



Masterarbeit

Strukturiertes Vorgehen zur Steigerung der Effizienz einer Simulation von Fertigungssystemen

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industrielle Logistik

Vorgelegt von:

Andreas MADLENCNIK
0435108

Betreuer/Gutachter:

Mag.rer.soc.oec. Gert Breitfuß
Univ.-Prof. Mag.et Dr.rer.soc.oec. Helmut Zsifkovits

Leoben, 11.03.2010

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Andreas MADLENCNIK

Leoben, am 11.03.2010

Danksagung

Wie auch der Erfolg einer Simulationsanwendung vom Engagement von mehr als nur einem Prozessbeteiligten abhängig ist, ist das Ergebnis der vorliegenden Diplomarbeit ebenfalls das Resultat der Mitwirkung einer Vielzahl an wichtigen Persönlichkeiten.

Ich danke Herrn Peter Biersack für die Ermöglichung der praxisnahen Verfassung der Diplomarbeit an einem Arbeitsplatz der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg, für die regelmäßige Unterstützung unter anderem durch Feedbackrunden und der Förderung meiner fachlichen Entwicklung durch die Genehmigung der Teilnahme an einem Plant Simulation Fortbildungskurs sowie einem Anwendertreffen in Stuttgart. Herrn Andreas Ritter, der mich sowohl organisatorisch als auch thematisch stets ausgezeichnet betreute. Herrn Norbert Hanel, der mir nicht nur als Anwendungsexperte in der praktischen Simulationsstudie eine große Hilfe war. Und Herrn Juan Carlos Rivero Garcia, der mich persönlich und fachlich maßgeblich prägte. Darüber hinaus möchte ich sämtlichen weiteren Mitarbeitern der Abteilung FTQ danken, die mich in ihrem Arbeitsumfeld herzlich aufgenommen haben und mich mit Rat und Tat bestens versorgten. Und meinem universitären Betreuer Herrn Gert Breitfuß für eine kontinuierliche, effiziente Betreuung trotz der für ihn entstandenen organisatorischen Umständlichkeiten, sowie Herrn Gerhard Rath, Universitätsassistent des Lehrstuhles für Automation, für Beratungen insbesondere zu Beginn der Diplomarbeitserstellung.

Ein großes Dankeschön an meine Freundin Sandra und meine Familie, meinen persönlichen Anwendungsexperten, die durch ihre unaufhörliche Unterstützung mir alles bisher Erlebte und Geleistete ermöglichten.

Kurzfassung

Die Simulationsanwendung für Fertigungssysteme hat sich in den vergangenen Jahrzehnten von einem ausschließlich im wissenschaftlichen Umfeld verwendeten Instrument zu einem industriell weit verbreiteten Werkzeug etabliert. Um dabei die Rentabilität des Simulationseinsatzes zu wahren, sind eine strukturierte Vorgehensweise und eine fundierte Auseinandersetzung mit Grundsatzentscheidungen der Simulationsstudie erforderlich, denen die vorliegende Arbeit gewidmet ist.

Eine vorgenommene Fragebogenstudie und Literaturrecherchen liefern die Basis für den theoretischen Schwerpunkt, in welchem das vom Autor entwickelte und vorgestellte EPK-Modell zur Vorgehensweise in Simulationsstudien als Leitfaden dient.

Die Arbeit liefert Aufschluss über den Prozess der Überprüfung der Simulationswürdigkeit einer Studie. Auf Basis der Bewertung einer Reihe von Aspekten erhält der Anwender in einer dazu erstellten Nutzwertanalyse eine quantitative Beurteilung der Simulationswürdigkeit.

Darüber hinaus beantwortet die Arbeit Fragen zur Bestimmung des Detaillierungsgrades des zu erstellenden Simulationsmodells. Es werden kritische Faktoren aufgezeigt und Arbeitsweisen geschildert, die vor und während der Modellerstellung anzuwenden sind, um einen adäquaten Detaillierungsgrad zu wahren.

Zudem beschäftigt sich der theoretische Hauptteil mit den für eine Simulationsstudie notwendigen Daten. Zu diesem Zweck werden, neben einer Klassifikation von Simulationsdaten im Allgemeinen, Vorgehensweisen zur Identifikation der für die Studie relevanten Daten und möglichen Hauptstellgrößen eines Simulationsexperimentes vorgestellt. Des Weiteren wird ein diesbezügliches, exemplarisch für den Auftraggeber ausgearbeitetes Hilfsinstrument erläutert.

Die im Rahmen des theoretischen Teiles ausgearbeiteten Instrumente und Vorgehensweisen werden in einer praktischen Anwendung demonstriert und im Anschluss hinsichtlich Verwendbarkeit, Handhabbarkeit und folglich damit erzielbarer Effizienzsteigerung für künftig durchzuführende Simulationsstudien beurteilt.

Abstract

Within previous decades, the application of simulation of production systems has developed from an exclusively scientific instrument to a widely used industrial tool. To secure profitability of the use of simulation for industrial applications, it is necessary to follow a structured approach and to deal with fundamental decisions properly. The master thesis represents an appropriate examination of these aspects.

An executed survey and literature researches deliver the basis for the theoretical focus. A model, prepared by the author of this thesis, represents a standardized procedure for conducting simulation studies and serves as a guideline in the theoretical chapters.

The thesis provides information in terms of the inspection of the applicability of a simulation. Based on a rating of correspondingly relevant aspects, the user receives a quantified result in respect of the applicability of a simulation in the user's project.

The thesis delivers answers to questions related to the assurance of an adequate level of detail of a simulation model. Critical factors are pointed out and methods are demonstrated that are applied before and during the creation of the simulation model that assure an appropriate level of detail.

Moreover, the theoretical main part deals with simulation data. Therefore a general classification and a procedure of identifying data that is relevant for a specific study as well as an approach of finding critical input data are presented. Additionally, in this respect a supporting instrument that was exemplarily prepared for the client is explained.

The designed instruments and procedures for the client are applied and demonstrated in a practically executed simulation study. Furthermore the instruments' and procedures' usability, manageability and the consequently possible increase of efficiency in terms of future simulation studies are evaluated.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung	1
1.2	Struktur der wissenschaftlichen Arbeit	3
2	Grundlagen Simulation	5
2.1	Simulation - Begriffserläuterung, Einordnung, Verwendung und Nutzen	5
2.2	Die Digitale Fabrik	11
2.3	Die Simulationssoftware Plant Simulation	14
3	Strukturiertes Vorgehen einer Simulationsstudie	17
3.1	Fragebogenstudie zu Materialflusssimulationen	17
3.1.1	Inhalt und Aufbau des Fragebogens	17
3.1.2	Formulierung und Strukturierung der Fragen	18
3.1.3	Konklusion der Fragebogenauswertung	22
3.2	Der Prozessablauf einer Simulationsstudie	24
3.2.1	Entwicklung eines Vorgehensmodells	24
3.2.2	Dokumentation und Ergebnisse	30
3.2.3	Aufwandsverteilung einer Simulationsstudie	32
3.3	Prüfung der Simulationswürdigkeit	35
3.3.1	Aspekte der Simulationswürdigkeitsprüfung	36
3.3.2	Nutzwertanalyse zur Simulationswürdigkeit	41
3.3.3	Fazit Simulationswürdigkeit	43
3.4	Detaillierungsgrad einer Simulationsstudie	44
3.4.1	Detaillierungsgrad, Aufwand und Ergebnishüte	45
3.4.2	Feststellung des adäquaten Detaillierungsgrades	48
3.4.3	Bewahrung des passenden Detaillierungsgrades	50
3.4.4	Fazit Bestimmung des Detaillierungsgrades	52
3.5	Simulationsdaten	54
3.5.1	Simulationsdaten bei Siemens AG Amberg	56
3.5.2	Die Zielsetzung als Maßstab	58
3.5.3	Identifikation von Daten	60
3.5.4	Fazit Simulationsdaten	63
4	Praktische Anwendung des strukturierten Vorgehens am Beispiel einer Simulationsstudie	66
4.1	Die Siemens AG	66
4.2	Die Simulationsstudie	68
4.2.1	Zielbeschreibung	68
4.2.2	Aufgabenspezifikation	71
4.2.3	Rohdaten & Aufbereitete Daten	77
4.2.4	Ausführbares Modell & Modellvalidierung	80
4.2.5	Simulationsergebnisse	86
4.2.6	Abschlussdokumentation	90
4.3	Fazit praktische Anwendung in der Simulationsstudie	93
5	Konklusion	97
	Literaturverzeichnis	100
	Anhang	105
	Fragebogenauswertung	105
	Datenpool – Simulationsdatensammlung	117
	Simulationsmodell Endmontage Schütz S00	120

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	.....	Abbildung
AC	.....	Alternating Current (Wechselstrom)
bzw.	.....	beziehungsweise
BE	.....	Bewegliches Materialflusselement
BDE	.....	Betriebsdatenerfassung
CAD	.....	Computer Aided Design
DC	.....	Direct Current (Gleichstrom)
DLZ	.....	Durchlaufzeit
d.h.	.....	Das heißt
EML	.....	Endmontagelinie
EPK	.....	Ereignisgesteuerte Prozesskette
ERP	.....	Enterprise Resource Planning
et al.	.....	et alii (und andere)
etc.	.....	et cetera (und so weiter)
EWA	.....	Elektronikwerk Amberg
Exp.	.....	Experiment
FT	.....	Fachzentrum Teile
FTQ	.....	Factory Technology and Quality Assurance
GWA	.....	Gerätewerk Amberg
IA	.....	Industry Automation
IE	.....	Industrial Engineering
IT	.....	Informationstechnologie
JIT	.....	Just-In-Time
KPI	.....	Key Performance Indicator
LiTab	.....	Linientagebuch
LZA	.....	SIEMENS Lieferzentrum Amberg

MA	.....	Mitarbeiter
MDE	.....	Maschinendatenerfassung
MT	.....	Method and Tools
MTTR	.....	Mean Time to Repair
PLM	.....	Product Lifecycle Management
SCM	.....	Supply Chain Management
SME	.....	Subject Matter Expert
u.a.	.....	unter anderem
UML	.....	Unified Modeling Language
u.v.m.	.....	und viele(s) mehr
VDI	.....	Verein Deutscher Ingenieure
vgl.	.....	vergleiche
V&V	.....	Verifikation und Validierung
z.B.	.....	zum Beispiel

Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Prozessschritte des Vorgehensmodells (eigene Darstellung).....	29
Tabelle 2: Dokumente/Outputs in einer Simulationsstudie (eigene Darstellung).....	31
Tabelle 3: Gewichtung der Aspekte der Simulationswürdigkeitsprüfung (eigene Darstellung).....	41
Tabelle 4: Auszug Simulationsdatenpool (eigene Darstellung).....	57
Tabelle 5: Simulationsergebnisdaten (eigene Darstellung).....	60
Tabelle 6: Eingangsdaten und –quellen der Simulationsstudie (eigene Darstellung)	75
Tabelle 7: Auszug Produktionsübersicht – Rohdaten (eigene Darstellung)	84
Tabelle 8: Auszug Produktionsübersicht – Validierungsdaten (eigene Darstellung)	84
Tabelle 9: Endmontagelinie Schütz S00 Experimentübersicht (eigene Darstellung).....	85
Tabelle 10: Kombination variabler Eingangsdaten Experiment 1 (eigene Darstellung)	87
Tabelle 11: Endergebnisse Experiment 1 (eigene Darstellung).....	87
Tabelle 12: Ergebnisübersicht (eigene Darstellung).....	88
Tabelle 13: Fragebogenstudie - Frage 7 (eigene Darstellung)	112
Tabelle 14: Fragebogenstudie - Frage 8 (eigene Darstellung)	112
Tabelle 15: Fragebogenstudie - Frage 14 (eigene Darstellung)	115
Tabelle 16: Fragebogenstudie - Frage 15 (eigene Darstellung)	116
Tabelle 17: Datenpool – Simulationseingangsdaten (eigene Darstellung)	118
Tabelle 18: Datenpool – Simulationsergebnisdaten (eigene Darstellung)	119
Abbildung 1: Strukturübersicht der Diplomarbeit (eigene Darstellung).....	3
Abbildung 2: Kosten-/Zeitersparnis durch Simulationseinsatz.....	8
Abbildung 3: Grad der Automatisierung im Product Lifecycle Management	11
Abbildung 4: Potentiale der Digitalen Fabrik	12
Abbildung 5: Nutzung von Werkzeugen für die Ablaufsimulation.....	15
Abbildung 6: Vorgehensmodell gemäß VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1	25
Abbildung 7: Vorgehensmodell gemäß Wenzel et al.	26
Abbildung 8: Das Vorgehensmodell (eigene Darstellung).....	27
Abbildung 9: Aufwandsverteilung nach Acêl	33
Abbildung 10: Aufwandsverteilung und -zuordnung	34
Abbildung 11: Zusammenfassung Vorgehensmodellerstellung (eigene Darstellung)	35
Abbildung 12: Schritt "Prüfen der Simulationswürdigkeit" (eigene Darstellung).....	36
Abbildung 13: Beispiel Überprüfung der Simulationswürdigkeit (eigene Darstellung).....	42
Abbildung 14: Schritt "Bestimmung des Detaillierungsgrades" (eigene Darstellung)	44
Abbildung 15: Korrelation zwischen Detaillierungsgrad und Modellaufwand	45
Abbildung 16: Beurteilungskriterien für die Modellqualität	47
Abbildung 17: Hierarchisierung; Beispiel (eigene Darstellung)	52
Abbildung 18: Schritt "Ermitteln der notwendigen Simulationsdaten" (eigene Darstellung)	54

Abbildung 19: Eingangsdaten Simulation.....	55
Abbildung 20: Datenentwicklung in der Simulationsstudie (eigene Darstellung)	58
Abbildung 21: Simulationsdaten (eigene Darstellung)	60
Abbildung 22: Ishikawa-Diagramm; Beispiel (eigene Darstellung).....	61
Abbildung 23: Simulationsstudie: Zielbeschreibung (eigene Darstellung).....	68
Abbildung 24: Projektplan (eigene Darstellung).....	70
Abbildung 25: Simulationsstudie: Aufgabenspezifikation (eigene Darstellung).....	71
Abbildung 26: Value Stream Map (eigene Darstellung).....	72
Abbildung 27: Ishikawa-Diagramm der Simulationsstudie (eigene Darstellung).....	74
Abbildung 28: Ergebnis Überprüfung der Simulationswürdigkeit (eigene Darstellung)	75
Abbildung 29: Simulationsstudie: Rohdaten & Aufbereitete Daten (eigene Darstellung).....	77
Abbildung 30: Förderstreckenlänge; Datenstruktur (eigene Darstellung)	78
Abbildung 31: Förderstreckenlänge; Vorgehen der Datenaufbereitung (eigene Darstellung)	79
Abbildung 32: Förderstreckenlänge; Einstellungen in Plant Simulation (eigene Darstellung).....	79
Abbildung 33: Simulationsstudie: Ausführbares Modell & Modellvalidierung (eigene Darstellung).....	80
Abbildung 34: Modellhierarchisierung (eigene Darstellung).....	81
Abbildung 35: Modellaufbau; Ebene Gesamtproduktionssystem (eigene Darstellung).....	82
Abbildung 36: Modellaufbau; Ebene GWA (eigene Darstellung)	82
Abbildung 37: Modellaufbau; Ebene Halle 1 und Halle 4 (eigene Darstellung).....	82
Abbildung 39: Simulationsstudie: Simulationsergebnisse (eigene Darstellung)	86
Abbildung 40: Simulationsergebnisse Beobachtungen Experiment 1 (eigene Darstellung).....	87
Abbildung 41: Simulationsstudie: Abschlussdokumentation (eigene Darstellung)	90
Abbildung 42: Beispiel Durchlaufdiagramm (eigene Darstellung).....	91
Abbildung 43: Durchlaufdiagramm Interpretation (eigene Darstellung)	92
Abbildung 44: Regelkreislauf Prozessoptimierung (eigene Darstellung)	99

1 Einleitung

Unternehmen werden gefordert ihre Wirtschaftlichkeit, die Relation zwischen Ertrag und Aufwand, fortlaufend zu verbessern, um ihre Wettbewerbsfähigkeit zu sichern. In Bereichen der Prozessoptimierung finden analytische Methoden Verwendung, deren Einsetzbarkeit allerdings aufgrund von häufig bestehender Systemkomplexitäten begrenzt ist. Die Simulationstechnik ermöglicht das Durchbrechen dieser Einschränkungen und setzt neue Maßstäbe.

Die Intensität des Simulationseinsatzes unterliegt einer branchenabhängigen Variation. Zum Großteil bedingt durch unterschiedlich ausgeprägte Wettbewerbsbedingungen, reicht die Anwendung von einmaligen, projektspezifischen Bestellungen von externen Simulationsexperten bis hin zu automatisierten Modellgenerierungen im Tagesgeschäft der Automobilindustrie. Die Wirtschaftlichkeitsprüfung der Simulationsanwendung ist in jedem Fall durchzuführen, wobei zumeist dem Nutzen der Simulation ein hohes Maß an Aufwand gegenübersteht. Systematische Vorgehensweisen und adäquate Instrumentarien ermöglichen dem Simulationsanwender das Richtige richtig zu tun und somit die Effizienz der Methode Simulation für das Arbeitsumfeld zu erhöhen.

1.1 Ausgangssituation, Problemstellung und Zielsetzung

Die Simulation wird als eine Schlüsseltechnologie des neuen Jahrtausends bezeichnet deren erwartete Wachstumsrate bei über 20 Prozent liegt.¹ Die Abteilung FTQ (Factory Technology and Quality Assurance) der Siemens AG Industry Sector mit den Standorten Amberg und Cham haben desgleichen den starken Aufwärtstrend der Verwendung und Wichtigkeit der Simulationsanwendung in Produktion und Logistik erkannt. Ihr Ziel ist es, diese Ansätze mit Hilfe der Simulationssoftware Plant Simulation in ihre planerischen Tätigkeiten einzubinden. Bereits seit über drei Jahren, wird die Thematik „Digitale Fabrik“ an den beiden Standorten und weiteren weltweit betreuten Werken behandelt und schrittweise in das Tagesgeschäft eingegliedert. Im Zuge dessen ist die Integration von Plant Simulation in die Arbeitsstruktur der Planung und Fertigung ein abgeleitetes Hauptziel dieses Betriebsbereichprojektes.

Bisher erfolgten mehrere Umsetzungen von Simulationsstudien mit der Simulationssoftware Plant Simulation in der Abteilung FTQ. Allerdings sind sowohl Vorgehensweisen als auch deren Inhalt zum Großteil zur Gänze isoliert und unabhängig voneinander vorgenommen bzw. betrachtet worden. Dieser punktueller Einsatz soll insbesondere im Sinne des Ideales des theoretischen Hintergrundes der Digitalen Fabrik, anhand der Schaffung von fundamentalen

¹ Vgl. Siemens Product Lifecycle Management II (DE) GmbH [2], S. 5.

Grundverständnissen zum Thema Materialflusssimulation und Standardisierungsmaßnahmen für Simulationsstudien, durch vereinheitlichte Systematiken ersetzt werden.

Modellerstellungen und Simulationen sollen künftig ein integrierter Bestandteil der planerischen Tätigkeiten sein. Dazu ist des Weiteren die Akzeptanz seitens der Planer zu erhöhen. Dies kann sowohl durch die Sicherung eines allgemeinen Grundverständnisses der Materialflusssimulation als auch durch eine vereinheitlichte und nachvollziehbare Vorgehensweise realisiert werden. Das Grundverständnis wird durch nähere Betrachtung verschiedenster Themen, insbesondere der Vorbereitungsphase einer Simulationsstudie, geschärft.

Dem Simulationsanwender und Planer soll es künftig möglich sein, die Simulationswürdigkeit eines Projektes abzuwägen zu können. Ist die Simulationswürdigkeit bestätigt, repräsentiert das Feststellen des passenden Detaillierungsgrades des Simulationsmodells und des damit einhergehenden Aufwandes eine weitere wesentliche Grundproblematik, die künftig zielorientiert bewältigt werden soll. Auf dieser Basis ist es für den weiteren Studienverlauf notwendig die planer- und simulationsrelevanten Faktoren/Daten und daraus Hauptstellgrößen für die Modellbildung und Simulation zu identifizieren. Sämtliche aus den thematischen Behandlungen erworbenen Erkenntnisse sind in einem anschließenden praktischen Anwendungsbeispiel auf ihre Plausibilität und Machbarkeit zu überprüfen.

Die dazu entsprechend formulierten Forschungsfragen der Abteilung FTQ Siemens AG Amberg lauten:

- **Wie soll bei künftigen Modellbildungs- und Simulationsdurchführungen vorgegangen werden?**
- **Wie kann abgewogen werden, ob ein Projekt der Abteilung FTQ simulationswürdig ist oder nicht?**
- **Wie verhalten sich Datenerhebungstiefe und Simulationsergebnisgüte zueinander?**
- **In welcher Relation verhält sich der Aufwand zur Datenerhebungstiefe?**
- **Welche planungs- und simulationsrelevanten Faktoren gibt es, die für eine Modellbildung und Simulation berücksichtigt werden müssen?**
- **Wie können durch ein gegebenes Simulationsziel entsprechende Hauptstellgrößen (Parameter, Maschinen, Fertigungsbereiche, etc.) identifiziert werden?**
- **Kann die standardisierte Vorgehensweise praktisch angewandt werden?**

Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, die genannten Fragestellungen dem Auftraggeber adäquat zu beantworten, eine grundlegende Systematik zur Vorgehensweise und Teilprozessen der Vorbereitungsphase von künftig durchgeführten Simulationsstudien zu schaffen und die Effizienz der Simulationsanwendung bei Fertigungssystemen somit zu erhöhen.

1.2 Struktur der wissenschaftlichen Arbeit

Nach der allgemeinen Einleitung in Kapitel 1 folgt eine Einführung in Grundlagen der Simulation in Kapitel 2, wodurch ein gemeinsames Grundverständnis gesichert und damit unter anderem begriffliche Missverständlichkeiten vermieden werden. Es wird das Konzept und die Idee zur Digitalen Fabrik vorgestellt und die Simulationssoftware Plant Simulation dem Leser näher gebracht.

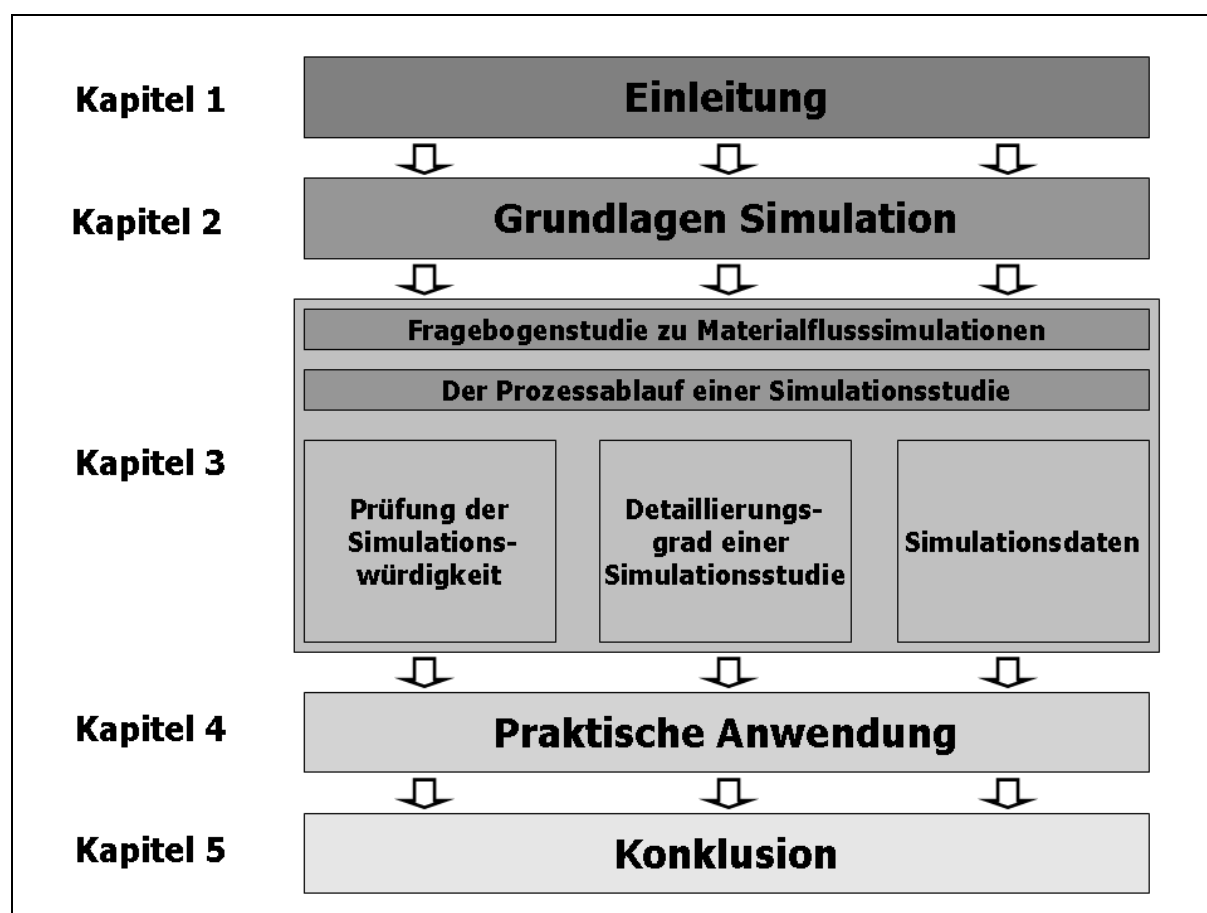


Abbildung 1: Strukturübersicht der Diplomarbeit (eigene Darstellung)

Der theoretische Hauptteil der Arbeit (Kapitel 3), beginnt mit der Erläuterung und Ergebnisdarstellung einer durchgeführten Fragebogenstudie. Die erlangten Erkenntnisse aus der Fragebogenstudie werden im weiteren Verlauf auf unterschiedlichste Weise in die Arbeit eingebunden. Im nächsten Teilabschnitt von Kapitel 3 wird der Ablauf einer Simulationsstudie im Allgemeinen erhoben und die Prozessschritte und –ergebnisse erläutert. Gemäß der Topologie des abgebildeten Vorgehensmodells werden die weiteren Hauptteile der Arbeit behan-

delt: Nach der Überprüfung der Simulationswürdigkeit (Kapitel 3.3) folgt die Bestimmung des notwendigen Detaillierungsgrades des Simulationsmodells (Kapitel 3.4) und die Ermittlung/Thematisierung der Simulationsdaten (Kapitel 3.5).

Nach Abschluss des theoretischen Teils folgt die praktische Anwendung der erlangten Erkenntnisse und erstellten Methoden in einer bei Siemens AG Amberg/Cham durchgeführten Simulationsstudie. In einer zusammenfassenden und rekapitulierenden Konklusion wird die Anwendbarkeit der Methoden und die Korrektheit der Erkenntnisse aus dem Theorieteil beurteilt.

2 Grundlagen Simulation

Zur näheren wissenschaftlichen Betrachtung, werden in diesem Kapitel für die Arbeit wichtige Begriffe und Themen allgemein definiert und erläutert, um mögliche Fehlinterpretationen zu vermeiden und ein gemeinsames Grundverständnis zu schaffen. Dazu werden die Simulation, die Digitale Fabrik und die Simulationssoftware Plant Simulation in genannter Reihenfolge vorgestellt und diskutiert.

2.1 Simulation - Begriffserläuterung, Einordnung, Verwendung und Nutzen

Der Planungshorizont in der Arbeitsvorbereitung und Fertigungssteuerung verringert sich proportional mit zunehmender Marktdynamik, wodurch sich die Produktionsplanung zunehmenden Anforderungen an Flexibilität und Qualität zu stellen hat.² Dabei ergibt sich die Methode der Simulation als Mittel zum Zweck, denn Simulation reduziert Planungszeit und schafft Transparenz für die Lösung komplexer Fragestellungen.³ Der Begriff der *Simulation* wird gemäß dem Verein Deutscher Ingenieure (VDI) wie folgt definiert:

„Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierfähigen Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind.“⁴

Vor über 50 Jahren fanden die Anwendungen zur Simulation in der Stahl- und Luftfahrtindustrie ihren Ursprung. Zumeist von promovierten Akademikern wurden in dazu verwendbaren Programmiersprachen wie FORTRAN abstrakte Simulationen durchgeführt. Erst Ende der 80er Jahre begann sich die Simulationsanwendung in die heute übliche (und anwenderfreundlichere) Form der animationsunterstützten Bausteinsimulationen zu entwickeln (z.B. WITNESS und AUTOMOD).⁵ Die Einsatzbereiche haben sich entsprechend der zunehmenden Verwendung erweitert.⁶

Im Allgemeinen ist der Begriff Simulation ein weitreichender. Gemäß den bisherigen Behandlungen, konzentriert sich die Auseinandersetzung auf materialflussspezifische Themen. Der Begriff *Materialfluss* wird in der Industrie durch die Definition der VDI-Richtlinie als „Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten sowie bei der Verteilung von stofflichen Gütern innerhalb festgelegter Bereiche“⁷ beschrieben. Dazu sind sämtliche notwendige

² Vgl. Gierth et al.(2006), S. 646.

³ Vgl. Gierth et al.(2006), S. 647.

⁴ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 3.

⁵ Vgl. Kühn (2006), S. 207f.

⁶ Vgl. Košturiak et al. (1995), S. 59; Straßburger et al. (2006), S. 393f.

⁷ VDI Richtlinie 2689 (1974), S. 2.

Daten in Betracht zu ziehen, sowohl z.B. der Bearbeitungs- und Förderprozesse als auch der dazu begleitenden, notwendigen Informationen.

Es ist zu erwähnen, dass innerhalb der vorliegenden Diplomarbeit sämtliche Interpretationen und Zusammenhänge mit den Begriffen Simulation und Materialflusssimulation auf jene der produzierenden Industrie mit hohen Fertigungsstückzahlen bezogen werden. Mögliche, zulässige Verallgemeinerungen sollen damit aber nicht vorweg ausgeschlossen werden.

Košturiak interpretiert ein Materialflusssystem, neben Bearbeitungs-/Montage- und Informationssystemen, als Bestandteil eines Produktionssystems.⁸ In weiterer Folge werden allerdings in dieser Arbeit die Begriffe Materialflusssystem und Produktionssystem wertegleich behandelt. Um begriffliche Unordnungen zu vermeiden, wird im Folgenden ausschließlich der Terminus ‚Produktionssystem‘ verwendet.

Einordnung der Simulation

Simulationsstudien werden auf Basis von Betrachtungs- und Verhaltensmerkmalen klassifiziert. Dazu gibt es drei zu betrachtende Eigenschaften:⁹

- Statisch vs. Dynamisch: Differenzierungen gemäß des Faktors Zeit. Statische Systeme sind zeitunabhängig, dynamische Systeme hingegen verändern sich über den zeitlichen Verlauf.
- Deterministisch vs. Stochastisch: Ausgänge deterministischer Systeme können eindeutig bestimmt werden, stochastische Systeme unterliegen zufälligen Veränderungen, es sind keine exakten Vorhersagen möglich.
- Kontinuierlich vs. Diskret: Die Betrachtungsweise des Systemverlaufes liegt als Entscheidungskriterium vor. Diskrete Systeme entwickeln sich über Ereignisse, das heißt es werden Sprünge von einem Systemzustand zum nächsten vollzogen, demnach zu diskreten Zeitpunkten zu denen eine Veränderung erfolgt ist (z.B. Materialfluss in einer Werkstattfertigung). Kontinuierliche Systeme sind fortlaufende Abbildungen ungeachtet der Ereignisse. Somit werden auch Zeitspannen dargestellt, zu denen keine wesentliche Veränderung erfolgt (vgl. Flugzeugsimulationen). Simulationslaufzeiten werden durch dieses Merkmal markant beeinflusst.

