

# Strategische Fabrikleistungs- und Netzwerkplanung

Referenzmethoden und Engineering-Werkzeuge zur strategischen Fabrikleistungs- und Netzwerkplanung

C. Constantinescu, O. Abdul Rahman, J.M. Jäger

Dr.-Ing. Carmen Constantinescu, Dipl.-Ing. Omar Abdul Rahman, Dipl.-Ing. Jens Michael Jäger

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Nobelstr. 12, D-70569 Stuttgart

Tel. +49 (0)711 / 970-1934, oder -1865 oder -1899

Fax +49 (0)711 / 970-1004

E-Mail: clc@ipa.fhg.de (C. Constantinescu) oder ora@ipa.fhg.de (O. Abdul Rahman) oder jej@ipa.fhg.de (J. M. Jäger)

Internet: www.ipa.fraunhofer.de

Am Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) wurden zwei innovative Methoden mit den dazugehörigen Engineering-Werkzeugen für die strategische Fabrikplanung und Optimierung entwickelt. Das erste Werkzeug zielt auf die strategische Fabrikleistungs- und Investitionsplanung ab und wird »FLIP« bezeichnet. Das zweite Werkzeug »vProNet« wird zur strategischen Netzwerkplanung eingesetzt. Bei der Umsetzung dieser Methoden wurden technische und wirtschaftliche Kennzahlen unter Berücksichtigung gesetzlicher Vorschriften und Marktanforderungen mit einbezogen. Mit Hilfe dieser Engineering-Werkzeuge können Planungsszenarien modelliert und hinsichtlich definierter Kriterien bewertet werden.

At the Fraunhofer-Institute for Manufacturing Engineering and Automation, two innovative methods and the corresponding engineering tools for the factory planning and optimization have been developed. The first one aims at strategic factory performance and Investment planning evaluation further named »FLIP«. The second one focuses on the strategic planning of production networks and is named »vProNet«. Within the implementation of these methods, technical and economic indicators as well as legal requirements and market demands were taken into account. Using these engineering tools, planning scenarios can be modeled and evaluated regarding defined criteria.

## 1 Einleitung

Die Globalisierung der Märkte sowie der damit zusammenhängende Wettbewerbsdruck nehmen ständig zu [1]. Dies stellt Unternehmen und deren Entscheidungsträger vor enorme Herausforderungen [2]. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, müssen Unternehmen in fast allen Märkten mit eigenen Kapazitäten vor Ort präsent sein, womit eine starke Erhöhung der Komplexität in der strategischen Planung globaler Produktionsnetzwerke einhergeht. Aufgrund der turbulenten Märkte wird eine weitsichtige Planungssicherheit in der strategischen Fabrikplanung und hier insbesondere in den Bereichen Fabrikleistungs- und Investitionsplanung immer notwendiger. Im Vordergrund steht dabei „das Ziel der Erwirtschaftung von Erträgen und Gewinnen“ [3]. Weiterhin führt dies zu einer steigenden Bedeutung der Standort- und Netzwerkplanung mit dem Ziel der flexiblen sowie kostenidealen Verteilung der Wertschöpfung [4, 5]. Diese Problemstellung war in der Vergangenheit hauptsächlich für Großunternehmen relevant. Heute nimmt deren Bedeutung auch für mittlere Unternehmen zu.

Um Leistungseinheiten vorausschauend sowie Produktionsnetzwerke wertschöpfungsideal zu planen, sind eine Verringerung der notwendigen Investitionskosten und eine deutliche Reduzierung des Aufwands für die Standort- und Netzwerkplanung erforderlich. Am Fraunhofer-Institut IPA werden die Referenzmethoden »FLIP« zur strategischen Fabrikleistungs- und Investitionsplanung sowie »vProNet« zur Konfiguration und Optimierung von Produktionsnetzwerken einschließlich der dazugehörigen Engineering-Werkzeuge entwickelt.

