

Michael Völker, Sebastian Carl und Oliver Rose

## Simulationsbasierte Personaleinsatzplanung für komplexe Montagesysteme

### 1 Einleitung

An der TU Dresden wird zurzeit in Kooperation mit mehreren Industriepartnern unter Begleitung der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF) „Otto von Guericke“ e. V. eine neuartige Heuristik für die Planung komplexer, personalintensiver Montageprozesse entwickelt. Ziel dieses Projektes ist die Unterstützung der operativen Montageplanung und -steuerung durch ein leistungsfähiges Hilfsmittel. Dadurch soll für beliebige Auftragsszenarien, insbesondere im Störfall, mittels Berechnung optimaler Belegungsvarianten kurzfristig der für die aktuellen Ziele optimale Montageplan generiert werden. So kann man Materialüberbestände verringern und den sparsamen Ressourceneinsatz – Schwerpunkt in der Montage sind die Personalressourcen – unterstützen. Darüber hinaus werden die Montagedurchlaufzeiten verkürzt und die Liefertermintreue verbessert.

### 2 Charakteristische Merkmale komplexer Montageprozesse und Anforderungen an eine optimierte Planung und Steuerung

Charakteristika komplexer Montageprozesse sind meist stark vernetzte Montageprozessstrukturen mit einer großen Anzahl von in der Folge durchaus variierbaren Arbeitsgängen, die ggf. eine Parallelbearbeitung am Produkt ermöglichen (vgl. Bild 4). Zudem fordern zugehörige Montagesysteme flexibel einsetzbare manuelle und technische Ressourcen [4]. Die hohe Komplexität des Montageprozesses resultiert aber auch aus diversen kundenspezifisch variierenden Produkten, die zeitlich parallel in einer Montagehalle durch ein geschlossenes Mitarbeiterteam

(Teilautonome Arbeitsgruppe) möglichst effizient zu montieren sind. Typisch ist dies heutzutage vor allem für den Maschinen-, Anlagen- und Großfahrzeugbau. Es kann somit von einer Auftragsfertigung mit großer konstruktiv-struktureller Individualität der Erzeugnisse ausgegangen werden. Bild 1 zeigt ein derartiges Produktbeispiel.

Niedrige Stückzahlen und komplizierte Montageprozesse erfordern oft speziell ausgerüstete Montagestationen und verhindern daher eine flexible, wahlfreie Belegung der Montagestationen, hier Bauplätze genannt. Ein hohes Maß an Flexibilität ist notwendig, um die auftragspezifischen Arbeitsmengenschwankungen zwischen den einzelnen Bauplätzen auszugleichen. Fundamentales Stellglied hierfür ist die Variation der Mitarbeiterressourcen.

Die Wechselbeziehung von eingesetzter Mitarbeiteranzahl und daraus resultierender Montagedurchführungszeit ist bei bekanntem Arbeitsumfang in Form von Kapazitätskennlinien darstellbar (vgl. Bild 2).

Allerdings bestehen hinsichtlich der einsetzbaren Mitarbeiteranzahl Grenzen. Die untere Grenze resultiert aus dem Minimum der technologisch erforderlichen Werkerkapazität, die obere aus der technologisch sinnvollen maximalen Mitarbeiteranzahl oder auch aus räumlichen Restriktionen (gegenseitige Behinderung der Mitarbeiter). Somit ergibt sich für die Montageplanung und -steuerung durch die Variation der Personalzuteilung auf die Bauplätze ein erheblicher Spielraum, in dem die Durchführungszeiten beeinflusst und letztendlich sogar Taktzeiten abgeglichen werden können.

Bei vertiefter Betrachtung der vorliegenden Problemstellung zeigt sich, dass für die operative Planung und Steuerung komplexer Montagen zwei voneinander abhängige und daher simultan zu lösende Aufgaben beste-

*In der Klein- und Mittelserienfertigung von Maschinen, Anlagen und Großfahrzeugen spielt die kostenintensive manuelle Montage bis heute eine dominierende Rolle. Ein Grund dafür sind die speziellen Anforderungen an das technische Handling der Bauteile und Baugruppen sowie die teils komplizierte geometrische Gestalt der Teile und Einbau-räume. Ein weiterer Grund besteht in der von den Herstellern zunehmend geforderten Produktvarianz. Dies bedingt immense Herausforderungen an eine effiziente Planung, Steuerung und Überwachung der Montageprozesse. Die Organisation der manuellen Montage derartiger Produkte ist jedoch schwer zu optimieren. Im Rahmen des nachfolgend vorgestellten Projektes wird ein neuer wissenschaftlich begründeter Lösungsansatz für die optimierte operative Einsatzplanung des Montagepersonals erarbeitet – ein hochkomplexes, sogenanntes Multiressourcen-Einsatzproblem.*

