Robustheit der logistischen

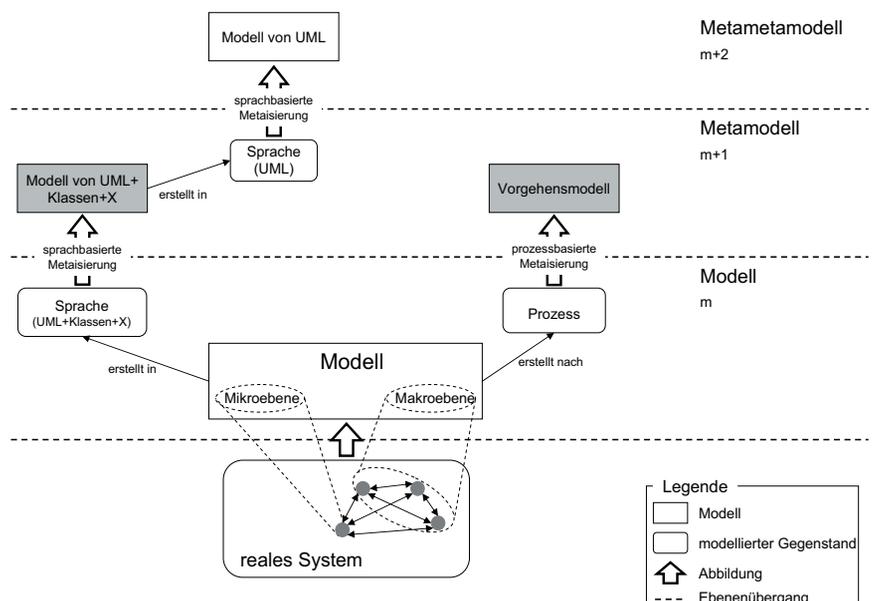
Prozesse sowie ein vereinfachter und reaktionsfähigerer Planungsprozess.

Die Planung und Dokumentation derartiger selbststeuernder Prozesse erfordert eine neue, an die Besonderheiten der Selbststeuerung angepasste Modellierung. Dieser Beitrag stellt das Konzept einer solchen Modellierungsmethode vor, indem zunächst Anforderungen an diese definiert werden, um dann die Methode näher auszuführen.

## Anforderungen an die Modellierungsmethode

Schütte benennt mit seinen Grundsätzen ordnungsmäßiger Modellierung (GoM) [2] allgemeine Anforderungen an Modelle bzw. eine Modellierungs-

Bild 1: Überblick über die Modellierungskonzeption.



### Kontakt:

Universität Bremen  
Planung und Steuerung  
produktionstechnischer Systeme  
Postfach 330560  
28335 Bremen  
Tel.: 0421 / 218-9787  
E-Mail: kol@biba.uni-bremen.de

methode. Im Einzelnen zu nennen sind hier die Grundsätze der *Konstruktionsadäquanz*, *Sprachadäquanz*, *Wirtschaftlichkeit*, *Systematischer Aufbau*, *Klarheit* und *Vergleichbarkeit*.

Für Details zu den einzelnen Grundsätzen sei hier auf [2] verwiesen. Es wird jedoch klar, dass auch eine Modellierungsmethode für selbststeuernde logistische Prozesse diesen allgemeinen Grundsätzen genügen muss. Darüber hinaus sollen die folgenden konkretisierten Anforderungen von der Modellierungsmethode erfüllt werden:

**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 anvisierte Prozessexperte verfügt über vertiefte logistische Kenntnisse, jedoch nicht über eine informativ orientierte Ausbildung.

**Anwendungsbereichorientierung:** Eng verknüpft mit der Orientierung von Modellen am Anwender ist die Orientierung am Anwendungsbereich. So ist eine möglichst große Überein-

stimmung von Eignung eines Modells und der 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 allgemeinen wie konkretisierten 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. Diese Zielkonflikte gilt es zu beachten und ausgewogen zu handhaben.

In einem Modell müssen darüber hinaus die entscheidenden Merkmale der Selbststeuerung berücksichtigt werden können. Als solche können zunächst festgehalten werden: Heterarchie, 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.

