



Schriftenreihe der Hochschulgruppe
für Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)

Peter Nyhuis (Hrsg.)

Wandlungsfähige Produktionssysteme



GITO

Schriftenreihe der Hochschulgruppe für
Arbeits- und Betriebsorganisation e.V. (HAB)

herausgegeben von
Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis

Peter Nyhuis (Hrsg.)

Wandlungsfähige Produktionssysteme

Univ. Prof. Dr.-Ing. habil. Peter Nyhuis
IFA – Institut für Fabrikanlagen und Logistik
An der Universität 2
D-30823 Garbsen

ISBN 978-3-940083-15-4 GITO-Verlag 2010 Berlin

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliographie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

GITO mbH - Verlag für Industrielle Informationstechnik und Organisation
Detmolder Straße 62, 10715 Berlin
Tel.: (030) 41 93 83 64, Fax: (030) 41 93 83 67
E-Mail service@gito.de
www.gito.de

© GITO-Verlag Berlin 2010



Session 1

Wandlungsfähigkeit – ein systemischer Ansatz

Nyhuis, P.; Klemke, T.; Wagner, C.

Generic Management als umfassendes Konzept zur Sicherstellung der Wandlungsfähigkeit industrieller Produktion

Biedermann, H.

Wandlungsfähige Produktionsplanung und -steuerung – Anforderungen aus schwankenden Auftragseingängen

Lödding, H.

Nutzung und Erweiterung von Flexibilitätspotenzialen in Fertigung und Montage durch Selbststeuerung und Konstruktion

Windt K.; Jeken, O.; Gebhardt, N.

Session 2

Strategische Früherkennung in Wertschöpfungsnetzwerken

Zahn, E.; Tilebein, M.; Reichel, A.; Goll, F.; Haag, H.C.

Wandel gestalten – Lösungsansätze für Mensch, Technik und Organisation in der Unikatproduktion

Nedeß, C.; Friedewald, A.

Bewertungskriterien für die Modularisierung in der Automobilproduktion

Schneider, C.; Bunse, K.; Schönsleben, P.

Erforschung wandlungsfähiger Produktionssysteme im IBF-Lab unter Berücksichtigung der Interdependenzen zwischen Mensch, Technik und Organisation

Spanner-Ulmer, B.; Müller, E.; Glöckner, S.; Ackermann, J.; Keil, M.; Börner, F.

Session 3

Die Bedeutung der Wandlungsfähigkeit für den digitalen Logistikplanungsprozess

Wenzel, S.; Abel, D.; Bockel, B.

LUPO – Leistungsfähigkeitsbeurteilung unabhängiger Produktionsobjekte

Gronau, N.; Theuer, H.; Lass, S.

Beherrschung von Supply Chain-Risiken durch Flexibilität

Kersten, W.; Singer, C.

Prozessorientierte Planung wandlungsfähiger Produktions- und Logistiksysteme mit wiederverwendbaren Planungsfällen

Kuhn, A.; Keßler, S.; Luft, N.

Beherrschung der zeitabhängigen Komplexitätszunahme als Schlüssel zur Sicherstellung der Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen – ein systemtheoretischer Ansatz

Matt, D.T.

Session 4

„Hybride Produktionssysteme“ Integration elektromobiler Antriebskonzepte in automobiler Produktionssysteme

Spath, D.; Rothfuss, F.; Sachs, C.

Zentralisierte Echtzeit-Steuerung von Geschäftsprozessen in der Logistik

Werth, D.; Emrich, A.; Loos, P.

Der Beitrag der Selbststeuerung zur Wandlungsfähigkeit von Produktionssystemen

Scholz-Reiter, B.; Sowade, S.

Untersuchung des Einflusses der informatorischen Reichhaltigkeit von Arbeitsplänen auf die Anlernzeit sensumotorischer Fertigkeiten

Schlick, C.M.; Jeske, T.; Jochems, N.; Hasenau, K.; Tackenberg, S.

Session 5

**Simulative Unterstützung der Planung alternsrobuster
Fertigungssysteme**

Zülch, G.; Waldherr, M.

**Wandlungsfähigkeit durch Antizipative Veränderungsplanung –
Erhöhung der Wandlungsfähigkeit von Intralogistiksystemen und
Produktionssystemen**

Wötzel, A.; Bandow, G.

