

**Fakultät für Maschinenbau**

**Fachwissenschaftliche Projektarbeit**

**aus dem Fachgebiet IT in Produktion und Logistik**

von

Nicole Baller (141331)

Clara Nerke (189841)

**Untersuchung von AutoMod und Plant Simulation zur Abbildung  
und Analyse von Logistiksystemen**

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe (ITPL)  
Dipl.-Geoinf. Maik Deininger (ITPL)

29.10.2016

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis .....	III
Tabellenverzeichnis .....	IV
1 Einleitung .....	1
2 Modulare Logistiksysteme .....	2
2.1 Eigenschaften der Module.....	2
2.2 Einsatzgebiete modulare Systeme .....	3
3 Grundlagen Simulation.....	5
3.1 Definition: Simulation.....	5
3.1.1 Arten der Simulation.....	5
3.1.2 Nutzen der Simulation.....	7
3.2 Ablauf einer Simulation .....	7
3.3 Simulation und modulare Logistik.....	9
4 Abzubildende Elemente und reale Systembeispiele .....	10
4.1 Definition: Konzeptmodell.....	10
4.2 Abzubildende Elemente .....	10
4.3 Systembeispiel 1: Fertigung von Leiterplatten .....	15
4.4 Systembeispiel 2: Fertigung und Montage eines Laufrads .....	18
5 Simulationsmodelle .....	21
5.1 AutoMod.....	21
5.1.1 Allgemeines zum Programm/Vorgehen .....	21
5.1.2 Auflistung der Elemente für die Modelle .....	23
5.1.3 Simulation .....	27
5.1.3.1 Systembeispiel 1 .....	27
5.1.3.2 Systembeispiel 2 .....	28
5.1.4 Anwendbarkeit des Programms .....	29
5.2 Plant Simulation .....	32
5.2.1 Auflistung der Elemente für die Modelle .....	32
5.2.2 Simulation .....	36

5.2.2.1	Leiterplattenfertigung.....	36
5.2.2.2	Laufradfertigung .....	41
5.2.3	Anwendbarkeit des Programms .....	44
6	Zusammenfassung.....	46
	Literaturverzeichnis.....	VII
	Anhang .....	VII

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ablauf einer Simulationsstudie (VDI 3633) .....	8
Abbildung 2: Fertigung der Leiterplatte .....	16
Abbildung 3: Linienanordnung Leiterplatte .....	17
Abbildung 4: Laufrad der Firma wishbone™ (Wishbone Design Studio Ltd.) .....	18
Abbildung 5: Fertigung und Montage des Laufrads .....	19
Abbildung 6: Linienanordnung Laufrad .....	19
Abbildung 7 Prozesspalette für Stetigförderer .....	25
Abbildung 8: Syntax des <i>create</i> Befehls in AutoMod .....	26
Abbildung 9: Zeiteinstellung einer Einzelstation .....	36
Abbildung 10: Mögliche Verteilungen für die Zeiten .....	37
Abbildung 11: Angaben einer 90°-Kurve .....	37
Abbildung 12: Attribute einer Förderstrecke .....	38
Abbildung 13: Attribute der Quelle .....	39
Abbildung 14: Modell zur Leiterplattenfertigung .....	40
Abbildung 15: Statistik der Leiterplattenfertigung .....	40
Abbildung 16: Attribute einer Montagestation .....	41
Abbildung 17: Montageliste des Typs "Vorgänger" .....	42
Abbildung 18: Attribute einer Demontagestation .....	42
Abbildung 19: Modell der Laufradfertigung .....	43
Abbildung 20: Statistik der Laufradfertigung .....	43

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Kriterienkatalog für Module.....	3
Tabelle 2: Zentrale Elemente einer ereignisdiskreten Simulation (Eley, 2012 S. 9f).....	6
Tabelle 3: Auswirkungen der logistischen Kern- und Unterstützungsprozesse auf das Gut (in Modifikation von (Pfohl, 2010 S. 9)) .....	12
Tabelle 4: Abzubildende Ressourcen eines modularen Logistiksystems.....	13
Tabelle 5: Abzubildende Streckenelemente eines modularen Logistiksystems .....	14
Tabelle 6: Abzubildende bewegliche Elemente eines modularen Logistiksystems .....	15
Tabelle 7: Zeiten und Geschwindigkeiten für die Leiterplatte .....	17
Tabelle 8: Zeiten und Geschwindigkeiten für die Leiterplatte .....	20
Tabelle 9: Definierte <i>entities</i> für Systembeispiel 1 .....	28
Tabelle 10: Definierte <i>entities</i> für Systembeispiel 2.....	29

## 1 Einleitung

Produktlebenszyklen werden kürzer, neue Innovationen kommen immer schneller auf den Markt und Individualisierungen der Produkte steigen. Diese drei Trends tragen mit dazu bei, dass die Anforderungen an die Intralogistik steigen und von Mal zu Mal komplexer werden. Dieser neuen Situation begegnet man mit wandlungsfähigen und modularen Systemen. Entsprechende Systeme gilt es mit Simulationswerkzeugen abzubilden. Im Rahmen der vorliegenden Projektarbeit werden zwei gängige Simulationswerkzeuge auf ihre Tauglichkeit für die Abbildung von modularen Logistiksystemen geprüft. Die Simulationssoftware AutoMod (Punkt 5.1) wird von Nicole Baller und die Simulationssoftware Plant Simulation (Punkt 5.2) wird von Clara Nerke getestet.

Um eine Basis für die Prüfung zu haben, erarbeitet Clara Nerke zunächst die Grundlagen und Kriterien von „Modularen Logistiksystemen“ (Punkt 2) und die „Grundlagen Simulation“ (Punkt 3). Nicole Baller beschäftigt sich mit den „Abzubildende[n] Elemente[n] und reale[n] Systembeispiele[n]“ (Punkt 4).

Im Anschluss werden in Hinblick auf die nötigen Elemente die Simulationsprogramme analysiert und mit je zwei Systembeispielen bewiesen. Auf dieser Basis werden die Programme jeweils auf ihre Anwendbarkeit für modulare Logistiksysteme geprüft. Die Prüfung wird anhand der zu Beginn erarbeiteten Kriterien durchgeführt.

Abgerundet wird die Arbeit mit einer gemeinsamen Empfehlung über den Einsatz der Programme für die Simulation von modularen Logistiksystemen.

## 2 Modulare Logistiksysteme

„Logistiksysteme sind spezielle Leistungssysteme [...], die außer den operativen Logistikfunktionen weitere Leistungen erbringen, wie Entwicklungs-, Beschaffungs-, Produktions- und Serviceleistungen [...]“ (Gudehus, 2010 S. 4). Mit der zusätzlichen Spezifikation „modular“ sind Logistiksysteme gemeint, die im Baukastenprinzip je nach Bedarf zusammengestellt werden. Sie sind in die Kategorie der wandlungsfähigen und segmentierten Systeme einzuordnen, denn „Modularität ermöglicht durch Verwendung standardisierter Elemente [...] einen aufwandsarmen Austausch von Komponenten eines Gesamtsystems, ohne dessen Funktion zu behindern“ (Nyhuis, et al., 2013 S. 50).

Im Folgenden wird genauer auf die nötigen Eigenschaften der einzelnen Module und kurz auf mögliche Einsatzgebiete modularer Logistiksysteme eingegangen.

### 2.1 Eigenschaften der Module

Um die Module tatsächlich entsprechend vielfältig einsetzen zu können, müssen diese bestimmte Kriterien erfüllen. Typisch ist der

- *flexible*
- *dezentrale* (Schenk, et al., 2014 S. 62)
- und *autonome* (Nyhuis, et al., 2013 S. 1157)

Einsatz der einzelnen Module.

Mit flexibel ist in diesem Zusammenhang die Fähigkeit, „sich an Veränderungen des Marktes in Form von veränderten Produkten und Stückzahlen“ (Schenk, et al., 2014 S. 498) anzupassen, gemeint. Unter der Charakteristika: Dezentralität ist auf der Logistikebene die individuelle Platzierungsmöglichkeit der Module zu verstehen (Lier, et al., 2015 S. 5). Somit sollten die Module eine *Mobilität* - eine uneingeschränkte Bewegbarkeit - (vgl. Nyhuis, et al., 2013 S. 50) aufweisen. In der Intralogistik würden beispielsweise Rollen unter den einzelnen Modulen die Dezentralität erleichtern. Autonomie meint, dass die Module selbstständig für sich stehen können. Was jedoch auch bedeutet, dass die Schnittstellen der Module standardisiert sein (Clausen, et al., 2014) müssen, um sich problemlos miteinander im heterarchischen Produktionsnetzwerk zu vernetzen (Schenk, et al., 2014 S. 63). Diese Vernetzung muss informations- und materialflusstechnisch möglich sein. Jedes Modul ist somit sein eigener Informationsträger und -verarbeiter.

Module müssen sich „mit hoher Dynamik wechselnden Veränderungen anpassen [...] können, damit der Umbau bestehender Systeme nicht zu lange dauert und zu kompliziert wird. Diese *Anpassung muss kurzfristig* erfolgen können[...]“ (Schenk, et al., 2014 S. 502). Unter wechselnden Veränderungen fällt auch, dass sich In- und Output der Module ändern können.

Hierfür muss die *Konfiguration* der Module permanent und in kürzester Zeit auf die Situation *einstellbar sein* (Lier, et al., 2015 S. 47).

In der folgenden Tabelle sind die verschiedenen Kriterien mit einer kurzen Erläuterung aufgelistet.

**Tabelle 1: Kriterienkatalog für Module**

Kriterium	Erläuterung
Flexibilität	Anpassungsfähigkeit an Veränderungen am Markt
Dezentralität	individuelle Platzierungsmöglichkeit der Module
Autonomie	Eigenständigkeit der Module
Mobilität	uneingeschränkte Bewegbarkeit
Standardisierte Schnittstellen	Vernetzung mit anderen Modulen konfliktfrei möglich
Informationsträger	Verfügbarkeit über die eigenen Informationen (wichtig für Autonomie)
Dynamik	Kurzfristige Anpassung möglich
Konfigurierbarkeit	Parametrisierung möglich

## 2.2 Einsatzgebiete modulare Systeme

Veränderungen sind ständig präsent und finden in immer kleineren Zeitabständen statt. Produktlebenszyklen werden kürzer und Kundenwünsche individueller. Das bedeutet für die Unternehmen, dass sie sich fast ununterbrochen auf neue Situationen einstellen müssen. Eine Fabrikplanung ist jedoch meist auf mehrere Jahre ausgerichtet, sie ist so geplant, dass ein Produkt über einen langen Zeitraum hinweg produziert wird. In vielen Fällen ist noch ein bestimmter Prozentsatz an Wachstum mit einkalkuliert, aber ein Umbau der Produktion mit neuen Investitionen ist nicht vorgesehen. Durch die zuvor erwähnten Trends und die aktuelle Marktlage können solche Umbauten jedoch kaum umgangen werden. Diese Prozesse sind sehr aufwendig, teuer und von langer Dauer. Um diese der Gegenwart anzupassen, wurde das Konzept der modularen, wandlungsfähigen und segmentierten Produktion entwickelt. Da der Materialfluss zwischen den einzelnen Modulen und die Planung der Produktionsstationen jedoch genauso schnell angepasst werden müssen, wird auch eine modulare, wandlungsfähige und segmentierte Logistik benötigt.

Die modularen Logistiksysteme können beispielsweise im Saisongeschäft eingesetzt werden. So kann die Kapazität zu den Spitzenzeiten schnell erhöht werden um Engpässe zu vermeiden. In Zeiten des Absatztiefs wiederum können ohne großen Aufwand überflüssige Kapazitäten abgebaut werden. Außerdem ist der Einsatz von modularen Systemen in innovationsreichen Produktparten von Vorteil. Denn diese Systeme versprechen eine schnelle



Anpassung an neue Produktionsgegebenheiten. Weiterentwicklungen von Produkten haben oft eigene, neue Ansprüche an die Produktion. Ein drittes Einsatzgebiet soll hier noch aufgeführt werden. Die Einzelfertigung ist ebenfalls prädestiniert für modulare Systeme. Jeder individuelle Kundenwunsch benötigt teilweise nur minimal abweichende Produktionsschritte aber oft unterschiedliche Produktionsabläufe. In einem starren System können diese kleinen bis großen Abweichungen in der Produktion zu Zusatzwegen oder weniger effizienten Produktionsabläufen führen. Modulare Systeme können jedoch entsprechend geplant und vor der Produktion für das neue Produkt ohne große Investitionen angepasst werden. Es sind hier nur einige repräsentative Beispiele genannt, um einen kleinen Einblick in mögliche Einsatzgebiete zu gewährleisten.

### 3 Grundlagen Simulation

Nachdem die modularen Systeme genauer beschrieben wurden, soll jetzt auf die zweite Säule dieser Projektarbeit eingegangen werden. Die modularen Systeme sollen mit Hilfe einer Simulation dargestellt werden. Im ersten Unterpunkt wird die Simulation zunächst allgemein definiert. Es gibt verschiedene Grundarten von Simulationen. Diese werden im Anschluss kurz eingeführt, um schließlich genauer auf die in diesem Zusammenhang relevante ereignisdiskrete Simulation einzugehen. Der nächste Schritt zeigt den allgemeingültigen Ablauf einer Simulationsstudie auf. Dieser Ablauf wird unter Punkt 4 auf die Themenstellung der Projektarbeit konkret angewendet. Abschließend wird die Bedeutung der Simulation für die Analyse von Logistiksystemen dargelegt und die unter Punkt 2.1 eingeführten Kriterien soweit nötig auf die Simulationsbausteine übertragen und gegebenenfalls ergänzt.

#### 3.1 Definition: Simulation

In der Norm VDI 3633 Blatt 1: „Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen – Grundlagen“ wird Simulation wie folgt definiert:

„Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind [...].“

Das bedeutet konkret, dass man ein reales System mit den Systemgrenzen, dem In- und Output des Systems, den Komponenten und deren Beziehungen untereinander in einem Computermodell abstrahiert darstellt. Anhand dieses Modells ist es möglich Experimente durchzuführen. Die herausgearbeiteten Ergebnisse können analysiert werden, um bestimmte Schlüsse für das reale System zu ziehen.

In den folgenden Unterpunkten wird genauer auf die Arten und den Nutzen der Simulation eingegangen.

##### 3.1.1 Arten der Simulation

Die Simulation kann in mehreren Stufen klassifiziert werden. Es gibt die Klassifizierung nach

- der Zufälligkeit
- der zeitlichen Abhängigkeit
- der Art der Variablen.

Die Zufälligkeit wird in deterministisch und stochastisch unterschieden. In der nächsten Stufe wird zwischen statisch und dynamisch unterschieden und bei der Art der Variablen gibt es die kontinuierliche und diskrete Simulation. (Henke, 2015) In der Projektarbeit wird sich „ausschließlich mit ereignisdiskreten Modellen befasst, da sie prädestiniert sind, logistische Systeme abzubilden. Charakteristisch für ereignisdiskrete Modelle ist, dass sich Modellzustände

nur zu gewissen, diskreten Zeitpunkten ändern“ (Eley, 2012 S. 8). Übertragen auf die Logistik bedeutet das, dass nur die Zeitpunkte relevant sind, in denen eine Zustandsänderung stattfindet. Eine Zustandsänderung kann z. B. der Start oder das Ende der Bearbeitung eines Teils sein. Diese Änderungen werden auch Ereignisse genannt. Für den Logistiker ist es unwichtig, in welcher Weise das Teil bearbeitet wird oder in welcher Form sich das Teil verändert hat. Somit muss der Prozess der Bearbeitung nicht analysiert werden. Folglich werden hauptsächlich Transporte, Umlagerungen oder Lagerungen abgebildet. Um die auszuführenden Ereignisse zu verwalten, werden Zeitleisten verwendet. In diesen wird der „Zeitfortschritt auf Basis der Ereigniszeitpunkte“ (VDI 3633, Punkt 5.2) angezeigt. In unterschiedlichen Programmen wird die Zeitleiste verschieden benannt. In Plant Simulation übernimmt beispielsweise der Ereignisverwalter diese Aufgabe. Um die Modellierung der realen Elemente zu vervollständigen, werden materielle Elemente wie z. B. Maschinen und immaterielle Elemente, zu denen Informationselemente zählen, benötigt (vgl. Eley, 2012 S. 8ff). Tabelle 2 liefert einen Überblick über zentrale Elemente der ereignisdiskreten Simulation.

Tabelle 2: Zentrale Elemente einer ereignisdiskreten Simulation (Eley, 2012 S. 9f)

Element	Kurzbeschreibung
<b>Entity</b>	Bewegliche Elemente, die während der Simulation erzeugt und wieder vernichtet werden können. Außerdem können sie sich im Simulationslauf ändern.
<b>Ressourcen</b>	Unbewegliche Elemente, die innerhalb eines Simulationsmodells in Anspruch genommen werden können.
<b>Warteschlangen/ Puffer</b>	Warträume, in denen Entities z. B. vor Maschinen warten können bis diese aufnahmebereit sind. Mithilfe von Regeln kann hierdurch eine Umsortierung der Entities durchgeführt werden. Sie sind in die Kategorie der Ressourcen einzuordnen.
<b>Attribute</b>	Eigenschaften von Entities oder Ressourcen, die Auskunft über deren Verhalten und Darstellung geben.
<b>Methoden</b>	Prozeduren mit denen in den Simulationslauf eingegriffen werden kann, beispielsweise mit der Steuerung von Zustandsänderungen.
<b>Variablen</b>	Speicher für Informationen, die im weiteren Simulationslauf noch benötigt werden.
<b>Zufallszahlen</b>	Werte, die mit einer vorgegebenen statistischen Verteilung erstellt werden, um Zufallsprozesse (z. B. Maschinenausfall) auszulösen.

