

Fakultät Maschinenbau – Fachgebiet IT in Produktion und Logistik

Fachwissenschaftliche Projektarbeit

**Spezifikation und Klassifizierung von Objekten in
Produktionssystemen zur Simulation mittels Petri-Netzen**

Verfasser: Matthias Mühlenbrock

Immatrikulationsnummer: 101631

Dozent: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe

Prüfer: Dipl.-Geoinf. Maik Deininger

Abgabedatum: 08.Juli 2016

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	3
2. Die Entwicklung des modernen Produktionssystems.....	5
3. Technische Grundlagen und Grundbegriffe der THORN-Elemente	11
3.1 Simulation und System.....	11
3.2 Die THORN-Elemente.....	13
3.3 Darstellung von Objekten und Objektklassen in der UML	19
4. Objekte im Produktionssystem nach Gutenberg	24
4.1 Werkstoffe: Rohstoffe, Hilfsstoffe und Betriebsstoffe	24
4.2 Betriebsmittel: materielle und immaterielle.....	27
4.3 Mensch.....	29
4.4 Dispositive Produktionsfaktoren	31
5. Ergänzungen zum Modell nach Gutenberg.....	34
6. Übersicht der Klassen als Basis für den Simulator	38
7. Abbildungsverzeichnis	41
8. Literaturverzeichnis	42

Eidesstattliche Erklärung

1. Einleitung

Als eine Folge der Industrialisierung und Globalisierung stehen Unternehmen auf der ganzen Welt heutzutage in einem immer größer werdenden organisierten Wettbewerb. Zusätzlich werden vor allem die Produktionsunternehmen mit immer kürzeren Produktlebenszyklen und einer steigenden Kundenorientierung bis hin zu vielfältigen Individualisierungsansprüchen der Kunden¹ konfrontiert. Um in diesem Wettbewerb zu bestehen ist es wichtig, dass Unternehmen ihre eigenen Strukturen und Prozesse analysieren und darauf aufbauend eine geeignete Managementstrategie entwickeln. Ziel der Unternehmen muss es sein Vorteile gegenüber der Konkurrenz zu generieren und diesen Vorsprung fortlaufend auszubauen.

In der Wissenschaft und auch in der Geschäftswelt gibt es bereits eine Vielzahl von Ansätzen und Methoden zur Produktions- und Geschäftsprozessoptimierung. Angefangen bei radikalen Ansätzen, wie dem Business-Process-Reengineering, bei dem durch eine grundlegende Neustrukturierung von Geschäftsprozessen die Ziele Zeit, Kosten, Qualität und Service in den Blick genommen werden, über sukzessive Ansätze wie zum Beispiel dem Total-Quality-Management für eine dauerhafte Verfahrens- und Prozessoptimierung oder das Lean-Management. Beim Lean-Management gilt es Verschwendungen aufzudecken und zu minimieren, um eine höchstmögliche Effizienz aus Sicht des Kunden und des Unternehmens zu erzielen. Zur Planung, Durchführung und festen Implementierung solcher Methoden wird entsprechendes Fachpersonal benötigt. Aufgrund der daraus resultierenden personellen und finanziellen Herausforderungen können sich gerade klein- und mittelständischen Unternehmen dies sehr oft nicht leisten.

Um allen Unternehmen die Möglichkeit zu bieten ihre Verbesserungspotenziale aufzudecken, beschäftigt sich der Lehrstuhl IT in Produktion und Logistik (ITPL) mit der Entwicklung eines universell einsetzbaren Simulators für Produktionssysteme. Mit Hilfe eines erweiterbaren flexiblen Modellierungstools sollen den Unternehmen Bausteine bereitgestellt werden, mit denen sie eigenständig ihre Firma und somit die

¹ Aus Gründen der Übersichtlichkeit und leichteren Lesbarkeit wurde in dieser Arbeit auf weibliche Formulierungen und Schreibweisen verzichtet. An dieser Stelle wird jedoch nachdrücklich darauf hingewiesen, dass selbstverständlich Frauen und Männer gleichermaßen angesprochen sind.

Gesamtheit ihres Produktionsprozesses abbilden können. Die Simulation kann bei der Planung, vor der Inbetriebnahme oder während des operativen Betriebs eingesetzt werden um Optimierungspotenziale in der Produktion, Logistik und den daraus resultierenden Ressourceneinsatz aufzuzeigen.

Der Simulator hat gegenüber anderen Methoden den Vorteil, dass kein speziell geschultes Fachpersonal die Auswirkungen von Entscheidungen analysieren muss, dass die Investitionskosten und variablen Kosten gering sind und dass er besonders für klein- und mittelständische Unternehmen eine komfortable Möglichkeit bietet den Produktionsprozess zu optimieren.

Ziel dieser Arbeit ist eine Basis für das Modellierungstool zu schaffen, aufgrund derer die Bausteine des Simulators entwickelt werden können. Bei den Bausteinen kann es sich sowohl um einzelne Objekte als auch einen Verbund mehrerer Objekte handeln. In dieser fachwissenschaftlichen Projektarbeit werden sämtliche Objekte, die in Produktionssystemen vorkommen aufgeführt und auf ihre Eigenschaften hin untersucht. Dabei werden die Objekte in mehrere Objektklassen aufgeteilt und geprüft welche Eigenschaften und Funktionalitäten diese mit sich bringen. Abschließend erfolgt eine Zuordnung der Objekte und Objektklassen zu den Elementen der Petri-Netz-Klasse Times Hierarchical Object-Related Net (THORN), die die Grundlage des vom Lehrstuhl ITPL zu entwickelnden Simulators bilden wird. Begonnen wird zunächst mit dem Aufzeigen der historischen Entwicklung des Produktionssystems. Anschließend werden die damit verbundenen Neuerungen herausgearbeitet und die wissenschaftlichen Grundlagen für diese Arbeit erläutert.

2. Die Entwicklung des modernen Produktionssystems

Der vom Lehrstuhl IPTL angedachte Simulator zielt darauf ab Unternehmen, die sich in einem rasant entwickelnden Unternehmensumfeld befinden, eine Methode an die Hand zu geben, mit der Management- und Produktionsentscheidungen auf ihren Erfolg hin bestmöglich getroffen werden können. Dieses Projekt fügt sich in die Zielsetzung des Lehrstuhls ein, der sich der Erforschung und Anwendung der Informationstechnologien für die Modellierung von Geschäftsprozessen, Systemarchitekturen, Optimierungsprozessen für Modelle und deren Simulation auf dem Schwerpunktgebiet der Produktion und Logistik verschrieben hat.²

Für die Entwicklung einer Übersicht aller Objekte in einem Produktionssystem, die als Grundlage des Simulators zu verstehen ist, ist es wichtig zu betrachten, wie sich das Produktionssystem bis heute entwickelt hat. In diesem Kapitel wird deshalb eine kurze Zusammenfassung über die historische Entwicklung gegeben.

Seit der ersten industriellen Revolution befindet sich der Produktionsprozess in einem stetigen Wandel. Mit dem Beginn der zweiten Hälfte des 19ten Jahrhunderts setzte eine stark beschleunigte Entwicklung der Technik, Produktivität und Wissenschaft ein, die begleitet wurde von einer starken Bevölkerungszunahme.³ Die entscheidende Veränderung war die Einführung der industriellen Produktion. Mit der Erfindung der Dampfmaschine waren die Produktionsprozesse nicht mehr an die Leistungsfähigkeit von Mensch und Tier gebunden. Es wurden größere und effizientere Maschinen entwickelt, was deutliche Vorteile mit sich brachte. Neue Arbeitsgebiete und -strukturen wurden erschlossen und haben die Unternehmensstrukturen maßgeblich verändert. So wurden zum Beispiel die Firmen nicht mehr zwangsläufig von einem Meister geführt, der seine Lehrlinge ausbildet, sondern von einem Unternehmer, der von oberster Stelle verantwortlich für mehrerer Meister war. Diese kontrollierten und beaufsichtigten stellvertretend für ihn einzelne Fertigungsabschnitte innerhalb der Produktionsfirma.

Die zweite industrielle Revolution ist in der Literatur zeitlich nicht einheitlich definiert. In der deutsch- und französischsprachigen Forschung wird sie zwischen 1870 und 1880 datiert. Als wesentlicher Bestandteil wird hier die Nutzung und

² Vgl. Rüger, L. (2016): o.S.

³ Vgl. Mirow, J. (2004): S.502f.

Weiterentwicklung der Elektrizität und der Aufstieg der Chemieindustrie der zweiten industriellen Revolution zugeordnet.⁴ Allgemein prägend für die Fortschritte der Produktionssysteme war die Einbindung der Forschung direkt ins Unternehmen. Die Entwicklungsabteilungen sorgten von nun an für den technischen Fortschritt und waren ausschlaggebend für die Marktposition des Unternehmens.⁵

Das Produktionssystem lässt sich in der Regel als Input-Throughput-Output-Prozess darstellen. Als Input werden im Sinne der klassischen Produktion, also der Primär-/Urproduktion und der sekundär-/industriellen-Produktion, materielle Güter bezeichnet. Diese werden im eigentlichen Produktionsprozess in ihrer Form, Größe oder in ihren physikalischen Eigenschaften verändert. Am Ende des Prozesses wird der Output, also das neue Gut, bereitgestellt.⁶

Gutenberg gilt als Begründer der Betriebswirtschaftslehre und charakterisiert in seinem Werk Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre aus dem Jahr 1951 erstmalig die Grundelemente eines Unternehmens. An diesen Grundelementen hat sich bis heute, zumindest für den primären und sekundären Sektor, kaum etwas verändert. Aus diesem Grund wird die Aufstellung der Objekte in einem Produktionssystem in dieser Arbeit daran angelehnt entwickelt.

Elementarfaktoren					
Werkstoffe			Betriebsmittel		menschliche Arbeitskraft
Rohstoffe	Hilfsstoffe	Betriebs- stoffe	materielle	immaterielle	

Elementare Produktionsfaktoren

Abb. 1: in Anlehnung an Gutenberg (1983): S.3ff.

Das Produktionssystem wird nach Gutenberg in die drei Basiselemente der Produktion den Werkstoffen, Betriebsmitteln und Arbeitskräften aufgeteilt. Diese bezeichnet er als Elementarfaktoren, mit Hilfe derer jeder Produktionsprozess

⁴ Vgl. Hahn, H.-W. (2011): S.42.

⁵ Vgl. Altena, B. u. van Lente, D. (2009): S.53f.

⁶ Vgl. Nebl, T. (2007): S.66f.

beschreiben werden kann. Dabei unterteilt Gutenberg die Werkstoffe weiter in Rohstoffe, also den Materialien, die verarbeitet werden, Hilfsstoffe, die bei der Herstellung in das Produkt mit einfließen und Betriebsstoffe, die zwar zur Produktion benötigt werden, aber keinen Einfluss auf das Endprodukt haben. Bei den Betriebsmitteln unterscheidet Gutenberg weiter zwischen materiellen und immateriellen. Dabei zählen zu den materiellen Betriebsmitteln beispielsweise sämtliche Produktionsanlagen und Betriebsdokumentationen. Auf der Seite der immateriellen Betriebsmittel sind vor allem das technische Knowhow der Mitarbeiter und die Erfahrungswerte des Unternehmens zu nennen. Als menschliche Arbeitskraft ist hier die Fähigkeit des Menschen gemeint, körperlich tätig zu werden. Die geistigen Fähigkeiten des Menschen bündelt Gutenberg in begleitenden Funktionen des Produktionsprozesses.⁷

dispositive Faktoren			
Leitung	Planung	Organisation	Überwachung

Dispositive Produktionsfaktoren

Abb. 2: in Anlehnung an Gutenberg (1983): S.3ff.

Ergänzend zu den Elementarfaktoren des Input-Throughput-Output-Prozesses, bezieht Gutenberg weitere Potenzialfaktoren in seine Definition der Produktion mit ein. Diese Potenzialfaktoren sind nicht unmittelbar an der Produktion beteiligt, sondern setzen vielmehr die Rahmenbedingungen der Produktion. Er unterteilt die Potenzialfaktoren in die vier Bereiche der Leitung, Planung, Organisation und der Überwachung.⁸

Als Folge der Veränderungen innerhalb des Produktionsprozesses durch die zweite industrielle Revolution wurden, wie in der Einführung bereits erwähnt, viele Ansätze und Methoden zur Optimierung der Produktion, des Produktionssystems und der Geschäftsprozesse entwickelt. Mit der dritten industriellen Revolution erhielt die Umwelt als neuer Gesichtspunkt Einzug in die Unternehmensführung. Sigmar

⁷ Vgl. Gutenberg, E. (1983): S.3ff.

