Praxisrelevante Optimierungsstrategien für die simulationsbasierte dynamische Dimensionierung von Produktionssystemen (DYNAMIS-P)

Dipl.-Inf. Sven Hader, TU Chemnitz, Professur Modellierung und Simulation
Dr.-Ing. Andrea Kobylka, HÖRMANN-RAWEMA GmbH Chemnitz
cand. ing. Udo Kreißig, TU Chemnitz (IVM PROPLANT GmbH Chemnitz)

1. Einleitung

Die aktuelle Marktsituation für Unternehmen ist gekennzeichnet durch zunehmenden Konkurrenzdruck einerseits und wachsende Kundenforderungen, vor allem nach hoher Produktindividualität und -qualität sowie kurzer Lieferzeit, hoher Liefertreue und niedrigem Preis, andererseits. Kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit ihren typischerweise geringen personellen und finanziellen Ressourcen sind dadurch in besonderem Maße gezwungen, geeignete Maßnahmen zur Steigerung ihrer Flexibilität und Effizienz bei gleichzeitiger Reduzierung der Kosten zu ergreifen, um am Markt bestehen zu können. Eine derartige, erfolgversprechende Maßnahme stellt die *Dynamisierung* der Struktur von Produktionssystemen dar. Diese eröffnet die Möglichkeit, die Art, Anzahl, Anordnung und/oder Verbindung von Ressourcen des Produktionssystems (Fertigungs- und Transporteinrichtungen, Speicher und Werker), wenn notwendig, kurzfristig und bei laufender Produktion dem aktuellen Kapazitätsbedarf anzupassen. Dadurch kann kostengünstig die Leistungsflexibilität des Systems erhöht werden, wodurch es möglich wird, effizient auf Schwankungen in Art und Umfang des Produktionsprogramms zu reagieren.
Die Planung und speziell die Dimensionierung[1] derartiger dynamischer Produktionssysteme stellt erhöhte Anforderungen an die verwendeten Methoden. Methoden zur statischen Dimensionierung abstrahieren von den dynamischen Wechselwirkungen in Produktionssystemen und vernachlässigen somit die zeitabhängige Veränderung des Kapazitätsbedarfs. Dynamische Methoden hingegen betrachten auch die zeitabhängigen Relationen zwischen den Elementen des Systems, somit können auch die im Produktionssystem ablaufenden Prozesse berücksichtigt werden. Da bei der Planung von Produktionssystemen mit dynamischer Struktur insbesondere die Reaktionsfähigkeit auf Schwankungen des Kapazitätsbedarfs von zentralem Interesse ist, kommen für ihre Dimensionierung nur dynamische Methoden in Frage.
Die Anforderungen an Genauigkeit und Detailliertheit der Modelle, die bei einer flexibilitätsorientierten Dimensionierung dynamischer Produktionssystemstrukturen zum Einsatz kommen, lässt i.allg. keine Alternative zum Einsatz der *Simulation*. Durch die aufgrund der Komplexität der modellierten Strukturen z.T. erheblichen Simulationsdauern wird somit die verfügbare Zeit ein wesentlicher Faktor im Dimensionierungsprozess und die Verwendung effizienter Methoden eine zwingende Notwendigkeit.
In diesem Beitrag wird die Methode DYNAMIS-P zur simulationsbasierten dynamischen Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität vorgestellt, eine Erweiterung dieser Methode durch das hybride Optimierungssystem DynamO beschrieben sowie ein Anwendungsbeispiel aus dem Bereich Montage in der Automobilindustrie dargelegt.

[1] Die *Dimensionierung* von Produktionssystemen umfasst die Gesamtheit der Planungsaktivitäten, die zu Aussagen über die Elementmenge des Systems führen (Auswahl, Anzahlbestimmung) /SCHM-95/.

