

## Prozessorientierte Produktionsplanung

# Intelligente Assistenzsysteme

Auf Basis einer exakten und lückenlosen Betriebsdatenerfassung von real ablaufenden Produktionsprozessen lässt sich mithilfe statistischer Auswertungen ein sogenannter digitaler Zwilling des Produktionssystems erstellen. Er bildet die Realität besser ab als Schätzungen von Produktionszeiten durch die Arbeitsvorbereitung.

Raoul Waldburger und Adrian Specker

### Autoren



Prof. Dr. Raoul Waldburger ist Leiter des Instituts für Business Engineering (IBE) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW).



Prof. Dr. Adrian Specker ist Professor für Wirtschaftsinformatik am Institut für Business Engineering (IBE) der Fachhochschule Nordwestschweiz (FHNW) mit Fokus auf IT-Projektmanagement und betriebliche Anwendungssysteme.

> [www.fhnw.ch/ibe](http://www.fhnw.ch/ibe)

Mit dem digitalen Zwilling eröffnen sich neue Perspektiven für Planungssysteme, welche die Planenden interaktiv und präziser bei ihren Entscheidungen zur Auftragsfreigabe unterstützen. Ein solches Planungskonzept hat zudem das Potenzial, die Durchlaufzeiten um über 50 Prozent zu reduzieren, falls durch eine stark erhöhte Genauigkeit der Vorgabezeiten gar die Umstellung auf eine getaktete Fertigung ermöglicht wird.

### Im Zentrum steht der Produktionsprozess

In der Schweizer Maschinen-, Elektro- und Metallindustrie (MEM) werden heute oft ERP-Systeme (Enterprise Resource Planning) für die «Make to Order»- und «Make to Stock»-gesteuerte Produktionsplanung eingesetzt. Diese Produktionssysteme sind aufgrund ihrer Variantenvielfalt sehr komplex und meist auch der Dynamik von Änderungswünschen und Umplanungen unterworfen. Die Planung erfolgt in dieser Industrie mit heuristischen, d.h. einfach zu praktizierenden, aber stets suboptimalen Planungsregeln, welche der Komplexität und Dynamik aber nur sehr selten gerecht werden. Das Problem der (kurzfristigen) Produktionsplanung muss in diesem Umfeld und in der Praxis noch immer als ungelöst bezeichnet werden, zumindest in Hinsicht auf Prozesssicherheit. Die zentralen logistischen Kenngrößen wie Termin-

treue, Durchlaufzeiten, Bestände, Auslastung, Lagerkosten und Flexibilität erfüllen die Zielvorstellungen des Managements selten. Es besteht der Anspruch, mit intelligenten Assistenzsystemen die operative Produktionsplanung zu unterstützen. Dabei will man den Fokus auf mittelgrosse Unternehmen in der MEM-Industrie legen.

Produktionsdaten aus ERP und MES (Manufacturing Execution System) sind heute bereits verfügbar, werden jedoch oft noch wenig oder gar nicht genutzt. Die Datenqualität ist häufig schlecht, da diese noch nicht konsequent genug erfasst werden. Ein typischer Produktionsdatensatz umfasst unter anderem Auftrags-, Produkt- und Maschinenummer, Losgrösse, Stammdatensequenz, Zeitvorgaben, Zeitrückmeldungen und viele weitere für die Prozessanalyse wertvolle Attribute. Genau an dieser Stelle setzt die prozessorientierte Produktionsplanung an.

### ERP-Daten liefern Mehrwert in der datengestützten Produktion

Heute liefern die ERP-Systeme die relevanten Daten für eine präzise Produktionsplanung und -steuerung (PPS). Der Ablauf ist dabei linear, und die Planungsqualität ist stark abhängig von der Qualität der verwendeten Stammdaten.

Unterschreitet ein Artikel den Mindestbestand, wird über das ERP-System eine Bestellanforderung (BANF) erstellt. Der Fertigungsauftrag (FAUF) wird über die Plantafel manuell freigegeben und

damit der Produktion zur Auftragsausführung weitergeleitet.

