

Reinhart, G., Geiger, F.

Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*)
Technische Universität München
Boltzmannstr. 15, 85748 Garching
Tel. +49 (0)89/289-15472
Fax +49 (0)89/289-15555
E-Mail: florian.geiger@iwb.tum.de
Internet: www.iwb.tum.de

Adaptive Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktspezifischer Entstehungsdaten

Adaptive scheduling based on product-specific emergence data

Abstract Deutsch

Die auftragsgesteuerte Einzel- und Kleinserienproduktion ist geprägt durch eine hohe Variantenvielfalt sowie der Forderung nach kurzen Lieferzeiten. Daher ist eine belastbare Planung der Produktion unerlässlich. Die Grundlage stellen hierfür die Stammdaten der Planungssysteme dar, die häufig aufgrund ihres statischen Charakters nicht den aktuellen Bedingungen in der Produktionsebene entsprechen. Um den daraus folgenden schlechten Planungsergebnissen entgegen zu wirken, wird in diesem Artikel ein Ansatz beschrieben, der mit Hilfe der RFID-Technologie eine dynamische, produktionszustandsabhängige Stammdatenbereitstellung ermöglicht.

Abstract English

The order-driven single and small batch production is characterized by a high variety and the demand for short delivery times. Therefore, a robust production planning is essential. Usually the master data, which is used for scheduling, does not represent the current conditions in the shop floor, due to its static nature. Thus the planning results are of poor quality. To counteract that, this article describes an approach that provides production-state-dependent master data enabled by the RFID technology.

1 Einleitung

Die Anpassungsfähigkeit an ständig wandelnde Marktanforderungen ist ein Maß des wirtschaftlichen Erfolges sowie der Wettbewerbsfähigkeit von industriellen Unternehmen. Hierbei stehen unter anderem die marktseitigen Forderungen nach

- kurzen Lieferzeiten bei hoher Variantenvielfalt und Komplexität der Produkte,
- konkurrenzfähiger Preisgestaltung durch niedrige Herstellkosten und einem
- hohen Qualitätsstandard

im Zentrum der Betrachtung [1]. Warnecke [2] bezeichnete dies erstmals in der deutschsprachigen Literatur als das turbulente Unternehmensumfeld. Jedoch befindet sich der Ursprung für die wahrgenommene Turbulenz nicht ausschließlich im Umfeld der Unternehmen. Eine angenommene Plan- und Prognostizierbarkeit, wo eigentlich keine besteht, liegt zudem häufig vor. Zum einen besitzt die Turbulenz neben dem objektiv messbaren auch einen subjektiven Charakter. So ist der Unvorbereitete deutlich überraschter von einer neuen Situation als der Vorbereitete. Und zum anderen beeinflussen die Fähigkeiten des Betroffenen auch dessen Wahrnehmung. Bei einer Überforderung der Fähigkeiten werden Situationen dann ebenfalls als turbulent gewertet [3],[4]. Im Bezug auf die industrielle Produkterstellung lassen sich für die Unternehmen daraus zwei Grundphilosophien ableiten. Erstens bedarf es einer differenzierteren Planung, die eine höhere Aussagekraft aufweist. Zweitens eine reaktionsschnelle Steuerung, die eine Erfüllung der zugesagten Liefertermine trotz unerwarteter Vorfälle im Produktionsprozess sicherstellt. Umso mehr es Unternehmen gelingt dies erfolgreich umzusetzen, desto besser können sie auf das turbulente Umfeld reagieren und bleiben wettbewerbsfähig [4].

Im Bereich der Auftragsabwicklung, d. h. von der Angebotserstellung bis hin zur Auslieferung der Produkte, unterstützt die Produktionsplanung und -steuerung (PPS) Unternehmen bei der Reaktion auf das turbulente Umfeld und trägt so zu dessen Beherrschung bei. Dabei erfüllt die PPS die Aufgabe, den Produkterstellungsprozess in Bezug auf Menge, Termine und Kapazität zu planen und zu steuern. Die Berücksichtigung der teilweise konkurrierenden logistischen und wirtschaftlichen Ziele stellt hierbei die größte Anforderung an die PPS dar [5]. Gegenüber stehen sich hierbei zum einen die Forderung nach einer hohen Termintreue sowie kurzen Durchlaufzeiten und zum anderen eine hohe Auslastung bei niedrigen Beständen. Gerade die Forderung nach immer kundenindividuelleren Produkten stellt Unternehmen vor große Herausforderungen diese termingerecht und zu vertretbaren Kosten herzustellen.

