

## **Einlastung von Montageaufträgen: Von der Simulation zur Integration in das operative Planungssystem der Fa. Nobilia**

### ***Dispatching of assembly orders: From a simulation study to the integration into the operative planning system at Nobilia***

Hermann Köhne, Nobilia-Werke J. Stickling GmbH & Co. KG, Verl (Germany),  
hermann\_koehne@nobilial.de

Kai Gutenschwager, Ostfalia Hochschule für angewandte Wissenschaften,  
Wolfenbüttel (Germany) und SimPlan AG, Braunschweig (Germany),  
k.gutenschwager@ostfalia.de

**Abstract:** In this paper we present a case study dealing with the dispatching of assembly orders at Nobilia, a German kitchen manufacturer. As the production quantity has increased significantly over the last years, the assembly had become a serious bottleneck. In order to increase the production throughput and avoid bottlenecks in the assembly lines a new dispatching approach has been developed, characterized by changing the general approach to a pull-system and the optimization of the order sequence of tours. Both changes were analyzed and further improved within a simulation study. Finally, the new approaches were integrated into the operative planning system at Nobilia, as the simulation study showed improvement potentials of the production productivity of about 10%.

## **1 Einleitung**

Mit einem Umsatz von 897,9 Millionen Euro und einer Mitarbeiterzahl von 2.446 im Jahre 2012 ist die Firma Nobilia in Deutschland der größte Küchenmöbelproduzent. An zwei deutschen Standorten werden pro Tag ca. 2.600 komplette Küchen mit insgesamt 26.000 Typen (Schränken) gefertigt. Dazu werden 5.000 Elektrogeräte (JIT) zur Kommission ausgeliefert. Die Firma Nobilia besitzt einen eigenen Fuhrpark mit 145 LKW und 500 Aufliegern. Das Frachtvolumen beträgt 2.135.000 m<sup>3</sup>/Jahr.

Im Zuge des enormen Wachstums der letzten Jahre zeigten sich Probleme bei der Abarbeitung der Produktionsmenge eines Tages. Obwohl die Gesamtzahl der eingelasteten Schranktypen die vorgegebenen Grenzwerte nicht überschritten, konnte die geforderte Anzahl oft nicht in der geplanten Tagesarbeitszeit gefertigt werden. Überstunden und Termenschwierigkeiten waren die Folge. Zur

Untersuchung und Behebung dieser Problematik wurde eine Simulationsstudie durchgeführt, die sich mit der Optimierung der Einlastungsstrategie und der Reihenfolgeplanung von Fertigungsaufträgen beschäftigte.

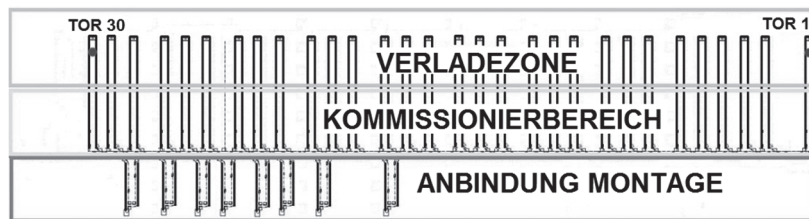
Die Problemstellung wird im folgenden Abschnitt näher beschrieben, um dann die im Rahmen einer Simulationsstudie entwickelten Steuerungsansätze vorzustellen und anschließend ihre Überführung in den operativen Betrieb zu thematisieren. Der Artikel endet mit einem kurzen Fazit und Ausblick auf weitere Entwicklungen.

## 2 Problemstellung

Art und Umfang der Produktion eines Tages wird bei Fa. Nobilia durch die Fuhrparkdisposition vorgegeben. Die Planungseinheit ist dabei die Tour, die der Ladung eines Aufliegers oder eines Containers entspricht, bestehend aus kompletten Küchenkommissionen und Einzelteilen. In der Fuhrparkdisposition wird für den Umfang der Produktion des zu planenden Tages als Obergrenze generell die Fertigungskapazität an Schranktypen berücksichtigt. Unterhalb dieser Schwelle werden alle zu fertigenden Artikel als gleichartig betrachtet. Weitere Einschränkungen bezüglich der Fertigungskapazität einzelner Artikel werden in der Regel bei der Planung der einzelnen Touren nicht betrachtet. Die auf diese Weise geplante Tagesproduktion wird an die Fertigung mit vier Tagen Vorlauf übergeben.

