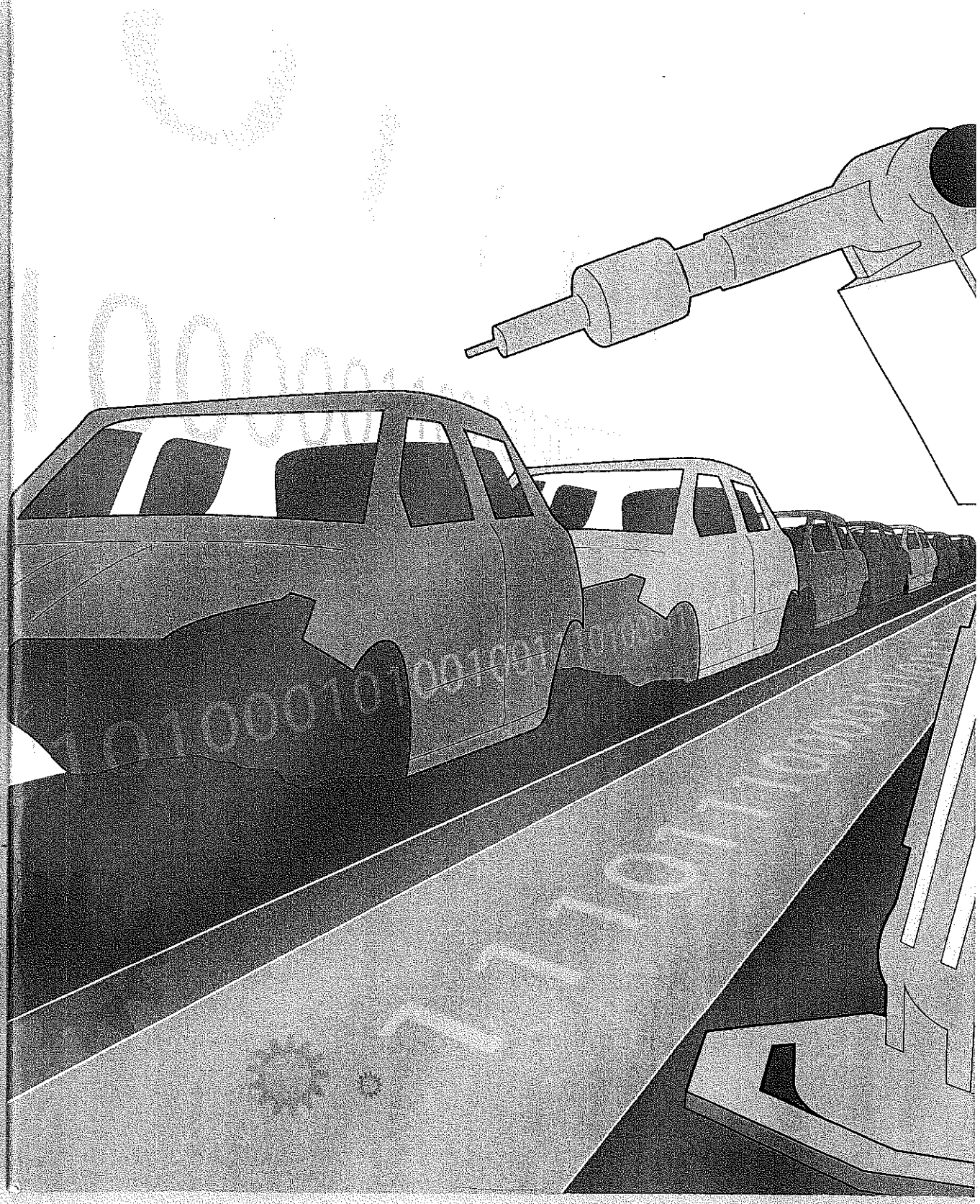
C. SCHWEDE | M. TOTH

PRODUKTIONSPROGRAMMPLANUNG IN DER AUTOMOBILINDUSTRIE

Ganzheitliche Lösungselemente aus der angewandten Forschung



Christian Schwede, Michael Toth (Hrsg.)

Produktionsprogrammplanung in der Automobilindustrie
Ganzheitliche Lösungselemente aus der angewandten Forschung

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation
in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliographische Daten sind im Internet über
http://dnb.dnb.de abrufbar.

© Copyright 2015 by
Verlag Praxiswissen
Praxiswissen Service UG (haftungsbeschränkt)
Joseph-von-Fraunhofer-Straße 2–4
44227 Dortmund

Umschlaggestaltung:
Mara Albracht

Printed in Germany

ISBN 978-3-86975-106-1

Inhalt

Eine IT- und prozessunterstützte Methodik für die automobile Produktionsplanung
(Klaus Liebler) 1

Gezielter beschaffungslogistikorientierter Fahrzeugauftragstausch in Wochenprogrammen bei Störungseintritt
(Michael Marr) 17

PROFAS – Ein Assistenzsystem zur Wochenprogrammfüllung in der Automobilindustrie
(Christian Schwede) 33

Implementierung einer durchgängigen Produktionsplanung in der Automobilindustrie
(Stefan Auer, Walter Mayrhofer, Jürgen Minichmayr, Wilfried Sihn) 43

Wirkzusammenhänge der Perlenkettenmethode in der Automobilindustrie
(Felicia Copaciu) 57

Effiziente Steuerung dynamischer Milkruns auf Basis einer stabilen Auftragsperlenkette
(Matthias Conze, Sebastian Meißner, Willibald A. Günthner) 73

Spezielle Herausforderungen für die Programmplanung in der internationalen Logistik – am Beispiel der Automobilindustrie
(Sarah Alexa Thissen, Andreas Holtz) 87

Implementierung einer durchgängigen Produktionsplanung in der Automobilindustrie

Stefan Auer[4], Walter Mayrhofer[3], Jürgen Minichmayr[1, 2], Wilfried Sihn[1, 2]

[1]Fraunhofer Austria Research GmbH, Geschäftsbereich Produktions- und Logistikmanagement, Wien, Österreich
{Juergen.Minichmayr, Wilfried.Sihn}@fraunhofer.at
[2]Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften, Wien, Österreich
{Juergen.Minichmayr, Wilfried.Sihn}@imw.tuwien.ac.at
[3]FTI Burgenland GmbH, Eisenstadt, Österreich
Walter.Mayrhofer@fti-burgenland.at
[4]Busatis GmbH, Purgstall, Österreich
Stefan.Auer@reflex.at