Zur Bewertung der Zielerfüllung werden mit Hilfe von BDE-/MDE-Systeme (Betriebs-/Maschinendatenerfassung) aktuelle Ist-Daten in der Produktionsebene erfasst. Diese liefern zum einen eine Rückmeldung über den aktuellen Produktionsprozess (Auslastung, Personaleinsatz, Ausstoßmenge, Status der Aufträge etc.) und zum anderen stellen sie die Grundlage für die Erstellung von realistischen Produktionsplänen dar. Jedoch existieren in vielen Fällen BDE-Systeme nur als reine Insellösungen in Unternehmen und deren aufgenommene Informationen werden keinem weiteren Prozess zugeführt [6]. Desweiteren werden oft nur einzelne Produktionsbereiche überwacht und eine bereichs- oder abteilungsübergreifende Betrachtung des Produktentstehungsprozesses ist, wenn überhaupt, lediglich mit einem erheblichen Aufwand zu realisieren. Dies bedeutet, dass das Potenzial der rückgemeldeten Betriebsdaten vielfach nicht ausgeschöpft wird. Eine weitere Schwachstelle von herkömmlichen BDE-Systemen ist zudem die Abhängigkeit von

korrekten Status-Rückmeldungen([7]). Dies umfasst, dass Rückmeldungen fehlerhaft (z. B. durch manuelle Eingabe am BDE-Terminal), zeitverzögert (z. B. notwendiger Datenimport aus anderem System) oder auch gar nicht erfolgen.

Für eine erfolgreiche Durchführung der Planungs- und Steuerungstätigkeiten sind qualitativ hochwertige, den aktuellen Bedingungen im Produktionssystem entsprechende Daten, eine wichtige Grundlage. Diese als Stammdaten bezeichnete Wissensspeicherung beinhaltet unter anderem Material- und Ressourcenstammdaten, Arbeitspläne, Stücklisten wie auch Kunden- und Lieferantenstammdaten [8]. Ein Zugriff auf sie erfolgt kontinuierlich während dem gesamten Planungs- und Steuerungsprozess. Daher können die Auswirkungen einer Nichtübereinstimmung mit den aktuellen Bedingungen auf der Produktionsebene folgenreich sein. Für die Maschinenbelegungsplanung sind hierfür im Speziellen die in den Standard-Arbeitsplänen hinterlegten Durchlaufzeitanteile (Bearbeitungs-, Rüst-, Liege- und Transportzeiten) von Interesse. Aus einer Nichtübereinstimmung zwischen geplanten und effektiv benötigten Zeiten können sich daraus zwei unterschiedliche Situationen ergeben (siehe Abbildung 1).

