

Selbststeuerung logistischer Prozesse in Produktionsnetzen

Bernd Scholz-Reiter, Thomas Jagalski, Christoph de Beer,
Universität Bremen



Prof. Dr.-Ing. Bernd Scholz-Reiter ist Professor für Planung und Steuerung produktionstechnischer Systeme am Fachbereich Produktionstechnik der Universität Bremen und Institutsleiter des Bremer Instituts für Betriebs-technik und angewandte Arbeitswissenschaft (BIBA) sowie Herausgeber der Zeitschriften Industrie Management und PPS Management.



Thomas Jagalski, M.Sc. (Economics and Management) ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen sowie leitender Redakteur der Zeitschrift Industrie Management.



Dipl.-Phys. Christoph de Beer ist wissenschaftlicher Mitarbeiter im Sonderforschungsbereich 637 „Selbststeuerung logistische Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen“ an der Universität Bremen sowie Redakteur der Zeitschrift Industrie Management.

Die Potenziale von selbststeuernden produktionslogistischen Prozessen konnten bereits nachgewiesen werden. Im Folgenden wird untersucht, inwieweit sich selbststeuernde logistische Prozesse in einem Produktionsnetz auf die Performanz und die Dynamik des Systems auswirken. Mithilfe eines

an das Produktionsnetz eines Maschinenbauunternehmens angelehnten Szenarios soll beispielhaft gezeigt werden, dass Selbststeuerungsstrategien bei integrierter Betrachtung von produktions- und transportlogistischen Prozessen leistungsfähiger als eine zentrale Planung und Steuerung sein können.

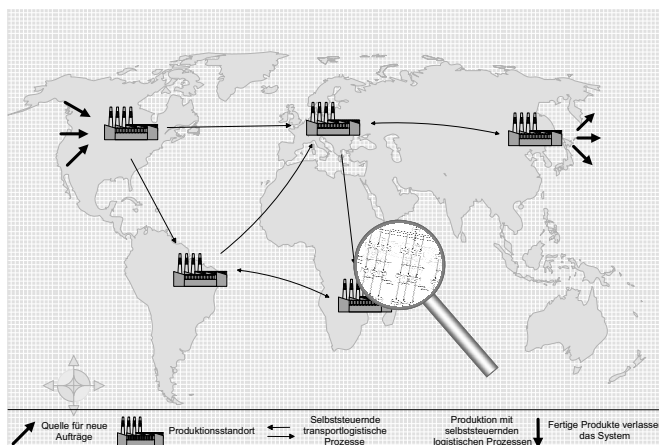
Der Sonderforschungsbereich 637 Selbststeuerung logistischer Prozesse – ein Paradigmenwechsel und seine Grenzen hat eine globale Definition des Begriffs Selbststeuerung entwickelt: „Selbststeuerung beschreibt Prozesse dezentraler Entscheidungsfindung in heterarchischen Strukturen. Sie setzt voraus, dass interagierende Elemente in nichtdeterministischen Systemen die Fähigkeit und Möglichkeit zum autonomen Treffen von Entscheidungen besitzen. Ziel des Einsatzes von Selbststeuerung ist eine höhere Robustheit und positive Emergenz des Gesamtsystems durch eine verteilte, flexible Bewältigung von Dynamik und Komplexität“ [1]. Darüber hinaus wurde eine ingenieurwissenschaftliche Definition für die

Betrachtung der produktionslogistischen Prozesse vorgestellt: „Selbststeuerung logistischer Prozesse ist gegeben, wenn das logistische Objekt Informationsverarbeitung, Entscheidungsfindung und -ausführung selbst leistet“ [2].