### **3.1.2 Nutzen der Simulation**

Die Simulation ist ein „Hilfsmittel bei Planung, Realisierung und Betrieb von technischen Systemen“ (VDI 3633, Punkt 3). Als konkreten Nutzen können die folgenden Punkte aufgelistet werden:

- Transparente Analyse von komplexen Systemen
- kosten- und zeitintensive Korrekturmaßnahmen vorbeugen
- Darstellung von besonders langen oder kurzen Zeiträumen
- Kalkulation und Vergleich mit realen Zahlen
- Flexibilität
- Experimente an nicht real existierenden Systemen möglich

Die transparente Analyse lässt sich dadurch erklären, dass das Simulationsmodell das vollständige System in seiner Komplexität auf einen Blick darstellt und die Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten beachtet. Das Vorbeugen von kosten- und zeitintensiven Korrekturmaßnahmen ist ein zentraler Aspekt. Eine Kostenreduktion entsteht durch den Wegfall von Realexperimenten. Dadurch, dass die Geschwindigkeit in der Simulation individuell einstellbar ist, können zeitintensive Langzeitstudien in einem angemessenen Zeitrahmen durchgeführt werden. Es können Daten in Zeitraffer gesammelt werden und anschließend ausgewertet werden. Neben dem Zeitraffer ist es auch möglich die Simulation in Zeitlupe zu betrachten. Dies kann in manchen Fällen die Fehlersuche in einem System erheblich erleichtern. Die Kalkulation und der Vergleich von realen Zahlen können in der Planung von Systemen nützlich werden. Den verschiedenen Simulationsmodellen können reale Zahlen zu Grunde gelegt werden, um die Ergebnisse im Anschluss zu vergleichen. Auf dieser Grundlage können schnell und sicher Investitionsentscheidungen getroffen werden. Die Flexibilität zeichnet sich beispielsweise dadurch aus, dass einzelne Module in der Simulation ohne große Umstände für verschiedene Experimente ausgetauscht oder verschoben werden können, was in einem realen System nicht möglich wäre. Zu guter Letzt besteht auch ein großer Nutzen der Simulation darin, dass Systeme ausgiebig getestet werden können, bevor sie real existieren. So können Unstimmigkeiten von Systemen schon im Vorhinein behoben werden. (SimPlan AG)

### **3.2 Ablauf einer Simulation**

Eine erfolgreiche Simulationsstudie folgt einem allgemeingültigen Ablauf. Dadurch wird grundsätzlichen Fehlern in den Ergebnissen, die aus der Simulation gezogen werden, vorgebeugt. Abbildung 1 stellt diesen Ablauf schematisch dar.

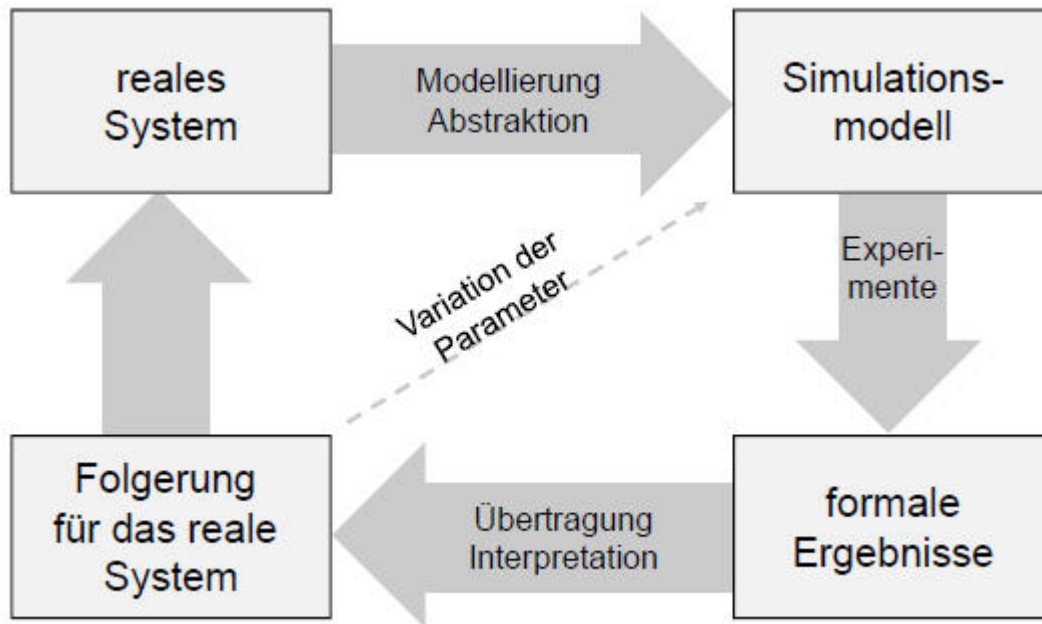


Abbildung 1: Ablauf einer Simulationsstudie (VDI 3633)

An erster Stelle steht das reale System, welches untersucht werden soll. Das reale System kann bereits vorhanden sein, sodass die Simulationsstudie einer Verbesserung des Systems dient. Es ist jedoch ebenfalls möglich, dass das System noch nicht existiert und die Simulationsstudie folglich als Planungstool vor der Umsetzung des Systems dient. Wichtig ist, dass alle Komponenten des Systems mit ihren Wechselwirkungen untereinander erfasst und berücksichtigt werden.

Der zweite Schritt ist die Abstraktion des Systems, denn das Simulationsmodell ist eine vereinfachte Nachbildung des realen Systems. Wichtig hierbei ist im Anschluss die Verifikation, ob das Modell auch tatsächlich das System korrekt abbildet.

Sobald diese Schritte abgeschlossen sind, kann mit den Experimenten gestartet werden. Im gleichen Zug werden die ermittelten formalen Ergebnisse dokumentiert. Bevor diese Ergebnisse jedoch übertragen und interpretiert werden können, muss validiert werden, ob die Experimente tatsächlich die gewünschten Sachverhalte abbilden.

Trifft dies zu, können Folgerungen für das reale System gezogen werden. Die Simulationsergebnisse und damit auch die Schlussfolgerungen für das reale System können durch eine Variation der Parameter beeinflusst werden. Nur durch verschiedene Parametereinstellungen und ausreichend viele Experimente können fundierte Schlussfolgerungen gezogen werden, um die optimale Lösung für das reale System zu finden. Mit der Entscheidung für eine bestimmte Variation können die Parametereinstellungen im realen System umgesetzt werden.

In der vorliegenden Projektarbeit endet die Simulationsstudie bei der Erstellung des Simulationsmodells. Das Ziel der Arbeit ist es nicht, Schlussfolgerungen für das reale System zu

finden, sondern festzustellen ob die gewählten Softwareprogramme für die Simulation von modularen Logistiksystemen geeignet sind.

### **3.3 Simulation und modulare Logistik**

Wie zuvor erwähnt dient die Simulation als Unterstützung für die Planung. Die modulare Logistik zeichnet sich durch ihre Wandlungsfähigkeit aus. Das heißt, die Systeme lassen sich schnell auf neue Rahmenbedingungen einstellen. Jedoch muss sichergestellt sein, dass ein verändertes System mindestens genauso effizient wie das vorherige System ist. An dieser Stelle wird die simulationsunterstützte Planung benötigt. Somit können die zuvor erwähnten Vorteile der Simulation vollständig genutzt werden. Hierfür ist es nötig, dass die Kriterien der Module (vgl. Punkt 2.1) aus dem realen System auf die Bausteine der Simulation übertragbar sind. Aus diesem Grund müssen die Bausteine mit folgenden Eigenschaften ausgestattet sein:

- Übersichtliche bausteinspezifische Parametereinstellung
- Standardisierung der Bausteine
- Möglichkeit der Gruppierung mit anderen Bausteinen
- Datenspeicherung je Baustein
- Analysetools mit optischer Aufbereitung
- Gute optische Darstellung
- Standardisierte Schnittstellen

## 4 Abzubildende Elemente und reale Systembeispiele

Unter Punkt 3.2 wurde das Vorgehen bei einer Simulationsstudie erläutert (siehe Abbildung 1). Um das reale System als Simulationsmodell darzustellen, wird ein Modellierungs- und Abstraktionsprozess durchlaufen. Diesem Prozess ist viel Aufmerksamkeit zu schenken, da Fehler in dieser Phase zu einem falschen Simulationsmodell führen können, welches das reale System nicht hinreichend genau abbildet. Dies kann zu falschen Ergebnissen, Schlussfolgerungen und daraus abgeleiteten falschen Entscheidungen führen. Im Laufe dieses Prozesses wird das reale System in unterschiedlicher Detailtreue und Abstraktionsgraden beschrieben und abgebildet.

Im Folgenden wird zunächst kurz auf die Definition und Aufgaben des Konzeptmodells eingegangen. Es werden die Elemente, die zur Abbildung modularer Logistiksysteme notwendig sind, mit ihren Eigenschaften aufgelistet. Anschließend werden zwei reale Systembeispiele vorgestellt, anhand derer in den nachfolgenden Kapiteln überprüft werden soll, ob die Simulationsprogramme AutoMod und Plant Simulation dazu geeignet sind, modulare Logistiksysteme abzubilden.

### 4.1 Definition: Konzeptmodell

Um das reale System in einem Simulationsmodell abzubilden, muss das reale System zuvor genau analysiert werden. Im Zuge dieser Analyse wird definiert, „welche Elemente des realen Systems in welcher Genauigkeit und mit welchen Mechanismen zu modellieren sind“ (Rabe, et al., 2008 S. 47). Sowohl zu detailgetreue als auch zu ungenaue Beschreibungen der realen Zusammenhänge und dem daraus entstehenden Simulationsmodell, können unerwünschte Effekte verursachen und dazu führen, dass das Simulationsmodell seinen Zweck verfehlt.

Die Ergebnisse dieser Systemanalyse werden in einem Konzeptmodell dokumentiert. In der Literatur finden sich unterschiedliche Definitionen zu dem Begriff des Konzeptmodells. Im Wesentlichen stellt das Konzeptmodell als Ergebnis der Systemanalyse einen Übergang zwischen der Aufgabenstellung und der detaillierten Beschreibung, was zu modellieren ist, dar und beschreibt damit sowohl den Umfang des Modells auch den notwendigen Detaillierungsgrad. (Rabe, et al., 2008 S. 47)

### 4.2 Abzubildende Elemente

Das Konzeptmodell kann nicht allgemeingültig für alle möglichen zu lösenden Probleme aufgestellt werden, sondern muss individuell an das real betrachtete System angepasst werden. Im Rahmen dieses Kapitels werden dennoch die wesentlichen Elemente, die zur Abbildung eines modularen Logistiksystems notwendig sind aufgeführt. Diese bilden damit eine Grund-

lage für die konkrete Ausgestaltung eines konzeptionellen Modells für ein reales modulares Logistiksystem.

Um für ein beliebiges modulares Logistiksystem alle möglichen Prozesse zu erfassen, wird im Folgenden kurz auf die Grundfunktionen der Logistik eingegangen. Daraus können im Anschluss die notwendigen Elemente zur Abbildung modularer Logistiksysteme in Simulationen abgeleitet werden.

In der Regel werden Güter, hier als Sachgüter verstanden, nicht an dem Ort und zu dem Zeitpunkt, an dem sie gebraucht werden, produziert. Daher muss ein Mengen-, Raum- und Zeitausgleich stattfinden. Hier sei auf die sogenannten „6 R der Logistik“ verwiesen, bei deren Beachtung die richtigen Güter, am richtigen Ort, in der richtigen Menge, in der richtigen Qualität, zur richtigen Zeit und zu den richtigen Kosten bereitgestellt werden. „Die Grundfunktion von Logistiksystemen ist die raumzeitliche Veränderung von Gütern“ (Pfohl, 2010 S. 7). Daraus kann auf die Kernprozesse eines Logistiksystems geschlossen werden: Transport, Umschlag und Lagerung. In der Literatur werden diese auch zusammenfassend als TUL-Prozesse bezeichnet. Beim Transport führen Bewegungen in horizontaler und vertikaler Richtung zu einer Ortsveränderung der Güter. Der Begriff des Umschlags wird in diesem Zusammenhang sehr weit gefasst und meint „sowohl das Handhaben der Güter, z. B. bei der Einlagerung von Gütern in ein Regal, das Zusammenfassen oder Auflösen von Gütern, z. B. im Zusammenhang mit Paletten, als auch das Sortieren der Güter im Rahmen der Kommissionierung“ (Pfohl, 2010 S. 8). Unter Lagerung wird die Speicherung der Güter zwecks Zeitverzögerung an einem Ort verstanden.

Da die transformierten Güter einen bestehenden Bedarf decken sollen, geht dem Güterfluss immer auch ein ihm entgegengesetzter Informationsfluss voraus, der diesen Bedarf an den Quellort der Güter übermittelt. Einige Autoren zählen daher den Informationsaustausch ebenfalls zu den Kernprozessen eines Logistiksystems (siehe z.B. (Vahrenkamp, et al., 2012)). Neben den Kernprozessen laufen in einem Logistiksystem zusätzlich sogenannte Unterstützungsprozesse ab, welche die Kernprozesse effizienter gestalten oder gar erst ermöglichen. Hierunter fällt beispielsweise das Verpacken und Signieren von Gütern. Eine Verpackung dient zum Einen dem Schutz der Güter zum Anderen aber auch dazu, mehrere Güter zu einer logistischen Einheit zusammenzufassen und damit eine bessere Handhabbarkeit zu ermöglichen. Signierung meint die Aufbringung oder Verknüpfung von Informationen mit den Gütern und dient der eindeutigen Identifizierung dieser. Die mit dem Gut verknüpften Informationen sind relevant für die Ausführung der Kernprozesse und informieren beispielsweise darüber wohin ein Gut umgeschlagen werden muss. Die Tabelle 3 fasst die Kern- und Unterstützungsprozesse in einem Logistiksystem und ihre Auswirkungen auf die Güter zusammen:



**Tabelle 3: Auswirkungen der logistischen Kern- und Unterstützungsprozesse auf das Gut (in Modifikation von (Pfohl, 2010 S. 9))**

Änderung in	Kernprozess			Unterstützungsprozess	
	Transportieren	Umschlagen	Lagern	Verpacken	Signieren
<b>Zeit</b>	X	X	X	X	X
<b>Raum</b>	X	X			
<b>Menge und Zuordnung</b>		X		X	
<b>physischen Handhabbarkeit</b>		X		X	X

X = wirkt ein

Für das Konzeptmodell können die Prozesse in zwei Kategorien eingeteilt werden:

- Prozesse, die das Gut in irgendeiner Art und Weise bearbeiten
- Prozesse, die die Position des Gutes verändern.

Der Transport eines Gutes verändert dessen Position. Die Prozesse Lagern, Verpacken und Signieren bearbeiten das Gut selbst. Beim Umschlagen können sowohl Transportprozesse als auch das Gut bearbeitende Prozesse auftreten. Wie genau das Gut bei den bearbeitenden Prozessen verändert wird, ist für die Simulation der logistischen Prozesse nicht relevant. Daher können alle Bearbeitungsprozesse durch Maschinen in der Simulation repräsentiert werden. Maschinen benötigen ein oder mehrere (verschiedene) Güter als Input, bearbeiten dann die ihnen zur Verfügung gestellten Güter und stellen anschließend ein oder mehrere (veränderte) Güter zur Weiterverarbeitung bereit. Maschinen können daher als Blackbox mit einer bestimmten Anzahl In- und Outputs und einer Bearbeitungsdauer betrachtet werden. Lagerprozesse können ebenfalls durch eine Maschine repräsentiert werden. In diesem Fall wird die Lagerzeit als Bearbeitungszeit angenommen. Da jedoch davon auszugehen ist, dass die Maschine während der „Bearbeitung“ keine Reihenfolgevertauschungen zulässt, kann auf diese Weise nur die Lagerstrategie „First In First Out“ realisiert werden. Weil die Lagerung von Gütern zudem einer der Kernprozesse darstellt, wird hierfür ein eigenes Element, ein Puffer, definiert. Innerhalb dieses Puffers können Güter gelagert, in ihrer Reihenfolge getauscht und umgeschlagen werden. Die Güter werden dabei nur in dem durch den Puffer abgegrenzten Bereich und nicht über größere Strecken transportiert. Umschlagprozesse bei denen die Güter über größere Strecken transportiert werden müssen, werden wie alle anderen Transportprozesse dargestellt.

Da die Güter sich nicht von alleine bewegen können, werden sie mit Hilfe eines Transportmittels zu einem anderem Ort gefördert (Definition Transportmittel vgl. DIN30781 Teil 1). Die Güter können sowohl per Unstetig- als auch Stetigförderer transportiert werden. Im Rahmen dieser Arbeit werden lediglich Stetigförderer betrachtet. Die Förderstrecken können dabei

modular aus mehreren Streckenelementen zusammengesetzt werden. Es werden ein gerades Element, verschiedene Kurven und eine Kreuzung benötigt.