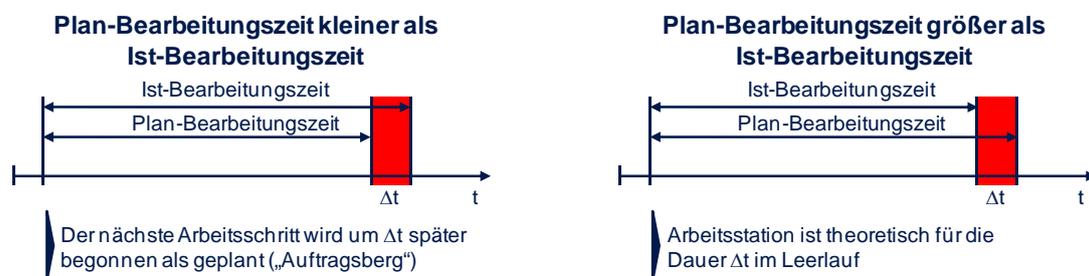


Abbildung 1 Folgen der Diskrepanz zwischen Plan- und Ist-Bearbeitungszeiten

Zum einen besteht die Möglichkeit, dass der angenommene Durchlaufzeitanteil, hier die Bearbeitungszeit, kürzer ist, als der effektiv benötigte Durchlaufzeitanteil. Das Resultat in der Produktionsebene ist, dass der nächste Arbeitsschritt dieses Auftrages bzw. der Folgeauftrag auf der gleichen Ressource erst um Δt später begonnen wird. In diesem Kontext spricht man auch von einem „Auftragsberg“ der entsteht. Zum anderen kann der Durchlaufzeitanteil größer angenommen werden, als der Arbeitsschritt dann beansprucht. Die Folge ist, dass die Arbeitsstation um Δt früher fertig ist und sich theoretisch für diese Dauer im Leerlauf befindet. Überdies ergeben sich für die zu früh fertiggestellten Produkte zusätzliche Lagerzeiten. Gemein haben beide Ausprägungen, dass sich der angenommene geplante Produktionsplan nicht realisieren lässt und sich aus dem „Verspäten“ und „Verfrühen“ von Produktionsschritten Veränderungen im gesamten weiteren Produktionsprozess ergeben. Nach Kurbel [7] liegt ein Grund für die Abweichung zwischen den Plan- und Ist-Zeiten darin, dass Durchschnitts- oder Erfahrungswerte zur Planung herangezogen werden. Diese berücksichtigen jedoch nicht, dass die Durchführung der Produktionsaufträge von vielen Faktoren (z. B. Kapazitätsbelastung zum Zeitpunkt der Auftragsfreigabe, Bearbeitungsreihenfolgen an den einzelnen Betriebsmitteln, u. a.) beeinflusst wird. Im Falle der Verwendung von Plan-Werten, die auf Ist-Werten aus der Vergangenheit stammen, haben diese zudem nur Gültigkeit, wenn sich die Bedingungen in der Produktion (z. B. Kapazitätsauslastung) nicht verändert haben [9]. Der Effekt der schwierigen Prognostizierbarkeit der zukünftigen Produktionssituation wird zudem durch den Einsatz von intelligenten und (teil-)autonomen Produktionssystemen sowie -steuerungen (z. B. Agentensysteme)

verstärkt. Als Beispiel ist hier der Einsatz von Kognitiven Technischen Systemen (KTS) zu nennen, die sich auf Grund ihres adaptiven und lernenden Verhaltens an das aktuelle Umfeld anpassen können [10],[11],[12]. Die Folge dieser Verlagerung der Entscheidungsfindung in die Produktionsebene selbst ist, dass Stammdaten noch schneller als bisher ihre Aktualität verlieren und so zu schlechten Planungsergebnissen führen. Folglich müssen gerade im Bereich der auftragsgesteuerten variantenreichen Einzel- und Serienfertigung, die geprägt ist durch sich ständig wandelnde Bedingungen im Produktionsumfeld, Anstrengungen unternommen werden, um die Planungsdatenbasis kontinuierlich anzupassen [13].

2 Adaptive Maschinenbelegungsplanung auf Basis produktspezifischer Entstehungsdaten

Aus der beschriebenen Abhängigkeit der Maschinenbelegungsplanung von hochqualitativen und aktuellen Planungsdaten ist das Ziel des im Folgenden dargestellten Ansatzes die Realisierung eines Systems, welches

- den aktuellen Zustand in der Produktionsebene bei der Maschinenbelegungsplanung berücksichtigt,
- intelligente und verteilte Systeme integriert,
- aus vergangenen Produktionsprozessen lernt und
- die auftragsbezogenen Stammdaten der Planungssysteme selbständig aktualisiert.

Der schematische Aufbau dieses Systems, inklusive der Informationsflüsse zwischen den Systemelementen, ist in Abbildung 2 dargestellt.