In der Produktionslogistik konnte die Leistungsfähigkeit von Selbststeuerungsstrategien bereits nachgewiesen werden [3-5]. Im Folgenden wird untersucht, inwieweit durch selbststeuernde produktionslogistische Prozesse an einem Standort in einem Produktionsnetz eine Glättung der Auftragseingänge der anderen Standorte erreicht werden kann. Dabei bezeichnet der Begriff Produktionsnetzwerk die Kooperation zwischen geografisch verteilten Produktionsstandorten eines Unternehmens [6]. Da in diesem Szenario die Menge der zu transportierenden Halbzeuge zugleich die Auftragseinlastung für die Zielstandorte der Transporte darstellt, käme es somit an den anderen Standorten zu einer gleichmäßigen und tendenziell vorhersehbaren Einlastung. Dies hätte überdies den Vorteil, dass die Transportmittel zwischen den einzelnen Standorten gleichmäßig ausgelastet werden. Das im

Kontakt:
Universität Bremen
Fachgebiet PPS
Hochschulring 20
28359 Bremen
Tel.: 0421 / 218-9786
E-Mail: jag@biba.uni-bremen.de
URL: <http://www.ips.biba.uni-bremen.de>

Bild 1: Modell eines Produktionsnetzes.



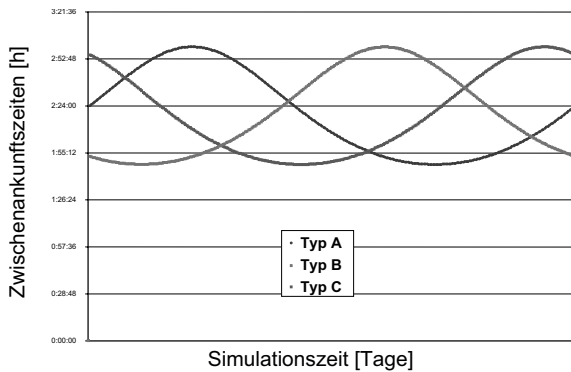


Bild 2: Auftragseinlassung.

Folgendes untersuchte Szenario kann somit als „proof of concept“ verstanden werden, das zeigt, dass Selbststeuerungsstrategien in einem Produktionsnetz bei integrierter Betrachtung von produktions- und transportlogistischen Prozessen zu einer Verbesserung der Auslastung der Transportmittel und zu einer geglätteten (Weiter-)Verteilung der Produktionsaufträge an global verteilte Produktionsstandorte führen kann.

Szenario

Ein erster Ansatz zu einer integrierten Betrachtung produktions- und transportlogistischer Prozesse in einem Produktionsnetz besteht aus einem konstruierten Szenario, das dem Produktionsnetz eines real existierenden Unternehmens der Maschinenbaubranche nachempfunden ist. Das zu untersuchende Szenario besteht aus einem Produktionsnetzwerk mit fünf geografisch verteilten Standorten. Das Unter-

nehmen produziert drei verschiedene Produkttypen: Typ A, B und C. Neue Aufträge nimmt nur Standort 1 entgegen. An jedem Standort werden diverse Arbeitsschritte ausgeführt, bis die fertigen Produkte an Standort 3 der Distribution übergeben werden (Bild 1).

Um saisonale Schwankungen zu simulieren, wird die Rate der Auftragseingänge gemäß einer Sinuskurve modelliert. Bild 2 zeigt die resultierenden Zwischenankunftszeiten. Ein neuer Auftrag für ein Stück von Produkttyp A, B und C erreicht den Auftragseingang an Standort 1 dabei im Durchschnitt alle 144 Minuten. Die Form der Kurven der Auftragseingänge sind dabei identisch – jedoch jeweils phasenverschoben. Dementsprechend haben die drei Produkttypen den Charakter von Substitutionsgütern für die Kunden, da bei einer hohen Auftragslage von beispielsweise Produkttyp B die Nachfragen nach Produkttypen A und C sinkt.

Am ersten Standort gibt es drei parallele Produktionslinien für die drei Teiletypen. Jedes Teil muss in drei Produktionsschritten zu einem Halbzeug bearbeitet werden, wobei aufeinander folgende Arbeitsgänge untereinander angeordnet sind. Dementsprechend gibt es jeweils drei Produktionsstufen mit einem Puffer und einer Maschine für jede Produktionslinie (Bild 3).