**Werkzeug zum flexiblen und wandlungsfähigen Personaleinsatz in der
Automobilendmontage**

Auer, S.; Sihn, W.

**Wandlungsfähigkeit im Spannungsfeld von Strategie und Innovation bei
KMU**

Jentsch, D.

Flexible Produktionssysteme innovativ managen

Seidel, H.; von Garrel, J.

**Technologie-Markt-Radar – Vorgehensweise zur Identifikation von
relevanten Entwicklungspotenzialen emergenter Technologien**

Ardilio, A.; Spath, D.; Warschat, J.

Werkzeug zum flexiblen und wandlungsfähigen Personaleinsatz in der Automobilendmontage

Stefan Auer, Wilfried Sihn

1 Einleitung

Die Europäische Automobilindustrie und speziell die deutschen Fahrzeughersteller zeichnen sich durch hohe Kundenindividualität ihrer Produkte aus. Die Fahrzeugtypen weisen eine hohe Variantenvielfalt und Komplexität auf. Dadurch ergibt sich für die Programmplanung die Aufgabe die verschiedenen Varianten der zu montierenden Fahrzeuge im Tagesverlauf in eine Sequenz zu bringen, damit die eingesetzten Mitarbeiter gleichmäßig ausgelastet und Hot-Spots (Takte mit Überlast) bzw. Cold-Spots (Takte mit Wartezeit für die Mitarbeiter) minimiert werden. Dazu existieren bereits komplexe Planungslogiken und -werkzeuge, die anhand von definierten Constraints (Bedingungen) eine Lösung für das Planungsproblem generieren. Die derzeitigen Werkzeuge für die Sequenzerstellung berücksichtigen die Personalkapazität jedoch nur bedingt bzw. als fixe Eingangsgröße, jedoch nicht als Planungsobjekt. Da an Montagebändern in der Automobilindustrie das Personal aber eine der bedeutendsten Ressourcen ist, führt dies dazu, dass im Durchschnitt ein zu hoher Personalstand vorgehalten wird, um etwaige temporäre Überlasten abdecken zu können. Ziel bei der Entwicklung des dieses Werkzeuges war es also, die Personaleinsatzplanung in die Produktionsplanung zu integrieren. Dies führt zwar zu einer Erhöhung der Komplexität des Planungsproblems, welche aber durch den gewählten simulationsgestützten Ansatz handhabbar gemacht wird.

Der vorliegende Beitrag zeigt den Ansatz zur Integration von Personaleinsatzplanung und Produktionsprogrammplanung am Beispiel der Automobilendmontage und erörtert dessen Einfluss auf Flexibilität und Wandlungsfähigkeit. Der Inhalt des Artikels wurde im Rahmen des Forschungsprojektes „A ProPer Plan - Advanced Production Program and Personnel Assignment Planning“ im EUREKA Eurostars Programm erarbeitet.

2 Planungsaufgaben in der Automobilendmontage

Im Rahmen des Forschungsprojektes wurden in Workshops mit mehreren OEMs (Original Equipment Manufacturers) der CEE-Region die einzelnen notwendigen Planungsschritte erarbeitet und unter Berücksichtigung bestehender Literatur für die Bedürfnisse im Rahmen des Projektes definiert (vgl. Auer et al. 2010).

Als Eingangsgrößen für den Programmplanungsprozess dienen Forecasts aus dem Vertrieb und Prognosen zu Einbauraten der verschiedenen Ausstattungsvarianten. Daraus werden in einer rollierenden Jahresplanung vereinbarte monatliche Produktions- bzw. Absatzmengen definiert. Die Aufgabe der operativen Produktionsprogrammplanung besteht nun darin, für einzelne Fertigungsperioden über die Art und Menge der herzustellenden Varianten aus dem gegebenen Variantenportfolio zu entscheiden (Meyr 2004). Der Auftragsbestand für ein Monat wird dabei der periodenbezogene Auftragsvorrat auf einzelne Tages- oder Schichttöpfe herunter gebrochen (vgl. Monden 1993). Zum einen muss dabei der von der Fließbandabstimmung vorgegebene kapazitive Rahmen in Form der Fertigungstage berücksichtigt und eingehalten werden. Andererseits ist die Verfügbarkeit der zu verbauenden Teile zu beachten (vgl. Decker 1993, Scholl 1999).