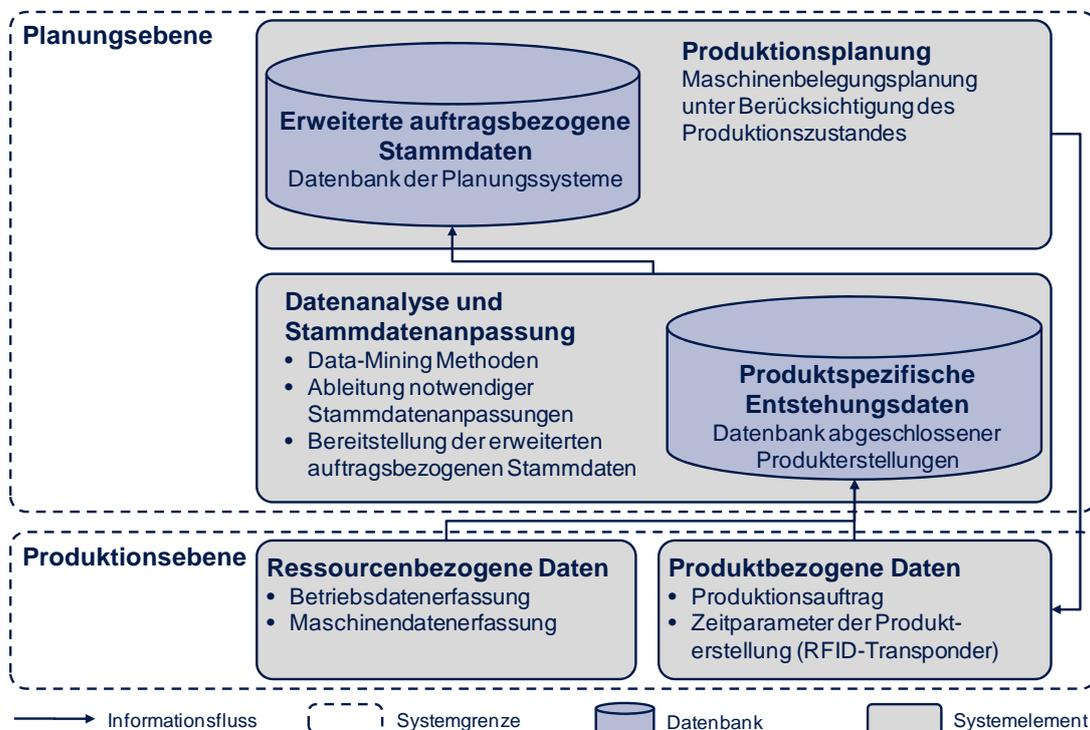


Abbildung 2 Schematische Systemarchitektur zur adaptiven Produktionsplanung basierend auf produktspezifischen Entstehungsdaten

Die Systemelemente Ressourcen- und Produktbezogene Daten dienen der Ist-Daten-Generierung und sind daher der Produktionsebene zugeordnet. Die erzeugten

Daten stellen neben den Produktionsauftragsdaten (Plan-Daten) die Basis zur Gewinnung der produktspezifischen Entstehungsdaten dar. Neben konventionellen Informationssystemen, wie BDE- und MDE-Systeme wird das Produkt selbst zur Aufnahme von Ist-Daten eingesetzt. Dies erfolgt über einen im Produkt integrierten Radio Frequency Identification Transponder (RFID-Transponder) und einem ganzheitlichen Sensornetzwerk in der Produktionsebene [14]. Dieses Sensornetzwerk ist an Ressourcen, wie z. B. Maschinen, Transport- und Lagereinrichtungen, aber auch an markanten Punkten in der Produktionsebene, z. B. Kreuzung, in Form von RFID-Antennen bzw. -Gates angebracht. Die Kommunikation, d. h. Speicherung der produktspezifischen Ist-Daten auf dem RFID-Transponder erfolgt durch Auslesen des Transponders an den jeweiligen Antennen und anschließendem Beschreiben mit den aktuellen Zeit- und Ressourceninformationen. Schematisch ist die beschriebene Produktionsstruktur sowie die Bewegung des Produktes in Abbildung 3 dargestellt.