Abstract. Die europäische Automobilindustrie betreibt einen stufenweisen Planungsprozess, in welchem für unterschiedliche Planungsaufgaben wie Absatz- oder Auftragsplanung in unterschiedlichen zeitlichen Horizonten und Zyklen geplant wird. Aufgrund mangelnder Koordination und Kommunikation zwischen den verschiedenen zeitlichen Planungsstufen entstehen überproportional hohe Kosten in der Produktion. Das vorliegende Paper beschreibt eine integrierte Lösung zur Harmonisierung der Verkaufs-, Beschaffungs-, Supply-Chain- und Produktionsplanung entlang aller zeitlichen Planungsstufen. Durch die Harmonisierung der lang-, mittel- und kurzfristigen Planung können Kosteneinsparungen und zusätzliche Wertsteigerungen realisiert werden. Darüber hinaus wird der Ansatz zur harmonisierten Planung anhand einer Fallstudie im Sonderfahrzeugbau illustriert.
Schlüsselwörter: Planung, Reihenfolgeplanung, Automobilindustrie

1 Einleitung

Aufgrund kostenintensiver Produktionsinfrastrukturen und volatiler Kundennachfragen stellen Verkaufs-, Beschaffungs-, Supply-Chain- und Produktionsplanung wichtige Schlüsselfaktoren der Automobilproduktion dar. Wie in Abbildung 1 erkennbar ist, betreibt die Automobilindustrie einen stufenweisen Planungsprozess, wobei für den Verkauf und die Absatzplanung lang- und mittelfristig und für die Produktionsaufträge mittel- bis kurzfristig geplant wird.

Ein Problem der stufenweisen Planung ist die aufwendige Koordination und Kommunikation der verschiedenen Planungsstufen. Die „Reibungsverluste" zwischen den einzelnen Stufen sind oft hoch und verursachen hohe Kosten in der Produktion, die primär von ungenauen und mitunter undurchführbaren Produktionsprogrammen verursacht werden, welche kostenintensive Ad-hoc-Maßnahmen nach sich ziehen, da Ressourcen nicht verfügbar oder Lieferantenkapazitäten limitiert sind. Derartige Prob-

leme wären vermeidbar, wenn Restriktionen bereits in der Langfristplanung bekannt wären und Ressourcenengpässe frühzeitig behoben werden könnten.

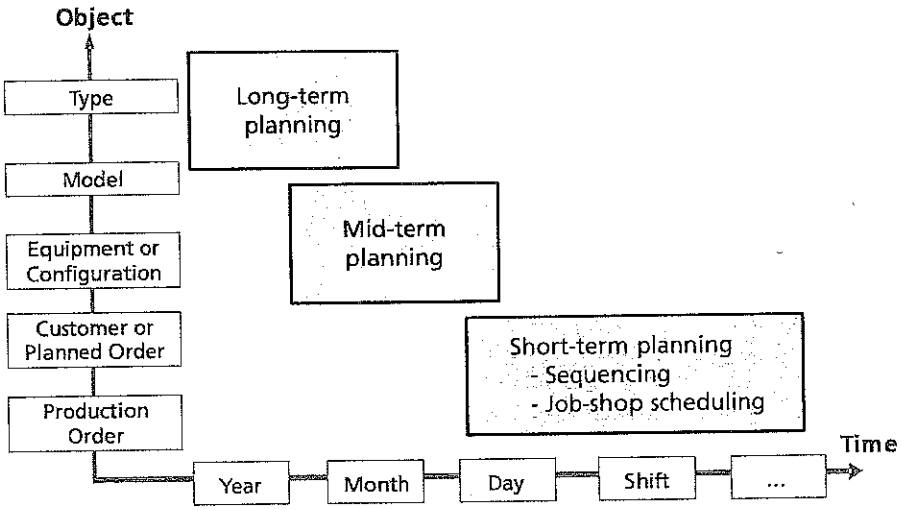


Abbildung 1: Stufenweiser Planungsprozess

Die stufenweise Planung wird auch in den IT-Systemen entsprechend abgebildet. Die Fragmentierung des Planungsprozesses spiegelt sich meist in einer unzusammenhängenden IT-Planungslandschaft, welche aus Insellösungen besteht, wider. Diese Problematik verschärft sich dadurch, dass sich IT-Systeme häufig an den organisatorischen Strukturen orientieren und nur langsam an veränderte Planungsprozesse angepasst werden. Dies gilt speziell für die Automobilindustrie und den Sonderfahrzeugbau, betrifft aber auch viele andere Industriesektoren. Das Forschungsprojekt „Harmonised Planning of Sales, Purchasing, Supply Chain and Production" (*HarmoPlan*) hatte die Zielsetzung, die Harmonisierung der unterschiedlichen zeitlichen Planungsstufen zu untersuchen und Verbesserungen zu entwickeln.

Der vorliegende Artikel stellt Planungsrestriktionen, ihre Ursachen, die Zusammenhänge der Einzelplanungsaufgaben und die Korrelation der Restriktionen in den unterschiedlichen zeitlichen Planungsstufen dar. Ein ganzheitlicher Ansatz dient als Basis für eine Software, welche die Planungsaufgaben der verschiedenen zeitlichen Stufen von der Verkaufsplanung bis hin zur Reihenfolgeplanung harmonisiert. Dieser Beitrag soll auch die Eignung des Ansatzes für die Automobilherstellung illustrieren.

Die enthaltene Fallstudie umfasst die gesamte Analyse und Implementierung bei einem Spezialfahrzeughersteller. Diese Pilotumsetzung ist der letzten Schritt des im EUREKA/Eurostars-Programms geförderten Forschungsprojekts, welches eine integrierte Planungslösung für die Harmonisierung der Verkaufs-, Beschaffungs-, Supply-Chain- und Produktionsplanung entlang der Planungsstufen von lang- über mittel- bis hin zur kurzfristigen Planung entwickelte. Neben dem Ziel der Generierung von Kosteneinsparungen bzw. Wertsteigerungen fokussiert das Projekt auf den Planungsprozess der Endmontage in der Automobil- und Komponentenherstellung, wo eine hohe Produktvariation mit einem geringen Automationsgrad vorherrscht [1].