Neben den in der Simulation unbeweglichen Modulen ist außerdem noch ein Element, welches das zu bewegendende und bearbeitende Gut repräsentiert erforderlich. Bei Abbildung eines Produktionsprozesses sind gegebenenfalls mehrere Elemente dieser Art notwendig, um die unterschiedlichen Teile darzustellen.

Tabelle 4 bis Tabelle 6 listen alle wichtigen Elemente zur Abbildung von modularen Logistiksystemen in Simulationen mit ihren Eigenschaften und Aufgaben auf.

**Tabelle 4: Abzubildende Ressourcen eines modularen Logistiksystems**

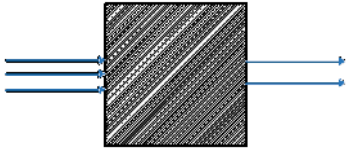
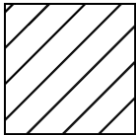
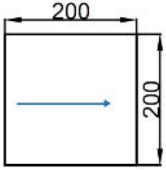
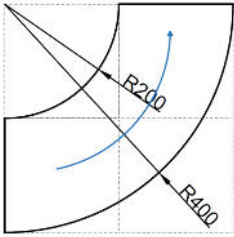
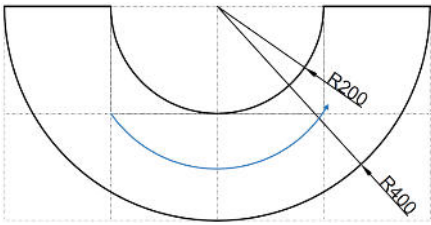
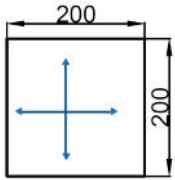

Element	Eigenschaften	Aufgaben
<p><b>Maschine</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 1 bis n Input</li> <li>• 1 bis m Output</li> <li>• Bearbeitungsdauer</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Abmaße</li> </ul>	<p>u.a.:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• umschlagen (zusammenfügen, auflösen, sortieren)</li> <li>• bearbeiten des Gutes selbst</li> <li>• verpacken</li> <li>• signieren</li> <li>• (lagern)</li> </ul>
<p><b>Puffer</b></p> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Lagerstrategie</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Abmaße</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• lagern</li> <li>• umschlagen</li> <li>• Veränderung der Reihenfolge der Güter</li> </ul>

Tabelle 5: Abzubildende Streckenelemente eines modularen Logistiksystems

Element	Eigenschaften	Aufgaben
<b>Gerades Streckenelement</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abmaße</li> <li>• definierter Startpunkt</li> <li>• definierter Endpunkt</li> <li>• Richtung</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Geschwindigkeit bei angetriebenen Förderstrecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transportieren</li> </ul>
<b>Kurve 90°</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abmaße</li> <li>• definierter Startpunkt</li> <li>• definierter Endpunkt</li> <li>• Richtung</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Geschwindigkeit bei angetriebenen Förderstrecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transportieren</li> </ul>
<b>Kurve 180°</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abmaße</li> <li>• definierter Startpunkt</li> <li>• definierter Endpunkt</li> <li>• Richtung</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Geschwindigkeit bei angetriebenen Förderstrecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transportieren</li> </ul>
<b>Kreuzung</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abmaße</li> <li>• ein oder mehrere mögliche Startpunkte</li> <li>• ein oder mehrere mögliche Endpunkte</li> <li>• 2 bis 4 Richtungen</li> <li>• Kapazität</li> <li>• Geschwindigkeit bei angetriebenen Förderstrecken</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• transportieren</li> <li>• Lenkung des Gutes in eine vorgegebene Richtung</li> </ul>

Die in Tabelle 5 angegebenen Abmaße bei den Symbolen beziehen sich auf die aktuellen Forschungen des Lehrstuhls für Förder- und Lagerwesen der Technischen Universität Dortmund, sind aber dennoch als beispielhaft anzusehen.

**Tabelle 6: Abzubildende bewegliche Elemente eines modularen Logistiksystems**

Element	Eigenschaften	Aufgaben
<b>Sachgut</b> 	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abmaße</li> <li>• passiv (keine eigenständige Fortbewegung)</li> <li>• Informationsträger (z.B. Barcode)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Repräsentation des Gutes</li> </ul>

Die Güter befinden sich in realen Systemen in der Regel auf einem Ladungsträger wie beispielsweise einer Palette oder einer Kiste. Da diese sich im Allgemeinen aber nicht aktiv bewegen, können Ladungsträger und Gut in der Simulation als eine Einheit ohne Differenzierung aufgefasst werden.

#### 4.3 Systembeispiel 1: Fertigung von Leiterplatten

Leiterplatten finden als elektronische Bauteile in verschiedensten Ausführungen und in nahezu allen Branchen Anwendung. Die Fertigung einer solchen Leiterplatte soll als Beispiel einer Produktion herangezogen werden.

Im ersten Schritt wird das Metallblech für die Leiterplatte gereinigt und sowohl chemisch als auch mechanisch aufgeraut. Danach wird eine lichtempfindliche Folie auf das Blech laminiert. Anschließend wird die vom Kunden gewünschte Teilekontur auf das beschichtete Blech übertragen, indem das Blech durch eine Filmmaske mit UV-Licht belichtet wird. An den nicht belichteten Stellen wird die Folie wieder angelöst und vom Blech entfernt. Während die Konturen der Leiterplatte auch weiterhin durch die Folie geschützt sind, liegen die überflüssigen Blechbereiche nun frei. Beim Ätzvorgang werden diese freiliegenden Metallbereiche aufgelöst. Im nächsten Schritt wird die restliche Folie entfernt und die Bleche werden gespült. Anschließend werden die fertigen Teile unterschiedlichen Qualitätskontrollen unterzogen. (Ätztechnik Herz GmbH & Co. KG, 2016 S. 8 - 11)

In Abbildung 2 sind die Fertigungsschritte in einer Prozesskette dargestellt.

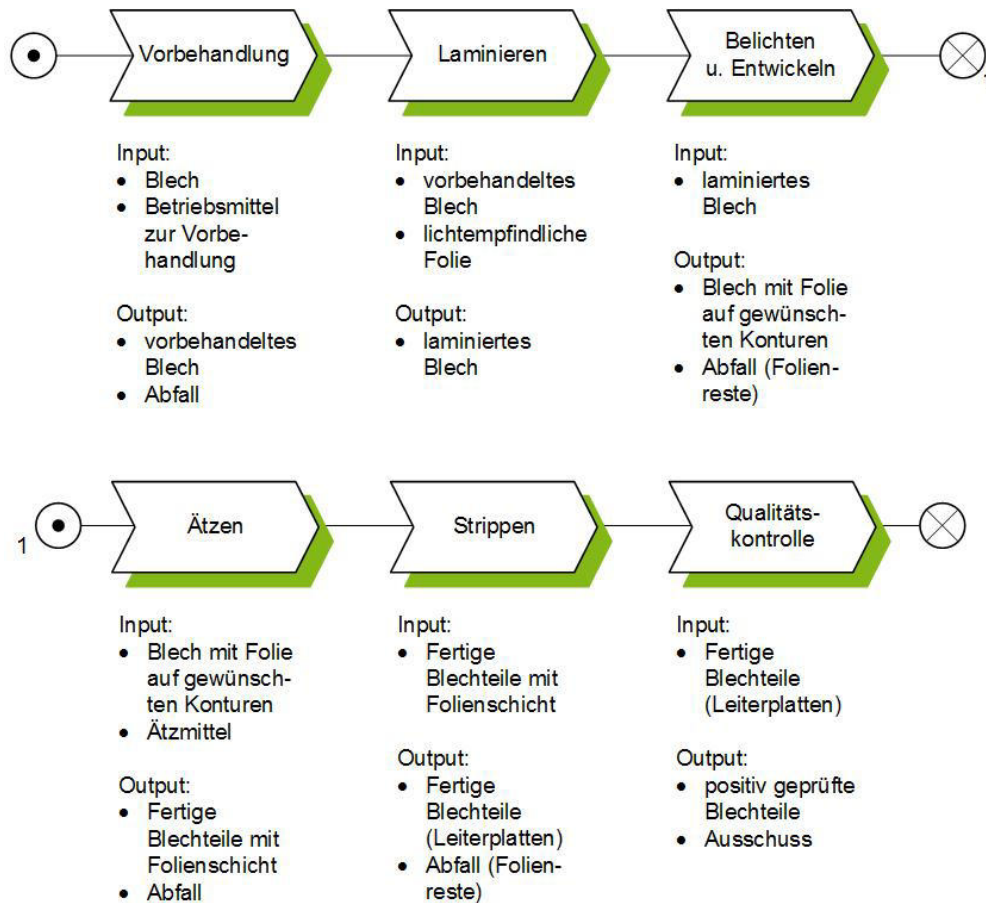


Abbildung 2: Fertigung der Leiterplatte

Für die Simulation dieses Prozesses wird angenommen, dass in diesem Prozess nur ein sich veränderndes Gut weitergegeben wird. Die lichtempfindliche Folie und die benötigten Chemikalien werden als Betriebsmittel angesehen, die für jede Schicht in ausreichender Menge an den jeweiligen Maschinen vorhanden sind. Ebenfalls wird die Annahme getroffen, dass Abfallprodukte an der jeweiligen Maschine gesammelt werden und an den Schichtenden fachgerecht entsorgt werden. Simuliert werden sollen alle Vorgänge von der Vorbehandlung bis zum Strippen.

Abbildung 3 zeigt die Anordnung der Linie mit den dazwischenliegenden Förderstrecken zum Transport der Güter.

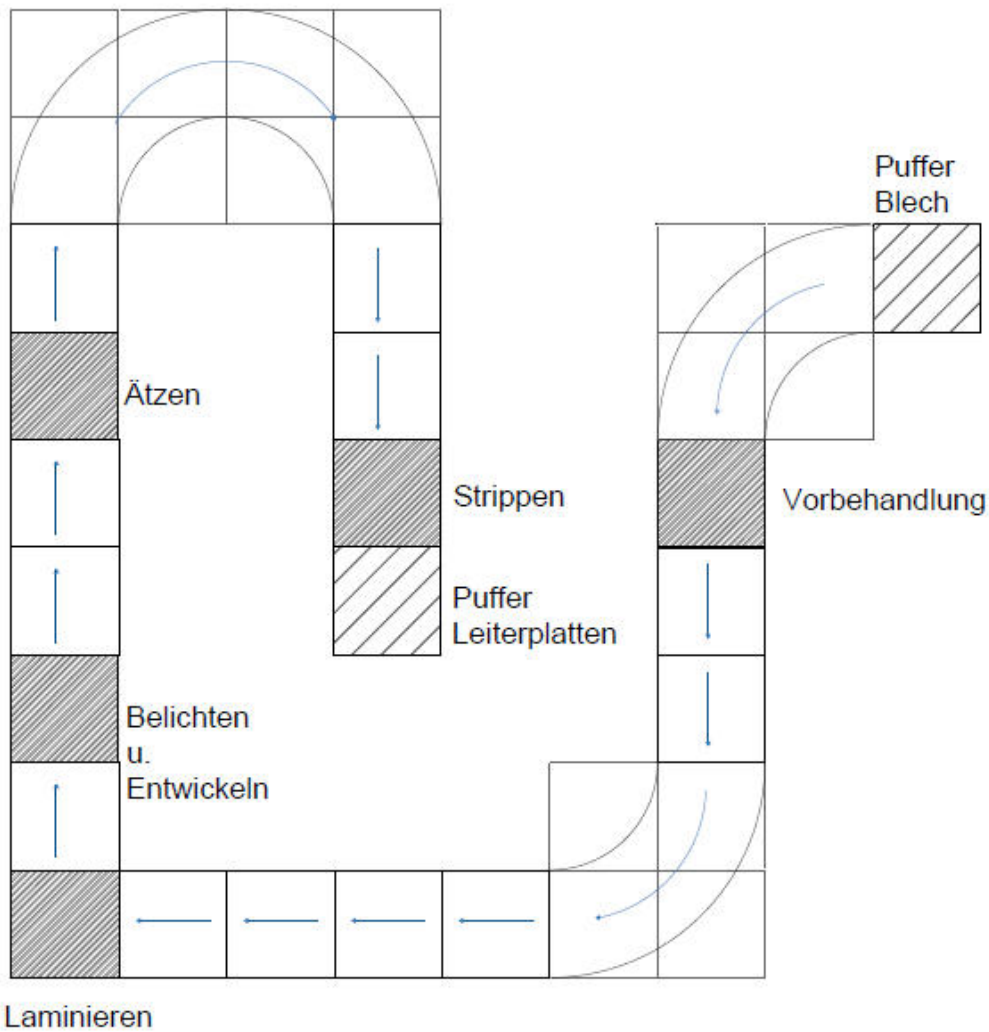


Abbildung 3: Linienanordnung Leiterplatte

Tabelle 7 listet die Zeiten auf, die für die Simulation dieses Beispiels angenommen werden. Die Bearbeitungszeiten der Maschinen werden als konstant angenommen, da es sich um vollautomatisierte Prozesse handelt. Es entstehen daher keine Schwankungen in der Bearbeitungszeit. Die Geschwindigkeit des Förderers wird mit  $1^m/s$  angenommen. Die Güter treten mit einer Zwischenankunftszeit von 600s in das System ein.

Tabelle 7: Zeiten und Geschwindigkeiten für die Leiterplatte

Prozessschritt	benötigte Zeit in s	Verteilung
Vorbehandlung	588	konstant
Laminieren	192	konstant
Belichten u. Entwickeln	300	konstant
Ätzen	900	konstant
Strippen	246	konstant

#### 4.4 Systembeispiel 2: Fertigung und Montage eines Laufrads

Um später zeigen zu können, dass die Bausteine, die in der Simulation zur Modellierung des Systems genutzt werden, ebenso auf andere Systeme übertragbar sind, wird als zweites Beispiel die Fertigung und Montage eines Laufrads herangezogen.

Betrachtet wird die Herstellung eines Laufrads der Firma Wishbone Design Studio Ltd. (siehe Abbildung 4). Das Laufrad besteht zu einem Großteil aus Holz und erfordert damit völlig andere Fertigungsverfahren als die Leiterplatten aus dem Beispiel zuvor.



Abbildung 4: Laufrad der Firma wishbone™ (Wishbone Design Studio Ltd.)

An einer ersten Arbeitsstation werden alle Holzteile, die für die Produktion des Laufrads benötigt werden, gefertigt. Die Holzteile werden zugeschnitten, entgratet und die später benötigten Bohrlöcher werden entsprechend vorgebohrt. Parallel werden an einer anderen Arbeitsstation die Gummireifen auf die Metallfelgen aufgezogen. In einer dritten Arbeitsstation wird das komplette Laufrad montiert und von dort aus weiter zur Qualitätskontrolle transportiert.

Bei der Simulation dieser Fertigung und Montage werden zunächst zwei unterschiedliche Güter benötigt. Die erste Maschine erhält Holz als Rohmaterial und stellt nach der Bearbeitung alle für das Laufrad benötigten Holzteile zur Verfügung. Eine zweite Maschine erhält als Input zwei andere Arten von Sachgütern, die Gummireifen und die Metallfelgen, die in dieser Maschine zu einem neuen Produkt, den Reifen zusammengefügt werden. Bei der Montage des Laufrads werden die zwei unterschiedlichen Güter, die Holzteile und die Reifen mit den anderen benötigten Teilen montiert, also zusammengefügt. Es wird angenommen, dass alle benötigten Teile wie Lenker, Sitzpolster, Achsen, Schrauben und Muttern in ausreichender Menge an der Montagestation für eine Schicht bereitgestellt sind. Gegebenenfalls anfallende Abfallprodukte werden an den jeweiligen Stationen gesammelt und zu Schichtende entsprechend entsorgt. Die Qualitätskontrolle ist nicht Bestandteil der Simulation.

Abbildung 5 veranschaulicht die Vorgänge in einer Prozesskette.