⁸ Vgl. ebd.: S.3ff.

Gabriel, als damaliger Bundesumweltminister schrieb 2005 in der Agenda „Die Dritte industrielle Revolution – Aufbruch in ein ökologisches Jahrhundert“:

„Die erneuerbaren Energien haben einen weltweiten Siegeszug angetreten, der noch vor wenigen Jahren unglaublich schien. Sie werden nicht nur in Deutschland zu einem wichtigen Wirtschaftsfaktor und Beschäftigungsmotor. [...] Unternehmen stellen sich um und auf „grüne Märkte“ ein. [...] Die Marketingindustrie hat bereits eine neue soziale Gruppe identifiziert: Die Lohas (Lifestyle of Health and Sustainability) und ihr an Nachhaltigkeit orientierter Konsumstil.“⁹

Das veränderte Konsumverhalten in der Gesellschaft und die daraus resultierende Schnelllebigkeit der Märkte führten zu einer individualisierten Produktion. Eine höhere Sortenvielfalt bis hin zu Individualisierungswünschen von Kunden spielten auf einmal eine viel größere Rolle als bisher. Dies belegt auch eine Studie des Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation.

„Volatile Märkte, neue, global agierende Marktteilnehmer, schnelllebige Absatzmärkte, kundenspezifische Produkte und diffizile Produktionsprozesse erfordern jedoch flexiblere und reaktionsfähigere Produktionssysteme und -mitarbeiter. Gleichzeitig gilt es, das Niveau der Produktivität und Qualität unverändert hoch zu halten.“¹⁰, heißt es dort zum Thema der stabilen Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft. Diese Veränderungen des Konsumverhaltens wirkten sich direkt auf die Struktur der Produktionssysteme aus, um eben genau diesen neuen Anforderungen gerecht zu werden. In der Studie wird sogar schon die vierte industrielle Revolution angedeutet. Gemeint ist der Einzug moderner Medien und Kommunikationstechnik in die Arbeitswelt.

Die gesamte Entwicklung des Produktionssystems brachte viele neue und komplexe Aufgaben für die Unternehmensstrategie und das Management mit sich. Aus diesem Grund hat sich das Management heutzutage zu einem eigenen Fachgebiet in der Wissenschaft entwickelt.

Mit der Entwicklung des Produktionssystems haben sich hauptsächlich die einzelnen Teilgebiete innerhalb des Produktionssystems verändert und weiterentwickelt. Dabei

⁹ Gabriel, S. (2008): S.7.

¹⁰ Ganschar, O. u.a. (2013): S.4.

stehen vor allem die dispositiven Aufgabenfelder im Vordergrund. Die Produktionsfaktoren Leitung, Planung, Organisation und Überwachung lassen sich unter dem Begriff des Strategischen Managements vereinigen. Krüger bestätigt den Ansatz, dass „Forschung und Lehre auf dem Gebiet des Managements .. sich ... in den letzten Jahrzehnten eigenständig etabliert und von der allgemeinen Betriebswirtschaftslehre gelöst“¹¹ haben.

Das Aufgabenfeld des strategischen Managements baut in seiner Entstehung auf drei vorangegangene Entwicklungsstufen auf. In der Finanzplanung, die sich zum Ziel gesetzt hat die Erlöse, Kosten und den Finanzmittelbedarf für das nächste Jahr zu budgetieren, ging als zweiter Schritt die Langfristplanung hervor. Diese war nötig geworden, da seit Mitte der 50er-Jahre die veränderten Marktbedingungen, wie das gestiegene Wirtschaftswachstum oder das neue Konsumverhalten, dazu führten, dass die in der Finanzplanung einjährige Perspektive nicht mehr ausreichte um sich entsprechend gewinnbringend am Markt zu positionieren. Als letzte Phase vor dem strategischen Management gab es die strategische Planung. Diese erhöht nicht nur den Zeithorizont der Planung, sondern nimmt auch das gesamte Unternehmensumfeld in den Blick. Hervorgerufen durch die schnell fortschreitende Entwicklung des Unternehmensumfeldes und den Marktbedingungen, beschäftigt sich das strategische Management heute mit der Realisierung und Implementierung der Unternehmensstrategie. Die Unternehmensstrategie fundiert dabei auf einem umfassenden Blick auf die eigene Marktposition und vor allem die internen Grundlagen und Strukturen.¹² Die Entwicklung des Simulators wird in das strategische Management hineinwirken, weil die Ergebnisse mit ihrem Schwerpunkt der Arbeitsstrukturanalyse notwendige Anhaltspunkte zur Prozessoptimierung bieten. Bevor nun die technischen Grundlagen des Simulators aufgeführt werden, muss noch eine Erweiterung des Produktionsbegriffs vorgenommen werden.

In der heutigen Zeit wird nicht nur die klassische materielle Produktion unter dem Begriff Produktion zusammengefasst, sondern auch die immer wichtigere immaterielle Produktion. In Deutschland werden heutzutage beispielsweise 69% des Bruttoinlandsprodukts und 74% der Arbeitsplätze durch Dienstleistungsunternehmen

¹¹ Krüger, W. (2015): S.2.

¹² Vgl. Hungenberg, H. (2014): S.48ff.

erwirtschaftet. Das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie weist darüber hinaus auf die immer engere Verknüpfung der Dienstleistungen und der Güterproduktion hin.¹³ Auch Dienstleistungen lassen sich als Input-Throughput-Output-System darstellen. Als Input sind hier die verschiedenen Informationen, Kundenwünsche und Vorgaben zu interpretieren. Der Throughput ist ähnlich der klassischen Produktion der wesentliche Erschaffungsprozess in dem die Daten des Inputs in den gewünschten Output umgewandelt oder erzeugt werden.

Dies kann an dem Beispiel eines Auftrags zur Erstellung einer Homepage gut erläutert werden. Der Kunde tritt an ein Dienstleistungsunternehmen der IT-Branche heran und stellt bei der Auftragserteilung Anforderungen und Wünsche an das Endprodukt, die fertige Homepage. Dabei übergibt er aber auch Firmenwissen in Form von Daten und Dokumenten zum Arbeitsgebiet der Firma. Alle diese Daten können als Input in den Prozess aufgefasst werden. Das IT-Unternehmen erarbeitet nun aus dem Input des Kunden und den eigenen Knowhows die neue Homepage; dieser Prozess ist der Throughput. Am Ende des Produktionsprozesses steht in Form der Homepage, ein immaterieller Vermögenswert für den Kunden. Dieser Wert stellt den Output der Dienstleistungsproduktion dar.

Für diese fachwissenschaftliche Projektarbeit soll der Begriff der Produktion und der des Produktionssystems, sowohl für die materielle, als auch immaterielle, Produktion gelten, um einen möglichst umfassenden Überblick über die verschiedenen Einflussfaktoren zu ermöglichen und darauf aufbauend eine flexible und vielseitige Simulation erstellen zu können.

¹³ Vgl. BMWi (2016): o.S.

3. Technische Grundlagen und Grundbegriffe der THORN-Elemente

An dieser Stelle werden nun die thematischen Grundbegriffe und wissenschaftlichen Grundlagen, welche Bestandteile dieser Arbeit sind, aufgeführt und erklärt. Neben den äußeren Rahmenbedingungen, die bei der Erstellung des Simulators von Bedeutung sind, werden vor allem die verschiedenen THORN-Elemente mit ihren Eigenschaften und Erweiterungen vorgestellt. Dabei wird zuerst Bezug zu den Grundelementen, den Transitionen, Stellen, Kanten und Marken, der klassischen Petri-Netze genommen. Anschließend werden die Erweiterungen dieser Grundelemente durch das THORN-System vorgestellt. Darüber hinaus werden abschließend in diesem Kapitel die visuellen Darstellungsformen von THORNs, aber auch dem Klassen- und dem Objektdiagramm vorgestellt.

In einem ersten Schritt werden nun die Begriffe System und Simulation näher betrachtet und die Vorteile eines Simulators aufgeführt.

3.1 Simulation und System

Die Simulation ist eine Methode um möglichst frühzeitig und vor allem möglichst kostenneutral fundierte, gesicherte Entscheidungen in Bezug auf Personal, Finanzen oder Investitionen treffen zu können. Im Rahmen einer Simulation wird eine Abstraktion der Realität gebildet, um die nötige Funktionalität und Praktikabilität zu gewährleisten, mithilfe derer bestimmte Charakteristika des betrachteten Prozesses unter Berücksichtigung verschiedener Startwerte und Entscheidungen untersucht werden. Auf eine Simulation wird dann zurückgegriffen, wenn ein zu komplexes oder mathematisch nicht erfassbares System untersucht werden soll.¹⁴

Dabei ist ein System als Gesamtheit von Elementen definiert, die sich durch Beziehungen und Verknüpfungen von ihrer Umgebung abgrenzen. Innerhalb der Systemgrenzen können die Elemente miteinander interagieren. Um jedoch Beziehungen mit weiteren Elementen zu analysieren, muss eine Anpassung der Systemgrenzen vorgenommen werden. Dies impliziert wiederum, dass ein System als Zusammensetzung mehrerer Teilsysteme zu verstehen ist.¹⁵

¹⁴ Vgl. Neumann, S. u.a. (2008): S.401ff.

¹⁵ Vgl. Gabler Wirtschaftslexikon (2016): o.S.

Die Grundlage einer Simulation bildet immer die Modelldarstellung eines Systems. Unter einem Model wird nach dem Verband Deutscher Ingenieure (VDI) die Darstellung eines geplanten oder existierenden Systems verstanden, welches durch Vereinfachungen dargestellt wird und sich nur in wenigen, meist irrelevanten, Eigenschaften von dem Original unterscheidet.¹⁶ Im Rahmen einer Simulation werden anhand dieses Modells bestimmte Eigenschaften, Prozessparameter, Einflussgrößen oder Störeinflüsse genauer untersucht.

Bei der Modellierung von Systemen werden zuerst die Systemgrenzen festgelegt. Anschließend zerlegt man die Realität innerhalb der Grenzen in kleinere Teile und bildet sie im Simulator nach. Der Grad der Abstraktion, also wie präzise die Realität nachgebildet wird, ist abhängig von der Genauigkeit des gewünschten Ergebnisses. Dabei wird bedacht, dass jedes einzelne Element mit seinen relevanten Eigenschaften ausgestattet wird, es jedoch auch Eigenschaften gibt, die keinen Einfluss auf das Ergebnis haben und somit nicht abgebildet werden müssen.

In der IT werden diese einzelnen Elemente oder Teile als Objekte bezeichnet. Bei der informationstechnischen Realisierung werden die Objekte als Instanzen einer Klasse erzeugt.¹⁷ Bei diesem Schritt werden den Objekten konkrete Werte für die bereits vorher definierten Variablen zugewiesen. Im Rahmen der Modellbildung werden meist mehrere gleichartige Objekte erstellt und daher ist es sinnvoll den Programmieraufwand zu minimieren in dem ähnlichen Objekte zusammengefasst werden. Alle Objekte, die einer bestimmten Klasse zugeteilt sind, beziehungsweise als Instanzen der gleichen Klasse gebildet worden sind, übernehmen auch alle Eigenschaften dieser Klasse. Darüber hinaus übernehmen die Objekte auch die Eigenschaften der Basisklassen. Eine Basisklasse bezeichnet eine übergeordnete Klasse, die ihre Eigenschaften an die abgeleiteten Klassen vererbt. Am Ende der Programmierung besteht die Simulation aus vielen Objekten, die aus verschiedenen abgeleiteten Klassen und Basisklassen gebildet werden, die wie in einem Hierarchiebaum miteinander verknüpft sind. Damit einhergehend wird auch die Übersichtlichkeit des programmierten Simulators gesteigert.

¹⁶ Vgl. VDI (2014): S.3.

¹⁷ Vgl. Rabe, M (2013): o.S.