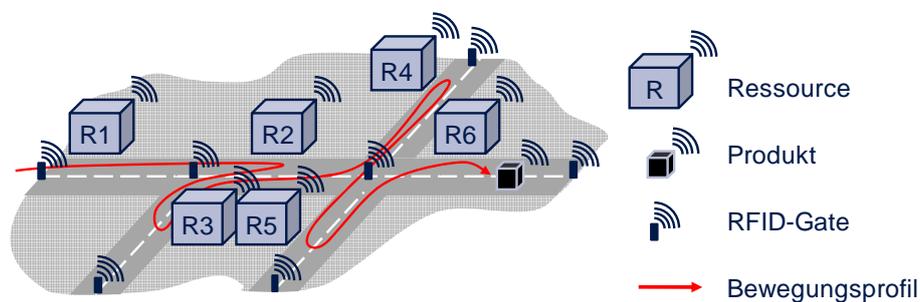


Abbildung 3 RFID-gestützte produktspezifische Ist-Datenaufnahme

Ist die Produkterstellung abgeschlossen werden die Daten jedes RFID-Transponders in Verbindung mit den Informationen aus den BDE-/MDE-Systemen in der Datenbank zu produktspezifischen Entstehungsdaten zusammengeführt. Mit Hilfe der Methoden des Data-Mining erfolgt eine kontinuierliche Analyse des enthaltenen Datenbestandes. Ziel ist die Identifikation von Plan-/Ist-Abweichungen und die daraus notwendigen Anpassungen der auftragsbezogenen Stammdaten der Planungssysteme. Auf Basis der kontinuierlich angepassten erweiterten auftragsbezogenen Stammdaten, erfolgt die erneute Maschinenbelegungsplanung unter Berücksichtigung des aktuellen Produktionszustandes, d. h. Verwendung der korrekten zustandsabhängigen Planungsparameter.

Im Folgenden wird auf die produktspezifischen Entstehungsdaten, die darauf aufbauende Datenanalyse und Stammdatenanpassung sowie die adaptive Maschinenbelegungsplanung genauer eingegangen.

2.1 Produktspezifische Entstehungsdaten

Unter produktspezifischen Entstehungsdaten sind die, den Produktionsprozess eines Produktes eindeutig beschreibenden Informationen zu verstehen. Diese umfassen Plan-Werte, Ist-Werte aber auch produktionszustandsbeschreibende Attribute. Planwerte sind hierbei die Daten, die bei der Terminierung und anschließenden Festschreibung des Produktionsauftrags erzeugt werden (z. B. Planbearbeitungsbeginn eines Arbeitsgangs). Ist-Werte hingegen beschreiben den effektiv erfolgten Produktionsprozess. Dabei werden auch alle unerwarteten Ereignisse, wie z. B. notwendige Nacharbeit, berücksichtigt. Die

produktionszustandsbeschreibenden Attribute geben die Bedingungen in der Produktion wieder, die zum Zeitpunkt der Produkterstellung vorgelegen sind. Hierzu zählen u. A. die Auslastungsgrade der Ressourcen wie auch Störzeiten oder der aktuelle Schichtkalender.

Die Quellen, aus denen sich die produktspezifischen Entstehungsdaten zusammensetzen, können in ressourcenbezogene Daten auf der einen und produktbezogene Daten auf der anderen Seite gegliedert werden (siehe Abbildung 4). Gemein haben beide Datenarten den Aufbau. Sie bestehen jeweils aus einem identifizierenden und einem die Ist-Situation beschreibenden Teil.