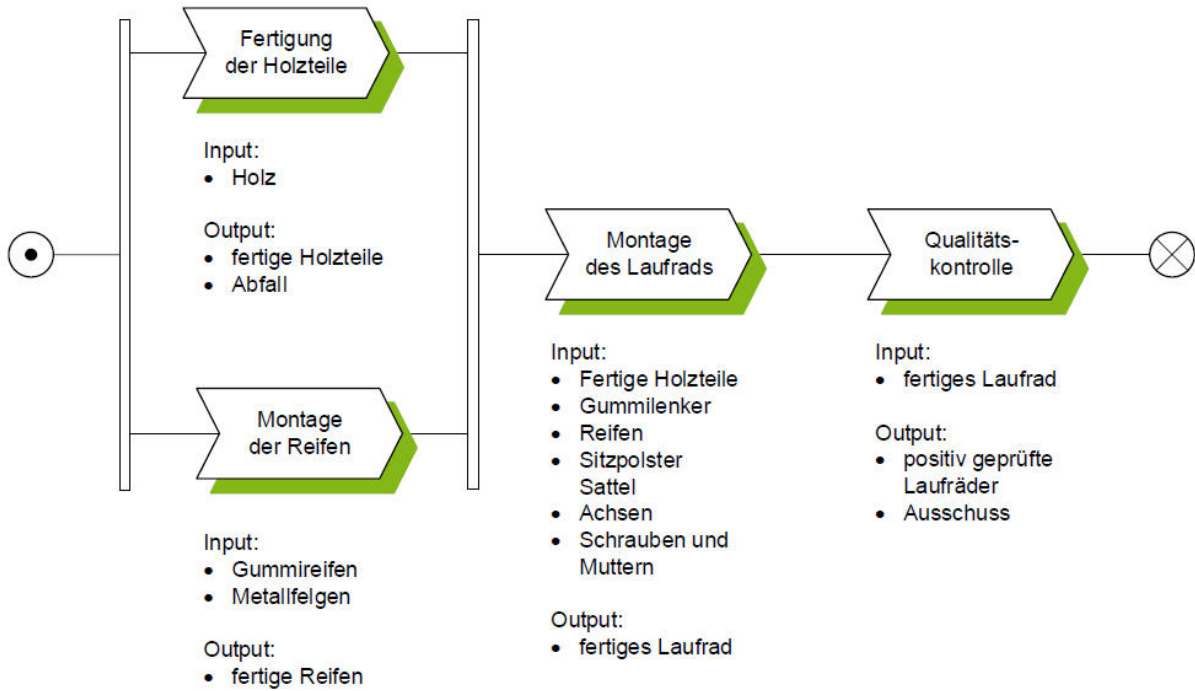


Abbildung 5: Fertigung und Montage des Laufrads

Abbildung 6 ist die für diese Arbeit festgelegte Anordnung der Montagelinie zu entnehmen.

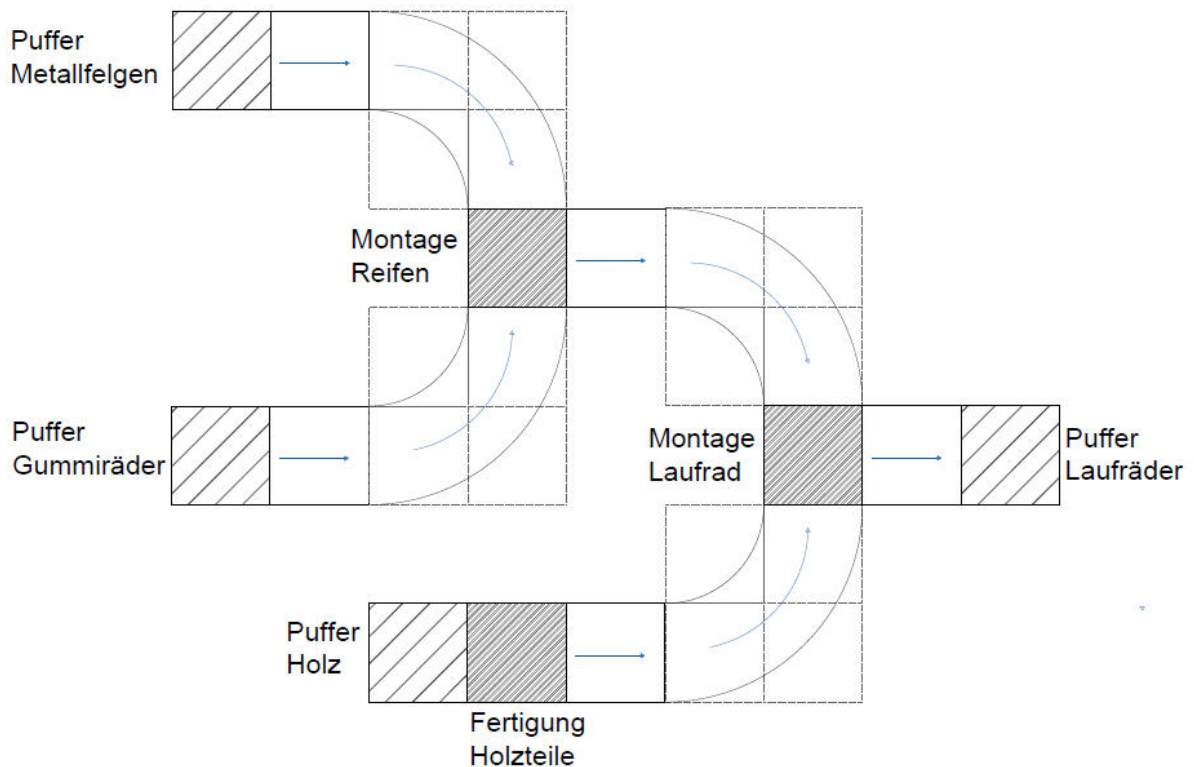


Abbildung 6: Linienanordnung Laufrad

Tabelle 8 listet die Zeiten auf, die für die Simulation dieses Beispiels angenommen werden. Die Fertigung der Holzteile erfolgt automatisiert, weshalb die Bearbeitungszeit als konstant



angenommen wird. Die Montage der Reifen und des Laufrads wird durch einen Mitarbeiter an einer Montagestation durchgeführt und kann daher Schwankungen unterliegen. Es wird angenommen, dass diese Schwankungen einer Normalverteilung unterliegen.

**Tabelle 8: Zeiten und Geschwindigkeiten für die Leiterplatte**

Prozessschritt	benötigte Zeit in s	Verteilung	$\mu$ in s	$\sigma$ in s	untere Schranke in s	obere Schranke in s
Fertigung der Holzteile	180	konstant	-	-	-	-
Montage der Reifen (1 Reifen)	-	Normalverteilung	72	30	30	110
Montage des Laufrads	-	Normalverteilung	375	60	290	420

Die Geschwindigkeit des Förderers wird mit  $1 \text{ m/s}$  angenommen. Die Holzteile treten mit einem Abstand von 180 s ein und die Gummireifen sowie die Metallfelgen mit einem Abstand von 120 s.

## 5 Simulationsmodelle

In diesem Kapitel werden die beiden Simulationsprogramme AutoMod und Plant Simulation im Einzelnen beschrieben. Es wird je Programm auf die Systembeispiele aus Punkt 4.3 und Punkt 4.4 eingegangen und abschließend wird die Anwendbarkeit der Programme in Bezug auf modulare Logistiksysteme geprüft.

### 5.1 AutoMod

Hersteller der Simulationssoftware AutoMod ist die Firma Applied Materials aus den USA. In Deutschland wird die Software durch das Unternehmen SimPlan AG vertrieben (SimPlan AG, 2016). Mit AutoMod können ereignisdiskrete Modelle erstellt werden und es wird zur Darstellung und Untersuchung von Materialflüssen in Produktion und Logistik eingesetzt. Ob die Software daher auch für Modellierung modularer Logistiksysteme in Frage kommt, soll in diesem Kapitel erörtert werden.

#### 5.1.1 Allgemeines zum Programm/Vorgehen

Das Simulationsprogramm AutoMod ist modular aufgebaut und setzt sich aus verschiedenen Systemen zusammen. Zunächst wird zwischen der Entwicklungs- und der Simulationsumgebung unterschieden. In der Entwicklungsumgebung wird das Modell erstellt und alle darin ablaufenden Vorgänge definiert. Die Objekte, also unter anderem Maschinen, Sachgüter und Puffer, die dabei erstellt werden, werden als *entities* bezeichnet. Zwischen diesen werden Beziehungen hergestellt, sodass anschließend das Modell in der Simulationsumgebung betrachtet und analysiert werden kann.

Das Modell selbst wiederum setzt sich aus verschiedenen Systemen zusammen. Hier werden drei Arten von Systemen unterschieden:

- *process system*
- *movement system*
- *static system*

Im *process system* wird die Modelllogik hinterlegt. Bei Erstellung eines neuen Modells wird das *process system* automatisch unter gleichem Namen generiert. Optional kann das Modell durch ein oder mehrere verschiedene *movement systems* erweitert werden. Diese Bewegungssysteme transportieren *loads* (die im Modell generierten Güter) im Modell von einem Ort zum nächsten. Beispiele für diese Bewegungssysteme sind *conveyor* und *path mover*. Mit dem *conveyor* System können Förderstrecken simuliert werden. Mit dem *path mover* System hingegen können beispielsweise fahrerlose Transportsysteme, Stapler oder LKWs dargestellt werden. Die *static systems* dienen der Darstellung von unbeweglichen, starren Strukturen wie beispielsweise Wänden. (Brooks Automation, Inc., 2003)

Um ein Modell zu entwickeln, wird im Allgemeinen folgendes Vorgehen empfohlen (Applied Materials, 2015 S. 1.5):

1. Erstellung und Benennung des Modells
2. Zeichnung der *movement systems*
3. Definition der *loads, resources* und *queues*
4. Definition und Programmierung der Prozesse für das Modell
5. Erstellung von Anweisungen und Listen für die Fahrzeuge in den *movement systems*
6. Kompilierung des Modells und starten der Simulation
7. Validierung und Analyse des Modells

Im Folgenden wird das oben aufgelistete Vorgehen und die im Modell verwendeten Elemente genauer betrachtet.

Bei Öffnen der Software wird das Modell, das erstellt werden soll zunächst benannt (*file* → *new*). Daraufhin erscheint neben dem Fenster mit der Arbeitsfläche die Prozesssystempalette. Man befindet sich also im *process system*. Im nächsten Schritt werden die für das Modell benötigten *movement systems* gezeichnet. Dazu muss vom *process system* in ein neu zu erstellendes *movement system* (z. B. *conveyor*) gewechselt werden (*System* → *new*). Das neue System wird benannt und statt der Prozesssystempalette erscheint die Systempalette des ausgewählten *movement systems* in dem man sich nun befindet. Ein Wechsel zwischen den verschiedenen Systemen erfolgt immer über die Menüleiste am oberen Rand der Arbeitsfläche.

Zur Erstellung der *loads, resources* und *queues* muss zurück in das *process system* gewechselt werden. *Loads* stellen Güter, *resources* stellen Maschinen und *queues* stellen Warteschlangen dar. Genauer wird darauf unter Punkt 5.1.2 eingegangen. Erstellt und definiert werden diese über die Prozesspalette. Im nächsten Schritt werden die Prozesse für das Modell definiert. Prozesse steuern den Ablauf des Modells, aber werden im Modell weder graphisch dargestellt noch haben sie eine physikalische Entsprechung in der Realität. *Loads* die erzeugt werden, müssen zwingend einem Prozess zugeordnet werden. Von dort werden sie gesteuert und abhängig von der Programmierung gegebenenfalls an einen anderen Prozess übergeben oder wieder aus der Simulation entfernt, indem sie zerstört werden. Prozesse werden über die Prozesspalette zunächst definiert. Desweiteren muss über die Prozesspalette ein *source file* erstellt werden, der die Modelllogik enthält. In dem *source file* wird der Programmcode für die einzelnen Prozesse hinterlegt.

Beinhaltet das Modell ein *movement system* wie den *path mover* müssen im nächsten Schritt im *process system* über die Prozesspalette noch verschiedene Listen erstellt werden (z. B. *working list*). Hierüber wird beispielsweise festgelegt, wo die Fahrzeuge auf neue Aufträge warten, wenn sie sich gerade nicht bewegen. Für die unter Punkt 4.3 und 4.4 beschriebenen

Produktionsprozesse ist dieses System aber nicht relevant und wird daher nicht näher beschrieben. Anschließend wird das Modell kompiliert und die Simulation über die Menüleiste im Fenster der Arbeitsfläche gestartet.

AutoMod generiert automatisch Standardberichte auf deren Grundlage die Simulationsläufe analysiert werden können. Die Berichte enthalten Statistiken zu den verschiedenen *entities* wie den Prozessen, Warteschlangen, Ressourcen und Bewegungssystemen. Die Statistiken können über die Menüleiste im Arbeitsbereich aufgerufen werden. Ebenso können hier auch benutzerdefinierte Statistikkategorien und Berichte definiert werden, Einstellungen zu den Simulationsläufen, wie beispielsweise die Laufzeit, getätigt werden oder statistische Daten als Grafiken betrachtet werden. (Applied Materials, 2015 S. 1.4)

### 5.1.2 **Auflistung der Elemente für die Modelle**

Unter Punkt 4.2 wurden die Elemente, die zur Abbildung modularer Logistiksysteme notwendig sind aufgelistet. Hier soll nun erörtert werden, ob und wie diese Elemente in AutoMod dargestellt und übertragen werden können.

#### **Sachgut**

Sachgüter können in AutoMod als *load* dargestellt werden. *Loads* sind bewegliche Objekte (*entities*), die durch die Prozesse des Modells gesteuert werden. Sie werden über die Prozesspalette definiert. Durch klicken auf *Loads* in der Prozesspalette öffnet sich ein neues Fenster über das auch Attribute für die *Loads* definiert werden können. Bei Definition eines neuen *load types* können unter anderem die Abmaße (und die farbliche Darstellung) im Menü entsprechend den Vorstellungen des Benutzers angepasst werden. Die Attribute, die definiert werden können, entsprechen den Informationen die mit einem Gut verheiratet sind, wie beispielsweise dem Barcode. So können die Güter entsprechend durch das System geleitet werden. Auf die Attribute kann bei Programmierung der Prozesse zurückgegriffen werden.

Es können beliebig viele verschiedene *load types* definiert werden um unterschiedliche Sachgüter darzustellen. Die *loads* müssen zwingend einem Anfangsprozess zugeordnet werden. Bei Start der Simulation treten die *loads* dann aus dem *Space/Nichts* in das Modell ein, woraufhin der Anfangsprozess die Steuerung übernimmt. Die Prozesse steuern die *loads* dann über Befehle wie *send to* (Übergabe der *loads* an einen anderen Prozess) oder *travel to* (Bewegung der *loads* innerhalb eines *movement systems*) und werden am Ende wieder zerstört über den Befehl *send to die*.

#### **Puffer**

Zur Darstellung von Puffern können in AutoMod *queues* (Warteschlangen) genutzt werden. *Queues* repräsentieren Platz, der zum Warten also Lagern/Puffern von Sachgütern (und

Fahrzeugen) geeignet ist. *Queues* werden ähnlich wie *loads* über die Prozesspalette definiert. Bei Definition einer neuen *queue* wird die Kapazität über das Menü entsprechend festgelegt.

### **Förderstrecke**

Im Rahmen dieser Projektarbeit sind zum Transport der Güter lediglich Stetigförderer relevant. Zur Darstellung dieser im Simulationsmodell ist das *movement system conveyor* geeignet. Wie unter Punkt 5.1.1 beschrieben, wird dem Modell dazu ein neues Subsystem hinzugefügt und eine Palette zur Gestaltung des Systems öffnet sich (siehe Abbildung 7). Mit *Single Line* können gerade Streckenabschnitte dargestellt werden. Die Streckenabschnitte werden zunächst benannt und können dann mit der Maus auf der Arbeitsfläche eingezeichnet werden. Wenn eine gerade Strecke von beispielsweise 800 mm dargestellt werden soll, spielt es für die Simulation keine Rolle, ob ein einziges Streckenelement mit einer Länge von 800 mm benutzt wird oder ob die Strecke aus mehreren kleinteiligen Abschnitten zusammengesetzt wird. Letzteres bedeutet lediglich mehr Aufwand in der Programmierung. Um zu verdeutlichen, dass sich der Stetigförderer aus einzelnen Modulen zusammensetzt, wird die zweite Variante gewählt und es werden ausschließlich Streckenabschnitte gezeichnet, die den Maßen unter Punkt 4.2 entsprechen. Im Allgemeinen können die Maße jedoch den Vorstellungen des Benutzers angepasst werden. Kurvenabschnitte können unter anderem entweder durch Nutzung der Funktion *Single Arc* erstellt werden oder indem die *Fillet* Funktion genutzt wird, die Bereiche zwischen bereits vorhandenen Streckenabschnitten auffüllt und verbindet. Letzteres hat sich bei Modellierung der Systembeispiele als die einfacher zu handhabende Variante erwiesen. Bei Auswahl eines bestimmten Streckenabschnitts können über das Menü verschiedenste Einstellungen wie unter anderem die Geschwindigkeit getätigt werden.

Anfang und Ende jedes Streckenabschnitts wird jeweils mit Hilfe einer sogenannten *Station* gekennzeichnet, die auch einzeln benannt werden. Zwischen diesen Punkten werden die *loads* durch die Befehle in den Prozessen entsprechend bewegt.

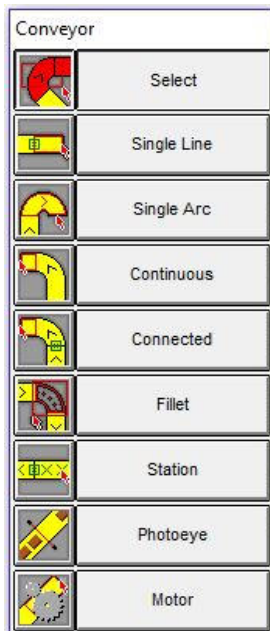


Abbildung 7 Prozesspalette für Stetigförderer

## Maschinen

In AutoMod stellen *resources* Maschinen, Arbeiter und andere Werkzeuge, die die Sachgüter (oder Fahrzeuge) in irgendeiner Weise bearbeiten dar. *Resources* werden im *process system* über die Prozesspalette definiert. Über das Menü können verschiedene Parameter unter anderem die Kapazität festgelegt werden. *Resources* werden durch *loads* mit einer entsprechenden Prozessdauer (konstant oder stochastisch) genutzt und anschließend wieder freigegeben. Einzelne *loads* können dabei mehrere Kapazitäten in Anspruch nehmen.