An einem kleinen Beispiel lässt sich verdeutlichen wie die Vererbung der Eigenschaften zu verstehen ist:

Wir definieren in einem ersten Schritt die Objektklasse „Fahrzeug“ und weisen ihr die Eigenschaft „Räder“ zu. Als zweiten Schritt können wir nun die Klassen „Auto“, „LKW“ und „Fahrrad“ erstellen. Wenn wir diese Klassen nun der Oberklasse „Fahrzeuge“ zuordnen erhält jede Klasse auch das Attribut beziehungsweise die Eigenschaft „Räder“. Nun können den drei Klassen zusätzlich Startwerte für die Eigenschaft „Räder“ zugeordnet werden, beim „Auto“ vier, dem „LKW“ vier oder mehr und beim „Fahrrad“ zwei. Die Zuweisung der Startwerte kann aber auch erst bei der Initialisierung der Objekte erfolgen.¹⁸

3.2 Die THORN-Elemente

Als Grundlage für jede Simulation sowie auch für fast jedes Programm wird eine Programmiersprache benötigt. Diese liefert einen Grundstock an Funktionen und Eigenschaften, auf die der Programmierer zurückgreifen kann. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass BIOS (basic input/output system), Betriebssysteme und Compiler/Interpreter nicht auf einer Programmiersprache basieren, sondern direkt in Maschinensprache geschrieben werden. Sie bilden die Grundfunktionen ab, auf der alle weiteren Programme aufbauen.¹⁹

Für den vom Lehrstuhl ITPL angestrebten Simulator wurde die Petri-Netz-Klasse der THORNs als Basis gewählt. Bei dieser speziellen Objektklasse handelt es sich nicht direkt um eine Programmiersprache, sondern um vorgefertigte Elemente, die in der eigentlichen Programmiersprache C++ erstellt wurden. Durch diese Kombination von Objekten in einer umfassenden Programmiersprache bietet sich dem Programmierer, über die bereits realisierten Funktionen der THORNs hinaus, eine umfangreiche Schnittstelle, um die zu erstellenden THORN-Objekte weiter zu spezifizieren.²⁰

¹⁸ Vgl. Rabe, M (2013): o.S.

¹⁹ Vgl. Balzert, H. (2005): S.72ff.

²⁰ Vgl. Schöf, S. (1997): S.35.

Die THORNs zeichnen sich, wie die meisten Petri-Netz-Klassen auch, durch die vier Komponenten Marken, Stellen, Transitionen und Kanten aus. Jedoch unterscheiden sich diese in ihrem Eigenschaftsspektrum deutlich von andern Ansätzen.

In klassischen Petri-Netz-Modellen wie dem Stellen-/Transitionen-System (S/T-System) sind Marken - oder im Englischen „Token“ - attributlose Objekte, die sich schrittweise durch die Simulation bewegen. Dabei können sie auf den Stellen gespeichert beziehungsweise gelagert werden. Wenn alle Vorbereichs- und Nachbereichsbedingungen der Transitionen erfüllt sind, werden die Marken über die Transition an eine nachfolgende Stelle weitergeleitet. Die Stellenkapazität gibt eine Beschränkung der maximal zulässigen Token auf einer Stelle an. Wenn diese Kapazität erreicht wird, kann die sogenannte Nachbereichsbedingung der vorangegangenen Transition nicht erfüllt werden. Zwischen Stellen und Transitionen gibt es verbindende Kanten. Jede Kante verfügt über ein Gewicht, das angibt wie viele Marken von der Stelle entfernt werden, wenn die nachfolgende Transition schaltet, beziehungsweise wie viele Marken von der Transition produziert werden und an die nachfolgende Stelle weitergegeben werden. Die Transitionen sind die intelligenten Schalter der Netze. Für Transitionen können verschiedene Bedingungen definiert werden. Diese betreffen die Stellen, die durch eine Kante mit der Transition verbunden sind und in der Schaltreihenfolge vor der Transition liegen. Diese Bedingung wird als Vorbereichsbedingung bezeichnet. Sind alle Vorbereichsbedingungen erfüllt, wird diese Transition als aktiv bezeichnet. Den Vorgang, dass die Transition schaltet, bezeichnet man als Feuern. Zu beachten ist, dass eine Stelle mit mehreren Transitionen durch Kanten verbunden sein kann. Hier kann es vorkommen, dass durch Schalten der ersten Transition die Vorbereichs- oder Nachbereichsbedingungen einer zweiten Transition nicht mehr erfüllt sind.²¹ Es gibt verschiedene Konzepte mit diesen Situationen umzugehen. Eine intensive Betrachtung dieser besonderen Konzepte würde jedoch zu weit über die Zielsetzung dieser Arbeit hinausgehen.

Neben der Implementierung in die Programmiersprache C++ wurde für die vier Komponenten der THORNs eine umfangreiche Erweiterung der Eigenschaften vorgenommen. Entgegen der klassischen Sichtweise, dass Marken als passive

²¹ Weiterführende Informationen sind in entsprechender Fachliteratur zu finden.

Daten und Stellen als Sammelcontainer für diese Marken fungieren, sind alle Komponenten als aktive Objekte vergleichbar mit den Transitionen konzipiert.²² THORN-Netze zeichnen sich vor allem durch ihre Fähigkeit aus, auch komplexe Zeitabläufe darzustellen. Dies ermöglicht dem Programmierer, beziehungsweise am Ende dem Nutzer des Simulators, die Realität des Prozesses sehr exakt abzubilden und damit sehr genaue und vor allem aussagekräftige Ergebnisse erzielen zu können.

Im nächsten Schritt werden nun die verschiedenen Erweiterungen der THORNs vorgestellt. Dabei ist der Blick auf die möglichen verschiedenen Zeiten, auf die im Simulator zurückgegriffen werden kann, zu beachten. Die THORN-Elemente mit ihren Erweiterungen werden nun der Reihe nach aufgeführt.

Für die Komponente der Transitionen gehören die Schaltdauer, Schaltkapazität und Verzögerungszeiten zu den Eigenschaften und Funktionen, die in THORNs zusätzlich realisiert sind. Die **Schaltdauer** ist zusammen mit den Marken über einen Zeitstempel verwirklicht. Die Anfangsmarkierungen erhalten zum Simulationsstart den Zeitstempel 0. Gleichzeitig wird eine globale Systemzeit definiert, die mit jedem Simulationsschritt fortgezählt wird. Ein Simulationsschritt gilt dann als beendet, wenn keine Transition mehr aktiv ist und alle schaltfähigen Transitionen gefeuert haben. Im THORN-Konzept ist keine Zeiteinheit fest mit den Simulationsschritten verbunden, so dass diese für jede Simulation und damit den Abstraktionsgrad des Modells festgelegt werden kann. Die Transitionen können nur mit Marken schalten, wenn der Zeitstempel der Marken kleiner oder gleich der globalen Systemzeit ist. Nach dem Feuern der Transitionen werden die Zeitstempel der generierten Marken angepasst. Der neue Wert ergibt sich aus der Summe der aktuellen Systemzeit und der Schaltdauer der Transition. Hervorzuheben ist, dass auch eine Schaltdauer von 0 zugelassen ist. Dies führt dazu, dass mehrere Transitionen im gleichen Simulationsschritt nacheinander aktiv werden; birgt aber auch die Gefahr, dass die Simulation nicht terminiert, also in einer Endlosschleife hängen bleibt.²³ Die **Schaltkapazität** gibt an, wie oft eine Transition im selben Simulationsschritt feuern darf. Durch die Schaltkapazität kann somit eine Transition in einem Arbeitsschritt

²² Vgl. Schöf, S. (1997): S.29.

²³ Vgl. ebd.: S.45f.

mehrfach durchgeführt werden, wenn dies die Vor- und Nachbereichsbedingungen der Transition zulassen.²⁴ Eine weitere Modifizierung der Transitionen ist die **Verzögerungszeit**. Diese bestimmt wie viele Simulationsschritte benötigt werden, um die Transition auf das Feuern vorzubereiten. Sobald die Vorbereichsbedingungen der Transition erfüllt sind, läuft die Verzögerungszeit. Nach Ablauf der Verzögerungszeit werden nun sowohl die Vor- als auch die Nachbereichsbedingungen erneut geprüft. Sind genügend Kapazitäten vorhanden sind, beginnt die Transition zu feuern.²⁵ Diese drei Erweiterungen bieten einen großen Vorteil gegenüber dem klassischen Petri-Netz, da deutlich genauere Abläufe erstellt werden können. Jedoch reichen diese Erweiterungen alleine noch nicht für eine optimale Grundlage für die Simulation von Produktionsabläufen.

Die Stellen werden daher im THORN-Konzept um verschiedene **Stellenstrukturen** erweitert. Normale Stellen sind ursprünglich als Bag konzipiert. Die englische Bezeichnung Bag, im Deutschen Sack, ist auf seine Funktion zurück zu führen. Alle Marken werden unsortiert auf der Stelle gesammelt und zufällig, natürlich unter Berücksichtigung der Kantenbeschriftung und Transitionsvorschrift, wieder, wie aus einem großen Sack, zufällig entnommen. Als erste Strukturweiterung für die Stelle ist die Bezeichnung Queue zu nennen. Der Stellentyp Queue, also Schlange, zeichnet sich als eine Stelle aus, die nach dem „first in, first out“-System (FiFo-System) arbeitet. Der nachfolgenden Transition steht also nur die Marke zur Verfügung, die als erstes dort abgelegt wurde. Beim Stack, auf Deutsch Stapel, handelt es sich um das umgekehrte System zur Markenentnahme. Nur die zuletzt abgelegte Marke kann von der Transition verwendet werden. Abschließend wurde noch der Typ der Priorityqueue-Stelle hinzugefügt. Dies ist eine frei gestaltbare Stelle, bei der der Programmierer eine Funktion definieren kann, die jeder Marke beim Eintreffen eine Priorität zuordnet. Die nachfolgende Transition kann nun nur die Marke mit der höchsten Priorität verwenden.²⁶ Diese Stellenstrukturen ermöglichen es vor allem Materialflüsse, aber auch Informationsflüsse, genauer abzubilden.

Auch die Kanten, also die Verbindungen zwischen Stellen und Transitionen können weiter spezifiziert werden. Zum einen stellen die **Kantengewichte** beim Modellieren

²⁴ Vgl. Schöf, S. (1997): S.47f.

²⁵ Vgl. ebd.: S.53ff.

²⁶ Vgl. ebd.: S.52f.

eines Systems unterschiedlich hohe Verbräuche und Ergebnisse der Transitionen dar. Mit dem Gewicht wird angegeben wie viele Marken die Transition von einer Stelle entnimmt, beziehungsweise wie viele Marken auf der nachfolgenden Stelle beim Feuern generiert werden.²⁷ Für THORN-Netze gibt es neben der normalen Kante, wie sie bereits beschrieben wurde, noch **drei weitere Varianten**. Diese haben gemein, dass sie nur als Vorbereichskanten, also Kanten zwischen Stellen und Transition, verwendet werden dürfen. Wie auch bei anderen Petri-Netz-Varianten gibt es die Testkante. Sie verbraucht beim Feuern der Transition keine Marken von den verknüpften Stellen. Die Inhibitorkante zeichnet sich dagegen dadurch aus, dass sie nur schalten kann, wenn die über die Inhibitorkante verbundene Stelle leer ist. Sie kann beispielsweise verwendet werden, um einen leeren Lagerplatz wieder auffüllen zu lassen. Die dritte Kante, die in THORNs realisiert ist, ist die konsumierende Kante. Beim Feuern der Transition leert die konsumierende Kante die Vorbereichsstelle vollständig. Um eine eindeutige Trennung der verschiedenen Kanten zu gewährleisten wird die Standardkante noch in eine Eingangskante und Ausgangskante unterteilt.²⁸

Wie oben bereits beschrieben, sind in THORN-Netzen alle Objekte als aktive Elemente ausgeführt. Für die Marken bedeutet dies, dass sie mit vielen Eigenschaften und Funktionen ausgestattet werden können; sie werden daher als **attributierte Marken** bezeichnet. Jede Marke entspricht der Instanz einer C++Klasse und bietet dadurch den Transitionen, über entsprechende „public“ Funktionen, die Möglichkeit auf die verschiedenen Funktionen und Attribute zu zugreifen. Ergänzend werden noch zwei neue Funktionen, die Schaltbedingung und die Schaltaktion den Marken direkt hinzugefügt. Unter der Schaltbedingung werden weitere Forderungen an die Marken gespeichert, die den aktuellen Zustand im Sinne der möglichen Verfügbarkeit beeinflussen. Um eine Transition zu aktivieren, müssen nun alle Vorbereichsbedingungen und zusätzlich auch die Schaltbedingungen erfüllt werden. Mit der Schaltaktion kann nun festgelegt werden, welche Werte der Marken nach dem Feuern der Transition modifiziert werden. Sowohl die Schaltbedingung als auch die Schaltaktion werden in der grafischen Darstellung und auch der technischen

²⁷ Vgl. Schöf, S. (1997): S.47.

