

Potenziale für die robuste Konfiguration automatisierter Fließproduktionssysteme

Christoph Müller, Martin Grunewald, Sven Spieckermann und Thomas Stefan Spengler

In diesem Artikel lesen Sie:

- ✓ welche Herausforderungen mit der Konfiguration automatisierter Fließproduktionssysteme einhergehen,
- ✓ wie sich durch Industrie 4.0-Technologien die Robustheit automatisierter Fließproduktionssysteme gegenüber Störungen erhöhen lässt und
- ✓ welchen Beitrag Methoden der quantitativ orientierten Produktionswirtschaft für die robuste Konfiguration automatisierter Fließproduktionssysteme leisten können.

Die industrielle Produktion ist durch eine zunehmende Automatisierung gekennzeichnet. Dies gilt insbesondere für Fließproduktionssysteme (FPS), bei denen verstärkt Industrieroboter zum Einsatz kommen. Eine wesentliche Herausforderung im Betrieb automatisierter FPS besteht darin, dass die Produktion durch zufällig auftretende, kurzfristige Störungen unterbrochen wird. Der vorliegende Artikel beschreibt Ansatzpunkte und Potenziale des Einsatzes von Industrie 4.0-Technologien für eine gegenüber Störungen robuste Konfiguration automatisierter FPS.

In der industriellen Produktion kommen zunehmend Industrieroboter zum Einsatz. So wurden 2014 weltweit erstmals über 200.000 Industrieroboter innerhalb eines Jahres verkauft [3]. Insbesondere bei Fließproduktionssystemen (FPS) sind die Automatisierungsbemühungen bereits sehr weit fortgeschritten. Typische Einsatzfelder automatisierter FPS finden sich bspw. im Karosseriebau oder bei der Montage von Fahrzeugkomponenten. Im Vergleich zu manuellen FPS zeichnen sich automatisierte FPS vor allem durch eine höhere Produktivität und gleichbleibende Fertigungsqualität aus [1].

Die Vorteile gehen jedoch mit dem Nachteil einer verstärkten Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des FPS einher. Eine wesentliche Herausforderung im Betrieb automatisierter FPS besteht darin, dass die Produktion durch zufällig auftretende Störungen unterbrochen wird. Wenngleich die Störungen meist innerhalb weniger Minuten durch das Instandhaltungspersonal behoben werden können, wird die Leistung eines FPS mitunter erheblich durch Störungen beeinflusst. Dies ist auf die enge Verkettung der Stationen eines FPS durch das Materialflusssystem zurückzuführen. So können Störungen an einer Arbeitsstation dazu führen, dass stromabwärts gelegene Stationen aufgrund von Materialmangel ihre Bearbeitung unterbrechen müssen und stromaufwärts gelegene Stationen nicht mehr arbeiten können, da sie blockiert sind (sog. Verkettungsverluste).

Bei der Planung von FPS stellt sich damit die Frage, wie die angestrebte Produktionsmenge trotz Störungen erreicht werden kann. Zur Verringerung der Verkettungsverluste werden üblicherweise Puffer zur Entkopplung der Stationen des FPS eingeführt. Die Entkopplung durch Puffer ist jedoch mit erheblichen Investitionen für deren Installation sowie laufenden Kosten für Betrieb und Wartung verbunden [7]. Das Ziel der Konfigurationsplanung von FPS besteht vor diesem Hintergrund darin, die wirtschaftlichste Konfiguration zur Erreichung einer vorgegebenen Produktionsmenge bestimmen.

Konfigurationsplanung automatisierter Fließproduktionssysteme

Die Konfigurationsplanung automatisierter FPS umfasst im Wesentlichen die zwei Planungsaufgaben Fließbandabstimmung und Pufferallokation. Im Rahmen der Fließbandabstimmung ist darüber zu entscheiden, wie die zur Fertigstellung eines Produktes erforderlichen Arbeitsinhalte zur Erreichung einer zulässigen Taktzeit auf die Stationen des FPS verteilt werden sollen. Darüber hinaus ist zu entscheiden, welcher Roboter einer Station zur Durchführung der Arbeitsinhalte zugeordnet werden muss, da verschiedene Robotertypen eingesetzt werden, die i.d.R. nur bestimmte Arbeitsinhalte durchführen können und sich hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit unterscheiden. Die zulässige Taktzeit leitet sich aus der angestrebten Produktionsrate (Produktionsmenge pro Zeiteinheit) ab. Die gesamte Bearbeitungszeit einer Station, die sich durch die zugeordneten Arbeitsinhalte

Prof. Dr. Thomas Stefan Spengler ist Leiter des Instituts für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP) an der TU Braunschweig und Mitglied im Vorstand des Niedersächsischen Forschungszentrum Fahrzeugtechnik (NFF).