Hier greift das in diesem Forschungsprojekt entwickelte prozessorientierte Assistenzsystem SRS (Smart Recommender System) mit dem digitalen Produktionszwilling ein, gleicht die verfügbaren Kapazitäten entlang des gesamten Produktionsprozesses ab und stellt den Planenden interaktiv eine präzise Produktionsprognose als Entscheidungsunterstützung zur Verfügung.

Das Resultat der Planungsprognose wird den Planenden als Vorschlag grafisch dargestellt. Wird der Vorschlag gutgeheissen, erfolgt die Freigabe des Fertigungsauftrags über das ERP. Werden Anpassungen vorgenommen, erhalten die Planenden Rückmeldung über die entsprechenden Leistungsveränderungen im Produktionssystem (Abb. 1).

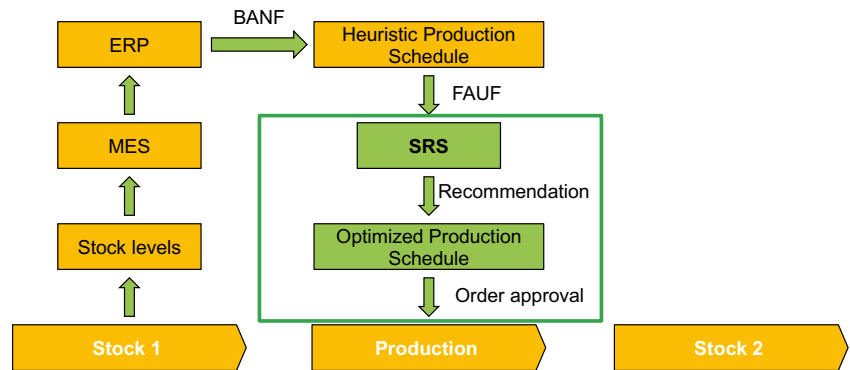


Abb. 1: Das Assistenzsystem SRS übernimmt die offenen Aufträge aus dem ERP-System und generiert daraus einen prozessorientierten Plaunsvorschlag für die Freigabe der Fertigungsaufträge durch die Planenden der AVOR (SRS: Smart Recommender System; BANF: Bestellanforderung; FAUF: Fertigungsauftrag)

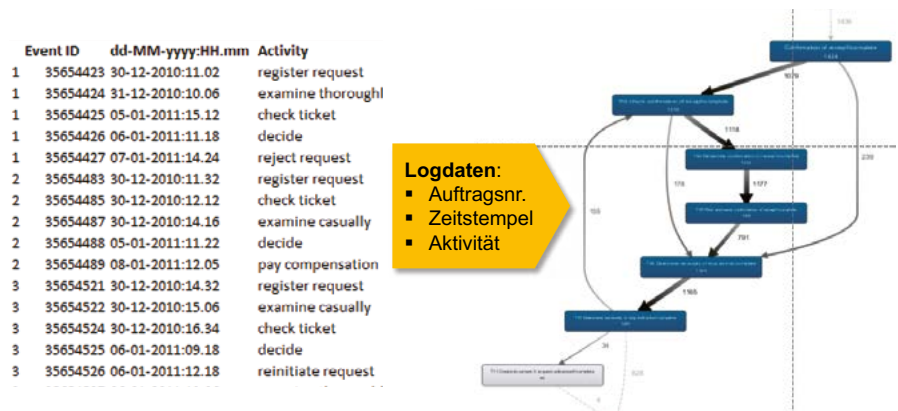


Abb. 2: Mittels Process Mining werden aus bestehenden ERP-/MES-Logdaten die Produktionsprozesse bestimmt. (Quelle: www.fluxicon.com)

### Process Mining garantiert Transparenz

Die aktuellen Produktionsprozesse können mittels Process-Mining-Algorithmen aus bestehenden Logdaten aus ERP-Systemen und MES ermittelt werden. Logdaten umfassen dabei Auftragsnummern, Aktivitäten, Zeitstempel und weitere Produktionsattribute. Als Resultat erhält man die effektiven Prozesssequenzen, Maschinenkapazitäten und Bearbeitungszeiten für jedes Produkt und für jede Kapazitätsposition. Das ist die Basis für den digitalen Zwilling des Produktionssystems. Er ermöglicht es, eine solide Produktionsplanung durchzuführen, ohne stochastische Planungsheuristiken einsetzen zu müssen (Abb. 2).