*In the production of small and mid-size series of machines, facilities and large vehicles the cost-intensive manual assembly still plays a dominating role. Both huge costs for the automated handling of the components and assemblies and the complicated geometry of the parts and the assembly space are reasons for manual assembly. In addition, the increasing product variance due to highly customized configurations creates a large variety of requirements with respect to efficient assembly process design for the manufacturers. The product variants demanded by the customers as well as the constantly increasing complexity of the products cause immense challenges to efficient planning, control, and monitoring of the assembly process. However, the management of such complex manual assembly lines is difficult to optimize. In this paper, the authors outline a simulation-based scheduling heuristic for solving this problem.*



Bild 1. Endmontierte Bogenoffsetdruckmaschine der RAPIDA-Baureihe (Quelle: König & Bauer AG)

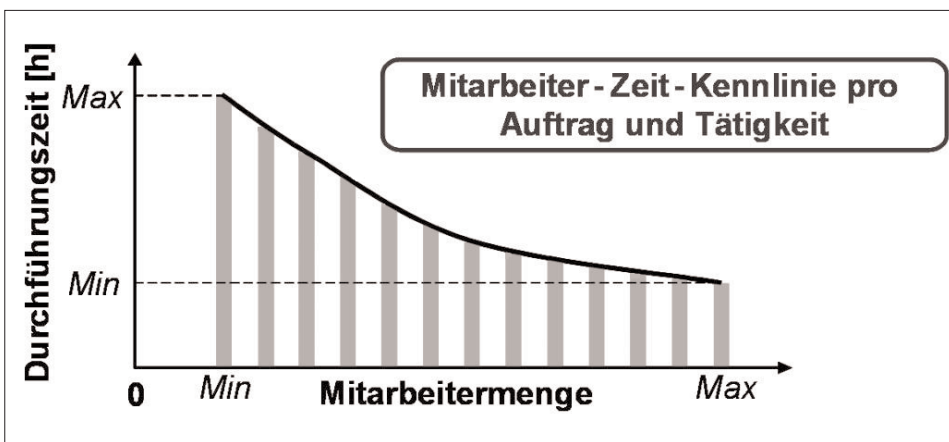


Bild 2. Beispiel einer Kapazitätskennlinie

hen: die Maschinenbelegungs- und die Personaleinsatzplanung (vgl. Bild 3). Aus Sicht der Betriebsforschung stellt dies ein erweitertes NP-schweres „Knapsack-Optimierungsproblem“ dar [3], d. h., die Bestimmung einer optimalen Lösung erfordert eine nicht akzeptable numerische Rechenzeit. Die klassische Zeitplanung wird mit einer Kapazitätsoptimierung gekoppelt. Daraus resultiert eine erhebliche Steigerung der Komplexität.

Im Rahmen der Maschinenbelegungsplanung werden allgemein Termine definiert und optimale Betriebsmittelbe-

legungen ermittelt [1]. Fixe Start- und Endtermine sind jedoch eine Voraussetzung für die Belegungsoptimierung. Durch Variation des Personaleinsatzes je Montagearbeitsgang können sich die Durchführungszeiten und damit auch die Fertigstellungstermine ändern. Daher muss die Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung mittels einer gemeinsamen Methodik erfolgen. Da die operative Montageplanung kurzfristigen Charakter besitzt, ist das aktuelle Ist-Personalangebot permanent zu berücksichtigen. Es besteht somit die Aufgabe der zieladäquaten Verteilung