## 2 Ähnliche Ansätze

Um diese neuen Methoden und Engineering-Werkzeuge einzuordnen, werden in diesem Kapitel die bereits bestehenden Ansätze analysiert, die als Basis für die später vorgestellten Arbeiten dienen. Die

Fabrikleistungs- und Investitionsplanungsphase ist weder standardisiert noch einheitlich definiert. Als Beispiel finden sich in der VDI Richtlinie 5200 »Fabrikplanung« die Inhalte der Fabrikleistungs- und Investitionsplanung im Planungsbereich der Grundlagenermittlung und der Informationsauswertung. Dabei handelt es sich um die Berechnung erforderlicher Kennzahlen, die Erstellung einer Planungsbasis und anschließend die Kontrolle der Zielsetzung [6]. Die zunehmende Herausforderung der Unternehmen ist für Westkämper die systematische Entwicklung der Produktion sowie die Abstimmung von Unternehmensstrategie und Produktionsentwicklung [7].

Der Ansatz von Aggteleky lokalisiert die Leistungs- und Investitionsplanung in der Konzeptplanung und dort wiederum in der Teilaufgabe Konzeptstudie mit den Segmenten Bereichsplanung sowie Kosten- und Investitionsplanung [8]. Während Leistungs- und Investitionsplanung sich für Hernandez innerhalb der Vorbereitungs- und Strukturierungsphase befinden [9], haben die Aufgaben der Fabrikplanung für Grundig den Charakter von Projekten innerhalb der Planungsphasen Vorplanung sowie Grobplanung [10] und sind wie bei Kettner über mehrere Planungsphasen verteilt [11]. Bei Zürn [12] werden in der Grobplanung die Hauptmerkmale zur Umsetzung der strategischen Zielsetzung, zu Vorgehensweise und Zielen sowie zu Leistung und Kosten festgelegt. Ein weiterer Ansatz, beruhend auf Günther, ist es, diese Planungsinhalte in den Segmenten der Infrastrukturgestaltung des Produktionssystems, der Strukturierung der Produktionspotenziale sowie der Personalkapazitätsplanung einzuordnen [13]. Im Ansatz von Wiendahl sind die Planungsinhalte in den Planungsbereichen Planungsbasis und Produktionsanforderungen enthalten [14]. Schuh und Hermann ordnen diese Planungsinhalte in ihrem Planungsmodell der Kernaufgabe Produktionsprogrammplanung zu [15, 16]. Eine weitere Möglichkeit ist, wie bei Helbing die Zuordnung der Teilaufgaben Leistungsplanung und Fabrikinvestitionsplanung in den Bereich der Fabrikprojektierung [17]. In den bestehenden Arbeiten fehlt eine durchgehend detaillierte Systematik unter Einbeziehung der unterschiedlichen Ansätze und deren Integration in ein CAP-System.

