

Entwicklung selbststeuernder Produktionssysteme

Ein Vorgehensmodell

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



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter leitet das Fachgebiet Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme an der Universität Bremen und ist Direktor des Bremer Instituts für Betriebstechnik und angewandte Arbeitswissenschaft. Er ist Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.



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



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.

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 Selbst-

steuerung logistischer Prozesse dar. Der vorliegende Beitrag entwirft auf Basis des Systems Engineering einen Rahmen für die Entwicklung eines selbststeuernden Produktionssystems. Der besondere Fokus liegt dabei auf dem methodischen Vorgehen während der Systemspezifikation.

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 (RFID, Radio Frequency Identification) von Objekten, werden hierbei Planungs- und Steuerungsentscheidungen sowie die dafür notwendige Informationsverarbeitung nicht mehr von einer zentralen Instanz, sondern dezentral vorgenommen und den logistischen Objekten selbst übertragen [2].

Ein logistisches System, dessen Planung und Steuerung auf selbststeuernden logistischen Prozessen beruht, wird im Folgenden als selbststeuerndes logistisches System bzw. im speziellen als selbststeuerndes Produktionssystem bezeichnet. Die Planung und Implementierung derartiger selbststeuernder Produktionssysteme erfordert eine dedizierte, an die Besonderheiten der Selbststeuerung angepasste Methodenunterstützung. Dieser Beitrag stellt einen Rahmen für die Entwicklung eines

selbststeuernden Produktionssystems dar und fokussiert anschließend auf das Vorgehen im Rahmen der Systemspezifikation.

Iterationszyklus als Kern der Entwicklung selbststeuernder Produktionssysteme

Die Entwicklung eines selbststeuernden logistischen Systems lässt sich auf Basis des allgemeinen Vorgehensmodells des Systems Engineering [3] konkretisieren (Bild 1). Den methodischen Kern bildet dabei ein Iterationszyklus während der Haupt- und Detailstudienphase. Im Folgenden werden die einzelnen Phasen der Entwicklung eines selbststeuernden Systems erläutert.

Anstoß: Diese erste, eher unstrukturierte Phase wird durch die Wahrnehmung eines Problems initiiert und mit dem Entschluss zur Einleitung einer geordneten Vorstudie beendet. Der Anstoß dürfte in erster Linie in der Erwartung verbesserter Leistungsdaten des Produktionssystems durch die Einführung selbststeuernder logistischer Prozesse liegen.

Vorstudie: Während der Vorstudie ist eine Definition des Problemfelds bzw. des zu betrachtenden logistischen Systems vorzunehmen. Damit zusammenhängend ist auch die Frage zu klären, welche konkreten Ziele mit einer Einführung selbststeuernder Prozesse im vorliegenden Fall verfolgt werden, was vor allem durch die Auswahl und Quantifizierung logistischer Zielgrößen umgesetzt werden kann. Für die Entscheidung über die Art und Weise

Kontakt:

Universität Bremen
FG PSPS
Postfach 33 05 60
28335 Bremen
Tel.: 0421 / 218-9787
E-Mail: kol@biba.uni-bremen.de
URL: <http://www.ips.biba.uni-bremen.de>

der Fortführung des Projekts wird mit vertretbarem Aufwand hinreichend gut überschlagen, inwiefern eine Anwendung der Selbststeuerung auf das betrachtete Szenario sinnvoll und vielversprechend ist. Diese Beurteilung der Vorteilhaftigkeit der Selbststeuerung unter bestimmten Bedingungen stellt eine umfassende in Bearbeitung befindliche Forschungsfrage dar [4], welche hier nicht weiter vertieft werden soll.

Haupt- und Detailstudien: Der in Bild 1 zu erkennende Iterationszyklus als Kern des Entwicklungsprozesses konkretisiert die Phasen Haupt- und Detailstudien des allgemeinen Entwicklungsprozesses und setzt sich aus vier aufeinander aufbauenden Teilphasen zusammen.