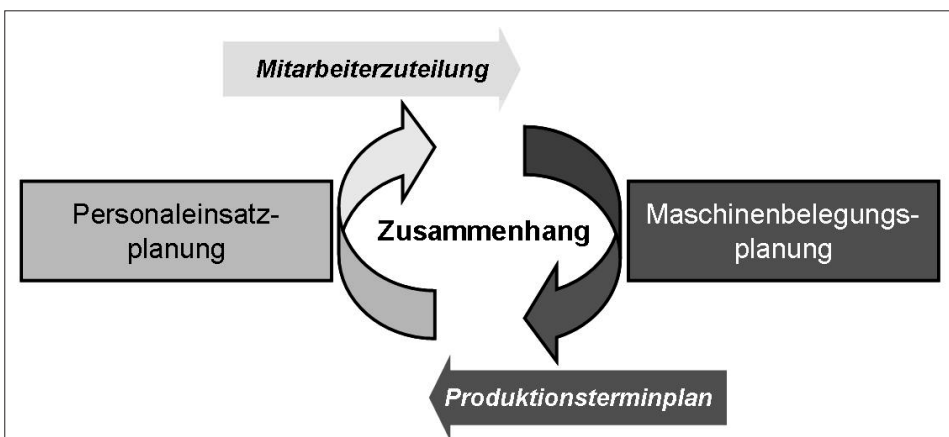


Bild 3. Aufgaben der operativen Planung und Steuerung komplexer Montagesysteme

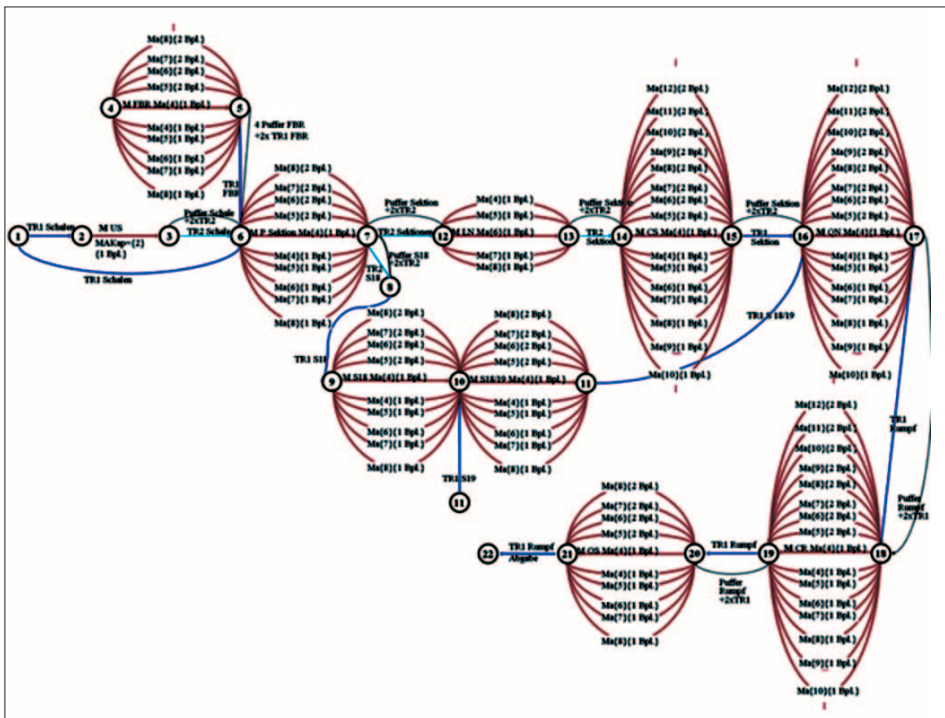


Bild 4. Vorgangspfeilnetzplan mit Montagealternativen einer Flugzeuggroßbaugruppe [6]

limitierter Ressourcen. Weil sowohl das Angebot an Bauplätzen als auch das an Mitarbeitern begrenzt ist, handelt es sich um ein erweitertes Rucksackproblem [8], d. h. ein Problem, das mit dem optimalen Packen eines Rucksacks verwandt ist. Durch die Überlagerung der beiden Planungsaufgaben entsteht eine sehr große Anzahl möglicher Planungslösungen, aus denen eine problemspezifisch optimale Variante zu wählen ist.

Verschiedene an der Technischen Universität Dresden durchgeführte Analysen kommerziell angebotener Leitstände sowie theoretisch beschriebener Konzepte ergaben, dass für den Einsatz in der operativen Montagesteuerung derzeit noch kein ausreichend leistungsfähiges System bzw. heuristischer Ansatz vorhanden ist. Gesucht wird ein Werkzeug bzw. ein Optimierungsverfahren, das die Flexibilität des Montagemitarbeiterinsatzes zum Ausgleich von Bedarfsschwankungen nutzt und gleichzeitig Ressourcenverschwendung und daraus resultierende Produktivitätsverluste verhindert.