Neben der Fabrikleistungsplanung wird im Bereich der strategischen Standort- und Netzwerkplanung seit über 20 Jahren wissenschaftlich geforscht, um die Komplexität von globalen Produktionsnetzwerken mit Hilfe von mathematischen und rechnergestützten Methoden beherrschbar zu machen. Eines der ersten Modelle zur Untersuchung von Standortänderungen, die sich durch neu zu verteilende Kapazitäten ergeben, wurde von Hagedorn bereits im Jahr 1994 entwickelt. Dieses Modell basierte auf der Zerlegung eines Produktionsnetzwerks in zwei Ebenen, Teilmodell der Zentrale sowie Teilmodell der Produktionsstandorte. Diese Ebenenteilung sowie eine entsprechende Zuordnung der Geld- und Materialströme stellen die Basis für das von Hagedorn entwickelte Simulationsmodell zur Analyse zukünftiger Entwicklungen innerhalb der Produktprogramm- sowie Potenzialplanung dar [18]. Diese Grundidee zur Zerlegung des Produktionsnetzwerks in verschiedenen Ebenen adoptierten Shellberg und Merchiers und erweitern dies zu einem Dreiebenen-Modell (Netzwerk-, Standort sowie die Produktionsmodulebene). Während die einzelnen Standorte sowie die dazugehörigen Rollen auf der Netzwerkebene bestimmt werden, ist die Produktionsprogrammplanung auf der Standortebene so durchzuführen, dass die Produktionsprozesse nur auf der Produktionsmodulebene detailliert geplant werden können [19, 20]. Der Schwerpunkt eines weiteren Ansatzes von Meyer, der nicht auf dieser Grundidee basiert, liegt auf einem quantitativen Modell, mit dem alternative Standortstrukturen besser gestaltet und bewertet werden können. Dieses Modell ermöglicht die Ermittlung der kostenoptimalen Standortstruktur [21]. Während die bisher erwähnten Forschungsansätze sich mit dem Thema der quantitativen und qualitativen Standort- und Netzwerkplanung auseinander setzen, bestehen noch weitere Ansätze unter anderem auf der Industrieseite, bei denen der Fokus auf der Kostenanalyse einzelner Produktionsstandorte, ohne die Erweiterung des Produktionsnetzwerks, liegt. Das KostSim von Wunderlich [22] sowie das monetäre Bewertungsmodul von Kohler [23] stellen zwei verbreitete Lösungen zur Kostensimulation dar. Ein weiterer Ansatz, der ein Verfahren zur multikriteriellen Entscheidung mit einem Simulationsmodell zur Abbildung von Netzwerkalternativen verknüpft, zielt auf die Entscheidungsunterstützung für die Konfiguration globaler Produktionsnetzwerke. Dieser Ansatz behandelt die Bewertung von Produktionsalternativen unter Berücksichtigung qualitativer und quantitativer Kriterien sowie Dynamik und Unsicherheit [24]. Zusammengefasst existieren einige Forschungs- sowie Industrieansätze im Bereich der mathematischen und rechnergestützten Netzwerkplanung sowie der Kostenanalyse an Produktionsstandorten. Die Mehrheit dieser Ansätze betrachtet die Auswahl und die Bewertung von Standortstrukturalternativen im Rahmen der Standortwahl. Hierfür wird meist ein statisches mathematisches Optimierungsmodell entwickelt, mit dem Material- und Geldflüsse untersucht und optimiert werden können. Dynamische Modelle, mit denen zeitliche Verläufe untersucht werden können, finden sich nur vereinzelt wieder.

### 3 Referenzmethode und Engineering-Werkzeug zur Fabrikleistungs- und Investitionsplanung

Die Hypothese, welche die Grundlage für die Entwicklung einer Referenzmethode und eines Engineering-Werkzeugs zur Fabrikleistungs- und Investitionsplanung darstellt, ist die folgende: In der

strategischen Fabrikleistungs- und Investitionsplanung gibt es einen Mangel an Engineering-Werkzeugen zur Entscheidungsfindung, daher werden Entscheidungen häufig erfahrungsbasiert und aufgrund von unscharfen Informationen getroffen.

Um diesem Mangel entgegen zu wirken, wird basierend auf den bereits untersuchten Ansätzen für eine Referenzmethode und ein digitales Engineering-Werkzeug zur Fabrikleistungs- und Investitionsplanung folgende Zielesetzung definiert: Der Zweck ist eine verbesserte Vorschau auf die Kennzahlen der Lebenszykluskosten und der technischen Leistung der Produktionseinrichtungen (zum Beispiel Anlagen oder Maschinen) aus der Sicht der Produktion, bereits während der strategischen Fabrikplanung sowie eine Prognose zur Identifizierung von Einsparungen oder Mehraufwand zu einem frühen Planungszeitpunkt. Die Referenzmethode und das Engineering-Werkzeug betrachten Fragestellungen bezüglich der Kapazitätsverteilung, der Synchronisierung der Durchlaufzeit, der Beschäftigungsentwicklung sowie der Auswirkungen von Rationalisierungsmaßnahmen.