Auf den für die einzelnen Produktlinien (Hochschränke, Unterschränke und Wandschränke) vorgesehenen Montagebändern können prinzipiell alle Schranktypen aus dem Produktspektrum gefertigt werden. Aufgrund der unterschiedlichen Ausprägungen der Schranktypen variiert der Durchsatz allerdings in Abhängigkeit von der Produktionszeit für die einzelnen Schränke. Bei der Einlastung der Tagesproduktionsmenge werden diese Unterschiede aber nicht berücksichtigt. Typischerweise kommt es daher zu Verschiebungen bei der Fertigung der Schranktypen der einzelnen Touren auf den Montagebändern.

Nachdem die Fertigung abgeschlossen ist, werden die Typen der einzelnen Montagebänder dem Zieltor der Tour zugeführt. Jedes Verladetor ist dabei an einen Unterflurförderer angeschlossen. Der Unterflurförderer dient gleichzeitig als Sortierkreisel. Schematisch ist die Verladezone und der jeweils zugeordnete Kommissionierbereich in Abbildung 1 eingezeichnet. Da die Verladezone (pro Tor eine Fläche) im Prinzip den einzigen Puffer in der Schrankproduktion darstellt, führt eine Verzögerung bei der Fertigstellung einer Tour oftmals zu einer Behinderung der Schrankproduktion, im schlimmsten Fall zum Stillstand der Montage. Das Ziel der Einlastung muss demnach darin bestehen, Touren möglichst zusammenhängend zu produzieren, damit die entsprechende Verladezone möglichst kurz belegt wird und für weitere Aufträge zur Verfügung steht.



**Abbildung 1:** Anbindung der Montagelinien an den Versandbereich (Tore)

Der ursprüngliche Steuerungsansatz sieht eine Zuordnung von Touren zu sogenannten Freigaben im Sinne einer Batch-Bildung vor, wobei Touren vorab auch den Versandtoren zugeordnet werden. Alle Fertigungsaufträge einer Auftragsfreigabe werden gleichzeitig freigegeben, wenn die Aufträge der vorangegangenen Freigabe nahezu vollständig abgearbeitet sind. Damit soll sichergestellt werden, dass für jedes erste Holzteil einer Tour, das die Montagelinie durchlaufen hat, auch ein Tor zugeordnet werden kann und somit Stillstands-Situationen für die Montagebänder nahezu ausgeschlossen werden.

Mit diesem Ansatz kann allerdings keine gleichmäßig hohe Auslastung der Versandflächen an den Toren erreicht werden. Damit einher gehen Verluste bezüglich des Durchsatzes der Montage. Da die Produktionsmengen in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen sind, wurde die Montage schließlich zu einem Engpass, der zunächst durch zusätzliche Schichten abgefangen wurde. Gleichzeitig beschäftigte sich die Firma Nobilia aber auch mit Möglichkeiten, die Leistung der Montage signifikant zu verbessern. Ein möglicher Ansatz wurde in der Umstellung auf ein Pull-System gesehen, wobei die Verladezone das ziehende Element ist: Sobald eine Verladefläche frei ist, wird die nächste noch nicht zugeordnete Tour, deren erste Holzteile die Montage durchlaufen haben, gezogen; vgl. Günther und Tempelmeier (2012) zu einer Übersicht unterschiedlicher Steuerungsansätze. Mit diesem Ansatz verbunden stellt sich zudem die Frage nach einer optimalen Einlastungsreihenfolge der Touren, so dass der Durchsatz maximiert wird. Mit beiden Problemstellungen beschäftigte sich eine Optimierungs- und Simulationsstudie. Diese wird im folgenden Abschnitt näher vorgestellt. Die hier entwickelten Verfahren wurden anschließend in die operative Steuerung übernommen. Die entsprechende Überführung wird abschließend thematisiert.

### **3 Simulationsgestützte Entwicklung eines neuen Planungskonzepts**

In diesem Abschnitt gehen wir auf eine Simulationsstudie ein, die zum Ziel hatte, eine neue Planungslogik für die Einlastung von Aufträgen für die Montagebänder zu entwerfen und Potentiale zur Erhöhung des Durchsatzes auszuweisen. Die Studie gliederte sich in zwei Teile. Zunächst wurde ein Grobmodell der Anlage entworfen, um den bisherigen Steuerungsansatz mit einer zu entwickelnden Pull-Steuerung zu vergleichen. Anschließend wurde für das Reihenfolgeproblem der Einlastung der Touren ein Optimierungsverfahren auf Basis von Tabu Search entwickelt.