Ein derartiges Montageplanungssystem erfordert eine praxisnahe und effiziente Modellierung des Montageprozesses sowie ein analytisches oder heuristisches Optimierungsverfahren mit kurzen Berechnungszeiten und ausreichend hoher Lösungsgüte. Im nachfolgenden Kapitel wird zunächst kurz das netzplanbasierte Modell zur Abbildung von Montageprozess, Montagesystem und Personalstruktur erläutert. Anschließend erfolgt im vierten Kapitel die detaillierte Beschreibung des entwickelten Verfahrens. Kapitel 5 umfasst eine Vorstellung erster Ergebnisse praktischer Tests bzw. Experimente.

### 3 Transformation der Montage und der Optimierungsziele in ein abstraktes Modell

Das Modell basiert auf der Netzplantechnik und bildet die gesamte Produktstruktur sowie den zeitlichen und technologischen Montageprozess mit allen Alternativen in Form von Vorgangspfeil-Netzplänen (VPN) ab [11]. In Vorgangspfeil-

Netzplänen werden Arbeitsgänge bzw. Sequenzen von Arbeitsgängen als Pfeile dargestellt, die mit weiteren Attributen versehen werden können, wie zum Beispiel den für die Durchführung benötigten Ressourcen. Aus diesen Pfeilen wird ein Netzwerk gebildet, das den Montageablauf in einem für den Planungsprozess angemessenen Detaillierungsgrad beschreibt. Jeder Produktionsauftrag wird als eigenständiges Projekt mit spezifischen Produkt-, Prozess- und Ressourcendaten sowie einem spezifischen Netzplan definiert.

Die universelle Notation in Vorgangspfeil-Netzplänen ermöglicht die Modellierung beliebiger Montage Modelle bei theoretisch unbegrenzter Variation der Prozessparameter, wie zum Beispiel Ressourcen-Zuordnungsalternativen. Aufgrund der Vielfältigkeit der Abbildungsmöglichkeiten wird nachfolgend näher auf die Unterscheidung alternativer Prozessabläufe in der Netzplannotation eingegangen.

Es werden drei Arten von Vorgangsalternativen unterschieden:

1. quantitative Variation der Mitarbeiterressourcen
2. qualitative Ressourcenzuordnungsvarianten und
3. alternative Teilprozessketten.

Die Modellierung (Visualisierung) alternativer Mitarbeitermengen-zuordnungen erfolgt mittels paralleler Vorgänge – sogenannter Vorgangsmodi [9]. Diese sind disjunkt, d. h., es darf jeweils nur eine Alternative gewählt werden. Jeder Modus besitzt eine Vorgangsdauer, die von der zugeordneten Personalressourcenmenge abhängt. Alternative Zuordnungen technischer Ressourcen wie Montageplätze, Transport-, Puffer- oder Hilfsmittel sowie qualitative Mitarbeiteralternativen (Qualifikationsarten) werden ebenfalls mittels alternativer Vorgänge visualisiert. Letztere können dann wiederum Modi aufweisen. Die Darstellung alternativer Teilprozessketten erfolgt durch Nutzung unterschiedlicher Vorgangspfade (Wegalternativen). Bild 4 zeigt dazu einen vollständigen (alternativen) Beispiel-Netzplan für die Montage einer Flugzeuggroßbaugruppe. Insbe-

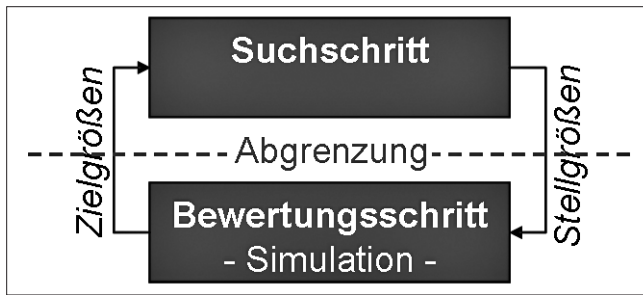


Bild 5. Optimierungsschleife [10]

sondere durch die Variation der Mitarbeiterressourcen pro Arbeitsschritt, dargestellt durch rote Vorgangspfeile (bis zu 16 spezifische Mitarbeiterzuordnungsvarianten je Vorgang), resultieren ca.  $10^{10}$  Montagevarianten, d. h. theoretisch mögliche Wege durch den Prozessgraphen. Typischerweise werden fünf bis sechs solcher Baugruppen gleichzeitig montiert.