- Die erste Teilphase im Iterationszyklus besteht in der *Spezifikation des selbststeuernden Systems*. Es wird eine semi-formale Spezifikation der selbststeuernden Objekte durchgeführt sowie die Auslegung und Zuordnung der Entscheidungsprozesse. Um die Funktionsfähigkeit des Systems zu gewährleisten, sind sämtliche Elemente und Prozesse aufeinander abzustimmen, wodurch diese Teilphase das Fundament der Entwicklung des Systems darstellt.
- In der Teilphase *Simulation* wird das zuvor erstellte Konzept getestet. Dabei steht insbesondere die durch die Auslegung der Systemelemente bestimmte Lauf- und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems im Mittelpunkt. Die zentrale Aufgabe der Verifikation besteht auch darin, ein gewünschtes Systemverhalten nachzuweisen und die verbesserte Erreichung logistischer Ziele zuverlässig vorherzusagen. Nur so können auf der Selbststeuerung basierende emergente logistische Systeme für industrielle Anwendungen interessant sein.
- In der Teilphase der *Konfiguration der physischen Infrastruktur* wird auf Basis der zuvor gewonnenen Erkenntnisse eine Abschätzung der notwendigen technischen Ausstattung des selbststeuernden Systems

durchgeführt, welche mit jeder Iteration detaillierter wird. Schlussfolgerungen hierzu können sowohl aus dem erstellten Prozessmodell als auch aus der Simulation gezogen werden. Beispielsweise können aus der im Prozessmodell durchgeführten Zuordnung von Steuerungsprozessen und Daten zu logistischen Objekten des Systems notwendige Speicher- und Rechenkapazitäten abgeleitet werden.

- Den Abschluss eines Iterationszyklus bildet die *Kosten-/Nutzen-Analyse*. Auf Basis der hier zu erfolgenden Bewertung kann das während der Spezifikation entworfene Modell entsprechend den neuen Erkenntnissen angepasst werden. Bei wiederholt oder generell negativem Ausgang der Bewertung ist von einem Selbststeuerungsansatz für das betrachtete Szenario abzusehen.

Systembau: Der Inhalt dieser Phase besteht in der Realisierung des auf selbststeuernden Prozessen beruhenden Systems. Die beiden Hauptkomponenten sind dabei die Implementierung der Software sowie die Herstellung und Integration von Anlagen und Geräten. Die Implementierung der Software sollte zur Vermeidung zusätzlicher Arbeit nach Möglichkeit

unter Verwendung von bereits im Rahmen der Simulation erstellter Komponenten durchgeführt werden.

Systemeinführung und Projektabschluss: Die Einführung des Systems ist nach Möglichkeit stufenweise vorzunehmen. In der Regel wird es sich um große und komplizierte Systeme handeln, deren Einführung mit schwer oder nicht kalkulierbaren Nebenerscheinungen und deshalb mit hohen Risiken verbunden ist. Nach Prüfung der Zielerfüllung kann die Übergabe des Systems durch den Ersteller bzw. das Projektteam an den Betreiber erfolgen.

Ein Vorgehensmodell für die Modellierung selbststeuernder logistischer Prozesse

Für die Spezifikation eines selbststeuernden Systems (erste Phase des oben beschriebenen Iterationszyklus) wurde eine Modellierungsmethode entwickelt, deren Hauptbestandteile eine Notation [5], das Vorgehensmodell sowie ein unterstützendes Software-Werkzeug darstellen. Das in Bild 2 skizzierte Vorgehensmodell stellt einen Leitfaden zur Modellierung dar, welches einerseits zur Sicherung der Modellqualität und andererseits zur Verringerung