### 3.1 Systematik und Vorgehensweise zur Fabrikleistungs- und Investitionsplanung »FLIP«

Für die Fabrikleistungs- und Investitionsplanung ergeben sich durch vorgelagerte Planungsschritte in der strategischen Planung angenommene Vorgaben und Festlegungen für die Absatzmärkte, die Produkttypen und jeweiligen Leistungsklassen, die Technologieentwicklungen, die Erlöse aus dem Verkauf sowie die Entwicklungs-, die Produktions- und die Vertriebskosten. Auf der Grundlage dieser Bestimmungen erfolgen die Analyse von Produktionsweisen und technischen Produktionseinrichtungen sowie die Definition des Bedarfs an den Produktionseinrichtungen. Im Kern gibt es dazu die Unterteilung in zwei Planungsebenen sowie in zehn Planungsschritte (**Bild 1**). Die zwei Planungsebenen werden parallel und iterativ bearbeitet, wobei die zehn Planungsschritte übergreifend mit den Ebenen verknüpft sind. Für die Planungsebenen werden durch die Anpassung der Leistungskennzahlen verschiedene Planungsszenarien generiert, iterativ optimiert und anschließend bewertet. Die erste Ebene umfasst die technische Planung. Hierbei werden für die Leistungseinheit unter anderem die Nutzungszeit, der Kapazitätsbestand, die Planung des notwendigen Personals und die Auslastung der Leistungseinheit berücksichtigt. Die zweite Ebene betrachtet die betriebswirtschaftliche Planung. Hierzu gehören die Entstehungs-, die Instandhaltungs-, die Fertigungseinzel-, die Fertigungsgemein-, die Verwertungs- sowie die Herstellungskosten aus Sicht der Produktion einschließlich Aussagen zur Wirtschaftlichkeit. Das Ergebnis sind Empfehlungen für die zu verwendenden Produktionseinrichtungen und die zu tätigen Investitionsentscheidungen.

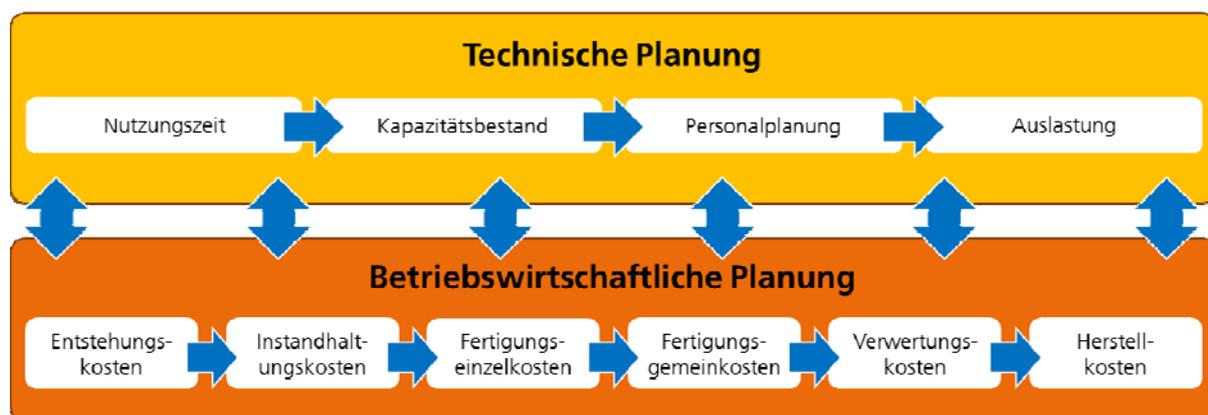


Bild 1: Kern der Fabrikleistungs- und Investitionsplanung mit zwei Ebenen und zehn Planungsschritten

### 3.2 Nutzen »FLIP«

Für den Planer ist der Nutzen der entwickelten Referenzmethode und des Engineering-Werkzeugs eine klare Zuordnung der Verantwortlichkeiten und eine eindeutige Rollenverteilung. Zusätzlich ist der Nutzen für den Entscheider eine sichere und schnelle Planung verschiedener Planungsalternativen. Leistung und Kosten werden in einer Vorschau bereits zu einem frühen Planungszeitpunkt untersucht. Für die Umsetzung dieser Methode wurden mehrere Technologien methodisch analysiert, bewertet und verglichen. Auf Basis der Untersuchungsergebnisse wurde ein CAP-System (Process Designer von Siemens Industry Software) als Basis für die Implementierung ausgewählt, das die Planung, Optimierung und Organisation von Produkten, Prozessen und Ressourcen einer Fabrik sowie die Visualisierung, Planung und Optimierung des Fabriklayouts ermöglicht. Das Engineering-Werkzeug ist nach der Struktur der Referenzmethode aufgebaut. Die Implementierung wurde mittels C#, XML- und XSD-Programmierung umgesetzt.