Zu jeder Maschine gehört in AutoMod ein Puffer. Wenn ein Puffer mit einer Maschine im Simulationsmodell dargestellt werden soll, wird diese Gegebenheit in AutoMod mit zwei Puffern und einer Maschine dargestellt. Der erste Puffer repräsentiert den real vorhandenen Puffer und der zweite Puffer gehört zu der Maschine.

Häufig werden bei Produktionsprozessen mehrere verschiedene Inputs zu einem oder mehreren Outputs verarbeitet. Oder eine Maschine zerlegt ein Gut in mehrere Teile. Die Darstellung dieser Vorgänge in AutoMod ist auf den ersten Blick nicht offensichtlich.

Im Folgenden wird für beide Varianten eine Möglichkeit diese Vorgänge darzustellen vorgestellt.

Neben den Befehlen für *loads* eine Maschine zu benutzen oder sich auf einer Förderstrecke zu bewegen gibt es einen *create* Befehl. Mit Hilfe dieses Befehls kann die Produktion mehrerer Outputs dargestellt werden. In einem einfachen Beispiel wird für die Bearbeitung eine Art von Input benötigt, um zwei Outputs zu produzieren, wie es beispielsweise bei einer Demontage der Fall ist. Das Gut (*load*) bewegt sich in die Maschine und belegt diese. Beim Verlassen der Maschine wird der aktuelle *load* zerstört (*send to die*) und gleichzeitig zwei neue

*loads* erzeugt. Die Syntax für diesen Befehl sieht dabei wie folgt aus (Applied Materials, 2015):

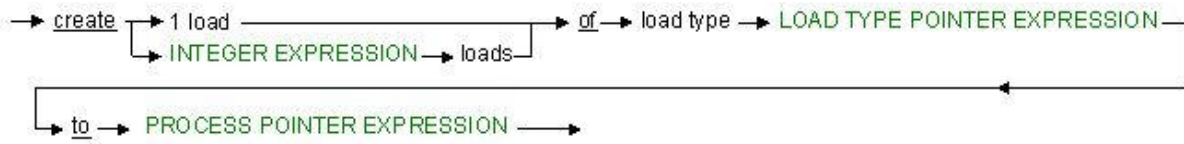


Abbildung 8: Syntax des *create* Befehls in AutoMod

In dem kleinen Beispiel sähen die Befehle wie folgt aus:

```

begin P_Demontage arriving procedure
  use R_Maschine for 5 sec
  create 1 load of output_1 to P>Weiterverarbeitung_1
  create 1 load of output_2 to P>Weiterverarbeitung_2
  send to die
end

begin P>Weiterverarbeitung_1 arriving procedure
  move into Q_Puffer_1
  /* an dieser Stelle folgen weitere Befehle abhängig von der
  Weiterverarbeitung */
end

begin P>Weiterverarbeitung_2 arriving procedure
  move into Q_Puffer_2
  /* an dieser Stelle folgen weitere Befehle abhängig von der
  Weiterverarbeitung */
end

```

Grün markierte Worte stellen dabei beispielhafte Prozessnamen dar. Die Güter vom Typ *output\_1*, *output\_2* sowie die Prozesse und Puffer müssen vorher entsprechend über die Prozesspalette definiert werden. Mit Hilfe des *create* Befehls wird ein neuer *load* erstellt, welcher dann die aktuelle Simulationszeit als Erstellungszeitpunkt in den Attributen speichert. Dieses Detail ist bei der Auswertung der Statistiken zu beachten, da so die gesamte Durchlaufzeit nicht mehr direkt über die Attribute der *loads* zu ermitteln ist.

Zur Darstellung eines Montageprozesses kann ähnlich vorgegangen werden. Die benötigten Inputs werden in jeweils einem eigenen Puffer gelagert, bis alle für den Montageprozess benötigten Inputs bereitstehen. Diese Bedingung kann mit Hilfe einer If-Anweisung geprüft werden. Nun gibt es folgende Möglichkeiten:

- Alle Inputs werden im Montageprozess zerstört (*send to die*) und ein neuer *load*, der das montierte Gut repräsentiert, wird mit Hilfe des *create* Befehls erzeugt.
- Ein Input, von dem nur eine Mengeneinheit benötigt wird, wird durch den Montageprozess geführt und repräsentiert im weiteren Verlauf das zusammenmontierte Gut. Alle anderen Inputs werden im Montageprozess zerstört (*send to die*).

### 5.1.3 Simulation

In diesem Kapitel wird die Umsetzung der unter Punkt 4.3 und 4.4 vorgestellten Systembeispiele aufgezeigt.

#### 5.1.3.1 Systembeispiel 1

Die Leiterplatten werden in fünf Arbeitsschritten maschinell gefertigt. Die Maschinen sind zum Transport der Zwischenprodukte über Stetigfördertechnik verbunden. Diese kann in AutoMod als *conveyor* dargestellt werden und wird in diesem Beispiel zuerst gezeichnet. Dazu wird ein neues Subsystem (*conveyor*) über die Menüleiste der Arbeitsfläche erstellt. Über die die Palette des *conveyor systems* werden zunächst die geraden Förderstreckenteile gezeichnet. Die Kurvenstücke werden über die *fillet* Funktion optimal eingepasst. Bevor ein Förderabschnitt in der Arbeitsfläche eingezeichnet wird, wird er über das sich öffnende Fenster benannt und es können über die Schaltfläche Attribute verschiedene Einstellungen getätigt werden. Die Geschwindigkeit des Stetigförderers wird auf  $1 \text{ m/s}$  gesetzt und die Breite des Förderers wird eingestellt. Diese Einstellungen werden für alle folgenden Elemente von AutoMod automatisch übernommen und könnten bei Bedarf manuell angepasst werden. Für jeden Förderabschnitt werden Start und Ende durch einfügen von Stationen festgelegt.

Anschließend wird wieder zurück in das Prozesssystem gewechselt und über die Prozesssystempalette werden als nächstes die Puffer definiert und grafisch eingezeichnet. Die Kapazität der Puffer am Anfang und am Ende wird hier auf *infinite* gesetzt, damit die Puffer für alle produzierten Güter genug Kapazität bieten. Dieser Wert kann den tatsächlichen Gegebenheiten entsprechend angepasst werden und hat hier keine Auswirkung, da keine Auswertungen vorgenommen werden. Wie unter Punkt 5.1.2 beschrieben wird für jede Maschine ein Puffer benötigt. Die Kapazität dieser Puffer ist auf die Kapazität der Maschine zu setzen, in diesem Beispiel auf eins, da jeweils nur eine Leiterplatte in der Maschine bearbeitet wird.

Im nächsten Schritt werden die Maschinen über die Schaltfläche *resources* definiert und entsprechend über die Schaltfläche *Edit Grafik* eingezeichnet. Bei der Benennung der Maschinen ist darauf zu achten, dass der Name mit R\_ beginnt. Bei Puffern beginnen die Bezeichnungen entsprechend mit Q\_, bei Prozessen mit P\_ und bei *loads* entsprechend mit L\_. Dies dient der Übersicht und wird von einigen AutoMod Versionen auch nicht anderes anerkannt.

Im nächsten Schritt werden die Prozesse definiert. Für dieses Beispiel wird nur ein Prozess (*P\_Fertigung*) definiert, da es für die Simulation keinen Unterschied macht, ob die Vorgänge in einen oder mehrere Prozesse aufgeteilt werden. Anschließend wird ein *Load Typ* erstellt, der die Leiterplatten repräsentiert. Der Prozess *P\_Fertigung* wird diesem *Load Typ* im Definitionsfenster als ersten Prozess zugeordnet. Falls gewünscht kann in diesem Fenster die Zahl der *loads*, die generiert werden soll, festgelegt werden. Andernfalls wird diese als unendlich angegeben.



Tabelle 9 gibt eine Übersicht über die für dieses Beispiel definierten *entities*:

**Tabelle 9: Definierte *entities* für Systembeispiel 1**

Prozesse	P_Fertigung
<i>Loads</i>	L_Leiterplatte
Maschinen/ <i>resources</i>	R_Vorbehandlung R_Laminieren R_Belichten R_Aetzen R_Strippen
Puffer/ <i>queues</i>	Q_Puffer_Blech Q_Vorbehandlung Q_Laminieren Q_Belichten Q_Aetzen Q_Strippen Q_Puffer_Leiterplatten

Über die Schaltfläche *Source File* wird eine neue Datei angelegt, in der der Quellcode für den Prozess hinterlegt wird. Der Quellcode für dieses Beispiel ist in Anhang A zu finden.

### 5.1.3.2 Systembeispiel 2

Der Herstellungsprozess des Laufrads besteht neben einer Arbeitsstation zur Fertigung der Holzteile aus zwei aufeinander folgenden Montageprozessen, also Maschinen mit jeweils zwei Inputs und einem Output. Zunächst werden die Förderstrecken in einem neu angelegten Subsystem *conveyor* eingezeichnet. Anschließend wird die Maschine, bestehend aus Ressource und einem dazugehörigen Puffer, zur Fertigung der Holzteile definiert und eingezeichnet. Für die anderen beiden Montagestationen wird nach der unter Punkt 5.1.2 beschriebenen Vorgehensweise vorgegangen. Es werden also jeweils ein Puffer für beide Inputs und ein weiterer Puffer, der der Maschine zugeordnet ist, benötigt. Daraus ergeben sich insgesamt folgende Definitionen:

**Tabelle 10: Definierte *entities* für Systembeispiel 2**

Prozesse	P_Metall_WE P_Gummi_WE P_Montage_Reifen P>Weiterverarbeitung_Reifen P_Holz_WE P_Montage_Laufrad P>Weiterverarbeitung_Laufrad
Loads	L_Holz L_Gummi L_Metallfelge L_Reifen L_Laufrad
Maschinen/ <i>resources</i>	R_Montage_Reifen R_Holzteile R_Montage_Laufrad
Puffer/ <i>queues</i>	Q_Puffer_Metall Q_Puffer_Gummi Q_Puffer_Holz Q_Puffer_Laufrad Q_Maschine_Holz Q_Maschine_Reifen Q_Maschine_Laufrad Q_Metall_vor_Reifen Q_Gummi_vor_Reifen Q_Reifen_vor_Laufrd Q_Holz_vor_Laufrad
Variablen	V_zaeher_Metallfelgen V_zaeher_Reifen

Der Quellcode für dieses Beispiel ist in Anhang B nachzulesen.

#### **5.1.4 Anwendbarkeit des Programms**

Im Folgenden wird auf die Eignung von AutoMod zur Simulation modularer Logistiksysteme anhand der unter Punkt 3.3 aufgelisteten Eigenschaften eingegangen.

### Übersichtliche bausteinbezogen Parametereinstellung

In AutoMod werden Modelle aus unterschiedlichen Systemen zusammengesetzt. Für das Prozesssystem und jedes Subsystem bietet das Programm jeweils eine Palette mit allen verfügbaren Elementen an. Über diese Palette sowie bei Erstellung oder Auswahl des Bausteins kann ein Fenster für den jeweiligen Baustein geöffnet werden, in dem sämtliche Einstellungen zu diesem Baustein getätigt werden können. Diese Eigenschaft ist somit gegeben.

### Standardisierung der Bausteine

Es können über das Menü der Arbeitsfläche eigene Standards zur Voreinstellung der Parameter der Bausteine definiert werden. Bei Erstellung eines neuen Bausteins kann dann auf diesen Standard zurückgegriffen werden. Damit ist diese Eigenschaft auch erfüllt.

### Gruppierung mit anderen Bausteinen

AutoMod bietet die Möglichkeit, bereits erstellte Modelle als Submodelle in das aktuell zu entwickelnde Modell zu integrieren. Dieses Submodell wird dann ebenso wie die anderen Subsysteme (z.B. *conveyor*) ein Kind des aktuellen Modells im Sinne der Vererbung. Dabei sind auch mehrere Hierarchiestufen möglich. AutoMod erfüllt daher diese Forderung. (Applied Materials, 2015 S. 2.65 ff)

### Datenspeicherung je Baustein

Sowohl in der Entwicklungsumgebung als auch aus der Simulationsumgebung kann auf das Menü für sogenannte *Business Graphs* zugegriffen werden. Es können unter anderem zu jedem Baustein benutzerdefinierte Statistiken erstellt werden, die in Form eines Grafen dargestellt werden. AutoMod erfüllt daher diese Forderung. (Applied Materials, 2015 S. 5.1 ff)

### Analysetools mit optischer Aufbereitung

Wie bereits oben beschrieben können in AutoMod individuelle Statistiken erstellt werden (*Business Graphs*). Diese können dann in Form einer Zeitleiste, eines Balkendiagramms, eines Kreisdiagramms oder in Form einer sogenannten *Data Watch* (dynamische Liste mit Informationen) aufbereitet werden. Eine weitere Alternative ist die externe Speicherung der Statistiken als *file*, um diese dann in andere Programme zu importieren. Diese Anforderung wird durch AutoMod daher vollständig erfüllt. (Applied Materials, 2015 S. 5.1 ff)

### Gute optische Darstellung

AutoMod bietet eine grafische Oberfläche, über die das Modell gezeichnet und alle Parameter über Menüs eingestellt werden können. Das Verhalten zwischen den vorher definierten

Objekten muss jedoch durch den Benutzer selbst programmiert werden. Desweiteren ist die Erstellung eines Modells in AutoMod eher weniger intuitiv und erfordert gewisse Vorkenntnisse des Benutzers. Beim Zeichnen der Objekte wie beispielsweise eines Stetigförderers erweist sich die Software als unhandlich. Alle Objekte werden in Form von Rechtecken und Quadraten dargestellt, bei denen die Maße und die Farbe durch den Benutzer gewählt werden kann. Die Linien werden jedoch sehr dünn dargestellt. Desweiteren werden die Linien der gerade inaktiven Subsysteme deutlich schwächer dargestellt. Dies führt zu einer sehr abstrakten und teilweise schlecht erkennbaren Darstellung des Modells. Verbesserungen in dieser Hinsicht könnten beispielsweise durch den Import von Grafiken über die Schnittstellen von AutoMod erzielt werden. Dies wurde im Rahmen der Projektarbeit jedoch nicht getestet.

### Standardisierte Schnittstellen

„AutoMod verfügt über zahlreiche Schnittstellen um vor bzw. während der Simulationsläufe Daten auszutauschen. Darunter sind z. B.

- Dateischnittstelle (eignet sich z. B. für die Übergabe von Parametersätzen über eine CSV Datei)
- ActiveX
- ODBC (zur Kommunikation mit relationalen Datenbanken)
- Direkte Excel Anbindung
- TCP/IP (z. B. zur Kommunikation mit Materialflussrechnern)“ (SimPlan AG, 2016)

Wie oben erwähnt können beispielsweise Grafiken für eine detaillierte Darstellung einzelner Bausteine importiert werden. Damit erfüllt AutoMod diese Anforderung.

Die oben dargestellte Übersicht zeigt, dass AutoMod für die Simulation modularer Logistiksysteme geeignet ist. Die nicht ideale optische Darstellung des Modells ist bei kleineren nicht zu komplexen Modellen vertretbar. Bei größeren Projekten wird jedoch empfohlen auf umfangreichere Versionen als der kostenfreien Studentenversion zurückzugreifen.

## 5.2 Plant Simulation

Plant Simulation ist eine Simulationssoftware der Siemens AG. „Plant Simulation zeichnet sich durch eine objektorientierte, grafische Modellierung, Simulation und Animation von Systemen und Geschäftsprozessen aus.“ (SimPlan AG)

Zuerst werden die einzelnen Bausteine, die für die zuvor beschriebenen Modelle benötigt werden, aufgelistet und knapp erläutert. Anschließend werden die zwei Simulationsmodelle erstellt, um zum Abschluss hieraus zu folgern, ob Plant Simulation für die Simulation von modularen Logistiksystemen geeignet ist.

### 5.2.1 Auflistung der Elemente für die Modelle

Jedes Modell in Plant Simulation beinhaltet mindestens eine *Quelle* und eine *Senke*. Diese bilden die Systemgrenze mit der *Quelle* als Eingang und der *Senke* als Ausgang ab. Des Weiteren wird ebenfalls immer ein *Ereignisverwalter* benötigt. Dieser Baustein steht für die Zeitleiste und übernimmt somit die Steuerung der Simulationszeit und der Animationsgeschwindigkeit.

Für die Systemkomponenten innerhalb der Systemgrenze stellt Plant Simulation einige Standardbausteine zu Verfügung. Für die unter Punkt 4.2 beschriebenen nötigen Elemente für modulare Logistiksysteme werden die Materialflussbausteine von Plant Simulation benötigt. Diese können in beweglich und unbeweglich unterteilt werden. Für die Simulation der Beispielsysteme aus Punkt 4.3 und 4.4 werden beide Kategorien benutzt. Für die Abbildung der Sachgüter (hier: Einzelteile des Laufrads und Leiterplatte) wird ein *passives BE* (bewegliches Element) gewählt. Passiv bedeutet in diesem Zusammenhang, dass sich das Sachgut nicht aus eigenem Antrieb bewegen kann. Bei den unbeweglichen Materialflussbausteinen muss mehr differenziert werden. Zur Abbildung der Maschinen kommen die *Einzelstation*, die *Montagestation* und die *Demontagestation* in Frage. Für die Streckenelemente zwischen den Stationen wird die *Förderstrecke* verwendet. Diese jeweils unbeweglichen Bausteine fallen in die Kategorie der aktiven Materialflusselemente. Das bedeutet, dass ein *BE* entgegengenommen, eine gewisse Zeit gelagert und automatisch an den nächsten Baustein weitergeleitet wird. In Plant Simulation werden die einzelnen Bausteine über *Kanten* logisch verknüpft. (Bangsow, 2011 S. 57f und 85) und (Eley, 2012 S. 34ff)

In den folgenden Abschnitten wird auf die einzelnen Bausteine genauer eingegangen.