Die offenen Fertigungsaufträge aus dem ERP-System werden gemäss den verfügbaren Kapazitäten entlang der Prozesssequenz in die Produktionstakte eingepplant. Ist eine Kapazitätsposition bereits ausgelastet, wird der Auftrag auf den nächstfolgenden Fertigungstakt verschoben. Der Planungstakt entspricht

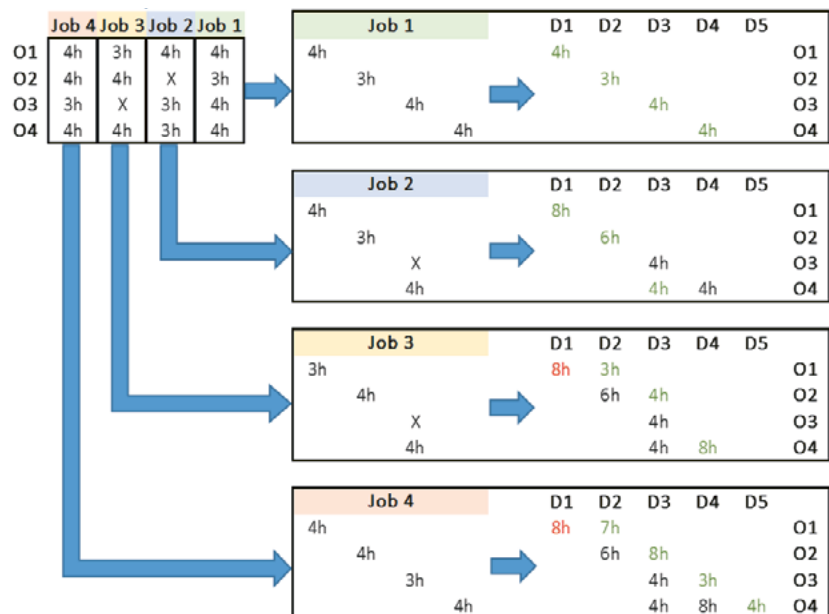


Abb. 3: Visualisiertes Beispiel der Einplanung von vier Aufträgen (Job1–Job4) mit bis zu vier Prozessschritten (O1–O4) in fünf Schichten (D1–D5).

dem operativen Fertigungstakt, beispielsweise einer Produktionsschicht.

### Prozessorientierte Planung kommt ohne Faustregeln aus

Dieser Planungsprozess lässt sich am folgenden Beispiel visualisieren mit der Einplanung von vier Aufträgen (Job1 bis Job4) mit je bis zu vier Prozessschritten (O1 bis O4) in fünf Schichten (D1 bis D5). Die Sequenz der Prozessschritte stammt aus der durchgeführten Process-Mining-Analyse des Produktionssystems, für das man den digitalen Zwilling entwickelt. Der Auftrag 1 (Job 1) besteht aus vier Produktionsprozessschritten (O1 bis O4). Für Prozessschritt 1 (Maschine 1, O1) werden vier Stunden berechnet, drei Stunden für Maschine 2 (O2), vier Stunden für Maschine 3 (O3) und vier Stunden für Maschine 4 (O4). Diese vier Produktionsprozessschritte werden nun in dieser Reihenfolge in die Produktionsschichten D1 bis D5 gemäss freier Kapazitäten eingeplant. Der Prozessschritt 1 (O1) wird in die Schicht D1 eingeplant, O2 in D2, O3 in D3 und O4 in D4.

Ist die Kapazität einer Schicht bereits verplant, wird der Prozessschritt auf die nächste Schicht mit freier Kapazität verschoben. Der Auftrag 3 (Job 3) wird so von Schicht D1 auf D2 verschoben und eingeplant (Abb. 3)

Nach diesem prozessorientierten Planungskonzept erhält man eine Prognose des Produktionsablaufs für die einzulas-

$$S = [s_{j,i}] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 2 & 2 & - \\ 3 & - & 2 \\ 4 & 3 & 3 \end{bmatrix}$$

Abb. 4: Die Prozess-Sequenz-Matrix (S) verknüpft die Produktionsschritte (j) jeder Prozessvariante mit den Kapazitätspositionen/Maschinen (i).