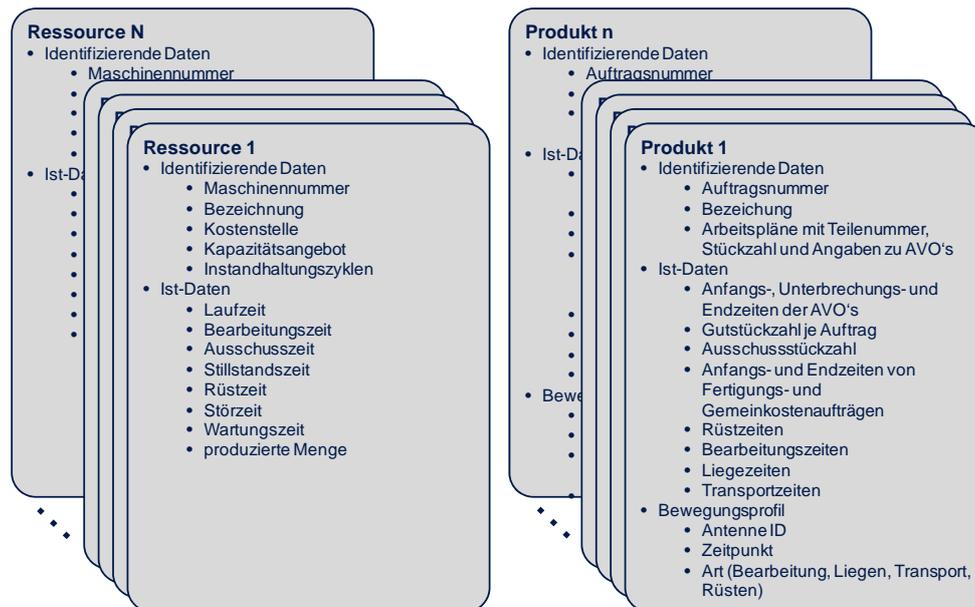


Abbildung 4 Ressourcen- und produktbezogene Daten

Die ressourcenbezogenen Daten beschreiben den Zustand der Ressourcen, z. B. einer CNC-Fräsmaschine, über den betrachteten Zeitraum. Sie setzen sich ausschließlich aus den Informationen der BDE-/MDE-Systeme zusammen. Die produktbezogenen Daten geben den spezifischen Entstehungsprozess des betrachteten Produktes wieder. Dies beinhaltet zum einen Plan-Daten, z. B. in Form des auftragsspezifischen Arbeitsplans und zum anderen Ist-Daten. Letztere werden in Folge des Produktionsprozesses durch das Produkt selbst mit Hilfe des integrierten RFID-Transponders und dem Sensornetzwerk auf dem Produkt gespeichert. Dieses enthält die exakten Werte der einzelnen Durchlaufzeitanteile (Bearbeitungs-, Rüst-, Liege- und Transportzeiten) und zudem ein Bewegungsprofil des Produktes in Abhängigkeit der Standorte der RFID-Antennen. Auf diese Weise ist es möglich genaue Ist-Daten über die gesamte Produkterstellung auch über abteilungs- und bereichsgrenzen hinweg zu erfassen. Zudem wird durch die automatisierte, produktbezogene Datenaufnahme sichergestellt, dass Rückmeldungen über abgeschlossene Durchlaufzeitanteile fehlerlos und ohne Verzögerung auf dem Transponder gespeichert werden.

2.2 Datenanalyse und Stammdatenanpassung

Ziel der Datenanalyse ist es Abweichungen zwischen den Plan- und Ist-Werten der einzelnen Durchlaufzeitanteile zu identifizieren und wenn erforderlich

Optimierungspotenzial aufzuzeigen. Dabei ist es unbedingt erforderlich die Analysen unter Beachtung des Produktionszustandes, der bei der Datenaufnahme vorgelegen ist, durchzuführen. Auf diese Weise ist es möglich Ausreißer zu erkennen und gültige Ergebnisse für eine Stammdatenanpassung abzuleiten. Die Datenanalyse selbst erfolgt in einem mehrstufigen Vorgehen. Im ersten Schritt werden die einzelnen gemessenen Durchlaufzeitanteile hinsichtlich einer Abweichung vom Plan-Wert untersucht. In Abbildung 5 ist dies für einen Durchlaufzeitanteil, aufgetragen über die Anzahl der gemessenen Werte, dargestellt.

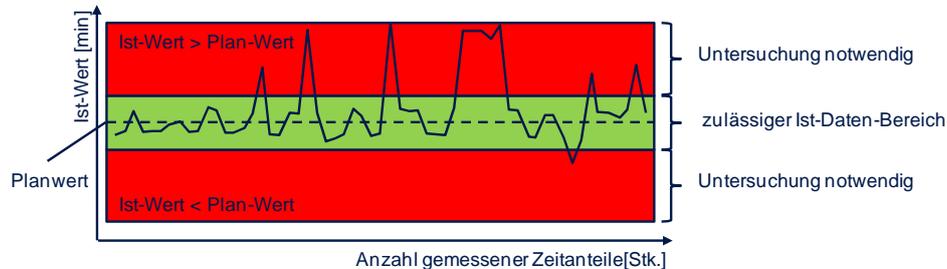


Abbildung 5 Darstellung des Ist-Wertes eines Durchlaufzeitanteils und des zulässigen Bereichs

Befinden sich die Werte im zulässigen Ist-Datenbereich (zulässige Streuung um Plan-Wert), so ist keine Anpassung der Planungsdaten erforderlich. Werden hingegen die Grenzen dieses Bereichs überschritten, erfolgt in einem zweiten Schritt eine Untersuchung hinsichtlich der zugrundeliegenden Ursache bzw. Ursachen. Unterschieden werden hierbei grundsätzlich zwei Ausprägungen:

- Abweichung vom Plan-Wert unabhängig vom Produktionszustand
- Abweichung vom Plan-Wert abhängig vom Produktionszustand