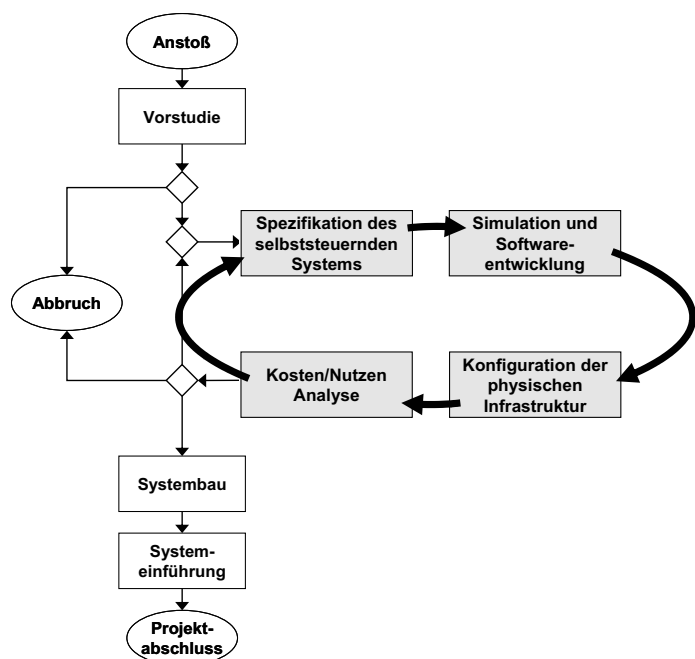


Bild 1: Entwicklung eines selbststeuernden logistischen Systems (in Erweiterung zu [3]).

des Konstruktionsaufwands während der Modellierung beiträgt. Es handelt sich um ein spezifisches Vorgehensmodell, welches operationale Handlungsempfehlungen unter Verwendung der in großen Teilen auf der Unified Modelling Language (UML) [6] basierenden Notation zur Verfügung stellt. Dadurch wird einem Nutzer mit vertieften logistischen Kenntnissen eine Möglichkeit zur Konstruktion von visuellen Modellen zur Unterstützung von Analyse, Entwurf und Optimierung selbststeuernder logistischer Systeme zur Verfügung gestellt. Die Hauptphasen dieses Vorgehensmodells werden im Folgenden erläutert.

1. Ziele: Der erste Schritt im Entwurfprozess des selbststeuernden Systems besteht in der Betrachtung der im System verfolgten Ziele. Startpunkt ist die Klärung der globalen Zielsetzung der Steuerungsprozesse. Die Ziele und ihre Priorisierungen sind von dem Modellierer in Abstimmung mit einer für die Strategie verantwortlichen Person zu klären und natürlichsprachlich festzuhalten. Dabei liegt es nahe die klassischen Ziele der Produktionslogistik [7] als übergeordnete Globalziele zu verwenden, von welchen detaillierte und konkretisierte lokale Ziele abgeleitet werden.

2. Struktur: Der zweite Schritt im Entwurfprozess besteht in der Darstellung der Struktur des Systems und damit in der Zusammenstellung und Dokumentation der das System bildenden Elemente sowie ihrer statischen Beziehungen. Im Mittelpunkt dieses Schritts stehen die selbststeuernden logistischen Objekte, weshalb der Modellierer bereits zu diesem frühen Zeitpunkt der Modellkonstruktion eine grobe Vorstellung zu entwickeln hat, welche Systemelemente als selbststeuernd vorgesehen werden und welche nicht. So findet der Aufbau des Systems nicht rein Top-Down statt, sondern beginnt bei den ausgewählten selbststeuernden logistischen Objekten, welche mit anderen identifizierten Systemelementen in Beziehung gesetzt wer-

den. Hierdurch entsteht allmählich ein Gesamtmodell.

3. Fähigkeiten: Der dritte Schritt des Vorgehens dient dem Entwurf einer Strukturierung von Fähigkeiten und Ihrer Zuordnung zu selbststeuernden logistischen Objekten. Fähigkeiten stellen dabei abstrakte Konstrukte dar, welche sich aus einer Menge von zu ihrer Umsetzung notwendigen Prozessen zusammensetzen. Die Fähigkeiten und damit auch die sie realisierenden Prozesse können darüber hinaus selbst strukturiert und zueinander in Beziehung gesetzt werden, da beispielsweise mehrere untergeordnete Fähigkeiten eine übergeordnete Fähigkeit ausbilden können.

