

Simulationsgestützte Planung von Lager- und Produktionsversorgungsprozessen

Planning of Warehouse and Supply Processes for the Production using Simulation

János Jósvai, Norbert Szántó, Széchenyi István Universität, Győr (Hungary),
josvai@sze.hu, szanto@sze.hu

Abstract: The paper describes a simulation application in the automotive industry. A two stage simulation analysis will be detailed. The main functionality of the investigated system is detailed. The paper describes the main goals and planning steps of simulation, gives insight into the modelling of production, logistics and warehouse areas. The complexity of parallel planning and simulating of a greenfield production and logistics system investment is detailed. The major steps of the simulation study are described, and the main results are highlighted.

1 Problemformulierung

In dem folgenden Praxisbeispiel werden eine Produktionsfirma, die als Hauptzulieferer arbeitet, betrachtet und eine Anwendung der Simulation in der Praxis umgesetzt. Die Aufgabe wird durch die Bauplanung einer neuen Produktionshalle ins Leben gerufen. Diese neue Halle soll Platz sowohl für die Produktion als auch für das Lagerbereich anbieten. Das Projekt besteht aus zwei größere Phasen.

Die erste Phase beschäftigt sich mit der Bestimmung der geeigneten Materialversorgungskonzeption. Drei unterschiedliche Varianten sollen untersucht werden: unterirdische automatisierte Materialversorgung, Förderanlage und Versorgung mit Routenzügen.

Die zweite Phase hat die Aufgabe, den Lagerbereich detailliert zu analysieren. Dabei muss die vorher ausgewählte Materialversorgungstechnologie in Betracht gezogen werden. Der Lagerbereich hat mehrere Funktionsbereiche sowie Warenein- und Warenausgang, Hochregallager, Umschlagsbereich und ein Kommissioniersystem für kleine Teile. Im Lagerbereich sollen unter anderem die Funktionalitäten, die Geräte, Lager- und Zwischenspeicherplätze, Platzzuordnung, Aufgabensteuerung und die einzelnen Prozessabläufe bestimmt werden.

In beiden Phasen wird der Produktionsbereich entsprechend abgebildet. Der Produktionsbereich soll funktionsmäßig die einzubauenden Teile, Fertigteile und Verpackungsmaterial realistisch abbilden. Die Produktionsabläufe sollen detailliert

modelliert werden, um die Durchlaufzeiten der einzelnen Arbeitsvorgänge möglichst realitätsnah simulieren zu können. Das Modell soll zudem den Umstellungsvorgang an den Maschinen und Montageplätzen beinhalten.

2 Praxisorientierte Simulationsstudien

In der Literatur sind zahlreiche Publikationen über Praxisanwendungen zu finden. So wird die Simulationsanalyse eines alternativen Layouts in der Solarcell-Industrie in Bangsow (2012) beschrieben. Hier wird vorgestellt, wie die Simulation in einer sich schnell verändernden Umgebung eingesetzt werden kann (Bangsow 2012). Am Beispiel der Daimler AG wird die simulationsgestützte virtuelle Logistikplanung für die Montage betrachtet (Bracht et al. 2008). In Staab et al. (2013) geht es um die Effizienzsteigerung für Routenzüge zur Produktionsversorgung mit Hilfe der Ablaufsimulation. Strategien und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für Produktionsprozesse werden in Goldhahn et al. (2016) behandelt.

In diesem Artikel wird von der Konzepterstellung bis zu Detailanalyse der unternehmerische Einsatz der Ablaufsimulation vorgestellt. Die Spezifität der Thematik liegt in dem Planungs- und Anwendungsziel. Hierzu wird die in Abbildung 1. dargestellte Prozesskomplexität abgebildet und untersucht.