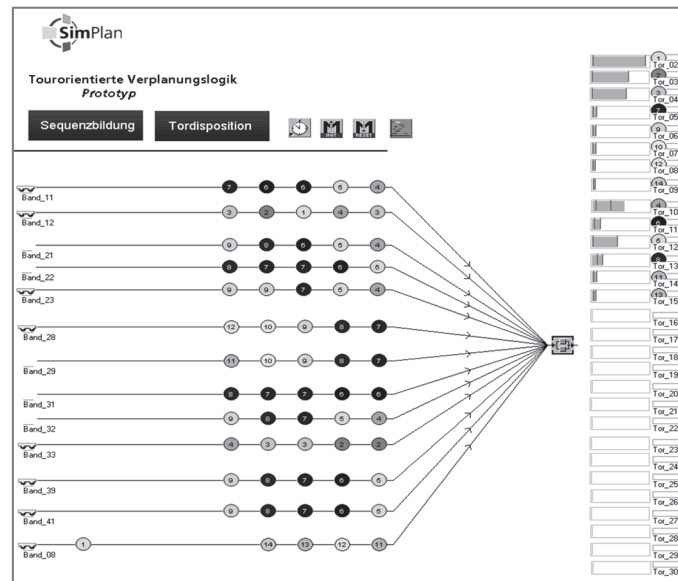
### 3.1 Simulative Bewertung der Einführung eines Pull-Ansatzes für die Zuordnung von Touren zu Versandflächen

Basis für das Simulationsmodell, das von der Simplan AG unter *Tecnomatix Plant Simulation* der Fa. Siemens (vgl. Bangsow 2011) entwickelt wurde, sind die 13 Montagebänder des Werks 1 und die Zuordnung der darauf zu fertigenden Schranktypen. Montagebänder für das gleiche Artikelspektrum sind zu acht Bandgruppen zusammengefasst. Zur Vereinfachung des Modells wurde als Kapazitätsgrenzen für die Bandgruppen die Produktionsleistung über alle Schranktypen pro Stunde eingesetzt.

In Abbildung 2 ist das Modell dargestellt. Es besteht aus den Modulen der *Verplanung* (Sequenzbildung), der *Torverwaltung* sowie den Bandgruppen und 33 Toren mit der jeweiligen Belegung. Die Teile, die der Montage (in der Quelle) angedient werden, kommen in Wagen aus der vorgelagerten Produktionsstufe.

Die (vereinfacht abgebildete) Wagenbildung ist Teil des Modells. Basis dieses ersten Planungsschritts stellt das gesamte Produktionsprogramm eines Tages dar, das (zum Zeitpunkt der Studie) typischerweise 17.000 bis 18.000 Positionen umfasste. Die entsprechende Liste beinhaltet Angaben zur Holztypnummer, Typenklasse, Freigabe, Tour, Tor (für einige Touren ist dieses bereits vorab fixiert) sowie zum Band. Durch eine gegebene Zuordnung von Bändern zu Bandgruppen wird zunächst die Bandgruppe bestimmt. Anschließend wird aus den Eingangsdaten eine Tourliste abgeleitet, die nach gegebener Freigabe und Tournummer sortiert wird. Diese Liste stellt die grundsätzliche Sequenz dar, in der die Touren eingelastet werden sollen und nach der die Wagen der Vorstufe beladen werden. Gemäß der Toursequenz werden die Holzteile einer Bandgruppe-Typenklasse-Kombination sukzessive Wagen zugeordnet, wobei die Kapazität der Wagen einzuhalten ist. Die Holzteile einer Tour, die auf der gleichen Bandgruppe gefertigt werden, können sich dabei über mehrere Wagen verteilen.

Um die Gefahr von Stillandsituationen zu minimieren, gibt es in der ursprünglichen Wagenbildung eine Begrenzung für die Anzahl der pro Wagen zulässigen Touren. Damit ergeben sich im Ergebnis neben voll beladenen Wagen auch viele sogenannte Anbruch-Wagen, die nicht voll ausgelastet sind. Diese Begrenzung, die über die Freigabezuordnung umgesetzt wird, führt somit auch zu Verringerung des Durchsatzes der Produktion. Durch den neuen Steuerungsansatz sollte diese Begrenzung aufgehoben werden und die Auslastung der Wagen und damit der Durchsatz der Produktion erhöht werden.