Bei Simulationsstudien von Produktionssystemen im vorliegenden Fall, handelt es sich um diskrete, stochastische und dynamische Simulationsmodelle. Der Simulationsfortschritt wird somit innerhalb eines zeitlichen Rahmens durch Sprünge zwischen konkreten Ereigniseintrit-

⁸ Vgl. Košturiak et al. (1995), S. 5.

⁹ Vgl. Law (2007), S. 5f; Košturiak et al. (1995), S. 4.

ten durchgeführt. Im Allgemeinen ist diese Simulationsweise auch als diskrete, ereignisgesteuerte Simulation bekannt („discrete-event-Simulation“).¹⁰

Einsatzfelder in der Produktion

Im Allgemeinen können Simulationsstudien in der Produktion in drei Untersuchungsbereiche gegliedert werden, welche Antworten zu unterschiedlichsten Fragestellungen liefern. Nachstehend sind zu den erwähnten Phasen je zwei Beispiele einer möglichen Zielsetzung angeführt¹¹

- Simulation in der Planungsphase
 - Engpassermittlung
 - Vergleich von Planungsvarianten (Fabriklayout, etc.)
- Simulation in der Realisierungsphase
 - Leistungstests von Systemen
 - Mitarbeiterschulungen
- Simulation in der Betriebsphase
 - Testen von Steuerungsalternativen (Maschinenbelegungen, etc.)
 - Überprüfen von Störfallprogrammen

Je nach behandelter Problematik, kann sich eine Simulationsstudie in der Fertigungsplanungsabteilung des Gerätewerks Amberg zu Fragestellungen aller aufgezählten Phasen belaufen. Grundsätzlich gilt es, diese Fragestellungen, die den Fragekonstrukten ‚what-if‘ und ‚what-to-do-to-achieve‘ zuordenbar sind, mit Hilfe von Simulationsstudien zu beantworten.¹²

Ziele, Vorteile und Nutzen der Simulation

In den beschriebenen Einsatzfeldern (Planungs-, Realisierungs- und Betriebsphase) werden, abhängig von der Zieldefinition, folgende ableitbaren Nutzenaspekte des Simulationseinsatzes, gemäß der VDI-Richtlinie 3633, angestrebt:¹³

- Sicherheitsgewinn, durch z.B. Vermeidung von Fehlplanungen, Bestätigung des Planungsvorhabens
- Lösungsverbesserung (u.a. Kostensenkung), durch z.B. Verbesserung von Puffer- und Losgrößen

¹⁰ Vgl. Law (2007), S. 6; Liebl (1992), S. 89; Košturiak et al. (1995), S. 4; Kuhn et al. (2008), S. 78ff.

¹¹ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 4f; Kühn (2006), S. 60.

¹² Vgl. Kuhn et al. (2008), S. 74.

¹³ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 20; Kuhn et al. (2008), S. 76; Kühn (2006), S. 23f.

- Verbesserung des Systemverständnisses, durch z.B. Animationen
- Günstigere Prozessführung, durch z.B. Auslastungsoptimierung

Laut Bossel sind nachstehende Gründe für den Einsatz einer Simulationssoftware ergänzend dazu gegeben:¹⁴

- Einheitliche Methodologie, unabhängig von der Art des betrachteten Systems
- Kostengünstige Untersuchung; Simulationen verursachen nur einen Bruchteil der Kosten, die bei einer Versuchsdurchführung am realen System anfallen würden
- Zeitraffung bzw. -dehnung der Simulationsdurchführung; Je nach Bedarf kann die zeitliche Entwicklung einer Simulation beschleunigt bzw. verlangsamt werden
- Risikominimierung; Das Experimentieren am Simulationsmodell hinterlässt keine Schäden am realen System und liefert dennoch entsprechende Erkenntnisse

Die SimPlan AG betont den Kosten-/Zeitersparnisfaktor für ihre Kunden mit Hilfe nachstehender Visualisierung, die den Kostenverlauf gegen die Zeit eines Projektes mit und ohne Simulationsdurchführung vergleicht und aufzeigt:

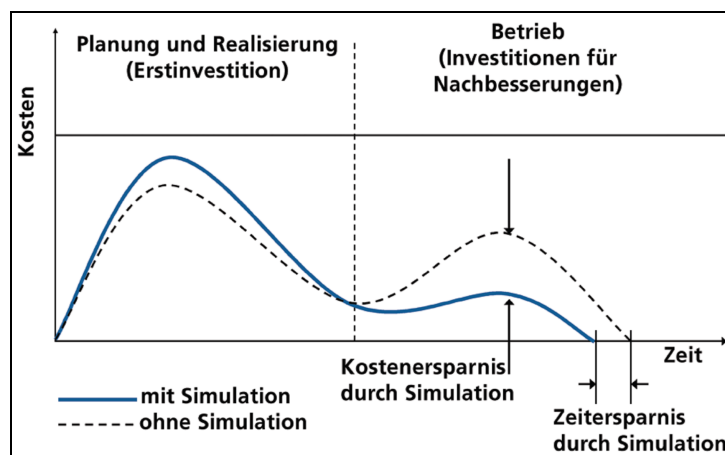


Abbildung 2: Kosten-/Zeitersparnis durch Simulationseinsatz¹⁵

Dabei gilt: „Je früher ein Planungsfehler erkannt und eliminiert wird, desto weniger Folgekosten entstehen.“¹⁶ Verzichtet man auf einen Simulationseinsatz, ergeben sich zu Projektbeginn geringere Kosten. Dehnt man allerdings die Betrachtung auf die Dauer des gesamten Projektverlaufes aus, wird die Wirkung des Einsatzes einer Simulationsanwendung deutlich: Der Kostenverlauf nimmt bis zum Projektende deutlich ab und die Projektdauer kann verkürzt werden. Somit ist der Kosten- und Zeitersparnisfaktor mit Simulationsanwendung wesentlich höher, als der Kostensparnisfaktor bei einer Projektdurchführung ohne Simulationsanwendung.

¹⁴ Vgl. Bossel (2004), S. 15f.

¹⁵ Quelle: SimPlan AG (2009), S. 2.

¹⁶ Schmidt (2009), S. 12.

Diese gesammelten Argumente der Nützlichkeit einer Simulationsstudie werden fortlaufend durch die Bestätigung der Wichtigkeit in der Praxis gestärkt. So haben Untersuchungen gezeigt, „dass Unternehmen, die häufig Simulationen einsetzen, wirtschaftlich erfolgreicher sind.“¹⁷ Auch gemäß Wenzel wird „die Notwendigkeit der Simulation zur Planung, Realisierung und Betriebsführung logistischer Systeme heute nicht mehr in Frage gestellt.“¹⁸ Generell gilt, dass die Simulationstechnik ein allgemein anerkanntes Hilfsmittel bei Planung, Realisierung und Betrieb von technischen Systemen ist.¹⁹ Noche und Druyen gehen einen Schritt weiter und behaupten „Materialflussplanungen ohne Nutzung der Simulationstechnik sind Drahtseilakte ohne Netz.“²⁰

Die genannten Vorteile der Anwendung des Werkzeuges Simulation stehen einem nicht zu unterschätzenden Aufwand einer Simulationsstudie gegenüber.²¹ Das Abwägen des Nutzen-Aufwand-Verhältnisses, insbesondere der Aspekt des Detaillierungsgrades des zu erstellenden Modells, das Überprüfen der Simulationswürdigkeit eines Projektes, sowie die Durchführung einer Simulationsstudie an sich, werden im weiteren Verlauf der Arbeit intensiver behandelt.

Durch praktische Anwendungen wurden im Laufe der Zeit von unterschiedlichen Autoren und Organisationen einige Leitsätze und Empfehlungen entwickelt.²² Nachstehend werden einige dieser angeführt, die auf Basis einer durchgeführten Sammlung und anschließender Gegenüberstellung, als Besonders wichtig erscheinen. Im Zuge der wissenschaftlichen Arbeit wird der Leser wiederholt auf diese im entsprechenden Kontext hingewiesen. Im Bezug auf den zeitlichen Einsatz der einzelnen Leitsätze, Warnungen und Empfehlungen innerhalb einer Simulationsstudie, sind diese im Folgenden in Allgemein, Vorbereitungs-, Durchführungs- und Abschlussphase eingeteilt:

Allgemein:

- Simulation ist kein Ersatz für Planung
- Der Zeitpunkt der Integration von Simulation in ein Projekt bestimmt die Güte und den Erfolg der Planungsergebnisse
- Die Zusammenarbeit zwischen Planer und Simulationsexperten bestimmt den Erfolg

¹⁷ Wachsmann (2006), S. 106.

¹⁸ Kuhn et al. (2008), S. 73.

¹⁹ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 2.

²⁰ Noche et al. (2008), S. 259.

²¹ Vgl. Košturiak et al. (1995); S. 70; Wachsmann (2006), S. 106; Straßburger et al. (2006), S. 395.

²² Vgl. Liebl (1992), S. 222ff; VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 3; ASIM Fachgruppe 4.5.6 (1997), S. 7; Page (2005), S. 472ff; Kuhn et al. (2008), S. 74.

- Simulationsstudien erfordern spezielles Know-how
- Einen realistischen Zeitplan erstellen
- Eine systematische Projektdurchführung gilt als Qualitätskriterium
- Simulationsstudien erfordern eine durchgängige Dokumentation
- Durchgängige Verifikation und Validierung gelten als Qualitätskriterium

Vorbereitungsphase:

- Simulationsstudien stets vor der Investition durchführen
- Erst simulieren, wenn alle anderen rechnerischen Mittel ausgeschöpft sind oder nicht mehr wirtschaftlich genutzt werden können
- Simulation setzt vorherige, präzise Zieldefinition und Aufwandabschätzung voraus
- Falsche Definition des Studienzieles als ‚Todsünde der Simulation‘
- Wahl des richtigen Simulationswerkzeugs

Durchführungsphase:

- Die Ergebnisqualität eines Simulationsexperimentes hängt entscheidend von der dem Simulationsmodell zugrundeliegenden Datenbasis ab (passende Menge, Qualität und Format der Daten)
- Ungeeigneter Detaillierungsgrad; Das Simulationsmodell muss so abstrakt wie möglich und so detailliert wie nötig sein
- Experimentieren bedeutet nicht probieren – das Aufstellen eines Versuchsplans ist unerlässlich

Abschlussphase:

- Funktionalität lässt sich nicht „hinsimulieren“
- Simulationsexperimente entsprechen nicht unmittelbar einer Optimierung
- Simulationsergebnisse sind nur so gut wie die zugrundeliegenden Eingangsdaten
- Graphik allein ist noch kein Ergebnis; Simulation ist kein Videospiel
- Aufgrund mangelnder Darstellung der Ergebnisse kann eine gelungene Studie ungeachtet dessen scheitern

Durch Berücksichtigung dieser Aspekte, ist es dem Simulationsanwender möglich, allgemein bekannten Problemen vorweg entgegenzuwirken bzw. bewusst diesen im Simulationsstudienverlauf auszuweichen.

2.2 Die Digitale Fabrik

Turbulente Marktsituationen und entsprechend hohe Anforderungen an Unternehmungen, verlangen zunehmend durchgängige und schnell reagierende Systeme: „Das Industrial Engineering benötigt neue Methoden und Digitale Werkzeuge in seiner Schlüsselrolle zum Aufbau adaptiver Strukturen in der Produktion.“²³ Die Antwort dazu sollen die Ansätze der *Digitalen Fabrik* liefern.

„Die Digitale Fabrik ist der Oberbegriff für ein umfassendes Netzwerk von digitalen Modellen, Methoden und Werkzeugen – u. a. der Simulation und der dreidimensionalen Visualisierung – , die durch ein durchgängiges Datenmanagement integriert werden.“²⁴ Daraus lässt sich schließen, dass die Digitale Fabrik ein Abbild aller planungsrelevanter Elemente einer Fabrik schafft (Produktion, Prozesse, Ressourcen), die in digitalisierter Form in zentralen Datenbanken abgelegt werden.²⁵ Die Digitale Fabrik soll dabei die ‚digitale Lücke‘ in betrieblichen Abläufen schließen (siehe Abb. 3).

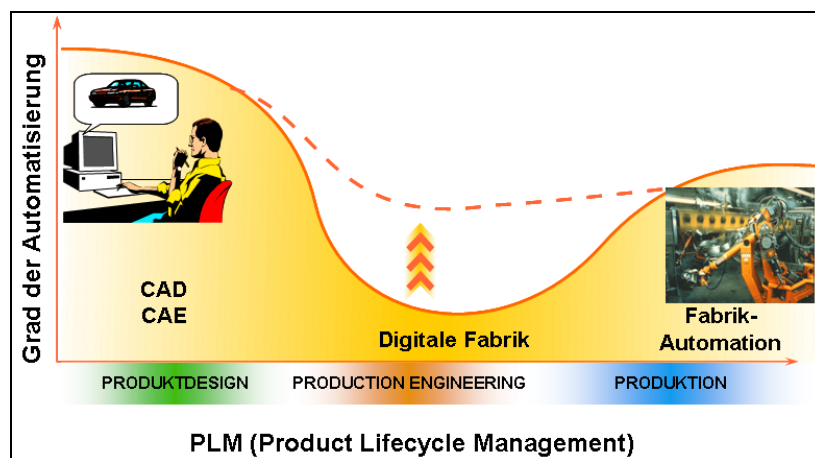


Abbildung 3: Grad der Automatisierung im Product Lifecycle Management²⁶

Neben dem vorhandenen hohen Grad der Automatisierung des Produktdesigns und der Produktion selbst im Product Lifecycle Management²⁷ (PLM), werden mit Hilfe der Digitalen Fabrik auch im Bereich des Production Engineering diese Faktoren forciert. Die Siemens AG Am-

²³ Westkämpfer (2008), S. 102.

²⁴ VDI Richtlinie 4499 Blatt 1 (2008), S. 3.

²⁵ Vgl. Straßburger et al. (2006), S. 392.

²⁶ Quelle: Schmidt (2009), S. 5.

²⁷ PLM: Das Product Lifecycle Management stellt die Vision dar, sämtliche Daten eines Produktes hinsichtlich der Phasen des Produktlebenszyklus Design, Produktion, Materialversorgung und Vertrieb allumfassend zu organisieren.

berg erweitert diesen Ansatz folgendermaßen: „Wir schließen die Systemlücke zwischen PLM-Tools (CAD, CADIM) und den SCM-Tools (SAPxx) mit einer standardisierten Plattform für alle Fertigungsplaner.“²⁸

Westkämpfer erwähnt in diesem Zusammenhang, dass die wesentlichen Potentiale im Anlauf neuer Produkte und in der Verbesserung der Präzision der Planung liegen.²⁹ Diesem Ansatz wird auch mit vorliegender Diplomarbeit Rechnung getragen. Durch die Schaffung eines durchgängigen und standardisierten Vorgehens bei Simulationsstudien, wird ein effizienteres Arbeiten der Planungsabteilung FTQ der Siemens AG Amberg ermöglicht. Die Siemens AG Amberg hat folgende Potentiale/Nutzen erkannt, die durch interne Studien, Erkenntnissen des Fraunhofer Institutes und Beiträgen von Daimler-Chrysler/FORD entstanden sind:

	Nutzenpotenzial	Größenordnung
(1)	Schnellerer Anlauf	bis zu 15%
(2)	Höhere Produktivität	bis zu 10%
	Steigerung der Produktivität vorhandener Produktionsanlagen	um 15-20%
	Reduzierung der Anlagen, Werkzeuge, Hilfsmittel	um 40%
	Geringere Projektinvestitionen	bis zu 10%
	Reduzierung der Investitionskosten bei der Planung neuer Produktionsanlagen	um bis zu 20%
(3)	Verbesserung der produzierten Qualität	um bis zu 15%
	Steigerung des Produkt-/Anlagenreifegrades	5-10%
	Verkürzung der Projektzeit	bis zu 20%
(4)	Reduzierung der Änderungsaufträge	bis zu 20%
	Größere Effizienz in der Kommunikation und Zusammenarbeit	35%

Diese Unterlagen sind Copyright © des
Fraunhofer IPA, Nobelstraße 12,
70569 Stuttgart,
Mai 2006

Fraunhofer Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

Abbildung 4: Potentiale der Digitalen Fabrik³⁰

Die vier nummerierten Potentialaspekte in dieser Abbildung, werden nachstehend näher erläutert. Die Reduktion der Produktionsanlaufkosten (1) soll u.a. durch die Wiederverwendung von Standard-Fertigungsprozessen und durch Konsistenz- und Plausibilitätsprüfungen von Daten und deren Zuordnung realisiert werden. Die Verringerung der Fertigungskosten (2) wird durch das optimierte Auswahlverfahren von Alternativen von Planungsvarianten und entsprechender Absicherung der geplanten Produktionsprozesse durch Simulation sichergestellt.

Die Planzeit und der einhergehende Aufwand (3) werden durch Vermeidung von Redundanzen und Verringerung des Dokumentationsaufwandes ermöglicht. Materialflusssimulationen

²⁸ Siemens AG Amberg (2009).

²⁹ Vgl. Westkämpfer (2008), S.105

³⁰ Quelle: Siemens AG Amberg Präsentation (2008), GWA_Digitale_Fabrik_2008, Folie 24.

und der Einsatz von konzipierten/standardisierten Fertigungseinrichtungen führen zu einer Reduktion der möglichen Änderungsaufträge (4) im Laufe einer Projektdurchführung. Alle weiteren genannten Punkte in Abbildung 4 werden an dieser Stelle nicht näher erläutert. Die Vielzahl jener Nutzenaspekte soll aber die vorhandene, allgemeine Kenntnis über die existierenden Potentiale des Einsatzes der Digitalen Fabrik betonen.

Es sind am Markt mehrere Anbieter von Softwarepaketen vertreten, die durch das Bündeln mehrerer Werkzeuge unterschiedlicher betrieblicher Einsatzfelder, ein Produkt zur Digitalen Fabrik anbieten. Dazu zählen Unternehmen wie DELMIA und UGS (heute: Siemens AG). Siemens AG Amberg verwendet Komponenten von UGS. Die Siemens AG Amberg FTQ versteht unter dem Titel ‚Digitale Fabrik‘ den flächendeckenden Einsatz von 3 Softwaremodulen des Softwarebereiches der PLM:³¹

- Process Designer: Aus der Produktentwicklung werden die Werkstücke mit sämtlichen Daten(-tabellen) hinterlegt (=Produktbetrachtung). Darüber hinaus werden die Prozessabläufe beschrieben, die für die Erzeugung von Nöten sind (=Prozessbetrachtung) und Kostendaten hinterlegt.
- Process Simulate: Es stehen Ergonomie- und Montagebetrachtungen im Vordergrund. Die Frage „Wie praktikabel ist das Werkstück für die Arbeitskräfte zu fertigen?“ wird behandelt, sowohl bezogen auf den Arbeitsplatz als auch auf eine gesamte Fertigungseinheit.
- Plant Simulation: siehe Kapitel 2.3

Die Methode der Simulation soll gemäß der Digitalen Fabrik als integrierter Prozess in die geschäftlichen Tätigkeiten verstanden werden.³²

Im Einsatzbereich der Digitalen Fabrik sind dennoch Schwierigkeiten präsent, im Besonderen bezüglich der Schnittstellen zwischen den einzelnen zur Verfügung stehenden Werkzeugen innerhalb eines Paketes. Grund dazu ist u.a., dass im Rahmen dieser Pakete Werkzeuge aus ursprünglich unterschiedlichen Softwarehäusern gebündelt wurden.³³

Neben der Simulation von Logistik- und Produktionsflüssen, werden weitere Anwendungen im Rahmen der Digitalen Fabrik durchgeführt, zum Beispiel Layoutplanung und Simulation zur Layoutbewertung, Untersuchungen zu Robotik und komplexe Bewegungen und Simulationen zur Personallogistik, Betriebsmittellogistik und der operativen Produktionssteuerung.³⁴

³¹ Vgl. Siemens AG Amberg (2009).

³² Vgl. Kühn (2006), S. 185.

³³ Vgl. Kühn (2006), S. 209.

³⁴ Vgl. Kühn (2006), S. 53f.

Die Digitale Fabrik versucht sämtliche Lebenszyklusphasen³⁵ durch entsprechend, zur Verfügung gestellter Werkzeuge zu unterstützen und zu verbessern. Entsprechend ist die Zieldefinition der Digitalen Fabrik der VDI-Richtlinie 4499 zu interpretieren:

„Ihr Ziel ist die ganzheitliche Planung, Evaluierung und laufende Verbesserung aller wesentlichen Strukturen, Prozesse und Ressourcen der realen Fabrik in Verbindung mit dem Produkt.“³⁶ Wobei mit der Anwendung der Digitalen Fabrik sowohl organisatorische, technische als auch betriebswirtschaftliche Ziele erreicht werden sollen.³⁷

In vorliegender wissenschaftlicher Arbeit wird der Fokus nicht auf automatische Simulationsgenerierung und vergleichbaren Thematiken gelegt, sondern Aspekte individuell durchzuführender Simulationsstudien betrachtet. Diese werden aber dennoch mit den Zielsetzungen der Digitalen Fabrik und des adäquaten Gedankengutes hinsichtlich Simulationen behandelt.³⁸

2.3 Die Simulationssoftware Plant Simulation

Die Standardsoftware *Plant Simulation* von Tecnomatix ist ein objektorientiertes und diskretes, ereignisgesteuertes Simulationswerkzeug, welches ein leicht verständliches Abbilden von komplexen Produktionssystemen und –prozessen erlaubt.³⁹

Mit Hilfe von Objekten, die in einer vorhandenen Bibliothek angeboten werden, können mit entsprechenden Attributsanpassungen Verbindungen einzelner statischer Objekte miteinander und Flusststeuerungen anhand von z.B. individuell programmierten Methoden, Logistik- und Produktionsprozesse auf sämtlichen Ebenen einer Unternehmung - strategisch, taktisch und operativ, dargestellt werden.

Durch eine Studie des Fraunhofer Institutes IFF (Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung) im November 2005 wird die weite Anwendung der Standardsoftware deutlich. Dabei gaben 67 Prozent von ausgewählten, befragten Fabrikplanern an, Plant Simulation für Ablaufsimulationen zu verwenden.⁴⁰

³⁵ Produktlebenszyklusphasen: Beobachtung, Produktentstehung und Marktzyklus. Der Marktzyklus wird wiederum in Einführungs-, Wachstums-, Reife- und Sättigungsphase unterteilt.

³⁶ VDI Richtlinie 4499 Blatt 1 (2008), S. 3.

³⁷ Vgl. Kühn (2006), S. 4.

³⁸ Vgl. VDI Richtlinie 4499 Blatt 1 (2008), S. 9; Kühn (2006), S. 58ff.

³⁹ Vgl.: Siemens Product Lifecycle Management II (DE) GmbH (2009), S. 1; Kühn (2006), S. 245.

⁴⁰ Vgl.: Straßburger et al. (2006), S. 396.

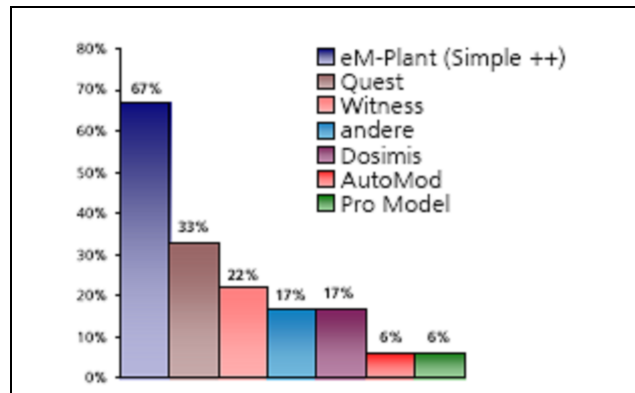


Abbildung 5: Nutzung von Werkzeugen für die Ablaufsimulation⁴¹

Besonders Wert wird unter anderem auf Visualisierungsmöglichkeiten gelegt, die von diesen Werkzeugen unterstützt werden. Neben dem Hauptaugenmerk der grafischen und benutzerfreundlichen Arbeitsumgebung, sind weitere maßgebende Eigenschaften von Plant Simulation zu erwähnen⁴²:

- Hierarchie
- Vererbung
- Bausteinkonzept
- Programmgesteuerte Modellgenerierung
- Kommunikations- und Integrationsfähigkeit
- Plant Simulation 3D-Visualisierung

Plant Simulation unterstützt hierarchische Modellgestaltungen, die die Handhabung erleichtern und das Prozessverständnis verbessern. Von globalen Supply Chains bis hin zu einzelnen Arbeitsplätzen können alle Betrachtungen bei Bedarf miteinander verschachtelt werden (Detaillierungsstufen). Sowohl ein Bottom-Up als auch Top-Down Modellierungsansatz wird unterstützt. Eine weitere Stärke der Standardsoftware ist das Anwenden des Prinzips der Vererbung. Somit lassen sich auf schnellem Wege, je nach Bedarf, bestimmte oder sämtliche Objekte (z.B. Arbeitsstationen, Förderstrecken) hinsichtlich ihrer Darstellung und Attribute verändern. Das Bausteinkonzept wird durch die erwähnten Objekte beschrieben, die in einer voreingerichteten Bibliothek abrufbar sind. Diese sind mit Grundfunktionalitäten ausgerüstet, die beliebig veränder- und erweiterbar sind. Das breite Angebot erstreckt sich von der einfachen Einzelstation (z.B. eine Fertigungsmaschine) bis hin zu Auswertungsobjekten wie ‚San-

⁴¹ Quelle: Straßburger et al. (2006), S. 396.

⁴² Vgl. Kühn (2006), S. 246.

keyDiagramm⁴³ und ‚EngpassAnalyse‘, die adäquate Erhebungen erlauben. Die Kommunikations- und Integrationsfähigkeit wird durch Anbindungsmöglichkeiten der Software zu unterschiedlichen Schnittstellen ermöglicht. Dazu zählen unter anderem Excel, eine C-Programmierschnittstelle, HTML, XML und SQL, wodurch es z.B. zu einer SAP Datenübernahme geeignet ist. Ebenso tragen Plant Simulation Optionen wie die Möglichkeit der Verwendung von ARIS-Bausteinen dazu bei, einen noch breiteren Anwenderkreis anzusprechen. Neben zahlreichen dynamischen und statischen grafischen Auswertungen wird eine 3D-Visualisierung von Ablaufsimulationen unterstützt, wodurch Prozesse im Zuge einer Animation bestmöglich kommuniziert werden können.

Die ‚Programmgesteuerte Modellgenerierung‘ ist ein neuer Ansatz, der in der Literatur dem Begriff ‚Fast Modelling‘ zuzuordnen ist.⁴⁴ Durch Eingabe von bestimmten Parametern, ist die Software im Stande automatisch ein Modell zu erstellen. Somit kann z.B. ein Vertriebsmitarbeiter seinen Kunden realitätsgetreu und lebendig durch Animation den vorherrschenden Prozessablauf demonstrieren, ohne über ausgeprägte Simulationskenntnisse zu verfügen.⁴⁵

Die breite Anwendung wird durch die Eigenschaft der industrieunabhängigen Verwendbarkeit in Produktion und Logistik sowohl in Wirtschaft als auch Forschung realisiert. Zu den Kunden unterschiedlichster Branchen von Plant Simulation zählen unter anderem Audi, Bosch, British Ministry of Defence, Canon, Deutsche Bahn, Henkel, IBM, Krankenhaus Wien, Lufthansa, Tchibo und Voest Alpine.

Die Standardsoftware Plant Simulation wird darüber hinaus heute durch die Siemens AG im von UGS entworfenen Paket der Digitalen Fabrik -Lösung angeboten.⁴⁶

⁴³ Sankey-Diagramm: Grafische Darstellung von Flussmengen, die durch die Breite der aufgetragenen Verbindungslinien im Materialflussmodell quantifiziert werden.

⁴⁴ Vgl. Engelhardt-Nowitzki (2007), S. 263f.

⁴⁵ Vgl. Siemens Product Lifecycle Management II (DE) GmbH [2] (2009), S. 16.

⁴⁶ Vgl. Kühn (2006), S. 237ff.

3 Strukturiertes Vorgehen einer Simulationsstudie

Die Vorgehensweise einer Simulationsstudie ist Kerninhalt dieses Kapitels. Die drei Teilprozesse Simulationswürdigkeitsprüfung, Detaillierungsgradbestimmung und Simulationsdatenermittlung werden im Detail behandelt. Die Ergebnisse werden bei künftigen Simulationsstudien unterstützend verwendet. Zum besseren Verständnis wird als Hilfsmittel im Vorfeld eine Fragebogenstudie durchgeführt, in der Wissenschaftler und Praktiker gezielt auf die einzelnen Problemstellungen befragt wurden.

3.1 Fragebogenstudie zu Materialflusssimulationen

Die dieser Arbeit zugrundeliegenden Forschungsfragen verlangen Rückschlüsse auf Basis von Erfahrungswerten. Diese können im Besten Fall von versierten Simulationsanwendern gewonnen werden. Zu diesem Zweck wurde ein Fragebogen erstellt. Durch die Befragung von Anwendern aus Praxis und Wissenschaft, entstand eine profunde Basis für die Beantwortung sämtlicher Fragestellungen der vorliegenden Arbeit.

3.1.1 Inhalt und Aufbau des Fragebogens

Der erstellte, vollständige Fragebogen ist im Anhang unter Fragebogenauswertung zu finden. Die Fragen wurden entsprechend der Forschungsfragen und der dazu ableitbaren Fragestellungen formuliert. Ebenso ist die Reihung der Fragen bewusst vorgenommen worden. Beispielsweise wird mittels Hilfe von Frage 1 und 2 der Themenkreis zu ‚Simulationswürdigkeit‘ hinterfragt, bevor in Frage 14 eine Sammlung an wissenschaftlich vorhandenen Aspekten der Simulationswürdigkeit aufgelistet wird, welche auf einer Skala von 0-10 gewichtet werden sollen. Durch diese Trennung und Reihung wird eine Beeinflussung der Freitext-Eingabe durch im Fragebogen befindliche Vorgaben vermieden.

Das Offenhalten des Umfangs und der Strukturierung der Antworten durch die Anwendung der Freitext-Funktion für den Großteil der Fragen soll ein Einengen der Beantwortungsmöglichkeiten vermeiden. Erwähnt der Befragte Aspekte, ohne konkret darauf hingewiesen worden zu sein, kann auf eine bestehende Wichtigkeit dieser für den Befragten rückgeschlossen werden. Selbst die mögliche Antwort ‚nicht beantwortbar‘ würde entsprechende Rückschlüsse auf eine Problematik des Inhaltes der Fragestellung an sich erlauben. Weiters werden Checkboxen in den Fragen 7, 8 und 15 verwendet, die eine zügige Beantwortung von konkreten Fragen ermöglichen sollen.