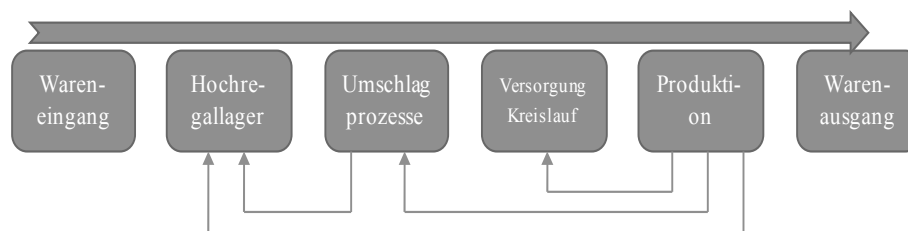


Abbildung 1: Hauptfunktionen zur Simulationsanalyse

Die Analyse integriert für die neue Produktionshalle die Wechselwirkung zwischen den einzelnen Bereichen:

- Wareneingang,
- Hochregallager (Roh-, Fertigteile und Verpackungsmaterial),
- Umschlag- und Kommissionierprozesse,
- Materialversorgungskreislauf,
- Produktionsabläufe und
- Warenauslieferung.

Da die beteiligte Firma die Simulationstechnik in solch einer Tiefe noch nicht angewendet hat, ist die Durchführung der gemeinsamen Arbeit interessant und intensiv. Um die Simulationsanalyse durchführen zu können, wird Plant Simulation angewendet.

Die Fachliteratur beschreibt den Ablaufprozess der Simulation (Banks 1998; Law und Kelton 2000; Kühn 2006; VDI 2010; März et al. 2011; Curry et al. 2011). In Abbildung 1 sind die vier Hauptschritte detailliert dargestellt. In der Konzeptphase des Projektes wird diese Vorgehensweise angewendet. Die Anfangsbedingungen der

Firma geben hierzu sehr genau das zu untersuchende System und dessen Varianten vor. Der Detaillierungsgrad des konzeptuellen Modells wird anhand der Angaben bestimmt. Die Unterschiede der Modellvarianten sind eindeutig ableitbar, die Untersuchungsziele sind bezüglich der Hauptmerkmale identisch.

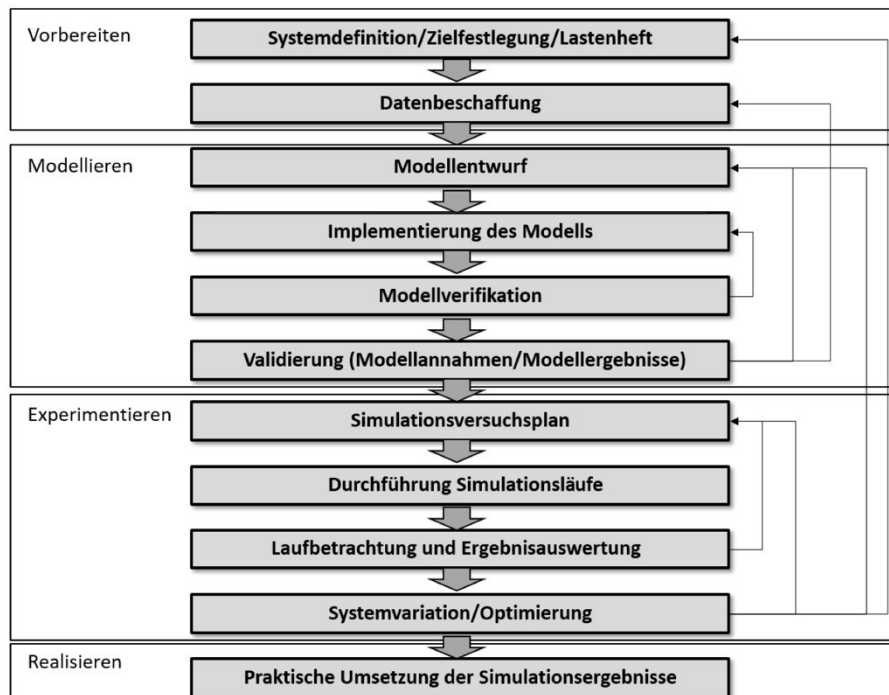


Abbildung 2: Ablaufprozess der Simulation (Kühn 2006)

Im Falle der Detailanalyse ergibt sich ein anderes Bedingungssystem, da die Simulationsstudie die Planung auch zeitlich sehr eng mitbegleitet. Zu Beginn sind Systemdefinition und Ziele noch in der Planung. Dies ermöglicht keine Verfolgung eines stabilen Ablaufprozesses in der Simulationsmodellbildung.