Zu Beginn der Modellkonstruktion handelt es sich um einen ersten Entwurf der Fähigkeiten und ihrer Zuordnung zu den logistischen Objekten. Beim Durchlaufen weiterer Schritte der Modellkonstruktion wird eine zunehmend vollständiger werdende Erfassung der im System relevanten Prozesse angestrebt, wodurch die hier vorgenommene Fähigkeitenzuordnung ständig zu aktualisieren

und zu ergänzen ist. Dadurch ist eine einfachere Identifizierung von Funktionshäufungen möglich, welche bei absehbaren Verletzungen von Restriktionen, beispielsweise während der sich anschließenden Softwareentwicklung oder durch begrenzte Kapazitäten der für die Umsetzung vorgesehenen physischen Infrastruktur, eine Anpassung und Neuverteilung der Prozesse nach sich zieht. Somit beinhaltet dieser Schritt einerseits entscheidende Weichenstellungen für die nachfolgende Prozessauslegung, andererseits können und müssen auf Basis späterer Erkenntnisse die Strukturierungen und Zuordnungen der Fähigkeiten überarbeitet werden.

4. Prozesse: Der vierte Entwurfsschritt hat die Modellierung der Prozesse, insbesondere der Steuerungsprozesse zum Inhalt. Der Prozessentwurf ist in zwei Teilschritte untergliedert. Zunächst werden von einem störungsfreien Betrieb ausgehende Standardprozesse dargestellt, um diese anschließend systematisch durch Prozesse zum Abfangen von ungeplanten Ereignissen zu ergänzen.

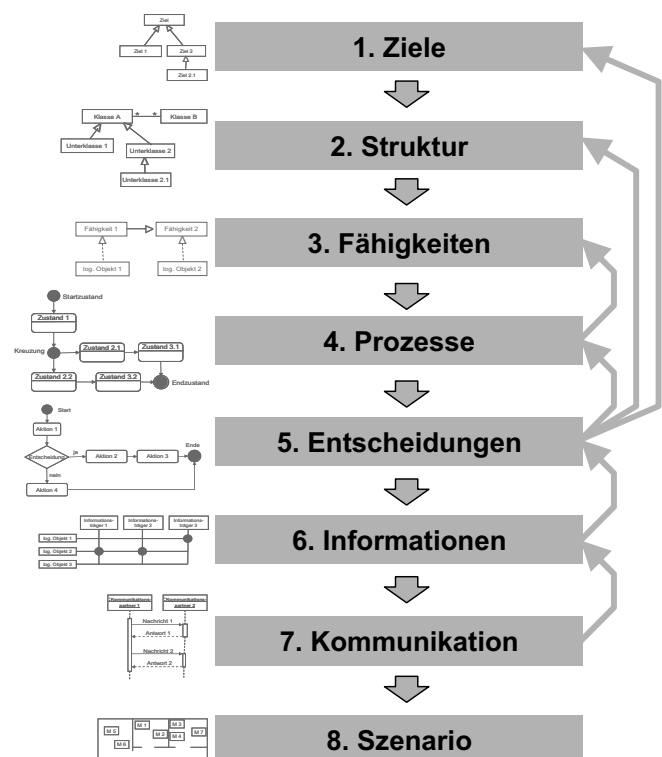


Bild 2: Das Vorgehensmodell im Überblick.

Die Modellbildung erfolgt gemäß der im logistischen System ablaufenden physischen Prozesse der einzelnen selbststeuernden logistischen Objekte. So sind in einem Produktionssystem beispielsweise der Weg eines Guts vom Wareneingangslager durch die Produktion bis zum Warenausgangslager, die im Laufe der Zeit durchzuführenden Prozesse eines Arbeitssystems oder die Aktivitäten und Zustände eines Transportmittels von der Aufnahme einzelner Güter bis zur Planung seiner Route zu betrachten. Eine detaillierte Ausführung der einzelnen zu bewältigenden Entscheidungssituationen wird grundsätzlich noch nicht angestrebt, sondern lediglich deren Einbindung in die umgebenden Prozesse.