Die Zuordnung von Aufträgen zu Wochen-/ Tagesperioden bzw. Schichten wird in weiterer Folge als Slotting bezeichnet und stellt die erste Planungsaufgabe dar. Ein üblicher Planungshorizont für das Slotting umfasst drei Monate vor Bandaufgabe. Zu diesem Zeitpunkt sind meist nur sehr wenige voll spezifizierte Kundenaufträge bekannt. Deshalb werden sogenannte Dummy-Auftrag mit den Hauptmerkmalen (Motortype, etc.) erzeugt. Geht ein Kundenauftrag ein, wird ein Dummy-Auftrag mit den entsprechenden Merkmalen ersetzt.

An das Slotting schließt sich bis zur Festlegung der genauen Montagereihenfolge (Sequenzierung) eine rollierende Planung an, die eine Glättung hinsichtlich kapazitiver oder materialbezogener Kriterien durchführt. Dieser Schritt wird als Balancing bezeichnet. Dabei können einzelne Aufträge durch die Berücksichtigung weiterer, detaillierter Restriktionen in eine andere als die zuvor geplante Produktionsperiode verschoben werden.

Schließlich findet die eigentliche Reihenfolgenbildung, die jedem Auftrag aus dem Bestand eines Auftragsvorrats (auch Pool genannt) einen dezidierten Fertigungstakt zuordnet. Dieser Schritt wird auch als Sequencing bezeichnet. Zu diesem Zeitpunkt müssen alle Aufträge voll spezifiziert sein. Sind noch Dummy-Aufträge im Auftragspool enthalten, ist zu entscheiden, ob diese auf Halbe produziert werden oder aus dem Auftragspool entfernt werden.

Üblicherweise gibt es nach der Sequenzierung eine so genannte „Frozen Zone“ von mehreren Tagen, in der eine Änderung der Reihenfolge nicht mehr zulässig ist. Damit wird den Lieferanten ermöglicht ihre Bauteile Just in Sequenz, d.h. in der richtigen Verbaureihenfolge, anzuliefern. In Ausnahmefäl-

hen (vgl. Boysen/Ringle 2007). Ein Beispiel für eine Reihenfolgeregel von 1:3 bezüglich der Option Schiebedach besagt etwa, dass von drei aufeinander folgenden Werkstücken lediglich eines die Option Schiebedach enthalten darf. Andernfalls tritt eine Überlastung ein. Derzeit wird in den meisten westeuropäischen Unternehmen das Car-Sequencing angewendet um den Planungs- und Datenhaltungsaufwand beim Model-Mixed-Sequencing zu umgehen.

3 Planungsansatz zur integrierten Planung

Der Planungsansatz sieht vor, die Vorteile der beiden kapazitätsorientierten Sequenzierungsmethoden zu kombinieren. Dabei wird mittels Car-Sequencing anhand der bekannten Ho:No-Regeln eine Sequenzvorschlag ermittelt. Da diese Regeln jedoch nicht alle Eventualitäten abdecken können und das Erstellen der Regeln sehr von der Erfahrung des Planungspersonales abhängig ist wird mittels einer simulationsbasierten Analyse dieser Sequenzvorschlag auf Machbarkeit, Engpässe und Hot- bzw. Cold-Spots überprüft. Das Analyseergebnis wird in weiterer Folge dem Planer zur Verfügung gestellt. Dieser kann nun nach positiver Bewertung die Sequenz freigeben, den Personalstand an einzelnen Stationen anpassen, die Reihenfolge direkt ändern bzw. falls nötig neue Regeln für den Sequenzierer generieren und einen neuen Sequenzierungslauf starten.