Am Anfang der Ausarbeitung der Detailstudie lassen sich die Systemdefinitionen der einzelnen Bereiche noch nicht ausreichend bestimmen. Die Funktionalitäten, Operationselemente, logische Zusammenhänge, Platzzuordnungsregeln sind unter anderem unklar. Aus diesem Grund müssen die Bereiche zunächst nur mit ihren Kernfunktionalitäten grob abgebildet werden. Um die Zusammenarbeit der Teilmodelle (Hauptfunktionen s. Abb. 1) erarbeiten zu können, müssen diese Grobmodelle mit sehr unterschiedlichem Detaillierungsgrad und schon sehr früh miteinander gekoppelt werden. So gibt es sowohl Bereiche, in denen die Modellierung von „Oben nach Unten“ erfolgte, als auch welche, in denen sofort detailliert modelliert wird. Diese Vorgehensweise ermöglicht zahlreiche Untersuchungen, um Ideen und im aktuellen Planungszustand „noch mögliche“ Varianten auszuprobieren. Zeitgleich bedeutet es eine sehr intensive, mühsame Kooperation mit der Partnerfirma.

Abbildung 3 stellt die Hauptmeilensteine von Entscheidungen während der Detailanalyse dar. Die einzelnen Entscheidungspunkte sind nach Hauptfunktionen zusammengefasst.

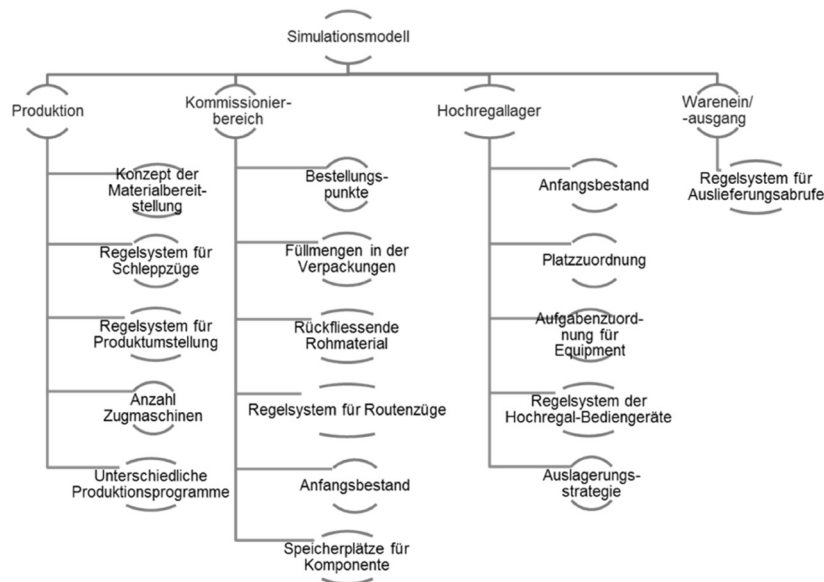


Abbildung 3: Hauptmeilensteine von durch Simulation unterstützten Entscheidungen

Mit Hilfe der Simulationsanalyse werden die entscheidungsbegründenden Ergebnisse ermittelt. Diese Entscheidungen zeigen die Vorteile von Simulation, denn es werden strategische, taktische und operative Fragestellungen ebenfalls untersucht. Viele der Simulationsmodellvarianten ergeben einen nicht realisierbaren Lösungsweg. In solchen Fällen muss das Simulationsmodell teilweise um- bzw. neugebaut werden. Die Ungewissheit der Systemdefinition bewirkt einen sich sehr dynamisch entwickelnden Modellierungsablauf mit zahlreichen Zwischenstufen. Die Verifikation und Validierung der Simulationsmodelle erfolgt mit Hilfe von unterschiedlichen Techniken. Um die Übereinstimmung mit den vereinbarten Zielen zu klären, wird eine Begutachtung angewendet. Bei Funktionen, bei denen es möglich ist, werden Festwerte angewendet (z. B. Durchsatz der Montageinseln, Durchsatz der Aufzüge). Zudem wird ein Monitoring angewendet, um Auslastungen der Routenzüge, Hochregalbediengeräte, Logistikpersonal oder Durchlaufzeiten der Bestellungen und Pufferbelegungen im Lager- und Produktionsbereich darzustellen. Dadurch kann bestimmt werden, dass die dargestellten Werte und die aktuelle Situation im Simulationsmodell konsistent sind. Die Methode des strukturierten Durchgehens wird während der Simulationsstudie regelmäßig durchgeführt. Dadurch werden mit Hilfe von Fachverantwortlichen Probleme, Fehler und Unklarheiten identifiziert. Diese Interaktionen dienen der Verbesserung der Ergebnisse in den einzelnen Phasen.