²⁸ Vgl. ebd.: S.48f.

Realisierung durch Beschriftungen der Kanten mit Variablennamen vorgenommen. Um die verschiedenen Marken kontrolliert zu leiten, können Stellen auf bestimmte Marken eingeschränkt werden.²⁹

Abschließend ist noch eine Erweiterung der THORN-Elemente zu nennen, die zur Vereinfachung der Petri-Netz-Struktur dient. Über so genannte Aufruftransitionen können Unternetze gestartet werden. Bei einem Unternetz handelt es sich um ein eigenes THORN-Netz, welches die Startbedingungen der Stellen vor der Aufruftransition mittels der so genannten Sharestelle abrufen. Sharestellen sind eine Kopie der originalen Stellen und sie können während der Simulation auch Marken von diesen entnehmen oder am Ende des Unternetzes wieder zurückgeben. Ein Unternetz kann zusätzlich über spezielle Ende-Transitionen abgebrochen werden. Diese Struktur ermöglicht es dem Programmierer auf der einen Seite einzelne Bereiche der Simulation gesondert zu betrachten und auf der anderen speziellen Bereiche nachträglich genauer zu modellieren ohne die Simulation komplett zu überarbeiten.³⁰

Mit dieser Vielzahl an Funktionen bietet diese Petri-Netz-Variante der THORN-Elemente eine besonders flexible Basis für den Simulator des Lehrstuhls. Mit Hilfe der THORN-Elemente lassen sich Produktionsprozesse gut und umfänglich abbilden. Bevor nun die einzelnen Objekte und Objektklassen der Produktionssysteme aufgeführt werden, folgt im nächsten Abschnitt eine Übersicht über die verschiedenen Darstellungsformen um den Modellierungsprozess grafisch festhalten zu können.

²⁹ Vgl. Schöf, S. (1997): S.49ff.

³⁰ Vgl. ebd.: S.55ff.

3.3 Darstellung von Objekten und Objektklassen in der UML

Zum Abschluss der technischen Grundbegriffe und Grundlagen werden nun die Darstellungsformen für die verschiedenen Elemente des Simulators vorgestellt. Die vorgestellten Diagrammtypen und Abbildungsformen orientieren sich an der Unified Modeling Language (UML).

Die UML-Struktur ist eine Sammlung verschiedener Diagramme, mit der unterschiedliche Abläufe, Probleme und Systeme vereinfacht dargestellt werden können. Darüber hinaus werden auch Standards, Bezeichner und besondere Notationen festgelegt.

Auf eine grafische Darstellung von Systemen wird zurückgegriffen, weil sie es dem Betrachter ermöglichen komplexe und komplizierte Sachverhalte schnell wahrzunehmen und verständlich zu machen. Hingegen ist eine textliche Darstellung meist schwierig und benötigt in der Verarbeitung mehr Zeit. UML stellt vor allem in der Softwareentwicklung ein wichtiges Bindeglied zwischen den verschiedenen Herangehensweisen auf die Aufgabenstellung dar. Auf der einen Seite bietet UML dem Programmierer eine maschinensprachennahe Darstellung, die auf der anderen Seite auch dem Bediener einen verständlichen Ablauf aufzeigt. Daher hat sich UML als ein standardisierter Weg zur visuellen Systemdarstellung durchgesetzt und erhält in immer mehr Arbeitsgebiete Einzug.³¹

Die UML-Diagramme werden in die zwei Hauptgruppen der Struktur- und Verhaltensdiagramme unterteilt. Zur Darstellung der Elemente des Simulators werden für diese Projektarbeit nur zwei der sieben verschiedenen Strukturdiagramme benötigt. Als Erstes sind die Klassendiagramme zu nennen, mit Hilfe derer sich die Zusammenhänge der Klassen und ihre Hierarchie untereinander darstellen lassen.

Im Klassendiagramm werden Klassen als Rechtecke dargestellt. Ganz oben steht in fett gedruckter Schrift der Bezeichner also der Name der Klasse. Als nächstes folgen nach einem horizontalen Trennstrich die Attribute/Eigenschaften mit einer Bezeichnung und optional nach einem weiteren horizontalen Trennstrich die Operationen/Funktionen (siehe Abb.3).

³¹ Vgl. Czuchra, W. (2010): Vorwort.

Bezeichnung / Name
Attribut / Bezeichnung
Operation / Funktion ()

UML: Klassendiagramm

Abb. 3: Eigene Darstellung

Vor dem Bezeichner der Attribute und Operatoren wird durch ein Symbol die Sichtbarkeit angegeben. Durch ein „+“ wird dargestellt, dass es sich um einen „public“ Wert handelt, auf den von überall zugegriffen werden kann. Das nächste Symbol „#“ schränkt den Zugriff auf die eigene Klasse und alle dazugehörigen Unterklassen ein. Mit einem „-“ Zeichen ist der Zugriff nur noch innerhalb der Klasse möglich.³² Nach dem Bezeichner kann mit einem Doppelpunkt die Angabe des Typs des Attributes eingeleitet werden. In der UML sind fast alle elementaren Datentypen zugelassen. Die wichtigsten sind für ganze Zahlen der Typ INT, für natürliche Zahlen BYTE, für Gleitkommazahlen DOUBLE, für logische Werte BOOL und für Text CHAR. Darauf folgend kann mit einem Gleichheitszeichen der Startwert des Attributes gesetzt werden.

Bei den Operatoren folgt auf den Bezeichner eine Klammer in der die Parameter festgelegt werden, mit der der Operator arbeitet. Dies wird ähnlich wie bei den Attributen durch Angabe des Namens und nach einem Doppelpunkt des Typs festgelegt, wobei mehrere Parameter durch Kommata getrennt werden. Abschließend wird nach der Klammer mit den Parametern nach einem Doppelpunkt der Rückgabebetyp festgelegt.

³² Vgl. Czuchra, W. (2010): S.62f.

Bezeichnung / Name
+Attribut / Bezeichnung: Typ = Wert
- Attribut / Bezeichnung: Typ =
#Attribut / Bezeichnung: Typ = Wert
+Operation / Funktion (Par: Typ = Wert): Typ
- Operation / Funktion (Par: Typ = Wert): Typ
#Operation / Funktion (Par: Typ = Wert): Typ

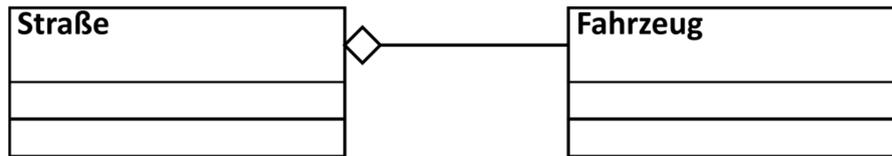
UML: Klassendiagramm mit Parametern

Abb. 4: Eigene Darstellung

Neben der Darstellung einzelner Klassen können in einem Klassendiagramm auch Beziehungen zwischen verschiedenen Klassen dargestellt werden. Zum einen ist die Generalisierung zu nennen. Wie in Kapitel 3.1 bereits erläutert, können Klassen ihre Attribute an andere Klassen vererben. Dies wird mit einer Verbindungskante mit einer leeren Pfeilspitze dargestellt, die auf die Basisklasse zeigt. Eine Assoziation beschreibt, dass eine Verbindung zwischen den Klassen existiert. Dabei wird mittels einer Multiplizität angegeben wie viele Klassen mit der anderen verknüpft werden. Im Klassendiagramm erkennt man eine Assoziation an einer einfachen Verbindungskante auf deren Ende die Multiplizität angegeben ist.

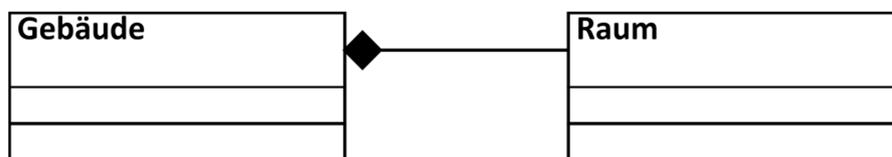
Dabei werden in der UML zwei Spezialfälle der Assoziation besonders dargestellt. Es handelt sich um den häufigen Fall, dass eine Klasse einen Teil des Ganzen darstellt. Der Unterschied zwischen den beiden Spezialfällen liegt in der möglichen Existenz der Klasse, die das Ganze darstellt, unabhängig von der Klasse, die ein Teil davon ist. Das bedeutet, wenn einer Klasse mindestens ein Element der anderen Klasse zugeordnet sein muss, dann bezeichnet man dies als Komposition (Zusammensetzung) und zeichnet im Diagramm eine gefüllte Raute ans Ende der Verbindungskante. Der andere Spezialfall benötigt nicht unbedingt eine Verbindung zu einer anderen Klasse. Demnach kann die Klasse unabhängig davon, ob ihr weitere Klassen zugeordnet sind, existieren. Diese wird als Aggregation bezeichnet und mit einer ungefüllten Raute dargestellt.

Vereinfacht kann dies auch an einem Beispiel gezeigt werden:



UML: **Zwei Klassen verknüpft als Aggregation**

Abb. 5: Eigene Darstellung



UML: **Zwei Klassen verknüpft als Komposition**

Abb. 6: Eigene Darstellung

Wir nehmen die im Beispiel oben bereits definierte Klasse „Fahrzeug“ und bilden eine weitere Klasse „Straße“. Um den Straßenverkehr abzubilden wird „Fahrzeuge“ der „Straße“ zugeordnet. Dabei kann es vorkommen, dass es Straßen gibt auf denen kein Fahrzeug fährt und somit diese Klasse „Straße“ unabhängig der „Fahrzeug“-Klasse existieren kann. Hier handelt es sich um eine Aggregation. (Die Elemente der Klasse „Fahrzeuge“ können aber immer nur einer „Straße“ zugeordnet werden.)

Anders verhält es sich bei einem Gebäude. Dies kann ohne einen Raum nicht existieren; es handelt sich also um eine Komposition.

Der zweite Diagrammtyp sind die Objektdiagramme, die jedes einzelne Objekt mit seinen Attributen und Operationen darstellen. Neben dem Klassendiagramm wird in dieser Arbeit auch noch das Objektdiagramm aus dem UML-System verwendet. Dieses weist viele Parallelen zum Klassendiagramm auf, was auf die Tatsache zurück zu führen ist, dass Objekte als Instanzen einer Klasse gebildet werden.

Objekte werden ebenfalls als Rechteck dargestellt, wobei der Bezeichner wieder in einem durch eine Trennlinie abgetrennten Bereich steht. Dabei setzt sich der Bezeichner durch einen Namen und auf einen Doppelpunkt folgend der Bezeichner der zugehörigen Klasse zusammen. Eine Besonderheit der UML ist, dass sowohl auf

einen eindeutigen Namen, als auch auf eine Zuordnung der Klasse (des Typs) verzichtet werden kann, wenn diese noch unbekannt sind oder nicht spezifiziert werden können. Umgekehrt können aber auch gleich mehrere Zuordnungen eines Objektes durch Angabe der Typen getrennt durch Kommata vorgenommen werden.

Neben den reinen Objekten kann mithilfe von sogenannten Beziehungskanten eine Verbindung der Objekte dargestellt werden. Diese ersetzen die im Klassendiagramm vorgestellte Assoziation. Darüber hinaus kann die Verbindung mittels eines Bezeichners auf der Beziehungskante weiter charakterisiert werden.

Im Vergleich zum Klassendiagramm lassen sich so bestimmte Abläufe besser veranschaulichen. Daher dienen Objektdiagramme häufig als Ergänzung zu Klassendiagrammen, sie können aber auch als Einstieg in die Modellierung genutzt werden, um die notwendige Struktur herauszuarbeiten.

4. Objekte im Produktionssystem nach Gutenberg

In diesem Abschnitt werden nun die Objekte, die in einem Produktionssystem vorkommen, aufgeführt. Dabei werden die Eigenschaften der Objekte untersucht und überprüft, in wie weit sie Bestandteil des Simulators sein müssen. Wie in Kapitel drei bereits dargelegt, handelt es sich bei Objekten um Instanzen von Klassen und somit werden nun genau genommen die verschiedenen Klassen eines Produktionssystems aufgeführt, aus denen dann im Simulator die entsprechenden Objekte durch Eingabe der Parameter gebildet werden. Diese Einteilung bildet die Grundlage für die Zuordnung der Objekte und Objektklassen zu den einzelnen THORN-Elementen, welche für den vom Lehrstuhl ITPL zu entwickelnden Simulator notwendig sind.