Eine kurze Erläuterung zu Beginn des Fragebogens (u.a. der Industriepartner - für welchen die Arbeit erstellt wurde, die Ziele der durchgeführten Studie) soll dem Befragten die notwendige Eingrenzung des umfassenden Themas Simulation für die Studie bieten. Zu diesem

Zweck wurde auch das zu betrachtende System beschrieben: Produktionssysteme der Serienfertigung mit hoher Fertigungsstückzahl.

3.1.2 Formulierung und Strukturierung der Fragen

Im Folgenden werden die Absichten, die hinter den Formulierungen und des Inhaltes der einzelnen Fragen stehen, erläutert. Um Verweise auf Forschungsfragen vornehmen zu können, werden diese kurz angeführt und durchnummeriert:

1. Wie kann abgewogen werden, ob ein Projekt der Abteilung FTQ simulationswürdig ist oder nicht?
2. Welche planungs- und simulationsrelevanten Faktoren gibt es, die für eine Modellbildung und Simulation berücksichtigt werden müssen?
3. Wie verhalten sich Datenerhebungstiefe und Simulationsergebnisgüte zueinander?
4. In welcher Relation verhält sich der Aufwand zur Datenerhebungstiefe?
5. Wie können durch ein gegebenes Simulationsziel entsprechende Hauptstellgrößen (Parameter, Maschinen, Fertigungsbereiche, etc.) identifiziert werden?
6. Wie soll bei künftigen Modellbildungs- und Simulationsdurchführungen vorgegangen werden?
7. Kann die standardisierte Vorgehensweise praktisch angewandt werden?

Frage 1: Welche Argumente sprechen für eine Simulationsdurchführung einer Fertigungseinheit bzw. wie kann für eine Simulationsanwendung im Allgemeinen argumentiert werden?

Antworten sollen Erkenntnisse zum Entscheid für oder gegen die Durchführung einer Simulationsstudie liefern und einen einführenden Einblick in die vorherrschende, allgemeine Meinung über dieser Thematik gewähren. Verweise auf Forschungsfrage 1 sind möglich.

Frage 2: Welche Kriterien (unter Umständen K.O.-Kriterien) einer Simulationsdurchführung sind ausschlaggebend, um sich dafür beziehungsweise dagegen zu entscheiden? Gibt es dazu einen quantitativ bewertbaren Ansatz (z.B. Checklisten)?

Mit dieser Frage wird Forschungsfrage 1 behandelt. Das Aufzählen mehrerer bewertbarer Kriterien (siehe Frage 14) wäre wünschenswert.

Frage 3: Welche Datenquellen und Vorgehensweisen werden beispielgebend angewendet, um notwendige Informationen zu erheben (eigene/fremdbezogene SAP-Abfragen, Linientagebücher/-aufschreibungen)?

Ein Einblick in das „Wie“ und „Was“ der Daten- und Informationserhebung ist zu erwarten. Durch mehrfache Nennungen von einzelnen Punkten unterschiedlicher Befragter wird ein Aufschluss über bevorzugte Methoden und besonders wichtiger, zu erhebender Daten und Informationen geliefert. Somit kann Forschungsfrage 2 vorbereitet werden.

Frage 4: Welche planer- und simulationsrelevanten Informationen/Daten/Faktoren sind im Allgemeinen zur Modellerstellung notwendig (Bearbeitungs- und Störzeiten, Layoutplan, etc.)? Welche sind dabei im Allgemeinen unerlässlich und würden eine nicht Durchführbarkeit der Simulation bewirken?

Frage 4 diskutiert konkret Forschungsfrage 2. Eine Sammlung an entsprechenden Aspekten als Ergebnis wird erwartet.

Frage 5: Wie kann das richtige Verhältnis zwischen Datenerhebungstiefe und gewünschter Ergebnisgüte erzielt werden (richtige Abstraktionsniveau)?

Durch Frage 5 wird versucht konkret eine Antwort zu Forschungsfrage 3 zu erlangen. Diese nicht triviale Fragestellung zur Simulationsanwendung wird unterschiedliche (emotionale) Reaktionen bei den Befragten hervorrufen.

Frage 6: Wie wird bei der Modellbildung und Simulation vorgegangen? Wird eine spezielle Methodik/„Anleitung“ verwendet oder „drauf los“ modelliert und simuliert?

Die Frage, ob existierende Vorgehensmodelle (z.B. nach VDI-Richtlinie 3633⁴⁷) in der Praxis bewusst Anwendung finden, soll beantwortet werden. Es sollen Anhaltspunkte zur Klärung von Forschungsfrage 6 gefunden werden.

Frage 7: Welche Aspekte innerhalb der Modellbildung und Simulation werden als wichtig/weniger wichtig empfunden? Bitte kreuzen sie im Folgenden je Aspekt ein Feld an.

Mit Hilfe von vier Auswahlfeldern, die von ‚vernachlässigbar‘ bis ‚sehr wichtig‘ reichen, werden 18 unterschiedliche Punkte vom Befragten gewichtet. Diese reichen von der Notwendigkeit einer Lastenhefterstellung bis hin zur Wichtigkeit der Verständlichkeit der Ergebnisinterpretation. Der Fokus ist auf Praktiken der Modellerstellung und einhergehender, notwendiger Programmieraspekte gerichtet (z.B. Das Kommentieren von Methoden oder das grafische Gestalten von Objekten). Generell werden durch Frage 7 Beiträge zu mehreren Forschungsfragen erreicht.

Frage 8: Welcher Simulationsansatz wird von Ihnen in der Regel angewendet?

⁴⁷ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 9.

Die beiden in der Literatur üblicherweise beschriebenen Vorgehensweisen Top-Down⁴⁸ und Bottom-Up⁴⁹ stehen neben der seltener erwähnten dritten Option Middle-Out⁵⁰ zur Auswahl. Eine Tendenz der Vorgehensweise bei der Modellerstellung ist als Resultat zu erwarten und für Forschungsfrage 6 verwendbar.

Frage 9: Welche Methoden/Techniken werden im Zuge der Verifikation und Validierung eingesetzt (z.B. Animation, Plausibilitätstest)?

Viele in der Literatur befindliche Methoden der Verifikation und Validierung werden auf die Häufigkeit ihrer praktischer Anwendung abgefragt. Dadurch können in Kapitel 3.2 ‚Der Prozessablauf einer Simulationsstudie‘ zu Forschungsfrage 6 Empfehlungen auf dieser Basis ausgesprochen werden.

Frage 10: Wie werden Simulationsszenarien definiert (z.B. durch Auftraggeber im Vorfeld)?

Eine mögliche Einordnung in der Vorgehensweise einer Simulationsstudie ist durch eine Antwort zu Frage 10 möglich und mit theoretischen Ansätzen vergleichbar (relevant für Forschungsfrage 6).

Frage 11: Welche Simulationszeiträume werden in der Regel für die Szenariendurchführung der Simulationsläufe gewählt?

Eine Ergänzung zu Frage 10. Darüber hinaus werden u.a. Rückschlüsse auf den notwendigen Umfang der Datenerhebung ermöglicht, womit auf die Forschungsfragen 3 und 4 Bezug genommen werden kann.

Frage 12: Mit welchem zeitlichen Aufwand wird im Durchschnitt je vollständigem Simulationsprojekt gerechnet (Von der Zieldefinition bis zur Ergebnispräsentation)?

Frage 12 erlaubt eine weitere Erörterung der Aufwandsabschätzung im Allgemeinen, demnach steht Forschungsfrage 4 im Fokus der Fragestellung.

Frage 13: Werden erstellte Simulationsmodelle nach Projektabschluss wieder- bzw. weiterverwendet?

Die Nachnutzung von Modellen bzw. Teilen aus diesen steht im Mittelpunkt der Betrachtung. Ist die Nachnutzung in der Praxis verbreitet, kann dadurch eine Effizienzsteigerung der Anwendung einer Simulationsstudie abgeleitet werden und somit als tragender Aspekt im Entscheid um die Simulationswürdigkeit eines Projektes eingebunden werden (siehe Forschungsfrage 1)?

⁴⁸ Top-Down: Detaillierung ausgehend vom Ganzen.

⁴⁹ Bottom-Up: vom Detail ausgehend das Ganze schrittweise synthetisierend.

⁵⁰ Middle-Out: Beginnend mit der am wichtigsten erachteten Komponente.

Frage 14: Gemäß der VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1 (2008), Schulze und Robinson werden die folgenden Aspekte/Anforderungen erwähnt, die hinsichtlich der Simulationswürdigkeit eines Projektes vorab zu überprüfen sind.⁵¹ Wie würden Sie die Wichtigkeit dieser Aspekte in der Überprüfungsphase auf einer Skala von 0 (unwichtig) bis 10 (sehr wichtig) gewichten?

Die in der Fragestellung angeführten Autoren haben vorgeschlagene Aspekte gelistet, die bei der Überprüfung der Simulationswürdigkeit eines Projektes in Betracht gezogen werden sollen. Mittels der Bewertung dieser Aspekte durch die Befragten, anhand einer Skala von 0 (unwichtig) bis 10 (wichtig), kann eine Gewichtung ermittelt werden. In weiterer Folge kann auf dieser Basis eine adäquate Nutzwertanalyse vorbereitet werden, die künftigen Simulationsanwendern der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg bei Verwendung dieser, eine Entscheidungsunterstützung bietet (siehe Kapitel 3.3 ‚Prüfung der Simulationswürdigkeit‘).

Frage 15: Wie beläuft sich die gegenwärtige Akzeptanz von Fertigungsplanern und -leiter (nicht Simulationsdienstleister) hinsichtlich Materialflusssimulationen als planerisches Werkzeug?

Anhand Frage 15 wird die durchschnittliche Anerkennung einer Simulationsstudie als Werkzeug des Fertigungsplaners ermittelt, die durch Simulationsanwender wahrgenommen wird.

Frage 16: Weitere Anregungen/Ideen/Empfehlungen/Bemerkungen

Dem Befragten steht es frei, ob und in welcher Weise er diesen Platz für Bemerkungen etc. nützt.

Insgesamt wurden 71 Fragebogen per E-Mail an verschiedene Personen unterschiedlichster Institutionen persönlich adressiert und verschickt. Die Kontakte beschränken sich dabei auf den deutschsprachigen Raum Österreich und Deutschland. Neben Persönlichkeiten der Montanuniversität Leoben, für welche die vorliegende Arbeit erstellt wurde, sind Akademiker entsprechender Institute an zahlreichen Hochschulen und unabhängige Forschungsinstitute befragt worden. Weiters wurde der Fragebogen an Experten innerhalb des Konzerns der Siemens AG verschickt, die im Bereich der Materialflusssimulationen beschäftigt sind. Vertreter aus der Automobilindustrie zählen ebenso zu den Kontakten zur Befragung. Darüber hinaus sind Persönlichkeiten von Dienstleistungsunternehmen befragt worden, deren Arbeiten mit der Materialflusssimulationssoftware Plant Simulation zum Kerngeschäft der Unternehmung zählt. Die Befragung wurde anonym durchgeführt. Der Bezug zu diesen Adressen wurde über den Arbeitsplatz der betreuenden Abteilung der Siemens AG gewonnen, bzw. über die Recherchen fachspezifischer Literatur zur vorliegenden Arbeit hergestellt. Der Rücklauf er-

⁵¹ Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 14ff.

streckt sich über die erwähnten Sektoren, womit ein allgemeiner Einblick unterschiedlichster Betrachtungsweisen sichergestellt werden kann. Die Rücklaufquote der Befragung beträgt zufriedenstellende 44 Prozent.

Das ausführliche Auswertungsergebnis befindet sich im Anhang. Erkenntnisse, die aus der Befragung abgeleitet und gewonnen wurden, finden im weiteren Verlauf der Arbeit Verwendung. Es sind dazu an entsprechenden Stellen Verweise auf diese zu finden. Diese Erfahrungswerte aus der Praxis sollen Übernahmen aus der Literatur stützen und ein Fundament für die Beantwortung von Forschungsfragen bilden.

3.1.3 Konklusion der Fragebogenauswertung

Die Anzahl der Antwortgebenden variiert von Frage zu Frage, ebenso die Ausführlichkeit, mit welcher die Antworten formuliert wurden. Trotz der Freitextantworten, die die Antwortgeber zu formulieren hatten, sind viele Gemeinsamkeiten zu den einzelnen Fragestellungen zu erkennen. Stark betont werden bei nahezu allen Punkten die Notwendigkeit von vorhandener Expertise des Simulationsanwenders und die vorherrschende Problemabhängigkeit der meisten Fragen. Damit wird die Schwierigkeit und Sensibilität der Thematik unterstrichen, aber ebenso das Bedürfnis sich damit auseinander zu setzen. Mehrfach wurde, sowohl von Wissenschaftlern als auch Praktikern, auf einschlägige Literatur verwiesen.

100 Prozent der Antwortgeber sprechen sich für die Wichtigkeit einer klaren Zieldefinition zu Beginn einer Studie aus. Im darauffolgenden Schritt der Prüfung der Simulationswürdigkeit, wurden die Komplexität des abzubildenden Systems, das Versagen von analytischen Methoden und die Möglichkeit das System dynamisch betrachten zu können, unter anderem als Hauptargumente für den Simulationseinsatz erwähnt. Der Einsatz dient im Allgemeinen der Risikominimierung und liefert in weiterer Folge damit ein erhöhtes Maß an Planungssicherheit. Gut ein Fünftel der Antwortgeber warnen dabei vor den entstehenden Kosten und einhergehenden Aufwand einer Durchführung einer Simulationsstudie, sofern diese den Erwartungswert der Ergebnisse übersteigen. In einer weiteren Fragestellung sind aus der Literatur vorgeschlagene Aspekte der Prüfung der Simulationswürdigkeit aufgelistet, welche von den Antwortgebern bewertet wurden. Dabei wurde neben den bereits genannten Punkten der Aspekt der notwendigen Datenbasis hoch bewertet.

Im Zuge der Datenerhebungsphase werden als Quellen vorwiegend Excel-Tabellen, Arbeitspläne, Stücklisten und Maschinenspezifikationen genutzt. Diese Informationen werden von über 30 Prozent zum Teil mittels ERP-Systemabfragen erhoben. Über ein Fünftel nutzen darüber hinaus Interviews bzw. Befragungen von Mitarbeitern, um notwendige Informationen zu gewinnen. Als unerlässliche Informationen für die Durchführung der Simulationsstudie

gelten dabei Anlagedaten, Layoutpläne, Steuerstrategien, Arbeitspläne und Transportzeiten und –größen.

Um das richtige Verhältnis von Datenerhebungstiefe zu Ergebnisgüte zu erhalten, verweisen 32 Prozent auf die notwendige Erfahrung des Simulationsexperten. Ein Fünftel deutet auf die etwaige Abhängigkeit der Zielsetzung der Studie hin. Mehrmals wird der Leitsatz „so genau wie nötig, so grob wie möglich“ genannt.

Im Allgemeinen wird mit einem Antwortgeberanteil von über 75 Prozent Wert auf ein kontinuierliches Zusammenarbeiten mit dem Auftraggeber (u.a. Meetings) und ein sauberes und strukturiertes Arbeiten gelegt, sowohl beim Programmieren (z.B. Beschreiben von Methoden), als auch im Vorgehen der Studie selbst. 94 Prozent der Antwortgeber bewerten ein strukturiertes Vorgehen im Zuge der Simulationsstudie als ‚wichtig‘ bzw. ‚sehr wichtig‘. Allerdings lässt sich bei näherem Nachfragen feststellen, dass dies nur in seltenen Fällen konkret umgesetzt wird. Weniger als ein Fünftel der Antwortgeber konnten ein konkretes Vorgehen Schritt für Schritt nennen. Die Modellerstellung selbst wird von den Antwortgebern gleichermaßen mit den Top-Down und Bottom-Up Ansatz durchgeführt, Middle-Out kommt kaum zur Anwendung.

Bei einem Drittel kommen Plausibilitätstests für eine Verifikation und Validierung des Simulationsmodells zum Einsatz. Die Hälfte der Antwortgeber nutzt dazu ebenso die Animation. Die Abschlussphase der Studie (die Ergebnisauswertung) wird von 100 Prozent der Antwortgeber als ‚wichtig‘ oder ‚sehr wichtig‘ erachtet. Nach der Beendigung der Studie verwenden über 50 Prozent das Modell bzw. Teile daraus wieder bzw. weiter. Die Gesamtdauer eines Projektes, von der Zieldefinition bis zur Ergebnispräsentation, wird zu meist auf ein bis drei Wochen oder auf sechs Monate geschätzt.

Die Akzeptanz von nicht Simulationsexperten wird seitens Praktiker positiver gesehen als seitens Wissenschaftler. Damit ergibt sich gesamt, dass beinahe die Hälfte der Antwortgeber die gegenwärtige Akzeptanz mit ‚Gut‘ bewerten, während über ein Drittel diese als eher ‚Mäßig‘ einstufen. Diskrepanzen sind oft altersbedingt. Neben dem Respekt vor Informationstechnologien halten ältere Mitarbeiter durch die vorhandene Furcht durch Simulation ersetzt werden zu können, vorzugsweise Abstand von dieser Methode. Dabei sollte das Verständnis geschaffen werden, dass durch die Anwendung von Simulationen die planerischen Tätigkeiten nicht ersetzt wird, sondern diese den Planer in seinem Arbeitsfeld begleiten und unterstützen kann.

Die Erkenntnisse aus der Fragebogenstudie dienen als Ausgangsbasis für die weitere thematische Behandlung und bekräftigen bzw. verifizieren Annahmen aus der Theorie. Auf Teilergebnisse wird im Verlauf der Arbeit an entsprechenden Stellen hingewiesen.

3.2 Der Prozessablauf einer Simulationsstudie

In diesem Kapitel wird das für die Arbeit zu berücksichtigende Vorgehensmodell einer Simulationsstudie ausgearbeitet. Anschließend werden, gemäß der Reihenfolge im Vorgehensmodell, die Prozessschritte ‚Prüfen der Simulationswürdigkeit‘, ‚Bestimmung des Detaillierungsgrades‘ und ‚Ermitteln der notwendigen Simulationsdaten‘ im Detail untersucht.

3.2.1 Entwicklung eines Vorgehensmodells

Ein wesentliches Teilziel der vorliegenden Arbeit ist es, dem Anwender eine Vorgehensweise bieten zu können, die eine organisierte Durchführung einer Simulationsstudie ermöglicht. Die Wichtigkeit einer strukturierten und einheitlichen Vorgehensweise betont Sadowski in seinem Artikel „Tips for the successful practice in simulation“⁵². Ebenfalls bestätigt wird dies durch Ergebnisse der Fragebogenauswertung: 52 Prozent der Antwortgeber beurteilen die Wichtigkeit eines systematischen Vorgehens gemäß eines Konzeptes in der Modellbildung und Simulation mit ‚wichtig‘ bzw. 42 Prozent mit ‚sehr wichtig‘. Allerdings nehmen lediglich 8 Prozent der Antwortgeber ein konkretes Konzept in Anspruch, womit die Notwendigkeit einer entsprechenden thematischen Auseinandersetzung bekräftigt wird. Für eine qualifizierte Empfehlung wird ein hohes Maß an fachspezifischer Erfahrung und multidisziplinärer Akzeptanz vorausgesetzt. Darüber hinaus sind entsprechend verwertbare Ergebnisse ein Output aus zeitintensiven Prozessen – „Standards processes tend to be multi-year efforts.“⁵³

In den vergangenen Jahrzehnten wurden zahlreiche Ansätze zu Ablaufmodellen für Simulationsstudien entwickelt. Diese sind in ihren grundlegenden Schritten und Abläufen sehr ähnlich und können sehr gut durch die Darstellung und Interpretation innerhalb der VDI-Richtlinie 3633 wiedergegeben werden. Diesem Ansatz wird im deutschen Sprachraum die größte Bedeutung zugeschrieben.⁵⁴ Innerhalb der Siemens AG wurde ebenso bereits auf diese Vorgehensweise hingewiesen.

⁵² Vgl. Sadowski et al. (2006), S. 72.

⁵³ McLean et al. (2003), S. 2024.

⁵⁴ Vgl. Rabe et al. (2008), S. 27; Kostûriak et al. (1995), S. 105.

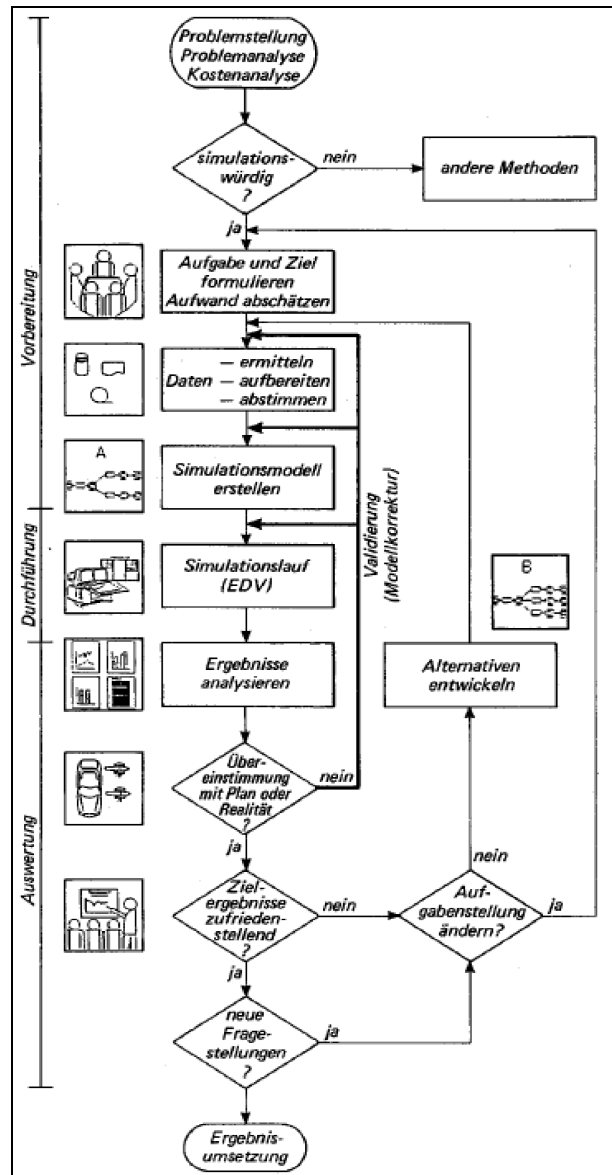


Abbildung 6: Vorgehensmodell gemäß VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1⁵⁵

Im Wesentlichen für die vorliegende Arbeit der dargestellte Ablauf übernommen. Die beige-fügten grafischen Erläuterungen zu den einzelnen Schritten werden weggelassen. Zudem wird das Entscheidungsobjekt ‚Übereinstimmung mit Plan oder Realität‘ entfernt und durch einen umfassenderen Verifikations- und Validierungsaspekt erweitert (siehe Erläuterungen zu Abb. 8). Die nachfolgenden Entscheidungsobjekte werden ebenso nicht übernommen, da der mögliche weitere Prozessverlauf in Folge nicht zufriedenstellender Zielergebnisse bzw. die Formulierung neuer Fragestellungen zum vorliegenden Projekt in dieser Arbeit nicht näher betrachtet wird. Zudem würde es eine Schmälerung der Prozessverständlichkeit innerhalb der Visualisierung bewirken. Das zweite maßgebende Vorgehensmodell, dessen Ansatz in vorliegender Arbeit auch Verwendung findet, ist jenes nach Wenzel et al.:

⁵⁵ Quelle: VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 9.

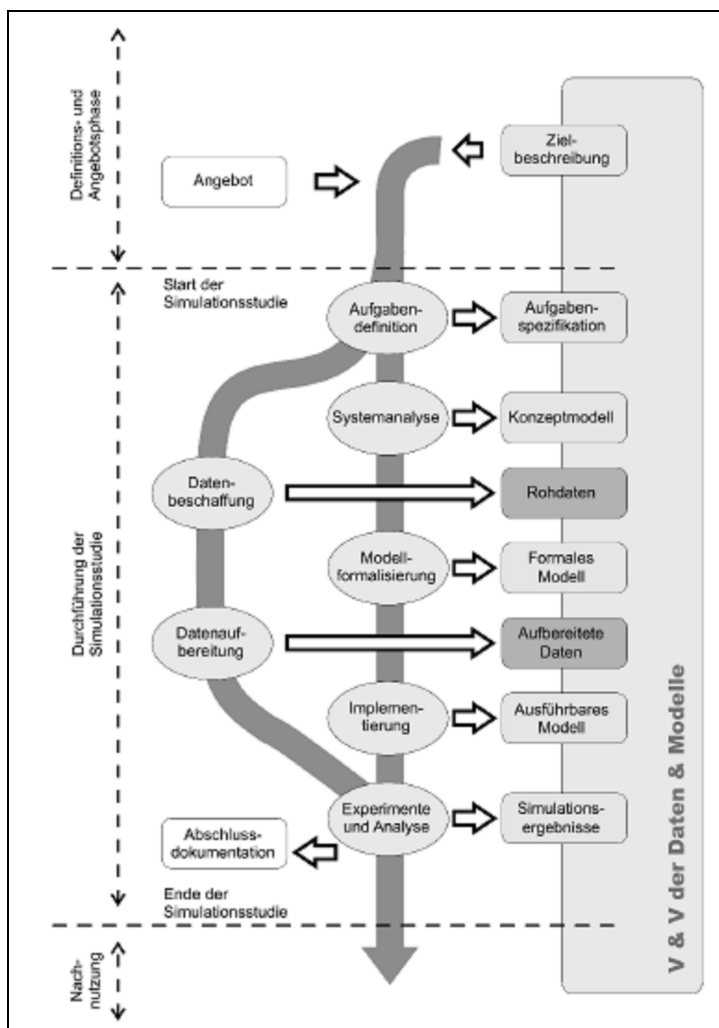


Abbildung 7: Vorgehensmodell gemäß Wenzel et al.⁵⁶

Dieses Modell liefert die Betrachtungsweise speziell hinsichtlich der Outputs einzelner Phasen (Aufgabenspezifikation, etc.), die durchgängige Anwendung von Verifizierung und Validierung einzelner Outputs – dargestellt durch den grauen Balken am rechten Rand, und die Parallelisierung des Datenerhebungs- und Modellerstellungsprozesses (vgl. zur Parallelisierung z.B.: Vorgehensmodell nach Banks⁵⁷). Darüber hinaus wird der Begriff ‚Nachnutzung‘ miteinbezogen. Allerdings wird vom erläuterten Prozessablauf selbst Abstand genommen, da dieser im Vergleich zum Vorgehensmodell gemäß VDI-Richtlinie 3633 Blatt 1 vom Autor der vorliegenden Arbeit als zu abstrakt erachtet wird.

Diese erwähnten Aspekte (Prozessablauf nach VDI 3633, Verifikation und Validierung einzelner Outputs, etc.) werden in einem Ereignisgesteuerten Prozessketten Modell (EPK Modell) miteinander vereint, um dem Anwender einen Leitfaden in einer oft verwendeten Darstellungsform für den generellen Ablauf von Simulationsstudien bieten zu können.

⁵⁶ Quelle: Wenzel et al. (2008), S. 6.

⁵⁷ Vgl. Banks (1984), S. 12.

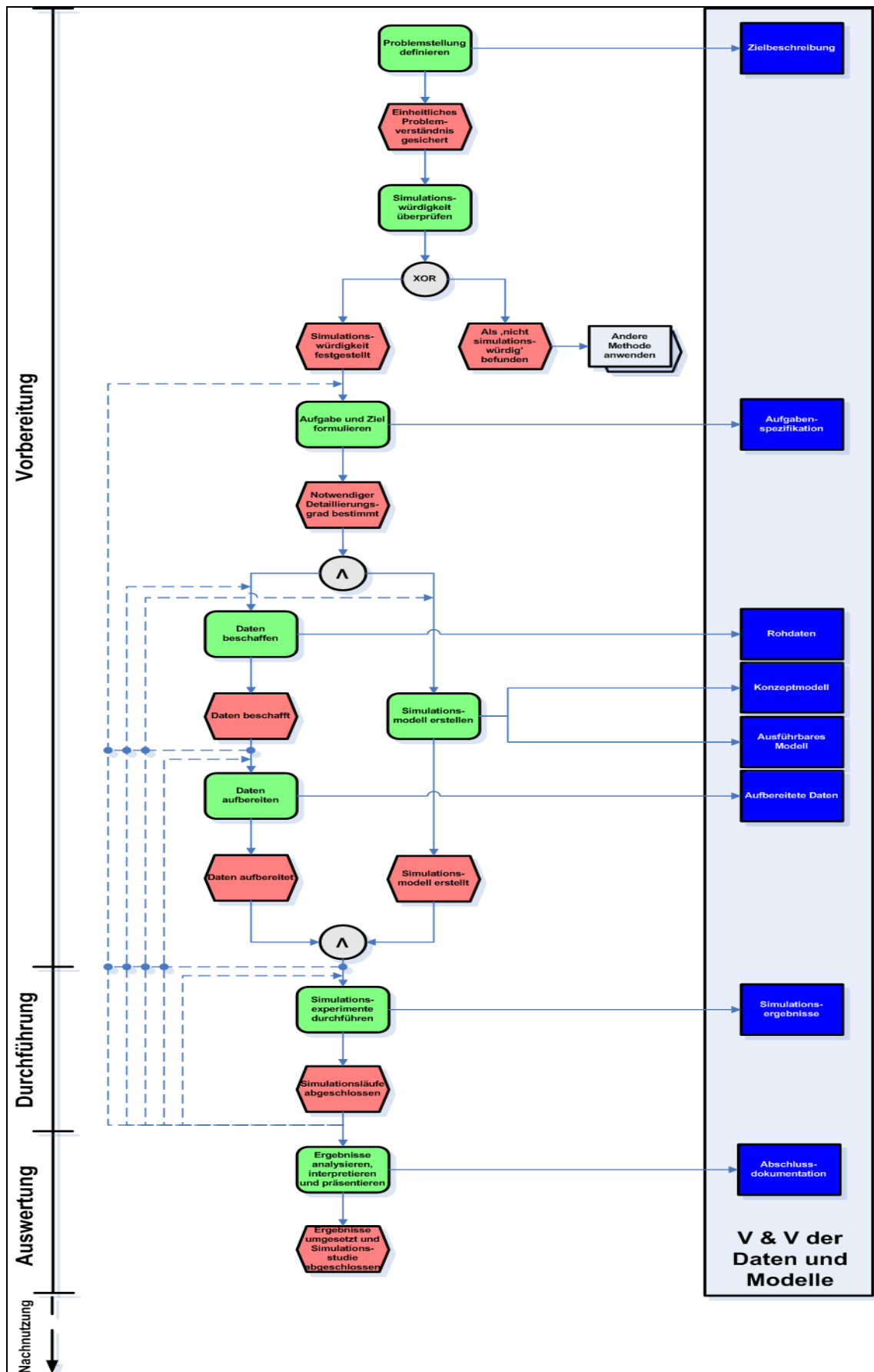


Abbildung 8: Das Vorgehensmodell (eigene Darstellung)

Die Durchführung ist in drei Abschnitte gegliedert: Vorbereitung, Durchführung und Auswertung.⁵⁸ Jeder Abschnitt enthält mehrere Prozessschritte, die von einer Dokumentation und Verifikation⁵⁹ und Validierung⁶⁰ (V&V) begleitet werden.