## Modellierungskonzept

Auf der untersten Ebene der in Bild 1 im Überblick dargestellten Modellierungsmethode 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 [3]. Die Abbildung des Erstellungsprozesses mündet in die Darstellung eines Vorgehensmodells zur

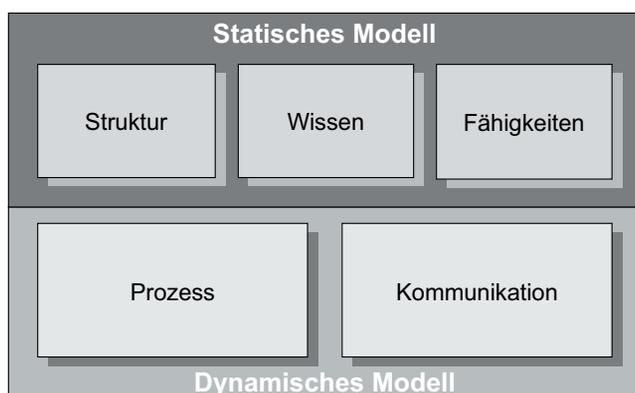


Bild 2: Sichtenkonzept.

Modellierung. Dieses ist Gegenstand weiterer Forschungsarbeiten und wird im Weiteren nicht näher behandelt. Das Vorgehensmodell soll natürlich-sprachig dargestellt werden und der Prozess seiner Erstellung soll nicht weiter betrachtet werden, sodass hier auf eine Darstellung der Metamodell-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 Version 2.0 der Unified Modelling Language (UML) basieren. Zusätzlich wird der Modellierer durch vordefinierte domänenspezifische Klassen und logistikspezifische 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.

Dieses sprachbasierte Metamodell ist wiederum in einer bestimmten Art und Weise dargestellt. Auch hier ließe sich zwischen sprach- und prozessbasierter Metaisierung unterscheiden, wobei 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 [4]. Diese befindet sich bezüglich der von uns beabsichtigten Modellierung auf der Ebene eines Metametamodells, folgt man strikt nur der sprachbasierten Metaisierung.

### Sichtenkonzept

Bei der Erstellung von Prozessmodellen ist von einem hohen Maß an Kompliziertheit auszugehen. Ein Sichtenkonzept dient der Verringerung der

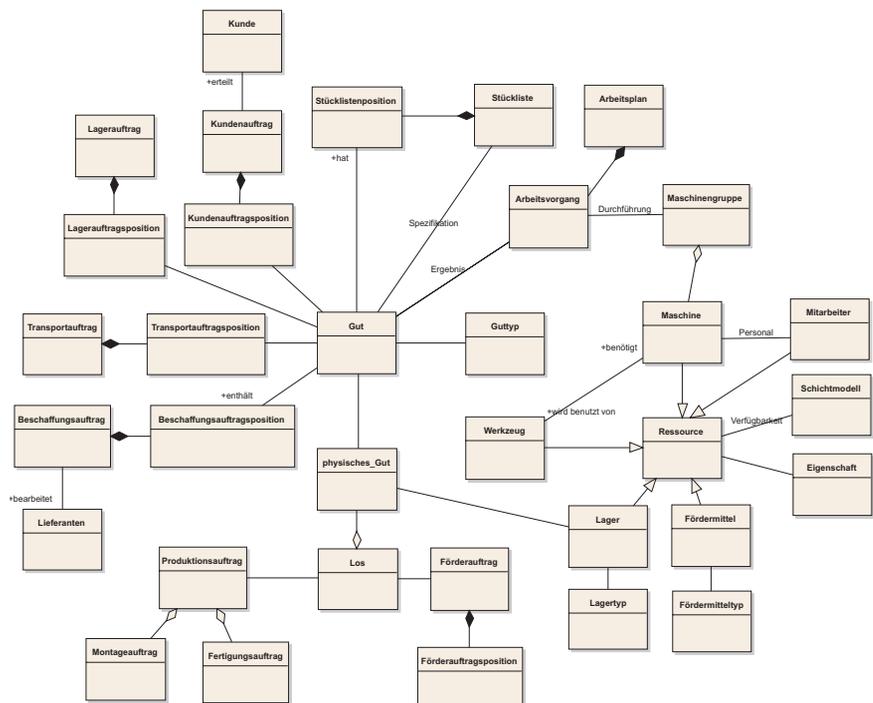


Bild 3: Klassendiagramm zur Darstellung der relevanten Objekte.