2. Dynamische Dimensionierung von Produktionssystemen mit DYNAMIS-P

DYNAMIS-P ist eine Methode zur dynamischen Dimensionierung von Produktionssystemen mit einem definierten Potential an Leistungsflexibilität, die am IBF von A. Kobylka im Rahmen ihrer Dissertation entwickelt wurde /FÖKO-99/, /KOBY-00/. Ziel ist die Ermittlung der minimalen Anzahl statischer und dynamischer Ressourcen, bei der die Einhaltung der Durchlaufzeitrestriktionen der Aufträge noch gewährleistet ist. Die Methode baut auf einer definierten Feinstruktur und Systemlast des Produktionssystems auf, die zuvor durch einen konventionellen Planungsprozess bestimmt wurden, und umfasst die folgenden Planungsschritte:

1. Modellierung eines Basismodells
   In diesem Schritt wird ein experimentierfähiges Simulationsmodell des zu dimensionierenden Produktionssystems erstellt, die zu betrachtenden Systemlastvarianten abgeleitet sowie Zielgrößen (Ressourcen-, Kapazitätsbedarfsprofile, etc.) für die durchzuführenden Simulationsexperimente festgelegt.
2. Dynamische Dimensionierung
   In diesem Schritt wird, getrennt für jede der betrachteten Systemlastvarianten, zuerst eine Anfangslösung für die Systemstruktur ermittelt und diese anschließend optimiert. Zur Ermittlung der Anfangslösung stehen verschiedene Verfahren zur Verfügung, die über eine prioritätsgeregelte Belegung von Ressourcen sowie über eine parameterabhängige Aktivierung und Deaktivierung eine aktive dynamische Dimensionierung der Ressourcen unmittelbar in der Simulation realisieren. Die Optimierung der Anfangslösung erfolgt durch schrittweise Ressourcenreduzierung entsprechend einer vorgegebenen Methodik.
3. Ableitung der Planungslösung
   In diesem Schritt werden die ermittelten Strukturen der einzelnen Systemlastvarianten integriert und in die Planungslösung überführt. Für dynamische Ressourcen sind Flexibilisierungsmaßnahmen auszuwählen. Die resultierende dynamische Produktionssystemstruktur wird abschließend simuliert, um ihre Eignung nachzuweisen.

Das Hauptanwendungsgebiet von DYNAMIS-P ist bei der Planung und Steuerung von Produktionssystemen mit stark schwankenden Auftragsströmen zu sehen, die vor allem in Unternehmen mit variantenreicher kundenorientierter Serienproduktion zu finden sind.

3. Erweiterung von DYNAMIS-P um eine automatische hybride Optimierung

In praktischen Untersuchungen konnte die Leistungsfähigkeit von DYNAMIS-P nachgewiesen werden. Es zeigte sich aber ebenfalls, dass einerseits zur Anwendung der Methode speziell geschulte Fachleute (simulationserfahrene Fabrikplaner) notwendig sind und andererseits diese Fachleute wegen des bisher nur geringen Automatisierungsgrades der Methode über einen längeren Zeitraum gebunden werden. Um die Automatisierung des Dimensionierungsprozesses voranzutreiben und somit die beteiligten Fachleute zu entlasten, wurde nach rechnergestützten Verfahren gesucht, die die in der zweiten Planungsstufe (s.o.) durchzuführende Optimierung der Systemstruktur, die bisher manuell erfolgte, in vergleichbarer oder besserer Qualität selbsttätig realisieren.
Mit diesem Ziel wurden von S. Hader im Rahmen des Innovationskollegs „Bildung eines vernetzten Logistik- und Simulationszentrums“ der TU Chemnitz umfangreiche theoretische Untersuchungen und praktische Tests durchgeführt /HADE-00/. Da die

bisher verwendete, manuelle Methode (schrittweise Ressourcenreduzierung basierend auf der Auswertung von Kapazitäts- und Ressourcenbedarfsprofilen) nur schwer exakt algorithmierbar und damit im Rechner abbildbar ist, wurde der Eigenentwicklung eines leistungsfähigen Optimierungsverfahrens der Vorzug gegeben. Dieses Verfahren sollte unter möglichst guter Ausnutzung der für die Dimensionierung zur Verfügung stehenden Zeit qualitativ hochwertige Lösungen ermitteln und dabei einfach bedienbar sein.
Erste Untersuchungen von heute gängigen Optimierungsverfahren (Zufallssuchverfahren, Gradientenverfahren, Evolutionäre Algorithmen u.a.) ergaben, dass bestimmte Verfahren zwar schnell terminierten, dafür aber nur Lösungen minderer Qualität lieferten, während andere Verfahren hochwertige Lösungen lieferten, dafür aber übermäßig viel Zeit benötigten /HADE-00/. Außerdem zeigte sich, dass das Verhalten der Optimierungsverfahren z.T. erheblich von den gewählten Verfahrensparametern (Schrittweiten, Abbruchkriterien u.ä.) abhängig war, die korrekte Einstellung dieser Parameter jedoch, zumindest für den ungeübten Nutzer, durchaus ein nichttriviales Problem darstellen könnte. Aus diesen Gründen wurde im weiteren Verlauf der Forschungstätigkeit ein neuartiges Konzept für ein *adaptives hybrides Optimierungsverfahren* erarbeitet (siehe Abbildung 1, /HADE-99/).