Dr. Sven Spieckermann ist seit über 20 Jahren als Berater und Projektleiter für Simulation bei der SimPlan Gruppe tätig und leitet heute als Sprecher des Vorstands die SimPlan AG.

Dr. Martin Grunewald ist akademischer Rat am Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP).

Christoph Müller, M. Sc. ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Automobilwirtschaft und Industrielle Produktion (AIP).

www.tu-braunschweig.de/aip/prodlog

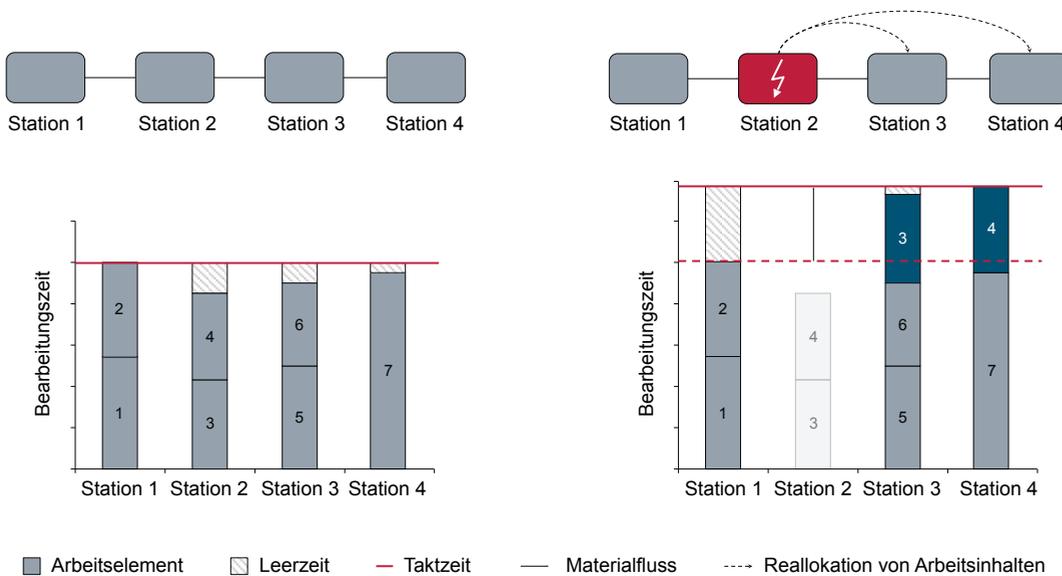


Bild 1: Reallokation von Arbeitsinhalten bei Eintritt einer Störung

ergibt, darf die zulässige Taktzeit nicht überschreiten. Im Rahmen der Pufferallokation wird über die Größe und Aufteilung der Puffer zwischen den Stationen entschieden. Neben der im Rahmen der Fließbandabstimmung festgelegten Verteilung der Arbeitsinhalte wird hierzu die angestrebte Produktionsrate vorgegeben. Zur Berücksichtigung des Störverhaltens der Stationen werden die technischen Verfügbarkeiten der zugeordneten Roboter betrachtet. Das Ziel der Pufferallokation besteht typischerweise darin, die Anzahl der Puffer zur Erreichung der vorgegebenen Produktionsrate zu minimieren [2].

Für die beiden Planungsaufgaben stehen leistungsfähige Optimierungsverfahren zur Verfügung, die in der Praxis bereits erfolgreich eingesetzt werden [8]. Die Berücksichtigung von Störungen erfolgt bislang jedoch ausschließlich im Rahmen der Pufferallokation, da im Rahmen der Fließbandabstimmung bislang keine geeigneten Möglichkeiten zum Umgang mit Störungen zur Verfügung standen.

