



Universität Potsdam
Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Norbert Gronau
Lehrstuhl für Wirtschaftsinformatik
und Electronic Government
Universität Potsdam
August-Bebel-Str. 89; 14482 Potsdam
Tel. ++49 331/ 977-3322, Fax -3406
<http://wi.uni-potsdam.de>
E-Mail: ngronau@wi.uni-potsdam.de

Arbeitsbericht WI - 2011 - 10

Gronau, Norbert; Theuer, Hanna; Lass, Sander

LUPO - Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte

Zitierhinweis: Gronau, N.; Theuer, H.; Lass, S.: LUPO -
Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte;
In: Nyhuis, P. (Hrsg.): Wandlungsfähige Produktionssysteme, Reihe:
Schriftenreihe der Hochschulgruppe für Arbeits- und
Betriebsorganisation e.V. (HAB). GITO Verlag (Berlin), 2010,
S. 177-187.

LUPO – Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte

Prof. Dr.-Ing. Norbert Gronau, Dipl.-Ing. Hanna Theuer, Dipl.-Ing. Sander Lass

1 Einleitung

Die zunehmende Globalisierung und der sich daraus ergebende Wandel vom Verkäufer- zum Käufermarkt stellt auch produzierende Unternehmen vor große Herausforderungen. Die schnelle und effektive Anpassung an interne und externe Veränderungen sowie die Berücksichtigung der individuellen Kundenwünsche werden zu erfolgskritischen Faktoren. Nur Unternehmen, die imstande sind, diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben eine Chance auf eine langfristige Stabilisierung und Stärkung ihrer Marktposition [Windt/Hülsmann 2007]. Eine Möglichkeit zur Steigerung der Anpassungsfähigkeit der Fertigung ist die Dezentralisierung der Produktionssteuerung. Realisiert werden kann diese durch Verwendung autonomer Technologien, wie beispielsweise RFID, OCR, GPS oder Barcode [Schönherr 2008]. Durch den zusätzlichen Einsatz von Manufacturing Execution Systemen (MES) können bestmöglich Ergebnisse erzielt werden. Aber obgleich sowohl geeignete Technologien als auch MES für die dezentrale Planung existieren, werden diese häufig noch nicht in dem Umfang genutzt, in dem sie sich vorteilhaft auf die Marktposition oder in einer steigenden Effektivität und Profitabilität der Fertigung und Montage auswirken [Böse/Windt 2007]. Ein Hauptgrund ist die hohe Komplexität der Analyse der besten Verteilung zwischen dezentraler und zentraler Fertigungssteuerung eines gegebenen Produktionssystems. Fundierte Aussagen über Nutzen und Kosten sind zeit- und kostenintensiv und mit einem Risiko verbunden. Viele Unternehmen scheuen daher die Investition [Hülsmann et al. 2006].

Eine Antwort auf diese Frage wird das Forschungsprojekt LUPO¹ liefern. Im vorliegenden Artikel werden zunächst die Hauptziele des Projektes dargestellt. Daran anschließend wird der Begriff der autonomen Technologien erläutert, welche für das Projekt eine wesentliche Rolle spielen. Kapitel 3 präsentiert das Konzept des hybriden Simulators.

¹ Das Forschungsprojekt LUPO – Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte – wird durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages im Forschungsschwerpunkt AUTONOMIK mit dem Kennzeichen 01MA09018A gefördert.

Forschungsziele

Wesentliches Ziel des Projektes ist es, Methoden und Werkzeuge für eine schnelle und fundierte Analyse von Produktionsprozessen hinsichtlich des für die jeweiligen Gegebenheiten am besten geeigneten Grades an dezentraler und zentraler Produktionssteuerung, welche mithilfe autonomer Technologien realisiert werden kann, zu finden. Dafür wird ein hoch flexibler hybrider Simulator entwickelt, welcher die Vorteile von computerbasierter Simulation und Modellfabriken verbindet. Er besteht aus mehreren physischen Werkstück- und Werkzeugdemonstratoren, die mit verschiedenen Möglichkeiten der autonomen Kommunikation ausgestattet sind. Zusätzlich werden intelligente Werkstückträger und Werkzeuge sowie flexible Förderstrecken konzipiert. Unterschiedliche Produktionsprozesse können nachgebaut, variiert und durch den Einsatz eines Manufacturing Execution Systems analysiert werden. Die wesentlichen Forschungsziele werden im Folgenden erläutert.