Die Produktionslinien sind jeweils in der Lage, alle Produkttypen zu bearbeiten. Dabei ist jedoch zu beachten, dass sich die Bearbeitungszeiten für die Produkttypen A, B und C (beispielsweise durch Transportzeiten) auf den unterschiedlichen Produktionslinien voneinander unterscheiden; sie können Bild 4 entnommen werden. Es gibt folglich auf jeder Produktionsstufe genau eine Station, die bezüglich der Durchlaufzeiten optimal ist. Die parallelen Fertigungsstationen sind zwar auch geeignet, den jeweiligen Bearbeitungsschritt auszuführen. Jedoch muss beim Ausweichen auf parallele Fertigungsstationen eine höhere Mindestdurchlaufzeit in Kauf genommen werden.

Selbststeuerung auf Basis eines Pheromonkonzepts

Auf jeder Produktionsstufe muss jedes Teil eine Entscheidung treffen, zu welcher der Produktionslinien es im nächsten Produktionsschritt gehen möchte. Für die Steuerung der produktionslogistischen Prozesse am Standort 1 wird eine pheromonbasierte Selbststeuerungsregel vorgeschlagen. Im Einklang mit o.a. Definition [2] meint Selbststeuerung hier eine dezentrale Entscheidungsfindung auf Basis lokaler und gegenwärtiger Information durch die autonomen Teile selbst. Die Entscheidungen der Teile beruhen dabei auf der Erfahrung über die Durchlaufzeiten anderer Teile, die sich für die verschiedenen Wege entschieden haben. Wege mit kürzeren Durchlaufzeiten üben dabei eine Anziehungskraft auf nachfolgende Teile aus, diese Wege erneut zu verwenden. Diesen Entscheidungsfindungsprozess kann man mit Ameisen vergleichen, die Pheromone

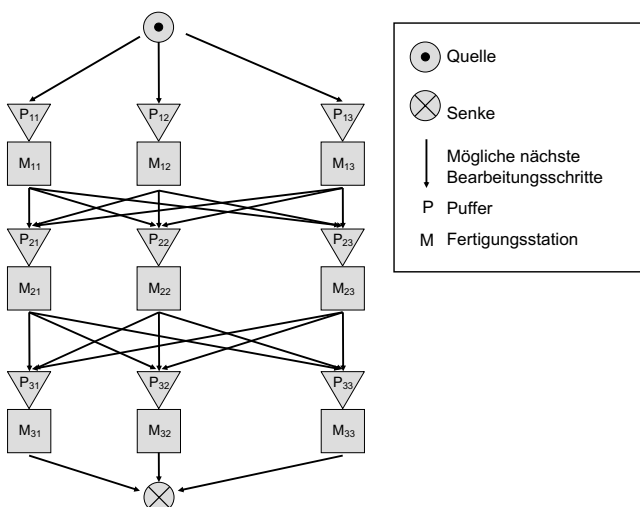


Bild 3: Das Matrixmodell der Produktion am Standort 1.

auf ihrem Weg hinterlassen, um mit nachfolgenden Ameisen zu kommunizieren.

Wie in anderen pheromonbasierten Konzepten zur Steuerung des Materialflusses in einer Fertigung (siehe beispielsweise [7, 8]), findet die Kommunikation hier indirekt statt, da ein Teil die Umgebung und damit die Umwelt durch Hinterlassen seiner Pheromonspur verändert. Im vorliegenden Ansatz treffen die Teile ihre Entscheidung ausschließlich auf der Basis aktueller Information über die Pheromonkonzentration. Im Gegensatz zu Ameisen kehren sie nicht zum Ausgangspunkt (Nest) zurück und verstärken folglich die Pheromonspur auch nicht – nach erfolgter Bearbeitung verlassen sie die Produktion. Daher unterscheidet sich diese pheromonbasierte Selbststeuerungsstrategie von Ansätzen, die unter der Bezeichnung „Ameisenalgorithmen“ bekannt geworden sind (zum Beispiel [7]), da diese eine gerichtete Suche nach optimalen Lösungen durch Wiederverstärkung vorsehen.