Die *Quelle* erzeugt *BEs*. Diese können je nach Definition unterschiedlich oder identisch sein und hintereinander oder in gemischter Reihenfolge produziert werden. (Bangsow, 2011 S. 85) In der Realität entspricht die *Quelle* dem Wareneingang.



Sobald die *BEs* in der *Senke* ankommen, werden sie nach der eingestellten Bearbeitungszeit vernichtet. In der *Senke* werden eine Reihe wichtiger Statistikdaten gesammelt. Dazu zählen z. B. die Durchlaufzeit oder die Anzahl der vernichteten Teile. (Bangsow, 2011 S. 92) In der Realität entspricht die *Senke* dem Warenausgang bzw. der ersten Arbeitsstation des Folgeprozesses.



Dieser übernimmt in einem Simulationsmodell die Steuerung der Simulationszeit und der Animationsgeschwindigkeit des Simulationslaufs (Eley, 2012 S. 36). Eine wirkliche Übertragung auf die Realität gibt es hier nicht. Der *Ereignisverwalter* symbolisiert die Zeit.



*Bewegliche Elemente (BE)* „werden benötigt, um Aufträge oder physische Objekte wie Werkstücke, Transportbehälter oder Fahrzeuge abzubilden, die in dem Simulationsmodell bearbeitet werden. [...] Plant Simulation unterscheidet zwischen aktiven und passiven *BEs*. Aktive *BEs* sind Bausteine, wie beispielsweise das Fahrzeug, die sich aus eigener Kraft fortbewegen. Passive *BEs* können sich hingegen nur mit Hilfe anderer Bausteine, z. B. *Förderstrecke*, oder anderen aktiven *BEs* wie z. B. dem Fahrzeug bewegen.“ (Eley, 2012 S. 35) In den beschriebenen realen Systemen entspricht das *BE* den Einzelteilen des Laufrads bzw. der Leiterplatte.



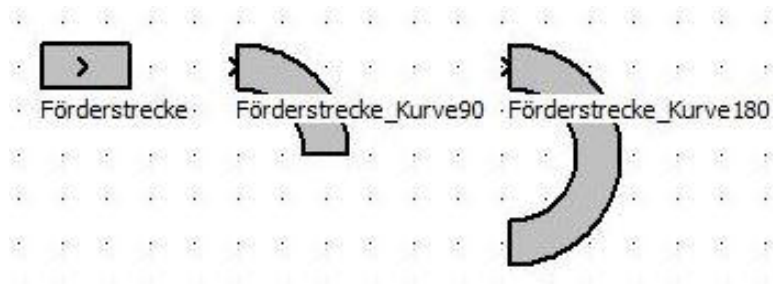
Die *Einzelstation* symbolisiert eine einfache Einzelbearbeitung. Die Umsetzung von Plant Simulation schaut wie folgt aus: „Die *Einzelstation* nimmt ein *BE* von ihrem Vorgänger entgegen und reicht es nach Verstreichen der Rüst-, Erhol- und Bearbeitungszeit reihum (oder nach Wahl) an einen ihrer Nachfolger weiter.“ (Bangsow, 2011 S. 92) Eine *Einzelstation* kann nur genau ein einziges *BE* aufnehmen und dieses nach Ablauf der definierten Zeiten, solange der Nachfolger freie Kapazitäten hat, aktiv weiterreichen. Soll die Kapazität der Maschine erhöht werden, so müssen mehrere Einzelstationen parallel geschaltet werden. Zur Vereinfachung hierfür stellt Plant Simulation auch den Baustein *Parallelstation* zu Verfügung. Die *Einzelstation* ist ein platz- und punktbezogener Baustein. Das heißt, die reale Länge und Ausdehnung des Bausteins sowie die Länge und Ausdehnung der *BEs*, die sich in der *Einzelstation* befinden, spielen keine Rolle. (Eley, 2012 S. 36) Die *Einzelstation* wird im Modell der Leiterplattenherstellung für die einzelnen Arbeitsplätze verwendet.



„Die *Montagestation* baut Anbauteile an einem Hauptteil an. Sie lagert die Anbauteile, entsprechend der Einträge in der Montagetablelle, auf das Hauptteil um oder löscht sie.“ (Tecnomatix Plant Simulation 12) Generell muss der Montagebegriff in diesem Zusammenhang weit gefasst werden. Unter Montage kann in der Simulation auch Verpacken oder das Zusammenfügen von Förderhilfsmittel und Fördergut verstanden werden. (Bangsow, 2011 S. 107) Die *Montagestation* wird für den Zusammenbau der Reifen und des Laufrads gewählt.

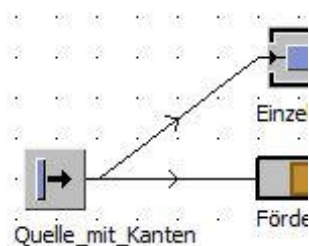


„Die *Demontagestation* baut Anbauteile von einem Hauptteil ab oder sie erzeugt neue Teile.“ (Tecnomatix Plant Simulation 12) Analog zur *Montagestation* ist auch die Demontage in Plant Simulation sehr verallgemeinert zu sehen. Auch Prozesse in denen das Ausgangsteil am Ende nicht mehr existiert, wie z. B. beim Sägen der Einzelteile für das Laufrad, können mit diesem Baustein abgebildet werden. (Bangsow, 2011 S. 111)



Die passiven *BEs* können von der *Förderstrecke* in einer konstanten Geschwindigkeit transportiert werden. Auf der *Förderstrecke* kann demzufolge nicht überholt werden. Eine *Förderstrecke* kann auch als Puffer fungieren. In diesem Fall muss die Eigenschaft „staufähig“ aktiviert sein. Denn dann rücken die *BEs* auf, falls der nachfolgende Baustein blockiert ist. Andernfalls bleibt die *Förderstrecke* stehen sobald ein *BE* nicht austreten kann. Die *Förderstrecke* hat die Attribute Länge, Geschwindigkeit, Kapazität (-1 bedeutet unbegrenzt) und staufähig. (Bangsow, 2011 S. 167f) Die Länge ist eine sehr wichtige Angabe, da die *Förderstrecke* zu den längenbezogenen Bausteinen zählt. Das bedeutet, die reale Breite und Länge der *BEs* wird beachtet. „Befindet sich z. B. ein *BE* auf einer *Förderstrecke*, so kann die Position des Bugs und des Hecks dieses *BEs* genau ermittelt werden. Darüber hinaus ist es möglich, dass sich ein *BE* zeitgleich auf mehr als einem Baustein befindet. *BEs* werden z. B. beim Umlagern auf eine *Förderstrecke* von dieser gemäß ihrer Geschwindigkeit aufgenommen. Die Ausdehnung der *BEs* beeinflusst darüber hinaus auch die Kapazität des Bausteins.“ (Eley, 2012 S. 36)

Durch das „Anhängen von Stützpunkten“ können komplexere Verläufe der *Förderstrecke* erstellt werden. So können auch die Kurven abgebildet werden.



*Kanten* bilden die logische Verknüpfung zwischen den Bausteinen. (Eley, 2012 S. 36)



Mithilfe von *Methoden* werden Steuerungen erstellt, die von den Objekten über den Namen der Steuerung aufgerufen und gestartet werden. (Tecnomatix Plant Simulation 12) *Methoden* werden in der Programmiersprache SimTalk verfasst.



### 5.2.2 Simulation

Mit dem Wissen, welche Bausteine welche Eigenschaften besitzen und was diese am besten abbilden, kann die Simulation starten. Es wird je ein Modell zur Darstellung der Leiterplatten- und Laufradfertigung erstellt. Die Simulationsdateien sind der Projektarbeit beigelegt.

#### 5.2.2.1 Leiterplattenfertigung

Bei der Leiterplattenfertigung handelt es sich um eine Produktionslinie mit fünf hintereinander geschalteten Maschinen bei denen die Anzahl des In- und Output jeweils gleich eins ist. Pro Bearbeitungslauf befindet sich in jeder Maschine lediglich eine Leiterplatte. Die Leiterplatten können sich nicht aus eigenem Antrieb fortbewegen. Für die Umsetzung in Plant Simulation bietet sich für die Maschinen die zuvor beschriebene *Einzelstation* an. Diese ist aktiv, sodass das Fördergut keinen eigenen Antrieb benötigt und die Kapazität der Maschine beträgt eins. Dadurch wird sichergestellt, dass sich tatsächlich jedes Mal nur eine Leiterplatte in der Maschine befindet. Die benötigten fünf *Einzelstationen* werden entsprechend dem Layout im zuvor definierten Netzwerk eingefügt. Je *Einzelstation* können jetzt die Bearbeitungs-, Rüst- und Erholzeiten eingestellt werden. Für die Zeiten stehen auch verschiedene Verteilungen zur Verfügung (siehe Abbildung 10). Die Maschinen der Leiterplattenfertigung sind stark automatisiert, sodass ein konstanter Zeitwert gewählt wird. In Abbildung 9 ist das Fenster vom Reiter Zeiten der ersten *Einzelstation* zu sehen. Dieses Fenster öffnet sich per Doppelklick auf den entsprechenden Baustein.

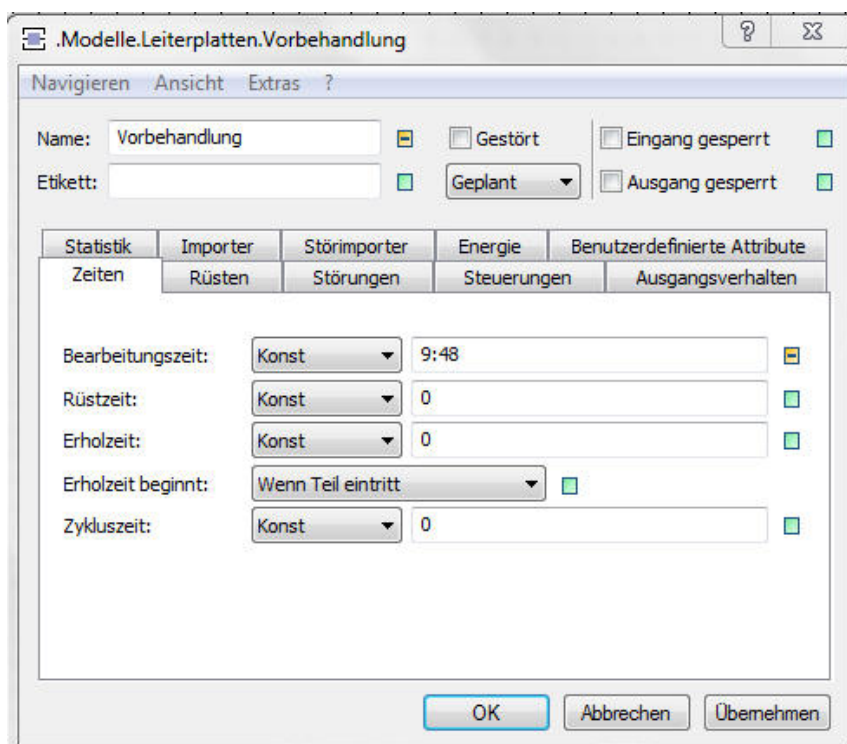


Abbildung 9: Zeiteinstellung einer Einzelstation

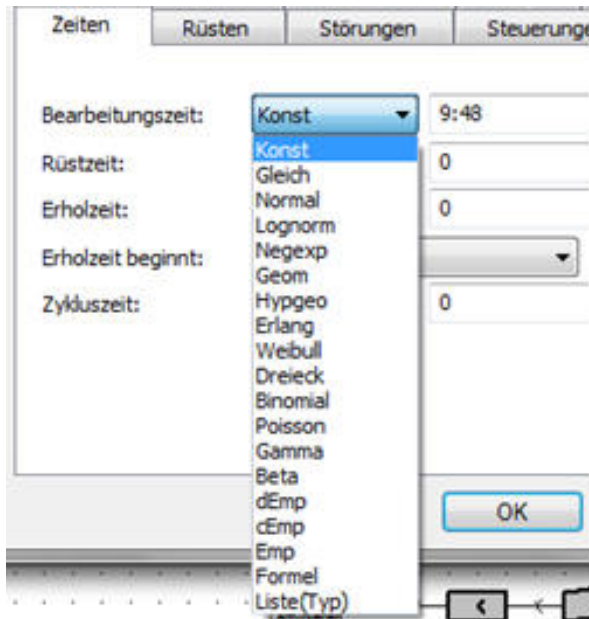


Abbildung 10: Mögliche Verteilungen für die Zeiten

Nachdem alle *Einzelstationen* konfiguriert sind, müssen diese verbunden werden, sodass die Leiterplatten ohne unnötigen Aufwand zur nachfolgenden Maschine gelangen. Für den Transport bietet sich die *Förderstrecke* an. Diese kann je nach Layout in Geraden oder Kurven dargestellt werden. Um Kurven abzubilden muss „Punkte anhängen“ ausgewählt werden. In dem sich öffnenden Fenster werden die Werte unter „Bogensegmente“ je nach Zielkurve ausgefüllt. Mit gedrückter „Strg-Taste“ wird aus der kantigen Kurve ein Bogen. Die Abbildung 11 zeigt die Angaben für eine 90°-Kurve mit einem fest definierten Radius von zwei Metern.

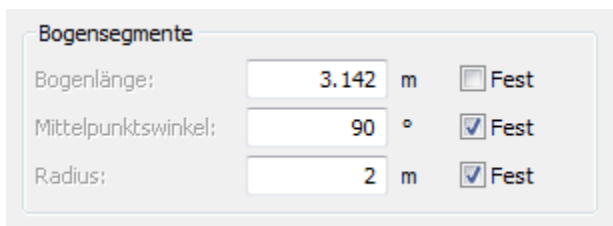


Abbildung 11: Angaben einer 90°-Kurve

Sobald je benötigten Abmaß eine *Förderstrecke* erstellt ist, können die gewünschten Parameter eingestellt werden. Die wichtigsten Attribute der *Förderstrecke* sind, wie unter Punkt 5.2.1 erwähnt, die Länge, die Geschwindigkeit, die Kapazität und die Eigenschaft „staufähig“. In Abbildung 12 ist das Fenster der *Förderstrecke* zu sehen, in dem die Angaben eingestellt werden.

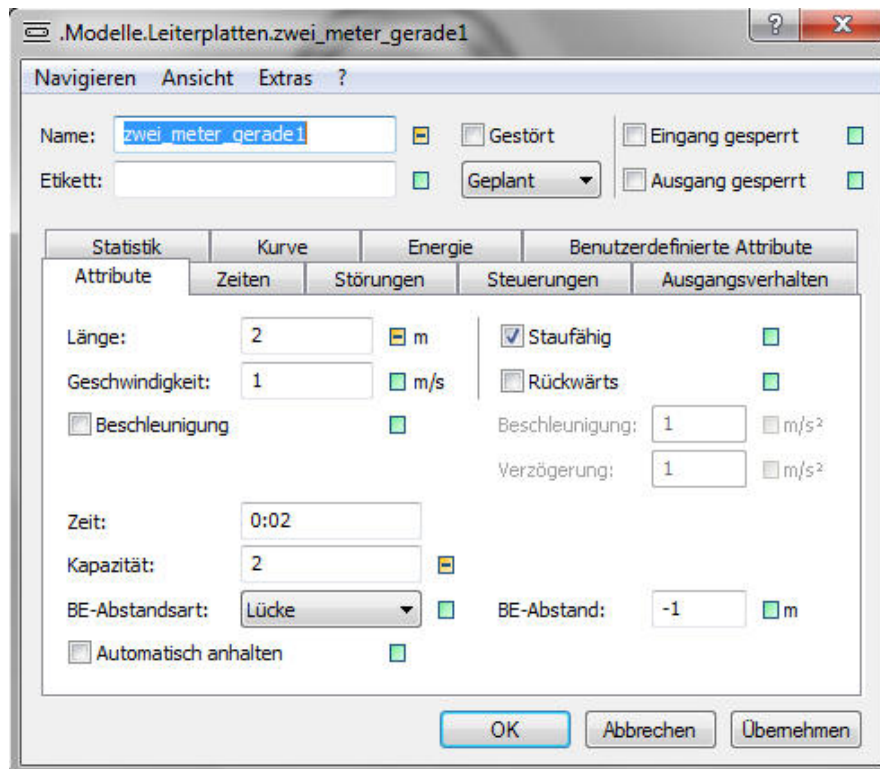


Abbildung 12: Attribute einer Förderstrecke

Nachdem alle Attribute den gewünschten Wert haben, können die Werte gespeichert und der Baustein kopiert werden. So haben die Kopien die gleichen Werte und müssen nicht jeweils einzeln eingestellt werden.