Neben der Netzplannotation existiert zudem ein umfangreiches, an den praktischen Problemen orientiertes Restriktionensystem. Es besteht aus:

- einem Zeitrestriktionssystem für alle Arten von Terminschränken und Ressourcenverfügbarkeitskalendern
- einem Kapazitätsrestriktionssystem für Ressourcenlimitierungen und
- einem Regelsystem, um spezielle Prozessbedingungen, wie Maximalabstände von Vorgängen, Pufferbelegungen und Prioritäten, aufzunehmen.

Den Schwerpunkt stellt die Abbildung verschiedener Personalstrukturen, wie Arbeitsgruppen und Qualifikationen, und Arbeitszeitmodelle dar, da gerade in der Einzel- und Kleinserienfertigung hochflexible Gruppenarbeitsmodelle mit unternehmensspezifischer Ausprägung vorzufinden sind.

Ein weiteres wesentliches Modellierungsproblem besteht in der Abbildung der operativen Personalsteuerungsziele. Aus dem übergeordneten Ziel eines Unternehmens, den Gewinn zu maximieren, ergeben sich mehrere Unterziele, die teilweise konkurrierend zueinander stehen.

Die Minimierung der Durchlaufzeiten stellt heute ein prinzipielles Unternehmensziel dar. Jedoch wird darauf im operativen Bereich aufgrund der von der administrativen Planungsebene festgelegten Auftragsstart- und -endtermine wenig Einfluss genommen. Folglich muss das Ziel der Termineinhaltung als eine wesentliche Zielfunktion definiert werden.

Da der Fokus dieses Projektes primär auf den Personaleinsatz gerichtet ist, wird die Minimierung der erforder-

lichen Mitarbeiterressourcen ebenfalls als Zielfunktion definiert. Ist das Angebot vorgegeben, so besteht nun das Ziel in der maximalen Auslastung des vorhandenen Personals. Die Zusammenführung der Partialziele in eine gemeinsame Zielfunktion führt zur Suche nach einem kaum lösbaren Kompromiss [2]. Aus diesem Grund wird das Problem stufenweise in mehreren Optimierungsläufen mit jeweils variierender Zielfunktion gelöst.

#### 4 Simulationsbasierter Lösungsansatz für die optimierte Personaleinsatzplanung

Aufbauend auf dem netzplanbasierten Modell wurde ein heuristisches Verfahren entwickelt, das aus einer Kombination variierbarer Bausteine bzw. Module besteht. Um die Berechnungskomplexität zu reduzieren, wird das vorliegende Problem getrennt, sodass Personalzuordnung und Montageplatzbelegung für sich, aber nicht unabhängig voneinander realisiert werden können. Die Grundlage für die Rechnung bildet die simulationsgestützte Optimierung [10], die eine derartige Problemtrennung ermöglicht. So erfolgt die Lösungssuche generell in den zwei zyklisch zu durchlaufenden Schritten des Suchens und Bewertens (vgl. Bild 5).

Beginnend mit dem Suchschritt werden die Steuerparameter zur Berechnung einer Lösung im Zielraum ermittelt. Die Auswahl erfolgt durch Algorithmen, die in einem Regelkatalog hinterlegt sind und problemspezifisch ausgewählt bzw. angepasst werden. Danach findet die Weitergabe der Stellgrößen an den Bewertungsschritt statt, der sich aus einem Simulationsteil und einer Datenauswertung zusammensetzt.

Im Suchschritt wird zuerst mittels eines Generatormoduls im Simulator automatisch ein Modell mit entsprechenden Steuerparametern erstellt und anschließend unter Nutzung des Controllermoduls ein vollständiger Produktionsplan simuliert. Dieser wird nachfolgend hinsichtlich Zielerreichung bewertet und es wird entschieden, ob ggf. ein erneuter Durchlauf mit veränderten Steuerparametern erforderlich ist.