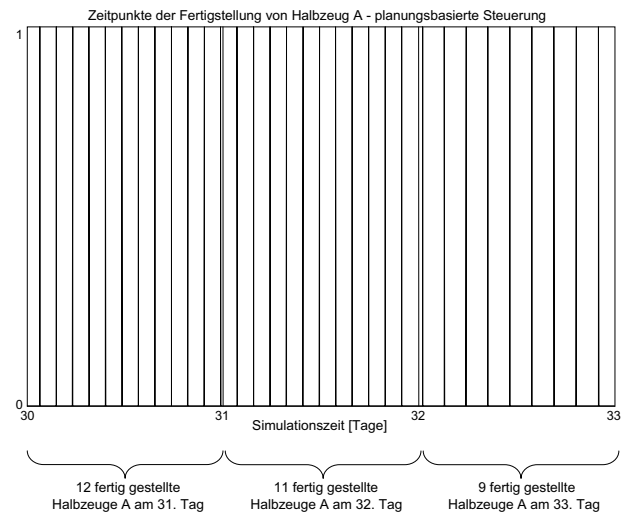
Die Pheromonkonzentration hängt von der Verdampfungskonstante des Pheromons, von der Wartezeit der vorangegangenen Teile im Puffer, von der Bearbeitungszeit auf der jeweiligen Maschine sowie von der Durchlaufzeit ab.

Implementierung

Dieses Szenario wird mittels System Dynamics implementiert, da sich damit nicht nur ein gleitender Durchschnitt der Durchlaufzeiten für jedes Teil als Berechnungsbasis für die Pheromonkonzentration darstellen lässt [9], sondern auch eine Feed-Back-Schleife für die Pheromonkonzentration gemäß *Bild 4: Bearbeitungszeiten im Simulationsmodell.*

Produkt-Typ	Bearbeitungszeiten [h:min] auf Produktionslinie		
	1	2	3
Typ A	2:00	2:30	3:00
Typ B	3:00	2:00	2:30
Typ C	2:30	3:00	2:00

Bild 5: Simulationsergebnisse bei planungsbasierter Steuerung.



der tatsächlichen Daten während der Simulation modelliert werden kann. Für die Implementierung wurde die System Dynamics Simulationssoftware „Vensim“ gewählt.

Es ist offensichtlich, dass das Feintuning der Verdampfungskonstante bei der Entscheidungsfindung eine entscheidende Rolle spielt; hier wurde sie so gewählt, dass die Durchlaufzeiten minimiert werden.

Für das Simulationsmodell wird die Komplexität des Szenarios dahingehend reduziert, dass nur der Output an fertigen Halbzeugen von Typ A des ersten Standorts betrachtet wird. Da die anderen Produkttypen bis auf die Phasenverschiebung bei der Einlastung analog modelliert wurden, beschränkt die Analyse des Outputs an fertigen Halbzeugen von Typ A die Allgemeingültigkeit der Aussagen für dieses Szenario nicht. Es wird weiterhin angenommen, dass die Transportmittel nach einem einfachen, vorgegebenen Plan einmal täglich zirkulieren und dabei alle am ersten Standort gefertigten Halbzeuge transportieren können. Die Simulationszeit beträgt 60 Tage, wobei hier exemplarisch die Zeitspanne vom 31. bis zum 33. Tag untersucht wird. Die Selbststeuerungsstrategie auf Basis des Pheromonkonzepts wird einer planungsbasierten Steuerung, die eine Zuordnung der Aufträge zur Produktionslinie mit der geringsten Bearbeitungszeit vorsieht, gegenübergestellt.