Nach Abschluss der drei Abschnitte und einhergehender Beendigung der Simulationsstudie, ist eine mögliche Nachnutzung des Simulationsmodells zu erwähnen. Die erneute Nutzung (Re-use) von Simulationsmodellen ist durch die Begriffe Wiederverwendung und Weiterverwendung geprägt. Je nach Bedarf können Modelle bzw. Modellteile (bis hin zu Programmcode-Auszüge) unter geringem Anpassungsaufwand auf eine alternative Fragestellung im gleichen System oder an ein anderes System wieder- bzw. weiterverwendet werden. Somit erfährt die Nutzung der Methode Simulationsstudie eine zusätzliche Effizienzsteigerung. Beinahe 50 Prozent des Rücklaufes der Fragebogenstudie verwenden Modelle bzw. Modellteile in unterschiedlicher Art und Weise weiter und wieder. Es wird für nähere Betrachtungen dieser Thematik auf vorhandene Literatur verwiesen.⁶¹

Nachstehende Tabelle bietet eine Übersicht an kurzen Erläuterungen und Zusammenhänge zu den einzelnen Komponenten der Darstellung:

⁵⁸ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 9.

⁵⁹ Verifikation: Verifikation ist die Überprüfung, ob ein Modell von einer Beschreibungsart in eine andere Beschreibungsart korrekt transformiert wurde.

⁶⁰ Validierung: Validierung ist die kontinuierliche Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau wiedergeben.

⁶¹ Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 153ff.

Prozessschritt			
Funktion	Ereignis	Beschreibung	Dokument/Output
Problemstellung definieren	Einheitliches Prozessverständnis gesichert	Festlegen der Ausgangssituation, des Projektumfangs und der Randbedingungen	Zielbeschreibung (vgl. ‚Lastenheft‘ ⁶²)
Simulationswürdigkeit überprüfen	A) Simulationswürdigkeit festgestellt B) Als ‚nicht simulationswürdig‘ befunden	Entscheid über Anwendung der Methode Simulationsstudie am vorliegenden Projekt; Gegebenenfalls alternative Methode wählen	
Aufgabe und Ziel formulieren	Notwendiger Detaillierungsgrad bestimmt	Beschreibung/Überblick über die Systemstruktur, notwendigen Daten etc. schaffen und Detaillierungsgrad der Teilsysteme bestimmen	- Aufgabenspezifikation (vgl. ‚Pflichtenheft‘ ⁶³)
Daten beschaffen	Daten beschafft	Notwendige Ressourcen ermitteln und Daten beschaffen, Daten-Zuverlässigkeit prüfen, fehlende Daten schätzen etc.	Rohdaten
Daten aufbereiten	Daten aufbereitet	Ergebnisse der Erhebung mit Projektpartnern abstimmen, notwendige Datenfilterung- und -bereinigung durchführen, auf Plausibilität prüfen	Aufbereitete Daten
Simulationsmodell erstellen	Simulationsmodell erstellt	Modell auf Basis der Systemanalyse und des Konzeptes gemäß Modellierungs- und Implementierungsvorgaben in Simulationssoftware abbilden	- Konzeptmodell - Ausführbares Modell
Simulationsexperimente durchführen	Simulationsläufe abgeschlossen	Nach Anwendung der erhobenen Daten auf das erstellte Modell: Simulationsläufe gemäß des erstellten Experimentplan durchführen	Simulationsergebnisse
Ergebnisse analysieren, interpretieren und präsentieren	Simulationsstudie abgeschlossen	Ergebnisse auf Plausibilität prüfen, Ergebnisse darstellen und Auftraggeber verständlich erläutern; Umsetzung der Simulationsergebnisse	Abschlussdokumentation

Tabelle 1: Prozessschritte des Vorgehensmodells (eigene Darstellung)

⁶² Lastenheft: Im Lastenheft wird definiert, WAS und WOFÜR zu untersuchen ist.

⁶³ Pflichtenheft: Im Pflichtenheft wird definiert, WIE und WOMIT die Aufgabenstellung gelöst wird.

Gemäß des Darstellungsregelwerkes für EPKs⁶⁴, wird das Vorgehensmodell anhand von sogenannten Funktionen und Ereignissen beschrieben. Diese bilden gemeinsam einen Prozessschritt im allgemeinen Ablauf einer Simulationsstudie.

Die Spalte ‚Beschreibung‘ bietet einen Überblick über den Inhalt des etwaigen Prozessschrittes. Dieser Überblick stellt allerdings keine vollständig ausgeführte Erläuterung dar, was in den einzelnen Schritten zu erledigen ist. Mehr Aufschluss dazu bietet der praktische Teil dieser Arbeit (siehe Kapitel 4.2).

3.2.2 Dokumentation und Ergebnisse

Die in der Spalte ‚Dokumentation/Output‘ gelisteten Ergebnisse, die sich aus den entsprechenden Prozessschritten ergeben, sind eine Richtlinie für die begleitende Dokumentation im Zuge einer Simulationsstudie. Wenzel et al. bezeichnen dieses Vorhaben als grundlegendes Qualitätskriterium.⁶⁵ Hierbei handelt es sich um eine Auswahl bestimmter, in der Literatur vorgeschlagener Dokumente:

Dokument/Output	Beschreibung
Zielbeschreibung	Stellt die Ausgangsbasis der Simulationsstudie dar. Es enthält eine Kurzbeschreibung des zu untersuchenden Systems. Weiters werden Aufgabenstellung, die Untersuchungsziele (gegebenfalls inklusive Priorisierung) und der Modellierungszweck formuliert.
Aufgabenspezifikation	Beschreibt das zu lösende Problem näher, gemäß des erarbeiteten gemeinsamen Verständnisses aller Beteiligten, auf Basis der Zielbeschreibung. Es beschreibt „das Projektziel sowie das zu untersuchende System und seine Teilsysteme.“ ⁶⁶ Dazu zählen unter anderem Aspekte wie Systemgrenzenbenennung, grobe Beschreibung des Systemverhaltens, Aufzählung der Systemkomponenten, Art, Umfang und Granularität der benötigten Informations- und Datenquellen etc.. Ebenso werden Modellzweck, spätere Modellnutzung und Anforderungen an die Lösungsmethode erläutert. Das Ergebnis der entsprechenden Phase soll einen Experimentplan mit sich bringen. ⁶⁷
Rohdaten	Dokumentation der benötigten und gesammelten Daten und Informationen. Ergänzend zu den Angaben in der Aufgabenspezifikation muss das konkrete Vorgehen der Datenbeschaffung dokumentiert werden.

⁶⁴ Vgl. IDS Scheer (2005), S. 250ff.

⁶⁵ Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 18ff.

⁶⁶ Wenzel et al. (2008), S. 27.

⁶⁷ Vgl. Kuhn et al. (2008), S. 86.

Doku- ment/Output	Beschreibung
Aufbereitete Daten	Bereinigung, Strukturierung und Verdichtung der Rohdaten, um eine Verwendung in der Simulation zu ermöglichen. Jegliche Annahmen, wie z.B. Informationen zu einer Verdichtung in Form einer Verteilungsfunktion oder Korrekturen, wie das identifizieren und korrigieren von fehlerhaften Datensätzen, ist in einer Dokumentation festzuhalten.
Konzeptmodell	Dokumentation des zu entwickelnden Simulationsmodells, die im Zuge der Systemanalyse entsteht. Das Konzeptmodell „bildet den Übergang von der Beschreibung, welche Aufgabe gelöst werden soll, zu der von allen Beteiligten akzeptierten Beschreibung, wie diese Aufgabe zu lösen ist“ ⁶⁸ . Es werden der Umfang des Modells und die erforderliche Detaillierung damit beschrieben. Erarbeitet werden somit: Zielsetzungen, Eingaben, Ausgaben, Elemente und deren Beziehungen, Annahmen und Vereinfachungen. Dies wird vorzugsweise grafisch dargestellt, z.B. durch Flussdiagramme oder Diagramme aus UML 2 ⁶⁹
Ausführbares Modell	Die Umsetzung (Implementierung) des erarbeiteten Konzeptmodells durch den Simulationsexperten unter Anwendung der Simulationssoftware. Es entsteht „eine auf das Simulationswerkzeug zugeschnittene Modellbeschreibung“ ⁷⁰ .
Simulations- ergebnisse	Unter Anwendung der ‚aufbereiteten Daten‘ auf das ‚ausführbare Modell‘, werden Simulationen gemäß dem Experimentplan durchgeführt, die zu Simulationsergebnissen führen. Diese bestätigen oder widerlegen Hypothesen und zeichnen quantitative Ergebnisse auf, die Analysen (und qualitative Erkenntnisse) zulassen. Es können dadurch Schlussfolgerungen für das reale System abgeleitet werden.
Abschluss- dokumentation	Zusammenfassung der wichtigsten Simulationsprojektergebnisse. Die ‚Abschlussdokumentation‘ entsteht in der Regel aus Auszügen oder einer Zusammenfassung der bereits erstellten Dokumente zu den Ergebnissen der einzelnen Phasen der Simulationsstudie. ⁷¹ Darüber hinaus wird dargestellt, auf welchem Weg das ursprünglich gesetzte Projektziel erreicht wurde. „Der Inhalt beschränkt sich auf das aus Sicht des Auftraggebers Wesentliche.“ ⁷²

Tabelle 2: Dokumente/Outputs in einer Simulationsstudie (eigene Darstellung)

Laut Neumann kann die Bewahrung und Erschließung des im Verlauf eines Simulationsprojektes genutzten und generierten Wissens, nur auf Basis einer strukturierten Dokumentation gelingen.⁷³ Dies soll mit Hilfe der Erstellung der beschriebenen Dokumente erreicht werden.

In Abbildung 7 ist ersichtlich, dass in der Entwicklung der Modellerstellung neben dem ‚Konzeptmodell‘ und dem ‚ausführbaren Modell‘ auch noch ein ‚formales Modell‘ erstellt werden

⁶⁸ Rabe et al. (2008), S. 48.

⁶⁹ UML: Unified Modeling Language: Standardisierte Sprache für die Modellierung von Systemen.

⁷⁰ Rabe et al. (2008), S. 50.

⁷¹ Wenzel et al. (2008), S. 31.

⁷² Wenzel et al. (2008), S. 24.

⁷³ Vgl. Engelhardt-Nowitzki et al. (2007), S. 198.

soll. Dies wird hier außer Acht gelassen, da das formale Modell einer implementierbaren, Simulationswerkzeug-unabhängigen Darstellung entspricht. Demnach wird die ‚Modellformalisierung‘ in Abbildung 8 nicht angeführt. Das zu benutzende Werkzeug wird bei vorliegender Betrachtung als bereits bekannt vorausgesetzt, womit diese Vorstufe zum Simulationswerkzeug-spezifischen Modell nicht von Nöten ist.

Die Schritte ‚Systemanalyse‘ und ‚Implementierung‘ werden in Darstellung 8 unter ‚Simulationsmodell erstellen‘ zusammengefasst. Desgleichen werden die Ergebnisse ‚Konzeptmodell‘ und ‚ausführbares Modell‘ aus diesem Schritt gewonnen.

V&V ist als begleitender Prozess „von der Zielbeschreibung einer Studie bis zur Ausarbeitung von Entscheidungsvorschlägen auf Basis von Simulationsergebnissen“⁷⁴ zu verstehen. Jedes Ergebnis, das ein Prozessschritt liefert (z.B. Dokument Zielbeschreibung aus Prozessschritt ‚Problem ermitteln und analysieren‘) ist laut Rabe et al. konsequent unter Einsatz entsprechender Methoden zu verifizieren und validieren, um fehlerhafte Aussagen, die zu falschen Schlussfolgerungen aus Simulationsergebnissen führen können, zu verhindern.⁷⁵ Selbst die Zielbeschreibung kann „vor Beginn der Aufgabendefinition unter anderem auf ihre Stimmigkeit und strukturelle Vollständigkeit hin überprüft werden.“⁷⁶

Die unterbrochenen Verbindungslinien in Abbildung 8 des verwendeten Vorgehensmodells, zeigen den möglichen, iterativen Charakter der einzelnen Abschnitte auf. Dies erfolgt maßgebend durch den Einsatz von V&V. So kann z.B. durch Plausibilitätstests nach Durchführung der Simulationsläufe festgestellt werden, dass die Studie Daten mit höherem Genauigkeitsgrad erfordert (z.B. in Minuten statt in Stunden), womit ein Zurückschreiten zum Prozessschritt ‚Daten beschaffen – Daten beschafft‘ von Nöten wird. Dies kann im Zuge einer Simulationsstudie in nahezu jeder Phase und Form des Umfangs erfolgen.

3.2.3 Aufwandsverteilung einer Simulationsstudie

Die Betrachtung der in einer Simulationsstudie entstehender Aufwendungen und deren verhältnismäßige Intensität zueinander, gibt Aufschluss darüber, wie eine zeitliche Gliederung und eine adäquate Ressourcenplanung der Studie vorzunehmen ist. Viele wissenschaftliche Arbeiten verweisen dabei auf die Visualisierung und Einteilung von Acêl:⁷⁷

⁷⁴ Rabe et al. (2008), S. 2; Vgl. Knaak et al. [2] (2005), S. 199.

⁷⁵ Vgl. Rabe et al. (2008), S. 93ff.

⁷⁶ Rabe et al. (2008), S. 7.

⁷⁷ Vgl. Košturiak et al. (1995), S. 106; Jensen (2007), S. 2; März et al. (2008), S. 156.

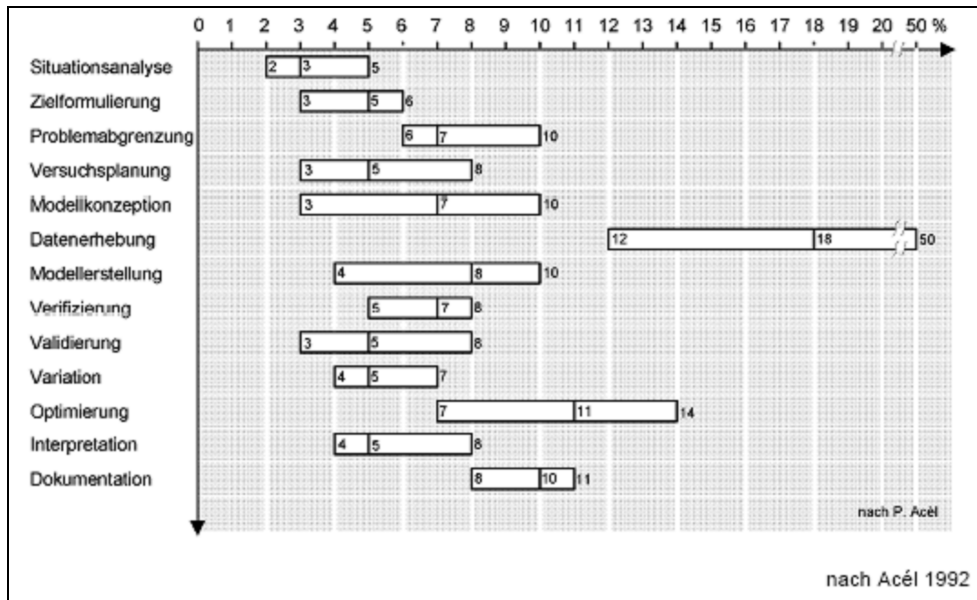


Abbildung 9: Aufwandsverteilung nach Acél⁷⁸

Auf der y-Achse werden Aktivitäten einer Simulationsstudie aufgelistet, die gegen die x-Achse in Prozentwerten aufgetragen werden. Der Gesamtaufwand von 100 Prozent einer Studie wird demnach auf die einzelnen Aktivitäten aufgeteilt. Jeder Aktivität ist ein Balken zugeordnet, der durch einen minimalen und maximalen Wert links- und rechtsbündig begrenzt wird. Dazwischen wird der Medianwert zur Aktivität festgehalten. So werden z.B. mindestens 8 Prozent, maximal 11 Prozent und im Mittel 10 Prozent des Gesamtaufwandes für die Dokumentation im Zuge einer Simulationsstudie investiert.

Der größte Anteil wird der Phase der Datenerhebung zugeordnet. März et al. betonen die Wichtigkeit dieses Abschnittes: „Das Risikopotential für ein Scheitern einer Simulationsstudie ist in der Datenerhebung am größten.“⁷⁹ Weiters begründen sie dies durch die Argumentation, dass hier gesichert werden muss, dass die Anforderung an die notwendigen Daten sowohl auf Planer- als auch Simulationsexpertenseite abgeglichen werden müssen.⁸⁰

Adäquat dazu stellt folgende Visualisierung neben der erwähnten Aufwandsverteilung auch die Aufwandszuordnungen zu Planer („Anwendungsexperte“) und Simulationsexperte dar.

⁷⁸ Quelle: ASIM Fachgruppe 4.5.6 (1997), S. 26.

⁷⁹ März et al. (2008), S. 2.

⁸⁰ Vgl. März et al. (2008), S. 156.

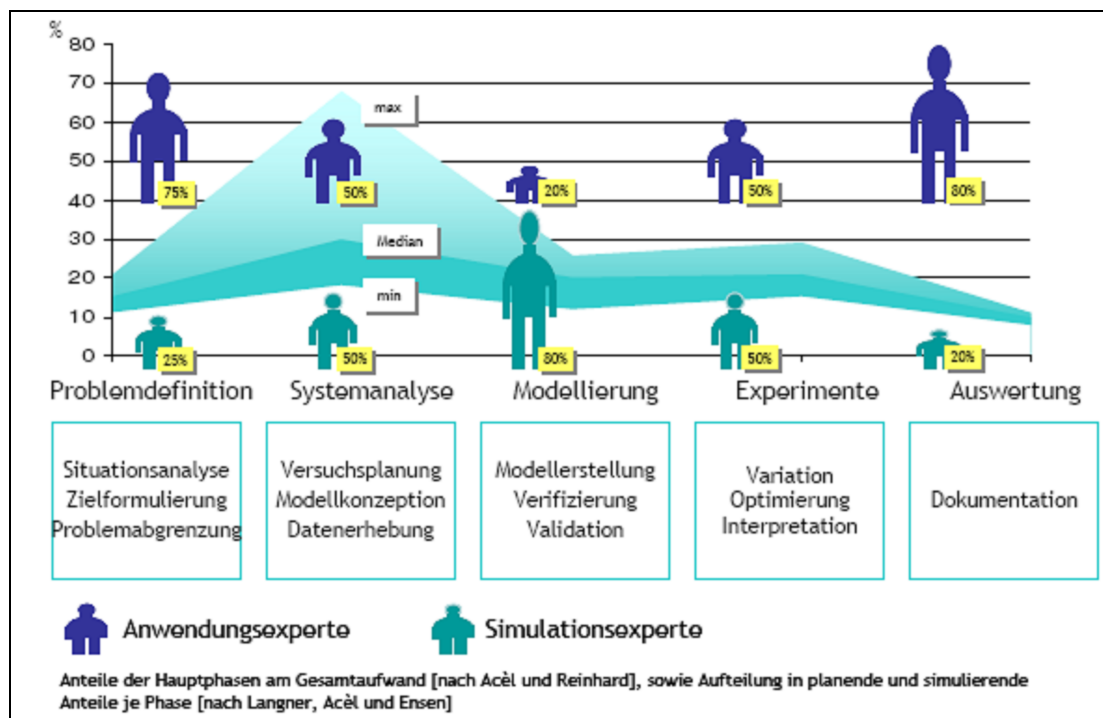


Abbildung 10: Aufwandsverteilung und -zuordnung⁸¹

Dabei wird der Verlauf der Intensität, die ein Planer bzw. ein Simulationsexperte in einer Simulationsstudie anteilig an Aufwand einbringen muss, aufgezeigt. Während der Planer zu Beginn in der Phase ‚Problemdefinition‘ und wieder am Ende zur ‚Auswertung‘ am stärksten eingebunden ist, verläuft die Aufwandskurve für den Simulationsexperten umgekehrt proportional. Während der Aufwand bis zur Mitte der Simulationsstudie kontinuierlich zunimmt, sinkt dieser dementsprechend wieder bis zum Abschluss der Studie. Die Aufwandsverteilung ist allerdings dabei nicht als statisch zu betrachten. Durch technische Weiterentwicklungen sind z.B. beträchtliche Reduktionen der Aufwendungen für Datenerhebungen und – aufbereitungen innerhalb künftiger Simulationsstudien vorstellbar.

Die enge Verbundenheit der zwei Prozessbeteiligten ist wieder hervorzuheben. Diese sollen auf keinen Fall als zwei voneinander unabhängige Teilnehmer verstanden werden. Vielmehr wird in diesem Kontext ein weiteres Mal auf einen grundlegenden Leitsatz für Simulationsstudien hingewiesen (siehe Kapitel 2 ‚Grundlagen Simulation‘): „In jedem Fall muss eine Simulationsstudie in enger Kooperation zwischen Anwender bzw. Planer und Simulationsexperten durchgeführt werden.“⁸² 90 Prozent der Antwortgeber der Fragebogenstudie pfligten dieser Wichtigkeit bei.

⁸¹ Quelle: März et al. (2008), S. 156.

⁸² Kuhn et al. (2008), S. 85.

Basierend auf zwei in der Literatur vorhandener und zumeist verwendeter Vorgehensweisen in Simulationsstudien, wurde eine Kombination aus diesen in Form einer EPK aufbereitet:

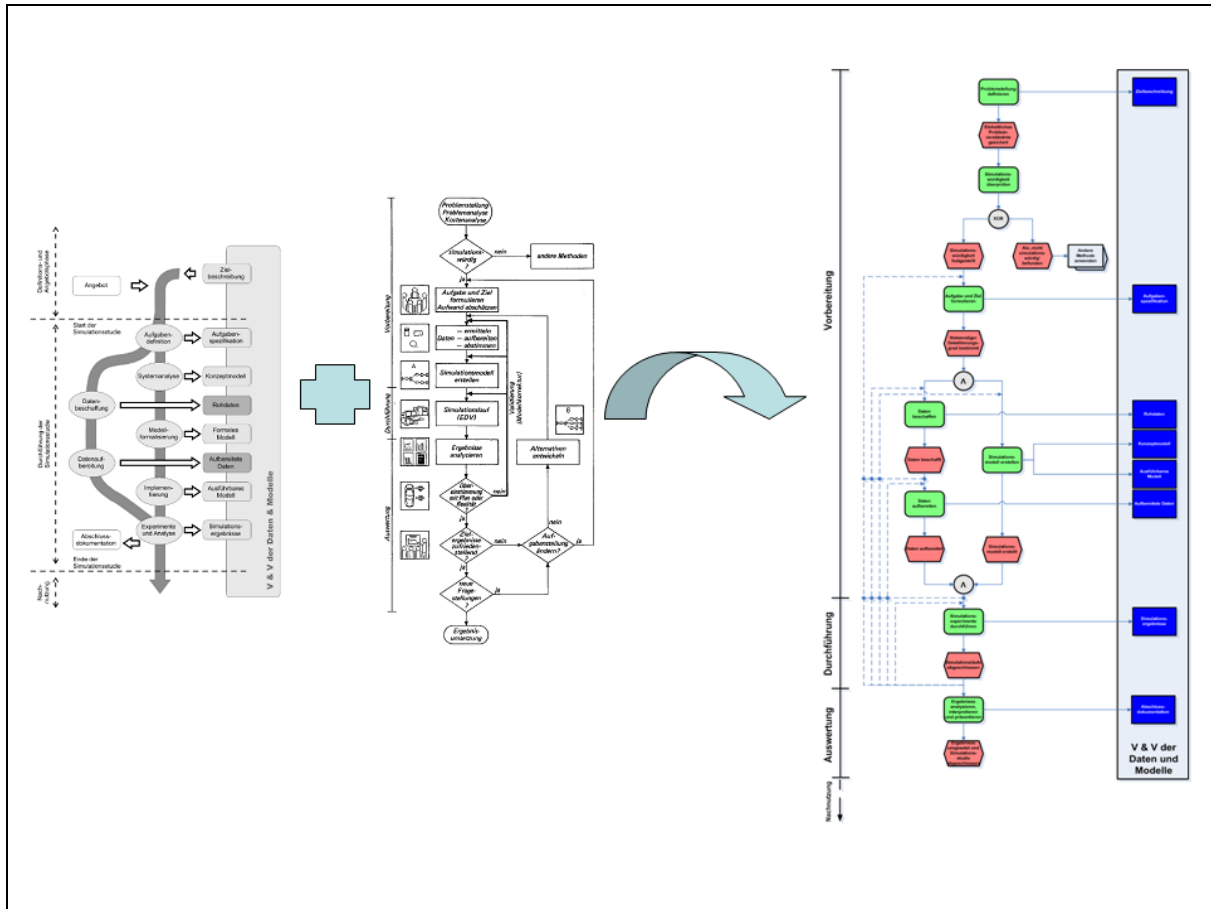


Abbildung 11: Zusammenfassung Vorgehensmodellerstellung (eigene Darstellung)

Nach einer ausführlichen Beschreibung dieser und einem Überblick der Relationen der Anwendungen einzelner Simulationsstudienphasen zueinander, wird nun ein weiterer Teil der Arbeit zugrundeliegender Forschungsfragen behandelt. Jene stellen im Wesentlichen einen Teil der aufgezeigten Prozessschritte dar, zu denen die Themen ‚Simulationswürdigkeit‘, ‚Detailierungsgrad‘ und ‚Datenerhebung‘ zählen. Die nachfolgende detaillierte Auseinandersetzung erfolgt chronologisch und entsprechend dem Prozessverlauf in Abbildung 8.

3.3 Prüfung der Simulationswürdigkeit

Die Prüfung der Simulationswürdigkeit ist Bestandteil der Vorbereitungsphase der Simulationsstudie. Sie wird nach Erläuterung der Problemstellung und einhergehender Festlegung der Ziele durchgeführt und liefert die Entscheidung über eine Anwendung der Methode Simulation zum vorliegenden Problem. Kommt die Simulation zur Anwendung, wird folglich auf dem bisher Erarbeiteten die konkrete Aufgabe und das letztendlich erwartete Ziel formal mit Hilfe der Aufgabenspezifikation festgehalten:

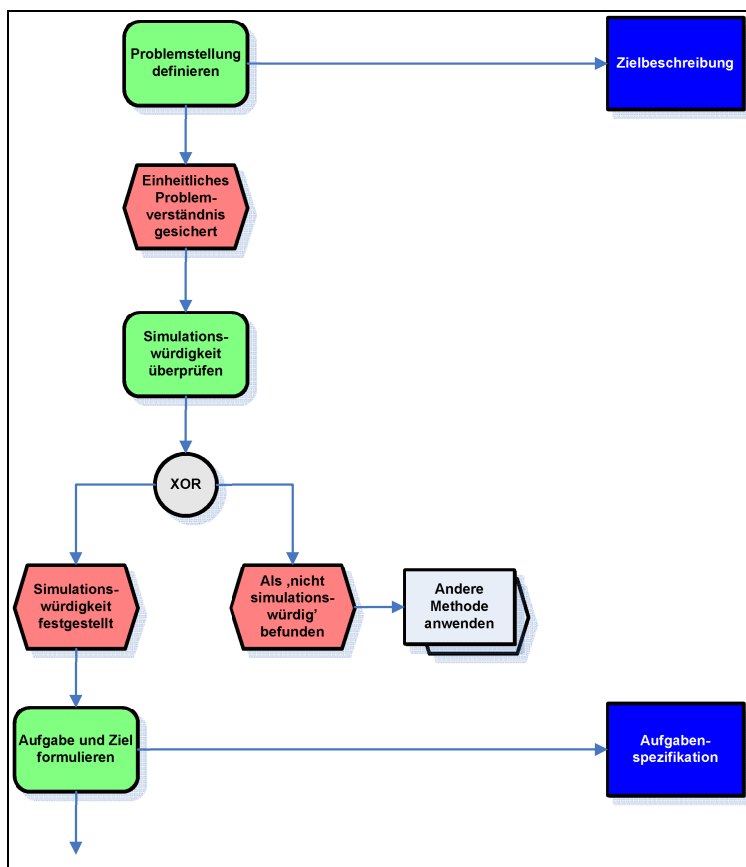


Abbildung 12: Schritt "Prüfen der Simulationswürdigkeit" (eigene Darstellung)

Da die Ergebnisse und deren Nutzbarkeit maßgeblich von diesen Schritten abhängen,⁸³ ist die Prüfung der Simulationswürdigkeit mit Sorgfalt durchzuführen. Allerdings ist die Frage, unter welchen Umständen eine Simulationsstudie ein geeignetes Mittel zur Bewältigung einer Aufgabenstellung darstellt, keineswegs trivial.⁸⁴ Sowohl eine Unter- als auch Überbewertung der Anwendung der Simulation, resultierend aus einer mangelnden Überprüfung, kann zu einem negativen Projektabschluss führen. Um dieser Schwierigkeit entgegenzuwirken, wird diese Thematik im Folgenden näher betrachtet.

3.3.1 Aspekte der Simulationswürdigkeitsprüfung

Gemäß der Einordnung der Überprüfung der Simulationswürdigkeit innerhalb einer Studie, sind vorweg der Untersuchungsgegenstand und das Ziel bzw. die zu beantwortenden Fragestellungen zu klären und zu erläutern. Denn „Nur wenn das Problem ausreichend beschreiben und verstanden sowie der Lösungsraum eingegrenzt ist, kann über die Simulationswürdigkeit entschieden werden.“⁸⁵ Sind jene Rahmenbedingungen gegeben, kann eine angemessene Würdigkeitsüberprüfung durchgeführt werden. Erfahrungen aus der Nutzung der Simulationstechnik haben gezeigt, dass dieser Prüfungsschritt von hoher Relevanz für die

⁸³ Vgl. Wachsmann (2006), S. 41.

⁸⁴ Vgl. Liebl (1992), S. 195.

⁸⁵ Wachsmann (2006), S. 41.

Sinnhaftigkeit geplanter Simulationsuntersuchungen ist.⁸⁶ Um diese Notwendigkeit festzustellen, gibt es eine Reihe von Aspekten, die es zu betrachten/überprüfen gilt.