Robuste Konfiguration automatisierter Fließproduktionssysteme

Durch die zunehmende Digitalisierung der Produktion im Rahmen von Industrie 4.0 entstehen neue Möglichkeiten für eine Berücksichtigung von Störungen im Rahmen der Fließbandabstimmung. Die umfassende Vernetzung von Produktionsanlagen erlaubt eine intelligente Anpassung an veränderte Rahmenbedingungen des Produktionsprozesses, wie z. B. die Störung eines Roboters. Dies wird möglich, indem man Roboter dazu befähigt mit anderen Robotern, Werkstücken, Materialflusseinheiten und der Cloud zu kommunizieren. Im Fall einer Störung eines Ro-

boters erfassen die anderen Roboter des FPS, die zu bearbeitenden Werkstücke sowie die Materialflusseinheiten zur Bereitstellung von Teilen diese Statusänderung automatisch und können hierauf reagieren. So können Roboter mit redundanten Fähigkeiten die Arbeitsinhalte der durch die Störung betroffenen Station während der Reparaturzeit übernehmen, wie in Bild 1 dargestellt. Dank flexibler Materialflusseinheiten können die zur Durchführung der Arbeitsinhalte erforderlichen Teile automatisch an die Ausweichstation(en) geliefert werden. Die relevanten Informationen für die Durchführung der Arbeitsinhalte können über eine Cloud bereitgestellt werden. Die Reallokation der Arbeitsinhalte verhindert einen störungsbedingten Stillstand des FPS. Das Beispiel in Bild 1 verdeutlicht jedoch auch, dass sich die Taktzeit des FPS durch die Reallokation der Arbeitsinhalte erhöht, da die Ausweichstationen die Arbeitsinhalte der gestörten Station zusätzlich zu den eigenen Arbeitsinhalten durchführen. Die erreichbare Taktzeit bei Eintreten einer Störung wird somit maßgeblich durch die Aufteilung der Arbeitsinhalte auf die Stationen sowie die zur Durchführung der Arbeitsinhalte zugeordneten Roboter determiniert. Die beiden Entscheidungen sind der Fließbandabstimmung zuzuordnen.

Um trotz Störungen eine hohe Produktivität des FPS zu gewährleisten, müssen die Aufteilung der Arbeitsinhalte auf die Stationen des FPS und die Zuordnung der Roboter zu den Stationen im Rahmen der Fließbandabstimmung so erfolgen, dass der Produktivitätsverlust bei Eintritt einer Störung minimiert wird. Der Produktivitätsverlust bei einer Störung hängt von den verfügbaren Ausweichstationen und deren Arbeitslast ab. Ob eine Stati-

Literatur

1. Boysen, N.; Fliedner, M.; Scholl, A. (2008): Assembly line balancing: Which model to use when? *International Journal of Production Economics*, 111(2):509–528.
2. Günther, H.-O., Tempelmeier, H. (2013): *Supply Chain und Operations Management*. Books on Demand, Norderstedt.
3. International Federation of Robotics (2015): *Industrial Robots Statistics*. <http://www.ifr.org/industrial-robots/statistics/>.
4. Kahan, T.; Bukchin, Y.; Menassa, R.; Ben-Gal, I. (2009): Backup strategy for robots' failures in an automotive assembly system. *International Journal of Production Economics*, 120(2):315–326.
5. Müller, C.; Spengler, T. S.; Sodhi, M. S. (2014): Robust flowline design for automotive body shops. In: Guan, Y.; Liao, H. (Hrsg.), *Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*.
6. Müller, C.; Weckenborg, C.; Grunewald, M.; Spengler, T. S. (2016): Consideration of Redundancies in the Configuration of Automated Flow Lines. In: Mattfeld, D.; Spengler, T.; Brinkmann, J.; Grunewald, M. (Hrsg.), *Logistics Management*. Springer International Publishing, Cham.
7. Spieckermann, S.; Guten-schwager, K.; Heinzl, H.; Voß, S. (2000): Simulation-based optimization in the automotive industry - A case study on body shop design. *Simulation*, 75(5-6):276–286.
8. Tempelmeier, H.; Schröer, K.; Schwarz, M. (2006): Simultane Optimierung der Taktzeiten und Puffergrößen im Karosseriebau. *ZWF Zeitschrift für Wirtschaftlichen Fabrikbetrieb*, 101(1-2):35–41.

