

# Fachwissenschaftliche Projektarbeit

Fabian Heßmann

Entwicklung eines ereignisdiskreten  
Simulationsmodells zur Planung und Optimierung  
eines Hochregallagers einer Modell-Fabrikanlage  
unter besonderer Berücksichtigung von  
verschiedenen Lagerstrategien

<b>Studiengang</b>	BA-Studiengang: Wirt.-Ing.
<b>Matrikelnummer</b>	156718
<b>Thema ausgegeben am</b>	21.04.2015
<b>Arbeit eingereicht am</b>	11.01.2016
<b>Prüfer</b>	Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
<b>Betreuer</b>	Felix Dross, M.Sc. Software Engineering

---

# Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	<b>I</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>II</b>
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	<b>III</b>
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>1</b>
<b>2 Grundlagen.....</b>	<b>3</b>
2.1 Industrie 4.0.....	3
2.2 Ereignisdiskrete Simulation.....	7
2.2.1 Einführung in die ereignisdiskrete Simulation .....	7
2.2.2 Plant Simulation.....	9
2.3 Lagerwirtschaft.....	10
2.3.1 Grundlagen der Lagerwirtschaft.....	10
2.3.2 Lagerstrategien und Kriterien zur Lagerplatzvergabe .....	13
<b>3 Simulationsmodell .....</b>	<b>15</b>
3.1 Entwickeltes Modell.....	15
3.2 FIFO.....	19
3.3 Festplatz.....	23
3.4 Vergleich der Lagerstrategien FIFO und Festplatzlagerung.....	25
<b>4 Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb der Anlage .....</b>	<b>27</b>
<b>5 Fazit und Ausblick .....</b>	<b>30</b>
<b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>IV</b>

## Abkürzungsverzeichnis

ASIM	Arbeitsgemeinschaft Simulation
BE	Bewegliche Elemente
BITKOM	Bundesverband Informatikwirtschaft, Telekommunikation und neue Medien
CPS	Cyber-physische Systeme
DES	Discrete Event Simulation
FIFO	First-In-First-Out
GOR	Gesellschaft für Operations Research
IPA	Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung
LIFO	Last-In-First-Out
PC	Personal Computer
PLM	Product Lifecycle Management
PPS	Produktionsplanung- und Steuerung
VDI	Verein Deutscher Ingenieure
VDI-GPL	VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik
VDMA	Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau
ZVEI	Zentralverband Elektrotechnik- und Elektronikindustrie

---

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Die vier Stufen der industriellen Revolution	S. 3
Abbildung 2	Beispiele für Lagerstandorte im inner- und außerbetrieblichen Materialfluss	S. 12
Abbildung 3	Skizze des Lagerbereiches der Modell-Fabrikanlage	S. 15
Abbildung 4	Screenshot des Simulationsmodells	S. 17
Abbildung 5	24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von weniger als einer Minute in der FIFO-Steuerung	S. 20
Abbildung 6	24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von mehr als einer Minute in der FIFO-Steuerung	S. 21
Abbildung 7	24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von weniger als einer Minute in der Festplatz-Steuerung	S. 24
Abbildung 8	24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von mehr als einer Minute in der Festplatz-Steuerung	S. 25

# 1 Einleitung

Am Fachgebiet IT in Produktion und Logistik der Fakultät Maschinenbau der Technischen Universität Dortmund entsteht zurzeit eine Modell-Fabrikanlage. Mit Hilfe von ereignisdiskreter Simulation sollen dort verschiedene Fertigungs- und Lagerstrategien erprobt und optimiert werden. Auf diese Weise wird bereits Studenten die Möglichkeit gegeben, den Umgang mit Simulationssoftware näher kennenzulernen und diese auch selber einzusetzen. Dies ist gerade in Zeiten der prognostizierten Digitalisierung der Unternehmen im Allgemeinen und der Produktion im Speziellen von großer Bedeutung. Besser bekannt ist diese bevorstehende, vierte industrielle Revolution spätestens seit der Hannover Messe 2011 unter dem Begriff „Industrie 4.0“. Kennzeichen hierfür sind eine hoch flexibilisierte Produktion, zunehmend individualisierte Produkte und kürzer werdende Produktlebenszyklen sowie die Digitalisierung und weiter fortschreitende Automatisierung der Fabriken<sup>1</sup> (S. 261-262). Ein wesentlicher Bestandteil dieser digitalen Revolution ist die sogenannte „Smart Factory“. Hierbei handelt es sich um die Vision einer Fabrik, in der die unterschiedlichen Anlagen und Systeme der Fertigung und der Logistik miteinander interagieren und sich weitgehend selbst organisieren und optimieren. Die Grundlage hierfür bilden sogenannte „cyber-physische Systeme“ und das „Internet der Dinge“.

In diesen Kontext fällt auch die eingangs erwähnte Modell-Fabrikanlage am Fachgebiet IT in Produktion und Logistik. Durch die Modellfabrik können verschiedene Bereiche der Anlage, konkret die Fertigung und das Lager, untersucht, geplant und optimiert werden. Bevor man jedoch an einem bestehenden System eine Veränderung vornimmt oder sogar ein ganz neues System einführt, hat sich die Simulation als eine wichtige Entscheidungsunterstützung etabliert. Auf diese Weise können mögliche Schwachstellen oder Optimierungspotenziale bereits im Vorfeld erkannt und behoben werden. Im Idealfall verhilft der Einsatz von Simulation also zu einem Zeit- und Kostenvorteil.

Das Ziel der Arbeit dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit ist die Entwicklung eines ereignisdiskreten Simulationsmodells mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation der Firma Siemens. Da die Lagerhaltung in der Modell-Fabrikanlage in einem Hochregallager erfolgt, soll das Simulationsmodell dazu dienen, eben dieses Hochregallager zu planen und zu optimieren. Insbesondere sollen hierbei verschiedene Lagerstrategien berücksichtigt werden. Des Weiteren soll das entwickelte Simulationsmodell langfristig dazu dienen, parallel zum laufenden Betrieb der Fabrik eingesetzt zu werden. Auf diese Weise sollen die unterschiedlichen Steuerungsparameter der Anlage optimiert werden, ohne den Betriebsablauf zu stören. Hierzu soll ein Konzept erarbeitet werden.

Im folgenden Kapitel werden daher zunächst einmal die theoretischen Grundlagen dieser Arbeit dargestellt. Dazu zählen die Themenbereiche Industrie 4.0, ereignisdiskrete Simulation und Lagerwirtschaft. Bezüglich Industrie 4.0 wird neben der historischen Entwicklung des technologischen Fortschrittes insbesondere cyber-physische Systeme, kurz CPS, sowie das sogenannte „Internet der Dinge“ näher erläutert. Bei der ereignisdiskreten Simulation wird zunächst Simulation im Allgemeinen und ereignisdiskrete Simulation im Speziellen vorgestellt sowie der Aufbau und die Funktionsweise des Werkzeuges Plant Simulation. Den Schlussteil der theoretischen Grundlagen bildet die Lagerwirtschaft. Hierbei werden Unterscheidungskriterien hinsichtlich Einsatzzweck und baulicher Konstruktion der unterschiedlichen Lagertypen aufgezeigt. Außerdem wird ein besonderer Fokus auf verschiedene Lagerstrategien und Kriterien zur Lagerplatzvergabe gelegt.

Im dritten Kapitel wird dann das entwickelte Simulationsmodell dargestellt. Hierbei werden die einzelnen Abläufe näher beschrieben, um ein Verständnis für die Funktionsweise des Modells zu gewinnen. Außerdem werden die beiden untersuchten Lagerstrategien vorgestellt und miteinander verglichen.

Im anschließenden vierten Kapitel wird dann ein Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb erläutert. Hierbei wird auch noch einmal auf weiterführende Einsatzmöglichkeiten des Simulationsmodells eingegangen.

Abschließend erfolgen noch ein Fazit und ein Ausblick bezüglich der zuvor erarbeiteten Resultate.

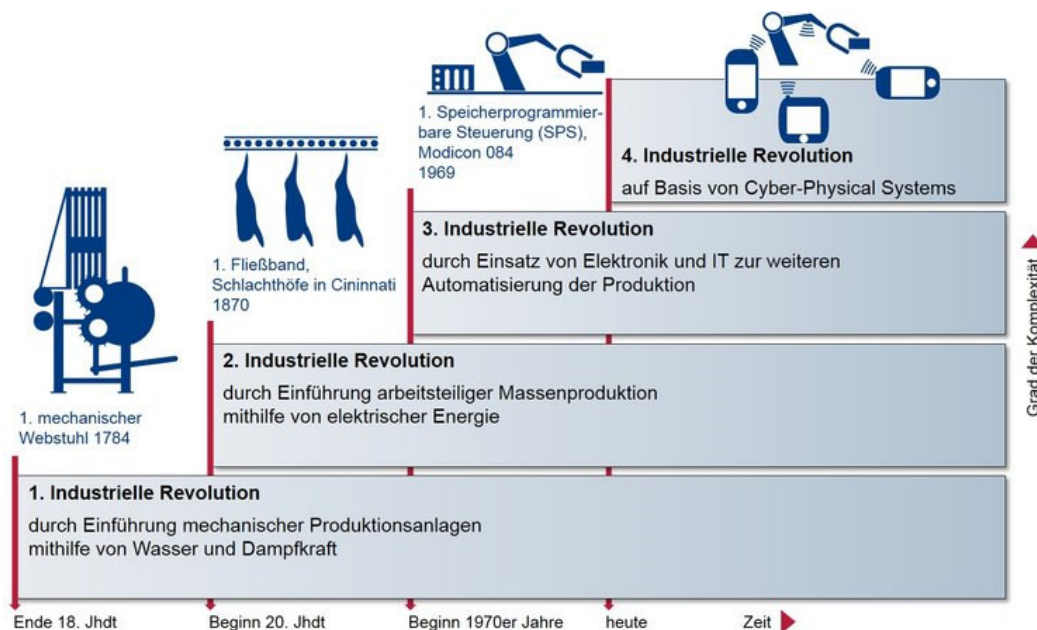
## 2 Grundlagen

In den nachfolgenden Kapiteln werden die theoretischen Grundlagen dargestellt, die dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit zugrunde liegen. Dazu zählen der Themenkomplex Industrie 4.0, die ereignisdiskrete Simulation sowie der Bereich der Lagerwirtschaft.

### 2.1 Industrie 4.0

Seit dem Beginn der Industrialisierung in der zweiten Hälfte des 18. Jahrhunderts hat es mehrere Technologiesprünge gegeben, die die technischen, wirtschaftlichen und gesellschaftliche Aspekte unseres Lebens entscheidend geprägt haben. Diese Veränderungen werden auch als Revolutionen bezeichnet.

Insgesamt werden drei Phasen der industriellen Revolution unterschieden. Die erste industrielle Revolution fand hauptsächlich im Bereich der Mechanisierung statt. In der zweiten industriellen Revolution war dann die intensive Nutzung elektrischer Energie kennzeichnend und bei der dritten industriellen Revolution war schließlich die Informations- und Kommunikationstechnologie die treibende Kraft<sup>1</sup> (S.261 -262).



**Abbildung 1:** Die vier Stufen der industriellen Revolution (DFKI)

Während für die 1. industrielle Revolution Erfindungen wie die Dampfmaschine oder der elektrische Webstuhl kennzeichnend waren, war es in der 2. industriellen Revolution insbesondere die intensive Nutzung von Generatoren, Glühlampen oder Elektromotoren und in der 3. industriellen Revolution schließlich die Entwicklung des integrierten Schaltkreises. Diese letzte, auch digitale genannte, Revolution hat zu einer Vielzahl von Erfindungen geführt, die aus unserem heutigen Alltag nicht mehr wegzudenken sind.

Beispiele hierfür sind PC, Smartphones oder Digitalkameras, aber auch die weltweite Verbreitung des Internets.

Auch wenn der Auslöser dieser industriellen Revolutionen zumeist die Erfindungen und Verbreitung neuartiger Technologien sind, sind dennoch auch die Auswirkung auf die Wirtschaft und Gesellschaft kennzeichnend. Im Laufe der 3. industriellen Revolution, gingen viele Ökonomen davon aus, dass sich die entwickelten Volkswirtschaften von Industrienationen zu Wissens- und Dienstleistungsgesellschaften ändern werden. Postuliert wurde, dass sich der Anteil des sekundären Sektors am Bruttoinlandsprodukt ähnlich entwickeln werde wie der Anteil der Landwirtschaft<sup>2</sup> (S. 7). Als Konsequenz bedeutet dies, dass der Anteil der Industrie an der Bruttowertschöpfung nahezu bedeutungslos werden würde. In einigen westlichen Ländern wie Frankreich, Großbritannien oder auch den Vereinigten Staaten, schien sich dieser Trend auch tatsächlich abzuzeichnen. Mittlerweile muss man jedoch feststellen, dass auch in den genannten Ländern die Wichtigkeit eines hohen Industrieanteils erkannt wurde. Der Trend geht dahin, höhere Industrieanteile aufzubauen und Teile der Wertschöpfung nicht mehr ins Ausland auszulagern, sondern wieder zurück ins eigene Land zu holen<sup>2</sup> (S. 9). Deutschland hingegen stellt hierbei einen Sonderfall dar. Der Bundesrepublik ist es in den vergangenen Jahrzehnten gelungen, den Anteil des produzierenden Gewerbes an der gesamtwirtschaftlichen Bruttowertschöpfung nahezu konstant bei 25 % zu halten<sup>3</sup> (S. 3). Damit die Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie langfristig gesichert ist, müssen die Unternehmen für die zukünftigen Entwicklungen gewappnet sein.