**Abbildung 2:** Simulationsmodell zur Bewertung der Umstellung auf ein Pull-System zur Auftragsfreigabe

Diese Wagen werden im Simulationsmodell als bewegliche Elemente erzeugt und sukzessive in die Montage eingelastet. Die beweglichen Elemente des Modells stellen jeweils Teilaufträge dar, wobei alle Holzteile einer Tour eines Wagens, die auf der gleichen Bandgruppe zu fertigen sind, zu einem Element zusammengefasst sind. Die Bearbeitungszeit auf dem jeweiligen Band ergibt sich aus der Anzahl der Holzteile und der durchschnittlichen Bearbeitungszeit der zugehörigen Typenklasse, die in den Stammdaten gegeben sind.

Die Zuordnung zu Toren erfolgt im Modell an einer Parallelstation, die das tatsächliche Transportsystem (Unterflurförderer) zwischen Bändern und Toren grob abbildet. Die Entscheidungsregel an diesem Punkt sieht eine direkte Zuordnung für bestimmte Touren (z.B. Selbstabholer) vor. Wenn ansonsten bereits ein Tor für die Tour zugewiesen wurde, so ist die Zuordnung ebenfalls trivial. Ist hingegen noch kein Tor für die Tour gegeben (erstes fertiggestelltes Holzteil der Tour), so wird das (gemäß der Torliste) erste unbelegte Tor bzw. die entsprechende Kommissionierfläche zugeordnet.

Insbesondere für die neue Steuerungslogik kann aber der Fall eintreten, dass kein freies Tor (bzw. freie Kommissionierfläche) gegeben ist. Dies führt zunächst zu einem unmittelbaren Stop des Bandes, bis ein Tor wieder frei ist. Sobald die Kommissionierung einer anderen Tour beendet ist und die Pufferfläche vor dem Tor wieder frei ist, kann die Fläche erneut belegt werden. Bei Ende einer Kommissionierung wird für die neue Steuerung somit geprüft, ob bereits Holzteile einer Tour auf eine Torzuordnung warten. Ist dies der Fall, so wird die Zuordnungsregel für die Torzuordnung für die Tour mit kleinstem Reihenfolgeindex aller wartenden Touren erneut aufgerufen. Mit diesem Ansatz wird angestrebt, die Versandflächen möglichst kontinuierlich zu belegen.

Für den neuen Steuerungsansatz wurde ein Experiment zur Prüfung auf Deadlock-Situationen und zur Bestimmung der erwarteten Arbeitszeit für das Tagesprogramm durchgeführt. Basis bildeten die Auftragsdaten von 40 Produktionstagen. Mit dem Modell konnte festgestellt werden, dass tatsächlich Deadlock-Situationen auftreten, d.h. am Ende aller Bändergruppen warten Holzteile von Touren, für die kein Tor mehr zugeordnet werden kann und gleichzeitig ist keine Tour an den Toren abgeschlossen. Als mögliche Gründe für diese Deadlock-Situationen wurden zwei Gründe identifiziert:

- Bei der Wagenbildung entstehen Wagen, die zu viele Touren umfassen und somit auch entsprechend viele Tore parallel beanspruchen.
- Es erfolgt keine „Abriegelung“ bei der dynamischen Zuordnung von Touren zu Toren.

Die Wagenbildung wurde für den neuen Steuerungsansatz so geändert, dass keine Touren mehr zusammengefasst werden, die in der Toursequenz zu weit auseinander liegen. Als Lösungsansatz werden – nach Bandgruppen unterschieden – jeweils Gruppen von  $n_i$  Touren definiert, d.h. jede Tour ist pro Bandgruppe  $i$  einer Tourgruppe zugeordnet, was dem Konzept der ursprünglichen Freigaben nahekommt. Im Rahmen der Simulation wurden dann unterschiedliche Parameterkonfigurationen für die maximale Gruppengröße pro Bandgruppe untersucht.

Zur Vermeidung von Deadlock-Situationen wurde zudem die Strategie zur Zuordnung von Touren zu Toren modifiziert: Als Steuerungsparameter wurde eine maximale „Distanz“  $maxDistPos$  zwischen den Reihenfolgeindizes von Touren, die parallel an den Toren bearbeitet werden dürfen, definiert: Für  $maxDistPos = 25$  bedeutet dies beispielweise, dass für die Zuordnung der Tour, die an 28er Position der Lösungssequenz steht, zu einem Tor alle Touren bis zur dritten Position der Lösungsreihenfolge bereits die Montage vollständig verlassen haben müssen, ansonsten muss die Tour „warten“.