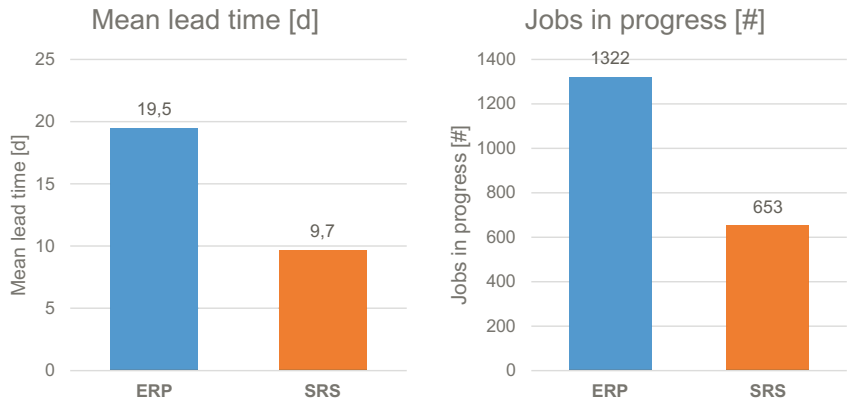


Abb. 5: Proof-of-Concept: Mit dem Assistenzplanungssystem können die Durchlaufzeiten und die Anzahl offener Aufträge im Produktionssystem je um über 50% reduziert werden.

tenden Fertigungsaufträge. Das Ziel wird erreicht, die Kapazitäten ohne unnötige Wartezeiten maximal auszulasten und dadurch die Durchlaufzeiten der Aufträge auf ein Minimum zu reduzieren. Die Prozess-Sequenz-Matrix (S) des digitalen Zwillings verknüpft dabei die Produktionsschritte (j) jeder Prozessvariante eindeutig mit den Kapazitätspositionen/Maschinen (i) und ermöglicht eine eindeutige und granulare Zuordnung von Produktionsschritt, Maschine und Prozessvariante (Abb. 4).

### Der digitale Zwilling erhöht die Flexibilität

Der prozessorientierte Planungsansatz wurde anhand eines umfangreichen Datensatzes eines MTS-Produktionssystems (Make-to-Stock) ausgetestet. Der untersuchte Datensatz wurde über 22 Monate erfasst und enthält 332 276 Datenlogs, 44 324 Fertigungsaufträge und 90 Kapazitätspositionen. Die durchgeführte Process-Mining-Analyse liefert 6158 unterschiedliche Produktionsprozesse mit durchschnittlich 5,5 Aktivitäten pro Produktionsprozess.

Mit den Resultaten der Datenanalyse wird der digitale Zwilling als Assistenzsystem aufgebaut. Die durchgeführte Machbarkeitsstudie zeigt auf, dass sich die durchschnittlichen Durchlaufzeiten der Fertigungsaufträge von ursprünglich 19,5 auf 9,7 Kalendertage reduzieren lassen. Das entspricht einer Verbesserung um

über 50 Prozent. Die Verbesserung erfolgt dabei bei unverändert hoher Kapazitätsauslastung der einzelnen Maschinen. Die erzielten verkürzten Durchlaufzeiten erhöhen die Flexibilität des Produktionssys-

### «Die durchschnittlichen Durchlaufzeiten der Fertigungsaufträge lassen sich von ursprünglich 19,5 auf 9,7 Kalendertage reduzieren.»

tems, die Liefertermintreue und damit auch die Kundenzufriedenheit.

Gleichzeitig nimmt die Anzahl offener Aufträge im Produktionssystem ebenfalls um über 50% ab, von durchschnittlich 1322 Aufträgen auf 653 Aufträge. Die reduzierte Anzahl offener Aufträge im Produktionssystem ermöglicht zudem die weitere Reduktion des Nettoumlaufvermögens (Abb. 5).

Das von der Innovationsagentur der Schweizerischen Eidgenossenschaft Innosuisse unterstützte Projekt wird das intelligente Assistenzsystem für die prozessorientierte Produktionsplanung in der nächsten Phase weiterentwickeln und für den PPS-Einsatz in komplexen und dynamischen Produktionssystemen weiter optimieren. ■