2 Planungsansatz für die Automobilindustrie

Die stufenweise (kaskadierende) Planung ist in der Automobilindustrie gängige Praxis. Obwohl in der jeweiligen Unternehmensausprägung charakteristische Eigenarten vorhanden sind, lassen sich in der stufenweisen Planung bestimmte gängige Muster erkennen. Abbildung 2 stellt den Versuch eines generischen, harmonisierten Planungsprozesses für die sequenzierte Automobilproduktion in Europa dar.

Basierend auf einer kontinuierlichen Marktanalyse hat ein Unternehmen zu entscheiden, welche Typen und Mengen produziert werden sollen. Die Ergebnisse werden in der Markenstrategie zusammengefasst, wodurch die jährliche Budgetplanung ausgelöst wird. Die Verkaufsprognose besitzt einen rollierenden Horizont. Im nächsten Schritt spezifiziert die Verkaufsplanung das Modell abhängig vom Hauptkriterium (Motortyp, Karosserie, Getriebe, Anzahl der Radachsen für die LKW-Montage etc.) und weist den potenziellen Werken verschiedene Modelle und Volumina zu. Die endgültige Wahl eines bestimmten Werks wird anhand lokaler Kosten und weiterer Faktoren (z. B. geplante oder vorhandene Produktionswerke, verfügbare Lieferanten, lokaler Arbeitsmarkt, werksspezifische Stärken und Schwächen) entschieden.

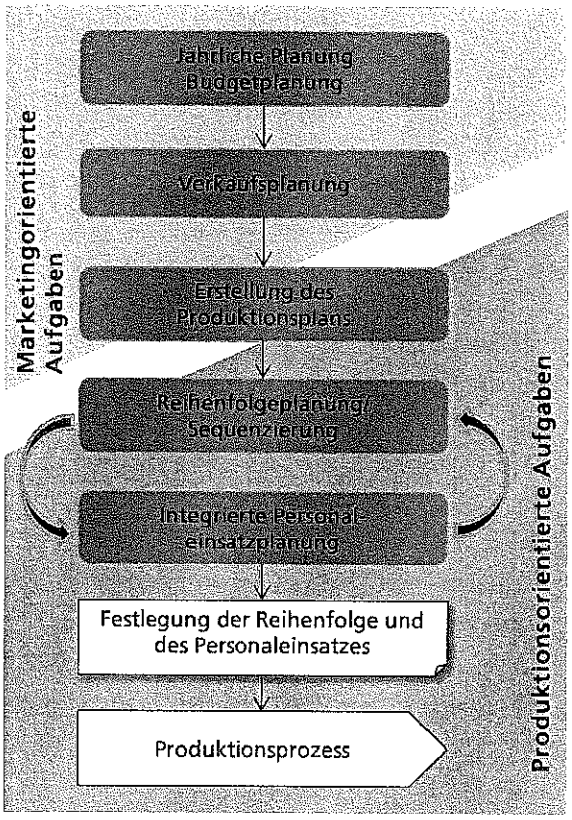


Abbildung 2: Generischer Planungsprozess

Als Eingangsdaten für das Produktionsprogramm werden in der Regel Verkaufsprognosen verwendet, welche in monatlichen Verkaufszahlen sowie Produktionsmengen vorliegen. Für die Erstellung eines machbaren Produktionsprogramms müssen die vorhandenen Ressourcen und deren Kapazitätsgrenzen beachtet werden.

Die Produktionsprogrammplanung erfolgt üblicherweise kontinuierlich, wobei das Produktionsprogramm anschließend in tägliche oder wöchentliche Auftragspools

aufgeteilt wird. Die Kalkulation der Kapazitäten erfolgt anhand durchschnittlicher Prozesszeiten je Fahrzeug. Zu diesem Zeitpunkt werden reale Kunden- und Planaufträge verplant. Wird ein neuer Kundenauftrag eingeplant, so wird der Planauftrag gesucht, der mit seinen Spezifikationen und Terminen am ehesten dem Kundenauftrag entspricht und durch diesen vollständig spezifizierten Kundenauftrag ersetzt [2].

In der nachfolgenden Reihenfolgeplanung (Sequenzierung) wird eine Auftragsreihenfolge gesucht, die im optimalen Zustand keine Kapazitätsrestriktionen an den Montagebändern verletzt. Grundsätzlich können drei verschiedene Arten von Reihenfolgeplanungen unterschieden werden:

- Level scheduling,
- Mixed-model sequencing und
- Car sequencing [3].

Level scheduling, abgeleitet vom Toyota-Produktions-System, zielt auf eine verbrauchsorientierte und gleichmäßige Verteilung der Materialien ab [4]. Im Gegensatz dazu versucht Mixed-model sequencing, Ressourcenüberlastung innerhalb des Systems zu reduzieren, wobei am Ende ein detaillierter Zeitplan für jeden Typ und jede Station – unter Einhaltung der spezifischen Arbeitsinhalte – erstellt wird [5], [6].

Car-sequencing hat ebenfalls eine Eliminierung von Ressourcenüberlastungen als Ziel. Jedoch werden keine Arbeitsumfänge, -stationen oder Durchlaufzeiten berücksichtigt, da auf einen vordefinierten Katalog von Restriktionen zurückgegriffen wird. Die Restriktionen sind als Reihenfolgeregeln definiert. Beispielsweise müssen nach einem Fahrzeug mit Schiebedach zwei Fahrzeuge ohne Schiebedach folgen [7], [8]. Das hier vorgestellte Projekt *HarmoPlan* basiert auf dem Car-sequencing-Ansatz, da dieser bei den meisten europäischen OEM Verwendung findet.

Um den Lieferanten ein reibungsloses Produzieren und Liefern „Just-in-Sequence" zu ermöglichen, wird die ermittelte Reihenfolge für einen gewissen Zeitraum vor dem Fertigungsstart fixiert und keine weitere Änderung zugelassen. Diese Zeit, in der keine Änderungen der Reihenfolge mehr möglich sind, wird auch „frozen zone" genannt und umfasst meist einige Tage bis maximal zwei Wochen vor der tatsächlichen Auftragsdurchführung. Die Festlegung der Auftragsreihenfolge weist jedem Auftrag einen dezidierten Starttakt innerhalb des Auftragspools zu [9].

Gemäß Abbildung 1 müssen alle Planungsaufgaben mit unterschiedlichen Planungsobjekten und Detailstufen der Prämisse genügen, eine möglichst geringe Anzahl an Restriktionen zu verletzen. Damit alle Aufgaben einer kontinuierlichen Planung zu einer zielführenden Planungssoftware verbunden werden können, wurden die verschiedenen Ursachen der Restriktionen erhoben. Einen Überblick gibt Abbildung 3.