1.1 Schnelle Ermittlung von Vorteilen autonomer Technologien in Produktion, Logistik und Montage

In den meisten Fällen können die Vorteile autonomer und dezentraler Technologien nicht durch eine isolierte Betrachtung ermittelt werden. Vielmehr ist eine integrative Untersuchung der Technologien in ihrem Zusammenspiel mit den zugeordneten Informationssystemen, der Planungs- und der Organisationsform notwendig. Nur so können Aussagen zu ihrem konkreten Nutzen getroffen werden [Gillert/Hansen 2007]. Während die Ermittlung des konkreten Nutzens autonomer Technologien sehr schwer ist, sind auf der anderen Seite sehr hohe Investitionskosten notwendig. Diese Situation führt zu einer hohen Unsicherheit auf der Anwenderseite [Heng 2008]. Viele Unternehmen entscheiden sich deswegen gegen die Einführung eines autonomen Systems. Mit LUPO sollen ganzheitliche Analysen bestehender oder geplanter Produktionsprozesse möglich werden, welche innerhalb einer Woche konkrete Ergebnisse zu Kosten und Nutzen einer Investition hervorbringen.

1.2 Erhöhung der Anpassungsfähigkeit

Kurzfristige Anpassungen auf immer häufigere interne und externe Veränderungen sowie ein hoher Grad an Flexibilität und Reaktionsgeschwindigkeit sind Schlüsselfaktoren des Marktwettbewerbes [Volling 2009]. Im Projekt LUPO können unterschiedliche autonome Technologien sowie deren Kombinationen risikofrei getestet und hinsichtlich ihres Nutzens für konkrete Produktionsszenarien bewertet werden. Durch die Ergebnisse wird die Auswahlentscheidung autonomer Technologien für die Erhöhung der Anpassungsfähigkeit produzierender Unternehmen unterschiedlicher Bran-

chen erleichtert. Dabei soll insbesondere analysiert werden, wie Prozesselemente auf neue Produktionslayouts, Organisationsformen und sich verändernde Marktsituationen angepasst werden können.

1.3 Produktionsmanagement mithilfe autonomer Produktionsobjekte

Durch die Umstellung des Produktionssystems auf dezentrale und autonome Produktionsobjekte ändern und erweitern sich Aufgaben und Inhalte des Produktionsmanagements. Im Projekt wird ermittelt, welche neuen Management- und Planungsaufgaben für Unternehmen mit einer dezentralen autonomen Produktionsteuerung anfallen und welche Informationen benötigt werden. Des Weiteren werden zusätzliche Möglichkeiten der Ermittlung, Auswertung und Analyse von Kennzahlen für das Produktionsmanagement durch die Verwendung autonomer Technologien geschaffen.

1.4 Standardisierung des produktionsrelevanten Informationsaustausches

Die Kommunikation autonomer Objekte ermöglicht eine Komplexitätsreduzierung und eine Einbindung von Vor-Ort-Bedingungen. Intelligente Systeme mit erweiterten Speicher- und Kommunikationsmöglichkeiten sowie Sensoren ermöglichen Informationsaustausch, Umgebungserkennung und Aufgabendurchführung selbstständig auszuführen [Freitag et al. 2004]. Zum aktuellen Zeitpunkt gibt es keinen einheitlichen Standard für die Kommunikation autonomer Technologien in der Produktion [Franke/Dangelmaier 2006]. Vielmehr gibt es eine Reihe von Unternehmen, die ihre individuellen Kommunikationsverfahren nutzen. Kleine Unternehmen stehen somit vor dem Problem, einer Vielzahl von Anforderungen ihrer Marktpartner gerecht zu werden. Um trotzdem die Möglichkeit eines systematischen Datenaustausches zu haben, ist es notwendig, in diesem Bereich Wege zu einer Vereinheitlichung zu finden.