Im Ergebnis konnten mit diesen beiden Änderungen Deadlock-Situationen in der Simulation ausgeschlossen werden. Eine Senkung der Bearbeitungszeit zur Fertigstellung des gesamten Tagesproduktionsprogramms wurde anschließend im Zusammenhang mit der Optimierung der Einlastungsreihenfolge der Touren angestrebt.

### 3.2 Reihenfolgeplanung von Touren

Im zweiten Schritt wurde auf Basis des Simulationsmodells ein Optimierungsverfahren entworfen und implementiert, das sich mit der Reihenfolgeoptimierung der Touren beschäftigt. Touren sind im Sinne einer Glättung möglichst zusammenhängend auf allen Bändern zu fertigen, d.h. die Summe der Auftragsspanne (Zeit zwischen Startzeitpunkt der Produktion auf der „ersten“ Bandgruppe und dem Fertigstellungszeitpunkt auf der „letzten“ Bandgruppe) aller Touren ist zu minimieren.

Als Optimierungsverfahren ist Tabu Search, eine Meta-Heuristik, gewählt worden, die ein lokales Suchverfahren steuert; vgl. Domschke et al. (1997) sowie Glover und Laguna (1997) für eine Übersicht zu Tabu Search. Lokal ist ein Verbesserungsverfahren, wenn von einer bestimmten Lösung (Parametereinstellung) ausgegangen wird und regelbasiert nur jeweils eine einzelne Änderung der Parametereinstellung vornimmt. Eine solche Änderung definiert den Übergang zu

einer sogenannten Nachbarlösung. Über die Nachbarschaftsdefinition wird festgelegt, welche Nachbarn zu einer Lösung gehören bzw. erreichbar sind. Für Reihenfolgeprobleme sind typische Nachbarschaftsdefinitionen das Verschieben (*shift move*) oder der Tausch (*swap move*) von Elementen in der Lösungssequenz. Für das vorliegende Problem wurde das Verschieben von Touren in der Lösungssequenz als Nachbarschaftsdefinition gewählt. In jeder Iteration des Verfahrens wird jetzt jede Tour einmal betrachtet und die Position dieser Tour in der Sequenz systematisch verändert und jede sich dadurch ergebende Lösungssequenz bewertet. Die beste gefundene Nachbarlösung (über alle Touren) wird dann fixiert und als neue Ausgangslösung für die nächste Iteration gewählt. Das Verfahren terminiert, sobald keine Nachbarlösung mehr eine Verbesserung ergibt.

Die Bewertung einer Tourreihenfolge erfolgt über eine statische Berechnung der *Summe der zu erwartenden Auftragsspannen* aller Touren. Dabei werden die Touren gemäß der Toursequenz den Bändergruppen sukzessive zugeordnet und die jeweiligen Start- und Endtermine (gemäß der für die auf der jeweiligen Bandgruppe zu fertigenden Schranktypen zu erwartenden Bearbeitungszeit) bestimmt. Die Auftragsspanne einer Tour ergibt sich als Differenz von maximalem Endtermin und minimalem Starttermin (jeweils über alle Bandgruppen).

Da für Heuristiken nicht sichergestellt ist, dass das globale Optimum gefunden wird, können so genannte Meta-Heuristiken zum Einsatz kommen, die u.a. dazu dienen, lokale Optima im Suchverlauf zu überwinden. Für das lokale Verbesserungsverfahren bedeutet dies, dass auch Verschlechterungen der Lösungsgüte in Kauf genommen werden. Damit das Verfahren aber nicht zu bereits besuchten Lösungen zurückkehrt (und somit Zyklen entstehen), wird im Rahmen von Tabu Search ein Gedächtnis über die zuletzt besuchten Lösungen bzw. zuletzt durchgeführten Züge eingesetzt. Die Umkehrung dieser Züge, also z.B. die Verschiebung einer Tour an eine Position, an der sie in den letzten  $n$  Iterationen bereits war, ist dann tabu.

Bei der vorliegenden Problemstellung sind für die Bildung der Tourreihenfolge zudem Vorgaben der Fuhrparkdisposition zu berücksichtigen: Da für die Planer die Möglichkeit besteht, einige der Touren vorab innerhalb gewisser Bereiche (analog zu den ursprünglichen Freigaben) zu fixieren, müssen im Verfahren für jede Tour minimale und maximale Positionen in der Toursequenz berücksichtigt werden.