Erstere führt zu einer sogenannten zustandsunabhängigen Plandatenanpassung. Hierbei liegt eine Streuung der gemessenen Durchlaufzeitanteile um einen bestimmten Wert vor, welcher gegenüber dem Planwert divergiert. Die Anpassung des Durchlaufzeitanteils ist somit allgemein gültig. Wird im Gegensatz ein Zusammenhang zwischen Ist-Werten und dem zugrundeliegenden Produktionszustand identifiziert, so besteht nur Gültigkeit dieses Wertes, wenn gleiche Bedingungen in der Produktion bestehen. Bei der Anpassung der Stammdaten ist es nun erforderlich die identifizierten Zusammenhänge und damit die Grundlage für die Anwendbarkeit des Wertes zu Planungszwecken, ebenfalls in den Stammdaten abzulegen. Diese, als zustandsabhängige Plandatenanpassung bezeichnete Aktivität führt zur der Forderung nach einer Erweiterung der auftragsbezogenen Stammdaten um produktionszustandsbeschreibende Attribute, die im Prozess der Produktionsplanung zusätzlich berücksichtigt werden müssen.

2.3 Adaptive Maschinenbelegungsplanung

Die Grundvoraussetzungen, um eine adaptive Maschinenbelegungsplanung durchzuführen, sind neben der bereits beschriebenen dynamischen Datenbasis vor allem adaptierbare Arbeitspläne. Diese müssen die Funktionalität aufweisen, zusätzlich zu alternativ wählbaren Ressourcen für die einzelnen Arbeitsgänge auch unterschiedliche Durchlaufzeitanteile infolge des Produktionszustandes zuzulassen. Somit dienen der adaptiven Maschinenbelegungsplanung als Eingangsgrößen,

abgesehen von den Produktionsaufträgen des vorgelagerten ERP-Systems, der zu erwartende Produktionszustand im Betrachtungszeitraum, die Betriebsmittelfähigkeiten sowie die zugehörigen Durchlaufzeitanteile. Bei der Einplanung der einzelnen Arbeitsgänge der Produktionsaufträge auf die zur Verfügung stehenden Ressourcen erfolgt zuerst die Auswahl der Ressource, die die gestellten Anforderungen des Arbeitsgangs erfüllen kann. Sollten mehrere Maschinen die notwendigen Fähigkeiten aufweisen, muss nach definierten Regeln (z. B. Kürzeste Operationszeit (KOZ), günstigste Bearbeitung) eine Ressource ausgewählt werden. Die hierbei verwendeten Zeitparameter für die geplante Durchführung der Arbeitsgänge werden entsprechend des zu erwartenden Produktionszustandes zum Zeitpunkt der geplanten Bearbeitung ausgewählt. Auf diese Weise weißt das Ergebnis der Maschinenbelegungsplanung einen deutlich höheren Übereinstimmungsgrad mit der realen Situation in der Produktionsebene, gegenüber einer Planung mit statischen Plan-Werten, auf.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die ohnehin schon starke Abhängigkeit von Produktionsplanungs- und -steuerungssystemen von aktuellen Stammdaten wird gerade durch den Einsatz intelligenter und verteilter Systeme noch weiter steigen. Daher ist es unerlässlich Anstrengungen zu unternehmen, um die Planungsgrundlage den aktuellen Bedingungen in der Produktionsebene stetig anzupassen und auch situationsbezogen für Planungs- und Steuerungsaktivitäten bereitzustellen. Der in diesem Artikel beschriebene Ansatz greift diese Forderungen auf indem produktionszustandsabhängige Stammdaten zur Maschinenbelegungsplanung Verwendung finden. Auf Basis der produktbezogenen Ist-Datenaufnahme mit Hilfe eines RFID-Sensornetzwerkes werden in Verbindung mit den bestehenden BDE-/MDE-Systemen produktspezifische Entstehungsdaten gebildet. Durch kontinuierliche Analysen dieses Datenbestandes werden auf der einen Seite Abweichungen zwischen den Plan- und Ist-Werten identifiziert und auf der anderen Seite aus diesen Erkenntnissen eine dynamische Planungsgrundlage bereitgestellt. Der vorgestellte Ansatz wird an einem realen Demonstrator, der Kognitiven Fabrik, am Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München prototypisch implementiert und validiert. Zu diesem Zweck steht ein Maschinenpark bestehend aus zwei CNC-Fräsmaschinen, zwei CNC-Drehmaschinen, einer vollautomatisierten Montagestation, einem vollautomatisierten Transportsystem inklusive zwei Knickarmrobotern auf Linearachsen zur Maschinenbestückung zur Verfügung. Ergänzt wird dieser Aufbau durch ein ganzheitliches RFID-Sensornetzwerk und ein Manufacturing Execution System (MES).