2 Autonome Technologien

Autonome Technologien ermöglichen eine selbstständige Steuerung des Systems, in dem sie angewandt werden. In diesem Kontext steht „Autonome Technologie“ als Oberbegriff für die Realisierung der selbstständigen Steuerung einzelner Elemente des Systems. Eine Differenzierung auf mehreren Ebenen bezieht die unterschiedlichen Blickwinkel ein.

Die technische Sicht mit den Basistechniken zur Durchführung einer bestimmten elementaren Aufgabe (Speicherung, Erfassung, Kennzeichnung) bilden die Grundlagen. Technologiebündel als Kombination verschiedener Basistechniken erlauben die Bearbeitung komplexerer Problemstellungen. So zum Beispiel die Ermittlung der Position eines Werkstücks: der Ladungsträger

wird per RFID-Lesegerät identifiziert, die Information aufbereitet, verarbeitet und per WLAN kommuniziert.

Ergänzt um organisatorische Aspekte, die Organisationsstrategien (Formen und Verfahren) und Steuerungskonzepte einbeziehen, kann ein autonomes System, dessen Elemente dezentral Entscheidungen treffen, realisiert werden. So wird die Möglichkeit geschaffen, den regelgemäßen Betrieb sowie die Anpassung an Veränderungen mit geringst möglichen externen Eingriffen zu ermöglichen. Hierfür werden die relevanten Informationen gespeichert, gelesen und nach vorgegeben Algorithmen ausgewertet. Darauf basierend wird die Regulierung vorgenommen.

Autonome Technologien können in drei Hierarchieebenen gegliedert werden, wie in Abbildung 1 dargestellt ist.

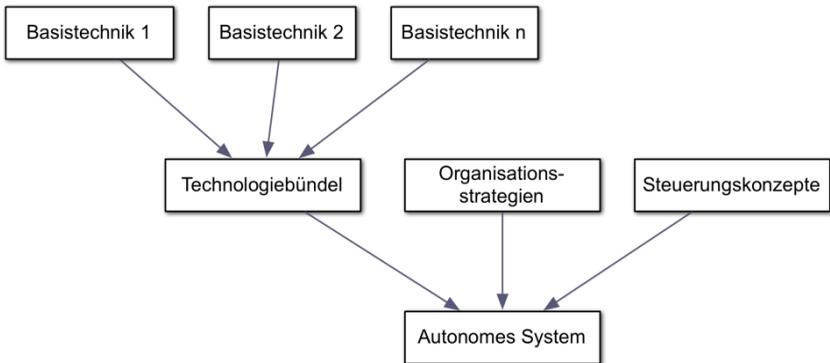


Abbildung 1: Hierarchieebenen autonomer Technologien

- **Basistechnik:** Bezeichnung für das eigentliche AUTO-ID-Element (z. B. RFID-Tag oder Barcode), welches auf die Produktionsobjekte angebracht wird, um die für die autonome Steuerung notwendigen Informationen zu speichern.
- **Technologiebündel:** Bezeichnung für ein System, das aus mehreren Basistechniken sowie entsprechenden Lese- und Auswertungskomponenten besteht. Es dient der Aufnahme der Informationen, welche auf den Produktionsobjekten durch die Basistechniken gespeichert sind. Die Informationen werden zunächst nur in das Technologiebündel übernommen, eine Weiterverarbeitung oder Auswertung der Daten findet nicht statt.
- **Autonomes System:** Ein System ist eine Menge von Elementen, die miteinander in Beziehung stehen. Jedes Element ist mit anderen Elementen selbst oder über Drittelemente verbunden. In einem autonomen System werden Technologiebündel, Steuerungskonzepte und

Organisationsstrategien miteinander vereinigt. Dadurch wird dem gesamten System bzw. ausgewählten Teilen eine selbstständige Aufnahme des aktuellen Zustandes ermöglicht. Durch einen Abgleich mit zuvor für das System definierte Bedingungen (im Fall der Produktion eignen sich Organisationsstrategien sowie Steuerungskonzepte) werden notwendige Handlungsschritte ermittelt.