3 Erstellung des Simulationsmodells und Analyseablauf

Die Konzeptanalyse und Detailanalyse findet innerhalb von 12 Monaten statt. Im Folgenden werden die Hauptstufen der Simulationsstudie einzeln vorgestellt.

3.1 Konzeptanalyse

Die Analyse mit Hilfe der Ablaufsimulation soll mehrere Fragen beantworten. Bei der Konzeptanalyse wird die Anwendbarkeit von unterschiedlichen Versorgungstypen bestimmt:

- unterirdisches Fördersystem,
- hängende Förderanlage,
- Routenzug.

Die Modellierung in diesen Fällen erfolgt von „Oben nach Unten“, es werden die Hauptelemente identifiziert (z. B. Produktionsinseln mit Materialaufwand, um Nachbestellungen abzubilden, Förderlinien und deren Steuerungslogik, Pufferplätze in der Produktion und im Lagerbereich). Die Abbildung erfolgt durch Modellierung der Haupteigenschaften (z. B. Einbaureihenfolge der unterschiedlichen Materialien, Anfangsbestände, Verpackungsarten und Füllmengen, Schichtmodell, Produktionspläne, Montageinseln ohne Abbildung der einzelnen Detailoperationen).

Folgende Eingangsdaten stehen zur Verfügung:

- Produktionsprogramm (untersuchter Zeitraum 1 Monat),
- Prozessdaten der Produktionsinseln (15 unterschiedliche Inseln),
- Aufzug – Supermarket – Produktionsinsel – Arbeitsstation Zuordnung,
- Verpackungseigenschaften (Produktion, Ein- und Auslieferung),
- Einbaureihenfolge der Komponenten,
- Zeitaufwand für Lagerprozesse,
- Layout und Linienführung der Materialversorgung,
- Schichtordnung,
- Anfangsbestände und
- Bestandhaltungsregeln der Produktionsinseln.

Folgende Größen sollen bestimmt werden:

- Durchlaufzeit der Materialbestellungen,
- benötigte Speicherkapazitäten,
- Prozesseigenschaften der Zusammenarbeit und Kopplung von manueller und automatisierter Materialbewegung,
- Flexibilität bezüglich Produktvarianten- und Produktionsmengenveränderungen und
- Versorgungssicherheit während technischer Störungen des Versorgungssystems

Die unterschiedlichen Versorgungstypen sollen die Warenmenge im Produktionsbereich möglichst minimal halten. Trotzdem darf keine Produktionsstörung wegen fehlender Menge an Rohmaterial zugelassen werden. Es werden mehrere Supermarktbereiche in der Produktion vorgesehen, die während der Analyse und des Planungsprozesses mehrmals verändert werden. Es wird untersucht, wie die Belastung der Supermärkte abläuft und, wie die Fertigteile und Verpackungsmaterial in den

Lagerbereich zurückfließen kann. Als Beispiel wird das Modell über das Elektrohängebahnsystem in Abbildung 4 gezeigt.