Kompliziertheit bei der Modellkonstruktion [5], was auch in dem Grundsatz des systematischen Aufbaus der GoM Ausdruck findet. Ausgehend von den zuvor vorgestellten Anforderungen wird im Folgenden ein Sichtenkonzept für die Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse vorgeschlagen, dessen Sichten in Bild 2 dargestellt sind. Grundsätzlich wird zwischen einem statischen und einem dynamischen Modell unterschieden. Ersteres beschreibt den Aufbau, letzteres das Verhalten des modellierenden Systems [4].

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 Objek-

ten 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, wie zum Beispiel Conceptual Graphs [6], wobei in diesem Zusammenhang noch zu untersuchen ist, ob die gewonnene Ausdrucksfähigkeit durch zusätzliche Komplexität in der Anwendung gerechtfertigt ist. 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 [7].

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 [8]. 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 [9]. 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.

Bild 3 zeigt exemplarisch für die statische Sicht und zur Verdeutlichung des beschriebenen Modellierungskonzepts

einen Ausschnitt der dem Modellierer zur Verfügung stehenden Klassen sowie die wichtigsten Beziehungen zwischen ihnen. Von diesen Klassen kann er Instanzen anlegen, aber auch dieses Klassenmodell ändern bzw. erweitern. 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.

## Fazit

Der vorliegende Beitrag befasste sich mit der Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse. Hierzu wurden zunächst Anforderungen an die Modellierung definiert. Darauf erfolgte eine Darstellung der Modellierungskonzeption, zunächst grob im Überblick, um dann genauer einzelne Aspekte wie das Sichtenkonzept vorzustellen. Die Darstellung beschließt die Erläuterung eines ausgewählten Aspekts 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 optimal umsetzt und einen Prozessexperten bei Modellierung und Entwurf selbststeuernder logistischer Prozesse unterstützt.

### Schlüsselwörter:

Prozessmodellierung, Selbststeuerung logistischer Prozesse, Modellierungsmethode

*Dieser Beitrag entstand im Rahmen des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ (SFB 637).*

## Literatur

- [1] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., Herzog, O.: Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen. In: *Industrie Management* 20 (2004) 1, S. 23-27.
- [2] Schütte, R.: Grundsätze ordnungsmäßiger Referenzmodellierung – Konstruktion konfigurations- und anpassungsorientierter Modelle. Wiesbaden 1998.
- [3] Strahringer, S.: Ein sprachbasierter Metamodellbegriff und seine Verallgemeinerung durch das Konzept des Metaisierungsprinzips. In: Pohl, K., Schürr, A., Vossen, G. (Hrsg.): *CEUR Workshop Proceedings zur Modellierung*, 98. Münster 1998.
- [4] OMG Object Management Group: *Unified Modeling Language Specification, Version 2.0*. URL: <http://www.uml.org/>, Abrufdatum 21.01.2005.
- [5] Scheer, A.-W.: *Wirtschaftsinformatik – Referenzmodelle für industrielle Geschäftsprozesse*. Berlin 1998.
- [6] Sowa, J.: *Knowledge representation: logical, philosophical, and computational foundations*. Pacific Grove 2002.
- [7] Oestereich, B.: *Objektorientierte Geschäftsprozessmodellierung mit der UML*. Heidelberg 2003.
- [8] Weiß, G., Jakob, R.: *Agentenorientierte Softwareentwicklung*. Berlin 2005.
- [9] Weiß, G.: *Multiagent Systems – A modern approach to distributed artificial intelligence*. Cambridge 2000.

### Autonomous Control of Production Processes – A Modelling Concept

Control of dynamics and complexity of logistic systems will continue to gain in importance in the future. One possibility to cope with this challenge is the concept of autonomous logistic processes. This article addresses the issue of requirements to a method for modelling autonomous logistic processes as well as the development of the method. It gives an overview of the created modelling and view concepts.

#### Keywords:

process modelling, autonomous logistic processes, modelling method