1. Überprüfung des Kosten-Nutzen-Verhältnisses

Lohnt sich der für die Simulationsstudie notwendige Aufwand – welcher im Allgemeinen monetär bewertet werden kann (Schulungen, Softwarekosten, Mannkosten, externer Berater, etc.), um den gewünschten Nutzen daraus gewinnen zu können? Sowohl die Fragebogenauswertung als auch vielfache Erwähnung in der Literatur⁸⁷, weisen auf die Wichtigkeit der Klärung dieses Punktes hin. Es besteht die Gefahr bei einer unzureichenden Klärung der Wirtschaftlichkeitsprüfung folglich eine Fehlentscheidung zu treffen. Zu berücksichtigen sind neben z.B. Einsparungspotential ebenso der Zuwachs an methodischem Know-How, die neuen Einsichten in das System (die auf analytischem Wege nicht möglich sind) und der Imagegewinn, der durch den Einsatz dieses Werkzeuges zu Stande kommt. Diese Nebeneffekte sind attraktiv, aber schwer zu quantifizieren.⁸⁸

2. Komplexität der Aufgabenstellung

„Je komplexer ein System, desto sinnvoller ist der Einsatz von Simulation!“⁸⁹ Die Simulation ist „eine sehr elegante und wirtschaftliche Möglichkeit, um komplexe Systeme und Prozesse zu planen und zu steuern“⁹⁰. Über ein Fünftel der Antwortgeber der durchgeführten Umfrage erwähnten diesen Aspekt innerhalb eines Freitextes. Doch was macht ein System komplex? Freiseisen erklärt dazu: „viele unterschiedliche Elemente mit vielen unterschiedlichen Beziehungen zueinander machen ein System kompliziert, aber die Dynamik bringt erst die Komplexität in ein System“.⁹¹ Somit sind u.a. Abhängigkeiten und Interaktionen von Elementen zueinander ein Indiz für ein komplexes System, besonders wenn diese zeitlichen Veränderungen unterworfen sind. Eine Förderung der Komplexität kann auch durch die Problemstellung selbst stattfinden. Sind Vereinfachungen, Linearisierungen von Zusammenhängen etc. nicht erlaubt, wie sie von analytischen Methoden – z.B. aus dem Operations Research, oft als Bedingung vorausgesetzt werden, ist eine Simulationsanwendung meist unumgänglich.⁹² Typische Beispiele dazu sind Steuerungsprobleme bzw. das Austesten von Steuerungsstrategien in Transport- oder Fertigungssystemen.

3. Unsicherheiten bezüglich der Daten und ihres Einflusses auf die Ergebnisgrößen

⁸⁶ Vgl. Grundig (2006), S. 211.

⁸⁷ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 10; Grundig (2006), S. 211; Liebl (1992), S. 197f.

⁸⁸ Vgl. Liebl (1992), S. 198.

⁸⁹ Freiseisen (2008), S. V.

⁹⁰ Freiseisen (2008), S. V.

⁹¹ Freiseisen (2008), S. V.

⁹² Vgl. Liebl (1992), S. 196.

Ist Unklar, wie Daten des betroffenen Systems auf die relevanten Ergebnisgrößen wirken? Auf Berücksichtigung dieser Fragestellung wird sowohl in der VDI-Richtlinie verwiesen, als auch von Fragebogenkandidaten im Freitext. Diese Unsicherheit kann mitunter ein Ergebnis der Gegebenheiten aus Punkt 2 ‚Komplexität der Aufgabenstellung‘ sein. Um dem entgegenzuwirken und somit die Planungssicherheit zu erhöhen, ist die Simulationsanwendung ein Mittel zum Zweck. 20 Prozent der Antwortgeber bekräftigen den Simulationseinsatz gleichfalls u.a. mit dieser Argumentation.

4. Fehlen alternativer, weniger aufwendigen Methoden zur Lösungsfindung

Im Zuge der Literaturrecherche wurde festgestellt, dass die Abklärung, ob alternative, analytische Methoden möglich wären, das meistgenannte Überprüfungskriterium ist. Wobei die Möglichkeit der Problemlösung mit einer analytischen Methode nicht zwingend auf eine notwendige Verwendung dieser hindeutet: „Die Simulationswürdigkeit ist ebenfalls gegeben, wenn die Lösung mit anderen mathematischen Verfahren zwar möglich wäre, ein Simulationsmodell die Lösung aber wesentlich erleichtert.“⁹³

Um diesen Aspekt überprüfen zu können sind entsprechende Kenntnisse von analytischen Methoden von Nöten, beispielgebend dazu sind Methoden des Operation Research (z.B. lineare Optimierung, Netzwerktechniken), Losgrößenmodelle oder Prognosemethoden zu erwähnen.

5. Sicherheitsbedürfnis bei unscharfen Vorgaben und Beweisnot

Werde ich die Simulationsanwendung dazu gebrauchen, um Annahmen zu bestätigen bzw. um diese zu rechtfertigen? Problembedingt ist dieser Gesichtspunkt mehr oder weniger stark zu gewichten. Insbesondere bei noch nicht existierenden Systemen ist eine Beweisnot von Hypothesen gegeben.⁹⁴ „Das Ziel der Simulation ist es, durch dynamische Analyse zu objektiven Entscheidungen zu gelangen, Manager in die Lage zu versetzen sicher zu planen und letztlich Kosten zu sparen“⁹⁵.

6. Notwendigkeit der Mehrfachverwendung des erstellten Modells

Wird das Simulationsmodell erstellt, um es nach Abschluss der Studie wieder- oder weiter zu verwenden? Die VDI Richtlinie 3633 weist auf eine Notwendigkeit dieses Punktes hin. Im Zuge der Fragebogenauswertung wurde festgestellt, dass innerhalb der 14 behandelten Aspekte mit 3,66 im arithmetischen Mittel, dieser Punkt am Geringsten bewertet wurde, auf einer Skala von Null bis Zehn. Jedoch ist, gemäß Erkenntnissen aus der Fragebogenauswertung, die ursprüngliche Verwendungsabsicht des Simulationsmodells dabei maßgebend. Ist

⁹³ Wenzel et al. (2008), S. 15.

⁹⁴ Vgl. Carson (2005), S. 17.

⁹⁵ Tecnomatix (2008), S. 23.

das Ziel ein gewisses Standardmodell zu erstellen, um im Weiteren ein mehrfaches Verwenden zu ermöglichen, wird diesem Punkt konsequenterweise eine wesentlich höhere Wertigkeit zugeschrieben.

7. Risiken, die durch den Verzicht auf die Simulation entstehen können

Welche Unsicherheiten bleiben bestehen, wenn keine Simulationsstudie angewendet wird? Welche Auswirkung hat diese Unsicherheit auf den (Projekt-)Erfolg? Es gilt projektspezifisch diese Gefahren herauszufinden. Ein Hauptargument der Antwortgeber der Fragebogenstudie ist die Absicherung (z.B. Investitionsabsicherung) mit Hilfe der Simulationsmethode, welche dadurch eine erhebliche Risikominimierung mit sich bringt.

8. Zeitlicher Rahmen für die Simulationsprojektdurchführung

Ist die Studie bis zu einem gewissen Zeitpunkt auf jeden Fall fertig zu stellen? Sowohl Literatur⁹⁶ als auch die Ergebnisse der Fragebogenstudie betonen diesen Aspekt. Bis zu welchem Termin ist ein Ergebnis der Studie erforderlich? Je nach Fragestellung und dem damit einhergehenden Aufwand für die Simulationsmodellerstellung, ist ein angemessener zeitlicher Rahmen für die Durchführung der Studie zu gewähren. Hier ist die Erfahrung des Simulationsexperten wesentlich, damit qualifizierte Abschätzungen zur Studiendauer abgegeben werden können.

9. Notwendige Datenbasis, um ausreichend sichere Ergebnisse zu erhalten

Sind Informationen für die Simulationserstellung, sowohl in Güte als auch Fülle, vorhanden, um die Studie erfolgreich durchführen zu können? Auf Basis der definierten Ziele der Studie, sind notwendige Informationen ableitbar. Welche vorhanden sind und welche nicht, ist mit dem Auftraggeber abzuklären. Können seitens des Auftraggebers keine spezifischen Daten bereitgestellt werden, ist Folgendes abzuklären: Müssen Daten generiert werden und inwieweit ist diese Option für eine letztendliche Ergebnisinterpretationen zulässig? Wenn eine Datengenerierung von Nöten ist, wer hat diese zu erledigen (Auftraggeber oder –nehmer)? Die Notwendigkeit der Überprüfung dieses Aspektes ist sowohl seitens der Literatur als auch von Fragebogenkandidaten bestätigt worden.

10. Absicht der Kreativitätsförderung

Wird die Simulation dazu verwendet, um neue, kreative Ideen entstehen zu lassen und diese zu entwickeln? Wie es für planerische Tätigkeiten zumeist der Fall ist, sind Simulationsmodelle mit jeder neuen Studie neuen Bedingungen ausgesetzt. Damit fördert die Beschäftigung mit neuen Problemstellungen bzw. die Umsetzungsmöglichkeiten, die eine Simulationssoftware bietet, die Kreativität, welche sich positiv auf allgemeine Fertigkeiten niederschlägt.

⁹⁶ Vgl. Grundig (2006), S. 211; Košturiak et al. (1995), S. 16.

11. Absicht der Schaffung von Wissen/ neuen Erkenntnissen

Dient die Studie dazu, eine Steigerung des Verständnisses und Know-How für ein zu untersuchendes System zu erreichen? Die Erfahrung, die von Simulationsanwendern gefordert wird, wächst mit jeder durchgeführten Studie. Dieser Wissenszuwachs ist ein wichtiges Argument in der Kosten-Nutzen Analyse. Die Umsetzung einer Simulationsstudie erfordert zu meist eine intensive Auseinandersetzung mit dem zu betrachteten System. Neue Erkenntnisse die im Zuge dessen entstehen, können sich zu einem wesentlichen Mehrwert für das Unternehmen entwickeln (z.B. Engpasserkennung liefert Problembehebung und folglich Durchsatzerhöhung).

12. Absicht der Schaffung von Nachvollziehbarkeit

Wird die Simulationsmethode zur Erläuterung einer Hypothese, eines bestehenden Problems oder vergleichbarem verwendet? Passend dazu behauptet Liebl: „ Das Management ist nicht bereit, analytische Modelle, die in der Regel wenig Anschaulichkeit besitzen, zu akzeptieren. Es fordert „Beweise“, die besser verständlich sind.“⁹⁷

13. Simulation verwenden zur Visualisierung und Kommunikation

Wird besonderer Wert auf die grafische Darstellung gelegt? Soll mit Hilfe des Simulationsmodells kommuniziert werden (z.B. Mitarbeiterschulungen)? Die Animationsmöglichkeiten, die eine Simulationssoftware mit sich bringt, werden in der Praxis verstärkt eingesetzt.⁹⁸ Wenzel u.a. betonen hier den wesentlichen Vorteil gegenüber analytischen Methoden und die Rechtfertigung eines Simulationseinsatzes: „Sind besondere Anforderungen bezüglich Kommunikation und Visualisierung der Ergebnisse gestellt, so ist die Erstellung eines Simulationsmodells durchaus auch dann zu vertreten, wenn das zugrunde liegende Problem mit anderen Mitteln u. U. sogar einfacher und schneller zu lösen wäre.“⁹⁹

14. Simulationsmethodik nutzen zur Konsensbildung

Wird die Simulationsstudie zur Einigung der Meinungen der Beteiligten verwendet? Carlson bezieht diese Verwendung einer Simulationsstudie zu der von ihm erstellten Liste von 7 Situationen mit ein, für die die Simulation verwendet werden soll.¹⁰⁰ Die Akzeptanz der Simulationsanwendung, die die Konsensbildung bedingt, wird durch eine nachvollziehbare Gestaltung des Simulationsmodells gefördert (siehe Punkt 12). Findet das Werkzeug Anklang, werden auch abgeleitete Ergebnisse anerkannt und eine Konsensbildung wird möglich.

⁹⁷ Liebl (1992), S. 196.

⁹⁸ Vgl. Straßburger et al. (2006), S. 396ff.

⁹⁹ Wenzel et al. (2008), S. 15.

¹⁰⁰ Vgl. Carlson (2005), S. 17.

Im Rahmen der für die vorliegende wissenschaftliche Arbeit durchgeführten Umfrage mit Hilfe eines Fragebogens (siehe Kapitel 3.1 ‚Fragebogenstudie zu Materialflusssimulationen‘), ist die Wichtigkeit der Aspekte von den Kandidaten auf einer Skala von 0 (unwichtig) bis 10 (sehr wichtig) bewertet worden:

	Aspekt	Wichtigkeit
1	Kosten/Nutzen-Verhältnis	8,35
2	Komplexität der Aufgabenstellung (Anzahl Elemente, Interaktionen, etc.)	6,86
3	Unsicherheiten bezüglich der Daten und ihres Einflusses auf die Ergebnisgrößen	7,45
4	Fehlen alternativer, weniger aufwendigen Methoden zur Lösungsfindung	7,38
5	Sicherheitsbedürfnis bei unscharfen Vorgaben und Beweisnot	5,57
6	Notwendigkeit der Mehrfachverwendung des erstellten Modells	3,66
7	Risiken, die durch den Verzicht auf die Simulation entstehen können	7,34
8	Zeitlicher Rahmen für die Simulationsprojektdurchführung	6,7
9	Notwendige Datenbasis, um ausreichend sichere Ergebnisse zu erhalten	7,81
10	Absicht der Kreativitätsförderung	4,07
11	Absicht der Schaffung von Wissen/ neuen Erkenntnissen	6,4
12	Absicht der Schaffung von Nachvollziehbarkeit	6,93
13	Simulation verwenden zur Visualisierung und Kommunikation	5,9
14	Simulationsmethodik nutzen zur Konsensbildung	6

Tabelle 3: Gewichtung der Aspekte der Simulationswürdigkeitsprüfung (eigene Darstellung)

Diese Gesamtergebniswerte der einzelnen Aspekte, wurden dabei mit dem Teilergebnis der Bewertungen der Siemensmitarbeiter der Abteilung FTQ verglichen (sechs von 31 Personen). Die schwerpunktmäßige Verteilung ist deckungsgleich. Daher ist eine Verwendung der oben angeführten Werte für Zwecke der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg argumentierbar.

3.3.2 Nutzwertanalyse zur Simulationswürdigkeit

Auf dieser Basis wird im Weiteren eine Nutzwertanalyse erstellt. Diese Nutzwertanalyse ermöglicht es dem Planer der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg künftig, eine Entscheidungsunterstützung hinsichtlich der Simulationswürdigkeit eines Projektes heranziehen zu können. Dieses Hilfsinstrumentarium liefert mittels Eingabe von einem Wert zwischen 0 (trifft nicht zu) und 10 (trifft zur Gänze zu), durch den Planer, eine quantitative Gesamtaussage. Der Wert bezieht sich auf den Erfüllungsgrad der einzelnen Aspekte zu einer spezifischen

Aufgabenstellung. Der Planer erhält damit einen quantitativen, ‚greifbaren‘ Richtwert. Ein weiteres wichtiges Resultat ist, dass der betroffene Planer im Laufe der Anwendung der Nutzwertanalyse, sich mit den Kernaspekten auseinandersetzen muss, die bei der Überprüfung der Simulationswürdigkeit eines Projektes wesentlich sind. Dadurch ist es möglich, dass der Planer durch jene Diskussionen Einsichten und Erkenntnisse gewinnt, die ihm die Entscheidung auch ohne Endergebnis der Nutzwertanalyse bereits erleichtert. Begleitend erfolgt eine Sensibilisierung des Planers für die Thematik Simulation.

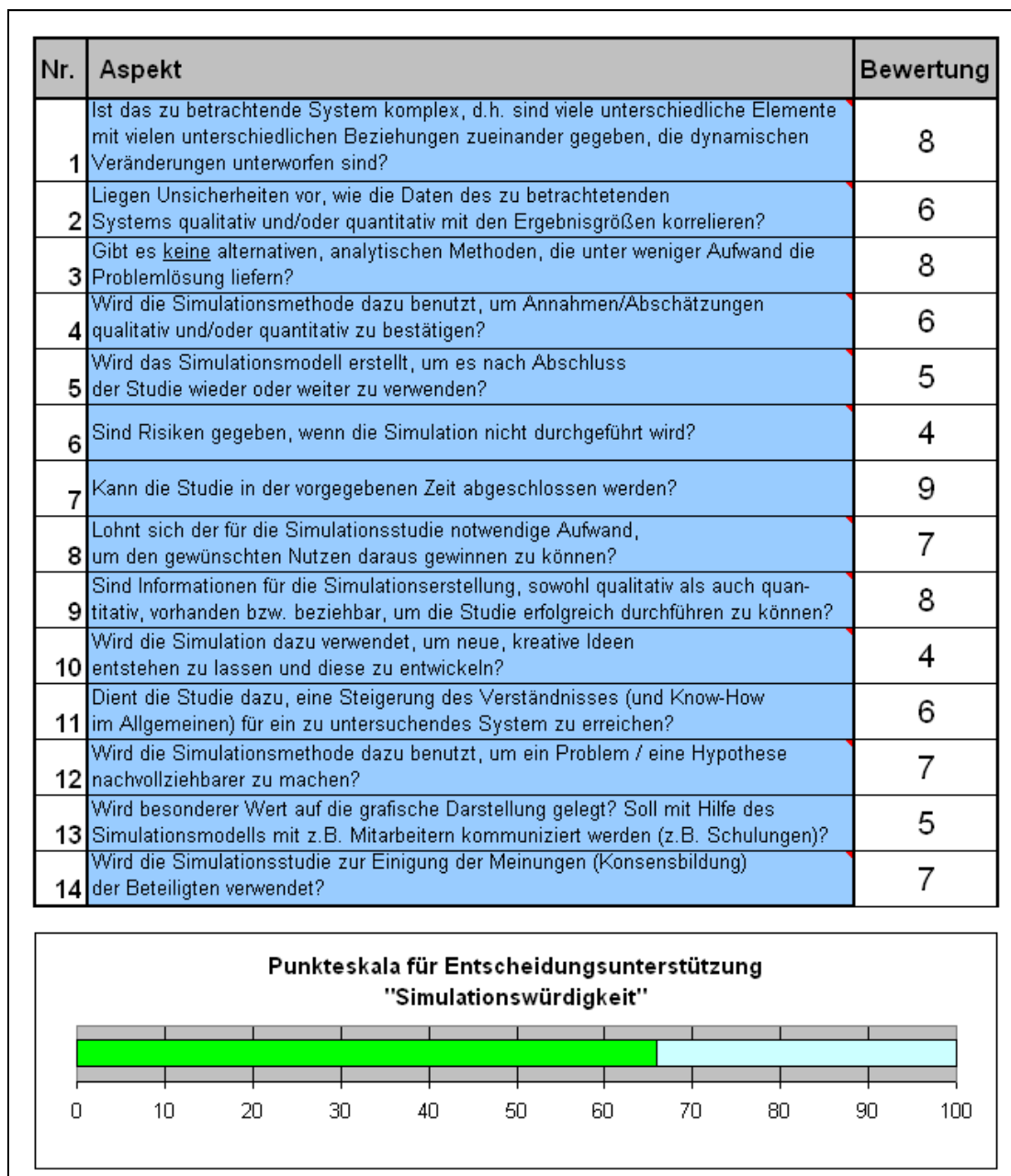


Abbildung 13: Beispiel Überprüfung der Simulationswürdigkeit (eigene Darstellung)

Die Bewertung in Abbildung 12 ist ein frei gewähltes Beispiel. In diesem Fall, wird die Simulationswürdigkeit des Projektes mit zwischen 60 und 70 Punkten von möglichen 100 bewert-

tet. Somit sind ungefähr zwei Drittel der allgemein in ihrer Wichtigkeit bestätigten Aspekte der Simulationswürdigkeit für die vorliegende Studie zutreffend. Es ist nochmals zu erwähnen, dass dieses Instrumentarium keine Entscheidung über ‚Simulationsstudie durchführen ja/nein‘ liefert, sondern eine Unterstützung im Prozess der Entscheidungsfindung darstellt. Es obliegt nach wie vor dem Verantwortlichen, einen endgültigen Entscheid zu treffen. Man kann sich z.B. unter entsprechenden Gründen trotz eines Ergebnisses von unter 20 Punkten der Nutzwertanalyse für die Anwendung der Simulationstechnik entscheiden.

Der ermittelte Wert (inklusive Ampelfarbe) dient zur Orientierung, wie die gegenwärtige Projektsituation mit den gelisteten, theoretisch und praktisch gestützten Aspekten korreliert. Eine niedrige Punktezahl muss nicht zwingend für eine Nichteignung der Simulationsmethode sprechen. Es kann vielmehr ein Hinweis darauf sein, dass einzelne Punkte noch Klärungsbedarf bedingen (z.B. Aufwand/Nutzen-Verhältnis) bzw. einzelne Aspekte für das Projekt noch genauer zu behandeln sind, um den Simulationseinsatz effizienter zu gestalten (zeitlicher Rahmen, Aufstellen einer klaren Zielsetzung/Hypothese, etc.) .Das dahinterstehende Punktebewertungssystem ist im erstellten Dokument enthalten und wird der Abteilung unverschlüsselt weitergegeben. Damit werden Nachjustierungen der Punkteverteilungen einzelner Aspekte möglich.

Eine adäquate Erfahrung des Simulationsanwenders ist notwendig, um den endgültigen Entscheid fällen zu können: „Hat der Auftraggeber einer Simulation keine Erfahrung mit Simulation, kann es ihm allerdings schwer fallen, die Simulationswürdigkeit einer Aufgabenstellung zu überprüfen.“¹⁰¹ In diesem Fall wird vorgeschlagen, den Auftragnehmer damit zu beauftragen, die Simulationswürdigkeit genauer zu überprüfen. Das erste ‚Herantasten‘ wird aber durch die Anwendung der Nutzwertanalyse ermöglicht.

3.3.3 Fazit Simulationswürdigkeit

Während der Methodenentwickler versucht sein Werkzeug einzusetzen, womöglich ohne Rücksicht auf das Risiko, einen ineffizienten Weg zur Lösung zu wählen oder gar das falsche Problem zu lösen, ist der Praktiker oft nicht in der Lage, die zur Lösung eines realen Problems zur Verfügung stehenden Methoden zu erkennen.¹⁰²

Es ist somit notwendig zu wissen, wann der Einsatz der Simulation als Problemlösungsmethode als zweckmäßig eingestuft werden kann. Zu diesem Zweck ist die erläuterte Nutzwertanalyse erstellt worden. Dem Planer der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg werden im Prozess der Überprüfung der Simulationswürdigkeit einer entsprechenden Problemstellung

¹⁰¹ Wenzel et al.(2008), S. 16.

¹⁰² Vgl. Liebl (1992), S. 195.

(siehe Kapitel 2 unter ‚Einsatzfelder in der Produktion‘), eine nähere und simulationspezifischere Betrachtung ermöglicht und darüber hinaus eine Entscheidungsunterstützung liefert. Zusammenfassend wird Folgendes über die Prüfung der Simulationswürdigkeit festgehalten:

- Festlegen der zu erreichenden Ziele im Vorfeld
- Sorgfältige Behandlung der behandelten Aspekte der Simulationswürdigkeit
- Gegebenenfalls konsultieren eines erfahrenen Simulationsanwenders
- Simulationswürdigkeit feststellen und Studie fortsetzen, oder andere Methode zur Lösungsfindung vorschlagen

3.4 Detaillierungsgrad einer Simulationsstudie

Nach Feststellung der Simulationswürdigkeit des Projektes, ist das zu untersuchende System nun genauer in Betracht zu ziehen. Der Detaillierungsgrad der notwendigen Systemuntersuchung, Datenerhebung und nachfolgender Modellerstellung ist festzustellen.

Die eingangs festgelegte Zielbeschreibung wird im Schritt ‚Aufgabe und Ziel formulieren‘ zur Aufgabenspezifikation erweitert. Auf dieser Basis ist die Bestimmung des Detaillierungsgrades für sämtliche Aspekte des Systems ermittelbar.

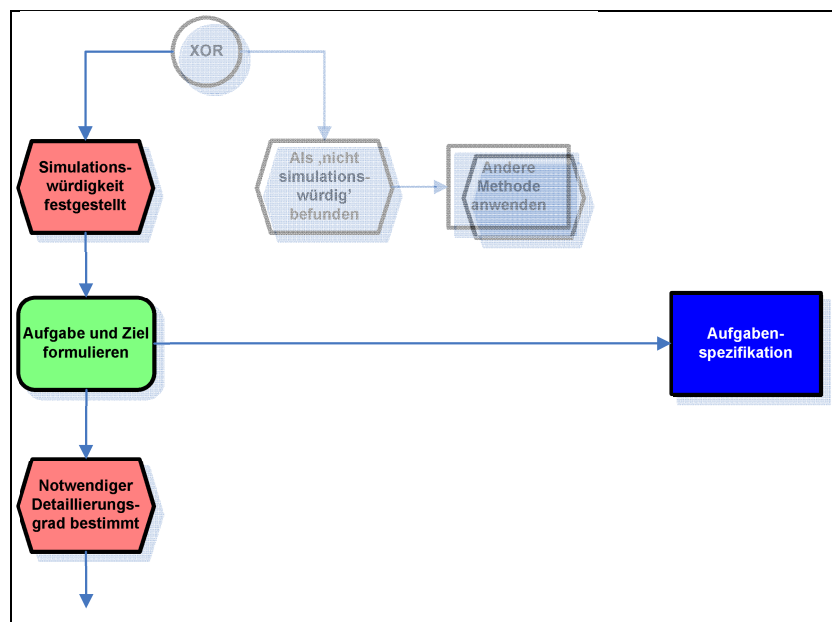


Abbildung 14: Schritt "Bestimmung des Detaillierungsgrades" (eigene Darstellung)

Die Definition des Begriffes *Detaillierungsgrad* lautet gemäß der VDI Richtlinie 3633 wie folgt: „Der Abstraktionsgrad (komplementär dazu der Detaillierungsgrad) stellt ein Maß für

die Abbildungsgenauigkeit bei der Umsetzung des Originalsystems in ein Modell dar.¹⁰³ Somit ist der Rückschluss zu ziehen, dass ein Simulationsmodell ein Abbild des realen Systems ist, dass eine Reduktion auf das für den Untersuchungsgegenstand Wesentliche darstellt. Bei der Systemabgrenzung spielt daher der Unterschied zwischen Simulation und Emulation eine wichtige Rolle.¹⁰⁴ Während man im Rahmen der Emulation darum bemüht ist, alle Details genauestens abzubilden, ist die Simulation ein Auszug des realen Systems. In diesem Prozessschritt findet man drei wesentliche Größen, die näher untersucht werden müssen: die Datenerhebungstiefe, die Simulationsergebnisgüte sowie der erforderliche Aufwand.

3.4.1 Detaillierungsgrad, Aufwand und Ergebnisgüte

Im Allgemeinen sind die Begrifflichkeiten ‚Modellgüte‘, ‚Modellgenauigkeit‘, ‚Detaillierungsgrad‘ eines Modells und im weiteren Sinne die ‚Datenerhebungstiefe‘ sinngemäß untereinander substituierbar. Im Weiteren wird sich auf die Verwendung des Begriffes ‚Detaillierungsgrad‘ beschränkt.

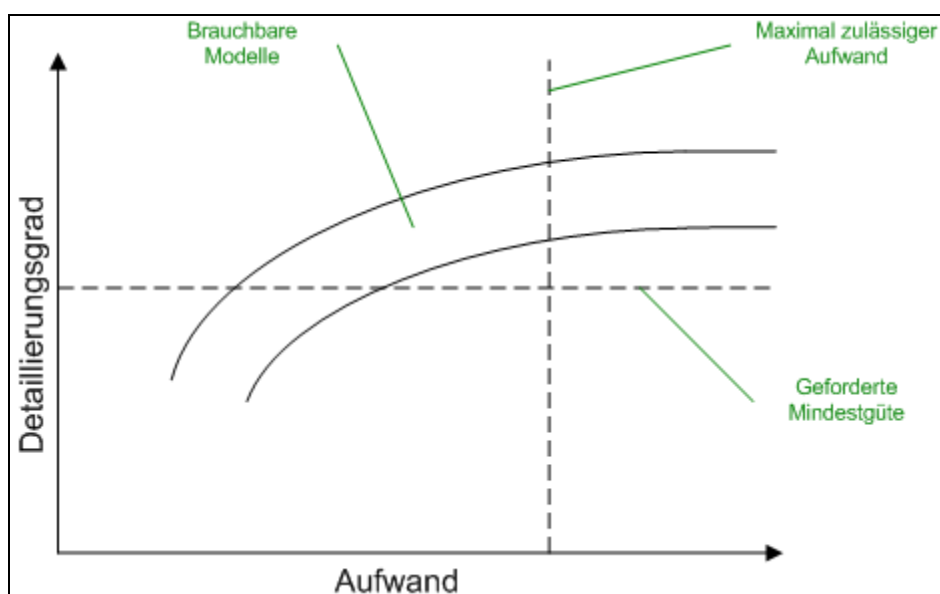


Abbildung 15: Korrelation zwischen Detaillierungsgrad und Modellaufwand¹⁰⁵

Die beiden parallel zueinander verlaufenden Kurven stellen die lose Korrelation zwischen den dargestellten Aspekten dar. Der für eine Studie zu verwendende Detaillierungsgrad unter angemessenen Aufwand (das ‚brauchbare Modell‘), ist durch die beiden Strichlinien auf einen bestimmten Korridor beschränkt: der ‚maximal zulässiger Aufwand‘ und die ‚geforderte Mindestgüte‘.

¹⁰³ VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 13.

¹⁰⁴ Vgl. Liebl (2008), S. 118f.

¹⁰⁵ Quelle: Vgl. Nyhuis et al. (2003), S. 9.

destgüte'. Sowohl ein Überschreiten als auch ein Unterschreiten dieses Korridors bringt Gefahren mit sich:¹⁰⁶

Zu hoher Detaillierungsgrad:

- (Überproportionaler) Anstieg der Faktoren Kosten und Zeit
- Sinken der Effizienz der Modellbildung (z.B. verringerte Handhabbarkeit)
- zunehmende Laufzeit der Simulation

Zu geringer Detaillierungsgrad:

- Unlösbarkeit bzw. unzureichende Lösung der zugrundeliegenden Aufgabenstellung
- Ableiten unzulässiger Schlussfolgerungen

Die geforderte Mindestgüte ergibt sich aus der Zielsetzung des Auftraggebers. Ist die Fragestellung detaillierter, ist auch das Simulationsmodell selbst in der Regel detaillierter zu erstellen. Einen interessanten Ansatz liefert Csanady dazu.¹⁰⁷ Im Rahmen eines durchgeführten Projektes, ist für die Simulationsstudienphase ‚Daten beschaffen‘ eine Checkliste erstellt worden, die es erlaubt über die gesetzten Studienziele die notwendigen Parameter zu ermitteln, inklusive deren Dringlichkeit im Kontext des Gesamtzieles. Die Parameter wiederum sind mit dem Erhebungsaufwand verknüpft (durchzuführende Erhebungsmethode, Ressourceneinsatz, etc.). Um diese Parameter im Modell abbilden zu können, wird ein bestimmter Detaillierungsgrad des Modells benötigt. Damit kann die Verknüpfung zwischen Aufwand und Detaillierungsgrad veranschaulicht werden, auch für nicht Simulationsexperten. Um diesen Zusammenhang erstellen zu können, bedingt es einer weiteren intensiven Auseinandersetzung. Die Grundlage für einen vergleichbaren Ansatz, eine Sammlung von zu beachtenden Parametern/Daten, ist in Kapitel 3.5 ‚Simulationsdaten‘ bereitgestellt.

Bei der Modellerstellung und Datenerhebung führt die allgemeine Tendenz zu einem zu hohen Maß an Detaillierung. Dies ist vor allem bei unerfahrenen Simulationsanwendern der Fall, insbesondere wenn diese mit dem Realproblem nicht vertraut sind, da damit ein subjektives Sicherheitsbefinden geschaffen wird.¹⁰⁸ Es liegt in der Natur des Menschen in jedem Falle Vollständigkeit anzustreben. Darüber hinaus wird oftmals versucht, mit einem Modell die Möglichkeit zu schaffen, viele Fragestellungen auf einmal beantworten zu können.¹⁰⁹ Allerdings ist in diesem Kontext auch folgende Erkenntnis zu berücksichtigen: „Eine nachträgli-

¹⁰⁶ Vgl. Rabe et al. (2008), S. 47; Wenzel et al. (2008), S. 115; VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 12.