Es wurde nun simulativ untersucht, ob sich die Fertigungszeiten der Touren durch diesen Ansatz verbessern lassen. Basis bildeten die realen Auftragsdaten aus Werk 1. Für jeden untersuchten Produktionstag wurde die Ursprungsreihenfolge mit dem Ergebnis des Optimierungsverfahrens mit Hilfe des Simulationsmodells verglichen. Als Ergebnis der Untersuchungen stellte sich heraus, dass die Produktionsleistung insgesamt durch eine bessere Einlastung der Touren eines Produktionstages die Gesamtleistung signifikant um bis zu 10% gesteigert werden konnte.

## 4 Inbetriebnahme

### 4.1 Von der Simulation in den operativen Betrieb – Werk 1

Auf Basis der in den Simulationsstudien gewonnen Erkenntnisse wurde beschlossen, die genutzten Methoden und Abläufe in das operative Geschäft zu integrieren. Um den neuen Planungsansatz im Betrieb nutzen zu können, waren

umfangreiche Arbeiten zu erledigen. Zur Durchführung wurden vier Arbeitsgruppen gebildet, die sich mit den Themen Verladung, der neuen Verplanungslogik, der Visualisierung des Produktionsstands sowie der Organisation in der Fabrik kümmerten.

In der Arbeitsgruppe *Verladung* wurde die Konsequenzen des neuen Planungsansatzes auf den Verladeprozess vor Ort geklärt. Als Lösung ist eine neue Verladesoftware entwickelt und eingeführt worden. Zu den Funktionen dieser neuen Software zählen die Abbildung der Beziehungen zwischen den gebildeten betrieblichen Touren und den Verladetoren sowie die dynamische Zuordnung der Tore zu den Touren.

In der Arbeitsgruppe *neue Verplanungslogik* ging es um die Integration des neuen Planungsansatzes in den allgemeinen Planungsprozess für einen Planungstag (Boxtag). Dieser Planungsprozess startet mit der Tourenbildung in der Fuhrparkdisposition und endet mit dem Laden der Fertigungsdaten in die Werksdatenbanken. Um im Tagesgeschäft von den Ergebnissen der Analyse profitieren zu können, mussten sowohl das Planungsmodell als auch das gewählte Verfahren in diesen Planungsprozess integriert werden. Das Optimierungsverfahren, das im Rahmen des Simulationsmodells implementiert wurde, wurde im Hause Nobilia in diesem ersten Projektdurchlauf softwaretechnisch mit einer Schnittstelle auf Flat File-Basis in den Gesamtplanungsprozess integriert, d.h. das unter *Plant Simulation* implementierte Optimierungsverfahren – und somit das Simulationswerkzeug selbst – wurde in den Planungsprozess direkt integriert. In der Arbeitsgruppe *neue Verplanungslogik* wurden neben dem Kernprozess der Verplanung auch die Abhängigkeiten zwischen den im Einsatz befindlichen EDV-Systemen betrachtet. Für Bereiche wie die Arbeitsplattenfertigung sind bei Nobilia Systeme im Einsatz, die Schnittplanoptimierung vornehmen und die Anforderung der jeweils benötigten Rohplatten an die Hochregallager weitergeben. Diese Systeme und deren Schnittstellen waren ebenfalls an die neue Logik anzupassen, da die Rohplattenoptimierung die Auswahl der zu berücksichtigenden Arbeitsplatten anhand der Reihenfolge der zu fertigenden Kommissionen vornimmt.

Von der Umstellung auf die neue Verplanungslogik waren auch die Prozesse im Rahmen der JIT-Belieferung betroffen. Die Planung der Menge sowie die zeitliche Steuerung der Anlieferung basiert auf dem Schema der Freigaben. Um den Umstellungsaufwand hier gering zu halten, sind in der betrieblichen Planung aufeinanderfolgende Touren zu Gruppen zusammengefasst. Die Menge an Artikeln in einer solchen Gruppe, Tour-Range genannt, ist äquivalent zu denen der vorherigen Freigabe. Da die insgesamt vorgesehene Reihenfolge der Verladung abhängig von der vergebenen innerbetrieblichen Tour-Nummer war und die Verladegeschwindigkeit konstant blieb, konnte damit die Abwicklung der JIT-Anlieferung ohne größeren Aufwand vom Schema „Freigaben“ auf das Schema „Tour-Range“ umgestellt werden.