Die in diesem Artikel vorgestellten Forschungsarbeiten werden im Rahmen des Exzellenzclusters CoTeSys (Cognition for Technical Systems) von der DFG (Deutsche Forschungsgesellschaft) gefördert.

Literaturverzeichnis

- [1] Westkämper, E.: Wandlungsfähige Unternehmensstrukturen für die variantenreiche Serienproduktion. (Hrsg.): Abschlusskolloquium SFB 467 2005.
- [2] Warnecke, H.-J.: Die fraktale Fabrik. 2 Aufl. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt 1996.
- [3] Mintzberg, H.: That's not "turbulence," Chicken Little, it's really opportunity. *Strategy & Leadership* 22 (1994) 6, S. 7–9.
- [4] Wiendahl, H.-H.: Auftragsmanagement im turbulenten Umfeld. *wt Werkstattstechnik online* 96 (2006) 4, S. 183–189.
- [5] Wiendahl, H.-P.: Betriebsorganisation für Ingenieure. 6., aktualisierte Aufl. München ; Wien: Hanser 2008.
- [6] Beckert, B.; Hudetz, W.: Stand und Potenzial produktionsnaher Datenverarbeitung. *PPS Management* 7 (2002) 2, S. 35–39.
- [7] Kurbel, K.; Endres, A.: Produktionsplanung und -steuerung. 6., völlig überarb Aufl. München [u.a.]: Oldenbourg 2005.
- [8] Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung. 3., völlig neu bearbeitete Auflage. Aufl. Berlin ;, Heidelberg: Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2006.
- [9] Nyhuis, P.: Logistische Kennlinien. 2., erw. und neu bearb Aufl. Berlin: Springer 2003.
- [10] Zaeh, M. F.; Beetz, M.; Shea, K.; Reinhart, G.; Bender, K.; Lau, C.; Ostgathe, M.; Vogl, W.; Wiesbeck, M.; Engelhard, M.; Ertelt, C.; Ruehr, T.; Friedrich, M; Herle, S.: The Cognitive Factory. In: EIMaraghy, H. A. (Hrsg.): *Changeable and Reconfigurable Manufacturing Systems*. London: Springer-Verlag 2009.
- [11] Zaeh, M. F.; Reinhart, G.; Ostgathe, M.; Geiger, F.; Lau, C.: A holistic approach for the cognitive control of production systems. *Advanced Engineering Informatics* 24 (2010) 3, S. 300–307.
- [12] Bannat, A.; Bautze, T.; Beetz, M.; Blume, J.; Diepold, K.; Ertelt, C.; Geiger, F.; Gmeiner, T.; Gyger, T.; Knoll, A.; Lau, C.; Lenz, C.; Ostgathe, M; Reinhart, G.; Roesel, W.; Ruehr, T.; Schuboe, A.; Shea, K.; Stork genannt Wersborg, I.; Stork, S.; Tekouo, W.; Wallhoff, F.; Wiesbeck, M.; Zaeh, M. F.: Artificial Cognition in Production Systems. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering* 8 (2011) 1, S. 148–174.
- [13] Wiendahl, H.-H.; Wiendahl, H.-P.; Cieminski, G. von: Stolpersteine der PPS. *wt Werkstattstechnik online* 95 (2005) 9, S. 717–725.
- [14] Zaeh, M. F.; Ostgathe, M.: A Multi-Agent-supported, Product-based Production Control. (Hrsg.): *Proceedings of the 7th IEEE International Conference on Control and Automation* 2009, S. 2376–2383.

Autorenbiographien

Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart, Jahrgang 1956, ist gemeinsam mit Prof. Dr.-Ing. Michael F. Zäh Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften (*iwb*) der Technischen Universität München. Seit dem 1. Januar 2009 ist Prof. Reinhart darüber hinaus Leiter der Fraunhofer IWU Projektgruppe für Ressourceneffiziente mechatronische Verarbeitungsmaschinen (RMV) in Augsburg.

Dipl.-Ing. Florian Geiger, Jahrgang 1981, studierte Maschinenwesen an der Technischen Universität München und ist seit 2009 wissenschaftlicher Mitarbeiter am *iwb*.

Stichworte

Produktionsplanung und -steuerung, Maschinenbelegungsplanung, Betriebsdatenerfassung, RFID, Stammdaten