Der Einsatz von autonomen Technologien birgt zahlreiche Vorteile. So werden insbesondere neue Möglichkeiten bei der Automatisierung der Wertschöpfungsprozesse geschaffen. Während bei der bisherigen Produktionssteuerung in der Regel eine zentrale Steuerung der Prozesse notwendig war, ermöglicht der Einsatz autonomer Technologien eine Speicherung von relevanten Informationen direkt am Produkt selbst. Die bisherige Trennung zwischen der physischen Ware und dem ihr zugeordneten Informationsfluss wird aufgehoben. Durch entsprechende Softwaresysteme wird die dezentrale Auswertung, Entscheidungsfindung sowie die darauf basierende Steuerung ermöglicht. Unterschieden werden kann bei autonomen Technologien die zentrale und die dezentrale Datenhaltung. Bei der ersten wird auf den einzelnen Produkten nur ein Nummerncode angebracht. Die zugehörigen objektbezogenen Daten sind in einer zentralen Datenbank hinterlegt und müssen bei jedem Vorgang von dort abgerufen bzw. Aktualisierungen dahin überspielt werden. Im Gegensatz dazu werden bei der dezentralen Datenhaltung neben einem Nummerncode auch objektbezogene Daten direkt am Objekt gespeichert. Auf diese Weise kann das zu verarbeitende Datenvolumen reduziert und damit die Reaktionszeit verringert werden.

Eine der bekanntesten autonomen Technologien ist RFID (Radio Frequently Identification). Diese wird bereits in unterschiedlichen Anwendungsbereichen aus Wirtschaft, Militär und Freizeit eingesetzt. Die Relevanz von autonomen Technologien wird sich in den kommenden Jahren bedeutend erhöhen. Auf dem RFID-Markt wird bis 2016 ein durchschnittliches jährliches Wachstum von 25% erwartet. Schon heute werden RFID-Technologien in vielen Bereichen der Wirtschaft verwendet. Das größte Anwendungsfeld liegt im Transport (31%), gefolgt von den Bereichen der Produktionssteuerung (18%) und Produktinformation (16%) [Heng 2008]. Deutliche Unterschiede sind dabei in klein- und mittelständischen (KMU) und in Großunternehmen zu verzeichnen. Während im Jahr 2008 bereits 50 Prozent der Großunternehmen RFID im Einsatz hatten, waren es bei den KMU lediglich 26 Prozent. 22 Prozent der KMU sahen den Einsatz von RFID als grundsätzlich ungeeignet für ihr Unternehmen an (Großunternehmen: acht Prozent) [Heng 2008]. Gründe für den geringen Einsatz in KMU liegen vor allem in den zum Teil noch sehr hohen Initialkosten für die RFID-Technologie sowie in der Unsicherheit hinsichtlich

der Erreichung der Ziele [Heng 2008]. Die genannten Zahlen verdeutlichen, dass es insbesondere im Bereich der KMU notwendig ist, Methoden zu entwickeln, welche die Planungsunsicherheit verringert und somit den Anreiz für die Einführung von modernen Technologien schafft. Mit dem hybriden Simulator, welcher im Rahmen des Projektes LUPO aufgebaut wird, können alternative, mit autonomen Technologien ausgestattete Produktionsszenarien schnell und flexibel nachgebaut und analysiert werden. Den Unternehmen wird auf diese Weise eine fundierte Entscheidungsbasis geboten. Im folgenden Kapitel wird das Konzept des hybriden Simulators sowie seine Funktionsweise erläutert.

3 Konzeption des hybriden Simulators

Der Simulator besteht aus rechnerinternen und physischen Modellen. Ziel ist es, die Eigenschaften der Produktionsobjekte in Form einer hybriden Simulation darzustellen. Die Vorteile der computerbasierten Simulationen werden mit denen der physischen Modellfabrik kombiniert, um eine schnelle und flexible Abbildung der zu analysierenden Produktionsprozesse zu erreichen. Nach Fertigstellung der Simulationsumgebung wird es möglich sein, in wenigen Stunden eine Fertigungssituation abzubilden. Weder eine rein rechnerinterne noch eine ausschließlich physikalische Darstellung können diesen schnellen Versuchsaufbau realisieren. Ein weiterer Vorteil ist, dass bestimmte physikalische Effekte wie Erkennungsrate, Feldstärke und Antennenausrichtung der Auto-ID-Elemente ohne zusätzlichen Aufwand überprüft werden können.