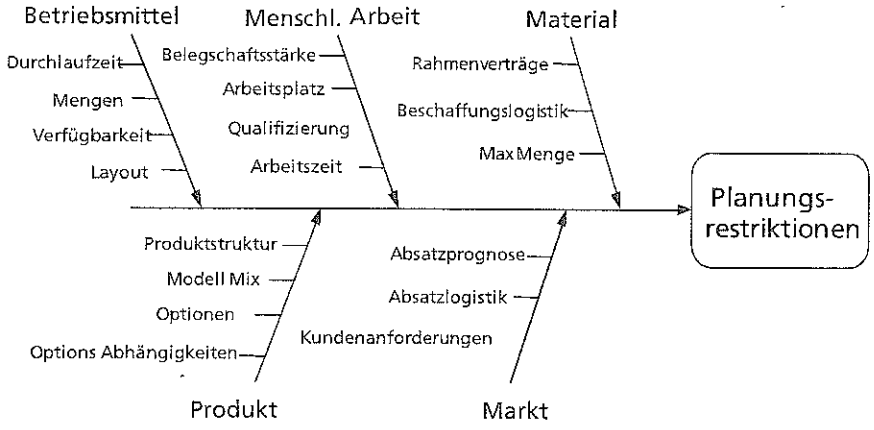


Abbildung 3: Planungsrestriktionen und ihre Ursachen

Die drei Pfeile in der oberen Hälfte stellen die Elementarfaktoren eines Produktionssystems dar. Dabei handelt es sich um Maschinen, Arbeitskraft und Bestände. Die unteren zwei Pfeile beschreiben den Output eines Produktionssystems (Produkt) bzw. alle Kunden und deren Anforderungen (Markt). Eine detaillierte Beschreibung der Planungsrestriktionen und deren Ursachen waren Teil des Forschungsprojekts [10].

Eine weitere Problematik neben der Einhaltung der Restriktionen und Kapazitäten stellen Abteilungskompetenzen und verschiedene Abstraktionsniveaus entlang der Planungsstufen dar. Die Herausforderung war die Entwicklung einer Systematik zur Beherrschung der Komplexität und der Harmonisierung der verschiedenen Planungsstufen (lang-, mittel- und kurzfristig). Der vorgestellte Ansatz bietet für jede Planungsaufgabe eine praktikable Lösung zur Einhaltung der Restriktionen.

Je nach Planungsstufe basiert jeder einzelne Planungsschritt auf verschiedenen Eingabedaten. Die geplanten Mengen können lang- und mittelfristig in monatlichen, wöchentlichen und täglichen Auftragspools bzw. als Auftragsreihenfolge im kurzfristigen Planungshorizont ausgedrückt werden. Um vorhandene Kapazitäten an Kundenbedarfe anzupassen und Engpässe so früh wie möglich zu erkennen, müssen Restriktionen für jeden Planungsschritt in der benötigten Konfigurationen definiert werden. In der Folge werden die von den Ursachen abgeleiteten Restriktionen in einem Restriktionsmanager gesammelt. Dieser fasst die Restriktionen zusammen und speichert sie in einem standardisierten Format ab, wobei es immanent wichtig ist, ebenfalls die ursprünglichen Ursachen in einer zentralen Datenbank zu hinterlegen.

Sobald eine Planungsaufgabe durchgeführt wird, greift der Restriktionsmanager lediglich auf die relevanten Restriktionen zu. Wird eine Restriktion verletzt, so wird auf die Ursache referenziert und es werden mögliche Maßnahmen vorschlagen, um den Engpass zu beseitigen. Abbildung 4 zeigt das Konzept des Planungsworkflows.

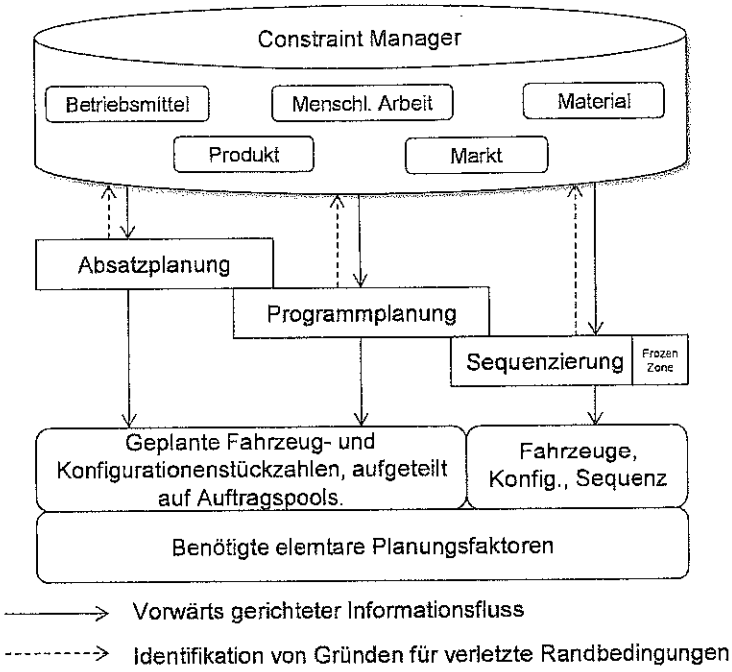


Abbildung 4: Planungsansatz im Überblick

3 Fallstudie

Die präsentierte Fallstudie erläutert die Implementierung des oben beschriebenen Systems bei einem Spezialfahrzeughersteller. Das Unternehmen ist international tätig und besitzt weltweit über 40 Produktionswerke. Das Produktspektrum ist in die zwei Divisionen Land- und Bauwirtschaftsmaschinen untergliedert, wobei der beschriebene Planungsprozess bei den Baumaschinen angewendet wurde. Im ersten Schritt wurde ein integrierter Planungsprozess von der Verkaufsplanung bis zur Reihenfolgeplanung in vier Werken umgesetzt. Langfristig ist daran gedacht, die Lösung für alle Werke anzuwenden. Nachdem die Produktion der Produkte jedem Werk explizit zugeordnet ist, wird die Verkaufsplanung an den jeweiligen Standorten durchgeführt. Dieser Umstand ist ein bedeutender Vorteil bei der prototypischen Implementierung und Validierung des Systems.