Bei der Aufzählung der Objekte wird die Struktur von Gutenberg wieder aufgegriffen, die bereits in Kapitel 2 vorgestellt wurde. Anschließend folgen weiterer Ergänzungen, die dem beschriebenen Model von Gutenberg für eine Vollständigkeit der Objekte in einem Produktionssystem noch hinzugefügt werden müssen.

4.1 Werkstoffe: Rohstoffe, Hilfsstoffe und Betriebsstoffe

Als ersten Produktionsfaktor nach Gutenberg wird der Bereich Werkstoffe auf seine Objekte hin untersucht. Werkstoffe sind verschiedenste Materialien, die im Rahmen des Produktionsprozesses verarbeitet werden und maßgeblich die Endprodukte bestimmen. In seinem Modell unterteilt Gutenberg den Bereich der Werkstoffe in drei Untergruppen. Er benennt Rohstoffe, Hilfsstoffe und Betriebsstoffe.³³

Bei den Rohstoffen handelt es sich um die Ausgangsmaterialien aus denen die Endprodukte hergestellt werden. In der Werkstoffkunde unterteilt man diese Gruppe weiter nach Metallen, Nichtmetallen, organischen Stoffen, anorganischen nichtmetallischen Stoffen und Halbleitern. Für all diese Materialien gibt es verschiedenste Eigenschaften, die im Rahmen einer umfassenden Programmierung des Simulators in den Blick genommen werden müssen. Dabei sind nicht alle Eigenschaften für jede Objektklasse von gleicher Bedeutung, sodass teilweise in der Datenbank eine Vorauswahl erfolgt. Eine erste Unterteilung der Eigenschaften kann

³³ Vgl. Gutenberg (1983): S.1ff.

mit Hilfe der Bereiche Physik, Chemie, Technik und Ökologie vorgenommen werden. Innerhalb der physikalischen Eigenschaften werden diese zusätzlich in elektrische, wie zum Beispiel die elektrische Leitfähigkeit, mechanische, wie die Härte, Festigkeit oder Dichte, optisch/akustische, als Beispiel sind hier die Lichtbrechung, Reflexion und Schallreflexion zu nennen, tribologische, zum Beispiel die Reibzahl, thermische, wie die Wärmeausdehnung, Wärmeleitfähigkeit oder die Kaltzähigkeit und sonstige physikalische Eigenschaften, wie den Magnetismus, unterteilt. Der Chemie werden zum Beispiel die Eigenschaften der Säurebeständigkeit, Brennbarkeit oder die antimikrobielle Wirkung zugeordnet. Zu den technologischen Eigenschaften zählen unter anderem die Gießbarkeit, Umformbarkeit, Schweißbarkeit und die Zerspanbarkeit. Den ökologischen Eigenschaften werden die Merkmale zugeordnet, die im Zusammenhang mit der Herstellung, Verwendung, Lagerung und Transport in Bezug auf den Rohstoffeinsatz, Emissionen und den Energieverbrauch von Bedeutung sind, sowie die Verträglichkeit für Mensch und Umwelt.

Alle Eigenschaften dieser Bereiche noch vertiefender zu analysieren würde jedoch den Schwerpunkt dieser Arbeit verlagern. Für die Simulation von Produktionsprozessen spielen vor allem die technologischen Eigenschaften eine Rolle und sollten daher im Rahmen einer Werkstoffdatenbank in den Simulator eingepflegt werden können.

Die Werkstoffe, die als wesentliches Material den Produktionsprozess durchlaufen, benötigen in der Simulation eine entsprechende Flexibilität. Dies kann durch die Darstellung als Marke realisiert werden. Durch die Erweiterung zur attributierten Marke bietet sie den nötigen Speicherplatz um die Werkstoffe vollständig darzustellen. Als Basis für den Simulator ist daher zu empfehlen eine umfassende Datenbank anzulegen, die die Werkstoffe als Marke realisiert und deren Eigenschaften als Attribute speichert. Die Herausforderung wird sein, den angemessenen Realisierungsgrad zu erreichen, weil abhängig von den Anforderungen und Aufgaben des Unternehmens, das den Simulator verwendet, auch verschiedenste Eigenschaften von Bedeutung sind. Im Zuge der Entwicklung hin zur digitalen Fabrik macht es deswegen Sinn eine Schnittstelle zu entwickeln, die auf andere Datenbanken zurückgreift, in denen diese Informationen bereits enthalten sind. Dabei kann es sich beispielsweise um Werkstoffdatenbanken handeln, die dann als Ausgangspunkt für die weitere Realisierung genutzt werden, als auch um

Datenbanken mit Normteilen und anderen vorgefertigten Maschinenelementen, die in der Simulation direkt integriert werden können.

Als nächsten Baustein zur Beschreibung von Produktionssystemen sind die Hilfsstoffe zu nennen. Unter der Rubrik Hilfsstoffe sind die Materialien eingeordnet, die im Gegensatz zu den Rohstoffen nur einen geringeren Anteil am Wert des endgültigen Gesamtproduktes ausmachen und geringen bis keinen Einfluss auf die charakteristischen Eigenschaften des Produktes ausüben. Im Hinblick auf die Erstellung des Simulators ist an dieser Stelle jedoch keine Unterscheidung zu den Rohstoffen nötig, sie könnte lediglich aus Gründen der Übersichtlichkeit separat hinzugefügt werden. Dies birgt jedoch die Gefahr, dass Stoffe in einem Produkt nur den Wert eines Hilfsstoffes darstellen und in einem anderen als wesentlicher Rohstoff verwendet werden.

Als letzten Bestandteil der Werkstoffe werden die Betriebsstoffe aufgeführt. Darunter versteht man all die Materialien, die zwar im Rahmen der Produktion verbraucht werden, aber keine Bestandteile des Endproduktes bilden. Als Beispiel sind hier Büromaterialien, Maschinenpflegemittel oder andere Ressourcen zu nennen. Nicht alle Betriebsstoffe werden im Rahmen der Simulation des Produktionsprozesses benötigt, da diese den Detaillierungsgrad zu hoch setzen und kaum Einfluss auf das Simulationsergebnis ausüben, jedoch können sie trotzdem in der Werkstoffdatenbank als attributierte Marken, wie alle anderen Werkstoffe auch, erfasst werden.

4.2 Betriebsmittel: materielle und immaterielle

Neben den Werkstoffen wird im Produktionssystem eine weitere materielle Objektgruppe betrachtet. Dabei handelt es sich um die Gruppe der Betriebsmittel. Als Betriebsmittel gelten die Objekte eines Unternehmens, die die technischen Voraussetzungen für die Produktion darstellen. Um Unternehmen für die Simulation genau nachbilden zu können, müssen die Grenzen bewusst gesetzt werden. Neben Maschinen und Anlagen gehören auch die Grundstücke, Gebäude, Fahrzeuge, sowie die Betriebs- und Geschäftsausstattung mit Büromöbeln, Elektronik, Computerhardware, Lager- und Werkshalleneinrichtungen, sowie sämtliches Zubehör und Werkzeuge, zu den Betriebsmitteln.

Ergänzt werden diese aber auch noch um die immateriellen Betriebsmittel. Kesten schreibt dazu in seiner Arbeit über die Grundlagen von dynamischen Investitionskennzahlen zum Controlling von Lebenszykluskosten für Betriebsmittel, dass zu den Ressourcen des Life Cycle Costing „nicht nur die klassischen industriellen Betriebsmittel (wie bspw. [sic] technische Anlagen, Fabrikgebäude oder Fuhrpark) [zählen], sondern vermehrt auch immaterielle Assets wie bspw. [sic] Softwarelizenzen und sogar im externen Rechnungswesen nicht bilanzierungsfähige Aktivitäten wie bspw. [sic] selbst erstellte Patente oder der Aufbau eines eigenen Managementnachwuchses.“³⁴

Als Baustein in dem flexiblen Simulator des Lehrstuhl ITPL muss dieser Bereich daher mit besonderem Interesse betrachtet werden. Abhängig von der Komplexität und dem gewünschten Realisierungsgrad verfügen diese Objekte über eine Vielzahl von Eigenschaften und Funktionen, die wesentlich das Simulationsergebnis, als auch die Modellierungsmöglichkeiten, beeinflussen.

An dieser Stelle werden nun einzelne Objekte aus dem Bereich der Betriebsmittel genauer analysiert. Das Grundstück des Unternehmens bildet die Basis für alle anderen Objekte. Es ist wichtig die Größe und Maße genau zu kennen. In den weiteren Modellierungsschritten wird das Grundstück dann durch die nächsten kleineren Betriebsmittel Stück für Stück aufgeteilt. Weil die unbeweglichen materiellen Betriebsmittel einen festen Platzbedarf haben, kann ihnen ein Standort

³⁴ Kesten, R. (2009): S.1.

zugeordnet werden. Als weiterer Baustein sind die Betriebsgebäude in der Simulation anzulegen. Ergänzend zu den Größenmaßen, stellen hier auch entsprechende Anschlüsse für Strom, Gas oder Wasser eine wichtige Eigenschaft dar. Außerdem können entsprechende Frei-, Park- und Lagerflächen als Gebäude interpretiert werden. Daher ist auch die Eigenschaft der Kapazität von Bedeutung.

Sollte sich das Unternehmen über mehrere Standorte erstrecken, ist neben den einzelnen Standorten mit ihren Grundstücken auch die Entfernung zwischen ihnen zu bestimmen, um die Transportwege und die damit verbundenen Lieferzeiten im Simulator abbilden zu können. Dabei können die möglichen Transportmöglichkeiten, wie Lastkraftwagen, Bahn, Schiff oder Flugzeug, je nach Produkt variieren.

Neben den Transportmitteln und Wegen stellen die Materiallager einen weiteren wichtigen Bestandteil im Produktionsablauf dar. Die Logistik zwischen verschiedenen Standorten, aber auch die innerbetrieblichen Abläufe, werden heutzutage genauestens kontrolliert und koordiniert. Im Rahmen der Simulation müssen hier neben der Lagerkapazität auch die verschiedenen Materialflusstypen exakt abgebildet werden. An dieser Stelle wird auf Kapitel 3.2 verwiesen, in dem bereits die entsprechenden Arten der Lagerplätze auf Ebene der THORN-Elemente als Stellenstruktur aufgeführt sind.

Als weiterer Punkt in der Auflistung wesentlicher Betriebsmittel sind die Produktionsanlagen zu nennen. Sämtliche Maschinen lassen sich hinsichtlich vieler Kriterien unterteilen. Zur Bausteinentwicklung sind die Anlagen anhand ihrer Arbeitsaufgabe oder ihrer Transformationsfunktion zu differenzieren. Als Arbeitsaufgabe werden Ver- und Entsorgungsfunktionen, sowie Schutz- und Ausstattungsfunktionen, verstanden. Zu den Transformationsfunktionen zählen das Urformen, Umformen, Trennen, Fügen, Beschichten und die Stoffeigenschaftsänderung. Jeder Vorgang zeichnet sich durch verschiedene Parameter aus. Beim Trennen sind beispielsweise die verschiedenen Bewegungs- und Schnittgeschwindigkeiten ausschlaggebend und beim Umformen sind vor allem die Kräfte und Maße der Formelemente beziehungsweise der Formänderungsfaktor die relevanten Daten.

Bei den Betriebsmitteln lässt sich keine generelle Zuordnung der Objekte zu einem Typ der THORN-Elemente vornehmen. Deshalb wird im Folgenden geprüft, wie sich die verschiedenen Betriebsmittel im THORN-System darstellen lassen. Die Standorte und Gebäude können in einer groben Betrachtung als Transition im Simulator

realisiert werden. Der Input wird darin im Rahmen des Produktionsprozesses in den Output verwandelt. Für eine detaillierte Analyse zur Unterstützung von Entscheidungen reicht diese Sicht nicht aus. Daher kann aus den Standorten und Gebäuden durch Unternetzaufrufe, welche bei den THORNs möglich sind, der Realisierungsgrad Schritt für Schritt verfeinert werden.