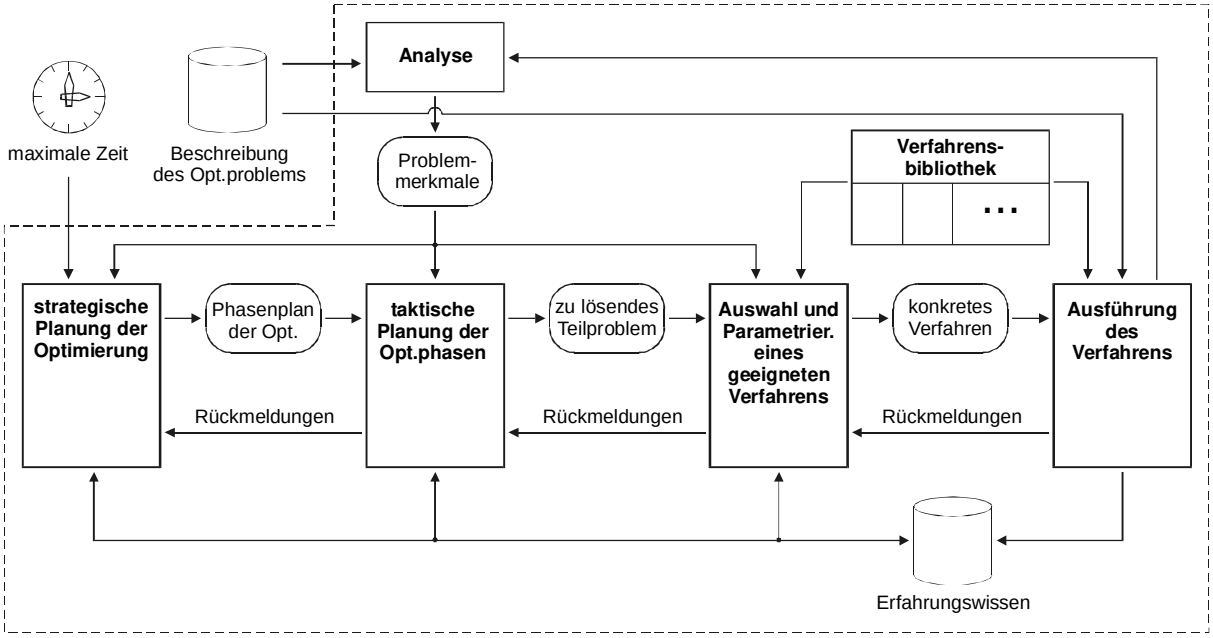

Abbildung 1: Aufbau des adaptiven hybriden Optimierungsverfahrens

Dieses Verfahren wird als „hybrid“ bezeichnet, da zur Problemlösung eine Kombination verschiedener Optimierungsverfahren verwendet wird, bei der sich möglichst die Stärken der Einzelverfahren ergänzen und deren Schwächen aufheben. Als „adaptiv“ wird es bezeichnet, da es nicht mit einer fest vorgegebenen Kombination arbeitet, sondern entsprechend den Merkmalen des zu lösenden Problems die zu verwendenden Einzelverfahren aus einer Bibliothek auswählt, geeignet parametriert und nacheinander ausführt. Diese Synthese aus der Verwendung verschiedener, sich ergänzender Optimierungsprinzipien einerseits und der selbsttätigen Anpassung an das zu lösende Problem andererseits bewies in praktischen Tests ihre Vorzüge gegenüber „klassischen“ Verfahren. Besonders Kombinationen aus Genetischem Algorithmus und der Methode von Hooke & Jeeves lieferten bei der Dimensionierung dynamischer Produktionsstrukturen hochwertige Ergebnisse in annehmbarer Zeit.