Die Fallstudie beschreibt einen integrierten Prozess eines ausgewählten Werks mit sieben synchronisierten bzw. getakteten Fertigmontagelinien, wobei eine dieser sieben Linien im Detail betrachtet wird. Das Produktspektrum dieser Linie umfasst 15 Fahrzeugtypen, bei welchen bis zu 100 Eigenschaften bzw. Spezialkomponenten zur Auswahl stehen. Der monatliche Output der Montagelinie beträgt zirka 400 Fahrzeuge. Die Fallstudie wird anhand von Ausgangssituation, Ansatz zur Gestaltung des harmonisierten Planungsprozesses und der Implementierung der Planungslösung beschrieben.

3.1 Ausgangssituation

Das Planungsteam beim Hersteller besteht aus sechs Planern, welche sowohl die lang- und mittelfristige als auch die kurzfristige Detailplanung durchführen. Der Vertrieb

übermittelt die Verkaufsprognose an dieses Team, welches die vorgeschlagenen Verkaufszahlen mit einem rollierendem Zeithorizont von mindestens einem Jahr betrachtet. Im Dezember des laufenden Jahres wird das jährliche Budget für das übernächste Jahr festgelegt. Daher stehen stets zwischen 12 und 24 Monaten an prognostizierten Verkaufszahlen zur Verfügung. Dieser jährliche Plan ist in Wochen untergliedert und verrät, wann welche Menge an bestimmten Fahrzeugtypen auf welcher Montagelinie produziert werden sollen. Dieser Listenplan beinhaltet geplante Aufträge, welche durch tatsächliche Kundenaufträge manuell ersetzt werden, sobald diese fixiert wurden. Diese Liste umfasst gleichzeitig den erwarteten Personaleinsatz, wobei dieser vorerst nur in Excel vorhanden ist, da das ERP-System keine zeitrelevanten Daten besitzt. Die Zeiten werden in einer separaten Excel-Datei vorgehalten und stehen für jeden Montageschritt im Detail zur Verfügung. Dies ist ein relevanter Punkt für die zukünftige kurzfristige Personaleinsatzplanung.

Der derzeitige Einjahresplan in Excel wird mithilfe des ERP-Systems kontinuierlich aktualisiert, wodurch neue Kundenaufträge stets sofort dokumentiert werden. Der Planungshorizont dieses jährlichen Plans ist daher vollständig mit Aufträgen gefüllt. Einige dieser Aufträge sind nach Prognosen geplante, andere sind explizite Kundenaufträge. Lieferdaten werden in Wochen angegeben, wodurch jede Auftragsfertigstellung stets mit Freitags bestimmt ist. Die zwei Auftragstypen variieren folgendermaßen:

- Geplante Aufträge existieren für jeden Typ und jede Woche. Für jeden Fahrzeugtyp gibt es eine kumulierte erwartete Montagemenge pro Woche. Die zugrundeliegende Stückliste ist eine maximale Stückliste mit einer prozentuellen Einsatzwahrscheinlichkeit der verschiedenen Eigenschaften und Ausstattungsvarianten.
- Kundenaufträge sind spezifizierte Aufträge und besitzen stets die Losgröße eins. Die Stückliste beinhaltet die benötigten Herstellungskomponenten des Fahrzeugs.

In der Ausgangssituation reflektieren die Arbeitspläne lediglich grob die benötigten Montagezeiten der Hauptaufgaben. Beispielsweise sind keine konkreten Zeitbedarfe zu den jeweiligen Arbeitsstationen bekannt. Somit ist keine Kalkulation der benötigten Personalkapazität im ERP-System möglich.

Die detaillierte Reihenfolgeplanung für die Montagelinien, Vormontage und Lackiererei befinden sich ebenfalls im Verantwortungsbereich des zuvor genannten sechsköpfigen Teams. Diese Planung wird erneut in Excel vollzogen, und der erste Schritt in diesem Prozess ist die Zuordnung der exakten Daten (mit einer Genauigkeit von einem Tag) für eine Periode von vier Wochen vor dem Produktionsstart. Diese zeitlichen Daten werden im nächsten Schritt in das ERP-System transferiert. Sollte der Vierwochenplan noch immer Planaufträge beinhalten, so muss der verantwortliche Planer entscheiden, ob er den Planauftrag aus dem Produktionsprogramm streicht oder ob der Auftrag auf Lager produziert werden soll. Wenn das Fahrzeug auf Lager fertiggestellt wird, so muss der Auftrag jedoch noch vollständig spezifiziert werden.

Abschließend werden zwei Wochen vor Produktionsstart die absoluten Reihenfolgen geplant, welche ausschließlich in Excel existieren und an die jeweiligen Meister der Montagelinien und Teamleiter in den verschiedenen Produktionsbereichen verteilt werden. Für diese Reihenfolgeplanung gibt es keine Planungsvorgabe, weshalb die Planer nach bestem Wissen und Gewissen die jeweiligen Produktionsreihenfolgen erstellen. Abbildung 5 gibt eine Zusammenfassung dieses Planungsprozesses.