In der Konzeptanalyse werden folgende Varianten in Kombination miteinander untersucht:

Unterirdisches Fördersystem:

- Verpackungsarten und Füllmengen – drei unterschiedliche Varianten
- Pufferstrukturierung (Anzahl und Räumlichkeiten) und Belegungsgrenzen – drei unterschiedliche Modellvarianten

Hängende Förderanlage:

- Anordnung und Steuerungslogik der Aufzüge – drei unterschiedliche Varianten
- Lagerbereich: Unterschiede in Anzahl und Steuerung der Aufzüge, interne Fördersteuerung mit unterschiedlichen Pufferkapazitätsgrenzen – drei Modellvarianten

Routenzug:

- Kreisfahrten – drei unterschiedliche Varianten
- Lagerbereich: interne Aufgabenabwicklung, unterschiedliche Pufferkapazitätsgrenzen – insgesamt neun Varianten

Die Durchlaufzeiten der Materialbestellungen sind für alle Versorgungstypen annehmbar. Die benötigten Pufferkapazitäten sind sowohl beim unterirdischen als auch hängendem Fördersystem kritisch und somit nicht realisierbar. Die geplante Struktur der hängenden Förderanlage kann die Versorgungssicherheit bei technischer Störung nicht erfüllen. Anhand der geprüften Merkmale wird aus Investitions- und Flexibilitätsgründen die Routenzugversorgung ausgewählt.

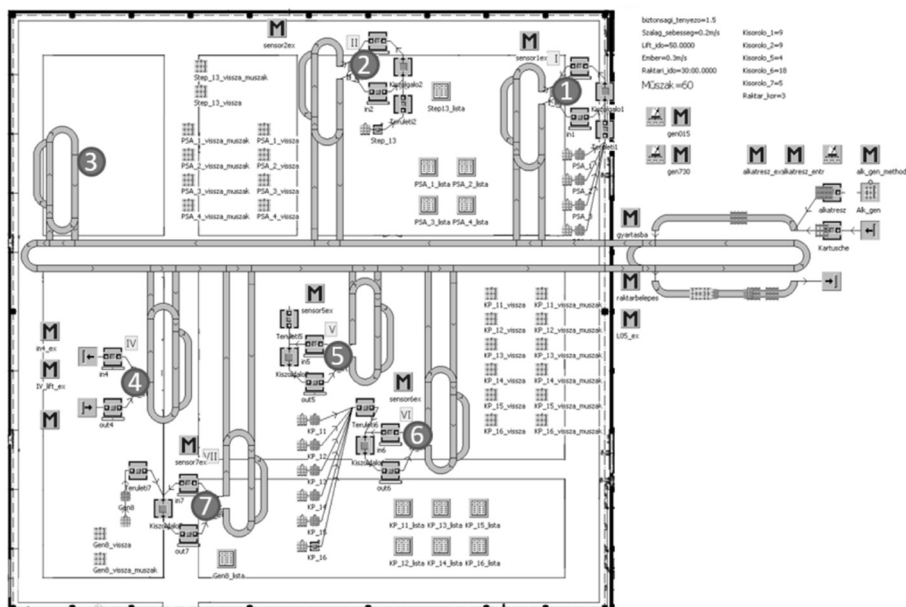


Abbildung 4: Simulationsmodell der Konzeptphase

Zum Abschluss der ersten Phase wird die Empfindlichkeit des Routenzugsystems untersucht und bestimmt, wie die Linienführung innerhalb des Produktionsbereiches aussehen und welchen zeitlichen Rahmen die Lagerprozesse für die Routenzug Be- und Entladung haben sollen. Es wird bestimmt, mit welcher Zusammenstellung der Routenzug gebildet werden soll, wobei drei unterschiedliche Wagentypen in Betracht gezogen werden (Kleinladungsträger (KLT), leere Ladungsträger (LT) und Rohmaterial).

In der Konzeptanalyse laufen Planungsaufgaben und Simulationsanalyse parallel. Es werden die Bedingungen und benötigten Parameter der einzelnen Versorgungstypen durch die Planungsaufgaben ermittelt und die Simulationsanalyse gibt Antworten auf Fragestellungen, die eine Weiterplanung ermöglichen. Für die interne Layoutplanung liefert die Simulationsanalyse die Grundspezifikationen (z. B. wie die Pufferbereiche, Aufzüge angeordnet werden sollen). Darauf basierend werden die Planvarianten der Produktionshalle zusammengestellt.