Die Arbeitsgruppe *Visualisierung des Produktionsstandes* beschäftigte sich mit den Folgen des neuen Planungsansatzes für die Feststellung der Terminalsituation in der Fabrik. Für den ursprünglichen Planungsansatz gab es explizite Regeln, mit der die Terminalsituation im Werk bestimmt werden konnte. Da diese auf den neuen Planungsansatz nicht mehr anwendbar waren, musste Ersatz in Form eines neuen, computergestützten Informationssystems geschaffen werden. Das für die neue



Lösung notwendige Reporting wurde mit Hilfe eines Data Warehouse-Ansatzes vom operativen Teil der Datenversorgung getrennt. Es ging unter der Bezeichnung „Fertigungsmonitor“ mit dem neuen Planungsansatz in Betrieb (s. Abb. 3).

Tour		Tor		Tour		Tor		Tour		Tor		Tour		Tor	
DI 501	20	DI 516	18	DI 531	8	DI 546	1	DI 561	9						
DI 502	22	DI 517	20	DI 532	10	DI 547	1	DI 562	13						
DI 503	24	DI 518	22	DI 533	12	DI 548	21	DI 563	17						
DI 504	7	DI 519	24	DI 534	14	DI 549	23	MI 501	11						
DI 505	5	DI 520	7	DI 535	20	DI 550	25	MI 502	19						
DI 506	3	DI 521	9	DI 536	22	DI 551	6	MI 503	21						
DI 507	15	DI 522	11	DI 537	2	DI 552	8	MI 504	23						
DI 508	19	DI 523	13	DI 538	4	DI 553	10	MI 505	25						
DI 509	21	DI 524	4	DI 539	6	DI 554	12	MI 506	8						
DI 510	23	DI 525	5	DI 540	5	DI 555	18	MI 507	8						
DI 511	25	DI 526	19	DI 541	7	DI 556	20	MI 508	10						
DI 512	6	DI 527	21	DI 542	9	DI 557	3	MI 509							
DI 513	8	DI 528	23	DI 543	11	DI 558	22	MI 510							
DI 514	10	DI 529	25	DI 544	13	DI 559	24	MI 511							
DI 515	12	DI 530	6	DI 545	19	DI 560	7	MI 512							

**Abbildung 3:** Visualisierung der dynamischen zugeordneten Tore zu den mit dem neuen Planungsansatz gebildeten Touren, rechte Spalte Tour, linke Spalte Tor. Die Einfärbungen dienen zur optischen Erkennung von kritischen Terminalsituationen im Verladeverlauf

In der Arbeitsgruppe *Organisation in der Fabrik* standen die Auswirkungen des neuen Planungsansatzes auf die Mitarbeiter im Vordergrund. Die Differenzen zwischen der alten und der neuen Logik wurden aufgezeigt. Für die neue Logik wurden Handlungsanweisungen erarbeitet und neue Hilfsmittel für die Mitarbeiter geschaffen. Dabei wurde in großem Maßstab auf den in der Arbeitsgruppe Visualisierung erarbeiteten Fertigungsmonitor zurückgegriffen. Von dieser Arbeitsgruppe wurden auch die Schulungen für die Mitarbeiter vorbereitet und durchgeführt.

Vom Zeitpunkt der Entscheidung, den neuen Planungsansatz einzuführen, bis zur Inbetriebnahme in Werk 1 vergingen sechs Monate. Nach Realisierung der erforderlichen Programme und Funktionen wurden einzelne Planungstage mit dem neuen Planungsansatz „nachgefahren“ und die Ergebnisse mit denen des alten Planungsansatzes verglichen. Dieser Vergleich diente dazu, die Funktionsfähigkeit insgesamt zu prüfen und zu kontrollieren. Nachdem diese Tests positiv verlaufen waren, wurde die Planung komplett umgestellt und die Lösung insgesamt in allen Bereichen zu einem Stichtag erfolgreich in Betrieb genommen.

## 4.2 Migration der neuen Optimierungslösung – Werk 2

Im Jahre 2006 ist Werk 2 in Betrieb genommen worden. Hier wurden die Planungsansätze von Werk 1 übernommen. Somit kam von Anfang an das Pull-Verfahren zum Einsatz. Auf die Auftragsreihenfolgeoptimierung der Touren wurde bei der Inbetriebnahme aber zunächst verzichtet. Der Grund dafür lag in der geringen Produktionsmenge von 2600 Schränken pro Tag mit einer Schicht zu Beginn der Fertigung im Jahr 2006.

Die Produktionsmenge ist allerdings weiterhin kontinuierlich gesteigert worden. Als diese im Jahre 2012 die Menge von 8000 Schränken pro Tag in zwei Schichten überschritt, wurden ähnliche Effekte wie zu Beginn des Projekts in Werk 1 festgestellt. Durch eine ungleiche Verteilung der Schranktypen über den Produktionstag kam es zu Schwankungen im Durchsatz pro Stunde. Darauf folgten Effekte wie Verzögerungen bei der Verladung, da Touren nicht abgeschlossen werden konnten.