Ebenfalls als Transition dargestellt werden die Produktionsmaschinen. Sie erzeugen bei Produktionsunternehmen die wesentliche Wertschöpfung und liegen daher auch im besonderen Interesse der Unternehmensleitung, da hier ein großes Optimierungspotenzial, sowohl für die finanziellen als auch ablauforganisatorischen Gesichtspunkte, liegt. Von besonderer Bedeutung bei den Produktionsmaschinen sind die verschiedenen Maschinenparameter. Diese haben Einfluss auf Bearbeitungszeiten, Materialflüsse und Verbräuche. Die Schwierigkeit liegt darin dies im Simulator abzubilden. Neben der reinen Darstellung der Maschinen als Transition, werden durch die Produktionsmaschinen aber auch die Verzögerungszeiten, Schaltdauer, Kantengewichte und Schaltkapazitäten durch verschiedene Arbeitsabläufe beeinflusst. Es ist möglich diese Verfeinerungen als Unternetzaufruf abzubilden. Dieser Ansatz wird im Kapitel 5 noch einmal genauer aufgegriffen und erarbeitet.

Zu den Betriebsmitteln zählen jedoch auch die Materiallager. Es sei darauf hingewiesen, dass in dieser Arbeit sowohl materielle wie immaterielle Güter betrachtet werden und die Bezeichnung Materiallager auch für die Lagerung von immateriellen Gütern verstanden wird. Für diese Lager ist die Transition als THORN-Element nicht geeignet. Für Lager bieten die Stellen den idealen Vertreter in der Simulation dar. Durch die verschiedenen Stellenstrukturen, können Arbeitsabläufe, Informationsbearbeitung und –weitergaben, sowie Materialbestände hervorragend abgebildet werden. Ergänzend zu den Materialbeständen, können Materialbewegungen über Kanten abgebildet werden. Transportwege, und die damit verbundenen Transportzeiten, können als Verzögerungszeit in die Simulation mit eingebracht werden.

4.3 Mensch

Der letzte Elementarfaktor den Gutenberg nennt, ist die menschliche Arbeitskraft. Da der Mensch sowohl körperliche als auch geistige Arbeit verrichtet, können auch die

dispositiven Faktoren dem Menschen zugeordnet werden. Im Handbuch der Produktionswirtschaft wird dies an der Definition zur Produktionstheorie deutlich:

„Im Sinne der Produktionstheorie ist der Mensch ein Potentialfaktor mit der angeborenen und erworbenen Fähigkeit, körperliche und geistige Arbeit zu leisten.“³⁵

An der bewussten Unterscheidung zwischen körperlicher und geistiger Arbeit des Menschen von Gutenberg ist zu erkennen, dass diese Aufgaben verschiedene Kernkompetenzen beinhalten und beanspruchen. Zum Simulieren der Geschäftsprozesse muss der Mensch also aufgrund seiner verschiedenen Funktionen unterschiedlich modelliert werden.

Die menschliche Arbeitskraft wird durch die Eigenschaften Ausdauer, Stärke, Belastbarkeit, Stimmung, Wohlbefinden, Motivation und vieles weitere bestimmt. Den individuellen Menschen im Rahmen einer Simulation des Produktionsprozesses in dieser Form zu erfassen, macht jedoch kaum einen Sinn, da individuelle Eigenarten und subjektive Entscheidungskriterien nicht zu programmieren sind. Im Rahmen der Simulation sollte die menschliche Arbeitskraft, also der Baustein Mensch, durch die maximale Arbeitszeit und die Vorgaben und Richtwerte des Arbeitsschutzes definiert werden, wie beispielsweise die maximale Traglast für Männer oder Frauen.

Das geeignete THORN-Element um den Menschen als Arbeitskraft nach der Anschauung von Gutenberg zu erstellen, ist die attributierte Marke. Die verschiedenen Eigenschaften, Einschränkungen und Vorgaben können hier abgelegt werden. Als Marke ist der Mensch flexibel über Kanten und daran angeknüpfte Verzögerungszeiten durch die Simulation zu bewegen.

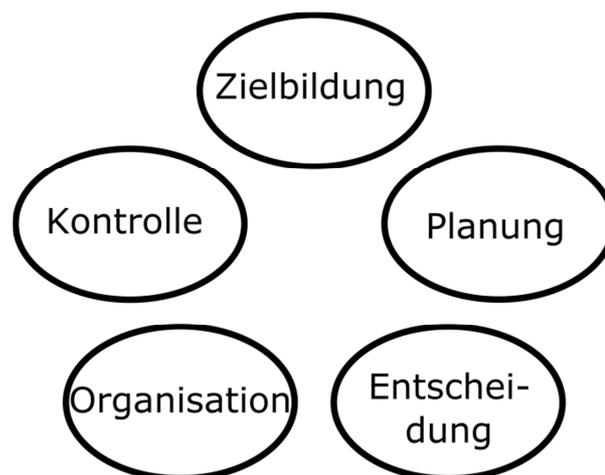
Auf diese Weise lassen sich alle Elementarfaktoren in einer Simulation durch THORN-Elemente verwirklichen. Bereits jetzt mussten alle Typen, die das THORN-System bietet, verwendet werden. Im nächsten Abschnitt erfolgt nun die Betrachtung der dispositiven Produktionsfaktoren.

³⁵ Kern, W. u.a. (1996): S.1502.

4.4 Dispositive Produktionsfaktoren

Der Mensch tritt, wie oben bereits beschrieben, auch noch bei verschiedenen dispositiven Aufgaben als handelnde Person auf. Ähnlich zu dem Modell von Gutenberg werden in dieser Arbeit diese Aufgaben losgelöst vom Individuum Mensch realisiert. Dies birgt den Vorteil, dass klare Entscheidungen durch logische Regeln und Gesetzmäßigkeiten getroffen werden und dem Produktionssystem wird dadurch eine klare Struktur gegeben.

Die dispositiven Aufgaben finden sich heute üblicherweise in der Managementebene der Unternehmen wieder. Die Managementlehre beschreibt die dispositiven Produktionsfaktoren im so genannten Managementkreislauf und fügt dort zu den dispositiven Faktoren zusätzlich das Unternehmensziel als Aufgabe hinzu.



Managementkreislauf

Abb. 7: nach Krüger, W. (2015): S.4.

Diese fünf Elemente des Managements Zielbildung, Planung, Entscheidung, Organisation und Kontrolle beinhalten verschiedene Aufgaben, die das Produktionssystem prägen. Aus diesem Grund folgt nun eine Überprüfung in wie weit sich diese Aufgaben als THORN-Objekte realisieren lassen.

Im Rahmen der Simulation eines Produktionssystems ist das Unternehmensziel jedoch nicht direkt von Bedeutung. Zwar kann die Simulation als Werkzeug dienen die Unternehmensziele zu erreichen, bietet jedoch kaum Möglichkeiten den Produktionsprozess zu beeinflussen und zu steuern. Aus der Zielbildung heraus kann jedoch der Auftrag entstehen, welche Bereiche, Aufgaben oder Probleme, beispielsweise durch eine Simulation, genauer analysiert werden müssen.

Das zweite Element des Managementkreislaufs, die Planung, ist hingegen von besonderer Bedeutung für den zu entwickelnden Simulator. In der Wissenschaft werden die Planungsfunktionen in einem Unternehmen dem Teilgebiet des Produktionsmanagements zugeordnet.

„[...] die Aufgaben des Produktionsmanagement [...] bestehen in der Planung dessen, was, womit und wie zu produzieren ist. Zur Realisierung der geplanten Zielstellungen sind organisierende und steuernde Tätigkeiten notwendig.³⁶“

Die besondere Bedeutung der Planung liegt in dem Ziel des Simulators. Dieser soll genau in diesem Bereich eingesetzt werden und helfen die bestmögliche Entscheidung zu treffen. Die möglichen Entscheidungen beginnen bei der Abwägung, welche Aufträge angenommen oder abgelehnt werden, in welcher Reihenfolge die angenommenen Aufträge abgearbeitet werden und enden bei der Entscheidung hinsichtlich der Investition in neue Produktionsmaschinen und sogar neue Produktionsstandorte.

Die Realisierung dieser Planungsfunktion kann in Bezug auf den Simulator auf verschiedenste Weise erfolgen. Einige Planungsfunktionen werden durch die Gesetzmäßigkeiten und Regeln der verschiedenen Objekte indirekt mit in die Simulation eingebracht. Eine Möglichkeit konkret Planungsfunktionen abzubilden ist sie als zwischengeschaltete Stelle zu realisieren. Unter den Stellen gibt es den Typ Priorityqueue, der hier eine mögliche Wahl ist. Dieser Typ verwertet Marken anhand von zugeordneten Prioritäten. Zur Steuerung des Prozesses können somit Aufträge anhand dieser Wertigkeiten abgearbeitet werden. Die Simulation liefert dann unter geänderten Prioritäten andere Ergebnisse. Ein anderes Konzept ist die Verwendung einer Queue Stelle, welche nach dem FIFO-System arbeitet und somit eine einfachere Auftragssteuerung darstellt.

Ein komplett anderer Ansatz ist es Entscheidungen anhand verschiedener Simulationen auf ihren Erfolg hin zu überprüfen. Gemeint ist der Austausch einzelner Produktionsmaschinen durch neue oder andere Maschinen um zu schauen, welche die besten Ergebnisse liefern. Natürlich kann beispielweise auch ein Augenmerk auf die verschiedenen Lager- und Logistiksysteme gelegt werden in dem andere

³⁶ Nebl, T. (2007): S.604.

Stellenstrukturen verwendet werden oder die Verzögerungszeiten eines Kanban-Systems, welche die Häufigkeit der Belieferung beeinflusst, verändert werden.

Die Managementfunktion Entscheidung stellt im Simulationsprozess wiederum eine Herausforderung dar. Dieses Aufgabengebiet bestimmt anhand der Ergebnisse der Simulationen die nächsten endgültigen Handlungsschritte. Aus diesem Grund ist eine Implementierung dieser Funktionen in den Simulator nicht nötig.

Die letzten beiden Schritte im Managementkreislauf sind Organisation und Kontrolle. Diese sind gleichzusetzen mit den dispositiven Aufgaben Leitung, Organisation und Überwachung nach den Anschauungen von Gutenberg. Im Kern geht es bei diesen Faktoren um die richtige, dem Unternehmensziel und damit auch der Produktionsplanung folgende, Kombination der Elementarfaktoren. Diese Abläufe sind nur schwer in einem Simulator abzubilden. Sie fließen jedoch durch die Gesetzmäßigkeiten, die in dem Bereich der Planung entstehen, indirekt bereits mit in die Simulation ein. Abweichungen von diesen Vorgaben werden nicht abgebildet, da eine Simulation erstmal ein idealisierter Prozess ist, frei von Maschinen- oder Personalausfällen, ungeplanten Auftragseingängen oder anderen unvorhersehbaren Ereignissen, welche Einfluss auf den Produktionsprozess nehmen. Diese Aussage muss insoweit relativiert werden, als dass Ausfälle in Form von Ausfallzeiten und –häufigkeiten, die auf Erfahrungswerten basieren, natürlich in die Simulation mit eingebracht werden. Aus Sicht der Simulation handelt es sich dabei jedoch um den normalen Programmablauf und bedarf daher keiner zusätzlichen Implementierung. Die Simulation kann aber wiederum beim konkreten Eintreten solcher Ereignisse helfen die beste Entscheidung zu treffen, indem eben diese neuen Umstände als neue Grundlage eingebaut werden.

Bei der Analyse des Modells von Gutenberg in Bezug auf die Modellbildung für einen Simulator hat sich gezeigt, dass es eine Vielzahl von Objektklassen gibt. Zudem wurde herausgearbeitet, dass sich das Modell nicht im kompletten Umfang als THORN-Netzwerk darstellen lässt. Dies ist darauf zurück zu führen, dass unter anderem menschliche Entscheidungen, sowie unvorhersehbare Ereignisse nur bedingt im Simulator abgebildet werden können.

Im nächsten Kapitel wird untersucht, ob und wie das Modell von Gutenberg erweitert werden muss, um alle Unternehmen, die sich unter dem Begriff Produktionsunternehmen vereinen, abbilden zu können.

5. Ergänzungen zum Modell nach Gutenberg

Das Modell von Gutenberg spiegelt nur Produktions- und Industriebetriebe gut wieder. Deswegen muss für einen umfassenden Simulator geprüft werden, welche Erweiterungen der Objektbereiche nötig sind, um den bedeutenden tertiären Sektor, der sich durch Dienstleistungen auszeichnet, angemessen abzubilden.

Bevor dies erarbeitet wird, soll in dem nächsten Schritt erst geschaut werden, ob das Modell von Gutenberg alle Objekte beinhaltet, die für die Simulation eines Produktions- und Industriebetriebes vorhanden sein müssen. Hierfür wird geprüft, ob aus den oben aufgeführten Objekten weitere Bausteine ersichtlich werden, welche Bereiche noch genauer betrachtet werden müssen und welche Vereinfachungen eventuell notwendig sind.