#### 4 Referenzmethode und Engineering-Werkzeug »vProNet«

Um die Komplexität globaler Produktionsnetzwerke zu beherrschen, werden eine Methode und ein Engineering-Werkzeug zur idealen<sup>1</sup> Verteilung der Wertschöpfung in globalen Produktionsnetzwerken auf strategischer Ebene der Fabrikplanung entwickelt. Zur Entwicklung dieser Referenzmethode wurden existierende Verfahren zur Kosteneinteilung betrachtet, entsprechende Kostenmodelle analysiert und in einem weiteren Schritt bewertet. Auf Basis der Ergebnisse konnte ein neues Kostenmodell entwickelt werden, welches die entstehenden Kosten innerhalb eines Produktionsnetzwerks beinhaltet und in der Methode integriert ist. Bei der Entwicklung des Kostenmodells sowie für dessen Integration werden basierend auf der Grundidee von Merchiers drei verschiedene Level betrachtet: Das Netzwerk-, das Standort- sowie das aus verschiedenen Produktionsmodulen bestehende Produktionslevel (**Bild 2**).

Mit dem entwickelten Werkzeug soll die Verteilung der Wertschöpfung auf existierende und/oder neugeplante Produktionsstandorte unter Berücksichtigung dynamischer Aspekte sowie Unsicherheitsfaktoren mit Hilfe der Simulation untersucht werden. Da die Untersuchung simulationsgestützt durchgeführt werden soll, soll der Detaillierungsgrad der Materialflüsse nach dem Pareto-Prinzip<sup>2</sup> gewählt werden. Daher werden bei dieser Untersuchung der Wertschöpfungsverteilung in der strategischen Planung nur die kostenintensiven Komponenten/Baugruppen eines Produktes berücksichtigt. Im Vergleich zu den vorgestellten Ansätzen wird in dieser Methode eine detaillierte Kostenverteilung hinterlegt, eine transparente Produktnachverfolgung ermöglicht sowie eine kontinuierliche Kosten- und Unsicherheitsbetrachtung berücksichtigt.

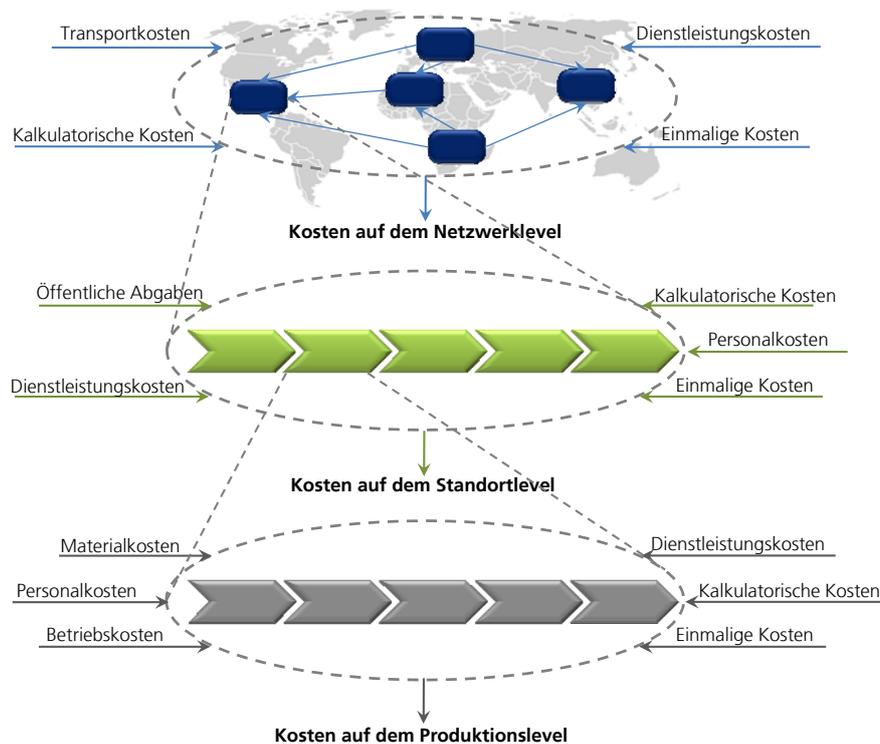


Bild 2: 3-Levelmodell mit der dazugehörigen Kostenverteilung

#### 4.1 Systematik und Vorgehensweise »vProNet«

Das entwickelte Engineering-Werkzeug deckt mehrere Phasen ab, um die Wertschöpfung in globalen Produktionsnetzwerken ideal verteilen zu können. Nach der Analyse der Produkt-, Kosten- sowie Produktionsstruktur wird ein Simulationsmodell aufgebaut. Bei der Entwicklung von Produktionsszenarien