Analyse der Simulationsergebnisse

Bild 5 zeigt die Zeitpunkte der Fertigstellung der Halbzeuge vom Typ A an Produktionsstandort 1 bei planungsbasierter Steuerung. Dabei werden am 31. Tag zwölf Halbzeuge, am 32. Tag elf Halbzeuge und am 33. Tag 9 Halbzeuge fertig gestellt. Diese können jeweils planmäßig durch das Transportmittel an die anderen Standorte transportiert werden. Insgesamt können an den drei betrachteten Tagen zusammen 32 fertige Halbzeuge transportiert werden.

Bild 6 zeigt die Simulationsergebnisse bei Anwendung der pheromonbasierten Selbststeuerungsstrategie. Dadurch können am 31. Tag zwölf Halbzeuge, am 32. Tag zwölf Halbzeuge und am 33. Tag 10 Halbzeuge fertig gestellt werden. Unter Anwendung der pheromonbasierten Selbststeuerungsstrategie können an den drei betrachteten Tagen insgesamt 34 fertige Halbzeuge transportiert werden.

Durch die pheromonbasierte Selbststeuerungsstrategie werden zwei positive Effekte erzielt: Zum einen ist das Produktionssystem in der Lage, die Durchlaufzeiten niedrig zu halten und damit können innerhalb eines vorgegebenen Zeitraums mehr Halbzeuge fertig gestellt werden. Dieses Ergebnis bestätigt frühere Analysen des Einsatzes von Selbststeuerungsstrategien in der Produktionslogistik [3 - 5]. Zum anderen können dadurch eine gleichmäßigere Auslastung der Transportmittel und damit einher-

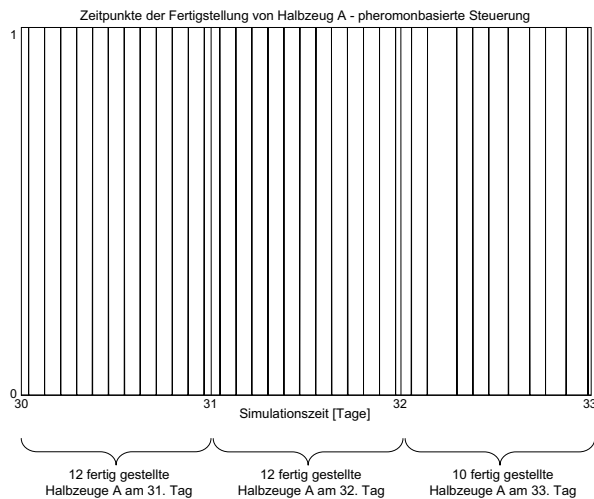


Bild 6: Simulationsergebnisse bei pheromonbasierter Selbststeuerung.

gehend eine gleichmäßigere Einlastung an den anderen Produktionsstandorten realisiert werden.

Fazit und Ausblick

Es wurde für ein sehr einfaches Szenario gezeigt, dass die Anwendung von Selbststeuerungsstrategien in einem Produktionsnetz zu einer gleichmäßigeren Auslastung der vorhandenen Kapazitäten führen kann. Dabei wurden ausschließlich Selbststeuerungsstrategien auf der Ebene der Produktionslogistik angewendet. In einem weiteren Schritt ist dementsprechend die Integration selbststeuernder transportlogistischer Prozesse viel versprechend.

Forschungsbedarf besteht zudem bei einer integrierten Betrachtung von transport- und produktionslogistischen Prozessen in einem Produktionsnetz. In einem solchen Szenario sind über Analysen der Leistung, Dynamik und Robustheit selbststeuernder logistischer Prozesse an den Schnittstellen in einem Produktionsnetz hinaus auch logistische Prozesse unterschiedlicher Aggregationsstufen, auf unterschiedlichen Zeitskalen und bei wechselseitigen Abhängigkeiten zu untersuchen. Demzufolge müssen Abhängigkeiten untersucht werden, die aus vor- und nachgelagerten, beziehungsweise aus sich wiederholenden oder wiederkehrenden Produktionsschritten im betrachteten Produktionsnetz resultieren. Überdies muss berücksichtigt werden, dass sich