¹⁰⁷ Vgl. Csanady et al. (2008), S. 595ff.

¹⁰⁸ Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 115f.

¹⁰⁹ Vgl. Liebl (1992), S. 217.

che Erhöhung des Detaillierungsgrades wird in der Regel zu einer Verzögerung des Projektes und zu weiteren Kosten führen".¹¹⁰

Der Verlauf des durch die beiden Parallelen eingegrenzten Bereichs in Abbildung 15 lässt auf das Pareto-Prinzip schließen, auf welches in der Fragebogenauswertung hingedeutet wird: Es hat sich in der Praxis gezeigt, dass 20 Prozent Simulationsaufwand 80 Prozent der erreichbaren Ergebnisgüte ausmachen.

Zu Berücksichtigen ist ebenfalls die Relation des Detaillierungsgrades zur Akzeptanz seitens des Auftraggebers und der Aussagekraft des Modells:

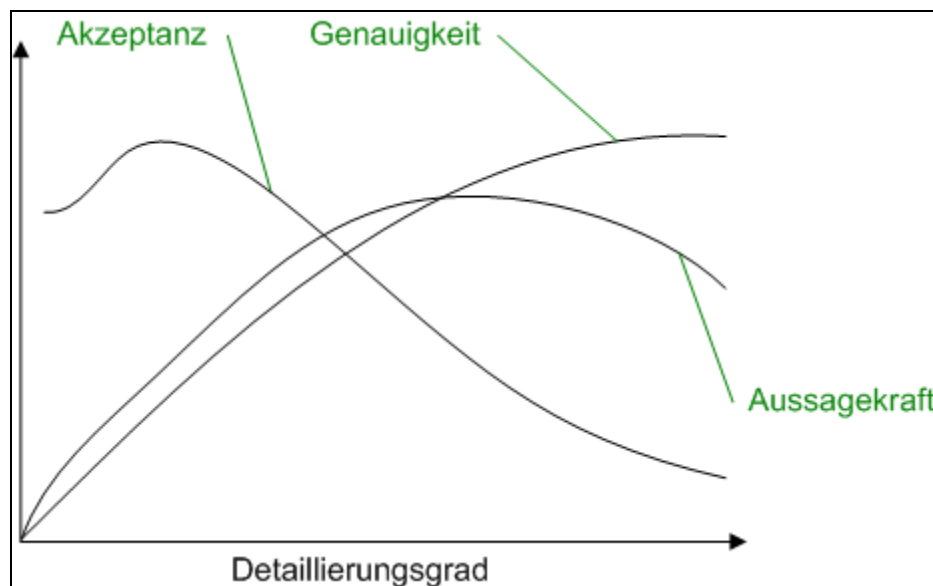


Abbildung 16: Beurteilungskriterien für die Modellqualität¹¹¹

Die Originalabbildung von Košturiak ist hinsichtlich des Verlaufes des Aspektes ‚Akzeptanz‘ vom Verfasser der vorliegenden Arbeit abgeändert worden. Ein zu gering gehaltener Detaillierungsgrad, mit etwaigem Weglassen von relevanten Systemkomponenten, kann ebenso seitens des Auftraggebers als inakzeptabel gewertet werden, wie ein zu detailliertes Modell. Daher ist der Verlauf der Kurve zur ‚Akzeptanz‘, der in der Originalabbildung einer Dichtefunktion einer Exponentialkurve folgte, um einen anfänglichen Anstieg erweitert. „Unabhängig von technischen und statistischen Aspekten kann es erforderlich sein, den Detaillierungsgrad zu erhöhen, damit das Simulationsmodell als glaubwürdig eingestuft werden kann“¹¹² (Animationen, etc.). Das nachfolgende sukzessive Sinken der *Akzeptanz*, ist durch die erschwerte Interpretation bei Erhöhung des Detaillierungsgrades (Gefahr mangelnder Transparenz) begründet. „Ein recht großes Verständnisproblem bereitet oft der Sachverhalt, dass ein erhöhter Detaillierungsgrad nicht notwendigerweise mit einer erhöhten Modellgenauigkeit

¹¹⁰ Wenzel et al. (2008), S.129.

¹¹¹ Quelle: Vgl. Košturiak et al. (1995), S. 120.

¹¹² Wenzel et al. (2008), S. 129.

korreliert.¹¹³ Die Berücksichtigung zu vieler Komponenten, kann z.B. durch die Zunahme von für den Untersuchungsgegenstand nicht relevanten Interaktionen von einzelnen Systemkomponenten, die ‚Aussagekraft‘ der Simulationsergebnisse schmälern. Es ist nämlich möglich, dass diese nicht relevanten Systemaspekte in weiterer Folge wichtige Systemfaktoren verdecken. Ein weiteres Beispiel liefert die Einbindung einer zu genauen Datenlage. In der Praxis nicht angewendete Informationen können bei Verwendung im Modell zu einem Scheitern dieses Modelles führen (Garbage-In-Garbage-Out-Prinzip). Denn es „können für den Erfolg eines Projektes zu viele Daten genauso schädlich sein wie zu wenige.“¹¹⁴

Mit Hilfe der bisher durchgeführten Behandlung, wurde die Verbindung zwischen Detaillierungsgrad, Aufwand und Ergebnisgüte (inklusive Aussagekraft und Akzeptanz) formal hergestellt und erläutert. Unter Berücksichtigung dieser wichtigen Zusammenhänge, wird der passende Detaillierungsgrad, der in einer Simulationsstudie anzuwenden ist, bestimmt.

3.4.2 Feststellung des adäquaten Detaillierungsgrades

Wie auch bei der Feststellung der Simulationswürdigkeit, ist es hier ebenfalls notwendig, problemabhängig eine Entscheidung zu treffen. Bestätigt wird dies sowohl in der Literatur, als auch im Rahmen des Auswertungsergebnisses der durchgeführten Fragebogenstudie. Wie das Ergebnis der Fragebogenstudie bestätigt, ist eine standardisierte Wahl des Detaillierungsgrades lediglich in Sonderfällen, wie bei automatischen Modellgenerierungen mittels eines Standardsystems, möglich. Ansonsten sind in sämtlichen Fällen problemspezifische Untersuchungen durchzuführen.

Das Herausfinden des angemessenen Detaillierungsgrades erfordert stets die Neuauslegung der in Abbildung 15 dargestellten Grenzen. So kann „der Auftraggeber seine Vorstellungen über den Detaillierungsgrad einbringen, indem er Mindestanforderungen an das Simulationsmodell spezifiziert.“¹¹⁵ Für die Bestimmung des dazu notwendigen maximalen Aufwandes, ist die Erfahrung des Simulationsexperten wesentlich, wie ein Drittel der Antwortgeber der Fragebogenstudie im Freitext bestätigen. Diese ist ausschlaggebend, um den Balanceakt zwischen Minimierung von Details und Sicherung von Anwendbarkeit eines Modells zu bewältigen.¹¹⁶

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Bestimmung des Detaillierungsgrades in allen Fällen eine Ermessensentscheidung und in weiterer Folge ein Kompromiss ist, bei der der Modellierungsaufwand gegen den Nutzen abgewogen werden muss. Somit ist der folgende,

¹¹³ Wenzel et al. (2008), S. 128.

¹¹⁴ Kühn (2006), S. 141.

¹¹⁵ Wenzel et al. (2008), S. 115.

¹¹⁶ Vgl. Persson (2008), S. 139.

sowohl in der Literatur als auch in der Praxis vielfach zitierte Leitsatz zur Orientierungshilfe bei der Findung des angemessenen Detaillierungsgrades bei der Modellbildung unerlässlich: „Modelle sollen so genau wie nötig und so grob wie möglich sein“.

Um diesen Prozess der qualitativen Entscheidungsfindung bestmöglich handhaben zu können, sind entsprechende Rahmenbedingungen und Voraussetzungen zu beachten und zu erfüllen.

Wie bereits eingangs erläutert, ist vor der abgeschlossenen Bestimmung des Detaillierungsgrades, die Aufgabenspezifikation zu erstellen. Diese hält ausführliche Informationen über die Problemstellung, das Projektziel, das zu untersuchende System inklusive seiner Teilsysteme und Anforderungen an die Lösungsmethode, wobei bei letzteren die Fragen nach dem ‚Wie‘ und ‚Was‘ zu klären sind (sog. Performance Measures).

Die Aufgabenspezifikation ist von eminenter Bedeutung, denn „Wenn unklar ist, was zu welchem Zweck modelliert wird, kann auch nicht entschieden werden, welche Komponenten des realen Systems, z.B. einer Fabrik, nur grob und welche detaillierter abgebildet werden müssen.“¹¹⁷ 90 Prozent der Antwortgeber bewerteten den Aspekt zur Festlegung einer klaren Zieldefinition mit ‚sehr wichtig‘. Somit ist die Wichtigkeit sowohl durch die wissenschaftliche, als auch praktische Seite bestätigt. Der Grundstein für einen erfolgreichen Ausgang des Projektes ist nur durch klar festgelegte Inhalte der einzelnen Punkte der Aufgabenspezifikation möglich. Denn man kann letztendlich „nicht aussagekräftige Simulationsergebnisse erwarten, wenn nicht vorher präzise spezifiziert wird, was als hinreichende Antwort auf diese Fragen gelten kann und welche Form die Antworten besitzen sollen“.¹¹⁸

Erst wenn diese genannten Voraussetzungen erfüllt sind, demnach ein gewissenhaftes Ausarbeiten der Aufgabenspezifikation vorgenommen wurde und unter anderem ein einheitliches Problemverständnis seitens Auftraggeber und -nehmer gesichert ist, sind die Rahmenbedingungen für die Bestimmung des notwendigen Detaillierungsgrades gegeben. Auf dieser Basis ist es möglich, Aspekte des Gesamtsystems identifizieren zu können, die unverzichtbar, relevant oder gar unwichtig für die vorliegende Problemstellung sind. Ist zum Beispiel die Wegeauslegung des Personals einer Fertigung im laufenden Betrieb zu optimieren, so sind Anlagendimensionen interessanter als die Steuerung der Anlage selbst und Aspekte wie die Weiterbehandlung von z.B. Ausschuss können zur Gänze außer Acht gelassen werden.

¹¹⁷ Wenzel et al. (2008), S. 115f.

¹¹⁸ Liebl (1992), S. 119.

Wissenschaft und Praktiker schlagen unterstützende Methoden vor, die die Problematik der Wahl des richtigen Detaillierungsgrades eindämmen. Diese Herangehensweisen und Ratschläge werden im Folgenden näher behandelt.

3.4.3 Bewahrung des passenden Detaillierungsgrades

Die Systemanalyse wurde intensiv durchgeführt und in Form der Aufgabenspezifikation festgehalten. Nun gilt es, das Modell in entsprechender Güte und unter den angestrebten Aufwandsumfang abzubilden, sodass die geforderte Ergebnisgüte ökonomisch gesichert werden kann. Zu diesem Zweck müssen die einzelnen Systemkomponenten nochmals genauer untersucht werden. Es erfolgt die sogenannte *Abstraktion*. Diese gliedert sich in zwei Schritte: Reduktion und Idealisierung.¹¹⁹ Die *Reduktion* ist das Bereinigen des Systems um jene Komponenten, die sich als „unwichtige Einzelheiten“ herauskristallisieren. Nach dieser Trennung sind die relevanten Bestandteile zu vereinfachen. Diese *Idealisierung* kann mit folgenden Ansätzen vorgenommen werden:¹²⁰

- Ersetzen des Verhaltens und der Eigenschaften einer Systemkomponente durch einfache mathematische Funktionen
- Zusammenfassen von Systemkomponenten oder Prozessschritten
- Ersetzen von ähnlichen Abläufen durch Stellvertreter
- Ignorieren von Ausreißern
- empirische Verteilungsfunktion von Inputwerten durch eine ‚Verteilungsfamilie‘ ersetzen
- ‚Umweltparameter‘ die sich kaum ändern durch Konstante substituieren
- Einflussgröße eliminieren, wenn sie bei vergleichenden Untersuchungen auf alle Alternativen im selben Umfang wirkt

Es gibt demgegenüber desgleichen Indikatoren, die darauf hinweisen, dass ein Einbinden einer Komponente von Nöten ist. Beispielsweise zählen dazu:

- Der Einfluss der Systemkomponente bzw. ihrer Attribute auf das Ergebnis oder die Systemleistung
- Die begrenzte Kapazität der Systemkomponente
- Die Wichtigkeit des zeitlichen Verhaltens oder des Ortes der Systemkomponente

¹¹⁹ Vgl. Kühn (2006), S. 45; VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 13.

¹²⁰ Vgl. Wenzel et al. (2008), S.130; Liebl (1992), S. 218.

Der Entscheid über das Erhöhen oder Senken des Detaillierungsgrades, also welche Komponenten werden abgebildet und wie genau, wird von Nebenbedingungen mitbestimmt. Neben der zur Verfügung stehenden Zeit und den veranschlagten Kosten, ist die Datenverfügbarkeit richtungweisend.¹²¹ Es ist nicht möglich den realistischen Gegebenheiten entsprechend, die Reparaturvorgänge mit einzubeziehen, wenn es dazu keine angemessenen Aufzeichnungen gibt. 96 Prozent des Rücklaufes der Fragebogenstudie bestätigen die Relevanz der Datenverfügbarkeit mit einer Bewertung von ‚wichtig‘ beziehungsweise ‚sehr wichtig‘.

Oftmals ist es möglich, dass die genaueren Einflüsse einer Komponente auf das System und in weiterer Folge auf die Ergebnisgüte nicht vorab feststellbar sind. Für diesen Zweck sind neben Analysemethoden wie das Ursachen-Wirkungs-Diagramm, das sogenannte Fischgrätendiagramm (siehe Kapitel 3.5.3 ‚Identifikation von Daten‘), Hilfsmitteln aus der Verifikation und Validierung verfügbar. Die Rücksprache mit Experten, sogenannten subject-matter experts (SMEs), und Sensitivitätsanalysen helfen bei der Bestimmung des richtigen Detaillierungsgrades.¹²² Hier steht, im Falle der Sensitivitätsanalysen, neben der Verifikation und Validierung des Modells, das gezielte Spielen mit Parametern im Mittelpunkt. Dadurch wird die Bestimmung der Einflüsse von Komponenten auf das System, auf die Experimentierphase verlagert. Hier sollte der Bogen allerdings nicht überspannt werden und diese Methode z.B. für sämtliche Parameter verwendet werden. Eine Abbildung sämtlicher Bestandteile wäre dabei die Folge, womit sich das Aufwand/Nutzen-Verhältnis negativ verschieben könnte. Die Rücksprache mit Systemexperten kann erhebliche Arbeitersparnisse mit sich bringen (‚Komponente X ist zu vernachlässigen...‘) und weckt bzw. hält deren Interesse an der Simulationsstudie selbst.

Vielfach wird in der Literatur für die Vorgehensweise der Modellerstellung auf die Wichtigkeit einer Hierarchisierung der Systemstruktur hingewiesen.¹²³

So lässt sich mit dem Top-Down Ansatz das System vom Groben ins Detail entwickeln. Diese sukzessive Modellverfeinerung entspricht einer stufenweisen Erhöhung des Detaillierungsgrades. Somit lassen sich Mischungen unterschiedlicher Detaillierungsgrade, unterschiedlicher Systemkomponenten praktikabel verwirklichen, ohne das Gesamtbild für den Betrachter zu ‚verfälschen‘. Es empfiehlt sich, unabhängig vom Anwendungsfall, Hierarchieebenen allgemeingültig zu definieren. Diese Standardisierung erleichtert das Einlesen und Einarbeiten in das Simulationsmodell und im Weiteren die Wieder- und Weiterverwendung. Beispielsweise ist dadurch das spätere Hinzufügen von Details in der Regel mit vertretbarem Aufwand

¹²¹ Vgl. Law (2007), S. 248.

¹²² Vgl. Law (2007), S. 247.

¹²³ U.a.: Vgl. Gierth et al. (2006), S. 660f; VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 13.

machbar. Ebenso können, mittels eines Bottom-Up Ansatzes, ganze Systemteile einfacher wiederverwendet werden. Darüber hinaus fördert es die Akzeptanz des Auftraggebers und der Projektbeteiligten/-betroffenen durch eine vertraute, immer wiederkehrende Struktur. Eine mögliche Einteilung der Hierarchieebenen gibt nachstehende Visualisierung wieder.

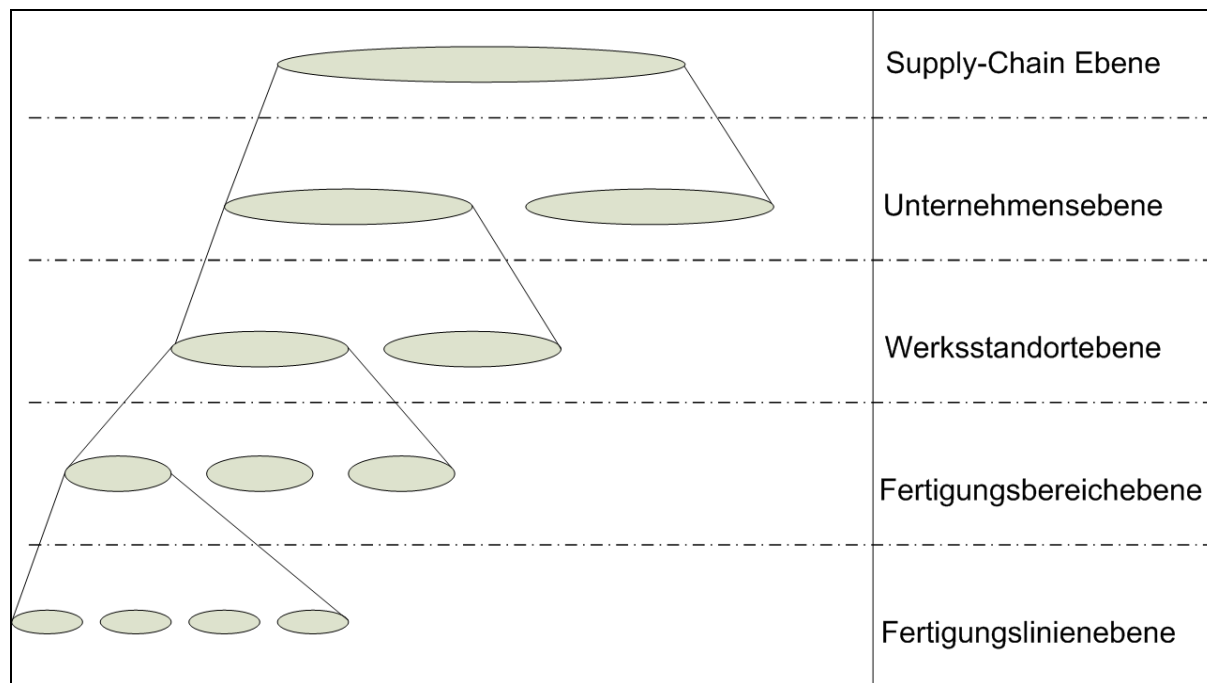


Abbildung 17: Hierarchisierung; Beispiel (eigene Darstellung)

Ausgehend von der obersten Ebene, in welcher lediglich Unternehmen als Ganzes in ‚Black Boxes‘ betrachtet werden, kann über die Unternehmensebene der Detaillierungsgrad auf eine werkspezifische Ebene erhöht werden. Diese kann wiederum in die einzelnen Fertigungsbereiche eines Werkes eingeteilt werden, worin zumeist mehrere Fertigungslinien enthalten sind (vgl. SCOR Modell¹²⁴). Man kann bei Bedarf das Betrachtungsfeld bis auf einzelne Arbeitsplätze erweitern, wodurch u.a. der Aufwand für Datenerhebungen erheblich steigt.

3.4.4 Fazit Bestimmung des Detaillierungsgrades

„Assessing the appropriate level of detail is not an easy task.“¹²⁵ So schwierig dieser Schritt auch ist, umso wichtiger ist es, den angemessenen Detaillierungsgrad für das zu behandelnde Modell zu finden. Es gilt mit dem richtigen Maß an Aufwand, die geforderte Ergebnisgüte zu erreichen. Wobei der Aufwand vom Systemumfang und der Zielsetzung abhängt. Die Zielsetzung ist mitunter in der Aufgabenspezifikation festzuhalten, welche ausführlich zu gestal-

¹²⁴ SCOR Modell: Supply Chain Operations Reference Modell; Ein Rahmenwerk, das zur international standardisierten Prozessabbildung verwendet wird, z.B. Benchmarking von Supply-Chains, Werke oder auch Inhouseprozessen.

¹²⁵ Persson (2002), S. 319.

ten ist. „Bei einer unzureichenden Aufgabenspezifikation ist die Gefahr groß, dass die Modellkomponenten mit unpassendem Detaillierungsgrad erstellt werden.“¹²⁶ Um ein brauchbares Modell ausarbeiten zu können, sind innerhalb der Aufgabenspezifikation die obere und untere Grenze festzulegen: maximal zulässiger Aufwand und geforderte Mindestgüte. Die Mindestgüte ist ein Ergebnis der Zielsetzung des Auftraggebers, welche notwendige Parameter bedingt, die wiederum einen Aufwand für deren Erhebung erfordert. Des Weiteren sind die Faktoren Kosten, Zeit und Datenverfügbarkeit zu definieren bzw. zu berücksichtigen.

Im Allgemeinen wird tendenziell ein zu hoher Detaillierungsgrad für ein Modell gewählt. Neben dem negativen Einfluss auf den Kosten- und Zeitaspekt, schlägt sich ein zu hoher Detaillierungsgrad auch in Form von verringerter Akzeptanz und Aussagekraft nieder. Um das richtige Abbild und keine Kopie des Realsystems zu schaffen, ist die Erfahrung des Simulationsanwenders von hoher Bedeutung. Prinzipiell gilt der Leitsatz ‚Modelle sollen so genau wie nötig und so grob wie möglich sein‘.

In der Abstraktionsphase wird in zwei Schritten vorgegangen, um den optimalen Detaillierungsgrad zu erreichen: die Reduktion (Weglassen von irrelevanten Bestandteilen) und Idealisierung (Vereinfachung unverzichtbarer Elemente). Stößt man beim Entscheid über das Einbeziehen und Detaillieren von Komponenten an seine eigenen Grenzen, bedient man sich der Befragung von SMEs und der Sensitivitätsanalyse in der Experimentphase. Bei der Systemgestaltung ist eine standardisierte Hierarchisierung vorzunehmen, wodurch u.a. Wieder- und Weiterverwendbarkeiten gefördert werden und die Akzeptanz seitens Prozessbeteiligter gesteigert werden kann.

Die Vorgehensweise in diesem Prozessschritt der Simulationsstudie ist somit:

- Erstellung einer aussagekräftigen Aufgabenspezifikation
- Festlegen der Grenzen ‚geforderte Mindestgüte‘ und ‚maximal zulässiger Aufwand‘
- Beachtung gegebener/festgelegter Nebenbedingungen (Zeit, Kosten, Datenverfügbarkeit)
- Reduktion und Idealisierung des Systems (Abstraktion)
- Bei Entscheidungsschwierigkeiten Methoden wie ‚Konsultieren von SMEs‘ und ‚Sensitivitätsanalyse‘ anwenden
- Gesamtsystem (standardisiert) hierarchisieren

¹²⁶ Wenzel et al. (2008), S. 115.

3.5 Simulationsdaten

Die Zielsetzung wurde klar formuliert und der damit einhergehende, notwendige Detaillierungsgrad bestimmt. In einem nächsten Schritt werden die für die vorliegende Studie zu betrachtenden Daten ermittelt. Um diese Frage beantworten zu können, ist zunächst zu klären, welche Daten für eine Simulationsstudie grundsätzlich relevant sind und welche im Weiteren für den Fertigungsbereich der Siemens AG Amberg in Betracht zu ziehen sind.

Nach Festlegung des Detaillierungsgrades werden zwei Prozessschritte angestoßen. Neben der Modellerstellung, die vorerst unabhängig durchgeführt werden kann, sind die notwendigen Daten zu ermitteln und aufzubereiten, bevor sie in das Modell übertragen werden können.

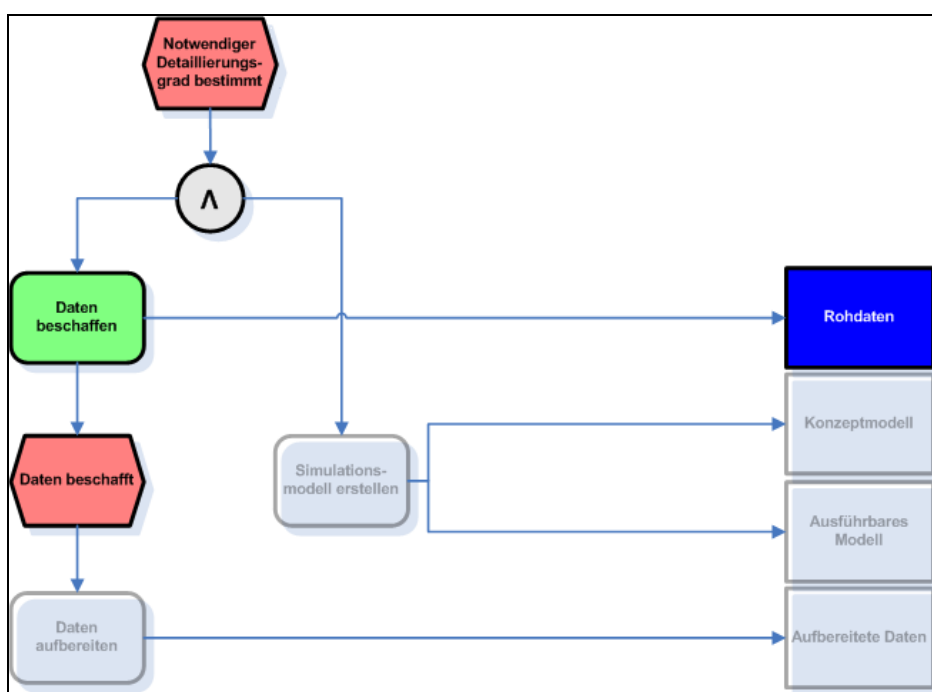


Abbildung 18: Schritt "Ermitteln der notwendigen Simulationsdaten" (eigene Darstellung)

Die Ermittlung der Daten liefert eine Übersicht über die einzubeziehenden Informationen der Fertigungslinie (sog. Datenanforderungskatalog¹²⁷). Nach Erhebung dieser, liegen die Informationen dokumentarisch als Rohdaten vor. Es folgt die Aufbereitung, die nach Filterung und Bereinigung der Daten, die Übertragung in das Simulationsmodell erlaubt.

Der Erfolg von Simulationsstudien hängt ganz erheblich von den Eingangsdaten ab. Wenn Material zur Anwendung kommt, das nicht für das zu modellierende System repräsentativ ist, oder es zu unsicheren Aussagen in der Datenaufbereitung führt, hat dies nicht verwendbare

¹²⁷ Vgl. Wachsmann (2006), S. 47.

Simulationsergebnisse und letztendlich falsche Entscheidungen zur Folge.¹²⁸ Aus diesem Grund ist die Auswahl der Daten mit entsprechender Sorgfalt durchzuführen. Den Simulationsanwender erwartet in einer Simulationsstudie eine Vielfalt an Informationen. Ein hoher Komplexitätsgrad des Systems kann in diesem Kontext ein besonderer Stolperstein sein. Es wird auf zu berücksichtigende Daten nicht geachtet, oder man verliert sich in der Menge an Daten. Eine erste Orientierung anhand einer Datensammlung wirkt dieser Problematik entgegen. Bevor die spezifischen Daten im Falle einer Simulationsstudie bei der Siemens AG Amberg betrachtet werden, sind allgemein gültige Daten zu erarbeiten.

Gemäß der VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1, werden alle für eine Studie notwendigen Eingangsdaten in drei Kategorien eingeteilt: Systemlastdaten, Organisationsdaten und Technische Daten. Die folgende Visualisierung bietet eine Übersicht, welche Informationen diese drei Kategorien laut der genannten Richtlinie enthalten:

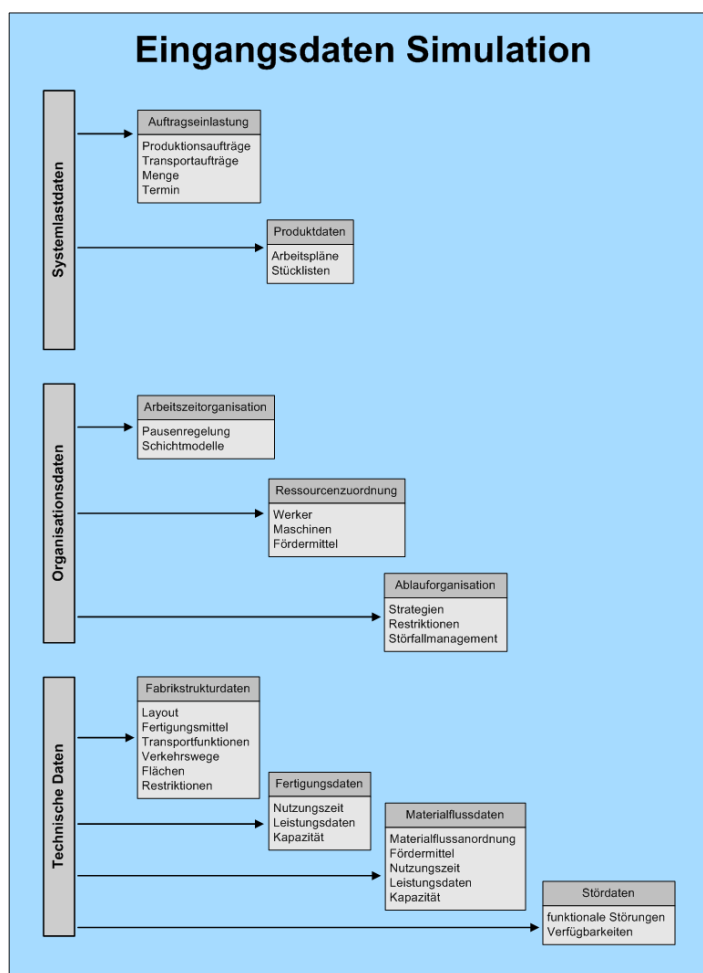


Abbildung 19: Eingangsdaten Simulation¹²⁹

¹²⁸ Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 122.

¹²⁹ Quelle: VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 11.

Innerhalb der *Systemlastdaten* sind Informationen zum Produkt und den Aufträgen gesammelt. Dazu zählen Daten wie Arbeitspläne, Stücklisten, Produktionsaufträge, Mengen und Termine.

Mit Hilfe der *Organisationsdaten* werden Arbeitszeitregelungen (Pausenregelung, Schichtmodelle), Ressourcenzuordnungen (z.B. welcher Werker auf welche Maschine/Fördermittel) und Ablauforganisationen (Strategien, Störfallmanagement, etc.) festgehalten.