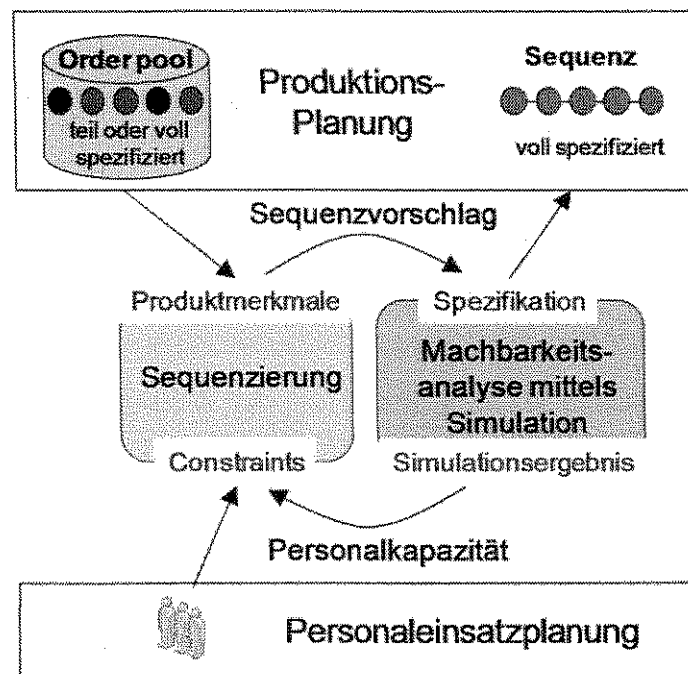


Abbildung 2: Iterativer Planungsprozess (vgl. März et al. 2010)

3.1 Simulationsbasierte Auswertung

Das Simulationswerkzeug erhält allgemeine Inputdaten (Anzahl der Stationen, Länge der Stationen, Personalkapazität, Prozesszeiten, Taktzeit, etc.) und operative Inputdaten. Die operativen Inputdaten werden von der Sequenzierungslösung vorgegeben und beinhalten die spezifizierten Aufträge und deren Reihenfolge für einen Tag oder Schicht. Daraus werden in Verbindung mit den Prozesszeiten die Prozesszeitanforderungen je Station und Takt ermittelt. Die Personalzuordnung erfolgt zur Simulationslaufzeit, nämlich zum Zeitpunkt an dem die Verrichtung in der Simulation begonnen werden soll. Im überwiegenden Fall werden die für die Verrichtung vorgesehenen Mitarbeiter, welche in einem Team zusammengefasst sind, zugeteilt. Die Unternehmen wünschen, sofern möglich, die Mitarbeiter mit gleich bleibenden Tätigkeiten zu beschäftigen, da aus Erfahrung damit ein hohes Qualitätsniveau und somit geringere Nacharbeit verbunden ist. Die Prozesszeitanforderungen werden mit dem Kapazitätsangebot je Station zur Laufzeit abgeglichen. Sollten die vorgesehenen Mitarbeiter an einer Station nicht ausreichend sein, so können sie, sofern zeitlich möglich, die Verrichtungen bereits im vorhergehenden Takt (Vorziehen) beginnen bzw. im nachfolgenden Takt fertig stellen (März et al. 2010).

Jede Verrichtung ist einem Team zugeordnet. Sollten nicht hinreichend freie Mitarbeiter vorhanden sein, so muss das Team auf Springer zurückgreifen. Springer sind Gruppen zugeordnet, die für eine Reihe von Teams zuständig sind. Sollte kein freier Springer vorhanden sein, so generiert das Simulationsmodell einen solchen virtuellen „Überlauf“-Mitarbeiter.