In Abbildung 5 werden die Ergebnisse bezüglich Bestelldurchlaufzeit von drei ausgewählten Varianten des Routenzugverkehrs als Histogramme dargestellt. Bei Variante a ist eindeutig zu sehen, dass die erwartete Durchlaufzeit der Materialbestellungen von 60 Minuten (blaue Linie) am besten erfüllt ist.

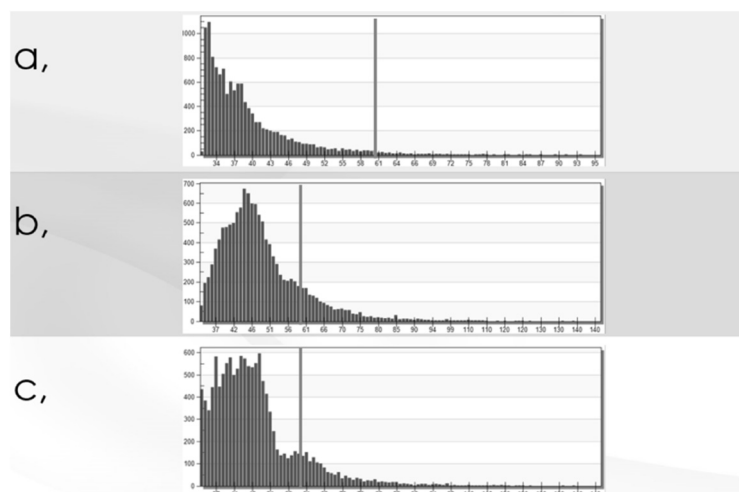


Abbildung 5: Histogramme von Bestelldurchlaufzeiten

3.2 Detailanalyse

In der zweiten Phase werden die Prozesse im Lagerbereich feingepflegt und zeitgleich mit Hilfe der Simulation bewertet. Die Modellierung der Komponenten in der Detailanalyse zeigt schon deutliche Unterschiede auf. Bei der Abbildung der Produktion können die Funktionalitäten (z. B. Supermarktvarianten, manuelle Operationen, Varianten der Bestellregeln, Varianten der Zuordnung von Supermärkten und Montageinseln) von „Oben nach Unten“ ins Simulationsmodell eingebaut. Die Abbildung des Hochregalbereiches erfolgt aber von „Unten nach Oben“, es müssen alle Gassen mit den einzelnen Lagerpositionszuordnungen,

Bedienungsregeln, Fördermaschinen, Personalzuordnungen und Auftragsbearbeitungslogiken Schritt für Schritt aufgebaut werden.

Für den Wareneingangs- und Ausgangsbereich werden die einzelnen Arbeitsprozesse, die nötigen Geräte, die anzuwendende Aufgabensteuerung und die Auswirkung der Priorisierung bestimmt. Im Bereich der Hochregallager wird die Platzzuordnung zusammen mit der Anzahl der Geräte und deren Aufgabensteuerung untersucht. Das Hochregallager bietet Plätze für Rohmaterial, Verpackungsmaterial und Fertigware für dreizehn unterschiedliche Produkte. In fünf Gassen arbeiten zwei Bediengeräte, die Gassen sind an beiden Enden geöffnet. Die Auslagerung von Rohmaterial und Verpackungsmaterial erfolgt am „hinteren Ende“, Materialzufuhr und Auslagerung von Fertigware erfolgt „vorne“. Die Materialbereitstellung für die Hochregalgeräte geschieht mit Hilfe von Gabelstaplern. Der Hochregalbereich bekommt Aufträge vom Umschlagbereich, dem Kommissionierbereich, von der Einlieferung, der Auslieferung und den Produktionsbereichen. Die untersuchten zahlreichen Planungsvarianten sollen im Hochregallagerbereich den entsprechenden Durchsatz sichern. Bei den Umschlag- und Kommissionierbereichen werden die Arbeitsprozesse, Kapazitäten und Ressourcenzuordnung analysiert. Diese Bereiche haben direkten Kontakt mit den Routenzügen und spielen somit eine wichtige Rolle in deren Bildung, Aufgabensteuerung und damit der gesamten Materialkreislaufbildung. Im Umschlagbereich wird die Speicherkapazität für die Rohmaterialien der laufenden Produktion bestimmt. Abbildung 6 stellt die Komplexität der Detailanalyse dar.