<sup>1</sup> Die ideale Verteilung der Wertschöpfung wird in dieser Arbeit definiert als: möglichst hoher Erfüllungsgrad der zur Bewertung von Produktionsszenarien vordefinierten, gewichteten Zielkriterien (z. B. Durchlaufzeit, Produktionskosten, Produktqualität).

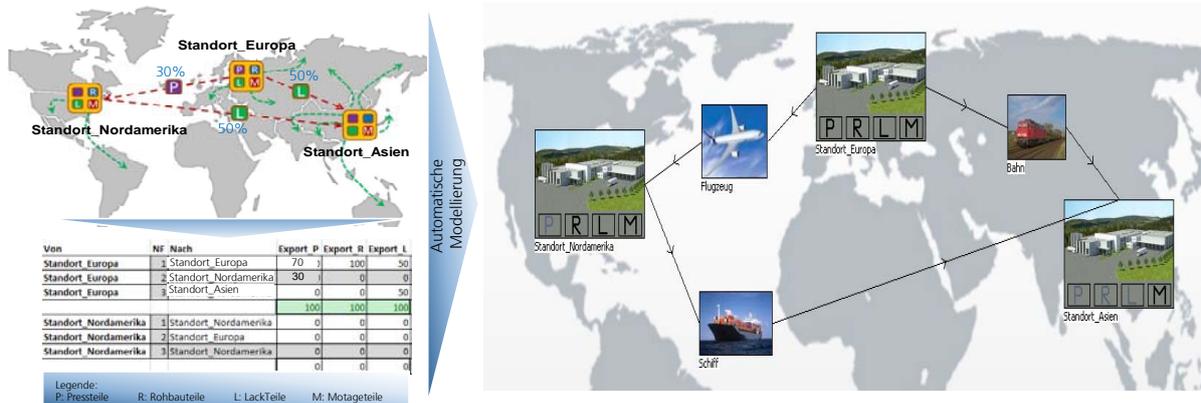
<sup>2</sup> Das Pareto-Prinzip besagt, die Funktionselemente eines Modells werden von einem bereits geringen Anteil der Informations- sowie Materialflüsse beeinflusst und aus diesem Grund die Darstellung dieser Elemente zur Erstellung eines Modells ausreichend ist [25, 26].

werden einzelne Standorte in Abhängigkeit von Produktbaugruppen/-komponenten, deren Produktionsmengen, sowie den dafür notwendigen Transportmitteln verknüpft. Neben diesen Kernaktivitäten werden weitere Parameter hinsichtlich des Produktes, der entsprechenden Kosten sowie der Produktionsstruktur so ausgewählt, dass die Ergebnisse nach erfolgreicher Durchführung von Simulationsstudien klar interpretiert werden können. Hierbei ist zu beachten, dass eine ausreichend große Anzahl an Simulationsläufen pro Simulationsstudie zur Absicherung der Aussagekraft der ermittelten Kennzahlen durchgeführt werden sollte, da stochastische Aspekte zur Berücksichtigung des dynamischen Verhaltens des Produktionsnetzwerks integriert werden. Auf Basis der ermittelten Kennzahlen sowie deren entsprechenden Visualisierung können die Szenarien hinsichtlich definierter Kriterien bewertet und miteinander verglichen werden, um schließlich die Wertschöpfung in globalen Produktionsnetzwerken ideal zu verteilen. In **Bild 3** ist ein Produktionsszenario für einen Automobilhersteller hinsichtlich der Produktionskosten, der Produktqualität sowie der Durchlaufzeit zu untersuchen, in dem die Nachfrage nach Fahrzeugen in Asien permanent steigt. Aktuell werden 30% der am Heimatstandort Europa produzierten Pressteile nach Nordamerika transportiert. Aufgrund der Nachfrage sollen 50% der lackierten Karossen von Nordamerika nach Asien auf dem Seeweg transportiert werden. Am asiatischen Standort sollen 50% der Lackkarossen aus Europa importiert werden.