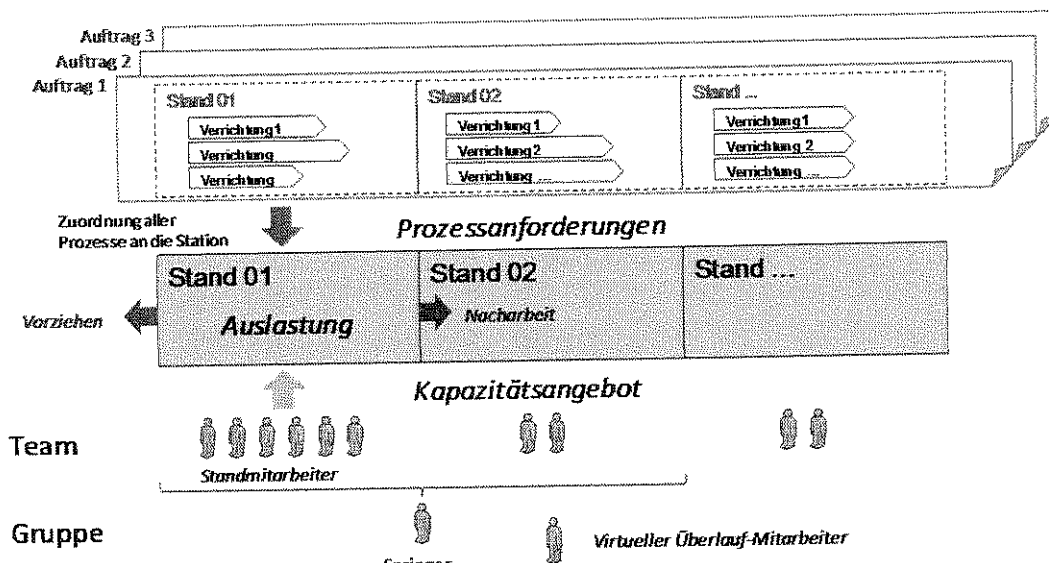


Abbildung 3: Struktur des Simulationsmodelles

Die in der Laufzeit der Simulation ermittelten Resultate werden in entsprechenden Dateien mitgeschrieben und stehen zur Auswertung zur Verfügung. In Abbildung 4 ist eine exemplarische Auswertung einer bestimmten Station ersichtlich. In der Auswertung werden 20 Aufträge bzw. Takte an einer Station ausgewertet. Im ersten Balken eines Taktes ist die Prozesszeitanforderung des jeweiligen Auftrages ersichtlich. Der zweite Balken stellt dar, wie die Mitarbeiterauslastung im jeweiligen Takt aussieht. Ist die Prozesszeitanforderung über 100 Prozent, so ist zu prüfen, ob der Auftrag mit Vorziehen und Nacharbeit abgearbeitet werden kann. Diese Vor- und Nacharbeit ist ebenfalls im zweiten Balken ersichtlich. Reicht dies nicht aus wird ein Springer eingesetzt. Das Ausmaß des Springereinsatzes ist im dritten Balken des Taktes ersichtlich. Anhand dieser Auswertung hat der Planer seine Entscheidungen hinsichtlich des Personalstandes an den Stationen und eventueller Reihenfolgenänderungen zu treffen. Die Simulation ist jedenfalls für die endgültige Sequenz durchzuführen und die Auswertung wird dann den Gruppenleitern für die jeweilige Schicht oder den Tag zur Verfügung gestellt. Durch diese erhöhte Transparenz können sie ihren Mitarbeitern nun im Voraus detaillierte Informationen über das anstehende Produktionsprogramm geben und ihr Personal richtig zuteilen. Eventuelle Springereinsätze können vorab bekannt gegeben werden.