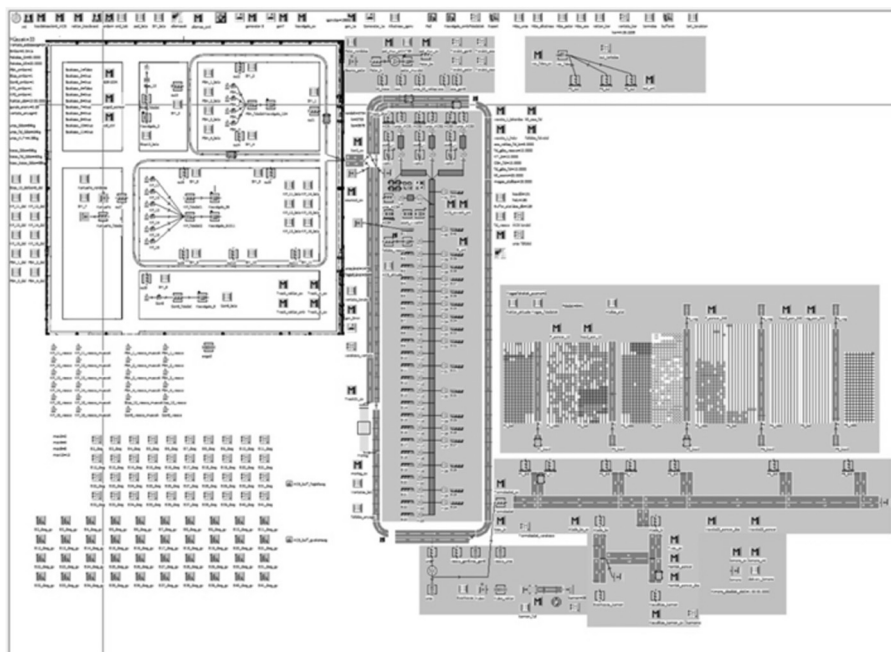


Abbildung 6: Simulationsmodell in der Detailanalyse

In den einzelnen untersuchten Bereichen werden folgende Fragestellungen beantwortet:

Produktion:

- Supermärkte – Montageinseln – Rohmaterial, Fertigware und Ladungsträger Zuordnung – vier unterschiedliche Varianten
- Be- und Entladung der Routenzüge in den Supermarktgebieten – drei Varianten
- Aufgabensteuerung der manuellen Operationen zwischen Supermärkten und Montageinseln – vier Varianten

Kommissionierbereich:

- Anordnung von Materialien im Bereich (abhängig von Kapazität und Bestellungsregelung) – fünf Varianten
- Bestellungsregeln für Kommissionierung – drei Varianten
- Beladungsregeln für Routenzüge (Zusammensetzung KLT, GLT, Leere LT, Leerfahrt, Größe des Zeitfensters für Aufenthalt im Lagerbereich) – zehn Varianten

Hochregallager:

- Anzahl von Bediengeräten – zwei Varianten
- Lagerplatzzuordnung – fünf Varianten
- Regelung von Auftragsbearbeitung für Hochregalbediengeräte – vier Varianten
- Umstellungsregelung zwischen Gassen für Bediengeräte – drei Varianten
- Regelung der Zu- und Ablieferung im Hochregalbereich – drei Varianten

Warenein- und -ausgangsbereich:

- Maschinen – Personal – Aufgabenzuordnung – vier Varianten
- Aufgabenzuordnung der Tore (Ein-/Auslieferung, Bestimmung der Vorbereitungszeiträume) – drei Varianten