produktionslogistische Prozesse auf einer Zeitskala von Minuten bis einigen Tagen bewegen, transportlogistische Prozesse jedoch üblicherweise auf einer Zeitskala von Tagen oder Wochen angeordnet sind. Schließlich müssen die Notwendigkeit zur Synchronisation der verschiedenen Selbststeuerungsstrategien sowie die im Gesamtverhalten des Systems beobachtbaren Synchronisationseffekte, die von den verschiedenen Selbststeuerungsmethoden erzeugt werden, analysiert werden.

Literatur

- [1] Windt, K., Philipp, T., de Beer, C., Scholz-Reiter, B.: Evaluation of Autonomous Logistic Processes – Analysis of the Influence of Structural Complexity. In: Hülsmann, M., Windt, K. (Hrsg.): Understanding Autonomous Cooperation & Control in Logistics – The Impact on Management, Information and Communication and Material Flow. Berlin 2007.
- [2] Scholz-Reiter, B., Philipp, Th., de Beer, Ch., Windt, K., Freitag, M.: Einfluss der strukturellen Komplexität auf den Einsatz von selbststeuernden logistischen Prozessen. In: Pfohl, H.-Ch., Wimmer, Th. (Hrsg.): Steuerung von Logistiksystemen - auf dem Weg zur Selbststeuerung. Konferenzband zum 3. BVL-Wissenschaftssymposium Logistik. Hamburg 2006, S. 11-25.
- [3] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., de Beer, Ch., Jagalski, Th.: Modelling dynamics of autonomous logistic processes: Discrete-event versus continuous approaches. In: Annals of the CIRP 54 (2005) 1, S. 413-417.
- [4] Scholz-Reiter, B., Freitag, M., de Beer, Ch., Jagalski, Th.: Modelling and analysis of autonomous shop floor control.

In: Proceedings of the 38th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems. Florianopolis 2005.

- [5] Scholz-Reiter, B., Delhoum, S., Zschintzsch, M., Jagalski, T., Freitag, M.: Inventory Control in Shop Floors, Production Networks and Supply Chains Using System Dynamics. In: Tagungsband der 12. ASIM Fachtagung "Simulation in Produktion und Logistik" 2006.
- [6] Wiendahl, H.-P., Lutz, S.: Production in networks. In: Annals of the CIRP 51 (2002) 2, S.: 1-14.
- [7] Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G.: Swarm Intelligence - From Natural to Artificial Systems. Oxford 1999.
- [8] Peeters, P., v. Brussel, H., Valckenaers, P., Wyns, J., Bongaerts, L., Heikkilä, T., Kollingbaum, M.: Pheromone Based Emergent Shop Floor Control System for Flexible Flow Shops. In: Proc. of the IWES 1999, S. 173-182.
- [9] Ambruster, D., de Beer, C., Freitag, M., Jagalski, Th., Ringhofer, C.: Autonomous Control of Production Networks Using a Pheromone Approach. In: Physica A 363 (2006), S. 104-114.

Schlüsselwörter:

Selbststeuerung logistischer Prozesse, Produktionsnetz, integrierte Betrachtung von Produktions- und Transportlogistik

Dieser Beitrag entstand im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 637 „Selbststeuerung logistischer Prozesse“, finanziert durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft an der Universität Bremen.

Autonomous Control of Logistic Processes in Production Networks

Autonomous control strategies for production logistic processes have already demonstrated their effectiveness on the shop-floor level. This article can be understood as a proof of concept: It is exemplarily shown that a pheromone-based autonomous control strategy can lead to better performance than a central control system when applied to a production network regarding production and transport logistic processes in a holistic way.

Keywords:

autonomous control of logistic processes, production network, holistic view of production and transport logistics