Um das Modell zu vervollständigen werden eine *Quelle*, eine *Senke* und die *Kanten* zwischen den einzelnen Bausteinen ergänzt. Der *Ereignisverwalter* ist standardmäßig bereits eingefügt. Solange dieser nicht gelöscht wird, ist er bereits von Beginn an Bestandteil des Modells. Bei Plant Simulation produziert die *Quelle* vordefiniert *BEs* der Klasse *Fördergut*. Für die Leiterplattenfertigung ist das genau die richtige Wahl. Somit braucht diese Einstellung nicht geändert werden. Jedoch wird der Abstand der produzierten Fördergüter neu definiert. Abbildung 13 zeigt das Fenster in dem diese Einstellung angepasst wird.

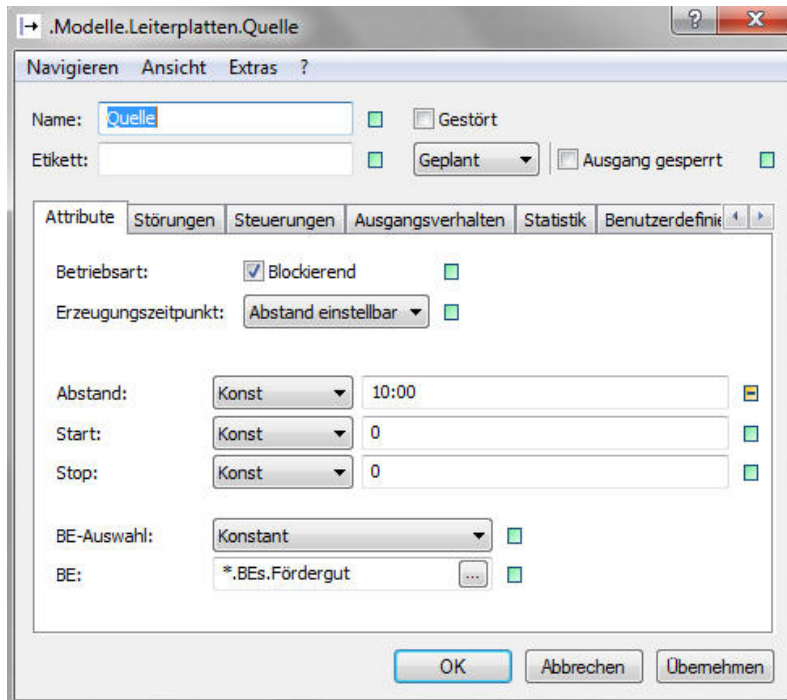


Abbildung 13: Attribute der Quelle

An diesem Punkt ist das Modell vollständig und die Simulation kann starten. Dabei fällt auf, dass manche *BEs* gelb umrandet sind und manche nicht. Die gelb umrandeten *BEs* sind blockiert, das bedeutet, dass diese aktuell nicht umgelagert werden können. Für den Prozess heißt das, dass hier noch Optimierungsbedarf besteht und die Durchlaufzeit verringert werden könnte. Außerdem ist an den *Einzelstationen* ein farbiger Punkt zu sehen. Dieser zeigt den Status der Bearbeitung an. Abbildung 14 zeigt das fertige Modell der Leiterplattenfertigung mit blockierten *BEs* auf.

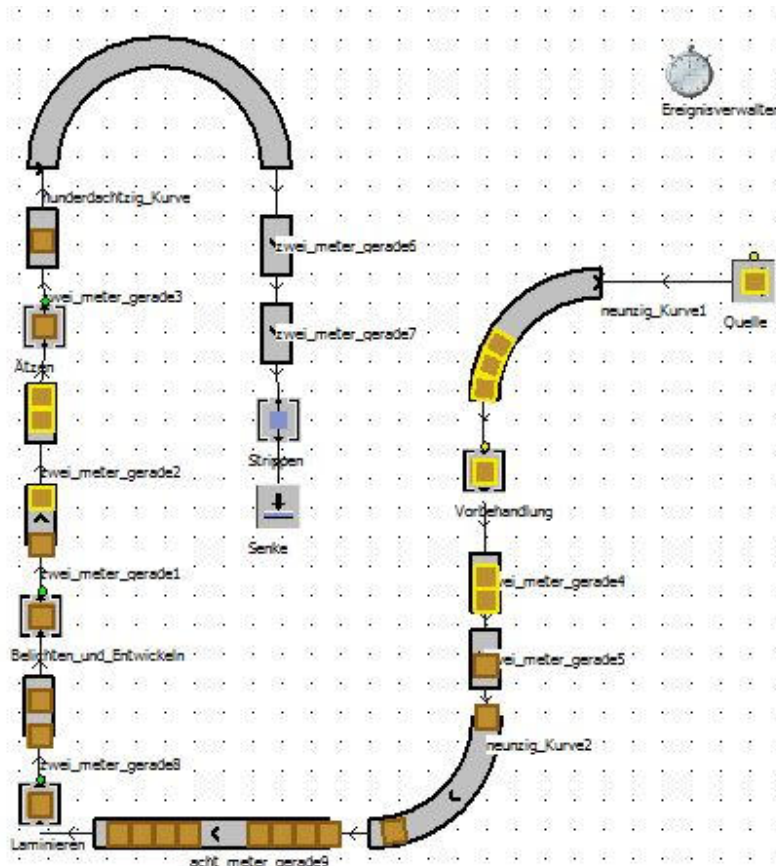


Abbildung 14: Modell zur Leiterplattenfertigung

Die zuvor erwähnte Durchlaufzeit eines *BEs* kann in der „typabhängigen Statistik“ der *Senke* eingesehen werden. Folgende Abbildung 15 zeigt eine beispielhafte Statistik des Modells auf. Es ist zu erkennen, dass das Simulationsmodell funktioniert und jetzt zu Optimierungszwecken genutzt werden kann.

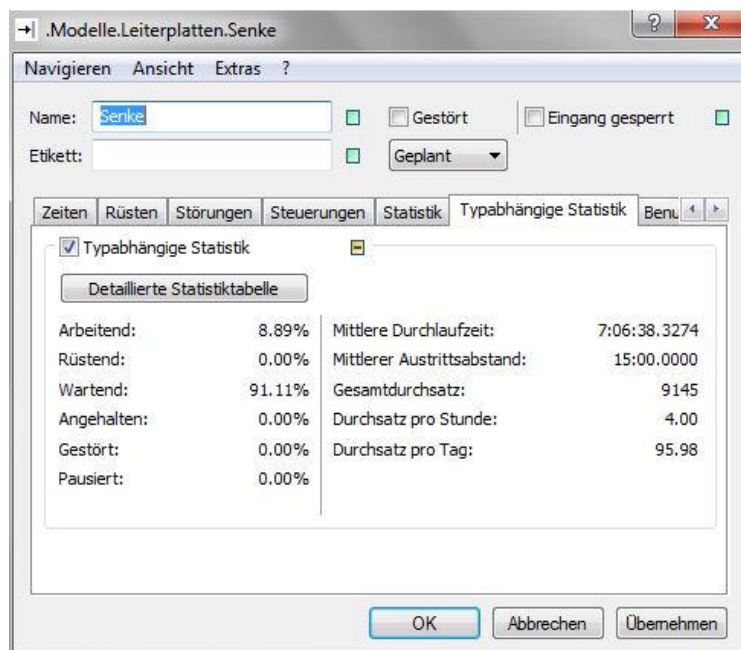


Abbildung 15: Statistik der Leiterplattenfertigung

### 5.2.2.2 Laufradfertigung

Bei der Laufradfertigung liegt der Fokus auf einer Bearbeitung von Teilen bei denen der In- und Output der Maschinen unterschiedlich groß ist. Plant Simulation hat hierfür Bausteine in Form der *(De-)Montagestation* entwickelt. Diese zwei Bausteine vereinfachen die Simulation. Die *Montagestation* hat mindestens zwei Inputs und nur einen Output hingegen bei der *Demontagestation* ist es genau anders herum. Es wäre auch möglich den Prozess mit einer Kombination von *Einzelstation* und passender *Methode* abzubilden. Im Rahmen der Projektarbeit werden jedoch die vorgefertigten Bausteine benutzt.

Für die Montage der einzelnen Bauteile des Laufrads werden zwei *Montagestationen* eingesetzt. Die eine *Montagestation* benötigt je Eingang nur ein *BE* und nach der Bearbeitung wird wiederum ein *BE* ausgeschleust. Die andere *Montagestation* hat drei Eingänge mit ein, zwei und drei *BEs* und schleust wiederum nur ein *BE* aus. Die Parametrisierung der Zeiten ist analog zur *Einzelstation*. Es wird jedoch mit einer Normalverteilung gearbeitet. In Abbildung 16 werden die wichtigsten Attribute der *Montagestation* aufgezeigt.

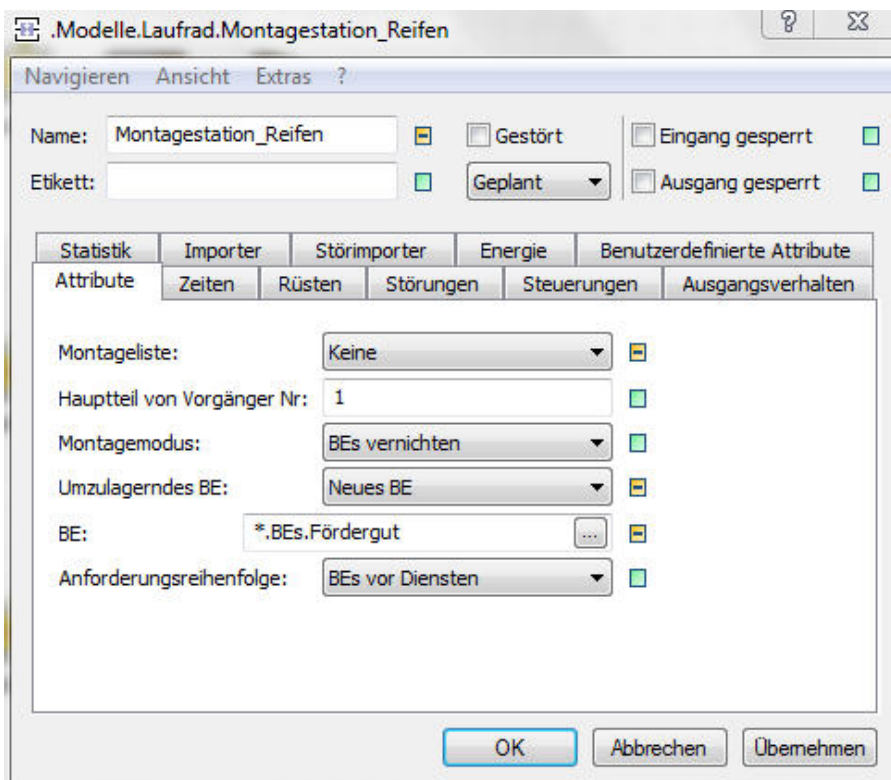


Abbildung 16: Attribute einer Montagestation

Die Auswahl, dass es „Keine“ Montageliste gibt bedeutet, dass reihum von jedem Eingang nur ein *BE* benötigt wird. Der Montagemodus „BEs vernichten“ sagt aus, dass die eingeschleusten *BEs* vernichtet werden und somit muss ein „Neues BE“ umgelagert werden. Dieses symbolisiert das Zusammenbauteil. Für die zweite benötigte *Montagestation* wird eine Montageliste des Typs „Vorgänger“ eingesetzt. Diese schaut wie folgt aus:

	Vorgänger	Anzahl
1	3	2
2	2	3

Abbildung 17: Montageliste des Typs "Vorgänger"

Die Liste sagt aus, dass von *Vorgänger 3* zwei Teile und vom *Vorgänger 2* drei Teile an das Hauptteil (*Vorgänger 1*) montiert werden. Der Montagemodus und die dazugehörigen Attribute sind identisch mit der anderen *Montagestation*.

Für das Aussägen der Holzteile des Rahmens wird eine *Demontagestation* mit einem Eingang (ein *BE*) und vier Ausgängen zu je einem *BE* benötigt. Um dies zu erreichen müssen die Attribute des Bausteins wie in folgender Abbildung 18 zu sehen ausgewählt werden.

Abbildung 18: Attribute einer Demontagestation

Die Parametrisierung der Zeiten entspricht auch hier der *Einzelstation*.

Analog zum vorherigen Modell werden die Arbeitsplätze mit *Förderstrecken* verbunden und die benötigten *Quellen* und die *Senke* werden eingefügt. Abschließend werden die *Kanten* ergänzt. Hierbei muss aufgepasst werden, in welcher Reihenfolge die *Montagestationen* mit

ihren Vorgängern und die *Demontagestation* mit ihren Nachfolgern verbunden werden. Jeweils die ersten Verbindungen stellen die Hauptteile dar.

Ein mögliches Ergebnis des Simulationsmodells mit der Statistik aus der *Senke* ist den folgenden zwei Abbildungen zu entnehmen.

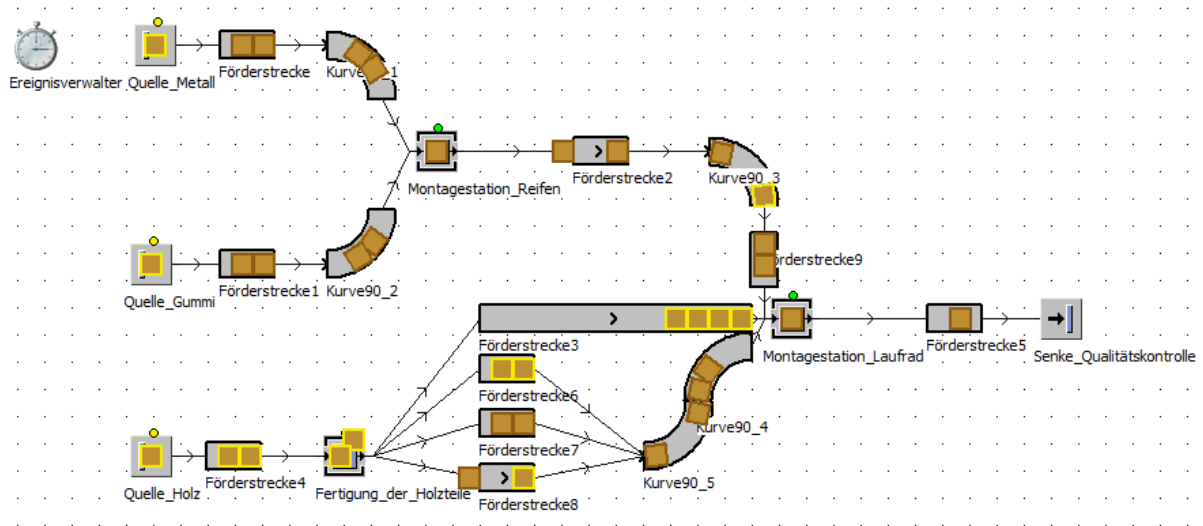


Abbildung 19: Modell der Laufradfertigung

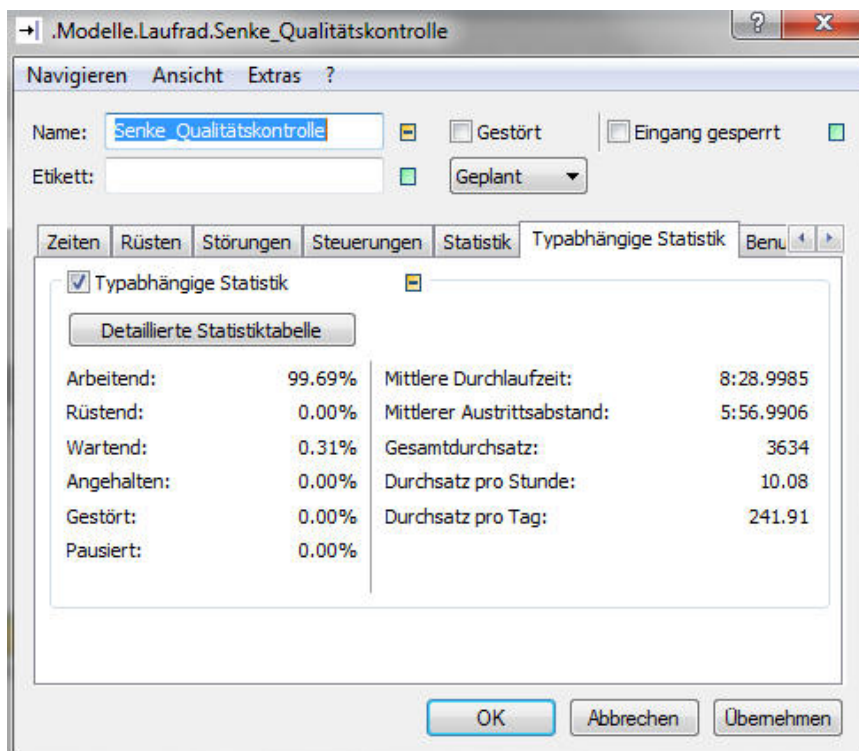


Abbildung 20: Statistik der Laufradfertigung



### 5.2.3 **Anwendbarkeit des Programms**

Im Anschluss an die Erstellung des Simulationsmodells soll jetzt beurteilt werden, ob Plant Simulation für die Abbildung von modularen Logistiksystemen geeignet ist. Unter Punkt 3.3 sind bereits die Eigenschaften aufgelistet, die die Bausteine erfüllen sollten, damit modulare Systeme simuliert werden können. Im Folgenden wird auf die einzelnen Eigenschaften mit Bezug zu Plant Simulation genauer eingegangen.