Anhand der Simulationsergebnisse werden die Fragestellungen beantwortet. Die Simulationsstudie zeigt, dass die Produktion im untersuchten Zeitraum mehr als 100.000 Endprodukte herstellen kann. Dazu werden von der Produktion mehr als 15.000 Bestellungen in Richtung Lagerbereich gestellt. Diese Bestellungen können von drei Routenzügen ausgeliefert werden, insgesamt werden mehr als 5.500 Kreisfahrten benötigt. Die Simulation bestimmt das Regelsystem für die Routenzüge in Produktion und im Lagerbereich. Für das Hochregallager wird durch die Simulationsstudie nachgewiesen, dass in fünf Gassen zwei Bediengeräte mit bestimmtem Regelsystem ausreichend sind. Diese Geräte bewegen in dem untersuchten Zeitraum mehr als 16.000 Ladungseinheiten. Mit Hilfe der Simulationsanalyse wird damit die Aufgabensteuerung für das ganzheitliche System geplant, getestet und dessen Funktionsfähigkeit nachgewiesen.

4 Fazit

Hauptziel der Feinplanung und Simulationsanalyse ist die störungsfreie Abwicklung von Hochlast in der Produktion. Während der Ausführung werden komplexe Wechselwirkungen der einzelnen Bereiche abgebildet und mit Hilfe der Simulation die zugehörigen Kennzahlen sowie die Merkmale der Belastungsfälle ermittelt, sodass die Planungsentscheidungen unterstützt werden.

Die Ergebnisse und Erkenntnisse der Simulationsanalyse werden fortlaufend in den Planungsprozess integriert. Die Produktionshalle wird den Spezifikationen entsprechend gebaut und in Betrieb genommen. Das Modell dient später als Grundlage für die Feinplanung. Es wird so ausgelegt, dass Modifikationen (z. B. Schichtmodelle, spezielle manuelle Operationen) im Produktionsplan einfach untersucht werden können. Die gewonnenen Erkenntnisse sind für die Ausgangsbedingungen und dazu gehörigen Eingangsdaten gültig, bei Modifizierung z. B. der Produktstruktur müssen Änderungen im Simulationsmodell ebenfalls durchgeführt werden. Die gewonnenen Planungskenntnisse können bei einer späteren Investition, z. B. einer automatisierten Funktionsergänzung der Materialbereitstellung für Kommissionierung oder einem Einsatz von Fahrerlosen Transportfahrzeugen, benutzt werden. Außerdem bieten die Erfahrungen eine sehr detaillierte Grundlage für die Spezifikation eines erweiterten Produktionssteuerungssystems.

Danksagung

Dieser Artikel entstand im Rahmen der 1687/2015. (IX. 25.) Verordnung der Regierung, individuelle Innovationsförderung der Széchenyi István Universität.

Literatur

- Bangsow S. (Hrsg.): Use Cases of Discrete Event Simulation, Appliance and Research. Heidelberg: Springer 2012.
- Banks, J.: Handbook of Simulation, Principles, Methodology, Advances, Application and Practice. John Wiley & Sons Inc 1998.
- Bracht U.; Rooks T.; Adrian R.: Virtuelle Logistikplanung für die Montage im Rahmen der Digitalen Fabrik. In: Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Stuttgart: Fraunhofer IRB 2008.
- Curry G.L., Feldman R.M.: Manufacturing System Modeling and Analysis. New York: Springer, 2011.
- Goldhahn L.; Müller E., Müller-Eppendorfer K.: Strategie und Werkzeuge zur Planung der Materialbereitstellung für manuelle Montageprozesse. Wissenschaftliche Schriftenreihe des Institutes für Betriebswissenschaften und Fabriksysteme, Chemnitz 2016.
- Kühn W.: Digitale Fabrik: Fabriksimulation für Produktionsplaner. München: Carl Hanser 2006.
- Law, A.; Kelton, D.: Simulation modeling and analysis. New York: McGraw-Hill 2000.
- März L.; Krug W.; Rose O.; Weigert G.: Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik, Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen. Berlin: Springer 2011.
- Staab T.; Galka S.; Klenk E.; Günther W.A.: Effizienzsteigerung für Routenzüge – Untersuchung des Einflusses der Routenführung auf die Auslastung und Prozessstabilität. In: Simulation in Produktion und Logistik, Entscheidungsunterstützung von der Planung bis zur Steuerung. Paderborn: HNI-Verlagsschriftenreihe 2013.
- VDI 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss und Produktionssystemen: Grundlagen. Berlin: Beuth 2010.