Denn die Digitalisierung hat natürlich nicht nur zu Veränderungen der Privathaushalte geführt, sondern auch längst Einzug in die Unternehmen und Fabriken gehalten. Der Prozess der Digitalisierung in der Industrie ist aber noch lange nicht abgeschlossen. Im Gegenteil, er hat grade erst begonnen und wird zu einer grundlegenden Veränderung der Bedingungen in der industriellen Produktion führen. Diese zukünftige 4. industrielle Revolution fasst die Bundesregierung in ihrer Hightech-Strategie unter dem Schlagwort „Industrie 4.0“ zusammen. Erstmals im öffentlichen Sprachgebrauch tauchte der Begriff zur Hannover Messe 2011 auf. Kennzeichnen von Industrie 4.0 sind laut Bundesregierung „die starke Individualisierung der Produkte bei einer hoch flexibilisierten Produktion, die frühzeitige Einbeziehung von Kunden und Geschäftspartnern in Design- und Wertschöpfungsprozesse und die Kopplung von Produktion und hochwertigen Dienstleistungen, die in sogenannte hybride Produkte mündet“<sup>4</sup> (S.16). Weitere Schlüsselbegriffe, die im Zusammenhang mit Industrie 4.0 stehen und im Folgenden erläutert werden, sind „cyber-physische Systeme“ (CPS) und das „Internet der Dinge“.

Neben der Bundesregierung trägt vor allem die „Plattform Industrie 4.0“ zur Verbreitung des Begriffs Industrie 4.0 bei. Dabei handelt es sich um ein gemeinsames Projekt der drei Industrieverbände BITKOM, VDMA und ZVEI. Das Ziel dieser Plattform ist es, „die



vorwettbewerblichen Voraussetzungen für die wirtschaftliche Umsetzung und die Verwirklichung der Vision Industrie 4.0 zu schaffen, und so den Wirtschaftsstandort Deutschland zu stärken“<sup>5</sup> (S. 3).

Auslöser dieser 4. industriellen Revolution sind einerseits allgemeine technische, wirtschaftliche und politische Veränderungen, wie wachsende Flexibilitätsanforderungen der Absatzmärkte, zunehmende Individualisierung der Produkte und kürzer werdende Produktlebenszyklen<sup>6</sup> (S. 6). Auf der anderen Seite herrscht ein enormer Innovationsdruck in der Industrie, gekennzeichnet durch die Digitalisierung und Vernetzung mit Hilfe des Internets und anderer Netzdienste sowie die weiter steigende Mechanisierung und Automatisierung in den Fabriken<sup>1</sup> (S.261-262). Dies führt dazu, dass sich vollkommen neue Produkte und Dienstleistungen entwickeln lassen, bis hin zu „autonomen“ Fertigungszellen<sup>3</sup> (S. 7). Wesentlicher Bestandteil dieses Konzeptes sind die cyber-physischen Systeme, kurz CPS.

CPS bestehen sowohl aus Mechanik, Hydraulik und Elektrotechnik als auch aus Elektronik und Software. Die beiden wesentlichen Komponenten sind Systeme mit eingebetteter Software einerseits und globale Datennetzen wie dem Internet andererseits<sup>7</sup> (S. 22). Die Systeme mit eingebetteter Software sind wiederum Bestandteile von Geräten, Produktionsanlagen oder Gebäuden. CPS erfassen über Sensoren physikalische Daten und wirken durch Aktoren auf physikalische Vorgänge ein. Sie interagieren sowohl mit der physikalischen als auch mit der digitalen Welt und sind über digitale Kommunikationseinrichtungen untereinander sowie in globalen Netzen verbunden<sup>8</sup>. Dies bedeutet, dass die reale Welt durch cyber-physische Systeme mit der virtuellen Welt verbunden wird.

Man bezeichnet CPS auch als „enabling technology“<sup>8</sup> (S. 11). Durch die Verbindung der eingebetteten Systeme mit den globalen Netzen entsteht eine große Anzahl an weitreichenden und innovativen Lösungs- und Anwendungsmöglichkeiten.

CPS werden normalerweise nicht als eigenes System gebaut. Sie entstehen dadurch, dass bereits vorhandene Infrastruktur mithilfe von Internet oder Cloud-Computing mit eingebetteter Informationstechnik vernetzt wird<sup>8</sup> (S. 17).

Der Einsatz von CPS ist in einer Vielzahl von Einsatzbereich denkbar oder bereits Realität. Dazu gehören die Automobilbranche, die Medizintechnik, die Energiewirtschaft oder die Logistik. In der industriellen Produktion können CPS einen wesentlichen Beitrag zu den oben genannten Herausforderungen, wie wachsende Flexibilitätsanforderungen, Individualisierung oder kürzer werdende Produktlebenszyklen, leisten. Denkbar ist der Einsatz von CPS in der industriellen Produktion um schnell und flexibel auf Änderungen der Kundenwünsche oder des Marktes reagieren zu können, um bestehende Produktions- und Logistikabläufe zu optimieren und um generell ressourcenschonend zu produzieren.

Überschneidungen gibt es ebenfalls zum „Internet der Dinge“. Der Begriff „Internet of Things“ wurde erstmals Ende der 1990er-Jahre von Kevin Ashton verwendet. Das Ziel ist hierbei, wie bei CPS, die Verknüpfung der virtuellen mit der realen Welt. Möglich wird dies durch den stetigen Fortschritt der Mikroelektronik und Informationstechnologie. Elektronische Bauteile wie Mikroprozessoren, Speichermodule und Sensoren und somit auch ganze Computer werden immer kleiner, leistungsfähiger und günstiger. Diese Entwicklung beruht maßgeblich auf dem Mooreschen Gesetz<sup>9</sup> (S. 128). Die miniaturisierten Prozessoren, Speicherbausteine und Sensoren können in Alltagsgegenstände eingebaut werden und auf diese Weise ganz neue Anwendungsmöglichkeiten erschließen. Durch Kommunikation der Gegenstände untereinander, beispielsweise mit Hilfe von eingebauten Sensoren, entsteht so ein „Internet der Dinge“.

Ein ähnliches Konzept, nämlich „Ubiquitous Computing“, wurde bereits Anfang der 1990er-Jahre von Mark Weiser entwickelt<sup>10</sup> (S. 40). Ubiquitäre Computer sollen dabei den Menschen in seinen alltäglichen Aufgaben unterstützen sowie für eine durchgängige Automatisierung und Optimierung wirtschaftlicher Prozesse sorgen<sup>10</sup> (S. 41). Langfristig ging Weiser davon aus, dass Computer als sichtbare Geräte zunehmend in den Hintergrund treten und schließlich ganz verschwinden werden. Ähnliche Konzepte sind das „Pervasive Computing“ und „Ambient Intelligence“.

Eine der Basistechnologien des „Internet der Dinge“ ist die „Radio Frequency Identification“, kurz RFID. RFID gehört, ebenso wie der Barcode, zu den automatisierten Identifikationssystemen<sup>11</sup> (S. 9). Mit der Technologie lassen sich durch Radiowellen sowohl Gegenstände als auch Lebewesen automatisch und berührungslos identifizieren und lokalisieren. Hauptbestandteile sind der RFID-Transponder, das RFID-Lesegerät sowie Informationssysteme<sup>11</sup> (S. 13). Der Transponder befindet sich am Objekt und enthält einen kennzeichnenden Code. Das Lesegerät wiederum kann die Kennung auslesen. Sobald der Transponder in Reichweite des Lesegeräts ist, können sowohl Daten ausgetauscht werden als auch der Transponder mit Energie versorgt werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es sich bei Industrie 4.0 und ihren Komponenten größtenteils noch um Visionen handelt, wie die Fabrik der Zukunft eines Tages aussehen soll. Zwar gibt es bereits einige Beispiele, bei denen Industrie 4.0 schon erfolgreich umgesetzt wurde, jedoch ist dies zurzeit noch die Ausnahme. Realität ist bereits, dass bestehende Produktions- und Logistikabläufe mit Hilfe von Software analysiert und optimiert werden. Dies wird das nächste Kapitel zeigen.

## 2.2 Ereignisdiskrete Simulation

Im folgenden Kapitel wird zunächst ein Überblick über die ereignisdiskrete Simulation gegeben und abschließend die Simulationssoftware Plant Simulation noch einmal näher vorgestellt.

### 2.2.1 Einführung in die ereignisdiskrete Simulation

Die industrielle Produktion in Mitteleuropa und insbesondere auch in Deutschland ist gekennzeichnet durch einen hohen Wettbewerbsdruck, kürzer werdende Produktlebenszyklen und eine zunehmende Anzahl an Produktvarianten. Damit die Wettbewerbsfähigkeit mitteleuropäischer Industrieunternehmen auch auf lange Sicht hin gesichert ist, müssen sowohl die Produktion als auch die Logistik kontinuierlich an die sich stetig ändernden Rahmenbedingungen angepasst werden<sup>12</sup> (S. 3). Da die damit verbundenen Fragestellungen oftmals durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet sind, hat sich die Simulation als ein effektives Instrument zur Entscheidungsunterstützung etabliert. Die Automobilindustrie nimmt dabei sowohl in der Nutzung als auch in der Entwicklung der Simulationstechnik eine führende Rolle ein<sup>13</sup> (S.1).

Jedoch besteht nicht nur von Seiten der Industrie ein reges Interesse an der Forschung und Entwicklung von Simulationstechnik, sondern auch von wissenschaftlicher Seite. Dies zeigt sich durch die Bildung einer Vielzahl von Arbeitsgruppen wie der Arbeitsgemeinschaft Simulation (ASIM), der Arbeitsgruppe Simulation und Optimierung komplexer Systeme der Gesellschaft für Operations Research (GOR) oder dem Fachausschuss Modellierung und Simulation im Rahmen der VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (VDI-GPL)<sup>14</sup> (S. 6).

Nach der VDI- Richtlinie 3363 Blatt 1 ist Simulation das „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“<sup>15</sup> (S. 3).

Konkret bedeutet dies, dass mit Hilfe von Simulation ein bereits bestehendes oder geplantes System in abstrahierter Form dargestellt werden kann. An diesem Simulationsmodell können dann verschiedene Szenarien, beispielsweise unterschiedliche Lagerstrategien in einem Hochregallager, durchgespielt werden, die man am realen System entweder nicht durchspielen kann oder will.

Nach Law und Kelton lassen sich Simulationsmodelle nach den drei folgenden Gesichtspunkten klassifizieren<sup>16</sup> (S. 5-6). Zunächst einmal werden statische und dynamische Simulationsmodelle unterschieden. Statisch bedeutet in diesem Fall, dass das System nur zu einer bestimmten Zeit betrachtet wird oder die Zeit überhaupt gar keine Rolle spielt. Dynamische Simulationsmodelle hingegen stellen das Zeitverhalten von

Systemen dar. Außerdem kann man deterministische und stochastische Simulationsmodelle voneinander differenzieren. Deterministisch meint hierbei, dass das jeweilige Simulationsmodell keine Zufallsvariablen enthält. Stochastische Simulationsmodelle hingegen beinhalten diese. Als Letztes lassen sich noch kontinuierliche und diskrete Simulationsmodelle unterscheiden. Bei kontinuierlichen Simulationsmodellen ändern sich die Zustände innerhalb des Systems kontinuierlich. Im Gegensatz dazu ändern sich bei diskreten Modellen die Systemzustände nur zu bestimmten Ereignissen.

Simulationsmodelle in Produktion und Logistik sind in den meisten Fällen diskret, dynamisch und stochastisch. Es handelt sich hierbei also um ereignisdiskrete Simulation<sup>17</sup> (S.3). Ereignisdiskrete Simulation, auf Englisch Discrete Event Simulation, kurz DES, hat „sich heute in fast allen Produktions- und Logistikbereichen zur Planung, Bewertung, Verbesserung und Steuerung von Systemen und Prozessen etabliert und bewährt“<sup>18</sup> (S. 1). Dennoch werden die Potentiale von Simulation immer noch teilweise unter- und manchmal auch überschätzt<sup>19</sup> (S.118). Simulation ist kein Allheilmittel, welches die Entscheidungsträger von jeglicher Verantwortung entbindet. Genauso wenig ist ein Simulationssystem lediglich ein „verbessertes PPS-System“<sup>19</sup> (S.118). Doch eigentlich sind die Vorteile von Simulation klar ersichtlich. Durch den Einsatz von Simulation lassen sich alternative Strategien in einem Produktions- oder Logistiksystem erproben, ohne den regulären Betriebsablauf zu stören. Es lassen sich mögliche Schwachstellen analysieren und quantitative und qualitative Messdaten gewinnen. Die durch den Einsatz von Simulation gewonnenen Erkenntnisse können auf ein reales System übertragen werden oder in die Planung für ein zukünftiges System miteinfließen. Generell hilft Simulation dabei, Planungsergebnisse abzusichern, Fehlentscheidungen vorzubeugen und Risiken zu minimieren<sup>19</sup> (S.118). Zusammenfassen kann man sagen, dass Simulation dazu dient, die Basis für eine fundierte Entscheidungsunterstützung zu bilden. Dies gilt insbesondere bei sehr komplexen Projekten und bei Entscheidungen mit einer hohen Tragweite.

Damit auch wirklich Zeit und Kosten gespart werden, sind bei der Durchführung von Simulationsstudien verschiedene Punkte zu beachten. Zu den wesentlichen Kriterien zur Beurteilung der Güte eines Simulationsprojektes zählen eine gründliche Vorbereitung des jeweiligen Simulationsprojektes und eine systematische Projektdurchführung<sup>18</sup> (S.4). Des Weiteren ist eine durchgängige Dokumentation sowie Verifikation und Validierung der Ergebnisse unabdingbar<sup>18</sup> (S.4). Nach Rabe, Spieckermann und Wenzel lassen sich die Begriffe Verifikation und Validierung wie folgt definieren<sup>20</sup> (S.14-15): „Verifikation ist die Überprüfung, ob ein Modell von einer Beschreibungsart in eine andere Beschreibungsart korrekt transformiert wird“ und „Validierung ist die kontinuierliche Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau

wiedergeben wurde“. Vereinfachend kann man sagen, dass Verifikation überprüft, ob das Modell richtig ist und Validierung, ob es das richtige Modell ist<sup>20</sup> (S.14-15). Denn nur, wenn die Ergebnisse der Simulation richtig und übertragbar sind, kann verhindert werden, dass aus den Simulationsergebnissen fehlerhafte Rückschlüsse gezogen werden. Fehlentscheidungen, die auf falschen oder zumindest fehlerhaften Simulationsergebnissen beruhen, können zu Kosten führen, die die Kosten der Simulationsstudie um ein Vielfaches übertreffen<sup>20</sup>(S.1). Daher muss die Verifikation und Validierung der Simulationsergebnisse möglichst frühzeitig beginnen und sowohl in der Modellbildung, der Nutzung sowie der Auswertung der Ergebnisse integriert werden<sup>20</sup> (S.1).