Die Hauptelemente des hybriden Simulators bilden die Demonstratoren. Diese stellen die relevanten Produktionsobjekte zur Verfügung: Maschinen und Werkzeuge, Werkstücke und Werkstückträger sowie Förderstrecken.

Ein Demonstrator besteht aus einer Box, die über entsprechende Parameter als ein konkretes Produktionsobjekt konfiguriert werden. Durch das Zusammenspiel mehrere Demonstratoren können Fertigungsabläufe simuliert werden.

Die Entscheidungsfindung vor Ort durch Objekt selbst ist eines der wesentlichen Merkmale autonomer Technologien. Ein Element des Gesamtsystems trifft eigenständig in seinem Kontext Entscheidungen, wie mit einer spezifischen Situation umgegangen wird. Für eine Realisierung müssen die zugehörigen Algorithmen zur Bewertung der Situation und zur Auswahl der Reaktionsschritte implementiert werden. Hieraus entsteht die Notwendigkeit, das Objekt mit eigener Rechenleistung auszustatten.

Weiterhin müssen für adäquate Reaktion die relevanten Umweltinformationen als Eingabeparameter zur Verfügung stehen. Ergänzend sind Kommunikationsfähigkeiten obligatorisch, einerseits zur Abstimmung mit dem Gesamtsystem und andererseits zur ergänzenden Informationsaufnahme von anderen Systemelementen.

Zur Steuerung beinhaltet jeder Demonstrator einen Mikrocontroller. Die Implementierung von Entscheidungsalgorithmen (Simulationsebene) und die Steuerung des Demonstrators selbst (Steuerungsebene) wird so realisiert. Interfacebausteine erlauben den Anschluss diverser Sensortypen und Kommunikationsmodule. Verschiedene Technologien können ins System integriert werden, beispielsweise RFID-Lesegerät. Es stehen diverse Schnittstellenstandards bereit, etablierte Schnittstellen wie Profibus etc. können genutzt werden. Jeder Demonstrator kann damit für einen bestimmten Grad an Autonomie konfiguriert und typische Hardware angebunden werden. Abbildung 2 zeigt den prinzipiellen Aufbau eines Demonstrators. Gemäß den genannten Produktionsobjekten werden fünf Typen von Demonstratoren eingesetzt: Werkzeugmaschine und Werkstück, Förderstrecken sowie Werkzeuge und Werkstückträger.



Abbildung 2: Konzeption des Werkzeugmaschinen-Demonstrators

3.1 Werkzeugmaschine

Die Werkzeugmaschinendemonstratoren sind analog zu den Werkstückdemonstratoren aufgebaut. Auf den Seiten ist ein Abbild der Werkzeugmaschine und auf der Oberfläche Touchscreen als Cockpit für das Produktionsmanagement zu sehen. Hier können Kennwerte angezeigt und überwacht oder die Maschinenbedienung bzw. BDE-Terminals simuliert werden. Die Anzeige des Fertigungsstatus auf dem Werkstückdemonstrator nach dem Durchlaufen reflektiert die Bearbeitung.

3.2 *Werkstück*

Die Darstellung des zu bearbeitenden Werkstückes wird als 2D- oder 3D-Modell auf die beiden Seitenbildschirme des Werkstückdemonstrators geladen. An der Oberfläche des Werkstückdemonstrators befindet sich der Monitoringbildschirm, der relevante Produkt-, Prozess- und Auftragsdaten zeigt. Die angezeigten Informationen und Darstellungen bleiben aktuell und ändern sich somit stetig. Eine hohe Übersichtlichkeit wird gewährleistet. Der Nachteil, dass kein physisches Produkt vorhanden ist, wird durch eine sehr hohe Variabilität des möglichen Produktspektrums nivelliert.