Durch eine umfassende Datenbank für Roh- Hilfs- und Betriebsstoffe bietet der Bereich der Werkstoffe kaum einen Ansatzpunkt weitere Objekte abzubilden. Bei den Werkstoffeigenschaften können aber Werte vorhanden sein, die durch Umweltbedingungen beeinflusst werden. Umweltbedingungen zeichnen sich jedoch durch eine sehr komplexe Struktur und viele mathematische Zusammenhänge aus. Nichtsdestotrotz können Umweltgrößen zum Beispiel als Teil von Funktionen für Abkühlkurven einzelner Objekte in den Simulator integriert werden. Im Bezug auf die Produktion hat vor allem die Temperatur eine gewisse Bedeutung. Für realitätsnahe Simulationen kann die Temperatur daher auch als ein Unternetz, mit gewissen Einschränkungen zur Realität, losgelöst von anderen Zusammenhängen, modelliert werden. Eine Möglichkeit ist Wärmeenergie als attributierte Marken aufzufassen, die von Maschinen, Werkstücken und anderen Wärmequellen produziert werden. Auf normalen Bag-Stellen können diese Marken gesammelt werden und anhand der Anzahl an Marken können Rückschlüsse auf die Temperatur gezogen werden. Als Transitionen modellierte Kühlelemente können diese Marken verbrauchen und so die Temperatur wieder senken. Um größere Räume und Werkshallen zu simulieren, kann mit einem Netzwerk aus mehreren Bag-Stellen und Transitionen, die so konfiguriert sind, dass sie den natürlichen Wärmeausgleich abbilden, gearbeitet werden. Auf diese Weise kann durch ein feinmaschiges Netzwerk von Bag-Stellen eine Annäherung an die Realität abgebildet werden.

Diese Herangehensweise ist natürlich auch für andere Umweltgrößen möglich, es bleibt jedoch abzuwägen, ob dieser Realisierungsgrad für die zu überprüfenden Entscheidungshypothesen angebracht ist.

Eine weitere Ergänzung abhängig von den Systemgrenzen ist die Einbindung von anderen Kreislaufsystemen. Ähnlich wie die Modellierung der Temperatur, kann es auch für die Analyse von Energie, Wasser, Abwasser oder Druckluft vorgefertigte Bausteine geben. Diesen Kreisläufen wird im Zuge der ökologischen Gesichtspunkte immer größere Bedeutung zugemessen und sie sollten daher auch im Simulator nicht vernachlässigt werden.

Ergänzend zu den einzelnen Objekten kann die Datenbank auch vorgefertigte Bausteine, die als Unternetz gebildet werden, enthalten. Zur schnelleren Modellierung der Produktionssysteme bieten vor allem die Produktionsmaschinen ein großes Potential, da diese Objekte standardisierte Zeit- und Arbeitsabläufe haben. Im Baustein einer Maschine können beispielsweise direkt die Funktionen Rüsten, Werkzeugwechsel, Werkstückwechsel und Wartung realisiert werden. Dabei werden die Arbeitsvorgänge als Transitionen dargestellt und die Arbeitszeit als Verzögerungszeit eingepflegt.

Weitere Bausteine können die Elemente von Lagersystemen sein. Hier sind vor allem Transportwege und die damit verbundenen Zeiten ins Auge zu fassen. Neben Lagersystemen kann jedoch auch die Erweiterung zu Logistiksystemen wie dem Kanban-System als Baustein erstellt werden. Wie oben bereits beschrieben werden die Lager als ein Netz aus Stellen realisiert und die Arbeitsabläufe über Transitionen abgebildet.

Neben diesen Ergänzungen zum Modell von Gutenberg für den Bereich der Produktionsunternehmen, werden nun die Veränderungen zur Darstellung des tertiären Sektors erarbeitet. Anzumerken ist, dass auch die Produktionsunternehmen durch die Bereiche Materialbeschaffung, An- und Verkauf, sowie Marketing und Öffentlichkeitsarbeit Arbeitsgebiete beinhalten, die dem Dienstleistungssektor zugeordnet werden müssen und daher im Modell nicht umfassend abgebildet werden können.

In einem ersten Schritt wird nun der von Maleri geprägte Begriff des externen Faktors betrachtet, der als eine Ergänzung zu den elementaren Produktionsfaktoren zu verstehen ist. Maleri kennzeichnet die Dienstleistungsproduktion als „vielfach .. unkörperliche[s], also unsichtbare[s] und ungreifbare[s], eine geistige Leistung, ein

substanzloses Gut.“³⁷ Den externen Faktor beschreibt Maleri dabei als den Input durch den Auftraggeber. Dieser Input in den Produktionsprozess kann sowohl aktiv wie passiv erfolgen. Gemeint ist beim aktiven Input, dass der Auftraggeber direkt in die Leistungserstellung des Prozesses mit einbezogen sein kann. Der Fall des passiven Inputs liegt hingegen dann vor, wenn durch den Auftraggeber nur immaterieller Input in Form von Kundenwünschen, Kundendaten oder Vorgaben mit einfließt. Für den Simulator des Lehrstuhls bedeutet dies eine Ergänzung um das Objekt des Auftraggebers. Anders als bei der menschlichen Arbeitskraft, die über Arbeitsvorgaben definiert wurde und den dispositiven Produktionsfaktoren, ergibt sich hier die Herausforderung ein relativ komplexes Objekt zu entwickeln. Fungiert der Auftraggeber als aktives Element, kann auf eine ähnliche Darstellung wie bei der menschlichen Arbeitskraft zurückgegriffen werden. Hier zählen in erster Linie die materiellen Werte und Eigenschaften, die problemlos in den attribuierten Marken gespeichert werden können. Jedoch beinhaltet auch der aktive externe Faktor für Dienstleistungen immer immaterielle Funktionen. Diese Vorgaben können ebenfalls als attribuierte Marken simuliert werden. Die Besonderheit liegt darin, dass diese Funktionen bei Übergabe an den Auftragnehmer losgelöst von dem aktiven Objekt frei in der Simulation bewegt und bearbeitet werden können. Dieser Prozess kann mittels einer Transition realisiert werden. Von der Vorbereichsstelle wird beim Feuern die Marke des Auftraggebers entnommen und die Transition produziert über die Ausgangskanten zwei Marken, mit den getrennten Objekten.

Als eine weitere Ergänzung zum Modell nach Gutenberg ist der Faktor Zeit von hoher Bedeutung. Schenk beschreibt als einer der ersten Wissenschaftler die Bedeutung der Zeitproblematik vor allem für den Bereich der Handelswirtschaft.³⁸ Hier stehen Unternehmen, wie in der Einleitung bereits beschrieben, vor der Situation schnelllebigere Märkte und dem hohen Konkurrenzdruck durch den globalen Markt. Daraus resultieren die Erfordernisse schnellen Handelns und der Druck auf die Forschung sich durch Innovationen rentabel am Markt zu positionieren. Darüber hinaus steht die Zeit auch bei der Wertschöpfung im Dienstleistungssektor direkt als zentraler Faktor im Blickfeld. Zur Erstellung immaterieller Produkte rückt die

³⁷ Maleri, R (1994): S.82.

³⁸ Vgl. Schenk, H.-O. (1991): S.277.

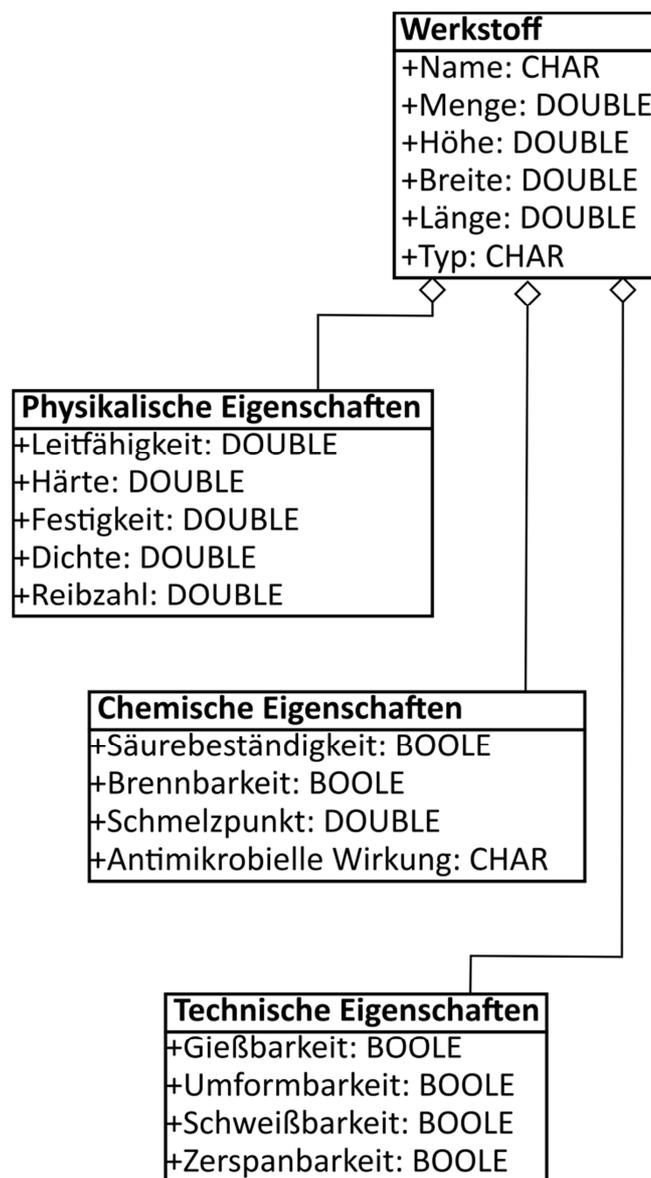
menschliche Arbeitskraft eher in den Hintergrund und wird von der reinen Arbeitszeit dominiert, die ausschlaggebend für den Fortschritt und die Qualität der Dienstleistung ist. Das Konzept der THORNS ist prinzipiell auf Zeitabläufe und deren Simulation ausgelegt. Die Herausforderung den Faktor Zeit abzubilden liegt jedoch in der Komplexität der Aufträge und Unberechenbarkeit des notwendigen Zeitaufwands. Zur Darstellung in der Simulation muss für die verschiedensten Arbeitsaufgaben eine Datenbank aus Erfahrungswerten für die Verzögerungszeiten zur Erstellung ebendieser Aufgaben angelegt werden. Jeder einzelne Arbeitsschritt kann dann als Transition mit der ermittelten Verzögerungszeit realisiert werden und übergibt nach deren Beendigung die Ergebnisse als attributierte Marke an den nächsten Arbeitsschritt weiter.

Eine andere Ergänzung der Produktionsfaktoren ist der Faktor Wissen. Dieser Faktor stellt für die Unternehmen, hier sowohl Produktions- als auch Dienstleistungsunternehmen, einen immens wichtigen Wert dar. In den Unternehmen fließt Wissen an vielen Stellen in die Produktion mit ein; sei es bei der Arbeit an Werkstücken, Planung von Abläufen oder der Erstellung von Dienstleistungen. In Bezug auf das THORN-Netz zeigt sich eine ähnliche Problematik wie bei dem Faktor Zeit. Der immaterielle Wert Wissen kann nicht einfach abgebildet werden. Für den Simulator bedeutet dies jedoch nicht, dass das Wissen nicht realisiert ist, da es direkt bei der Entstehung der Modelle unter anderem durch den Aufbau, die abgebildeten Prozesse und die Arbeitsabläufe bereits im Simulator eingebracht ist.

In der Wissenschaft werden noch weitere Ergänzungen zum Modell von Gutenberg vorgenommen. So kann das Modell für die Finanzbranche um einen monetären Faktor oder für andere Anwendungsfälle wie Versicherungen oder die öffentlichen Dienstleistungen speziell erweitert werden. Diese Erweiterungen bieten jedoch kein Potenzial für zwingend neue Objekte, die als Basis für den Simulator dienen können. Finanzmittel können beispielsweise als materieller oder immaterieller Werkstoff aufgefasst werden und so als attributierte Marke in die Simulation einfach integriert werden.