Darüber hinaus ist die ereignisdiskrete Simulation ein wichtiger Bestandteil der „Digitalen Fabrik“. Nach der VDI Richtlinie 4499 versteht man darunter den „Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u.a. der Simulation und drei-dimensionalen Visualisierung –, die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden. Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt“<sup>21</sup> (S. 3)

## 2.2.2 Plant Simulation

Um ein ereignisdiskretes Simulationsmodell zu erstellen, benötigt man spezielle Software, sogenannte Simulationssoftware. Zu den bekanntesten und am weitesten verbreiteten Simulationswerkzeugen zählt Plant Simulation. Plant Simulation gehört innerhalb der Siemens PLM Software, einer Business Unit der Siemens Digital Factory Division, zum Produktportfolio Tecnomatix. Ursprünglich wurde Plant Simulation vom Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) entwickelt. Ältere Produktnamen sind SIMPLE++ und eM-Plant.

Plant Simulation enthält eine Reihe von beweglichen und unbeweglichen Elementen, mit deren Hilfe ein Simulationsmodell entworfen werden kann, um Materialflüsse darzustellen, zu analysieren und zu optimieren. Diese Elemente sind in der sogenannten Toolbox zusammengefasst. Die Toolbox ist unterteilt in die Kategorien Materialfluss, Ressourcen, Informationsfluss, Oberfläche, Bewegliche Elemente (BE) und Tools. In der Kategorie Materialfluss sind die wichtigsten Bausteine zusammengefasst, die benötigt werden um ein System funktional möglichst originaltreu nachzubilden. Dazu zählen in erster Linie der Ereignisverwalter, die Quelle, die Senke, die verschiedenen Bearbeitungsstationen wie Einzelstation, Parallelstation oder Montagestation sowie die Bausteine Lager und Puffer. Die einzelnen Bausteine können durch sogenannte Kanten miteinander verbunden werden. Der Ereignisverwalter ist der wohl wichtigste Baustein innerhalb der gesamten Simulationssoftware, da mit ihm die Simulation gesteuert wird.

Konkret bedeutet dies, dass er dazu dient, die Simulation zu starten, zu stoppen und zurückzusetzen. Außerdem kann mit dem Ereignisverwalter die Geschwindigkeit des Simulationsablaufes variiert werden. Mit Hilfe der Quelle werden bewegliche Elemente wie Fördergut, Förderhilfsmittel und Fahrzeug erzeugt und in der Senke verschwinden diese wieder. Quelle und Senke stellen also den Anfangs- und Endpunkt des Simulationsmodells dar. Die Kategorie Informationsfluss enthält eine Reihe von Elementen, die ebenfalls zur Steuerung des Materialflusses dienen. Dazu zählen unter anderem die Elemente Methode, Variable und Tabelle. Mit dem Element Methode kann beispielsweise bestimmt werden, wie ein Fördergut verteilt wird, wenn auf eine Bearbeitungsstation zwei alternative Stationen folgen. Dies geschieht dadurch, dass in die Methode ein Code programmiert wird. Das Element Tabelle dient beispielsweise dazu, festzulegen, in welcher Anzahl BEs erzeugt werden. Die Kategorie Bewegliche Elemente enthält, wie weiter oben bereits beschrieben, die Elemente Fördergut, Förderhilfsmittel und Fahrzeug. Die BEs sind, wie der Name schon sagt, im Gegensatz zu den Bausteinen aus der Kategorie Materialfluss beweglich und werden entweder durch die Quelle oder das Element Methode erzeugt.

## 2.3 Lagerwirtschaft

In diesem Kapitel werden zunächst die Grundlagen der Lagerwirtschaft dargestellt. Hierbei werden insbesondere die Differenzierung der Lagerarten hinsichtlich Zweck und baulicher Konstruktion näher erläutert. Abschließend werden noch unterschiedliche Lagerstrategien und Kriterien zur Lagerplatzvergabe vorgestellt.

### 2.3.1 Grundlagen der Lagerwirtschaft

In den meisten Industrie- und Handelsunternehmen stellt das Lager einen festen Bestandteil innerhalb des betrieblichen Ablaufes dar. Nach ten Hompel und Heidenblut sind Lager „Räume oder Flächen zum Aufbewahren von Materialien und Gütern zwecks Bevorratung, Pufferns und Verteilens sowie zum Schutz vor äußeren, ungewollten Einflüssen (z. B. Witterung) und Eingriffen (z. B. unberechtigte Entnahme)<sup>22</sup> (S. 166). Obwohl mit den Begriffen Lagerwirtschaft oder Lagerhaltung oftmals negative Assoziationen verknüpft sind, ist die durchaus strategische Bedeutung des Lagers für den Erfolg des Unternehmens nicht zu unterschätzen<sup>23</sup> (S.3). Die negativen Verknüpfungen beruhen in erster Linie auf den Kosten, die mit dem Vorgang des Lagerns verbunden sind und darauf, dass während des Lagerns vermeintlich keine Wertschöpfung stattfindet<sup>24</sup> (S.3). Die Kosten der Lagerhaltung setzen sich zusammen aus den Kapitalbindungs- und Lagerungskosten an sich und stellen einen wesentlichen Bestandteil der gesamten Logistikkosten dar<sup>23</sup>(S. 1).

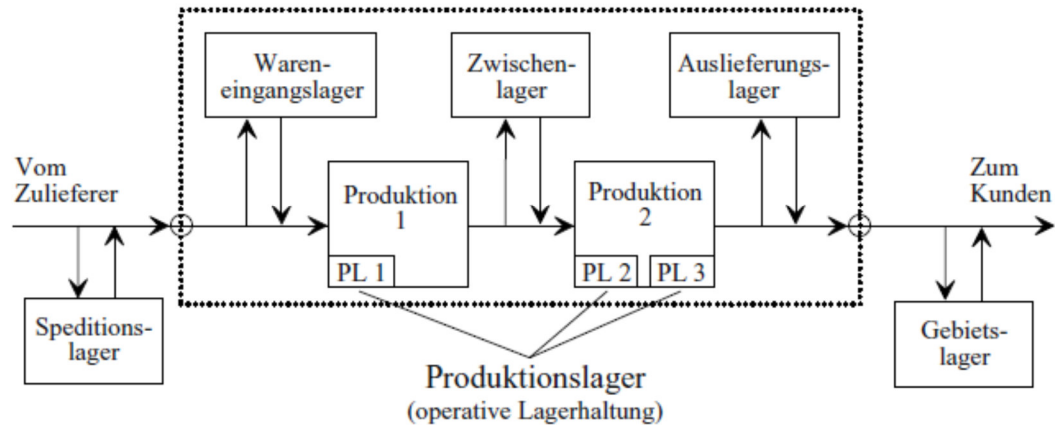
Dennoch stellt das Lagern in den meisten produzierenden oder handelnden Unternehmungen einen unumgänglichen Prozess innerhalb der Wertschöpfungskette dar. Ein vollständiger Verzicht auf den Vorgang des Lagerns würde bedeuten, dass sämtliche Schritte innerhalb des Wertschöpfungsprozesses genau aufeinander abgestimmt sein müssten – dies ist in der Praxis nahezu unmöglich<sup>25</sup> (S. 8). Die drei wesentlichen Prozessschritte in einem Lager sind „das Einlagern von Lagereinheiten, das Aufbewahren und Bereithalten von Lagereinheiten auf Lagerplätzen sowie das Auslagern einer Lagereinheit“<sup>26</sup> (S. 49) Je nach Lagertyp dienen Lager in erster Linie entweder dazu, die Produktion mit dem erforderlichen Material zu versorgen oder die Kundenwünsche, in Form von Bestellanforderungen, zu erfüllen<sup>23</sup> (S.3). Vereinfacht zusammengefasst ist dies in den 6 R der Logistik, nämlich „die Lieferung der richtigen Ware, zum richtigen Zeitpunkt, in der richtigen Zusammensetzung, und der richtigen Qualität, am richtigen Ort zum richtigen Preis“<sup>24</sup> (S.16).

Da die Abläufe innerhalb moderner Lagersysteme sehr häufig durch eine hohe Komplexität gekennzeichnet sind, ist ihre Beherrschung ohne den Einsatz von computergestützten Methoden nahezu undenkbar<sup>24</sup> (S. 2). Bei der Planung zukünftiger Lagersysteme sowie bei der Optimierung bereits bestehender Lager erfolgt diese Computerunterstützung oftmals durch den Einsatz von sogenannter Simulationssoftware (siehe Kapitel 2.2). Beispiele für Computerunterstützung im alltäglichen Betriebsablauf sind Warenwirtschaftssysteme, aber auch Technologien wie Barcodes oder RFID (siehe Kapitel 2.1).

Neben den bereits erwähnten Hauptaufgaben, nämlich der Versorgung der Produktion und der Erfüllung der Kundennachfrage, erfüllen Lager noch eine Vielzahl von weiteren Aufgaben. Eine dieser zusätzlichen Aufgaben ist die Reduktion von Transportkosten durch die bestmögliche Ausnutzung der Laderaumkapazität<sup>24</sup> (S.4). Eng damit verbunden ist die Anpassungs- oder Umformaufgabe<sup>27</sup> (S.374). Denn die Konsequenz aus der Ausnutzung der Transportkapazitäten ist, dass verhältnismäßig große Mengen angeliefert werden. Diese müssen dann in verbrauchs- oder produktionsgerechte Mengen angepasst oder umgewandelt werden. Des Weiteren können Lager auch zur Wertsteigerung genutzt werden. Die Wertsteigerung erfolgt entweder durch die Reifung des eingelagerten Produktes, beispielsweise bei Käse oder Wein, oder hat spekulative Hintergründe, wie bei Rohöl oder Gold<sup>28</sup> (S. 308). Weitere Beispiele für die Aufgaben von Lager sind das Verknüpfen von Lager und Verkaufsraum im Einzelhandel oder die Entsorgungsfunktion, etwa als betriebliche Abfallsammelstelle<sup>28</sup> (S.308).

Darüber hinaus lassen sich die unterschiedlichen Lagertypen anhand verschiedener Kriterien voneinander unterscheiden. Dazu zählen die Lagereinheit, der Automatisierungsgrad, die Form der Regalbedienung, der Zweck sowie die Bauhöhe und Bauart des Lagers<sup>22</sup> (S. 173).

Der Zweck des Lagers lässt sich wahlweise differenzieren in Vorrats-, Puffer- und Verteillager<sup>26</sup> (S. 52), in Kaufteil-, Fertigungszwischen-, Betriebsstoff- und Fertigwarenlager<sup>23</sup> (S. 9) oder in Wareneingang-, Zwischen- und Auslieferungslager (siehe Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Beispiele für Lagerstandorte im inner- und außerbetrieblichen Materialfluss<sup>29</sup> (S.176)

Da bei der Modellfabrik, die dieser Projektarbeit zugrunde liegt, das Lager erst nach der Fertigung anschließt, kann man davon ausgehen, dass es sich um ein Fertigwaren-, Verteil- oder Auslieferungslager handelt. Im Folgenden werden deshalb die Begriffe Fertigwaren-, Verteil- oder Auslieferungslager näher beschrieben. Anzumerken ist hierbei, dass die Begriffe synonym verwendet werden. In Fertigwarenlagern werden, wie der Name schon sagt, fertige Produkte gelagert. Ferner sorgen sie für den Ausgleich zwischen der Produktion und den Bedürfnissen des Absatzmarktes<sup>23</sup> (S.10). Im Normalfall erfolgt aus Fertigwarenlagern keine Versorgung von Endverbrauchern, sondern nachgelagerter Produktionsbetriebe oder des Handels<sup>23</sup> (S.10). Neben der bereits erwähnten Bevorratung dienen Verteillager darüber hinaus dazu, die Zusammensetzung von Ladeeinheiten zwischen Zu- und Abgang zu verändern<sup>26</sup> (S. 52). Dies geschieht durch Kommissionieren, Sortieren und Konsolidieren. Charakteristisch ist des Weiteren die relativ regelmäßigen Zu- und Abgänge von jedoch unterschiedlichen Ladeeinheiten sowie die sehr verschiedene Umschlagshäufigkeit<sup>26</sup> (S.52). Eine weitere Unterteilung von Fertigwarenlager kann in Handels-, Speditions- oder Zentrallager erfolgen.

Ein weiteres, bereits erwähntes Kriterium zur Unterscheidung der unterschiedlichen Lagertypen, ist die Bauhöhe. Für hohe Regalbauten wird oftmals generell der Begriff Hochregallager verwendet. Korrekterweise trifft dies jedoch erst für Bauten mit einer Regalhöhe ab 12 m zu. Maximal können Hochregallager eine Höhe von bis zu 50 m erreichen. Das Verhältnis zwischen Bauhöhe und Regallänge sollte ungefähr bei 1:3 liegen<sup>23</sup> (S. 46). Die hohe Bauhöhe ermöglicht es, dass viele Paletten auf relativ geringer Fläche untergebracht werden. Dies führt zu einer nahezu optimalen Flächennutzung.



Weitere Merkmale sind, dass die Hochregallager oftmals in Silobauweise gebaut sind, die Beschickung mit Regalbediengeräten erfolgt und sie zumeist automatisch betrieben werden. Bei einer Silobauweise wird „die äußere Gebäudehülle eines Lagers von der Regalkonstruktion getragen und nimmt alle außen wirkende Kräfte auf“<sup>22</sup> (S. 284). Regalbediengeräte gehören zu den Flurförderzeugen. Sie verfahren, meist schienengeführt, in der Gasse zwischen zwei Regalen um Ladeeinheiten ein- und auszulagern<sup>22</sup> (S.252).