Zur Lösung wurde beschlossen, das Verfahren für die Glättung des Produktionsprogramms aus Werk 1 auch auf die Touren in Werk 2 anzuwenden. In der Simulation konnte gezeigt werden, dass durch eine Glättung die durchschnittliche Durchlaufzeit der eingelasteten Touren sich auch in Werk 2 deutlich verbessern lässt.

Das Optimierungsverfahren, das zunächst im Rahmen der Simulationssoftware implementiert wurde, wurde im Hause Nobilia in diesem Schritt softwaretechnisch auf einer Oracle Datenbank migriert, auf der auch alle übrigen Programme und Funktionen des Gesamtplanungsprozesses in Oracle PL/SQL ablaufen. Eine vor allem robuste Integration ohne Systembrüche ist hier von wesentlicher Bedeutung, da die zentralen Routinen der Verplanung in der Nacht ablaufen und eine operative Begleitung der Verarbeitungsjobs aufgrund des hohen personellen Aufwands nicht ohne weiteres möglich ist. Die Migration ist durch einen internen Entwickler in drei Wochen realisiert worden. Vor der Inbetriebnahme wurde über einen Zeitraum von vier Wochen im Parallelbetrieb täglich die aus der Optimierung stammende Tourenreihenfolge mit der aus dem Produktivsystem stammenden Reihenfolge verglichen. Das Ergebnis wurde auf den Grad der Verbesserung und die korrekte Einordnung der durch die Fuhrparkdisposition fixierten Touren untersucht. Nach dem positiven Verlauf des Parallelbetriebs ist die Lösung für Werk 2 in den Produktivbetrieb gegangen. Die zusätzliche Verarbeitungszeit der Planungssysteme liegt zurzeit bei 12 Minuten für einen Planungstag.

## 5 Fazit

Mit einer Simulationsstudie wurde eine neue Verplanungslogik auf Basis von Tabu Search entwickelt und auf seine Verbesserungspotentiale hin bewertet. Die Produktionsleistung kann durch die neue Einlastung der Touren um bis zu 10% gesteigert werden. Aufgrund des positiven Ergebnisses der Studie entstand eine neue Optimierungslösung. Diese ist zuerst im Werk 1 2005 vollständig in Betrieb genommen worden. Nach der Einführungsphase war es möglich, den Durchsatz, gemessen an produzierten Schränken pro Stunde, im Durchschnitt von 980 auf 1080 zu erhöhen. Damit sind die in den Untersuchungen festgestellten möglichen Optimierungsergebnisse auch in der betrieblichen Praxis verwirklicht worden. Diese Produktionssteigerung gelang ohne zusätzlichen Einsatz von Personal und Maschinen.

In Werk 2 ist die Einführung im Jahre 2012 mit der beschriebenen Migration der Optimierungskomponente abgeschlossen worden. Da die grundlegenden Verfahren der Optimierungslösung in Werk 2 schon während der Inbetriebnahme im Jahre 2006 genutzt wurden, war der Effekt hier gemessen an der Zahl Schränke pro

Stunde nicht signifikant. Insgesamt ist hier eine Verbesserung des Durchsatzes durch die Vermeidung von Engpassituationen auf den Montagebändern erzielt worden. Bezogen auf die Initiale Verteilung der Touren in Werk 2 beträgt die Verbesserung im Durchschnitt 8% (Berechnung auf Basis der Produktionszahlen Nobilia). Die in Oracle PL/SQL migrierte Optimierungslösung selbst wurde nach der erfolgreichen Einführung im Werk 2 auch für Werk 1 übernommen. Das Optimierungsergebnis könnte künftig noch wesentlich besser werden, wenn die Anzahl der von der Fuhrparkdisposition fixierten Touren verringert wird.

## Literatur

- Bangsow, S.: Praxishandbuch Plant Simulation und SimTalk. München: Hanser 2011.
- Domschke, W.; Scholl, A.; Voß, S. (1997): Produktionsplanung: Ablauforganisatorische Aspekte. 2. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 1997.
- Glover, F.; Laguna, M.: Tabu Search. Boston: Kluwer 1997.
- Günther, H.-O.; Tempelmeier, H.: Produktion und Logistik. 9. Auflage. Berlin, Heidelberg: Springer 2012.