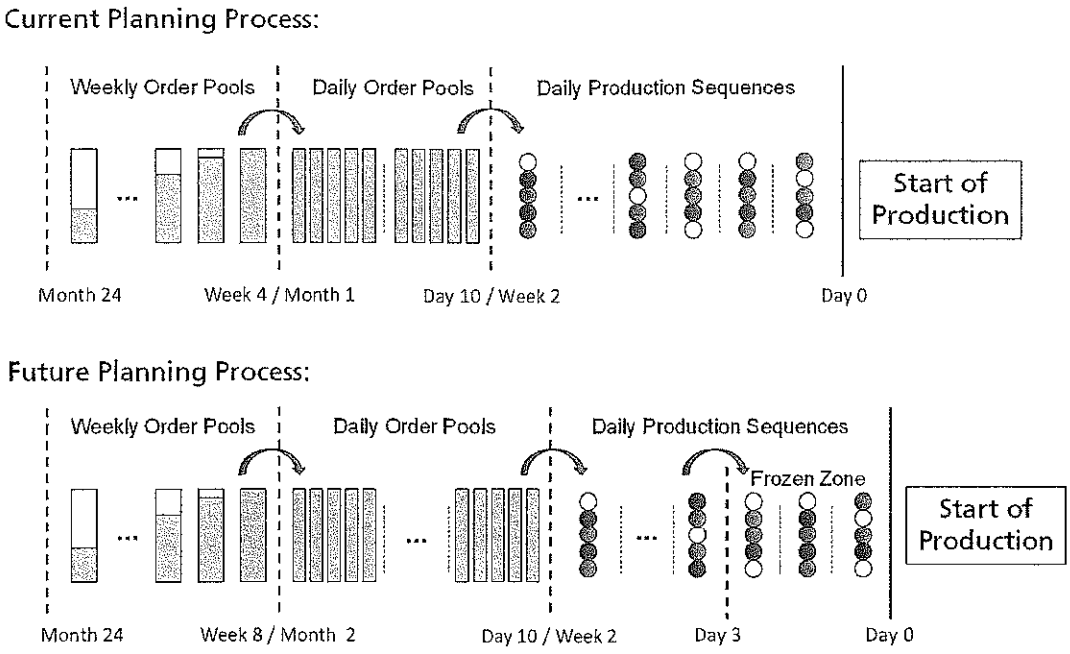


Abbildung 5: Zusammenhänge der Planungsverfahren

Üblicherweise wird in der Logistik derzeit mit Picklisten vom ERP-System gearbeitet. Da jedoch das ERP-System lediglich Daten mit einer Genauigkeit von einem Tag verarbeitet, ist eine Just-in-Sequence-Lieferung nicht möglich. Aufgrund stetig steigender Volumina und höherer Variantenanzahlen wird dieses Konzept jedoch zur absoluten Notwendigkeit. Bestimmte Reihenfolgenlisten für große Zulieferteile (z. B. Kabinengehäuse) werden beispielsweise noch manuell in Excel erstellt und anschließend via E-Mail zum Lieferanten übermittelt. In Zukunft soll dieser Prozess automatisiert über das IT-System abgewickelt werden.

Trotz sehr hohen Planungsaufwands führt der instabile Planungsprozess zu inkompletten Produktionszyklen, da oft die notwendigen Komponenten fehlen. Die Gründe liegen meist in nicht rechtzeitiger Lieferung durch die Lieferanten oder in der innerbetrieblichen Logistik. Dies führt zu permanenten Ad-hoc-Maßnahmen der Planer im kurzfristigen Planungsprozess mit entsprechenden negativen Auswirkungen.

Ein weiteres Problem betrifft die Personaleinsatzplanung, da der derzeitige Planungsprozess keine genauen Prognosen der Auslastungsspitzen ermöglicht. Der Meister der Montagelinie und die Teamführer besitzen keine geeigneten Steuerungsmittel, um ihre Arbeitsstationen optimal mit Mitarbeitern und Springern zu versorgen. Darüber hinaus lassen ein genereller Mangel an Transparenz hohes Optimierungspotenzial in der langfristigen Materialversorgungs-, Personal- und allgemeinen Ressourcenplanung vermuten.

3.2 Ziele der Prototypimplementierung

Ziel der Implementierung ist die Optimierung des Planungssystems im Unternehmen. Grundsätzlich soll der Planungsprozess robuster gestaltet werden und möglichst geringen manuellen Planungsaufwand verursachen. Für die kurzfristige Planung bedeutet dies den Einsatz eines automatischen Systems zur Reihenfolgen- und Personaleinsatzplanung. Des Weiteren soll die hohe Anzahl an Schnittstellen in der stufenweisen

Planung eliminiert bzw. automatisiert werden. Dafür bieten sich die entwickelten Lösungen der beiden Forschungsprojekte *A ProPer Plan* und *HarmoPlan* an.

3.3 Phasen der Implementierung

Analysephase: Zur Analyse der oben beschriebenen Ausgangssituation wurde im Forschungsprojekt eine spezifische Vorgehensweise entwickelt. Einen der wichtigsten Erfolgsfaktoren stellt die Prozessmodellierung dar. Weitere relevante Faktoren sind die korrekte und vollständige Identifizierung des vorhandenen Systems bzw. der Schnittstellen, die Verfügbarkeit und die Genauigkeit der verfügbaren Daten [11]. Folgende Daten wurden für die Analyse verwendet:

- Produktstruktur
- Stücklistenstruktur
- Planungsrestriktionen in den verschiedenen Planungshorizonten
- Varianten und deren Vielfalt
- Vorhandene Prioritätsregeln für die Reihenfolgeplanung
- Prozesszeiten
- Routing

Konzeptionelles Design. An die Analysephase schließt die Neukonzeptionierung der neuen Planungsprozesse an. Diese verlangt eine detaillierte Definition der zukünftigen Planungshorizonte und -aufgaben (Abbildung 5). Im Falle der langfristigen Planung müssen in Bezug auf den Planungshorizont aufgrund der wöchentlichen Auftragspools keine Änderungen vorgenommen werden. Um jedoch frühzeitig Auslastung und Materialbedarf erfassen zu können, wird der Planungshorizont für tägliche Auftragspools von vier auf acht Wochen erhöht. Des Weiteren wird die Reihenfolge zukünftig für die kommenden zwei Wochen geplant, wobei die letzten drei Tage vor der Produktion die sogenannte „frozen zone" werden, damit mehr Stabilität erreicht wird und zugleich eine Just-in-Sequence-Lieferung möglich ist.

Zur raschen Implementierung der Lösung startet diese unmittelbar nach dem erfolgreich erarbeiteten konzeptionellen Design. Dazu ist es erforderlich festzulegen, welche Systeme welche Planungsdaten beinhalten und welche Planungsaktivitäten von welchen Anwendungen exekutiert werden. Die Architektur von *HarmoPlan* basiert darauf, so viele Daten wie möglich im Master-ERP-System zu belassen und über geeignete Schnittstellen auf diese zuzugreifen. Dies reicht vom Werkskalender über verfügbare Kapazitäten und Auftragsinformationen bis zu Stücklisten und Arbeitsplänen. Somit ist *HarmoPlan* eine ergänzende Software, die aus dem ERP-System die Kapazitäts- und Reihenfolgenplanung übernimmt und abschließend die kalkulierten Ergebnisse wiederum in das ERP-System induziert. Daten, welche nicht im führenden ERP-System gesammelt und geführt werden, müssen im Planungsprogramm gebunden werden, wobei es sich primär um die Prioritätsregeln handelt.