### 2.3.2 Lagerstrategien und Kriterien zur Lagerplatzvergabe

Nachdem im vorangegangenen Kapitel Lager hinsichtlich ihres Zweckes oder baulichen Konstruktion charakterisiert wurden, wird im Folgenden der Prozess des Lagerns näher beschrieben. Die Verteilung der einzulagernden Güter kann anhand einer Vielzahl unterschiedlicher Strategien erfolgen. In diesem Kapitel werden die Strategien First-In First-Out, kurz FIFO, sowie die feste Lagerplatzvergabe genauer erläutert. Bei der Festplatzlagerung handelt es sich um eine Lagerplatzvergabestrategie. Bei FIFO hingegen um eine Ein- und Auslagerungsstrategie. Charakteristisch für die Strategie FIFO ist die zeitliche Abfolge der Einlagerung des jeweiligen Artikels. Die zuerst eingelagerte Ladeeinheit eines Produktes wird auch zuerst wieder ausgelagert. Dieses Verfahren bietet sich vor allem bei Artikeln mit einem Mindesthaltbarkeitsdatum an, da auf diese Weise die Überalterung und der Verfall von Ladeeinheiten vermieden wird<sup>26</sup> (S.106). Bei der Festplatzlagerung wird jedem Artikel ein bestimmter Lagerplatz zugeordnet. Vorteile bietet dieses Verfahren insbesondere bei einem Ausfall des Verwaltungssystems und generell in manuellen Kommissioniersystemen<sup>24</sup> (S.32). In beiden Fällen wird durch die feste Platzzuordnung die Zugriffssicherheit gewährleistet. In manuellen Kommissioniersystemen wird auf diese Weise zusätzlich noch ein schneller Zugriff und eine Verringerung der Suchzeiten erreicht<sup>24</sup> (S.32). Wie eingangs erwähnt, existieren darüber hinaus noch eine Vielzahl weiterer Lagerstrategien. Im Bereich der Ein- und Auslagerstrategien ist hierbei insbesondere noch das Verfahren LIFO, Last-In-First-Out, zu erwähnen. Hierbei wird die zuletzt eingelagerte Ladeeinheit eines Artikels als Erstes wieder ausgelagert. Bei den Lagerplatzvergabestrategien ist ferner noch die freie Platzvergabe oder auch Chaotische Lagerung zu nennen. Hierbei wird die Ladeeinheit eines Artikels frei im Lager verteilt. Der Vorteil hierbei ist die maximale Ausnutzung der Lagerkapazität<sup>24</sup> (S.32).

Neben diesen generellen Lagerstrategien bestehen außerdem noch eine Vielzahl an allgemeinen Kriterien anhand derer einer Ladeeinheit ein Lagerplatz zugeordnet werden kann. Dazu zählen die Artikelnummer des Artikels der Lagereinheit, physische Eigenschaften der Lagereinheit wie Größe oder Gewicht, das Produktionsdatum der Ware, das Eingangsdatum der Ware und die mögliche Verweildauer des Artikels im

Lager<sup>30</sup> (S. 84). Insbesondere das Eingangsdatum oder auch das Produktionsdatum sind natürlich, wie weiter oben bereits beschrieben, auch ein wichtiges Kriterium bei FIFO. Bei der Verweildauer des Artikels im Lager ist wiederum die bauliche Konstruktion des Lagers sowie eventuell die Fahrtzeit des Regalbediengerätes zu beachten. In einem Hochregallager bietet es sich an, Artikel, die nur selten abgerufen werden und dadurch eine höhere Verweildauer haben, in den oberen Bereich des Regallagers einzuordnen. Auf diese Weise wird Platz für Highrunner geschaffen und so die Fahrtzeit entsprechend verkürzt.

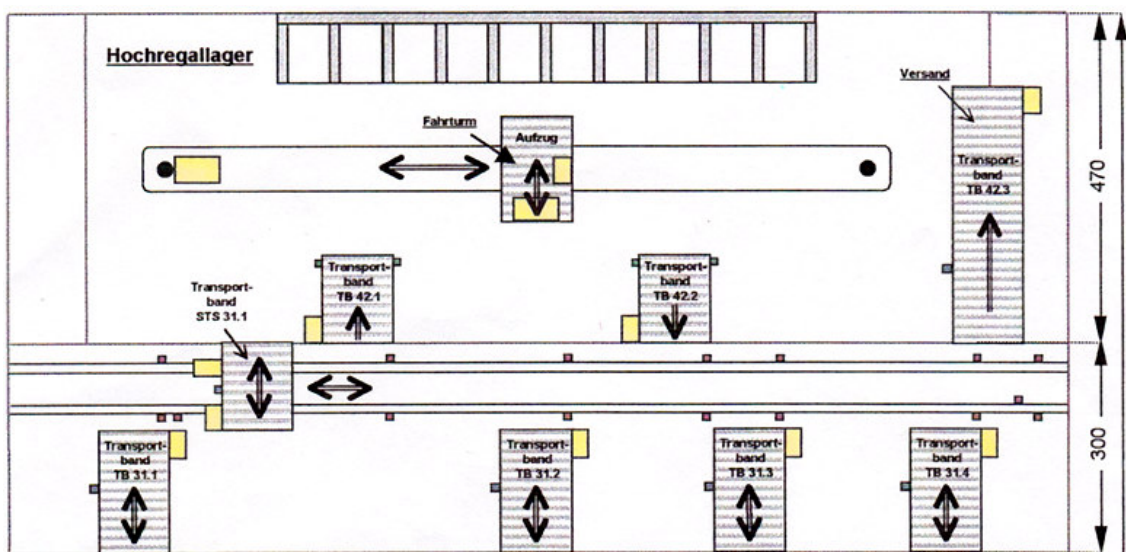
### 3 Simulationsmodell

In diesem Kapitel wird das entwickelte Simulationsmodell vorgestellt. Zunächst werden der generelle Aufbau des Modells sowie der Ablauf der einzelnen Prozesse beschrieben, bevor die untersuchten Lagerstrategien FIFO und Festplatzlagerung näher beschrieben werden. Zum des Kapitels wird noch ein Vergleich zwischen den beiden Lagerstrategien gezogen.

#### 3.1 Entwickeltes Modell

Im Folgenden wird das entwickelte Simulationsmodell näher beschrieben. Die Erstellung des Simulationsmodells erfolgte mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation der Firma Siemens (siehe Kapitel 2.2.2).

Die Basis für das Simulationsmodell stellt eine Skizze der Modellfabrikanlage dar, nach der sich auch die Beschreibungen der einzelnen Bausteine richten (siehe Abbildung 3). Dieser skizzierte Aufbau der Modellfabrik wurde zunächst als Hintergrund hinterlegt um eine möglichst genaue Anordnung der einzelnen Bausteine zu erreichen. Zu erwähnen ist hierbei, dass weder die Anordnung der Bausteine noch die Bausteine an sich der Skizze maßstabsgetreu nachempfunden sind.



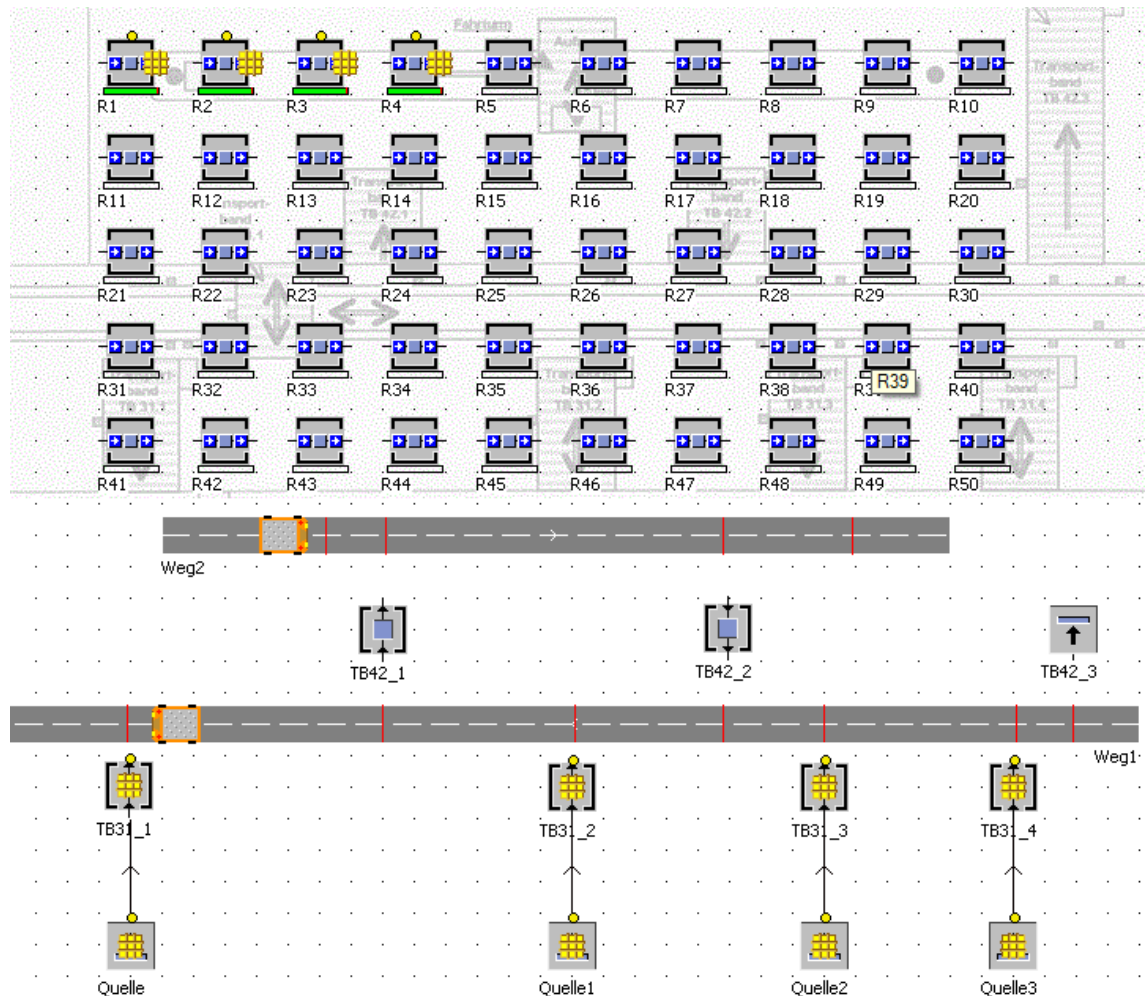
**Abbildung 3:** Skizze des Lagerbereiches der Modell-Fabrikanlage, Fachbereich IT in Produktion und Logistik

Ausgangspunkt des Simulationsmodells sind die Transportbänder TB 31.1, TB 31.2, TB 31.3 und TB 31.4. In der Modellfabrik und auch im vollständigen Simulationsmodell bilden diese Transportbänder die Schnittstelle zwischen dem Fertigungsbereich und dem Lager. Da das vorliegende Modell aber erst mit den genannten Bausteinen beginnt, wurde vor jedem Transportband eine Quelle geschaltet. Diese dienen dazu, die Fördergüter zu erzeugen. Im späteren, vollständigen Simulationsmodell werden diese Fördergüter in der

Fertigung bearbeitet und im Anschluss auf die Transportbänder TB 31.1 bis TB 31.4 verteilt. Die Bezeichnungen der zu erzeugenden Fördergüter lauten „rot“, „grün“, „blau“ und „gelb“. Anzumerken ist hierbei, dass die Bezeichnungen vollkommen beliebig gewählt und austauschbar sind. Sie dienen lediglich zur Vereinfachung des Modells. Die Erzeugung der Güter erfolgt über die BE-Auswahl Prozent und die Tabelle „Verteilung“. Hierbei wurde angenommen, dass das Fördergut „rot“ in einer Häufigkeit von 10 %, das Fördergut „grün“ in einer Häufigkeit von 30 %, das Fördergut „blau“ in einer Häufigkeit von 40 % und das Fördergut „gelb“ in einer Häufigkeit von 20 % gefertigt wird. Auch der Abstand zwischen der Erzeugung von zwei Fördergütern ist bei den Quellen einstellbar. In einer realen Fabrik sind diese Werte in etwa mit den Taktzeiten vergleichbar. Nachdem die Fördergüter von den Quellen erzeugt worden sind, werden sie auf die Transportbänder TB 31.1 bis TB 31.4 umgelagert.