Im zweiten Teilschritt ist nun die Annahme eines idealen Ablaufs mit Vernachlässigung möglicher Störungen durch die Berücksichtigung von in einem logistischen System auftretenden Unsicherheitsfaktoren zu ersetzen. Für den Entwurf eines selbststeuernden logistischen Systems sind daher zusätzlich zu den bisher entworfenen, von einem idealen Ablauf ausgehenden Steuerungsprozessen weitere für den Umgang mit auftretenden Störungen zu ergänzen. Um eine systematische Einbindung relevanter Prozesse zu gewährleisten, erfolgt eine Orientierung an bestehenden Strukturierungen von Ursachen, Störungen und Auswirkungen sowie entsprechenden Aufgaben im Störungsmanagement [8].

5. **Entscheidungen:** In diesem Schritt des Modellierungsprozesses wird auf die Entscheidungen fokussiert. Für die Identifikation aller Entscheidungssituationen in den selbststeuernden Prozessen ist eine Betrachtung aller selbststeuernder logistischer Objekte und der in Schritt 4 erstellten Prozessmodelle notwendig. Grundlage der Identifikation und Beschreibung bildet die Struktur einer Entscheidung [9]. Darauf aufbauend wird eine Steuerungsentscheidung durch einen Entscheider, ein Ziel und eine dieses Ziel abbildende Entscheidungsregel, einen Auslöser sowie ein Entscheidungsfeld charakteri-

siert. Das Entscheidungsfeld wird insbesondere durch die möglichen Aktionen und die mit diesen Aktionen verbundenen Ergebnisse in einer Situation beschrieben.

6. **Informationen:** Nach der Beschreibung der Entscheidungssituationen findet eine Fokussierung auf das Entscheidungsfeld und damit die notwendigen Informationen statt. Dazu ist jede einzelne Entscheidungssituation zu analysieren, inwieweit dort welche Informationen benötigt werden. Nach Klärung dieser Frage ist zu spezifizieren, woher die Informationen kommen. Dies geschieht durch die Zuweisung der Informationen zu Speicherorten. Demnach ist der wichtige Aspekt an dieser Stelle nicht der Ort bzw. die Situation der Informationsverwendung, was zuvor bei dem Einsatz in den einzelnen Entscheidungsprozessen relevant war. Dagegen ist festzulegen, wo die Informationsobjekte in ständig aktualisierter Form vorliegen und von den nachfragenden selbststeuernden logistischen Objekten des Systems abgerufen werden können. Beispiele für solche Speicherorte sind wiederum selbststeuernde logistische Objekte oder auch Sensoren.

7. **Kommunikation:** Auf Basis der Prozesse, Entscheidungen, gegenseitiger Verknüpfungen und der Festlegung der Informationsquellen ist nun die Kommunikation zu modellieren. Dabei sind zwei Hauptaspekte zu unterscheiden, zum einen die Kommunikationsprozesse und zum anderen die ausgetauschten Nachrichten. Die notwendigen Kommunikationsprozesse werden aus den bestehenden Modellen abgeleitet. Für jede Entscheidungssituation sind der Entscheider, die notwendigen Informationsobjekte sowie die Informationsträger identifiziert. Aus dem logisch-zeitlichen Aufbau der einzelnen Prozesse ergibt sich dann auch der Aufbau der Interaktionen. Im Fall einer simplen Abfrage kann ein Interaktionsprotokoll lediglich bestehend aus einer Anfrage und der zugehörigen Antwort,

gegebenenfalls mit entsprechenden Bestätigungen, definiert werden. Aufwändigere Protokolle sind für Verhandlungen zwischen Systemelementen notwendig, welche sich aus den Verknüpfungen und Abhängigkeiten der bei den einzelnen Elementen ablaufenden Prozesse ergeben.

8. **Szenario:** Im abschließenden Schritt der Modellierung werden die konkreten Szenariendaten erfasst. Zu den während der vorhergehenden Schritte definierten Klassen sind sämtliche vorhandenen Instanzen zu sammeln und zu dokumentieren, um die Voraussetzungen für die nachfolgende Teilphase der Simulation und in letzter Konsequenz für die Lauffähigkeit des Systems zu schaffen.