Die *Technischen Daten* halten den größten Informationsumfang. Beschrieben werden die Fabrikstruktur (Layout, Verkehrswege, Flächen, Fertigungsmittel, etc.), die Fertigung (Leistungsdaten, Kapazitäten, etc.), der Materialfluss (Topologie, Fördermittel, etc.) und auftretende Störungen (Verfügbarkeiten, etc.). Abhängig vom Simulationsziel und -zweck, sind zusätzlich betriebswirtschaftliche Daten mit einzubeziehen. In bausteinorientierten Simulationsprogrammen ist dies zumeist auf praktikablem Wege berücksichtigbar (z.B. Plant Simulation). Beispielsweise sind Fertigungskosten je Arbeitsplatz bzw. Lohnkosten je Werker mit Hilfe von sogenannten benutzerdefinierten Attributen deklarierbar.

Gemäß dem Tätigkeitsbereich der Siemens AG Amberg werden im Folgenden die betriebspezifischen Daten, die bei Materialflusssimulationsstudien zu berücksichtigen sind, näher in Betracht gezogen.

3.5.1 Simulationsdaten bei Siemens AG Amberg

Das Hauptgeschäft des Gerätewerk Amberg (GWA) ist die Produktion von elektromechanischen und elektronischen Geräten zur Regelung, Überwachung und Schutz von ohm'schen und motorischen Verbrauchern des industriellen Gebrauchs (z.B. in Aufzügen, Rolltreppen, Motorsteuerungen). Die Bandbreite reicht von Klein- bis Großserien in jeweils breiter Varianz. Die Fertigungsarten der Produktionslinien reichen von einer Handmontage bis zum vollautomatisierten Betrieb. Neben den vorhandenen Montagestellen, sind Qualitätsprüfstellen Hauptbestandteile der existierenden Produktionslinien. Diese vorherrschenden Bedingungen sind für den Simulationsanwender maßgebend, welche Daten für eine entsprechende Simulationsstudie notwendig sind. Die Art und Weise der Datenbeschaffung ist desgleichen unternehmensspezifisch vorzunehmen. Ist eine hohe informationstechnologische Integration gegeben, sind Datenerhebungen z.B. mit Hilfe des ERP-Systems möglich (SAP am Standort Amberg der Siemens AG).

Auf Basis der VDI Richtlinie, Befragungen von Siemensmitarbeitern, Literaturrecherchen und erfolgtem Eigenstudium des Autors, sind für die Arbeitsumgebung der Siemens AG Amberg Daten gesammelt worden. Die Struktur der Datenkategorisierung wurde mit Hilfe des Vor-

schlages von Csanady den vorliegenden Bedingungen angepasst.¹³⁰ Darüber hinaus wurden im Verlauf der Befragung der Siemensmitarbeiter Möglichkeiten festgehalten, auf welchem Wege bzw. mit welchen Instrumenten diese Informationen beziehbar sind. Allerdings wird die Phase der Datenerhebung im Rahmen dieser Arbeit nicht detaillierter behandelt werden. Dieser Datenpool dient künftigen Simulationsanwendern dazu, die Datenauswahl im Allgemeinen zu erleichtern. Die Auseinandersetzung mit dem Datenpool gibt dem Anwender Aufschluss darüber, welche Daten vorzufinden sind und von woher diese bezogen werden können.

Technische Daten	
Maschine	
Datum	Quelle
Taktzeit	Litab, SME (Planer FTQ, ME)
geplanter Stillstand	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
geplante Pausen	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
organisatorische Pausen	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
Dimensionen	Layout (Planer FTQ)
Ausschuss, Nacharbeit	SAP, SME (Produktion, FTQ)
Rüstzeit	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME (FTQ)
Verfügbarkeit	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME
MTTR, MTBF	rE (aus Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", Blatt "Logbuch")
Produktkompatibilität (Welche Produkte sind bearbeitbar auf Maschine x)	SME (Planer FTQ)
Sonder(bearbeitungs)regeln	SME (FTQ, ME)
Rüstlogik	SME (FTQ, LP, Produktion)
notwendige Puffer	SME (Planer FTQ, ME)

Tabelle 4: Auszug Simulationsdatenpool (eigene Darstellung)

Der Auszug in Tabelle 4 beschränkt sich auf die Unterkategorie ‚Maschine‘ aus der Kategorie ‚Technische Daten‘. Beispielgebend ist das Datum Rüstzeit, demnach die Zeitspanne, die die Einrichtung einer Maschine für die Fertigung eines bestimmten Produktes benötigt, über das LiTab (Linientagebuch), die intern verfügbare Exceldatei ‚Nutzung & Stillstand‘ und/oder über SMEs (Subject-Matter Experts) der Abteilung FTQ beziehbar. Der vollständige Datenpool, inklusive der dazugehörigen Legende für Abkürzungen, ist dem Anhang zu entnehmen.

Die von der VDI-Richtlinie vorgeschlagenen Hauptkategorien wurden direkt übernommen: Systemlastdaten, Organisationsdaten und Technische Daten. Die Systemlastdaten halten im Sinne der VDI-Richtlinie, Informationen zur Auftragseinlastung/Anlieferung und zum Produkt (Produktdaten). Die Organisationsdaten enthalten Aspekte zur Produktionsorganisation und den Mitarbeitern. Neben Informationen zur Arbeitszeitregelung (Schichten- und Pausenregelung), Ressourcenzuordnung (Anzahl MA pro Arbeitsplatz) und der Ablauforganisation (u.a. Produktionsstrategie), sind im Rahmen der Produktionsorganisation auch wesentliche Punkte zur Fabrikstruktur und dem Materialfluss enthalten (vgl. VDI Richtlinie: Technische Daten). Die Unterkategorien der Technischen Daten hingegen, sind in konkretere Teilaspekte der Fertigung selbst unterteilt: Maschinen, Lager, Fördertechnik, Fördermittel und Förderhilfsmittel.

¹³⁰ Vgl. Csanady et al. (2008), S. 598.

tel. Insbesondere hinsichtlich der Baueinstruktur und entsprechender Benennungen von Objekten in Plant Simulation, ist die vorgenommene Neugestaltung der Unterkategorien praktikabel. Damit werden Systemaspekte für den Simulationsanwender anschaulicher und die Implementierung in Plant Simulation im Zuge der Datenerhebung adäquater vorbereitet.

Die Siemens AG Amberg hält einen hohen Grad an informationstechnologischer Integration und baut diese fortlaufend aus. Damit sind manuelle Methoden (Zeitnehmungen, Interviews, etc.) zur Datenerhebung und –bereitstellung immer seltener vorzunehmen. Es wird daher ein hohes Maß an Datenverfügbarkeit und –zugänglichkeit bereitgestellt. Allerdings wird auf manuelle Methoden im Allgemeinen nicht verzichtet, beispielsweise für die Modellvalidierung. Die Relevanz dieser Aspekte für eine Simulationsstudie wurde im Rahmen der Fragebogenstudie mit 96 bzw. 76 Prozent mit zumindest wichtig bestätigt.

Anzumerken ist, dass dieser *Datenpool* eine Unterstützung für den Simulationsanwender darstellen soll. Es darf nicht als eine abgeschlossene Sammlung von zu beachtenden Daten der Siemens AG Amberg verstanden werden. Vielmehr dient es als Fundament, dass gegebenenfalls um Daten im Allgemeinen oder Spezifischen zu erweitern ist. Die Ergebnisse der Fragebogenauswertung zeigen allerdings, dass der erstellte Datenpool eine solide Basis darstellt. Sämtliche von den Antwortgebern angeführten planer- und simulationsrelevanten Daten, werden mit diesem Pool abgedeckt. Ebenso werden in der Fragebogenauswertung genannte Datenquellen innerhalb des erstellten Excel-Files großteils wiedergefunden (Spalte Quelle im Tabellenblatt Eingangsdaten). Die Einsetzbarkeit und Richtigkeit des erstellten Datenpools wird damit bekräftigt.

3.5.2 Die Zielsetzung als Maßstab

Durch die Verwendung der für die Studie ausgewählten Daten, können nach der Aufbereitung und der Verwendung im Simulationsmodell, Simulationsexperimente durchgeführt werden. Diese liefern Ergebnisdaten, welche die Antwort auf die Zielsetzung der Studie ergeben:

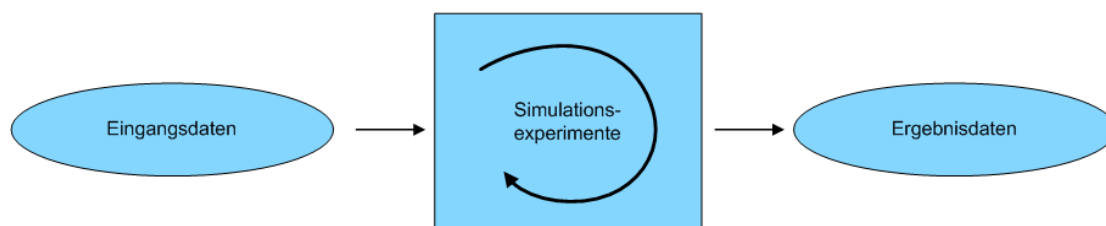


Abbildung 20: Datenentwicklung in der Simulationsstudie (eigene Darstellung)

Ergebnisdaten sind das Resultat von Simulationsexperimenten, die die Basis für Interpretationen sind, um das Ausgangsproblem zu lösen. Allgemein können Ergebnisdaten auch als sogenannte Key Performance Indicators (KPIs) verstanden werden. Ein Beispiel dazu ist die

Durchlaufzeit: Es wird eine Verkürzung der Durchlaufzeit bei gleichbleibendem Durchsatz als Ziel definiert. Somit gilt es, die konkurrierenden Aspekte (z.B. hinsichtlich der Bestände im Umlauf) im Laufe der Simulationsexperimente im Fokus zu halten.¹³¹ Während eine Durchlaufzeitverkürzung ein Minimum an Beständen fordern kann, um u.a. Stauungen und damit Zeitverluste zu vermeiden, fordert der gleichbleibende Durchsatz Bestände, um unterschiedlich getaktete Einheiten gleichmäßig zu versorgen und damit die geforderte Menge in vorgesehener Zeit fertigen zu können. Im Zuge der Simulationsexperimente werden Szenarien durchgespielt, die durch Auftraggeber und –nehmer zu Beginn festgelegt worden sind. Bei dazu notwendigen Veränderungen von Eingangsdaten (z.B. Kapazitätserhöhungen von Anlagen, Verkürzung von Verkehrswegen) wird festgestellt, welche Veränderungen eine zufriedenstellende Durchlaufzeitverkürzung bei gegebenen Restriktionen liefert.

In diesem Beispiel wird mitunter deutlich, dass für eine Simulationsstudie problemspezifische Daten erhoben und aufbereitet werden müssen. Weiters ist die Notwendigkeit der klaren Zieldefinition ersichtlich. Das zugrunde gelegte Ziel ist in der Regel ein Gesamtziel das aus mehreren Teilzielen besteht.¹³² Dieses Zielsystem umfasst Kenngrößen, „die das Verhalten eines Systems in Hinblick auf seine Aufgabe charakterisiert.“¹³³ Typische Kenngrößen sind:

- Durchsatz
- Termintreue
- Durchlaufzeit
- Bestand
- Auslastung

Weitere oftmals beobachtete Größen sind u.a. Rüstzeiten, Störzeiten, und Wartezeiten. Mittels des Zielsystems werden, wie im vorhergehenden Beispiel gezeigt (Durchlaufzeitverkürzung bei gleichbleibendem Durchsatz), die passenden Kenngrößen dazu ausgewählt (Durchsatz, Durchlaufzeit, Bestände, etc.), womit die notwendigen Daten für die Simulationsstudie bzw. das Simulationsmodell ableitbar sind (Maschinenverfügbarkeiten, Auftragseinlastungsreihenfolge, Rüstzeiten, etc.). Über diesen Umkehrschluss ist der Zusammenhang zwischen Zielsetzung, Ergebnisgrößen und Daten hergestellt.

Zu diesem Zwecke ist neben der Sammlung an Simulationseingangsdaten, ein Tabellenblatt mit möglichen Simulationsergebnisdaten dem Excel-File beigefügt worden:

¹³¹ Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 10.

¹³² Vgl. VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 5.

¹³³ VDI Richtlinie 3633 Blatt 1 (1993), S. 10.

Simulationsergebnisdaten/KPI	
Auslastung (in z.B. Summe Schichtanzahl)	Legende: KPI Key Performance Indicator
Durchsatz	
Bestände (Summe, je Variante, Umlaufvermögen)	
Zeitverteilungen (Zeitanteil Warten, Blockiert, etc.)	
Anzahl Rüstvorgänge	
Termintreue (im Allgemeinen voraussetzbar)	
Taktzeit	
Durchlaufzeit	

Tabelle 5: Simulationsergebnisdaten (eigene Darstellung)

Zusatzinformationen zu den einzelnen Ergebnisdaten sind in der Tabelle in Klammern angeführt. Zum Beispiel wird die Größe Auslastung bei der Siemens AG Amberg zumeist durch die Summe der Anzahl an durchzuführenden Schichten gemessen. Damit kann abschließend die Gesamtmenge an Simulationsdaten als die Summe von Simulationseingangsdaten und Simulationsergebnisdaten verstanden werden:

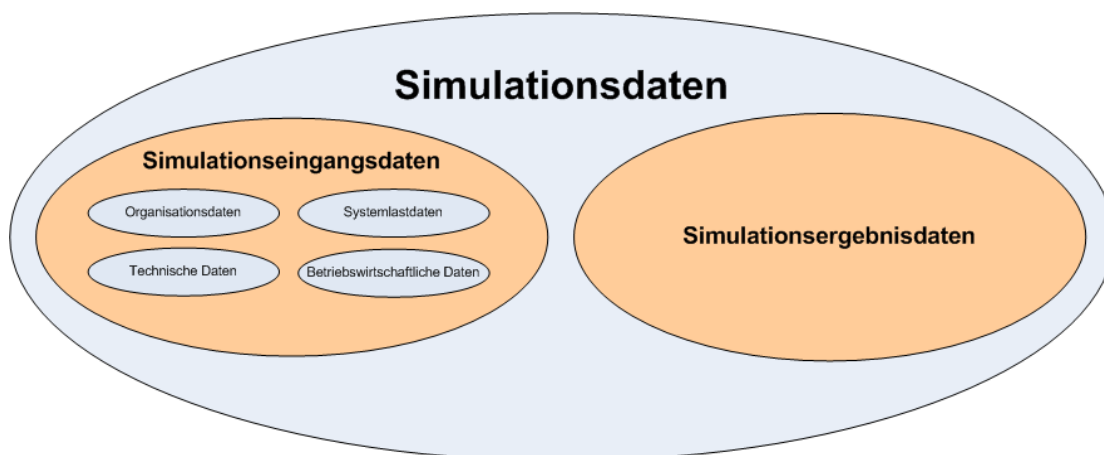


Abbildung 21: Simulationsdaten (eigene Darstellung)

Im Folgenden werden Methoden zur Filterung von für eine spezifische Simulationsstudie notwendigen Daten vorgeschlagen. Wie sich diese Daten auf die zu beobachtenden Ergebnisdaten auswirken, ist ebenfalls Inhalt der Betrachtung.

3.5.3 Identifikation von Daten

Unterstützung in der Ermittlung der relevanten Informationen kann eine einfache Visualisierung wie zum Beispiel das Ishikawa-Diagramm¹³⁴ sein, auch bekannt als Fischgräten- oder Ursachen-Wirkungs-Diagramm.

¹³⁴ Vgl. Beichl Managementconsulting (2009).

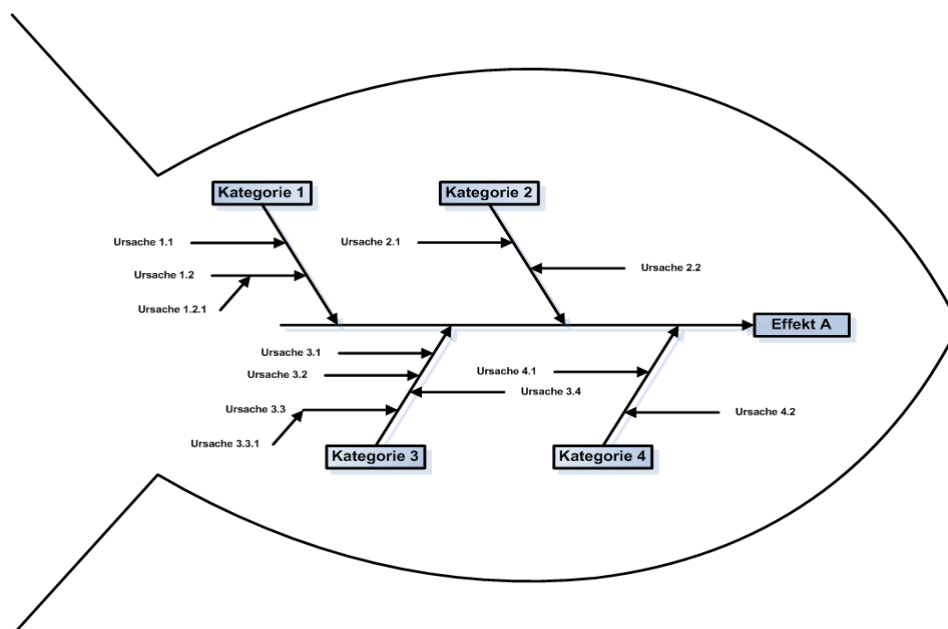


Abbildung 22: Ishikawa-Diagramm; Beispiel (eigene Darstellung)

Ist das Untersuchungsobjekt bestimmt (z.B. Durchlaufzeit), können Prozessbeteiligte und – betroffene herangezogen werden, um z.B. mit Hilfe der Brainstorming-Methode entsprechende Kategorien von Einflussparametern grafisch darzustellen (z.B. Maschinen, Fördermitteln). In einem weiteren Schritt sind Aspekte bzw. Ursachen zu den identifizierten Kategorien zu erheben (z.B. Bearbeitungszeiten der Maschinen oder Weglängen für Fördermittel), die Wirkung auf das Untersuchungsobjekt haben. Eine intensive Auseinandersetzung mit dieser Methode, liefert einen sehr gut ausgereiften Datenumfang für die weitere Identifikation von relevanten Daten.

Gemäß Kapitel 3.5.2 ‚Die Zielsetzung als Maßstab‘ sind nicht alle möglichen Daten zum Untersuchungsobjekt zu erheben. Der geforderte Detaillierungsgrad ist hierbei maßgebend. Dieser entscheidet, welche Daten in welcher Granularität für die Simulationsstudie letztendlich zu verwenden sind. Wie in Kapitel 3.4.3 ‚Bewahrung des passenden Detaillierungsgrades‘ beschrieben, erleichtert eine einheitliche und strukturierte Hierarchisierung des zu betrachtenden Modells ebenfalls die Datenbeschaffung durch etwaige Vorgaben des erforderlichen Detaillierungsgrades. Beispielsweise sind bei Supply-Chain Betrachtungen andere Daten in anderer Detaillierung notwendig, als z.B. auf Ebene von Fertigungslinien.

Sind die relevanten Daten für die Simulationsstudie erhoben, stellt sich zumeist die Frage, in welcher Ausprägung sich einzelne Daten auf das Gesamtsystem auswirken. Zunächst ist dabei zwischen fixen und variablen Daten zu unterscheiden. Beispielsweise unterliegt ein Produkt gewissen Restriktionen. Prozesszeiten wie Abkühlvorgänge können z.B. als fix erachtet werden. Die Bearbeitungszeit einer einzelnen Fertigungszelle kann unter Umständen von der

Anzahl der Mitarbeiter abhängen, womit eine Variabilität festgestellt werden kann. Die Anzahl der variablen Daten kann sehr hoch sein, wodurch es schwierig wird, jene Faktoren mit großem Einfluss auf die beobachtete Ergebnisgröße zu identifizieren. Zu diesem Zweck bieten sich Methoden wie die Sensitivitätsanalyse an. Die Sensitivitätsanalyse wird grundsätzlich als Werkzeug für die Modellvalidierung verstanden.¹³⁵ Allerdings kann sie ebenso für vorliegende Problemstellung – die Überprüfung des Einflusses von Input-Faktoren auf bestimmte Ergebnisgrößen, verwendet werden. Die Modellvalidität ist für diesen Einsatz jedoch Voraussetzung, um die Analyse durchführen zu können. Die Simulationsdaten wurden demnach bereits aufbereitet und in das Modell übertragen. Die Analyse erfolgt somit in der nachgelagerten Phase ‚Simulationsexperimente durchführen‘ der Simulationsstudie und sind somit in der Experimentplanung mit ein zu beziehen.

Die *Sensitivitätsanalyse* hilft das System und dessen Verhalten verstehen zu lernen. Liebl bezeichnet es als „Das gezielte „Spielen“ mit dem Simulationsmodell“¹³⁶. Verschiedene Eingangsparameter bzw. Simulationseingangsdaten werden in unterschiedlichen Kombinationen im Simulationsmodell auf ihre Auswirkung auf Ergebnisgrößen getestet. Die Wunschvorstellung des Anwenders ist dabei, dass sich detailliert einbezogene (variable) Simulationsdaten als entsprechend wirkungsvoll erweisen und das System auf grob abgebildete (variable) Simulationsdaten (bzw. Simulationsdatenbündel wie z.B. eine gesamte Fertigungslinie) sehr ‚nüchtern‘ reagiert. Ist das nicht der Fall, sind unter Umständen intensivere Analysen und detailliertere Übertragungen von betroffenen Simulationsdaten in das Modell notwendig. Ein eventuelles Zurückkehren zur Phase ‚Daten beschaffen‘ im Simulationsstudienprozess wird damit erforderlich (siehe Abb. 8 in Kapitel 3.2 ‚Der Prozessablauf einer Simulationsstudie‘). Durch dieses sukzessive Herantasten bekommt der Anwender Einblicke darüber, welche Stellschrauben im System besonders kritisch sind. Darüber hinaus wird, obwohl nicht im Fokus der Betrachtung, die Modellvalidität zunehmend erhöht und der notwendige Detaillierungsgrad des Modells näher definiert.¹³⁷

Weitere, in der Literatur vorgeschlagene Möglichkeiten, um Eingangsdaten auf ihre Auswirkung auf Ergebnisgrößen zu untersuchen sind:

- Die *‚faktorielle und teilfaktorielle Methode‘*: Verändern von allen bzw. mehreren Daten Eingangsdaten gleichzeitig, um die kombinatorische Wirkung auf die Ergebnisgröße zu untersuchen.¹³⁸

¹³⁵ Vgl. Law (2007), S. 69; Law (2007), S. 258.

¹³⁶ Liebl (1992), S. 214.

¹³⁷ Vgl. Law (2007), S. 258.

¹³⁸ Vgl. Kühn (2006), S. 157.

- Die *Taguchi- und Shainin-Methode*: Spezielle Anwendungen der statistischen Versuchsplanung. Einbeziehung des Pareto-Prinzips: Die Wirkung auf eine Ergebnisgröße kann auf relativ wenige Eingabegrößen beschränkt werden.¹³⁹
- *Regressionsrechnungen*: Versuch, Zusammenhänge zwischen Eingangs- und Ergebnisgrößen zu quantifizieren, sofern diese als unbekannt gelten.¹⁴⁰
- *Analyse von Extrempunkten*: Gibt Aufschluss darüber, wie sich Eingangsgrößen bei Extremwerten von Einzelnen (z.B. geringst mögliche Taktzeit) verhalten. Es können kritische Konstellationen ausgemacht werden, die zu niedrigen bzw. hohen Ausprägungen der Ergebnisgrößen führen.¹⁴¹

3.5.4 Fazit Simulationsdaten

Nach einer klar festgelegten Zieldefinition und der Erörterung des notwendigen Detaillierungsgrades, werden die für die Simulationsstudie relevanten Daten identifiziert. Diese sollen in einem Dokument namens Rohdaten festgehalten werden, welche das Datum, die Quelle und die Erhebungsvorgehensweise festhält. Wesentlich ist der Rückschluss über das vorgegebene Simulationsziel auf die notwendigen Daten. Die Zielsetzung gilt somit als Maßstab. Es ist in der Regel ein Gesamtziel, das aus mehreren Teilzielen besteht, welches über Kenngrößen/ Key Performance Indicators/ Ergebnisgrößen beschrieben wird. Die Ergebnisgrößen erlauben den erwähnten Rückschluss auf die notwendigen Eingangsdaten, die zum Beispiel mittels Brainstormingmethode und Ishikawa-Diagramm eruiert werden können und im Weiteren die Antwort auf das Ausgangsproblem liefern.

Die notwendige Auswahl an relevanten Daten wird durch eine Datensammlung erleichtert, die festhält, welche Daten in einem Unternehmen vorliegen und wie diese bezogen werden. Für diesen Zweck ist ein Datenpool im Zuge dieser Arbeit erstellt worden. Aufbau und Inhalt wurden mit Hilfe von Richtlinien, Literatur und Interviews von Mitarbeitern der Abteilung FTQ der Siemens AG gestaltet. Der bereitgestellte Datenpool darf allerdings nicht als abgeschlossene Datensammlung verstanden werden, sondern als Ausgangsbasis für Simulationsstudien bei der Siemens AG Amberg, insbesondere der Abteilung FTQ. Dieser dient als Orientierungshilfe welche Daten woher bei der Siemens AG Amberg bezogen werden können. In diesem Zusammenhang bieten sich weiterführende Studien an, die sowohl den Aufwand und

¹³⁹ Vgl. Kühn (2006), S. 157.

¹⁴⁰ Vgl. Liebl (1992), S. 67.

¹⁴¹ Vgl. Liebl (1992), S. 66.

die Methoden der Datenerhebung und –aufbereitung als auch die Verbindung zwischen Ergebnisgrößen und Eingangsdaten näher beleuchten.¹⁴²

Sind die notwendigen Eingangsdaten identifiziert, stellt sich zumeist die Frage, welche Eingangsdaten bei Veränderungen starke Auswirkung auf Ergebnisgrößen haben und somit als sogenannte ‚Stellschrauben‘ ausfindig gemacht werden können. Hierzu bietet sich die behandelte Sensitivitätsanalyse an, die als gezieltes Spielen am Simulationsmodell mit Eingangsdaten verstanden wird. Weitere, nicht näher betrachtete Methoden, wie die ‚faktorielle und teilfaktorielle Methode‘, können dazu ebenso verwendet werden. Diese Methoden geben nicht nur Aufschluss über einzelne Haupteinflussgrößen auf das betrachtete System, sondern fördern das Systemverständnis, erhöhen die Modellvalidität und definieren den notwendigen Detaillierungsgrad.

Zusammenfassend sind im Zuge der Datenermittlung folgende Schritte durchzuführen:

- Übernahme einer klaren Zieldefinition und des geforderten Detaillierungsgrades aus den vorangegangenen Prozessschritten
- Festlegen der zu untersuchenden Simulationsergebnisdaten der Simulationsstudie (Excel-File)
- Ableiten der notwendigen Simulationseingangsdaten unter zu Hilfenahme des Datenpools (Excel-File, z.B. mit Hilfe des Ishikawa-Diagramm)
- Unterscheiden zwischen fixen und variablen Simulationseingangsdaten
- Gegebenenfalls Identifikation der Hauptstellgrößen des Systems im Zuge der Experimentläufe (z.B. mit Hilfe der Sensitivitätsanalyse)

Nach der Datenbeschaffung sind die für das erstellte Modell passend aufzubereiten (Bereinigen, Annahmen treffen, etc.). Nach der Implementierung der Daten in das Simulationsmodell können, nach erfolgter Verifikation und Validierung, die Simulationsexperimente durchgeführt werden. Die daraus gewonnenen Ergebnisse sind zu analysieren, interpretieren und dem Auftraggeber zu präsentieren. Die mögliche Umsetzung der Simulationsergebnisse schließt die vorgenommene Simulationsstudie ab. Die aufgezählten Schritte im Vorgehen einer Simulationsstudie (siehe Kapitel 3.2 ‚Der Prozessablauf einer Simulationsstudie‘), werden innerhalb dieser Arbeit theoretisch nicht genauer untersucht. Allerdings wird im folgenden Abschnitt eine vollständige Simulationsstudie erläutert, worin soweit erlangte Erkennt-

¹⁴² Vgl. Csanady et al. (2008), S. 595ff.

nisse umgesetzt werden und die Anwendbarkeit dieser im Kontext einer ganzen Simulationsstudie untersucht wird.

4 Praktische Anwendung des strukturierten Vorgehens am Beispiel einer Simulationsstudie

Vor der detaillierten Auseinandersetzung mit der durchgeführten Simulationsstudie, wird das Arbeitsumfeld, in welcher die Arbeit erstellt wurde, dem Leser näher gebracht. Die erläuterten Rahmenbedingungen erleichtern das Grundverständnis für die darauffolgende Problembehandlung bei der Siemens AG Amberg.

4.1 Die Siemens AG

Die Siemens AG

Die Siemens AG ist ein global tätiges Unternehmen, das vor über 160 Jahren als ein Berliner Kleinunternehmen die heutige Erfolgsgeschichte begründete. Heute beschäftigt die Siemens AG rund 430.000 Mitarbeiter weltweit. Im Jahr 2008 verbuchte das Unternehmen einen Umsatz in Höhe von 77,3 Milliarden Euro und einen operativen Gewinn von 1,8 Milliarden Euro. Die Geschäftsfelder werden global in drei Hauptsektoren eingeteilt: Industry, Energy und Healthcare. Die Siemens AG Amberg ist dabei in den Sektor ‚Industry‘ einzuordnen. In diesem Hardware- und Software-Technologien im Bereich der Produktions-, Transport- und Gebäudetechnik entwickelt und hergestellt. Der Sektor wird in sechs weitere Teilbereiche gegliedert: Industry Automation, Drive Technologies, Building Technologies, Osram, Industry Solutions und Mobility. Die Siemens AG Amberg ist Teil der ‚Industry Automation‘ (IA). Hierbei werden im Bereich der Energie- und Automatisierungstechnik in der Fertigungs- und Prozessindustrie Standardprodukte bis hin zu Systemlösungen angeboten.¹⁴³

Standortentwicklung Siemens AG Amberg

Der Standort Amberg der Siemens AG wurde in Folge einer Ausweichfertigungs-Maßnahme des Schaltwerkes Berlin im Jahre 1948 als Gerätewerk Amberg (GWA) gegründet. 1959 wird das Fertigungsprogramm zum ersten Mal um elektronische Schaltgeräte (heutiges Hauptgeschäft des GWA) erweitert. Ein Jahr später wird das Satellitenwerk Cham installiert, um die Fertigungskapazität (zunächst lediglich für die Fertigung der Schalterkomponente Spule) zu erhöhen.

1978 werden die ersten freiprogrammierbaren Steuerungen (vgl. heutige speicherprogrammierbaren Steuerungen - SPS) ausgeliefert. Nach zahlreichen Erweiterungsmaßnahmen sowohl am Standort Amberg als auch Cham, wird 1989 das Gerätewerk Amberg geteilt und das Elektronikwerk Amberg (EWA) begründet. 1990 wird eine eigene Fertigungshalle für die SPS-Fertigung errichtet.

¹⁴³ Vgl. Siemens AG (2009).