Die aktuelle Systementwicklungsstufe realisiert im Suchschritt eine determinierte Personalzuordnung, d. h., für jeden Vorgang existiert nur eine eindeutige, diskrete Personalzuteilungsvariante. Die restlichen Ressourcenalternativen verbleiben in den Basisplänen. Im Bewertungsschritt (Simulation) erfolgt unter Anwendung von Prioritätsregeln die Montageplatzbelegung, d. h. die Auswahl der technischen Ressourcen- bzw. Wegalternativen. Um eine optimale, den Zielen entsprechende Lösung zu finden, wird die Optimierungsschleife in der Regel mehrmals durchlaufen. Ferner existiert eine äußere Optimierungsschleife. Sie dient der Variation der Optimierungsziele,

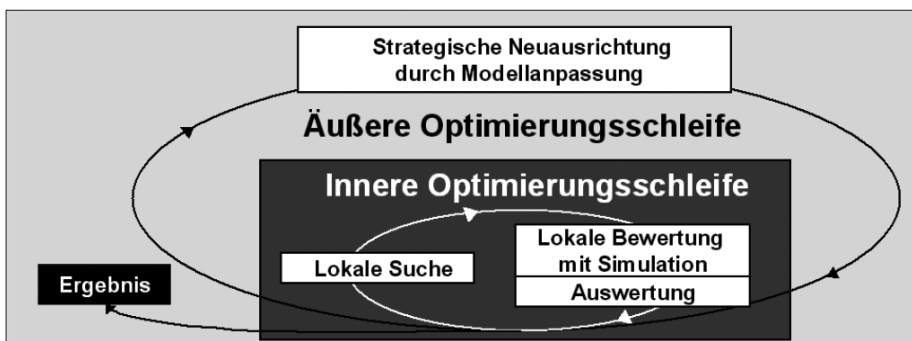


Bild 6. Zusammenhang der Optimierungsschleifen des Lösungsverfahrens [7]

detaillierter Modellrestriktionen, der Prioritätsregeln sowie der Abbruchbedingung der simulationsgestützten Optimierung. In Bild 6 ist der Zusammenhang der beiden Optimierungsschleifen dargestellt.

In der Systemendausbaustufe werden drei Simulationsstufen durchlaufen, die jeweils eine bestimmte „Sichtweise“ auf den Lösungsraum darstellen. Stufe 1 dient dem Testen der Grenzen des Lösungsraumes in Bezug auf die Verifizierung der Vorgabetermine. Die Produktionspläne werden mit der maximal möglichen Anzahl von Mitarbeitern und – daraus resultierend – minimaler Durchlaufzeit generiert. In Stufe 2 wird die Personalkapazität systematisch schrittweise gesenkt, sodass in Stufe 3 schließlich eine maximale Übereinstimmung von Kapazitätsbedarf und -angebot bei Liefertermineinhaltung erreicht wird. Im folgenden Kapitel werden erste Ergebnisse vorgestellt.

## 5 Durchführung von Simulationsexperimenten zur Validierung und Verifizierung des Lösungsansatzes

Das Projekt befindet sich derzeit in der Realisierungsphase. Die ersten beiden Simulationsstufen sind implementiert und werden umfassend getestet. Die Testdaten basieren auf Analyseergebnissen realer Montagesysteme verschiedener Industriepartner. Parallel dazu werden unter Nutzung klassischer Materialflusssimulatoren und unter Vernachlässigung der Personalressourcen extreme Produktionslastszenarien und stochastische Einflüsse der technischen Ressourcen simuliert, um eine möglichst umfassende Validierung des Montageplanungssystems zu erreichen [5].

Nachdem in Stufe 1 ein Produktionsplan mit minimaler Auftragsdurchlaufzeit bestimmt wurde, steht in Stufe 2 die Minimierung der erforderlichen Mitarbeiterressourcen im Mittelpunkt. Die systematische Reduzierung der Mitarbeiter pro Vorgang bedeutet gleichzeitig eine Streckung der Durchführungszeiten bis an die zulässigen Termingrenzen. In Stufe 3 wird die innere Schleife so lange durchlaufen, bis eine gültige Lösung der neuen Zielfunktion gefunden ist. Die Algorithmen hierfür befinden sich derzeit noch in der Entwicklung. Bild 7 visualisiert den Verlauf der durchschnittlichen Restzeit als Zeitdifferenz zwischen Liefertermin und Endtermin aller Aufträge für drei reale Montagemodelle (M1 bis M3).