Das entwickelte Konzept wurde in Form des Optimierungssystems **DynamO** implementiert (siehe Abbildung 2). Das System besteht aus den drei Modulen DPOpt (hybrider Optimierer), DPWOpt (fensterorientierte Bedienoberfläche) und PDBconv (Adapter zur Produktionsdatenbank) und ist universell einsetzbar.

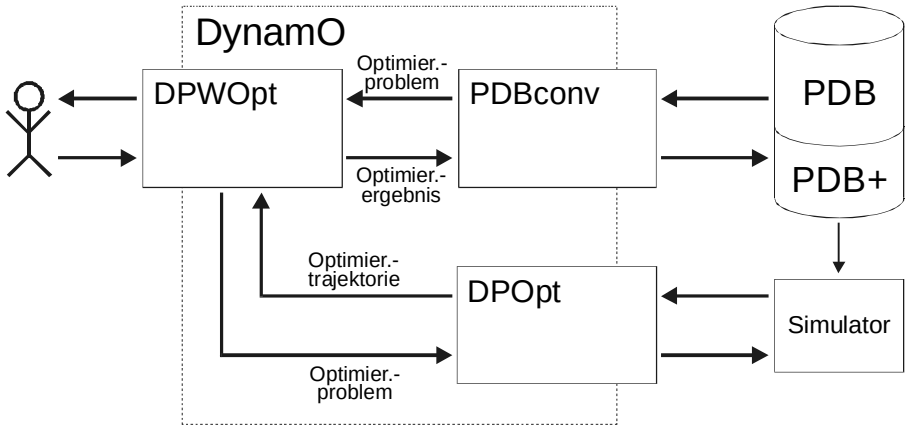

Abbildung 2: Das Optimierungssystem DynamO

Beim Einsatz von DynamO als Erweiterung von DYNAMIS-P werden aus der im Innovationskolleg entwickelten Produktionsdatenbank (PDB, enthält die betrieblichen Daten eines Unternehmens) automatisch die notwendigen Daten gelesen, ein entsprechendes Optimierungsproblem (Minimierung der Ressourcenzahlen unter Einhaltung der Durchlaufzeitrestriktionen) formuliert, der Produktionssystemsimulator konfiguriert, die eigentliche Optimierung durchgeführt und die Ergebnisse in der PDB abgelegt, wo sie von anderen Softwaresystemen weiterverwendet werden können. Somit konnte ein wesentlicher Teil von DYNAMIS-P ohne Qualitätsverluste automatisiert werden, was zu einer spürbaren Reduzierung der Planungszeiten beiträgt.

4. Anwendungsbeispiel - Simulation einer Montagelinie mit flexiblen Ressourceneinsatz

Ausgangssituation

Als Aufgabe stand, ein flexibles Simulationsmodell zu entwickeln, welches sich erstens modular erweitern und zweitens ohne großen Modifikationsaufwand auf alle Fließbandmontagen der Welt anwenden lässt, um deren Bedarf an Werkern bei unterschiedlicher Auslastung zu ermitteln. Die Pilotlösung hierfür wurde für das Unternehmen Daimler-Chrysler Ludwigsfelde entwickelt, welches alle notwendigen Daten ihrer VARIO-Linie für die Untersuchungen zur Verfügung stellte.

Vorgaben von Daimler-Chrysler

Daimler-Chrysler Ludwigsfelde benötigte ein Planungsinstrument, um einerseits ein Auslaufszenario der VARIO-Linie bis 2004 mit sinkenden Produktionsstückzahlen bei gleicher Taktanzahl darstellen und andererseits die benötigten Werkerzahlen für diese Fälle bestimmen zu können.
Die zweite Problematik war, dass Daimler-Chrysler die Werker bei Anlauf der neuen Linie des Vans VANEO, welcher in der gleichen Halle parallel zum Transporter VARIO produziert wird, im Störungsfall und Produktionsstillstand auf die alte VARIO-Linie umlagern kann und den Arbeitsausfall dieser mit einer temporär steigenden VARIO-Produktion kaschieren kann. Zu diesem Zweck muss kurzfristig das Verhältnis zwischen Produktionsstückzahl und benötigter Werkeranzahl bestimmbar sein.