#### 4.2 Nutzen »vProNet«

Der Nutzen dieser Referenz-Methode und dieses Engineering-Werkzeugs ist neben der Reduzierung

Bild 3: Konfiguration und Modellierung eines Produktionsnetzwerks



des Planungsaufwandes durch eine bibliotheksbasierte und benutzerfreundliche Simulation die intuitive Modellierung von Szenarien sowie eine verbesserte Produkt- und Kostennachverfolgung. Die Bibliothek des Engineering-Werkzeugs besteht aus vordefinierten Bausteinen, die sich auf die drei Level beziehen und somit den benutzerfreundlichen Aufbau des gesamten Produktionsnetzwerks per drag&drop ermöglichen. Produkt- sowie Kosteninformationen werden im Laufe einer Simulation erfasst, verarbeitet und stehen jederzeit zur Verfügung, um nachzuverfolgen, wo beziehungsweise wann das Produkt hergestellt wurde, wo beziehungsweise wann dessen Baugruppen/-Komponenten produziert wurden, was das Produkt kostet und wie sich die Kosten zusammensetzen. Für die Umsetzung dieser Methode wurden mehrere Werkzeuge zur ereignisorientierten Simulation (DES) analysiert, bewertet und verglichen. Auf Basis der entstandenen Ergebnisse kam Plant Simulation (von Siemens Industry Software) zum Einsatz. Für die Parametrierung des Modells sowie zu deren Auswertung wird MS-Excel (von Microsoft Corporation) eingesetzt.

#### 5 Zusammenfassung

»FLIP« und »vProNet« als zwei innovative Methoden unterstützen die strategische Planung von Fabriken. Deren Umsetzung in Engineering-Werkzeugen vereinfacht die Aktivitäten der Planer bei der Berechnung der Fabrikleistung und der dafür notwendigen Investition sowie bei der Gestaltung der Struktur von Produktionsnetzwerken. In diesen Engineering-Werkzeugen werden neben den gesetzlichen Vorschriften und den Marktanforderungen sowohl technische Kennzahlen als auch wirtschaftliche Kennzahlen berücksichtigt. Darauf aufbauend können verschiedene Planungsszenarien entwickelt, modelliert und anschließend hinsichtlich vordefinierter Kriterien bewertet werden. Die nächsten Schritte sind die Weiterentwicklung der beiden Methoden und die Kopplung der Engineering-Werkzeuge zur Vergrößerung der Planungstiefe sowie zur Gewährleistung deren Informationsaustauschs.

#### Literatur

[1] Risse, J.: Time-to-Market-Management in der Automobilindustrie: ein Gestaltungsrahmen für ein logistikorientiertes Anlaufmanagement. Haupt, Bern 2003, ISBN 3258066566.