#### Übersichtliche bausteinbezogen Parametereinstellung

In Plant Simulation können für jeden Baustein eigene Parameter eingestellt werden. Durch einen einfachen Doppelklick auf den Baustein öffnet sich das bausteinbezogene Fenster für die Parametrisierung. Das heißt, dieses Kriterium ist erfüllt.

#### Standardisierung der Bausteine

In diesen Zusammenhang fällt einem das Stichwort: „Vererbung“ ein. In Plant Simulation können Bausteine ihre Einstellungen an Bausteine des gleichen Typs vererben. Daraus folgt, dass der besagte Baustein dadurch standardisiert werden kann. Somit ist dieses Kriterium erfüllt.

#### Gruppierung mit anderen Bausteinen

Im Rahmen der Projektarbeit hat diese Möglichkeit keine Anwendung gefunden. Es ist jedoch prinzipiell möglich, in Plant Simulation eigenständige Netzwerke in das „Hauptnetzwerk“ zu integrieren. Somit könnte z. B. ein Unterprozess, der an mehreren Stellen im System vorkommt, in einem eigenen Netzwerk erstellt werden und dann an den entsprechenden Stellen in dem Hauptprozess eingefügt werden. Dies vereinfacht das Modell und zusätzlich kann durch Verschieben des „Netzwerk-Bausteins“ ohne großen Aufwand der optimale Standort im System gefunden werden. Hiermit ist auch dieses Kriterium erfüllt.

#### Datenspeicherung je Baustein

Durch Doppelklick auf die einzelnen Bausteine kann nicht nur die Parametrisierung vorgenommen werden, sondern auch bausteinbezogene Informationen können in Form von Statistiken und weiteren Werten eingesehen werden. Das heißt, die Datenspeicherung je Baustein ist gegeben.

#### Analysetools mit optischer Aufbereitung

In der Klassenbibliothek von Plant Simulation stehen einige Analysetools zur Verfügung. Je nach Baustein können hiermit auch Diagramme und Tabellen erstellt werden, sodass auch ungeschulte Augen die Ergebnisse analysieren können. In den Modellen der Projektarbeit

finden diese keine Anwendung, da die Analyse der Simulationsmodelle nicht im Vordergrund steht. Dennoch ist zu sagen, dass dies standardmäßig möglich ist. Unter Tools gibt es z. B. auch eine bereits vorgefertigte Engpassanalyse.

#### Gute optische Darstellung

An den Screenshots aus den vorherigen Kapiteln ist zu erkennen, dass jeder Baustein durch ein eigenes markantes Symbol dargestellt wird. Es ist z. B. auf einen Blick zu erkennen, ob eine Montage- oder eine Demontagestation im Modell eingebaut ist. Zusätzlich ist es möglich eine eigene Farbgebung einzustellen. Dieses Kriterium wird somit auch als erfüllt erklärt.

#### Standardisierte Schnittstellen

Plant Simulation hat eine „offene Architektur mit mehreren Schnittstellen (ODBC, ActiveX, XLS, SDX FactoryCAD Layout, HTML, etc.)“ (SimPlan AG). Somit können Firmendaten gut in die Simulation integriert werden, um möglichst Realitätsnahe Ergebnisse zu bekommen. Die Schnittstellen innerhalb des Programms, d. h. unterhalb der Bausteine sind kombinierbar.

Aus dieser Übersicht ist zu erkennen, dass Plant Simulation mit seinem modularem Aufbau, seiner ereignis-, baustein- und objektorientierten Simulationsweise und der durchgängigen Abbildung von Material- und Informationsflüssen sehr gut für die Abbildung von modularen Logistiksystemen geeignet ist. (SimPlan AG)

## 6 Zusammenfassung

Zusammenfassend ist zu sagen, dass prinzipiell beide Programme aus dieser Projektarbeit für die Darstellung von modularen Logistiksystemen verwendet werden können. Die Verwendung von AutoMod setzt ein größeres Wissen im Bereich der Programmierung voraus. Dadurch wird die Umsetzung komplizierter, es ist hingegen von Beginn an benutzerspezifisch. In Plant Simulation sind viele Prozessschritte bereits allgemeingültig vorprogrammiert. Dadurch ist dieses Programm für den Einstieg in die Simulation besser geeignet. Ein gutes Beispiel hierfür sind die *(De-)Montagestationen*. Diese können durch vorprogrammierte Bausteine oder anhand von Einzelstationen mit individuell angepassten Methoden dargestellt werden. Die Gefahr hierbei ist jedoch, dass man sich zu sehr auf die fertigen Bausteine fixiert. Dadurch wird die Simulation zu allgemein und wichtige Details werden möglicherweise nicht beachtet.

Die Darstellung der einzelnen Bausteine ist in AutoMod im Sinne eines Blocklayouts sehr detailgetreu. Mit der Vollversion von AutoMod können zudem aufwändige 3D Animationen für Kunden erstellt werden. Es werden von Anfang an individuelle Abmaße für die benutzten Bausteine verwendet und das Layout ist zusammenhängend. In Plant Simulation wird das Layout durch die notwendigen Kanten verfälscht. Diese können jedoch durch zusammenschieben der Bausteine versteckt werden und mit einer maßstabsgetreuen Konfigurierung des Grundrasters können auch in Plant Simulation reale Größenverhältnisse abgebildet werden.

Für die Abbildung von modularen Logistiksystemen, die oft geändert werden müssen, wird im Rahmen dieser Projektarbeit das benutzerfreundlichere Plant Simulation empfohlen.

## Literaturverzeichnis

- Applied Materials. 2015.** *Applied AutoMod*® 12.6.1 - User's Guide. Santa Clara CA (USA) : s.n., 2015.
- . 2015. Programmhilfe - Stichwort: create. 2015. Version 12.6.1 - Studentversion.
- Ätztechnik Herz GmbH & Co. KG. 2016.** Ätzen - schnell sauber gratfrei. [Online] 2016. [http://www.aetztechnik-herz.de/wp-content/uploads/2016/07/Layout-Prosp-18-S-herz-Image-D\\_47\\_Download.pdf](http://www.aetztechnik-herz.de/wp-content/uploads/2016/07/Layout-Prosp-18-S-herz-Image-D_47_Download.pdf).
- Bangsow, Steffen. 2011.** *Praxishandbuch - Plant Simulation und SimTalk*. München : Carl Hanser Verlag, 2011.
- Brooks Automation, Inc. 2003.** *BEGINNING AUTOMOD - TUTORIAL*. Chelmsford, MA, USA : s.n., 2003. <http://files.szt.ektf.hu/dl.php?file=files%2FTan%C3%A1ri+Megoszt%C3%A1sok%2FB%C3%ADr%C3%B3+Csaba%2Flogisztika%2Fautomod%2Fbegamod.pdf>.
- Clausen, Uwe, Langkau, Sven und Lier, Stefan. 2014.** chemanager-online. *Logistik für dezentrale Produktionseinheiten*. [Online] 14. 10 2014. <http://www.chemanager-online.com>.
- DIN-Normenausschuss Verpackungswesen (NAVp); Packaging Standards Committee. 1989.** DIN 30781 Teil 1. [Hrsg.] DIN Deutsches Institut für Normung e. V. *Transportkette - Grundbegriffe*. Berlin : Beuth Verlag GmbH, 1989.
- Eley, Michael. 2012.** *Simulation in der Logistik*. Heidelberg : Springer Gabler, 2012.
- Gudehus, Timm. 2010.** *Logistik - Grundlagen – Strategien – Anwendungen*. Heidelberg : Springer-Verlag, 2010.
- Henke, Michael. 2015.** Vorlesung Supply Chain Simulation. *Grundlagen der Modellierung und Simulation*. Dortmund : TU Dortmund, 2015.
- Lier, Stefan, Wörsdörfer, Dominik und Grünewald, Marcus. 2015.** Wandlungsfähige Produktionskonzepte: Flexibel, Mobil, Dezentral, Modular, Beschleunigt. *Chemie Ingenieur Technik*. September 2015, S. 1147-1158.
- Nyhuis, Peter, Deuse, Jochen und Rehwald, Jürgen. 2013.** *Wandlungsfähige Produktion - Heute für morgen gestalten*. Garbsen : PZH Verlag, 2013.
- Pfohl, Hans-Christian. 2010.** *Logistiksysteme*. Heidelberg Dordrecht London New York : Springer-Verlag, 2010.
- Rabe, Markus, Spieckermann, Sven und Wenzel, Sigrid. 2008.** *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik*. Berlin Heidelberg : Springer-Verlag, 2008.
- Schenk, Michael, Wirth, Siegfried und Müller, Egon. 2014.** *Fabrikplanung und Fabrikorganisation*. Berlin : Springer Vieweg, 2014.

**SimPlan AG. 2016.** AutoMod. [Online] 2016. [Zitat vom: 4. Oktober 2016.]  
<http://www.automod.de/automod.html>.

—. plant-simulation. [Online] SimPlan AG. [Zitat vom: 13. Juli 2016.] <http://www.plant-simulation.de/>.

—. SimPlan. [Online] [Zitat vom: 02. 08 2016.]  
[https://www.simplan.de/images/stories/download/Produktblaetter/Infoblatt\\_Plant\\_Simulation.pdf](https://www.simplan.de/images/stories/download/Produktblaetter/Infoblatt_Plant_Simulation.pdf).

—. **2016.** Simulationssoftware AutoMod. [Online] 2016. [Zitat vom: 10. September 2016.]  
<https://www.simplan.de/de/software/tools-simulation/automod.html>.

**Tecnomatix Plant Simulation 12. Tutorial.**

**Vahrenkamp, Richard und Kotzab, Herbert. 2012.** *Logistik - Management und Strategien.*  
München : Oldenbourg Verlag München, 2012.

**VDI. 2014.** VDI 3633 Blatt 1. *Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen.* Düsseldorf : Beuth Verlag GmbH, 2014.

**Westkämper, Engelbert und Zahn, Erich. 2009.** *Wandlungsfähige Produktionssysteme.*  
Heidelberg : Springer Verlag, 2009.

**Wishbone Design Studio Ltd.** [Online] [Zitat vom: 5. Juli 2016.]  
<https://www.shopwishbonedesign.com/products/Details.aspx?p=854&c=83&g=all>.

Alle eingefügten Screenshots dieser Projektarbeit entstammen den Simulationsprogrammen AutoMod bzw. Plant Simulation.

## Anhang

### A - Programmcode für Systembeispiel 1 (Leiterplatte)

```

begin P_Fertigung arriving procedure
  move into Q_Puffer_Blech //load tritt in die Simulation ein und
                          befindet sich nun im Puffer

  move into conv.sta1 //load bewegt sich über das 1. Streckenele-
                      ment
  travel to conv.sta2

  move into Q_Vorbehandlung //load bewegt sich in den Puffer der
                             zur Maschine gehört
  use R_Vorbehandlung for 588 sec //load belegt die Maschine für
                                 die Bearbeitungszeit

  move into conv.sta3 //load befindet sich wieder auf dem
                      Stetigförderer
  travel to conv.sta4 //load bewegt sich über die Strecken-
                      elemente zur nächsten Maschine

  travel to conv.sta5
  travel to conv.sta6
  travel to conv.sta7
  travel to conv.sta8
  travel to conv.sta9
  travel to conv.sta10
  travel to conv.sta11
  travel to conv.sta12
  travel to conv.sta13
  travel to conv.sta14
  travel to conv.sta15
  travel to conv.sta16

  move into Q_Laminieren //load bewegt sich in den Puffer der zur
                          Maschine gehört
  use R_Laminieren for 192 sec //load belegt die Maschine für die
                              Bearbeitungszeit

  move into conv.sta17
  travel to conv.sta18

  move into Q_Belichten
  use R_Belichten for 300 sec

  move into conv.sta19
  travel to conv.sta20
  travel to conv.sta21
  travel to conv.sta22

  move into Q_Aetzen
  use R_Aetzen for 900 sec

  move into conv.sta23
  travel to conv.sta24

```

```

travel to conv.sta25
travel to conv.sta26
travel to conv.sta27
travel to conv.sta28
travel to conv.sta29
travel to conv.sta30

move into Q_Strippen
use R_Strippen for 246 sec //load belegt die letzte Maschine

move into Q_Puffer_Leiterpl //load wird im Puffer bis zur Wei
                           terverarbeitung gelagert

send to die //load verlässt die Simulation
end

```

## B - Programmcode für Systembeispiel 2 (Laufrad)

```

begin P_Metall_WE arriving procedure //Wareneingang Metallfelgen
  move into Q_Puffer_Metall //Metallfelgen treten in die Simula
                           tion (in den Puffer) ein

  move into conv.sta1 //Metallfelgen bewegen sich in das
                     Stetigförderer System
  travel to conv.sta2 // und bewegen sich über den Stetigförderer
                     zur Maschine

  travel to conv.sta3
  travel to conv.sta4

  move into Q_Metall_vor_Reifen //Mellfelgen werden in Puffer vor
                               Maschine zwischengelagert
  increment V_zaeher_Metallfelgen by 1 //ankommende Metallfelgen
                               werden gezählt

  send to die
//load der die Felgen repräsentiert wird aus Simulation entfernt, da
er nicht mehr benötigt wird zur Simulation des Prozesses

end

begin P_Gummi_WE arriving procedure //Wareneingang Gummireifen
  move into Q_Puffer_Gummi //Gummireifen treten in Simulation ein
                           (in Puffer)

  move into conv.sta5 //Gummireifen bewegen sich über
                     Stetigförderer zur Maschine

  travel to conv.sta6
  travel to conv.sta7
  travel to conv.sta8

  move into Q_Gummi_vor_Reifen //Gummireifen werden in Puffer vor
                               Maschine zwischengepuffert

  send to P_Montage_Reifen

```

```
//Gummireifen werden an den Montageprozess gesendet (keine physische
Bedeutung)
end
```

```
begin P_Montage_Reifen arriving procedure //Montage der Reifen
  if V_zaeher_Metallfelgen >= 1
    //Gummireifen und Felge werden im Verhältnis 1:1 benötigt, so
    bald beides bereit steht kann ein Reifen produziert werden
    begin
      decrement V_zaeher_Metallfelgen by 1
      //Zähler für Metallfelgen wird um 1 reduziert, da 1
      Felge verbraucht wurde
      use R_Montage_Reifen for normal 72, 30 sec
      //Bearbeitungsdauer zur Montage eines Reifens
      create 1 load of L_Reifen to P>Weiterverarb_Reifen
    //neuer load, der fertigen Reifen repräsentiert wird erstellt

      send to die //load der die Gummireifen repräsentiert
      verlässt die Simultion, fertiger Reifen wird nun durch L_Reifen re-
      präsentiert
    end
  end
end
```

```
begin P>Weiterverarb_Reifen arriving procedure //fertige Reifen wer-
den an diesen Prozess gesendet
  move into conv.sta9 //Reifen bewegen sich über Förderer zu
  nächsten Maschine
  travel to conv.sta10
  travel to conv.sta11
  travel to conv.sta12

  move into Q_Reifen_vor_Laufrd //Reifen werden in Puffer vor Ma-
  schine zwischengepuffert
  increment V_zaeher_Reifen by 1 //ankommende Reifen werden ge-
  zählt

  send to die //load der die Reifen repräsentiert, wird nicht
  mehr benötigt
end
```

```
begin P_Holz_WE arriving procedure //Wareneingang Holz
  move into Q_Puffer_Holz //Rohmaterial Holz tritt in Simulation
  ein, bewegt sich in Puffer

  use R_Holzteile for 180 sec //Rohmaterial wird in Maschine in
  180 Sekunden gesägt etc.

  move into conv.sta13 //Satz fertiger Holzteile für ein Laufrad
  bewegt sich über Förderer zur nächsten Maschine
  travel to conv.sta14
  travel to conv.sta15
  travel to conv.sta16
```



```

    move into Q_Holz_vor_Laufrad //Holzteile werden in Puffer vor
    Maschine zwischengepuffert

```

```

    send to P_Montage_Laufrad //Holzteile werden an Montageprozess
    gesendet (keine physische Bedeutung)
end

```

```

begin P_Montage_Laufrad arriving procedure //Montage des Laufrads
    if V_zaeher_Reifen >= 2 //es werden 2 Reifen und 1 Satz Holz-
    teile benötigt
        begin
            decrement V_zaeher_Metallfelgen by 2 //Zähler wird
            um 2 reduziert, da 2 Reifen verbaut werden
            use R_Montage_Reifen for normal 375, 60 sec //Zeit,
            die Mitarbeiter benötigt, um Laufrad zu montieren
            create 1 load of L_Laufrad to P>Weiterverarb_Laufrad
            //neuer load, der fertiges Laufrad repräsentiert wird erstellt

            send to die //load, der Holzteile repräsentiert wird
            nicht mehr benötigt
        end
    end
end

```

```

begin P>Weiterverarb_Laufrad arriving procedure //fertige Laufräder
werden an diesen Prozess gesendet
    move into conv.sta17 //Laufräder bewegen sich über
    Stetigförderer zum Puffer
    travel to conv.sta18

    move into Q_Puffer_Laufrad //Laufräder werden in Puffer
    zwischengelagert

    send to die //load verlässt Simulation
end

```