Grundsätzlich stellen neue Planungsprozesse und Softwarelösungen eine große Herausforderung für jede Organisation dar, da altbekannte und verinnerlichte Abläufe adaptiert werden müssen. Daher untergliedert sich die Implementierung auch in meh-

rere Phasen, wobei mit den vielversprechendsten Prozessen begonnen wird. In diesem Fall handelt es sich um die Reihenfolge- und Personalplanung.

Implementierung der Reihenfolge- und Personalplanung. Um diese optimal gestalten zu können, ist es notwendig, die Arbeitsplanstruktur und das dazugehörige Datenmanagement der einzelnen Prozesszeiten zu reorganisieren. Zunächst stellt sich die Herausforderung, dass die Prozesszeiten lediglich in Excel und nicht im ERP-System hinterlegt sind. Des Weiteren wird bei den Arbeitsplänen nicht nach Montagestationen differenziert. Diese Informationen müssen kombiniert werden, wobei im ersten Schritt genauere Arbeitspläne, eben mit Prozesszeiten, erstellt werden müssen. Zukünftig wird daher entlang der Montagelinie zwischen den verschiedenen Arbeitsstationen unterschieden. Dies bedeutet im Detail, dass die Prozesse und deren Prozesszeiten den jeweiligen Arbeitsstationen zugeordnet werden.

Innerhalb der Planungslösung müssen Prioritätsregeln für die Reihenfolgeplanung konfiguriert werden. Eine dieser Regeln könnte beispielsweise die Mindestzeit zwischen typengleichen Fahrzeugen sein (z. B. dass nur jeder zweite Bagger eine zweitürige Kabine enthalten oder ein Schwerfahrzeug nicht auf ein vorhergehendes Schwerfahrzeug folgen darf). Nun liegt es an den Planern, solche logischen Prioritätsregeln niederzuschreiben, Einzelprozesse zu evaluieren und wenn notwendig neue Prioritätsregeln für einzelne Arbeitsstationen zu formulieren. Dies kann mithilfe eines Simulationswerkzeuges, das im Projekt entwickelt wurde, durchgeführt werden [12].

Für die prototypische Implementierung besitzt die Erstellung der Schnittstellen zwischen dem ERP-System und der Planungssoftware höchste Priorität. In diesem Fall erfolgt der Import und Export der Daten über eine CSV-Datei. Hier kann jedoch langfristig an eine Verbesserung der Schnittstellen gedacht werden.

Nachdem nun mithilfe der Planungssoftware die Daten aktualisiert, die Restriktionsregeln festgelegt und die Kapazitäten ermittelt wurden, können Daten vom ERP-System zur Planungssoftware transferiert werden und die Testphase kann beginnen.

Der abgeschlossenen Testphase folgt die automatische Implementierung der Adaptierungsvorschläge für die Reihenfolgeplanung, wodurch ebenfalls die planerische Tätigkeit reduziert wird. Durch die gekoppelte Simulation der Produktionsreihenfolge bezüglich des Personaleinsatzes je Arbeitsstation innerhalb der Montagelinie sind nun detaillierte Informationen über bevorstehende Engpässe verfügbar. Somit können Springer zeitgemäß zugeordnet werden, was vor allem den Produktionsleiter entlastet.

Durch den Reimport der Planungsergebnisse in das ERP-System können in Echtzeit die erwarteten Endzeiten der jeweiligen Aufträge entnommen werden. Allgemein werden die Startzeiten für die Produktion sowie weitere Zeiten für spätere Montagestationen importiert. In Folge werden die Materialbedarfszeitpunkte festgelegt, wodurch das ERP-System in der Lage ist, Vormontageprozesse rückwärts zu terminieren und detaillierte Picklisten für Just-in-Sequence-Lieferungen zu generieren.

Implementierung der mittel- und langfristigen Planung. Der Ansatz in *HarmoPlan* ist, alle Restriktionen in Bezug auf die Planungsaufgabe zu erfüllen. Während der prototypischen Implementierung könnte sich herausstellen, dass aufgrund von großen Änderungen bereits ignorierte Restriktionen wieder einschränken. In der aktuellen Architektur ist die erneute Berücksichtigung von Restriktionen nicht

integriert, da diese Funktionalität das Planungsprogramm unnötig kompliziert macht. Sollten wesentliche Änderungen in der Auftragsreihenfolge notwendig sein, könnten vorhergehende Planungsprozesse wiederholt werden, was ebenfalls zu einem zufriedenstellenden Planungsergebnis führt. Die Reihenfolgeplanung bedingt die Kenntnis der Engpässe der jeweiligen Prioritätsregeln. Somit wäre eine Schnelladjustierung an bestehende Knappheit bzw. die rechtzeitige Einleitung von Gegenmaßnahmen möglich.

Zwei der wichtigsten Funktionalitäten sind die Möglichkeit der Erstellung der täglichen Auftragspools in der horizontalen Planung (zwei bis acht Wochen vor Produktionsstart) und die Zusammenfassung der wöchentlichen Auftragspools in den anschließenden Wochen und Monaten, wobei geeignete Schnittstellen definiert werden müssen. Benötigte Daten sind der Werkskalender, die Kapazitäten der einzelnen Montagelinien und die Aufträge (geplante sowie tatsächliche Kundenaufträge). Die Integration sowie die Überwachung des Systems erfolgt wie üblich im vorhandenen ERP-System.

		Sales Planning	Program Planning			Sequencing			
	Constraint Type	...	Capacity Constraints (lower limit)	Capacity Constraints (upper limit)	...	Block Constraint	Space Constraint	Space Constraint 2 Values	...
General Attributes	Name		X	X		X	X	X	
	Description		X	X		X	X	X	
	Constraint Type		X	X		X	X	X	
	Assembly Plant		X	X		X	X	X	
	Sales Region		X	X		X	X	X	
	Vehicle Type		X	X		X	X	X	
	Validity Period		X	X		X	X	X	
	Value1		X	X		X	X	X	
	...		X	X		X	X	X	
Sales Specific Attributes	...								
Program Planning Specific Attributes	Minimum1		X						
	Maximum1			X					
	Classification1		X	X					
	Penalty1		X	X					
	...								
Sequencing Specific Attributes	Value2							X	
	Minimum2					X	X	X	
	Maximum2					X	X	X	
	Block Length					X			
	Block Distance					X			
	Classification2					X	X	X	
	Penalty2					X	X	X	
	...								