- [2] Klöpfer, R.: Konfiguration der internationalen Produktionswertschöpfungskette. Eul, Lohmar 2000.
- [3] Westkämper, Engelbert: Einführung in die Organisation der Produktion. Berlin; Heidelberg u.a.: Springer, 2006.
- [4] Fleischer, J., Herm, M., Schell, M.-O.: Wertschöpfung in Netzwerken – Integrierte Planungsmethodik zur Konfiguration von globalen Produktionsnetzwerken; in ZWF – Zeitschrift für wirtschaftlichen Fabrikbetrieb, Jahrgang 99 (2004), Heft 9, S. 470-476.
- [5] Kinkel, S., Lay, G., Jung Erceg, P.: Produktionsverlagerungen und Auslandsproduktion im deutschen verarbeitenden Gewerbe-Stand, Trend, Motive und Effekte, in Kinkel, S.: Erfolgsfaktor Standortplanung: in- und ausländische Standorte richtig bewerten, Springer, Berlin, 2004, S. 17-31.
- [6] VDI 5200: VDI 5200 Fabrikplanung; Düsseldorf, 2009
- [7] Westkämper, Engelbert: Technologiekalender als Instrument der strategischen Planung. In: Forschungs- und Technologiemanagement/ Hrsg. D. Spath. München; Wien: Hanser, 2004, S. 149-160.
- [8] Aggteleky, B.: Fabrikplanung Werksentwicklung und Betriebsrationalisierung. 2., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage. München; Wien: Hanser, 1987.
- [9] Hernández M. R.: Systematik der Wandlungsfähigkeit in der Fabrikplanung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 2003. Zugl. Hannover, Universität, Diss., 2003.
- [10] Grundig, C.-G.: Fabrikplanung. Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. 2. aktualisierte Auflage. München; Wien: Hanser, 2006.
- [11] Kettner, H.; Schmit, J.; Greim, H.-R.: Leitfaden der systematischen Fabrikplanung; Hanser, München, 1984.
- [12] Zürn, M.: Referenzmodell für die Fabrikplanung auf Basis von Quality Gates; Jost Vetter Verlag Heimsheim 2010; IPA- IAO Forschung und Pra-xis, Universität Stuttgart, Dissertation 2010.
- [13] Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik, 6., verbess. Aufl. Berlin u.a. : Springer, 2005.
- [14] Wiendahl, H.-P.; Reichardt, J.; Nyhuis, P.; Handbuch Fabrikplanung - Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten; Hansa, München, 2009. VDI 5200: VDI 5200 Fabrikplanung; Düsseldorf, 2009
- [15] Schuh, G.: Produktionsplanung und -steuerung; Springer, Berlin, 2006.
- [16] Herrmann, C.: Ganzheitliches Life Cycle Management, 2010. Heidelberg u.a.: Springer, 2010
- [17] Helbing, K. W.: Handbuch Fabrikprojektierung. Heidelberg u.a. : Springer, 2010
- [18] Hagedorn, A.: Modellgestützte Planung und Kontrolle von Produktionsstandorten. Univ., Diss.--Hildesheim, 1992, Dt. Univ.-Verlag, Wiesbaden.
- [19] Schellberg, O.: Effiziente Gestaltung von globalen Produktionsnetzwerken. Techn. Hochsch., Diss.--Aachen, 2002. Shaker, Aachen, 2002.
- [20] Merchiers, A.: Bewertung globaler Standortstrukturalternativen im Maschinenbau. Techn. Hochsch., Diss.--Aachen, 2008, Apprimus-Verlag, Aachen.
- [21] Meyer, T.: Globale Produktionsnetzwerke. Ein Modell zur kostenoptimierten Standortwahl. Techn. Univ., Diss.--Darmstadt, 2005. Shaker, Aachen.
- [22] Wunderlich, J.: Kostensimulation. Simulationsbasierte Wirtschaftlichkeitsregelung komplexer Produktionssysteme. Meisenbach, Bamberg, Erlangen, 2002.
- [23] Kohler, U.: Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme. Techn. Univ., Diss.--München, 2007. Utz, München, 2008.
- [24] Entscheidungsunterstützung für die Konfiguration globaler Wertschöpfungsnetzwerke : Ein Bewertungs unter Berücksichtigung multikriterieller Zielsysteme, Dynamik und Unsicherheit Aachen : Shaker, 2010. (Forschungsberichte aus dem wbk Institut für Produktionstechnik Universität Karlsruhe (TH); 157). (Karlsruhe, Univ., Fak. für Maschinenbau, Institut für Produktionstechnik, Diss. 2010).
- [25] Bierwirth, T.: Virtuelle Logistikplanung für die Automobilindustrie. Methoden und Modelle im Rahmen der Digitalen Fabrik. Techn. Univ., Diss.--Clausthal, 2003. Shaker, Aachen, 2004.
- [26] Klug, F.: Logistikmanagement in der Automobilindustrie. Grundlagen der Logistik im Automobilbau. Springer, Heidelberg, 2010.

Bild 1: Kern der Fabrikleistungs- und Investitionsplanung mit zwei Ebenen und zehn Planungsschritten

Bild 2: 3-Level-Modell mit der dazugehörigen Kostenverteilung

Bild 3: Konfiguration und Modellierung eines Produktionsnetzwerks