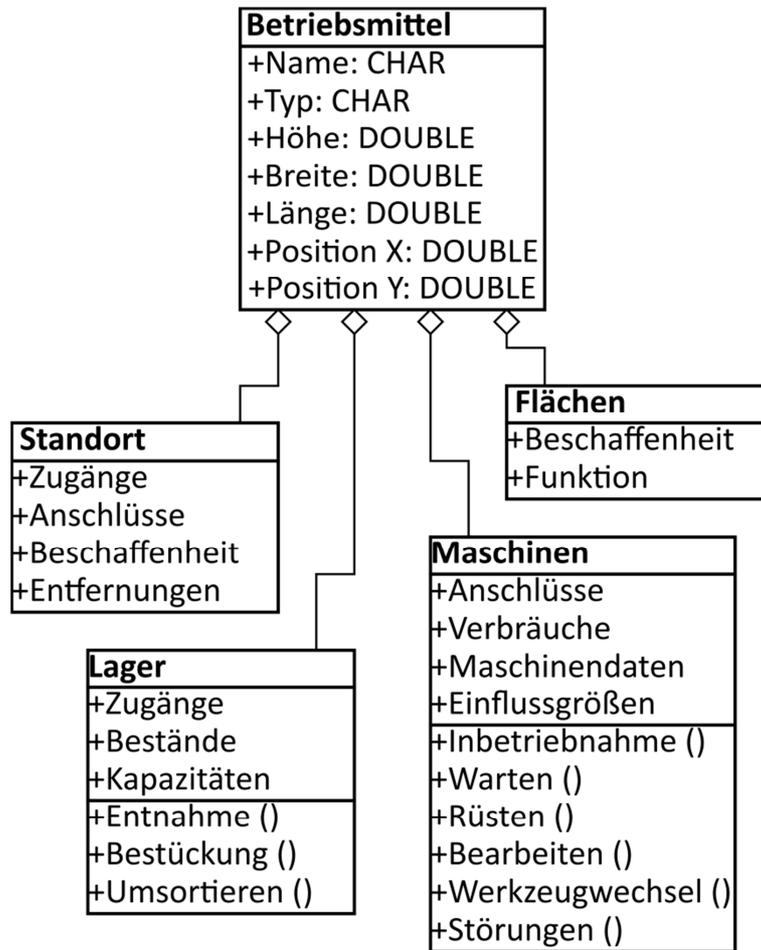
6. Übersicht der Klassen als Basis für den Simulator

Abschließend werden die in dieser Arbeit herausgearbeiteten Objektklassen als UML-Klassendiagramm oder UML-Objektdiagramm erfasst. Dabei ist es wichtig zu beachten, dass es viele Angriffspunkte gibt, die verschiedenen Objektklassen weiter zu unterteilen und weitere Eigenschaften zu benennen. Mit den folgenden Darstellungen sollen lediglich die Grundelemente aufgezeigt werden und ihre für den Simulator relevanten Attribute bestimmt werden. Dabei wird auf eine zusätzliche Erklärung in schriftlicher Form verzichtet.



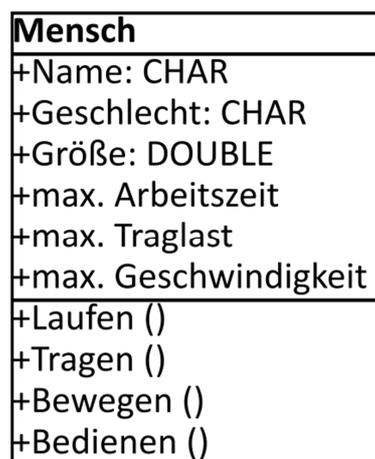
UML: Klassendiagramm der Werkstoffe

Abb. 8: Eigene Darstellung



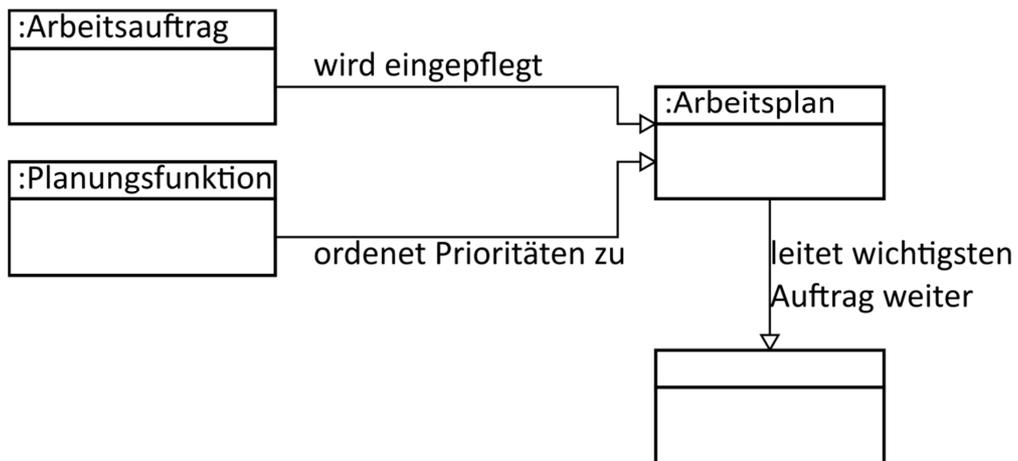
UML: Klassendiagramm der Betriebsmittel

Abb. 9: Eigene Darstellung



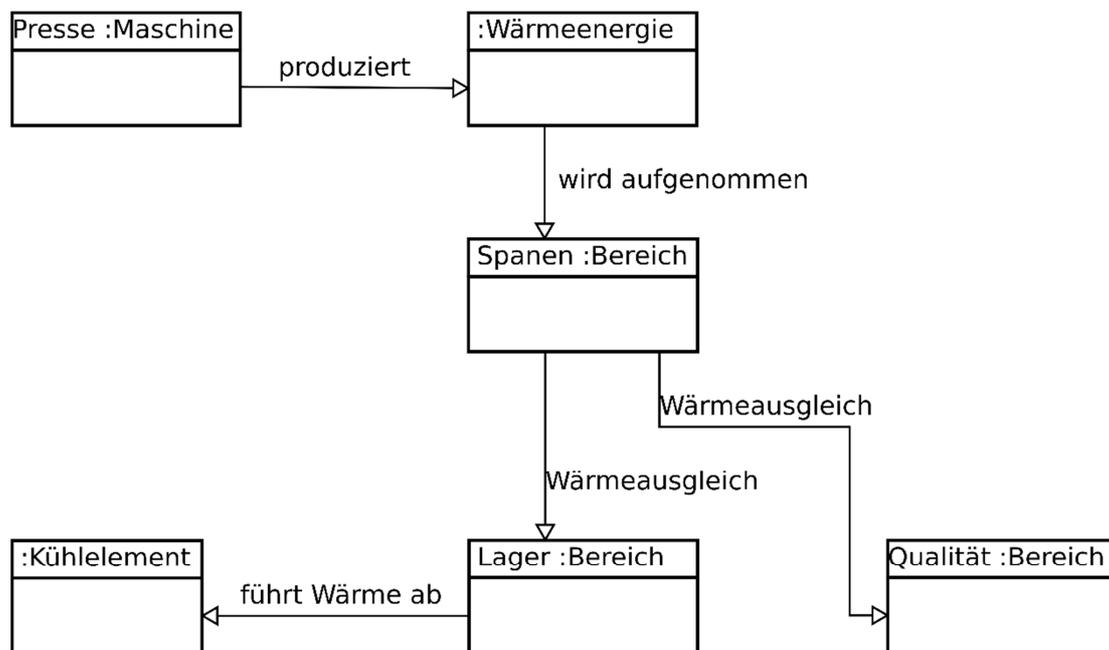
UML: Klassendiagramm des Menschen

Abb. 10: Eigene Darstellung



UML: Objektdiagramm einer Planungsfunktion

Abb. 11: Eigene Darstellung



UML: Objektdiagramm eines Wärmekreislaufs

Abb. 12: Eigene Darstellung

7. Abbildungsverzeichnis

Abb. 1:	Elementrare Produktionsfaktoren.....	6
Abb. 2:	Dispositive Produktionsfaktoren.....	7
Abb. 3:	UML: Klassendiagramm.....	20
Abb. 4:	UML: Klassendiagramm mit Parametern.....	21
Abb. 5:	UML: Zwei Klassen verknüpft als Aggregation.....	22
Abb. 6:	UML: Zwei Klassen verknüpft als Komposition.....	22
Abb. 7:	Managementkreislauf.....	31
Abb. 8:	UML: Klassendiagramm der Werkstoffe.....	38
Abb. 9:	UML: Klassendiagramm der Betriebsmittel.....	39
Abb. 10:	UML: Klassendiagramm des Menschen.....	39
Abb. 11:	UML: Objektdiagramm einer Planungsfunktion.....	40
Abb. 12:	UML: Objektdiagramm eines Wärmekreislaufs.....	40

8. Literaturverzeichnis

Altena, B. u. van Lente, D. (2009): Gesellschaftsgeschichte der Neuzeit 1750-1989, Göttingen, Vandenhoeck & Ruprecht GmbH & Co KG

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2016): Dienstleistungen, unter: <http://www.bmwi.de/DE/Themen/Mittelstand/Mittelstandspolitik/dienstleistungen,did=239884.html> (abgerufen am 06.07.2016)

Czuchra, W. (2010): UML in logistischen Prozessen - Graphische Sprache zur Modellierung der Systeme, 1. Auflage, Wiesbaden, Vieweg + Teubner Verlag | Springer Fachmedien Wiesbaden

Gabler Wirtschaftslexikon (2016): Stichwort: System, Springer Gabler Verlag, unter: [35/Archiv/3210/system-v12.html](http://www.gabler.de/35/Archiv/3210/system-v12.html) (abgerufen am 30.06.2016)

Gabriel, S (2008): Die Dritte industrielle Revolution – Aufbruch in ein ökologisches Jahrhundert, Berlin, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Ganschar, O. u.a. (2013): Produktionsarbeit der Zukunft – Industrie 4.0, Stuttgart, Fraunhofer IAO (Dieter Spath)

Gutenberg, E. (1983): Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre - Die Produktion, 24., unveränderte. Auflage, Berlin Heidelberg New York, Springer-Verlag

Hahn, H.-W. (2011): Die industrielle Revolution in Deutschland, 3., durchgesehene und um einen Nachtragerweiterte Auflage, München, Oldenbourg Verlag

Hungenberg, H. (2014): Strategisches Management im Unternehmen: Ziele – Prozesse – Verfahren; 8. Aufl., Wiesbaden, Springer Gabler

Kern, W. u.a. (1996): Handwörterbuch der Produktionswirtschaft, zweite, völlig neu gestaltete Auflage, Stuttgart, Schäffer-Poeschel Verlag

Kesten, R (2009): Controlling von Lebenszykluskosten für Betriebsmittel auf der Grundlage dynamischer Investitionskennzahlen; unter: <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/38584/1/611689227.pdf> (abgerufen am 30.06.2016)

Krüger, W. (2015): Unternehmensführung, Stuttgart, Schäffer-Poeschel

Mirow, J. (1996): Geschichte des deutschen Volkes: Von den Anfängen bis zur Gegenwart, Bd. 1., 3. neu bearbeitete Auflage, Gernsbach, Katz

Maleri, R. (1994): Grundlagen der Dienstleistungsproduktion, Dritte, vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer Verlag

Nebi, T. (2007): Produktionswirtschaft, 6., vollständig überarbeitete und erweiterte Auflage, München Wien, Oldenbourg Verlag

Neumann, S. u.a. (2008): Prozessmanagement-Simulation von Geschäftsprozessen, 7. Auflage, Berlin, Heidelberg, Springer-Gabler Verlag

Rabe, M. (2013): Skript: IT-Systeme in der industriellen Produktion, Dortmund, TU-Dortmund

Schöf, S. (1997): Verteilte Simulation höherer Petrinetze, Oldenburg, unv. Diss. Universität Oldenburg

Schenk, H.-O. (1991): Marktwirtschaftslehre des Handels, Wiesbaden, Gabler Verlag

VDI (2014): VDI-Richtlinie 3633- Blatt 1, Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen - Grundlagen, Düsseldorf, Verein Deutscher Ingenieure e.V.

Wenzel, S. u.a. (2008): Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik - Planung und Durchführung von Simulationsstudien, Berlin, Springer

Rüger, L. (2016): Aktuelles unter <http://www.itpl.mb.tu-dortmund.de/cms/de/Fachgebiet/Aktuelles/> (abgerufen am 06.07.2016)

Eidesstattliche Erklärung

„Ich erkläre hiermit an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegeben Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und auch noch nicht veröffentlicht.“

.....

Ort, Datum

.....

Unterschrift