Beim Start des Simulationsmodells werden durch die Methode „init“ gleichzeitig sowohl das Transportband STS 31.1 und der sogenannte Aufzug erzeugt. Sowohl das Transportband STS 31.1 als auch der Aufzug werden durch das bewegliche Element „Fahrzeug“ dargestellt. Bezogen auf eine reale Fabrik handelt es sich bei dem Transportband STS 31.1 um einen Querverteilwagen und bei dem Aufzug um ein Regalbediengerät (siehe Kapitel 2.3). STS 31.1 wird auf Weg1 und der Aufzug auf Weg2 erzeugt. Die Grobsteuerung von STS 31.1 erfolgt über die Steuerungen „Ausgang“ und „Ausgang-rückwärts“ von Weg1 mit Hilfe der Methoden „STS31\_1\_Rückwärts“ und „ST31\_1\_Vorwärts“. Die Feinsteuerung von STS 31.1 geschieht durch insgesamt sieben Sensoren, die sich auf Weg1 befinden. Die Grobsteuerung des Aufzuges erfolgt ebenfalls zunächst über die Steuerungen „Ausgang“ und „Ausgang-rückwärts“ von Weg2. Hierbei sind die Methoden „Aufzug\_Rückwärts“ bei der Steuerung „Ausgang“ und die Methode „Aufzug\_Vorwärts“ bei der Steuerung „Ausgang-rückwärts“ hinterlegt. Die Feinsteuerung des Aufzuges erfolgt über insgesamt drei Sensoren, die sich auf Weg2 befinden. Die Grobsteuerung von Weg1 und Weg2 dient in beiden Fällen zunächst nur dazu, dass die beiden Fahrzeuge STS 31.1 und der Aufzug vor- und rückwärts fahren. Über die Sensoren werden dann weitere Befehle, wie etwa das Umladen von BEs, weiterfahren oder zurückfahren übermittelt. Beide Fahrzeuge verfahren mit einer Geschwindigkeit von 3 m/s. Nach dem Starten der Simulation und der Erzeugung des Transportbandes STS 31.1, fährt dieses zunächst rückwärts bis es auf den ersten Sensor auf Weg1 trifft. Über die Methode Sensor\_TB31\_1 wird dann überprüft, ob sich ein Fördergut auf dem Transportband TB 31.1 befindet und gleichzeitig, ob das Transportband TB 42.2 nicht belegt ist. Die Überprüfung, ob Transportband TB 42.2 frei ist, erfolgt ebenfalls bei den Sensoren 2, 4 und 5 auf Weg 1 über die Methoden Sensor\_TB31\_2, Sensor\_TB31\_3 und Sensor\_TB31\_4. Der Grund hierfür ist, dass die Belegung von Transportband TB 42.2 ein Nadelöhr darstellt. Sobald nämlich TB 42.2

belegt ist und dennoch Fördergüter von den Transportbändern TB31.1 bis TB31.4 auf das Transportband STS 31.1 umgelagert werden, besteht die Gefahr, dass der gesamte Materialfluss zum Erliegen kommt. Dieser Fall tritt ein, wenn sowohl die Transportbänder TB 31.1, TB 31.2, TB 31.3, TB 31.4 sowie TB 42.2 und sämtliche Regalplätze belegt sind. In dieser Situation könnten die Fördergüter weder vom Transportband STS 31.1 noch vom Aufzug umgelagert werden. Um dies zu vermeiden, hat die Umlagerung der Fördergüter vom Transportband TB 42.2 auf das Transportband STS 31.1 immer oberste Priorität.



**Abbildung 4:** Screenshot des Simulationsmodells, eigene Darstellung

Nachdem das Fördergut zunächst von TB 31.1 auf STS 31.1 umgelagert wurde, fährt STS 31.1 weiter rückwärts und trifft als nächstes auf den Sensor 6 von Weg1. Mit der Methode `Sensor_TB42_1_Weg1` wird hierbei überprüft, ob STS 31.1 mit einem Fördergut beladen ist. Wenn dies der Fall ist, wird das Fördergut von STS 31.1 auf TB 42.1 umgeladen. Anschließend fährt STS 31.1 weiter rückwärts. Bei Sensor 2 auf Weg1 wird mittels der Methode `Sensor_TB31_2` zunächst wieder überprüft, ob TB 31.2 belegt und TB 42.2 frei ist. Trifft dies zu, wird das Fördergut von TB 31.2 auf STS 31.1 umgeladen. Darüber hinaus enthält die Methode den Befehl, dass STS 31.1 nicht mehr rückwärtsfährt, wenn

es beladen ist. Das beladene Fahrzeug STS 31.1 soll das Fördergut zunächst auf TB 42.1 umladen, von wo aus es eingelagert wird. Wenn STS 31.1 weiter rückwärtsfährt, würde das Fördergut auf TB 42.3 umgelagert und somit direkt in den Versand gelangen. Nachdem das Fördergut von TB 31.2 auf STS 31.1 umgelagert wurde, fährt das Fahrzeug vorwärts und lädt den Inhalt auf TB 42.1 um - vorausgesetzt, dass das Transportband TB 42.1 nicht belegt ist. Andernfalls fährt STS 31.1 so lange zwischen TB 31.1 und TB 31.2 hin und her, bis es den Inhalt auf TB 42.1 umlagern kann. Nach dem Umlagern fährt STS 31.1 weiter vorwärts zu TB 31.1 und prüft, ob sich dort ein Fördergut befindet. Anschließend fährt es wieder rückwärts. Dieser Ablauf gilt ebenso für die Sensoren 4 und 5 auf Weg1 mit den dazugehörigen Methoden `Sensor_TB31_3` und `Sensor_TB31_4`. Dieser Ablauf wird jedoch unterbrochen, sobald sich ein Fördergut auf TB 42.2 befindet. In diesem Fall werden dann, wie bereits beschrieben, keine Fördergüter mehr von den Transportbändern TB 31.1 bis TB 31.4 auf das Transportband STS 31.1 umgelagert. STS 31.1 fährt in diesem Fall rückwärts bis zum Transportband TB 42.2 und trifft dort auf den Sensor 3. Mittels der Methode `Sensor_TB42_2_Weg1` wird dann das auf TB 42.2 befindliche Fördergut auf STS 31.1 umgelagert. Das Fahrzeug fährt dann weiter rückwärts auf Weg1 bis zum Transportband TB 42.3. Durch den Sensor 7 wird die Methode `Sensor_TB42_3` ausgelöst und der Inhalt von STS 31.1 auf TB 42.3 umgelagert.

Wie eingangs erwähnt, wird beim Start des Simulationsmodells auch das Fahrzeug Aufzug auf Weg2 über die Methode „init“ erzeugt. Auf Weg2 befinden sich insgesamt vier Sensoren. Der Aufzug fährt zunächst rückwärts. Bei Sensor 1 auf Weg2 wird durch die Methode `Sensor_TB42_1_Weg2` geprüft, ob sich einerseits ein Fördergut auf TB 42.1 befindet und andererseits, ob noch Kapazität zum Einlagern im Hochregallager besteht. Trifft beides zu, wird das Fördergut auf den Aufzug umgelagert. Der Aufzug fährt dann weiter rückwärts und gelangt anschließend zu Sensor 3. Über die hinterlegte Methode wird das Fördergut nach der entsprechenden Lagerstrategie umgelagert. Nach dem Einlagern fährt der Aufzug zunächst weiter rückwärts bis zum Ende von Weg2 und anschließend vorwärts bis zu Sensor 4. Dort wird das Fördergut, entsprechend der jeweiligen Auslagerstrategie, wieder auf den Aufzug umgeladen und fährt dann wieder rückwärts bis zu Sensor 2. Dort wird über die Methode `Sensor_TB_42_2_Weg2` überprüft, ob der Aufzug mit einem Fördergut aus dem Hochregallager beladen ist. Ist dies der Fall, wird das entsprechende Gut vom Aufzug auf TB 42.2 umgeladen. Von dort gelangt es dann wieder auf STS 31.1 auf Weg1 und schließlich auf TB 42.3 zum Versand.

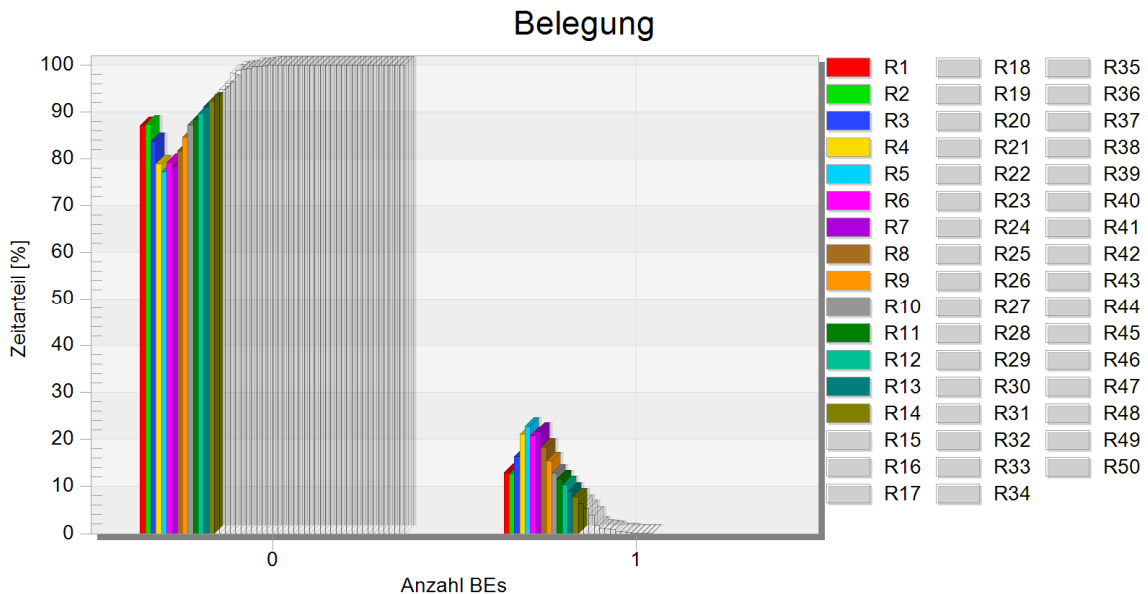
Der Lagerbereich der Modellfabrik ist in dem Simulationsmodell natürlich vereinfacht dargestellt. Insbesondere betrifft dies den Prozess des Ein- und Auslagerns und die Darstellung des Regalbediengerätes. Der Grund hierfür ist, dass in der Studentenversion von Plant Simulation die mögliche Anzahl an verwendeten Bausteinen auf insgesamt 80 Stück begrenzt ist. In dem vorliegenden Simulationsmodell wurden insgesamt 75

Bausteine verwendet. Der größte Teil davon besteht aus den Regalplätzen R1 bis R50. Dies wurde bewusst so gewählt um zumindest die Belegungssituation im Hochregallager visuell möglichst gut darzustellen.

## 3.2 FIFO

Nachdem im vorherigen Kapitel das entwickelte Simulationsmodell an sich vorgestellt wurde, werden in den nächsten beiden Kapiteln die untersuchten Lagerstrategien näher betrachtet. Zunächst wird die Ein- und Auslagerstrategie FIFO dargestellt. Wie in Kapitel 2.3.2 beschrieben, ist das entscheidende Kriterium hierbei das Wareneingangsdatum des Artikels. Im vorliegenden Simulationsmodell wird dies über die Methode FIFO erreicht. Diese Methode wird über den Sensor 3 auf Weg2 aufgerufen. Anzumerken ist hierbei, dass bei der FIFO Strategie keine Unterscheidung zwischen den vier Fördergütern „rot“, „grün“, „blau“ und „gelb“ getroffen wird. Nachdem das jeweilige Fördergut von TB 42.1 auf den Aufzug umgeladen ist, fährt der Aufzug weiter rückwärts und trifft dann auf Sensor 3 auf Weg2. Durch den über die Methode FIFO hinterlegten Programmcode wird daraufhin geprüft, auf welchen Platz das Fördergut umgelagert werden kann. Dabei werden nacheinander alle Regalplätze auf Verfügbarkeit geprüft. Begonnen wird hierbei bei Regalplatz R1. Um das FIFO Prinzip einzuhalten, wird anschließend zunächst immer erst in den nächsten Regalplatz eingelagert. In einem komplett leeren Hochregallager wird das Fördergut also zuerst in den Regalplatz R1 eingelagert. Als nächstes wird dann der Regalplatz R2 belegt und so weiter, bis theoretisch jeder Regalplatz von R1 bis R50 einmal mit einem Fördergut belegt wurde. Der Hintergrund hierfür ist, dass andernfalls das FIFO Prinzip nicht eingehalten wird. Wenn lediglich die Verfügbarkeit der einzelnen Regalplätze geprüft wird, ist es möglich, dass eben nicht das älteste eingelagerte Fördergut als nächstes ausgelagert wird. Dieser Fall tritt ein, wenn beispielsweise die ersten drei Regalplätze nicht belegt sind, dafür aber die Regalplätze R4 bis R6. Das Fördergut würde in diesem Beispiel dann auf Regalplatz R1 umgelagert, da dieser nicht belegt ist und zuerst auf Verfügbarkeit geprüft wird. Nach dem Umlagern bewegt sich der Aufzug auf Weg2 vorwärts bis das Fahrzeug zum Sensor 4 auf Weg2 kommt. Über die, durch Sensor 4 hinterlegte, Methode Auslagern wird daraufhin geprüft, welcher Regalplatz mit einem Fördergut belegt ist. Begonnen wird auch hier wiederum bei Regalplatz R1. Da der Regalplatz in dem beschriebenen Beispiel belegt ist, wird das dort befindliche Fördergut auf den Aufzug umgelagert. Um das FIFO Prinzip einzuhalten, müsste jedoch das Fördergut, das sich auf Regalplatz R4 befindet, umgelagert werden, da sich dieses am längsten im Lager befindet. Damit dieses Problem vermieden wird, werden die Fördergüter also immer auf den Regalplatz umgelagert, der auf den zuletzt belegten Regalplatz folgt. Um bei dem genannten Beispiel zu bleiben, wird das Fördergut nicht auf R1, sondern auf R7 umgelagert. Auf diese Weise wird als nächstes das Fördergut, welches sich auf R4 befindet, ausgelagert und somit das FIFO Prinzip eingehalten.

Auffällig an dem entwickelten Simulationsmodell ist der Zusammenhang zwischen den eingestellten Abständen an den Quellen 1 bis 4 und dem Grad der Regalplatzbelegung. Bei sehr geringen Abständen von unter einer Minute werden maximal 30 Regalplätze belegt (siehe Abbildung 5). Bei dem Simulationslauf, der in Abbildung 5 dargestellt wird, wurde unter dem Reiter Attribute für Quelle 1 ein Abstand von 20 Sekunden, für Quelle 2 ein Abstand von 30 Sekunden, für Quelle 3 ein Abstand von 15 Sekunden sowie für Quelle 4 ein Abstand von 40 Sekunden gewählt. Die Dauer des Simulationsdurchlaufs betrug 24 Stunden.