3.3 *Förderstrecke*

Die unterschiedlichen Werkzeugmaschinen demonstratoren sind über eine Förderstrecke miteinander verbunden. Dabei werden auch Weichen bzw. Drehpunkte und Ein- sowie Ausschleusungspunkte realisiert. Unterschiedliche Fertigungslayouts mit Sequenz, Parallelität und Wiederholung können abgebildet werden. Die Kombination der Basislayouts ermöglicht die Zusammensetzung beliebiger realer Fabriklayouts. Ein mögliches Produktionsszenario ist in Abbildung 3 zu sehen.

3.4 *Erweiterung um autonome Werkzeuge und Werkstückträger*

Um alle relevanten Produktionsobjekte mit autonomen Fähigkeiten auszurüsten, sind auch Werkstückträger und Werkzeuge als autonome Einheiten zu gestalten. Ladungsträger werden als flache Derivate der Werkstückdemonstratoren realisiert, während Werkzeugdemonstratoren als Einschübe in die Maschinen demonstratoren erstellt werden.

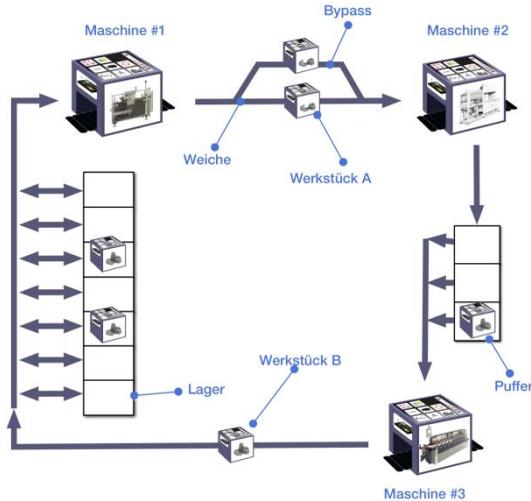


Abbildung 3: Schematische Darstellung eines Produktionsszenarios in LUPO

3.5 Bestimmung wesentlicher Eigenschaften der Produktionsobjekte

Zur Durchführung von Simulationen wird ein adäquates Modell des Originalsystems benötigt. Ausgehend von der Zielstellung, eine Fertigungssituation mit ihren relevanten Parametern modellieren zu können, erfolgt aktuell die Ermittlung möglicher Eigenschaften. Mit Hilfe von Fragebögen werden diese in den mitwirkenden Praxisunternehmen auf ihre Relevanz untersucht und klassifiziert. Durch ein iteratives Vorgehen werden gewonnene Erkenntnisse in den weiteren Ablauf mit einbezogen und verifiziert. Ergebnis sind die wesentlichen Parameter der Produktionsobjekte mit ihren Wertebereichen bzw. Ausprägungen, die als Eigenschaften im Simulator zur Abbildung Szenarios der Fertigung berücksichtigt werden müssen. Weiterhin werden die aufgenommenen Daten zur Erstellung einer Bibliothek von Produktionsobjekten genutzt. Diese Zusammenstellung lässt eine schnelle Modellierung von Standardsituationen zu, da beispielsweise eine Maschine des zu simulierenden Ablaufs mit einer weniger umfangreichen Ist-Analyse und nur wenigen Modifizierungen der Parameter praxisgerecht modelliert werden kann.

3.6 Aufbau der Informationssysteme in der Fabrik

Für die Abbildung der Fertigungssteuerung eines Produktionsprozesses ist die Verwendung koordinierender Softwarekomponenten, wie Manufacturing Execution Systemen (MES), notwendig. Eine realistische Darstellung der verwendeten IT in dem zu simulierenden Unternehmen wird möglich. Durch Customizing des Systems mit den wesentlichen Angaben der Anwenderunter-

nehmen und die Kommunikationsfähigkeit von MES und Demonstratoren ist die Abbildung des Istzustands und die experimentelle Erprobung von Produktionsstrategien und alternativer Technologieeinsatz gegeben. Zudem kann der Grad der Dezentralisierung je nach Anwendungsfall individuell eingestellt, das heißt, in welchem Maße, Steuerungsentscheidungen zentral durch das MES getroffen oder in die Demonstratoren verlagert werden.