Es zeigt sich, dass in Stufe 1 unter Einsatz maximaler Mitarbeiterressourcen zugleich auch die Restzeit pro Auftrag maximal ist. Beim Übergang von der ersten zur

zweiten Stufe wird diese dann schrittweise verringert. Am Ende des dritten Durchlaufes (Iterationen) der inneren Schleife ist der minimale Wert gefunden, sodass die zweite Stufe beendet werden kann. In der darunter liegenden Tabelle wird die mittlere Anzahl von Aufträgen mit negativer Restzeit dokumentiert. Dieser Wert bedeutet eine Überschreitung der Auftragsendtermine, sodass die Stufe noch nicht beendet werden kann.

Die Verteilung der Restzeit erfolgt im Suchschritt mit dem Restzeitverteilungsalgorithmus. Bei diesem werden den Aufträgen mit positiver Restzeit iterativ Mitarbeiter entzogen bzw. den Aufträgen mit negativer Restzeit umgekehrt wieder zugegeben. Durch diese schrittweise Streckung der Durchführungszeiten erfolgt die Minimierung der Restzeiten.

## 6 Zusammenfassung

Insbesondere kleine und mittlere Unternehmen (KMU) mit einem hohen Anteil manueller Montage unterliegen einem immensen Kostendruck. Die Planung, Steuerung und Überwachung der variantenreichen auftragsbezogenen Einzel- und Kleinserienmontage mit ihren vielfältigen Synchronisationsproblemen und ständig schwankenden Anforderungsprofilen wird gegenwärtig noch nicht effektiv beherrscht.

In diesem Aufsatz wurde die Entwicklung eines Lösungsansatzes für die optimierte operative Maschinenbelegungs- und Personaleinsatzplanung in komplexen Montagesystemen vorgestellt. Die Neuartigkeit des Ansatzes besteht in einer allgemeinen Modellierungsmethodik für beliebige Montagessysteme auf der Basis von Netzplänen in Verbindung mit einem speziellen heuristischen Algorithmus. In mehreren Iterationsschleifen wird das automatisch generierte Simulationsmodell schrittweise editiert. Es erfolgt die Ermittlung einer Planvariante, die alle definierten Zielfunktionen und Nebenbedingungen maximal erfüllt.

Die dabei angestrebte Produktivitätssteigerung resultiert insbesondere aus dem verringerten Personaleinsatz zur Bewältigung der Montageaufträge. Die Personaleinsparung wird im direkten Produktionsbereich der Montage sowie in der Logistik und in den indirekten Bereichen der Steuerung und Koordinierung erwartet. Gemeinsame Schätzungen aus den Fallbeispielprojekten zeigen hier ein Potenzial von bis zu 20 %, das sich überwiegend proportional in einer Kostenreduzierung widerspiegeln wird.

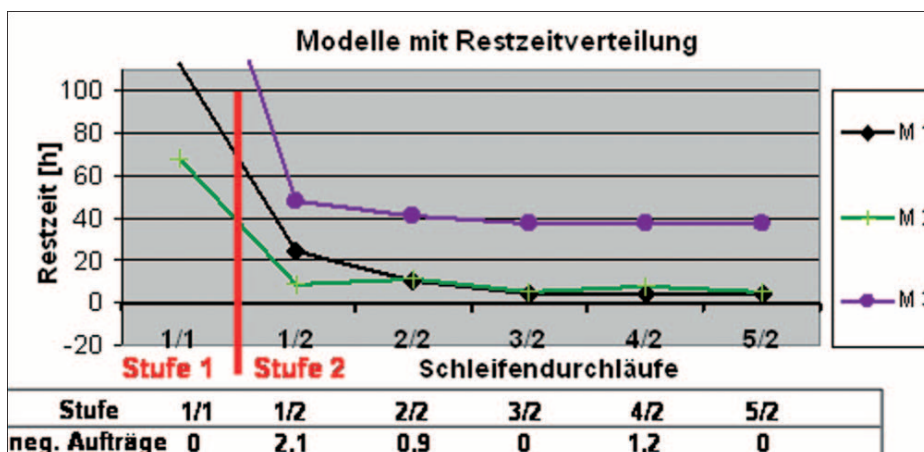


Bild 7. Restzeit der ersten und zweiten Stufe bei Restzeitalgorithmus

Gleichzeitig wird durch den optimierten Ressourceneinsatz die Auslastung der technischen und insbesondere der menschlichen Ressourcen „geglättet“. Es kommt folglich zu weniger Kapazitätsspitzen mit den bekannten negativen Auswirkungen. Darüber hinaus wird das Problem der Beherrschung der häufigen Störungen im täglichen operativen Arbeitsprozess unterstützt. Gegenmaßnahmen müssen nicht mehr subjektiv bzw. erfahrungsbasiert ergriffen werden, sondern erfolgen auf Basis der Optimierungsheuristik. Letztendlich wird auch die Liefertermineinhaltung verbessert, da der Produktionsplan bezüglich vorhandener Kapazitäten und der Einhaltung der Soll-Termine bereits vor der Produktionseinlastung verifiziert werden kann.