Vorstellung des Modells

Das Modell ist mit der Simulationssoftware Taylor ED entworfen wurden. Es handelt sich hierbei um eine Taktsequenz aus modular zusammenstellbaren unterschiedlich großen Taktbausteinen. Für Sonderfälle müssen diese speziell einer Modifikation unterzogen werden. Mittels dieses Planungswerkzeuges ist es möglich, innerhalb kurzer Zeit Montagelinien abzubilden und den Bedarf an der Ressource Mensch flexibel bezüglich variabler Stückzahlen zu ermitteln. Hierdurch besteht nun die Möglichkeit, schon vor der Layoutplanung eine Simulation des Produktionssystems durchzuführen und den Bedarf an der flexiblen Ressource Mensch zu bestimmen.

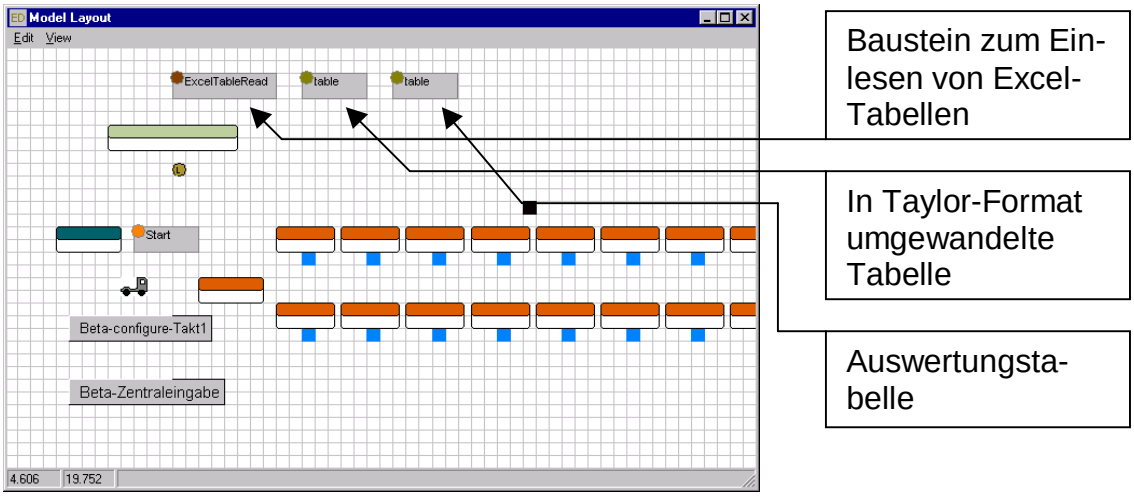

Abbildung 3: Kopf des Simulationsmodells "VARIO-Linie"

Die Grundlage des zu simulierenden Systems bilden die Daten aus einer einzulesende Excel-Tabelle.

Ausblick und Nutzen

Dieses Planungswerkzeug wird die Grundlage der Layoutplanung der IVM PROPLANT GmbH bei zukünftigen Planungsaufgaben in der Automobilindustrie bilden. Damit lässt sich der planerische Zeitaufwand minimieren und gleichzeitig die Qualität der zu erwartenden Planungsergebnisse wesentlich steigern.

Literatur

/FÖKO-99/ Förster, A.; Kobylka, A.: *Planung von Produktionssystemen für hoch dynamische Produktionsprogramme*. In: Tagungsband TBI’99, TU Chemnitz, S. 111-112

/HADE-99/ Hader, S.: *Ein Multiagentenansatz zur Realisierung selbstadaptierender hybrider Optimierungsverfahren*. Chemnitzer Informatik-Bericht CSR-99-03, TU Chemnitz, 1999, S. 79-88

/HADE-00/ Hader, S.: *Hybride Optimierung als Werkzeug zur Lösung von KMU-relevanten Planungs- und Steuerungsproblemen*. Forschungsbericht des Innovationskollegs „Bildung eines vernetzten Logistik- und Simulationszentrums“, TU Chemnitz, 2000

/KOBY-00/ Kobylka, A.: *Simulationsbasierte Dimensionierung von Produktionssystemen mit definiertem Potential an Leistungsflexibilität*. Dissertation, Fakultät für Maschinenbau und Verfahrenstechnik, TU Chemnitz, 2000

/SCHM-95/ Schmigalla, H.: *Fabrikplanung - Begriffe und Zusammenhänge*. Carl Hanser Verlag, München, 1995