3.7 Validierung

Zur Validierung ist eine permanente Verifikation und der Daten, des Modells und seines Verhaltens sowie der Simulationsergebnisse zwingend erforderlich [Rabe et al. 2007]. Sie gliedert sich in Datenerfassungs-, Modellierungs- und Experimentphasen [VDI 2007]. Durch die Abbildung typischer Szenarios für existierende Produktionsprozesse im bestehenden System, der Simulation und dem Vergleich der Ergebnisse mit denen aus dem realen Vorbild können Aussagen zur Abbildungsqualität getroffen werden. Gegebenenfalls erfolgen Modifizierungen am Metamodell des Simulators. So wird die Übertragbarkeit der Ergebnisse sichergestellt.

4 Fazit

Durch den Aufbau des hybriden Simulators im Projekt LUPO wird eine schnelle Nachbildung, Variation und Bewertung von Produktionsprozessen hinsichtlich der Anwendbarkeit autonomer Technologien zur dezentralen Produktionssteuerung ermöglicht. Die angestrebte Standardisierung des Informationsaustausches ermöglicht eine schnelle und einfache Kommunikation von Produktionsobjekten verschiedener Hersteller. Die Nutzung des richtigen Grades an dezentraler Produktionssteuerung führt zu einer höheren Anpassungsfähigkeit und Flexibilität des Unternehmens. Dies erhöht die Chance für eine langfristige stabile Positionierung im Markt.

Literatur

- Schönherr, H. (2008): Einleitung; In: Bartneck, N.; Klaas, V.; Schönherr, H. (Hrsg.): Prozesse optimieren mit RFID und Auto-ID . Publicis Corporate Publishing, Erlangen. S. 20
- Böse, F.; Windt, K. (2007): Business Process Modelling of Autonomously Controlled Production Systems, In Hülsmann, M.; Windt, K. (Hrsg.): Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics. Springer Verlag, Berlin, Heidelberg. S. 74 ff.
- Franke, W; Dangelmaier, W. (Hrsg) (2006): RFID – Leitfaden für die Logistik. Betriebswirtschaftlicher verlag Dr. Th. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden. S. 275
- Freitag, M.; Herzog, O.; Scholz-Reiter, B. (2004): Selbststeuerung logistischer Prozesse – Ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen - Ein neuer Sonderforschungsbereich an der Universität Bremen, In: Industrie Management 20. GITO-Verlag, Berlin. S. 23-27
- Gillert, F.; Hansen, W. R. (2007): RFID für die Optimierung von Geschäftsprozessen. Carl Hanser Verlag. München, Wien. S. XI f.

- Heng, S. (2008): RFID-Funkchips: Vehikel für den effizienten Informationsaustausch, Deutsche Bank Research, Frankfurt.
- Hülsmann, M. et al. (2006): Identification, Evaluation and Measuring of Autonomous Cooperation in Supply Networks and other Logistic Systems, In: T. Baltacıglu (Hrsg.), Proceedings of the 4th International Logistics and Supply Chain Congress, Izmir, Turkey, S. 216-225.
- Rabe, M.; Spieckermann, S.; Wenzel, S. (2007): Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik – Vorgehensmodelle und Techniken. Springer-Verlag, Berlin. S. 51.
- Riffelmacher, P.; Kluge, S.; Westkämper, E. (2009): Wandlungsfähige Produktion durch integrierten Einsatz digitaler Werkzeuge. In: Industrie Management 25. GITO Verlag, Berlin. S. 29-32
- Verein Deutscher Ingenieure (VDI): Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen. VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1. Beuth-Verlag, Düsseldorf.
- Volling, T. (2009): Auftragsbezogene planung bei variantenreicher Serienproduktion: eine Untersuchung mit Fallstudien aus der Automobilindustrie. Gabler | GWV Fachverlage GmbH, Wiesbaden.
- Westkämper, E. (2007): Management der Produktion im turbulenten Umfeld. In: PPS Management 12. GITO Verlag, Berlin. S. 70-72.
- Windt, K.; Hülsmann, M. (2007): Changing Paradigms in Logistics, In: Hülsmann, M.; Windt, K.; (Hrsg.): Understanding Autonomous Cooperation and Control in Logistics. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 3.