Ein weiteres Potenzial besteht in der Senkung der Durchlaufzeiten, die sich hauptsächlich aus der Verringerung der Materialbestände ergibt. Die Reduzierung der „planmäßigen“ Überbestände bildet ferner die Grundlage für die Optimierung der Montagelogistik und schafft die Voraussetzungen für die Realisierung von Materialbereitstellungskonzepten, wie zum Beispiel Just-in-time (JIT) und Just-in-sequence (JIS) für Großbauteile und -baugruppen.

## Literatur

- [1] *Corsten, H.*: Produktionswirtschaft. 10. Aufl. München: Oldenbourg, 2004
- [2] *Daub, A.*: Ablaufplanung: Modellbildung, Kapazitätsabstimmung und Unsicherheit. Köln: Josef Eul-Verlag, 1994
- [3] *Domschke, W.; Drexel, A.*: Einführung in Operations Research. Berlin: Springer, 2005
- [4] *Evers, K.*: Simulationsgestützte Belegungsplanung in der Multiressourcen-Montage. Dissertation. Leibniz Universität Hannover, 2002
- [5] *Flemming, V.*: Simulationsmodell als Testumgebung für einen Personalleistungsstand in der Flugzeugmontage. Dresden: „Simulation in Produktion und Logistik“, Tagungsunterlagen, 2007
- [6] *Füssel, U.; Rose, O.; Flemming, V.; Majohr, M.; Völker, M.*: Simulation und Steuerung von Montageprozessen im Flugzeugbau. Dresden: Vortrag zum Dresdner Füge-technischen Kolloquium, 2008
- [7] *Majohr, M. F.*: Heuristik zur personalorientierten Steuerung von komplexen Montagesystemen. Dissertation. TU Dresden, 2008
- [8] *Neumann, K.; Morlock, M.*: Operations Research. 1. Aufl. München: Hanser, 1993
- [9] *Salewski, F.; Schirmer, A.; Drexel, A.*: Project scheduling under resource and mode-identity constraints. In: European Journal of Operational Research **102** (1997), S. 88 – 110
- [10] *Sauer, W.*: Prozesstechnologie der Elektronik, Modellierung, Simulation und Optimierung der Fertigung. München: Hanser, 2003
- [11] *Schwarze, J.*: Netzplantechnik. 8. Aufl. Berlin: Neue Wirtschafts-Briefe, 2001

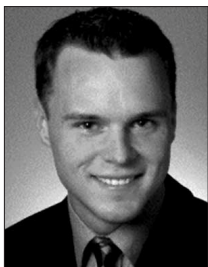
Manuskripteingang: 1.9.2008  
 Angenommen am: 22.10.2008



**Völker, Michael**  
 PD Dr.-Ing. habil.  
 Studium Maschinenbau/Betriebsgestaltung von 1976 bis 1980 an der TU Dresden ♦ 1988 Promotion zum Dr.-Ing. ♦ 2007 Habilitation zum Dr.-Ing. habil. ♦ seit 2008 Privatdozent am Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden



**Rose, Oliver**  
 Prof. Dr. rer. nat.  
 Studium Mathematik von 1986 bis 1992 an der Universität Würzburg ♦ 1997 Promotion zum Dr. rer. nat. ♦ 2005 Habilitation ♦ seit 2004 Professor für Modellierung und Simulation am Institut für Angewandte Informatik, Fakultät Informatik der TU Dresden



**Carl, Sebastian**  
 Dipl.-Wirtsch.-Ing.  
 Studium Wirtschaftsingenieurwesen von 2000 bis 2007 an der TU Dresden ♦ 2007 Studienabschluss als Diplom-Wirtschaftsingenieur ♦ seit 2007 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Technische Logistik und Arbeitssysteme, Fakultät Maschinenwesen der TU Dresden