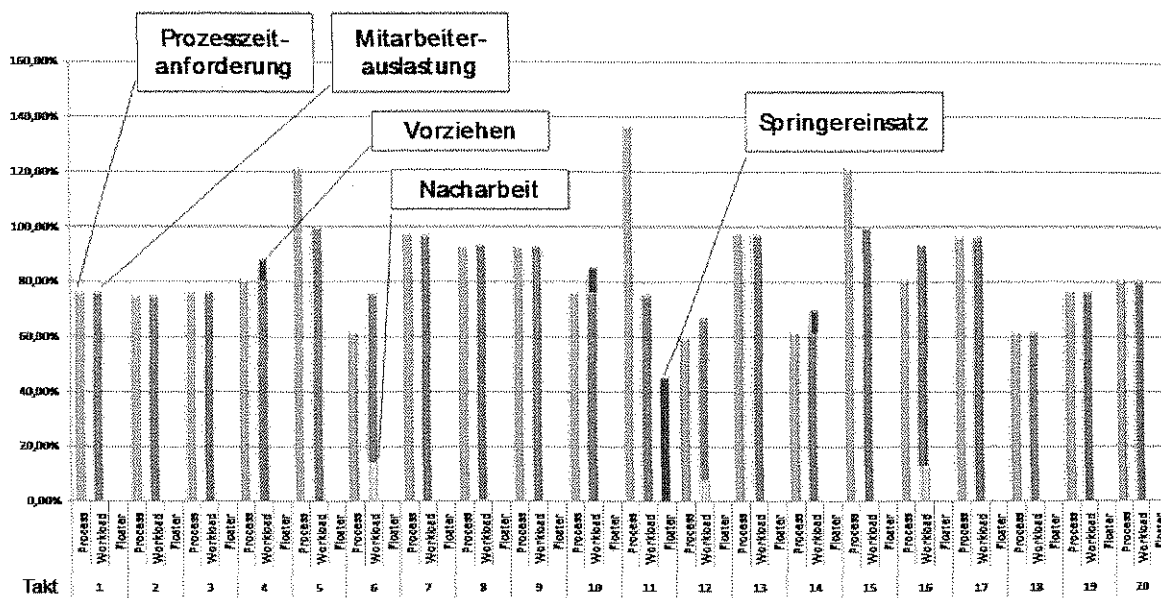


Abbildung 4: Auswertung der Auslastung an einer bestimmten Station

4 Einsatzfelder und die Auswirkungen auf Flexibilität und Wandlungsfähigkeit

4.1 Einsatz bei der operativen Planung

In erster Linie wurde das Planungswerkzeug für die operative Planung der Montagereihenfolge und des Personaleinsatzes im Kurzfristbereich entwickelt. Hier zeigt es die Stärke in der Visualisierung der typenspezifischen Über- bzw. Unterauslastungen in Bezug auf die tatsächliche Auftragsreihenfolge. Es ist nun möglich Mitarbeiter flexibel zu verplanen und im Voraus zu definieren, ob ein Vorziehen oder Nacharbeiten möglich bzw. notwendig ist. Damit können die auftretenden Hot- und Cold-Spots und Auslastungsschwankungen geglättet werden. Auch die vorgehaltenen Springerkapazitäten als festgelegte Reaktionsfähigkeit in Bezug auf Flexibilität kann reduziert werden (vgl. Abele et al. 2006). Der Einsatz von flexiblen Personal (Springern) kann nun ebenfalls schon im Vorfeld geplant werden und nicht erst reaktiv beim Auftreten eines Engpasses.

4.2 Einsatz bei der Gestaltung und Anpassung von Montagelinien

Hier kann das entwickelte Werkzeug für verschiedene Aufgaben im Bereich der Planung und Dimensionierung von Montagelinien eingesetzt werden. Dabei wird aber nur das Simulationsmodul des Planungstools benötigt. Die Anbindung an den Sequenzierer ist dabei nicht erforderlich.

Mit den zuvor erwähnten allgemeinen Inputdaten und dabei besonders mit den Prozesszeiten in den einzelnen Stationen können Aussagen über die Konsistenz der Arbeitsplanung am Montageband getroffen werden. Dabei ist eine Auswertung besonders hilfreich. Diese Auswertung vergleicht für eine Station die Prozesszeitanforderungen für alle möglichen Fahrzeugkonfigurationen mit der geplanten Taktzeit. Ein Beispiel ist in Abbildung 5 ersichtlich. Ziel bei der Verteilung von Verrichtungen auf die einzelnen Stationen sollte es sein möglichst viele der Prozesszeitanforderungen der verschiedenen Fahrzeugkonfigurationen im Bereich zwischen 80 und 100% der Taktzeit zu platzieren. Sind viele Typen unter bzw. über diesem Bereich, kommt es unausweichlich zu Stehzeiten bzw. Überlast. Dabei ist auch zu berücksichtigen welche der Konfigurationen bzw. Ausstattungsvarianten gehäuft auftreten werden und welche eher als Exoten betrachtet werden. Dies muss durch die Analyse von Vergangenheitswerten und Marktstudien bereitgestellt werden. Eine genaue Vorhersage ist hier natürlich nur schwer möglich.