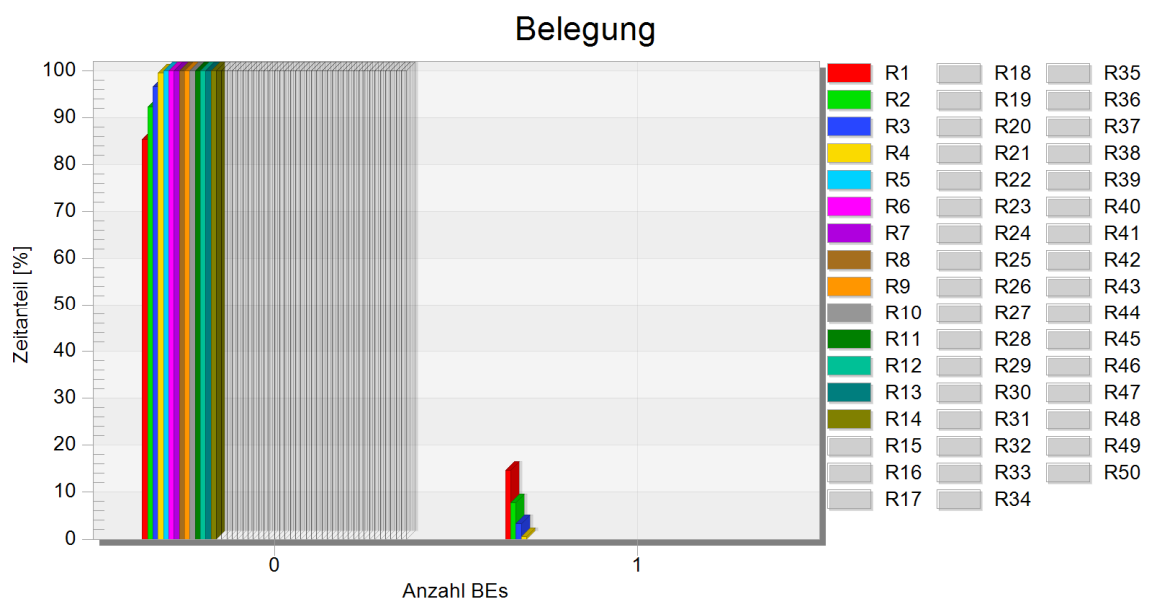
**Abbildung 5:** 24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von weniger als einer Minute in der FIFO-Steuerung, eigene Darstellung

Bei einer längeren Bearbeitungszeit sinkt die Ausschöpfung der Lagerkapazität (siehe Abbildung 6). Bei dem Simulationslauf, der Abbildung 6 zugrunde liegt, wurde für Quelle 1 ein Abstand von 4 Minuten, für Quelle 2 ein Abstand von 3 Minuten, für Quelle 3 ein Abstand von 2 Minuten und für Quelle 4 ein Abstand von 5 Minuten angenommen. Auffallend hierbei ist, dass lediglich die Regalplätze R1, R2, R3 und R4 überhaupt mit einem Fördergut belegt wurden. Die Dauer des Simulationsdurchlaufs betrug ebenfalls 24 Stunden.

Sind jedoch alle Transportbänder TB 31.1 bis TB 31.4 mit einer sehr geringen Bearbeitungszeit eingestellt, werden keine Fördergüter von TB 31.3 um- und schließlich eingelagert. Wenn alle vier genannten Transportbänder ständig belegt sind, passiert folgendes: STS 31.1 fährt so lange zwischen TB 31.1 und TB 31.2 hin und her und lagert Fördergüter um, bis TB 42.2 belegt ist. Dann fährt STS 31.1 zu diesem Transportband und lagert das darauf befindliche Fördergut um. Anschließend fährt das nun beladene Fahrzeug zu TB 42.3 und lagert das Fördergut wiederum um. Das jeweilige Fördergut kommt dadurch in den Versand. Auf dem Rückweg lagert STS 31.1 das auf TB 31.4



befindliche Fördergut um und fährt dann weiter zu TB 42.1. Dort wird das Fördergut vom STS 31.1 auf das TB 42.1 umgelagert und gelangt von dort aus zunächst auf den Aufzug und wird schließlich in das Hochregallager eingelagert. Im Anschluss fährt STS 31.1 wieder so lange zwischen den beiden Transportbändern TB 31.1 und TB 31.2 hin und her und lagert Fördergüter um, bis TB 42.2 wieder belegt ist. In diesem gesamten Ablauf erfolgt jedoch keine Umlagerung von TB 31.3. Vorstellbar ist es natürlich, einen Befehl in den einzelnen Methoden einzubauen, der eine Umlagerung des Fördergutes von TB 31.3 auf STS 31.1 priorisiert. Dies hätte jedoch zur Folge, dass dann ausschließlich Güter von TB 31.3 umgelagert werden, da dies ständig belegt ist. Die Konsequenz hieraus ist, dass man also abwägen muss zwischen den Bearbeitungszeiten an den Transportbändern TB 31.1 bis TB 31.4 und der Ausnutzung der Lagerkapazität. Zu beachten ist, dass die Bearbeitungszeiten an den Transportbändern nur eine Hilfsgröße darstellen, da im vorliegenden Simulationsmodell die Produktion nicht berücksichtigt wurde. Im Simulationsmodell der gesamten Modellfabrik werden die Bearbeitungszeiten der Transportbänder durch die Bearbeitungszeit der jeweiligen Produkte in der Produktion ersetzt. Im vorliegenden Fall ist also darauf zu achten, realistische Bearbeitungszeiten für die Transportbänder zu wählen, die die theoretischen Fertigungszeiten möglichst exakt widerspiegeln. Ein weiterer Grund für die nicht vollständige Ausnutzung der Lagerkapazität liegt darin, dass beim Auslagern nur geprüft wird, ob ein Fördergut auf dem jeweiligen Regalplatz gelagert ist. Wenn dies zutrifft, wird der Artikel ausgelagert. Die Ursache hierfür ist, dass in dem vorliegenden Simulationsmodell ein ständiger Bedarf auf den Produkten besteht. Das Hochregallager hat in diesem Fall eher eine Art Pufferfunktion um eventuelle Überkapazitäten ausgleichen zu können.



**Abbildung 6:** 24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von mehr als einer Minute in der FIFO -Steuerung, eigene Darstellung

Die FIFO Steuerung eignet sich generell am besten für den Bereich der Massenfertigung, also wenn sehr viele gleiche oder zumindest sehr ähnliche Teile produziert und anschließend gelagert werden müssen. Dies wird insbesondere bei den Prozessen des Ein- und Auslagerns deutlich. Das ausschließliche Kriterium für das Ein- und Auslagern der Produkte ist der Zeitpunkt des Eintreffens der Artikel im Lager, eine weitere Unterscheidung zwischen den Fördergütern findet nicht statt. Zusätzliche Kriterien wie Größe und Gewicht des Artikels oder auch die Verweildauer im Lager werden demnach nicht berücksichtigt. Dies bedeutet, dass eine Lagerstrategie nach dem FIFO Prinzip tatsächlich auch nur sinnvoll anwendbar ist, wenn keine Unterscheidung zwischen den eingelagerten Artikeln getroffen werden muss. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass sich eine reine FIFO Strategie bei einem variantenreichen Artikelsortiment ausschließt. Geht man davon aus, dass in der Fertigung mehrere unterschiedliche Produkte gefertigt werden, die anschließend eingelagert werden, muss eine zusätzliche Differenzierung der einzulagernden Produkte stattfinden. Eine gängige Unterteilung in der industriellen Fertigung ist die zwischen Highrunnern und Lowrunnern. Also zwischen Produkten mit einem hohen und einem niedrigen Bedarf. Wenn man dann diese Produkte nach der reinen FIFO Strategie ein- und auslagert, hätte dies zur Folge, dass auch Produkte ausgelagert werden, auf denen momentan kein Bedarf besteht. Hier kommt auch das Kriterium der unterschiedlichen Verweildauer der einzelnen Produkte zum Tragen. Dies bedeutet, dass ein Lowrunner, auf dem nur gelegentlich Bedarf besteht, natürlich eine längere Verweildauer in einem Lager hat als ein Highrunner-Produkt.

Die FIFO Steuerung bietet jedoch auch einige Vorteile. Zunächst einmal ist hier das eigentlich simple Konzept zu nennen. Denn die Ausschließlichkeit des Eintreffens der Ware im Lager als Kriterium stellt natürlich auch eine Komplexitätsreduktion dar. Es muss lediglich geprüft werden, welcher Regalplatz als nächstes belegt werden muss. Wie bereits erwähnt, ist die Nichtbeachtung zusätzlicher Kriterien durchaus kritisch zu betrachten, kann jedoch auch sinnvoll sein. Besonders geeignet ist FIFO bei Produkten mit einem Mindesthaltbarkeitsdatum und generell bei Artikeln, bei denen die Alterung eine Rolle spielt. Durch die strikte Berücksichtigung des Wareneingangsdatums wird vermieden, dass jüngere Artikel vor älteren ausgelagert werden und somit das Mindesthaltbarkeitsdatum eventuell überschritten wird.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Ein- und Auslagerungsstrategie FIFO als ausschließliche Lagerstrategie sinnvoll ist, wenn zwischen den einzulagernden Teilen keine weitere Unterteilung außer das Wareneingangsdatum getroffen werden muss oder bei Teilen, die ein Mindesthaltbarkeitsdatum aufweisen. Zusätzlich muss bei der beschriebenen FIFO Strategie ein ständiger Bedarf auf den Produkten bestehen, da keine weiteren Annahmen für das Auslagern der Güter getroffen wurden.

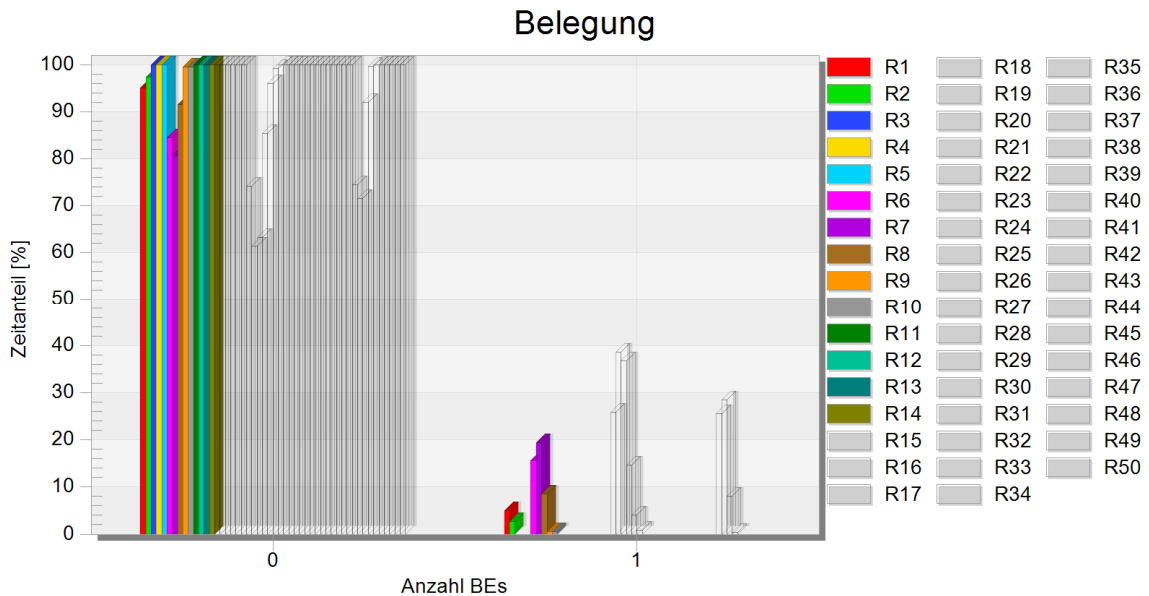
### 3.3 Festplatz

Bei der zweiten untersuchten Lagerstrategie handelt es sich um die sogenannte Festplatzlagerung. Hierbei wird jedem Artikel ein bestimmter Lagerplatz zugeordnet. In dem vorliegenden Simulationsmodell wird die Festplatzlagerung in einer etwas abgeschwächten Form dargestellt. Die Zuordnung zu den jeweiligen Regalplätzen erfolgt nicht für jeden Artikel einzeln, sondern immer gruppenweise für die verschiedenen Fördergüter.

Genau wie bei der FIFO Strategie erfolgt auch bei der Festplatzlagerung die Einlagerung über den Sensor 3 auf Weg2. Die Methode, die in diesem Fall hinterlegt ist, lautet „FesterPlatz“. Sobald der Aufzug den Sensor 3 auf Weg 2 also erreicht hat, wird die genannte Methode ausgelöst. Im ersten Schritt wird hierbei zunächst geprüft, ob der Aufzug überhaupt beladen ist. Trifft dies zu, wird daraufhin abgefragt, um welches Fördergut es sich handelt. Wie in Kapitel 3.1 bereits beschrieben, existieren insgesamt vier verschiedene Fördergüter mit den Bezeichnungen „rot“, „grün“, „blau“ und „gelb“. Die Bezeichnungen sind beliebig gewählt und dienen lediglich zur Vereinfachung des Modells. Sowohl die Bezeichnungen als auch die Anzahl der Fördergüter können natürlich entsprechend angepasst werden. Die Zuordnung der Fördergüter zu den Regalplätzen ergibt sich wie folgt: Fördergut „rot“ wird auf die Regalplätze R1 bis R5 verteilt, Fördergut „grün“ auf die Regalplätze R6 bis R20, Fördergut „blau“ auf die Regalplätze R21 bis R40 und Fördergut „gelb“ demnach auf die Regalplätze R41 bis R50. Nachdem das Fördergut vom Aufzug auf den jeweiligen Regalplatz umgelagert wurde, fährt das Fahrzeug wieder vorwärts, bis es auf Sensor 4 auf Weg2 trifft. Über den Sensor 4 wird die Methode „Auslagern“ ausgelöst. Im Gegensatz zur Methode „Auslagern“ bei der FIFO Steuerung (siehe Kapitel 3.2) werden hierbei nicht die Regalplätze von R1 bis R50 einfach aufsteigend auf Belegung überprüft. Zwar überprüft auch die Methode „Auslagern“ bei der vorliegenden Festplatzverteilung zunächst, ob Regalplatz R1 belegt ist. Anschließend wird dann aber Regalplatz R6 auf Belegung überprüft, dann R21 und schließlich R41. Danach wiederum nacheinander die Regalplätze R2, R7, R22 und R42 und so weiter, bis alle Regalplätze überprüft worden sind. Der Grund dafür ist, die eingangs beschriebene, Verteilung der Fördergüter auf die unterschiedlichen Lagerbereiche. Würden die Regalplätze R1 bis R50 durchgängig auf Belegung überprüft werden, hätte dies zur Folge, dass verhältnismäßig viele Fördergut „rot“ und vergleichsweise wenige Fördergüter „gelb“ ausgelagert werden. Da aber davon ausgegangen wird, dass auf alle Artikel ein ständiger Bedarf besteht, soll auch die Auslagerung gleichmäßig erfolgen.