Das vollständige Vorgehensmodell definiert zu den hier skizzierten acht Schritten durchzuführende Aktivitäten und dabei zu erzielende Ergebnisse. Darüber hinaus werden zur Unterstützung der Aktivitäten Methoden und Werkzeuge vorgeschlagen. Zu diesen gehören erstens die bereits erwähnte Notation, zweitens Modellierungskonventionen in Form von Konstruktions- und Konsistenzregeln sowie drittens ergänzende, für die einzelnen Schritte ausgewählte Hilfsmittel wie beispielsweise das Entscheidungsmodell. Komplettiert werden die einzelnen Schritte durch Hinweise auf die möglicherweise in einem Schritt initiierten und in Bild 2 angedeuteten Iterationen, welche in Verweisen zu vorhergehenden Schritten des Vorgehensmodells bestehen.

Fazit

Der vorliegende Beitrag befasste sich mit der Entwicklung selbststeuernder Produktionssysteme. Hierzu wurde zunächst der Rahmen für die Systementwicklung vorgestellt. Daran anschließend erfolgte eine Darstellung des Modellierungsvorgehens zur Unterstützung der zum Kern des Entwicklungsprozesses gehörigen Systemspezifikation.

Die nächsten Maßnahmen werden in der Evaluierung der Modellierungsme-

thode anhand verschiedener Szenarien bestehen. Zukünftige Forschungsarbeiten werden sich dann mit der Ausdehnung der methodischen Unterstützung auf die weiteren Phasen der Systementwicklung befassen, um letztlich über eine in sich geschlossene Methodik für den gesamten Entwicklungsprozess selbststeuernder logistischer Systeme zu verfügen.

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] Hülsmann, M., Windt, K.: *Understanding Autonomous Cooperation & Control in Logistics - The Impact on Management, Information and Communication and Material Flow*. Berlin 2007.
- [3] Habermehl, R., Daenzer, W.F., Huber, F. (Hrsg.): *Systems Engineering*. Zürich 2002.
- [4] Scholz-Reiter, B., Philipp, T., de Beer, C., Windt, K., Freitag, M.: Einfluss der strukturellen Komplexität auf den Einsatz von selbststeuernden logistischen Prozessen. In: Pfohl, H.-C., Wimmer, T. (Hrsg.): *Steuerung von Logistiksystemen - auf dem Weg zur Selbststeuerung*. Hamburg 2006, S. 11-25.
- [5] Scholz-Reiter, B., Kolditz, J., Hildebrandt, T.: UML as a Basis to Model Autonomous Production Systems. In: Cunha, P.F., Maropoulos, P. (Hrsg.): *Proceedings of the 3rd CIRP Sponsored Conference on Digital Enterprise Technology*. Setúbal 2006.
- [6] OMG Object Management Group: *Unified Modeling Language Specification, Version 2.0*. <http://www.uml.org/>, Ab-rufdatum 21.01.2005.
- [7] Wiendahl, H.-P.: *Betriebsorganisation für Ingenieure*. München 2005.

- [8] Patig, S.: *Flexible Produktionsfeinplanung mit Hilfe von Planungsschritten: ein Planungsansatz zum Umgang mit Störungen bei der Produktion*. Frankfurt/Main 2001.
- [9] Laux, H.: *Entscheidungstheorie*. Berlin 2005.

Schlüsselwörter:

Selbststeuerung logistischer Prozesse, Vorgehensmodell, Modellierungsmethode, Prozessmodellierung

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Teilprojekts „Adaptive Geschäftsprozesse - Modellierung und Methodologie“ des von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) geförderten Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse - Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ (SFB 637).

Engineering Autonomous Production Systems

Mastering 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 sketches a framework for engineering autonomous production systems on the basis of systems engineering. The main focus is put on a procedure model guiding through the process of system specification.

Keywords:

autonomous logistic processes, procedure model, modelling method, process modelling