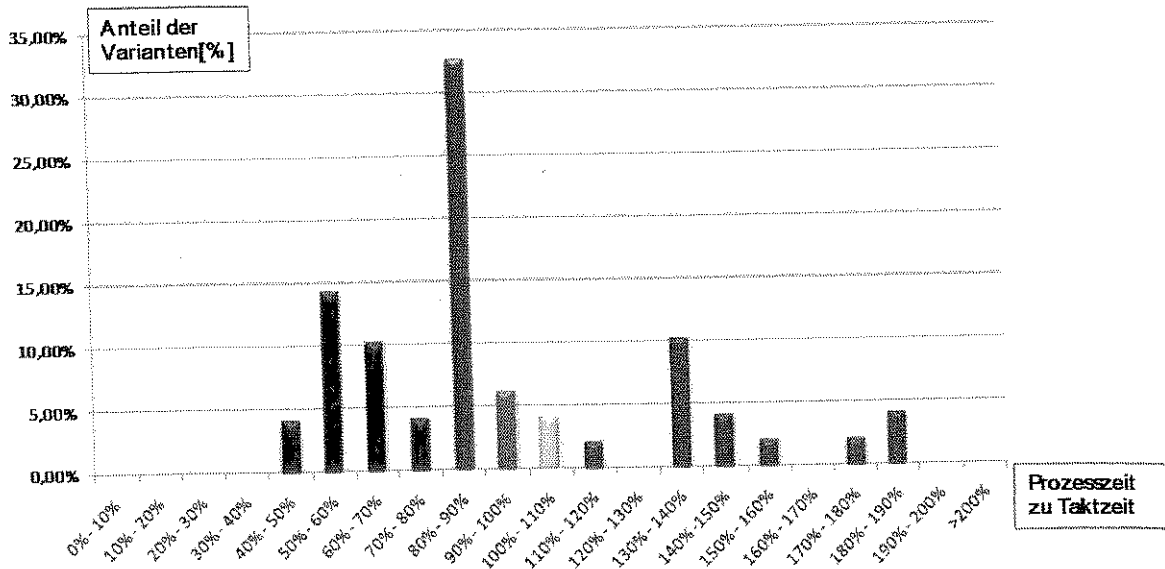


Abbildung 5: Vergleich Prozesszeiten zu Taktzeit

Ändern sich die Kundenanforderungen und werden einzelne Ausstattungsvarianten vermehrt bestellt, kann dies zu einer Verschiebung der Arbeitslast an einzelnen Stationen führen. Es können Stationen mit permanenter Überlast oder Unterlast entstehen. Hier kommt nun auch Thema Wandlungsfähigkeit zu tragen. Die Wandlungsfähigkeit wird ja als Potential verstanden, auch jenseits der vorgehaltenen Flexibilitätskorridore organisatorische und technische Veränderungen bei Bedarf reaktiv oder sogar pro aktiv durchführen zu können (Reinhart et al. 2002, Nyhuis et al. 2008). Mit Hilfe dieses Planungswerkzeuges können bereits bei der ersten Auslegung der Montagelinien Szenarien für mögliche Umverteilungen der Arbeitsinhalte erarbeitet und zu einem späteren Zeitpunkt gegebenenfalls schnell umgesetzt werden. Diese Veränderung kann auch nur temporär sein und zu einem späteren Zeitpunkt wieder zurückgenommen werden.

Wurden bei der Planung der Montagelinien keine Szenarien gebildet und es kristallisieren sich im laufenden Betrieb Auslastungsverlagerungen zwischen einzelnen Stationen heraus, kann mit dem Einsatz des Simulationswerkzeuges schnell und kostengünstig auf diese Veränderungen reagiert werden und eine neue Prozesszuteilung erfolgen.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Europäische Automobilhersteller investieren kontinuierlich hohe Summen in die Aus- und Weiterbildung der Mitarbeiter. Dies führt im internationalen Wettbewerb zu einer überdurchschnittlichen Flexibilität des Produktionspersonals. Aber es gibt noch Potential im Einsatz des Personals (VDI 2010). Allerdings wird diese Personalflexibilität derzeit zumeist nicht als Planungs-

objekt sondern nur als reaktives Hilfsmittel eingesetzt, um das geplante Produktionsprogramm auch tatsächlich umsetzen zu können. So wird eine kostenintensive Personalflexibilität vorgehalten, statt den Personaleinsatz und das Produktionsprogramm gemeinsam zu planen und so ein Gesamtoptimum zu erreichen.