Genau wie bei der FIFO Strategie besteht auch bei der Festplatzlagerung der Zusammenhang zwischen den eingestellten Abständen der Quellen und der Belegung der Regalplätze, also der Auslastung der Lagerkapazitäten. Wenn die Quellen in Abständen

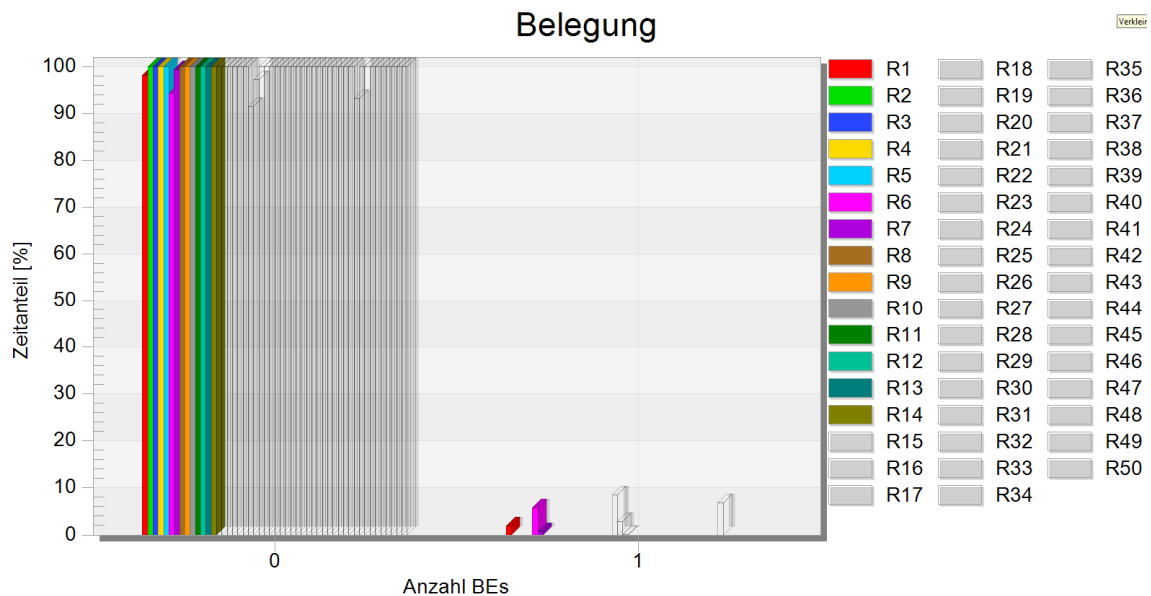
von unter 1 Minute neue Fördergüter erzeugen, ist die Anzahl an belegten Regalplätzen deutlich höher als bei längeren Abständen (vgl. Abbildung 7 und Abbildung 8). Die Werte für die Simulationsläufe, die den beiden Abbildungen 7 und 8 zugrunde liegen, sind identisch mit denen aus der FIFO-Strategie.



**Abbildung 7:** 24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von weniger als einer Minute in der Festplatz-Steuerung, eigene Darstellung

Auch hier wird eine maximale Ausschöpfung der Lagerkapazitäten in beiden Fällen bei Weitem nicht erreicht. Der Hauptgrund dafür ist, dass das Simulationsmodell so entworfen wurde, dass ein ständiger Bedarf auf die Fördergüter besteht. Dennoch wird durch die Abbildungen 7 und 8 das Prinzip der Festplatzlagerung noch einmal deutlich. Es ist eindeutig zu erkennen, dass die einzelnen Artikel in jeweils unterschiedlichen Bereichen des Hochregallagers gelagert werden. Hieraus lässt sich auch gleich ein Vorteil der Festplatzlagerung ableiten. Geht man davon aus, dass die eingelagerten Produkte unterschiedlich häufig nachgefragt werden, ist es sinnvoll, die Artikel dementsprechend im Hochregallager zu verteilen. Artikel mit einer hohen Nachfrage weisen eine hohe Umschlagshäufigkeit und folglich eine kurze Verweildauer im Lager auf. Bei Produkte mit einer geringen Nachfrage verhält es sich genau andersherum. Sie haben eine geringere Umschlagshäufigkeit und damit auch eine längere Verweildauer im Lager. Um die Fahrtzeit des Regalbediengerätes, im Simulationsmodell der Aufzug, möglichst gering zu halten, müssen diese unterschiedlichen Verweildauern beachtet werden. Produkte mit einer hohen Umschlagshäufigkeit, die also häufig ein- und ausgelagert werden, sollten demnach so gelagert werden, dass sie von dem Regalbediengerät möglichst schnell erreicht werden können. Dafür bieten sich die unteren Regalreihen an. Produkte, die hingegen nur selten ein- und ausgelagert werden und dementsprechend eine längere Verweildauer im Lager haben, sollten eher in den oberen Regalreihen gelagert werden,

damit sie nicht die Plätze für Highrunner-Produkte blockieren. Ein weiteres Kriterium für die Verteilung der Produkte im Hochregallager stellen die physischen Eigenschaften der Güter dar. Besonders schwere und große Produkte sollten allein schon aufgrund statischer Gegebenheiten in der untersten Regalreihe oder gegebenenfalls sogar auf dem Boden platziert werden. Natürlich sollte auch die Belastung für das Regalbediengerät möglichst gering gehalten werden.



**Abbildung 8:** 24-Stunden-Simulationslauf mit Abständen der Quellen von mehr als einer Minute in der Festplatzsteuerung, eigene Darstellung

Die Festplatzlagerung bietet sich also insbesondere dann an, wenn mehrere verschiedene Erzeugnisse gelagert werden sollen. Wie bereits beschrieben, kann die Verteilung der Produkte auf die einzelnen Regalplätze anhand verschiedener Kriterien erfolgen. Dazu zählen die Umschlagshäufigkeit oder physische Eigenschaften der Produkte. Ein weiterer Vorteil der Festplatzlagerung ergibt sich bei einem eventuellen Ausfall des automatischen Lagersystems. Da man durch die Strategie genau weiß, welcher Artikel sich auf welchem Regalplatz befindet, können die Produkte auch problemlos manuell ein- und ausgelagert werden.

### 3.4 Vergleich der Lagerstrategien FIFO und Festplatzlagerung

Bei einem Vergleich der beiden vorgestellten Lagerstrategien wird deutlich, dass beide sowohl einige Vor- als auch Nachteile aufweisen. Der Einsatz einer reinen FIFO Steuerung als ausschließliche Lagerstrategie erweist sich jedoch in der Praxis als untauglich. Durch den in Kapitel 2 beschriebenen Wettbewerbs- und Innovationsdruck ist heutzutage die industrielle Fertigung von vielen verschiedenen Produkten, oder zumindest unterschiedlicher Produktvarianten, mit immer kürzer werdenden

Produktlebenszyklen Standard. Um diesem Anspruch gerecht zu werden, muss es für die Logistik, in diesem Fall für die Lagerverwaltung, möglich sein, zwischen den verschiedenen Erzeugnissen zu differenzieren. Aus diesem Grund schließt sich die FIFO-Steuerung als einzige Lagerstrategie aus, da hierbei eben gerade nicht zwischen den einzulagernden Produkten unterschieden wird. Dennoch hat das FIFO Prinzip natürlich seine Berechtigung und ist in der Praxis weit verbreitet. Die Ursache hierfür ist, dass das Thema Mindesthaltbarkeit nicht nur bei Frischwaren im Supermarkt Verwendung findet, sondern auch bei zahlreichen Produkten und Erzeugnissen im industriellen Kontext.

Die Festplatzlagerung wiederum zeichnet sich eben dadurch aus, dass sie jedem Artikel einem bestimmtem Regalplatz oder zumindest Regalbereich zuweist. Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, kann diese Verteilung der Produkte anhand vielfältiger Kriterien erfolgen. Da sich, wie eingangs beschrieben, die moderne Fertigung durch ein vielfältiges Erzeugnisspektrum kennzeichnet, ist eine solche Unterscheidung nicht nur sinnvoll sondern auch notwendig. Aus diesem Grund ist die Festplatzlagerung der FIFO Strategie vorzuziehen. Ein sinnvoller Kompromiss wäre jedoch die Kombination beider Strategien. Dies bedeutet, dass die grundsätzliche Verteilung der Artikel, also der Fördergüter im Simulationsmodell, anhand der Festplatzlagerung erfolgt. Die Ein- und Auslagerung der Artikel innerhalb des jeweiligen Regalbereiches erfolgt dann mittels des FIFO Prinzips. Auf diese Weise wird man sowohl dem unterschiedlichen Produktspektrum als auch dem Thema Mindesthaltbarkeit gerecht.

Eine Schwäche, insbesondere der entwickelten Festplatzlagerung, besteht darin, dass keine Unterscheidung zwischen den Bedarfen der verschiedenen Produkte, also der Fördergüter „grün“, „blau“, „gelb“ und „rot“, getroffen wird. Um die Strategie möglichst realistisch darzustellen, müssten unterschiedliche Lieferabrufe in Form der Auslagerung berücksichtigt werden. Aus Gründen der Komplexitätsreduktion wurde jedoch darauf verzichtet und es wurde ein gleichmäßiger Bedarf für alle Produkte angenommen.

## **4 Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb der Anlage**

Nachdem im vorangegangenen Kapitel das entwickelte Simulationsmodell an sich sowie die beiden untersuchten Lagerstrategien FIFO und Festplatzlagerung untersucht wurden, soll dieses Kapitel dazu dienen, ein Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb der Anlage zu entwerfen. Das vorgestellte Modell des Hochregallagers sowie die dazugehörigen Lagerstrategien stellen hierbei einen ersten Schritt dar. Langfristig soll die Modellfabrikanlage dazu dienen, die verschiedenen Parameter des Modells zu analysieren und zu optimieren, ohne den laufenden Betrieb der Anlage negativ zu beeinflussen.

Die Notwendigkeit des Einsatzes von Simulation, insbesondere auch im Kontext von Industrie 4.0, lässt sich anhand vielfacher Beispiele begründen. Zunächst einmal ist hier insbesondere der hohe Wettbewerbs- und Innovationsdruck zu nennen, der besonders Unternehmen in hochentwickelten Industriestaaten wie Deutschland betrifft. Dieser Wettbewerbs- und Innovationsdruck herrscht sowohl zwischen Unternehmen innerhalb von Industrienationen als auch im Vergleich zu Ländern mit geringeren Lohnkosten. Eine klare Trennung lässt sich aufgrund der oftmals globalen Produktions- und Lieferbeziehungen aber hier auch nicht vollziehen. Besonders betroffen sind jedoch Unternehmen mit einem hohen Anteil an Produktionsarbeit, also beispielsweise aus der Automobilbranche oder dem Maschinen- und Anlagenbau. Um dauerhaft konkurrenzfähig im Vergleich zu Niedriglohnländern zu bleiben und dennoch wirtschaftlich handeln zu können, müssen diese Unternehmen sowohl ständig innovativ sein aber auch kontinuierlich ihre Effizienz verbessern. Dies bedeutet, dass insbesondere bestehende oder geplante Fertigungs- und Logistikkonzepte ständig optimiert werden müssen. Hierbei stellt die Simulation ein wichtiges Werkzeug dar. Die Logistik muss immer wieder hinsichtlich geänderter Rahmenbedingungen angepasst werden.

Da diese Veränderungen oftmals mit sehr komplexen Anforderungen verknüpft sind, hat sich die Simulation als wichtiges Instrument zur Entscheidungsunterstützung etabliert. Wie in Kapitel 2.2.1 beschrieben, kann der Einsatz von Simulationsmodellen den Verantwortlichen die letztendliche Entscheidung nicht vollständig abnehmen, aber einen wertvollen Beitrag zur Entscheidungsfindung leisten. So kann beispielsweise eine reale Fabrik mit Hilfe von Simulation dargestellt werden und verschiedenen Szenarien durchgespielt werden. In Bezug auf die vorliegende Projektarbeit ist hier die Erprobung der Abläufe und Strategien im Lager zu nennen. Durch die Simulation lassen sich eventuelle Schwachstellen und Optimierungspotentiale von vorhandenen oder geplanten Lagerkonzepten vor der Umsetzung am realen Objekt aufdecken. Dies führt wiederum zu einer Kosten- und Zeitersparnis, was zu einem Wettbewerbsvorteil führen kann.