on als Ausweichstation einer gestörten Station genutzt werden kann, hängt im Wesentlichen von drei Faktoren ab, die im Rahmen der Planung zu berücksichtigen sind. Erstens muss der Station ein zur Durchführung der Arbeitsinhalte geeigneter Robotertyp zugeordnet sein. Zweitens muss die Ausweichstation stromabwärts liegen, da die Werkstücke innerhalb des FPS stromaufwärts gelegene Stationen kein zweites Mal besuchen können. Drittens wird eine Reallokation der Arbeitsinhalte durch technologisch bedingte Vorrangbeziehungen zwischen den Arbeitsinhalten eingeschränkt [4–6]. Für die Planung einer robusten Konfiguration kommt ein simulationsgestützter Optimierungsansatz zum Einsatz, mit dem die durchschnittliche Taktzeit des FPS minimiert wird. Hierzu wird die Taktzeit für eine gegebene Konfiguration unter Berücksichtigung der Reallokation von Arbeitsinhalten bei Störungen mit Hilfe eines effizienten Simulationsalgorithmus bestimmt.

Potenziale

Im Rahmen einer numerischen Untersuchung wird im Folgenden das Potenzial des vorgestellten Ansatzes zur Reduktion der Taktzeit ermittelt. Hierzu werden 20 Testfälle mit 20 Arbeitselementen, zehn Stationen und zehn verschiedenen Robotertypen betrachtet. Die Stationen sind nicht durch Puffer entkoppelt. Für die Roboter wird eine technische Verfügbarkeit von 95 % angenommen. Um den Einfluss der Roboterflexibilität auf die erreichbare Taktzeit zu bestimmen, werden zwei Szenarien mit geringer und hoher Flexibilität untersucht. Zum Vergleich werden zwei Benchmarks herangezogen, die beide auf einem konventionellen Ansatz zur Fließbandabstimmung basieren, bei dem Ausweichstationen nicht berücksichtigt werden. Für den ersten Benchmark (Benchmark 1) wird bei einer Störung keine Reallokation zugelassen, sodass es zum Linienstillstand kommt. Für den zweiten Benchmark (Benchmark 2) ist eine Reallokation



Bild 2: Ergebnisse der Potenzialanalyse

auf vorhandene Ausweichstationen, die sich zufällig aufgrund der geplanten Konfiguration ergeben, zugelassen. Die durchschnittlichen Taktzeiten der Benchmarks werden mithilfe eines Simulationsmodells ermittelt.

Die Ergebnisse der Untersuchung sind in Bild 2 dargestellt. Es zeigt sich, dass sich die durchschnittlichen Taktzeiten eines FPS durch eine robuste Konfiguration in beiden Szenarien deutlich reduzieren lassen. Gegenüber beiden Benchmarks steigt das Potenzial zur Taktzeitreduktion bei hoher Roboterflexibilität. Gegenüber Benchmark 1 beträgt die Reduktion ca. 4 und 6%, gegenüber Benchmark 2 ca. 2 und 3%.

Trotz des Beitrages robuster Konfigurationen zur Reduzierung der durchschnittlichen Taktzeiten, werden nach wie vor Puffer zur Entkopplung erforderlich sein, da für einige Stationen des FPS keine Ausweichstationen eingeplant werden können (z.B. die letzte Station innerhalb einer Linie). Aufgrund der inversen Beziehung zwischen Taktzeiten und den zur Erreichung einer vorgegebenen Produktionsrate erforderlichen Pufferkapazitäten besteht durch die Reduzierung der Taktzeiten jedoch auch hohes Potenzial zur Einsparung von Puffern. Zur umfassenden Erschließung der Potenziale sind weitere, anwendungsnahe Forschungsarbeiten erforderlich.

Schlüsselwörter:

Konfigurationsplanung, Industrie 4.0, Fließproduktionssysteme, Störungen

Contribution of Smart Industry to the Robust Design of Automated Flow Lines

Over the past decades robots have been heavily used for flow lines to increase productivity. This causes particular challenges for the design of these lines since robots are often subject to failure. This paper shows how the advances of manufacturing technologies that form the foundation of "Industry 4.0" can help to reduce throughput losses caused by robot failures.

Keywords:

Flow lines, Smart Industry, Industrial Internet of Things, Robot failures, Assembly Line Balancing