Abbildung 6: Matrix über die Eigenschaften der Restriktionen

Darüber hinaus ist das Planungsprogramm *HarmoPlan* in der Lage, unvollständige Stücklisten bzw. Materialengpässe zu erkennen, wobei die Engpasserkennung vom ERP-System übernommen wird. Diese Funktionalität war im Planungsprogramm vorgesehen, da herkömmliche ERP-Systeme oftmals nicht fähig sind, komplexe codebasierte Stücklisten aufzulösen. In dieser spezifischen Fallstudie sind die Materialstücklisten nicht im Planungsprogramm integriert, da beschaffungs- und logistikbezogene Funktionen vom ERP-System übernommen werden. Damit Prioritätsregeln in der frühen Planungsphase berücksichtigt werden können, müssen diese in der Restrik-

tionsdatenbank hinterlegt sein. Innerhalb des Planungsprogramms ist definiert, wie verschiedene Restriktionen umgewandelt werden können. Abbildung 6 zeigt die notwendigen Eigenschaften, damit die Prioritätsregeln vollständig definiert sind bzw. die Programmplanungsrestriktionen eingehalten werden.

Die obenstehende Matrix veranschaulicht die notwendigen Programmplanungsrestriktionen für die jeweiligen Reihenfolgeregeln. Außerdem ist die Logik für die Umwandlung einer Regel hinterlegt. Folgendes Beispiel soll diese Prozedur illustrieren: Eine ausgewählte Reihenfolgeregel besagt, dass zwischen zwei arbeitsintensiven Fahrzeugen zumindest zwei einfachere Fahrzeuge hergestellt werden müssen, um die vorgegebene Taktzeit zu erreichen. Diese Regel ist ausschließlich für die tägliche Reihenfolgeplanung gültig. Für die Planung der wöchentlichen und monatlichen Auftragspools müsste die Regel umformuliert werden: Maximal ein Drittel der Fahrzeuge innerhalb eines Auftragspools dürfen arbeitsintensiv sein. Genau diese Logik ist in der Matrix ablesbar bzw. im Restriktionsmanager der Planungssoftware hinterlegt.

Abbildung 6 veranschaulicht die Details der verschiedenen Restriktionen bzw. bestimmenden Eigenschaften, die für die Verkaufs-, Programm und Reihenfolgeplanung ausschlaggebend sind.

An die Konfigurationen schließt eine umfassende Testphase des Planungsprogramms an. Nachdem alle möglichen Startfehler beseitigt wurden, können die dynamischen Schnittstellen zwischen dem ERP-System und dem Planungsprogramm erstellt werden. Obwohl die betroffenen Mitarbeiter bereits in die Implementierung involviert sind, sollte trotzdem ein umfangreiches Mitarbeitertraining in Bezug auf die Prognoseplanung und die korrekte Softwareverwendung durchgeführt werden.

4 Zusammenfassung

Die vorgestellte Lösung ermöglicht einen kontinuierlichen und harmonisierten Planungsprozess entlang aller Planungshorizonte (lang-, mittel-, kurzfristig). Folgende Vorteile stechen hervor:

- Medienbrüche und technische Hindernisse werden eliminiert.
- Das Datenmanagement ist strukturiert.
- Ein Verlust von Mitarbeitern kann einfacher kompensiert werden, da Wissen nicht ausschließlich in den Köpfen, sondern auch im System vorhanden ist.
- Der Planungsaufwand kann drastisch reduziert werden, da Abstimmungstermine auf ein Minimum reduziert werden und redundante Planungsschritte entfallen.
- Engpässe werden frühzeitig erkannt und behoben, da diese vom Planungsprogramm identifiziert werden.

Das Forschungsprojekt befindet sich derzeit in der finalen Phase. Der nächste Schritt umfasst die Adaptierung des Prototyps zu einem marktfähigen Planungssystem. Des Weiteren ist geplant, die im Projekt entwickelten Konzepte und Ansätze in zukünftigen Forschungsprojekten weiterzuentwickeln und auf andere Anwendungsbereiche zu übertragen.

Referenzen

1. Boysen, N., Fliedner, M., Scholl, A.: Sequencing mixed-model assembly lines. Survey, classification and model critique, European Journal of Operational Research, vol. 1922, pp.349–373 (2009)
2. März, L., Tutsch, H., Auer, S., Sihn, W.: Integrated Production Program and Human Resource Allocation Planning of Sequenced Production Lines with Simulated Assessment. Advanced Manufacturing and Sustainable Logistics, pp.408–419 (2010)
3. Boysen, N.: Produktionsplanung bei Variantenfließfertigung. Zeitschrift für Planung und Unternehmenssteuerung, vol. 16, pp.53-72 (2005)
4. Monden, Y.: Toyota Production System: an integrated approach to just-in-time. Industrial Engineering and Management Press, Norcross, Georgia (1993)
5. Wester, L., Kilbridge, M.: The assembly line model-mix sequencing problem. Proceedings of the third international conference on Operations Research, pp.247–260 (1964)
6. Boysen, N.: Reihenfolgeplanung bei Variantenfließfertigung: Ein integrativer Ansatz. Zeitschrift für Betriebswirtschaft, vol. 75, pp.135–156 (2005)
7. Dincbas, M., Simonis, H., Van Hentenryck, P.: Solving the Car-Sequencing Problem. In: Constraint Logic Programming. Proceedings, ECAI '88, pp.290–295 (1988)
8. Solnon, C., Cung, V.D., Nguyen, A., Artigues, C.: The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem. European Journal of Operational Research, vol. 191, Issue 3, pp.912–927 (2008)
9. Auer, S., Winterer, T., Mayrhofer, W., März, L., Sihn, W.: Integration of Personnel and Production Programme Planning in the Automotive Industry. Proceedings, Sustainable Production and Logistics in Global Production Networks, pp. 900–908. NWV, Wien (2010)
10. Auer, S., März, L., Tutsch, H., Sihn, W.: Classification of interdependent planning restrictions and their various impacts on long-, mid- and short term planning of high variety production. 44th CIRP Conference on Manufacturing Systems, Madison, Wisconsin (2011)
11. Auer, S., Mayrhofer, W., Sihn, W.: Beyond the planning cascade: Harmonized planning in vehicle production. 7th International Conference on Digital Enterprise Technology, Athen, (2011)
12. Mayrhofer, W., März, L., Sihn, W.: Planning assistance for pearl chain forecasts and personnel assignment planning of sequenced assembly lines. CIRP Annals - Manufacturing Technology, vol. 60, Issue 1, pp.481–484 (2011)