Voraussetzung hierfür ist eine korrekte Anwendung der Simulation. Als Beispiele für aufgedeckte Schwachstellen und Optimierungspotentiale für den Lagerbereich der Modellfabrikanlage sind hier die Umlagerung der Fördergüter von den Transportbändern auf das STS 31.1, die ungleichmäßige Umlagerung von den Transportbändern TB 31.1 bis TB 31.4 auf STS 31.1 sowie mangelnde Ausnutzung der Lagerkapazität zu nennen. Darüber hinaus lässt sich eine Vielzahl weiterer Untersuchungsansätze nennen, die zuerst mit Hilfe des Simulationsmodells erprobt und bei Erfolg auf die reale Modellfabrik übertragen werden können. Dazu zählt die Weiterentwicklung oder zumindest Modifikation der entwickelten Lagerstrategien. Ein erster Ansatz zur Verbesserung der Lagerstrategien wurde in Kapitel 3.4 durch den Vorschlag, die Ein- und Auslagerungsstrategie FIFO in die Festplatzlagerung zu integrieren, bereits genannt. Des Weiteren ist natürlich auch die Erprobung ganz neuer, alternativer Lagerstrategien zu nennen. In Kapitel 2.3.2 wurde als weitere Lagerplatzvergabe-strategie, neben der Festplatzlagerung, die Chaotische Lagerung oder auch freie Platzvergabe erwähnt. Hierbei wird jede Ladeinheit eines Artikels frei im Lager verteilt. Gerade im Vergleich zur Festplatzlagerung stellt dies einen interessanten Ansatz dar, um die Auswirkungen auf die Auslastung der Lagerkapazität zu untersuchen. Darüber hinaus sind auch Veränderungen an den Abläufen oder an der Modellfabrik selbst denkbar. Hinsichtlich der Veränderungen der Abläufe sind hier die Umlagerungen von den Transportbändern auf die Fahrzeuge STS 31.1 und den Aufzug zu nennen. Bei der Modellfabrik selbst könnten Veränderungen hinsichtlich der Anzahl an Transportbändern oder Regalplätze vorgenommen werden. Fraglich ist hierbei jedoch, ob sich dies auch an der realen Modellfabrik praktisch umsetzen lässt. Ein weiterer Faktor ist die Beachtung zusätzlicher, externer Faktoren. Dazu zählt etwa der Ausgleich von Lieferschwankungen, beispielsweise hervorgerufen durch den sogenannten „Peitschenschlageffekt“. Oder die Frage, ob und wann Fertigungsaufträge ausgelöst werden, wenn im Lager ein Mindestbestand an eingelagerter Ware unterschritten wird.

Ferner gibt es auch im Kontext von Industrie 4.0 noch eine Vielzahl von Fragestellungen, die durch das Simulationsmodell noch näher untersucht werden können. Teilweise wurden diese im entwickelten Simulationsmodell bereits berücksichtigt. Exemplarisch ist hierbei die Rolle von Barcodes oder RFID zur Identifikation der Artikel und damit verbunden der Regalplatzzuweisung zu nennen. Weitere in Kapitel 2.1 beschriebene Entwicklungen, wie etwa das „Internet der Dinge“ und die zunehmend hochflexibilisierte und individualisierte Produktion und damit verbundene Logistik- und insbesondere Lagerungsaufgaben, sind hier als weitere Untersuchungsansätze zu erwähnen.

Diese genannten, weiterführenden Fragestellungen können alle mit Hilfe der Simulation untersucht werden. Das Ziel hierbei ist, dass der laufende Betrieb der Modellfabrikanlage nicht gestört wird. Damit dies auch nicht geschieht, muss die Fabrik an sich oder



zumindest der Lagerbereich zunächst einmal simuliert werden. Dies ist mit der vorliegenden Projektarbeit geschehen. Weitergehende Modifikationen können zunächst am Simulationsmodell erprobt werden und dann erst am realen Objekt, also der Modellfabrik, vorgenommen werden. Genau dies ist das Ziel des Einsatzes von Simulation. Man kann sich zunächst theoretisch überlegen, welche Verbesserungen oder Veränderungen man an einem geplanten oder bereits bestehenden Objekt vornehmen möchte. Anschließend muss das Vorgehen simuliert und darauf aufbauend analysiert und gegebenenfalls erneut angepasst werden. Erst, wenn der gewählte Ansatz sich als tatsächliche Verbesserung darstellt, wird er am realen Objekt umgesetzt. Dies stellt im Idealfall insbesondere eine Kostenersparnis dar, da eventuelle Schwachstellen bereits durch die Simulation aufgedeckt werden.

## 5 Fazit und Ausblick

Das Ziel der vorliegenden Projektarbeit war die Entwicklung eines ereignisdiskreten Simulationsmodells mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation. Dieses Simulationsmodells dient zur Planung und Optimierung eines Hochregallagers einer Modell-Fabrikanlage, die derzeit am Fachgebiet IT in Produktion und Logistik entsteht. Hierbei sollten mindestens zwei verschiedene Lagerstrategien untersucht werden.

Zunächst wurden die theoretischen Grundlagen für diese Projektarbeit vorgestellt. Dazu zählen der Themenkomplex Industrie 4.0, die ereignisdiskrete Simulation im Allgemeinen und die Simulationssoftware Plant Simulation im Speziellen sowie der Themenbereich Lagerwirtschaft unter besonderer Berücksichtigung von verschiedenen Lagerstrategien und Kriterien zur Lagerplatzvergabe. Darauf aufbauend wurde im nächsten Kapitel zunächst das entwickelte Simulationsmodells des Hochregallagers beschrieben. Die Erstellung des Modells erfolgte, wie eingangs bereits erwähnt, mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation von Siemens und auf Grundlage einer Skizze der Modellfabrikanlage. Hierbei wurde insbesondere darauf geachtet, die einzelnen Abläufe möglichst detailliert und verständlich zu beschreiben, da die Steuerung der einzelnen Vorgänge größtenteils über Sensoren und damit verknüpften Methoden erfolgt. Im nächsten Abschnitt wurden dann die beiden untersuchten Lagerstrategien FIFO und Festplatzlagerung sowie deren Umsetzung in dem Simulationsmodell näher vorgestellt. Insbesondere wurde hierbei auf die verschiedenen Vor- und Nachteile der Strategien eingegangen. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass eine reine FIFO Strategie in einem Hochregallager wenig praxistauglich ist. Die Integration der FIFO Strategie in die Festplatzlagerung stellt jedoch eine sinnvolle Variante dar, besonders unter dem Gesichtspunkt der Mindesthaltbarkeit von Produkten. Abschließend wurde noch versucht, ein Konzept zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb der Anlage zu entwerfen. Hierbei wurde auch noch einmal auf mögliche weiterführende Untersuchungsansätze eingegangen.

Generell wurde durch die Projektarbeit deutlich, dass die frühzeitige Erfahrung im Umgang mit Simulationssoftware durchaus wichtig ist. Insbesondere bei komplexen Anforderungen kann die Simulation eine wichtige Entscheidungsunterstützung darstellen. Dennoch muss der Umgang mit der jeweiligen Simulationssoftware, in diesem Fall Plant Simulation, zunächst erlernt werden. Die Einarbeitung in die Software stellte auch bei der vorliegenden Projektarbeit den größten und zeitaufwändigsten Teil dar. Hierbei ist anzumerken, dass speziell der Programmieraufwand für einen „Nicht-Informatiker“ nicht zu unterschätzen ist. Daher gibt es sicherlich an der einen oder anderen Stelle noch durchaus Optimierungspotential. Kritisch anzumerken ist jedoch auch die begrenzte Anzahl von maximal 80 zu verwendenden Bausteinen in der

Studentenversion von Plant Simulation. In der vorliegenden Projektarbeit musste daher speziell der Prozess des Ein- und Auslagerns stark vereinfacht dargestellt werden.

Zusammenfassend kann man dennoch sagen, dass es gelungen ist, ein ereignisdiskretes Simulationsmodell zu entwickeln, mit deren Hilfe man das Hochregallager der Modell-Fabrikanlage planen und optimieren kann. Bei der Untersuchung der beiden Lagerstrategien wurde insbesondere die Eignung der jeweiligen Strategie, bezogen auf die Ähnlichkeit der einzulagernden Produkte, herausgearbeitet. Bei Produkten, die nicht weiter differenziert werden müssen, empfiehlt sich die FIFO Strategie. Bei sehr unterschiedlichen Produkten hingegen die Festplatzlagerung. Des Weiteren wurde anhand des erarbeiteten Konzeptes zum Einsatz der Simulation parallel zum laufenden Betrieb noch einmal die Wichtigkeit des Einsatzes von Simulation, besonders in der Planungsphase, dargelegt. Durch das entwickelte Simulationsmodell wurden insbesondere die Transportbänder, genauer gesagt die Umlagerung von den Transportbändern auf das STS 31.1, als problematisch identifiziert.

---

## Literaturverzeichnis

1. Lasi H, et al. *Wirtschaftsinformatik*. 2014; 04:261-264
2. Bauernhansl T, et al. *Industrie 4.0 in Produktion, Automatisierung und Logistik*. Wiesbaden: Springer Vieweg; 2014
3. Sandler U, ed. *Industrie 4.0: Beherrschung der industriellen Komplexität mit SysLM (Systems Lifecycle Management)*. Berlin Heidelberg: Springer Vieweg; 2013
4. Bundesministerium für Bildung und Forschung. *Die neue Hightech-Strategie: Innovationen für Deutschland*. Berlin. 2014
5. Plattform Industrie 4.0. *Industrie 4.0 Whitepaper FuE Themen*. 2015
6. Hirsch-Kreinsen H. *Wandel von Produktionsarbeit - "Industrie 4.0"*. 2014
7. Geisberger E, et al. *agendaCPS - Integrierte Forschungsagenda Cyber-Physical Systems*. Heidelberg u.a.: Springer Verlag; 2012
8. acatech, ed. *Cyber-Physical Systems. Innovationsmotor für Mobilität, Gesundheit, Energie und Produktion (acatech POSITION)*. Heidelberg u.a.: Springer Verlag; 2011
9. Bullinger H, et al., eds. *Internet der Dinge*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2007
10. Fleisch E, et al., eds. *Das Internet der Dinge: Ubiquitous Computing und RFID in der Praxis: Visionen, Technologien, Anwendungen, Handlungsanleitungen*. Heidelberg u.a.: Springer Verlag; 2005
11. Tamm G, et al., eds. *RFID*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag; 2010
12. März L, et al., eds. *Simulation und Optimierung in Produktion und Logistik: Praxisorientierter Leitfaden mit Fallbeispielen*. Heidelberg u.a.: Springer; 2011
13. Bayer J, et al., eds. *Simulation in der Automobilproduktion*. Heidelberg u.a.: Springer; 2002
14. Eley M. *Simulation in der Logistik: Eine Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges „Plant Simulation“*. Heidelberg u.a.: Springer; 2012
15. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1. *Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen Grundlagen*. Berlin: Beuth; 2014
16. Law A, et al. *Simulation modeling & analysis*. New York: McGraw-Hill; 2000
17. Kuhn A, et al. *Simulation in Produktion und Logistik: Fallbeispielsammlung*. Heidelberg u.a.: Springer; 1998
18. Wenzel S, et al., eds. *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik: Planung und Durchführung von Simulationsstudien*. Heidelberg u.a.: Springer; 2008

19. Rabe M, et al. *Handlungsanleitung Simulation in Produktion und Logistik: Ein Leitfaden mit Beispielen für kleinere und mittlere Unternehmen*. San Diego: SCS International; 2001
20. Rabe M, et al. *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik: Vorgehensmodelle und Techniken*. Heidelberg u.a.: Springer; 2008
21. VDI Richtlinie 4499 Blatt 1. *Digitale Fabrik: Grundlagen*. Düsseldorf; 2008
22. Hompel M ten, et al. *Taschenlexikon Logistik: Abkürzungen, Definitionen und Erläuterungen der wichtigsten Begriffe aus Materialfluss und Logistik*. Heidelberg u.a.: Springer; 2011
23. Bichler K, et al. *Kompakt Edition: Lagerwirtschaft: Grundlagen, Technologien und Verfahren*. Wiesbaden: Springer; 2013
24. Hompel M ten, et al. *Warehouse Management: Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen*. Heidelberg u.a.: Springer; 2005
25. Glass M. *Schnellläuferstrategien in Lagern und Dynamische Zonierung*. [Dissertation]. Dresden: Technische Universität Dresden; 2008
26. Hompel M ten, et al. *Materialflusssysteme: Förder- und Lagertechnik*. Heidelberg u.a.: Springer; 2007
27. Arnold D, et al., eds. *Handbuch Logistik*. Heidelberg u.a.: Springer; 2008
28. Wannenwetsch H. *Integrierte Materialwirtschaft und Logistik: Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion*. Heidelberg u.a.: Springer; 2010
29. Arnold D, et al. *Materialfluss in Logistiksystemen*. Heidelberg u.a.: Springer; 2009
30. Brandes T. *Betriebsstrategien für Materialflußsysteme unter besonderer Berücksichtigung automatisierter Lager*. Aachen: Shaker; 1997

---

## Eidesstattliche Versicherung

---

Name, Vorname

---

Matrikelnummer

Ich versichere hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Seminararbeit / Bachelorarbeit / Masterarbeit \* mit dem Titel

---

---

---

selbstständig und ohne unzulässige fremde Hilfe erbracht habe. Ich habe keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie wörtliche und sinngemäße Zitate kenntlich gemacht. Die Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

---

Ort, Datum

---

Unterschrift

\* Nichtzutreffendes bitte streichen

**Belehrung:**

Wer vorsätzlich gegen eine die Täuschung über Prüfungsleistungen betreffende Regelung einer Hochschulprüfungsordnung verstößt, handelt ordnungswidrig. Die Ordnungswidrigkeit kann mit einer Geldbuße von bis zu 50.000,00 € geahndet werden. Zuständige Verwaltungsbehörde für die Verfolgung und Ahndung von Ordnungswidrigkeiten ist der Kanzler/die Kanzlerin der Technischen Universität Dortmund. Im Falle eines mehrfachen oder sonstigen schwerwiegenden Täuschungsversuches kann der Prüfling zudem exmatrikuliert werden. (§ 63 Abs. 5 Hochschulgesetz - HG - )

Die Abgabe einer falschen Versicherung an Eides statt wird mit Freiheitsstrafe bis zu 3 Jahren oder mit Geldstrafe bestraft.

Die Technische Universität Dortmund wird gfls. elektronische Vergleichswerkzeuge (wie z.B. die Software „turnitin“) zur Überprüfung von Ordnungswidrigkeiten in Prüfungsverfahren nutzen.

Die oben stehende Belehrung habe ich zur Kenntnis genommen:

---

Ort, Datum

---

Unterschrift