Im Rahmen von „Advanced Production Program and Personnel Assignment Planning“ (A ProPer Plan) wurde der Ansatz verfolgt, die Programmplanung direkt mit der Personaleinsatzplanung zu koppeln. Dabei wurden die kausalen Zusammenhänge zwischen Produktionsprogramm und Produktionsfaktoren erfasst. Die vorhandene Sequenzierungslösung wurde um ein simulationsbasiertes Analysetool erweitert und so konnte die Personaleinsatzplanung integriert werden. Der Planer hat nun die Möglichkeit Personal flexibel zu disponieren. Die Simulation erlaubt die Überprüfung der vorgeschlagenen Sequenz auf Machbarkeit und zeigt transparent auf, wo Unter- bzw. Überlastungen auftreten werden.

Beim Einsatz in der operativen Planung konnten folgende Potentiale einer integrierten Personal- und Produktionsprogrammplanung umgesetzt werden:

- Erhöhung der Transparenz des Personaleinsatzes und des Montageprozesses
- Glättung der Auslastungsschwankungen und Reduzierung von Hot- bzw. Cold-Spots um bis zu 30%
- Erhöhung der Mitarbeiterauslastung
- Nachweis der Baubarkeit eines Produktionsprogramms

Während des Projektes wurde auch klar, dass das Simulationswerkzeug auch einen wertvollen Beitrag bei der Neu- und Umplanung von Montagelinien leisten kann.

Die im Rahmen des Forschungsprojektes erarbeitete Lösung stellt einem marktnahen Prototyp der Planungslösung dar. Bei der Evaluierung des Planungsmodelles konnte mit Echtdateen einer PKW- und einer LKW-Montagelinie die Performance des Tools ermittelt werden. Die Laufzeiten und Planungsergebnisse zeigten, dass das Werkzeug im täglichen operativen Planungseinsatz den Anforderungen entspricht.

In weiterer Folge besteht die Möglichkeit das Planungswerkzeug noch mit einer Qualifikationsmatrix der einzelnen Mitarbeiter zu erweitern und eventuell noch Leistungsgrade zu hinterlegen und zu berücksichtigen.

Literatur

- Abele, E., Liebeck, T. & Wörn, A. (2006) Measuring Flexibility in Investment Decisions for Manufacturing Systems. *Annals of the CIRP* 55, 433-436.
- Auer S, Winterer T, Mayrhofer W, März L, Sihh W (2010) Integration of Personnel and Production Programme Planning in the Automotive Industry, Proceedings, Int. Conf. on Manufacturing Systems, Vienna, Austria, May, 26.-28. 2010,
- Boysen N, Ringle C (2007) Über die Optionsbündelung auf die Ablaufplanung einer Variantenfließfertigung, *Zeitschrift für Planung & Unternehmenssteuerung* 18: 301-321
- Boysen N (2005) Variantenfließfertigung. Deutscher Universitätsverlag/ GWV, Wiesbaden
- Decker M (1993) Variantenfließfertigung. Physika-Verlag, Heidelberg.
- März L, Tutsch H-J, Auer S, Sihh, W (2010) Integrated Production Program and Human Resource Allocation Planning of Sequenced Production Lines with Simulated Assessment. Sihh, W., Kuhlmann, P. [Hrsg.]: Sustainable Production and Logistics in Production Networks, NWV, Wien, 2010 forthcoming
- März L, Winterer Th, Mayrhofer W, Sihh W (2010): Integrierte Programm- und Personaleinsatzplanung sequenzierter Produktionslinien. In: März L, Krug W, Rose O, Weigert G (Eds): Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik. Springer
- Meyr H (2004) Supply chain planning in the German automotive industry. *OR Spectrum* 26: S 447-470
- Monden Y (1993) Toyota Production System. An integrated approach to just-in-time, 2. Aufl. Norcross
- Reinhart, G., Berlak, J., Effert, C. & Selke, C. (2002) Wandlungsfähige Fabrikgestaltung. *ZWF*, 97, 18-23.
- Scholl A (1999) Balancing and sequencing of assembly lines, 2. Aufl. Physika-Verlag, Heidelberg
- Solnon C et al. (2008) The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem. *European Journal of Operational Research* 191:3: 912-927
- VDI (2010) Automobilindustrie hat noch Flexibilitätsreserven. *VDI nachrichten* 8. Januar 2010 Nr 1 S 10 Technik und Wirtschaft
- Nyhuis, P./ Reinhart, G./ Abele, E. (2008): Wandlungsfähige Produktionssysteme: PZH Produktionstechnisches Zentrum