Mehrere Auszeichnungen bestätigen die Tätigkeiten des Standortes: 1997 wird das EWA die ‚Fabrik des Jahres‘. 2007 werden das EWA zur ‚Besten Fabrik Europas‘ und das GWA zur ‚Fabrik des Jahres 2007‘ in der Kategorie ‚Hervorragendes Komplexitätsmanagement‘ gekürt.¹⁴⁴

Produktportfolio der Siemens AG Amberg

Der Standort Amberg, mit der Ausweichfertigung Cham, beschäftigt insgesamt ungefähr 4.900 Mitarbeiter und ist ausschließlich im Sektor Industry Automation (IA) tätig. Dabei werden drei Business Units abgedeckt:

- IA AS (Industrial Automation Systems)
- IA SE (Systems Engineering)
- IA CD (Low-Voltage Controls and Distribution)

Business Unit IA AS umfasst das EWA und beschäftigt 1.300 Mitarbeiter. Das EWA ist weltweit die anerkannte Nr. 1 in der Serienproduktion von Automatisierungsprodukten. Unter anderem zählen zu den Haupterzeugnissen Fabrikate des Produkt- und Systemspektrums SIMATIC, welches ein durchgängiges System zur Bewältigung unterschiedlichster Automatisierungsaufgaben darstellt. Flachbaugruppen für elektronische Geräte stellen 360 Mitarbeiter im Business Unit IA SE her. Seit dessen Gründung im Jahr 2004 werden in Amberg diese leistungsfähigen Leiterplatten produziert und vertrieben.

Die IA CD wird durch das GWA definiert. Insgesamt fertigen 3100 Mitarbeiter an den Standorten Amberg und Cham Produkte der Niederspannungsschalttechnik. Neben Befehls-/Meldegeräten, AS-Interfaces (Aktuator-Sensor-Interface; offenes, herstellerunabhängiges Bussystem für speicherprogrammierbare Steuerungen) und Sensoren, wird unter anderem der Produktbaukasten SIRIUS angeboten. Dieser umfasst verschiedenste Elemente für die Regulierung eines Hauptstromkreises (u.a. Leistungsschalter, Überlastrelais, Schütze, Starter).¹⁴⁵

Die Abteilung Factory Technology and Quality Assurance (FTQ)

Die Abteilung FTQ ist durch die planerische Tätigkeit an nahezu allen Prozessen der Business Unit IA CD, demnach dem GWA, beteiligt. Sowohl der Produktenstehungsprozess, als auch die Bereitstellung der wirtschaftlichsten Fertigungseinrichtungen am dafür am Besten geeigneten Standort und die permanente Verbesserung im Fertigungsprozess bezüglich Qualität, Kosten und Abläufe zählen zu den allgemeinen Aufgaben der Abteilung. Dazu ist die Abtei-

¹⁴⁴ Vgl. Siemens AG [DE] (2009); Siemens AG Amberg (2009).

¹⁴⁵ Vgl. Siemens AG [2] (2009).

lung in Bereiche der Fertigungs- und Prüfplanung (FTQ1), der Qualitätsplanung (FTQ2), der Technologieplanung (FTQ3), des Industrial Engineering (IE) und dem Zuständigkeitsbereich für Methoden und Werkzeuge (MT) gegliedert.¹⁴⁶

Zahlreiche Projekte werden aktiv bei Siemens AG Amberg durchgeführt. Neben Business Unit unabhängigen Gesamtprojekten wie 20Keys/4B¹⁴⁷ und 3i-Portal¹⁴⁸ werden auch Business Unit-spezifische Projekte umgesetzt (z.B. Performance@GWA¹⁴⁹). Dazu zählt auch das Konzept der Digitalen Fabrik. Dieses wird in der Abteilung FTQ des GWA seit über 3 Jahren angewandt. Das Konzept wird mittlerweile ebenso von EWA schrittweise umgesetzt, wobei auf entstandene Erfahrungswerte der FTQ angeknüpft werden kann (Projektumsetzung, Expertise mit Softwaretools etc.).

4.2 Die Simulationsstudie

Die begleitende Dokumentation zum Simulationsprojekt beschränkt sich nicht nur auf die fortlaufende Verwendung als Mittel zur Verifikation und Validierung (V&V) und als Informationssicherung, sondern führt des Weiteren rekapitulierend als Leitfaden durch den gesamten Projektverlauf. Aus diesem Grund wird im Folgenden auf Basis der erstellten Dokumente die durchgeführte Simulationsstudie in entsprechender Reihung der Dokumentenverfassung erläutert und innerhalb dieser die Anwendung der in Kapitel 3 erstellten Instrumente demonstriert. Da es der Rahmen dieser Arbeit nicht zulässt den gesamten Umfang der einzelnen Dokumente anzuführen, werden stellenweise Auszüge zu diesen angeführt.

4.2.1 Zielbeschreibung

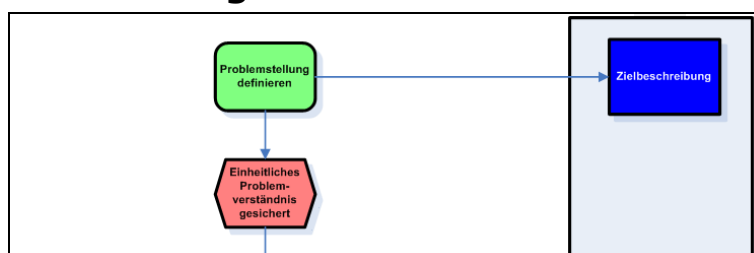


Abbildung 23: Simulationsstudie: Zielbeschreibung (eigene Darstellung)

Zu Beginn der Simulationsstudie werden im Zuge des ersten Gesprächs zwischen Simulationsanwender und dem verantwortlichen Planer die Ausgangssituation, der Projektumfang und der Projektplan festgehalten.

¹⁴⁶ Siemens AG Amberg (2009).

¹⁴⁷ 20Keys: permanente Optimierung der Produktionsabläufe; 4B: analysieren und verbessern der Prozesse im Bürobereich.

¹⁴⁸ 3i-Portal: Förderungs-, Umsetzungs- und Prämierungsverfahren von Mitarbeiterideen.

¹⁴⁹ Performance@GWA: Sammlung von Informationen bezugnehmend auf Vision, Werte, Strategie und Mission und umfasst Daten zu Kennzahlen, funktionale Anforderungen, Methoden, Werkzeuge, Beispiele und Prozesse des GWAs.

Ausgangssituation

Durch die Vermarktung von Produkten in zusätzliche Märkte (z.B. China, Indien), werden künftig weitere Produktionsstückzahlen in den Produktgruppen Schütze, Leistungsschalter und Überlastrelais am Standort Amberg/Cham gefordert. Der Fertigungsfluss dieser einzelnen Produkte umschließt im Allgemeinen eine Hauptfertigungslinie mit mehreren, unabhängig davon arbeitenden Vorfertigungslinien, welche die Hauptfertigungslinie an unterschiedlichen Materialflussschnittstellen mit Bauteilen versorgt. Eine Simulationsstudie soll Aufschluss darüber bringen, welche maximalen Ausbringungsmengen in diesen Produktionssystemen möglich sind. Dadurch werden Prognosen möglich, ob künftige Nachfragemengen vom Standort Amberg/Cham gedeckt werden können oder nicht. Weiters sind jene Engpässe der einzelnen Produktionssysteme zu identifizieren, die für diese Beschränkung verantwortlich sind, um gegebenenfalls erforderliche Investitionen identifizieren und beplanen zu können und den künftig geforderten Nachfragemengen gerecht zu werden.

Projektumfang

Das System und Systemgrenzen

Die Siemens AG am Standort Amberg/Cham produziert Schütze, Leistungsschalter und Überlastrelais unterschiedlicher Dimensionen. Das Gesamtprojekt erfordert die Untersuchung folgender Produktionssysteme: Schütz (Baugrößen S00, S0, S2, S3, S6-12), Leistungsschalter (Dimension S00, S0, S2, S3), Überlastrelais (Baugrößen S00-S3). Damit ergeben sich zehn zu betrachtende Produktionssysteme, die im Allgemeinen in zwei Betrachtungsblöcke gegliedert werden können: Amberg (Schütze S00 – S2) und Cham (Schütz S3-S12, Leistungsschalter und Überlastrelais).

Die vorliegende Studie wird gemäß der zur Verfügung stehenden Zeit, zunächst auf einen Teil des Gesamtprojektes fokussiert. D.h. die Untersuchung wird auf die Produktionssysteme Schütze S00 und S0 am Standort Amberg beschränkt. Zusammenhänge über gemeinsame Vorfertigungen, erfordern eine gemeinsame Betrachtung der Fertigungen Schütze S00 und S0. Weitere Zusammenhänge mit der Produktion von anderen Produkten an den Standorten Amberg und Cham sind nicht gegeben, wodurch diese Systemreduktion möglich ist.

Die Vorfertigungen zu den Endmontagelinien von Schütze S00 und S0 stellen die Systemgrenze auf Lieferantenseite dar. Produkte von externen Lieferanten werden als ‚immer verfügbar‘ angenommen. Der Verpackungsprozess in den einzelnen Endmontagen ist die entsprechende Systemgrenze auf Kundenseite.

Zweck, Ziele und Untersuchungsgegenstand der Simulationsstudie

Ziel der Simulationsstudie ist es, Aufschluss über kapazitive Fertigungsgrenzen der Produktionssysteme Schütze S00 und S0 zu gewinnen. Es sind die dafür verantwortlichen Engpässe zu identifizieren und mögliche Konzepte für Kapazitätserweiterungen in diesen zu testen, in Form von Schichtanzahlerhöhung an betroffener/-n (Vor)Fertigung(en). Demnach ist für die Schichtmodelle 15 bis 21 der Endmontagelinien der Parametersatz an Schichtmodellen für Vorfertigungen zu finden, der eine stabile Fertigung an Endprodukten erlaubt.

Darüber hinaus ist die Durchführbarkeit und Anwendbarkeit der Methode Simulation für vorliegende Problemstellung zu demonstrieren. Der Planer erhält dadurch Aufschluss über den Simulationseinsatz und wird bei entsprechender Überzeugung der Methode, diese für vergleichbare Probleme einsetzen.

Erwartete Ergebnisse und Aussagen

Die zu beobachtende Ergebnisgröße des Simulationsmodells ist die Ausbringungsmenge des Fertigungssystems. Die Ausbringungsmenge wird durch die Summe der im Prozessschritt Verpackung ankommenden Fertigprodukte gebildet (Systemgrenze Kundenseite). Das Augenmerk wird auf die Schnittstellen der Fertigungsbereiche des Produktionssystems gelegt, die durch Puffer repräsentiert werden. Je nach Tendenzen des Verlaufes des Pufferbestandes soll grafisch dargestellt werden, welche sich in einem kritischen oder unbedenklichen Bereich befinden. Die Darstellung soll sowohl während des Simulationslaufes als auch im Gesamtergebnis ersichtlich sein. Auf Basis dieser Betrachtung sind Engpässe zu identifizieren. In einem weiteren Schritt ist nach Rücksprache und Szenarienerstellung mit dem Auftraggeber zu testen, welche Maßnahmen zu einer Erhöhung der Ausbringungsmengen der Endprodukte führen können (Schichtanzahl).

Projektplan

K n n u n g	Aufgabenname	Anfang	Abschluss	Sep 2009				Okt 2009				Nov 2009							
				6.9	13.9	20.9	27.9	4.10	11.10	18.10	25.10	1.11	8.11	15.11	22.11				
1	Schaffen eines gemeinsamen Projektverständnisses mit Hilfe der Zielbeschreibung	01.09.2009	03.09.2009	■															
2	Prüfen der Simulationswürdigkeit des Projektes anhand der Nutzwertanalyse	02.09.2009	03.09.2009	■															
3	Erstellen der Aufgabenspezifikation (Detailierungsgrad bestimmen, Prozessmapping, etc.)	15.09.2009	17.09.2009	■															
4	Daten beschaffen und aufbereiten	21.09.2009	30.09.2009	■■■■■															
5	Simulationsmodell in Plant Simulation erstellen, validieren, etc.	21.09.2009	30.09.2009	■■■■■															
6	Simulationsexperimente durchführen	05.10.2009	06.10.2009	■															
7	Ergebnisanalyse und -interpretation	07.10.2009	14.10.2009	■■■■■															
				Produktionssystem Schütz S00								Produktionssystem Schütz S0							

Abbildung 24: Projektplan (eigene Darstellung)

Im Projektplan sind Informationen zum beabsichtigten terminlichen Ablauf der Studie hinterlegt. In der Visualisierung zum Projektplan wird ersichtlich, dass die einzelnen Schritte des Zeitplans im Wesentlichen der Reihenfolge der erstellten Dokumente bzw. dem in dieser Arbeit ausgearbeiteten Prozessablauf zur Vorgehensweise in Simulationsstudien entsprechen (siehe Abb. 3.2). Der Simulationsanwender benutzt den erstellten Zeitplan als Meilenstein-Übersicht und somit zur Eigenkontrolle des Soll-Ist-Fortschritts des Projekts.

Nach Fertigstellung des Dokumentes durch den Simulationsanwender, wird dieses an den Planer weitergegeben, welcher nach Durchsicht das Dokument kommentiert bzw. korrigiert retourniert. Durch diesen Prozess (V&V-Methode) wird eine gemeinsame Ausgangsbasis geschaffen und erste Fehlerquellen vermieden.

4.2.2 Aufgabenspezifikation

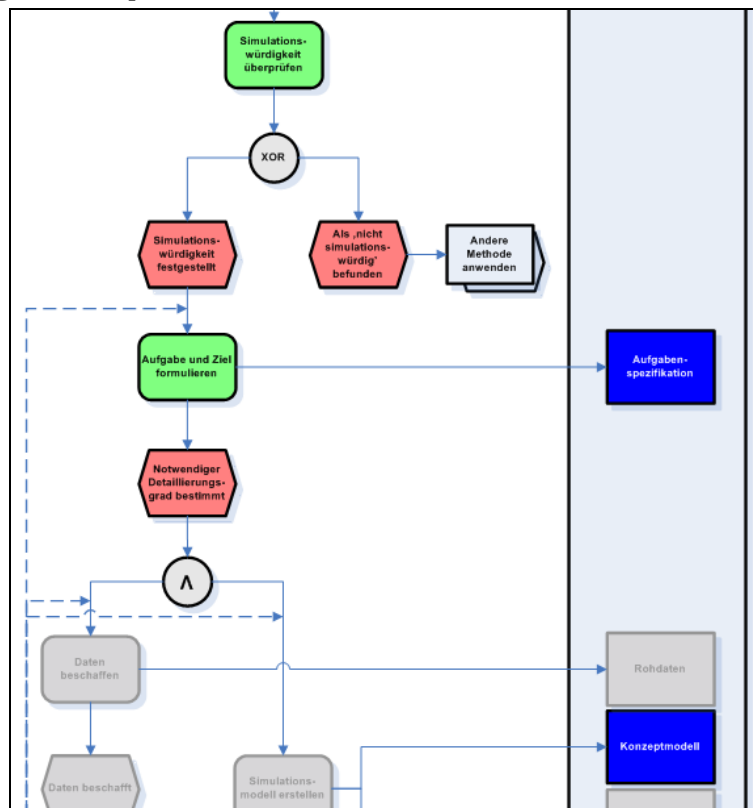


Abbildung 25: Simulationsstudie: Aufgabenspezifikation (eigene Darstellung)

Nach der Sicherung eines gemeinsamen Prozessverständnisses sind Simulationsanwender und Planer gefordert den Projektinhalt detaillierter auszuarbeiten. Das Ergebnis ist die Aufgabenspezifikation. In diesem Dokument werden zunächst Aktualisierungen gelistet, die zu den einzelnen Punkten der Zielbeschreibung (Ausgangssituation, Projektumfang und Projektplan) zwischenzeitlich stattgefunden haben. Weiters hält es Informationen zum betrachteten System, die Aufschluss über Systemgrenzen und den zu verwendenden Detaillierungsgrad des Simulationsmodells geben. Folglich findet die Aufbereitung des Konzeptmodells nicht erst

im Zuge der Modellerstellung, sondern bereits im Umfang der Aufgabenspezifikation statt (siehe Abb. 25). Die ausführliche Auseinandersetzung mit dem zu betrachtenden System in der Aufgabenspezifikation bietet diese Vorgehensweise an.

Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes

Untersucht werden neben der Endfertigungslinie, die Schnittstellen zu den einzelnen Vorfertigungen. Nachfolgende Visualisierung zeigt das zu untersuchende System auf Basis der Richtlinie zu Value Stream Mapping aus dem Value Stream Management.¹⁵⁰

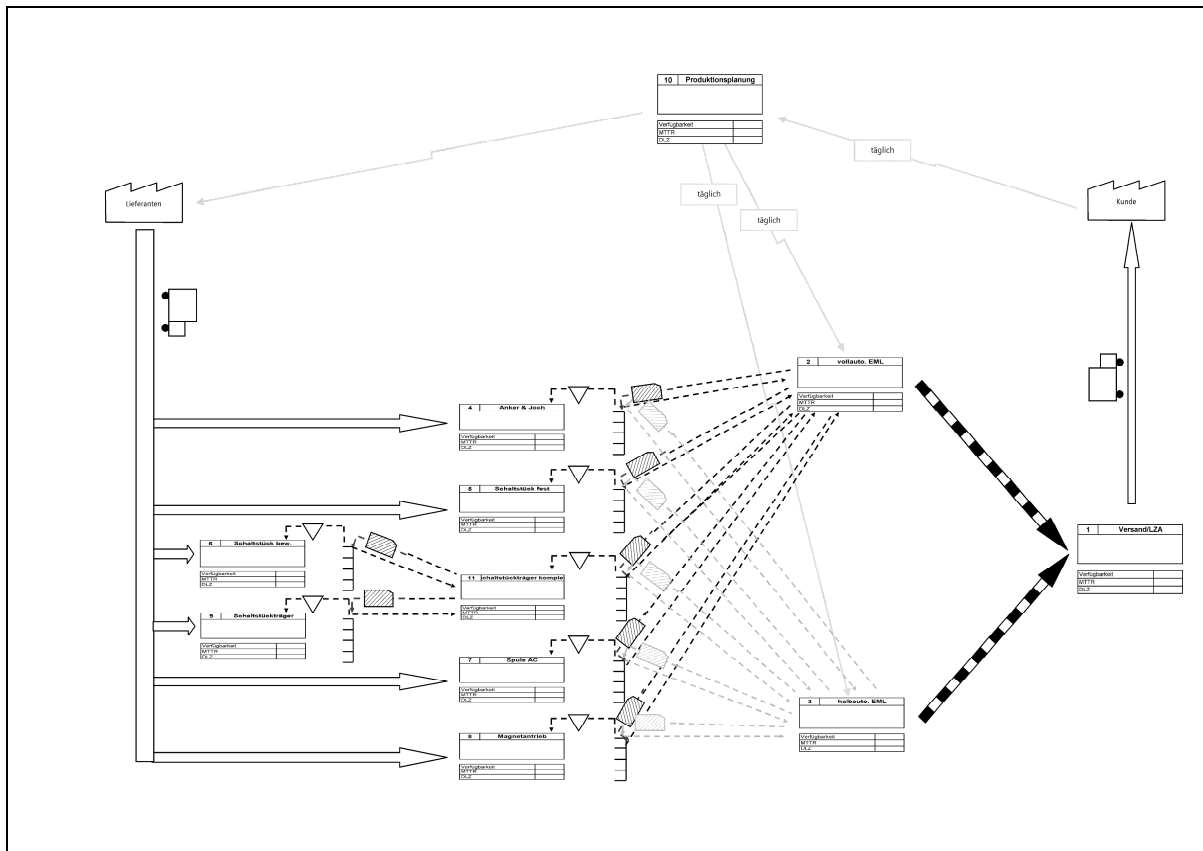


Abbildung 26: Value Stream Map (eigene Darstellung)

Die Produktionsplanung unterscheidet dabei zwischen lagermäßigen Produktvarianten, die in der Regel gemäß der Produktionsprognosedaten im Produktionsprogramm berücksichtigt sind und somit im LZA (Warenausgangslager) zur Verfügung stehen, und nicht-lagermäßigen Produktvarianten, deren Fertigungsauftrag zusätzlich kurzfristig in das Produktionsprogramm aufzunehmen ist. Beispielgebend werden die automatisch generierten Produktionsprogramme im Falle des Produktionssystems Schütz S00 an die beiden vollautomatisierten Endmontagelinien und die teilautomatisierte Endmontagelinie elektronisch übertragen. Die Einlastung erfolgt soweit als möglich auf den beiden vollautomatisierten Linien. Bei Überschreitung der

¹⁵⁰ Vgl. Tapping et al. (2002), S. 77ff.

Maximalkapazität wird die teilautomatisierte Linie eingelastet. Aufträge, die kleiner als 110 Stück groß sind, gelten als nicht-lagermäßig („Exoten“) und werden ebenfalls auf der teilautomatisierten Linie eingelastet.

Im Zuge der Produktion auf den Endmontagelinien, werden aus (Kanban)Lagern Teile bzw. Baugruppen entnommen, wodurch Aufträge für die Vorfertigungen (Schaltstückträger komplett, Schaltstück fest, Spule, Magnetantrieb, Anker/Joch) angestoßen werden.

Anforderungen an den Detaillierungsgrad des Simulationsmodells

Geforderte Mindestgüte: Der Untersuchungsgegenstand der Studie ist das Analysieren des Systems hinsichtlich der entstehenden Engpässe im Fertigungssystem, bei Erhöhung der Ausbringungsmenge der Endfertigungslinie. Daher ist es notwendig, die Schnittstellen der Vorfertigungen zur Endfertigungslinie (in Form von Puffern) darzustellen und deren Bestandsverläufe ersichtlich zu machen (Identifizieren von Engpässen). Bereiche vor, zwischen und nach diesen Schnittstellen sind so weit wie möglich zu abstrahieren, d.h. grob darzustellen. Diese ‚Black Boxes‘ halten repräsentative Daten des Fertigungsabschnittes, wie z.B. für Bearbeitungs-, Verfügbarkeits- und MTTR-Zeiten.

Maximal zulässiger Aufwand: Wird durch den Auftragnehmer (Simulationsexperten) unter Zuhilfenahme des erstellten Zeitplanes des Projektes im weiteren Projektverlauf bestimmt (z.B. durch mitbestimmende Nebeneffekte wie Datenverfügbarkeiten etc.). Ausgeschlossen werden z.B. anlagengenaue Abbildungen.

Die Festlegung dieser beider Grenzen ist eine wesentliche Bedingung, um im weiteren Studienverlauf den richtigen Detaillierungsgrad zu erreichen bzw. zu wahren. Im Dokument Aufgabenspezifikation wird des Weiteren die Erstaufnahme der für das Simulationsmodell notwendigen Informationen festgehalten, die im Zuge eines Meetings mit dem Planer eruiert worden sind.

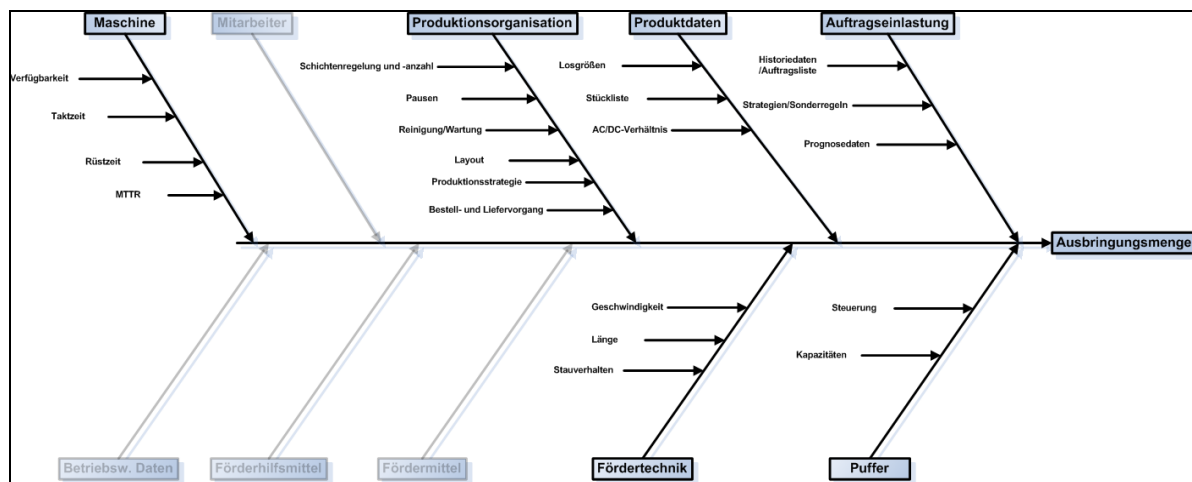


Abbildung 27: Ishikawa-Diagramm der Simulationsstudie (eigene Darstellung)

Gemäß Kapitel 3.5.3 ‚die Identifikation von Daten‘ wurde mit Hilfe des Ursachen-Wirkungsdiagramm – oder auch Ishikawa-Diagramm, in einem Brainstorming gemeinsam mit dem Projektverantwortlichen Planer zu den einzelnen Datenkategorien (Maschine, Produktionsorganisation, etc.) die für das Simulationsmodell relevanten Informationen eruiert. In einem zweiten Schritt wurden die gesammelten Daten mit dem Datenpool Excel-File (siehe Kapitel 3.5.1 ‚Simulationsdaten bei Siemens AG Amberg‘) verglichen. Die gesammelten Daten können im Ishikawa-Diagramm somit um einige notwendige Informationen ergänzt werden, auf welche man im Brainstorming noch nicht Bezug genommen hatte. Die einzelnen Datensätze sind kurz und prägnant schriftlich in der Aufgabenspezifikation erläutert. Darüber hinaus wurde ein Auszug aus dem Datenpool eingebunden, der vorgeschlagene, mögliche Quellen zu den jeweiligen notwendigen Informationen listet:

Simulationseingangsdaten

Systemlastdaten	
Auftragseinlastung/Anlieferung	
Datum	Quelle
Strategien/Sonderregeln der Auftragszerzeugung und -einlastung	PML, SME (Planer, Produktion)
Historisdaten (Menge, Bestellungen, MLFB)	SAP (Material Document List), SME (Planer FTQ)
Prognosedaten	LP (mittelfristig), PM (langfristig)
Produktdaten	
Datum	Quelle
AC/DC-Verhältnis	vgl. Auftragsliste
Stückliste	SAP (Bill of Material List)
Losgrößen	SAP (z.B. Infoteel Dispo)
Organisationsdaten	
Produktionsorganisation	
Datum	Quelle
Produktionslayout	SME (Planer FTQ)
Schichten- und Pausenregelung	Litab, SME, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
Produktionsstrategie	SME (LP) + Arbeitsplan
Bestell- und Liefervorgang (Kanbaninformationen, Absatzliste, Zielbestellungen)	SAP, SME (LP)
Reinigung/Wartung	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME (PC), rE
Technische Daten	
Maschine	
Datum	Quelle
Taktzeit	Litab, SME (Planer FTQ, ME)
Rüstzeit	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME (FTQ)
Verfügbarkeit	Litab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME
MTTR, MTBF	rE (aus Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", Blatt "Logbuch")
Puffer	
Datum	Quelle
Min/Max/Sicherheitsbestand	SME (z.B. LP)
Ein-, Auslagerstrategie	SME (z.B. LP)
Fördertechnik (z.B. Förderband)	
Datum	Quelle
Länge	SME (ME)
Geschwindigkeit	SME (ME)
Stauverhalten	SME, Beobachtung

Tabelle 6: Eingangsdaten und –quellen der Simulationsstudie (eigene Darstellung)

Weiters wird in der Aufgabenspezifikation neben der ausführlichen Erläuterung des Projektzeitplanes und der Beschreibung der Aufgabenverteilung, das Ergebnis der Überprüfung der Simulationswürdigkeit demonstriert.

Nr.	Aspekt	Bewertung
1	Ist das zu betrachtende System komplex, d.h. sind viele unterschiedliche Elemente mit vielen unterschiedlichen Beziehungen zueinander gegeben, die dynamischen Veränderungen unterworfen sind?	8
2	Liegen Unsicherheiten vor, wie die Daten des zu betrachtenden Systems qualitativ und/oder quantitativ mit den Ergebnisgrößen korrelieren?	10
3	Gibt es keine alternativen, analytischen Methoden, die unter weniger Aufwand die Problemlösung liefern?	10
4	Wird die Simulationsmethode dazu benutzt, um Annahmen/Abschätzungen qualitativ und/oder quantitativ zu bestätigen?	10
5	Wird das Simulationsmodell erstellt, um es nach Abschluss der Studie wieder oder weiter zu verwenden?	10
6	Sind Risiken gegeben, wenn die Simulation nicht durchgeführt wird?	10
7	Kann die Studie in der vorgegebenen Zeit abgeschlossen werden?	10
8	Lohnt sich der für die Simulationsstudie notwendige Aufwand, um den gewünschten Nutzen daraus gewinnen zu können?	10
9	Sind Informationen für die Simulationserstellung, sowohl qualitativ als auch quantitativ, vorhanden bzw. beziehbar, um die Studie erfolgreich durchführen zu können?	10
10	Wird die Simulation dazu verwendet, um neue, kreative Ideen entstehen zu lassen und diese zu entwickeln?	8
11	Dient die Studie dazu, eine Steigerung des Verständnisses (und Know-How im Allgemeinen) für ein zu untersuchendes System zu erreichen?	8
12	Wird die Simulationsmethode dazu benutzt, um ein Problem / eine Hypothese nachvollziehbarer zu machen?	10
13	Wird besonderer Wert auf die grafische Darstellung gelegt? Soll mit Hilfe des Simulationsmodells mit z.B. Mitarbeitern kommuniziert werden (z.B. Schulungen)?	7
14	Wird die Simulationsstudie zur Einigung der Meinungen (Konsensbildung) der Beteiligten verwendet?	8

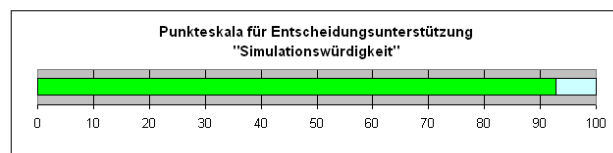


Abbildung 28: Ergebnis Überprüfung der Simulationswürdigkeit (eigene Darstellung)

Die Bewertung wurde vom Planer vorgenommen und mit dem Simulationsanwender rekapituliert. Das Ergebnis der Überprüfung liefert eine Simulationswürdigkeit von über 90 Prozent. Demnach wird auf Basis des Ergebnisses der Nutzwertanalyse eine Simulationsanwendung für die vorliegende Problemstellung unterstützt.

Abschließend im Rahmen der Aufgabenspezifikation werden mit dem Planer besprochene Modellanforderungen, sowohl hinsichtlich dessen Abbildung und Schnittstellen zu anderer Software als auch bezüglich Experimentdurchführung und Ergebnisdarstellung konkretisiert.

Anforderungen an Experimentdurchführung und Ergebnisdarstellung

Definition der zu untersuchenden Szenarien (Experimentplan): Stufenweise Erhöhung der Schichtanzahl der Endmontagen, wodurch die Ausbringungsmenge desgleichen steigen soll. Es ist bei jeder Schichtanzahlerhöhung die für ein nicht Leerlaufen der Puffer die notwendige Schichtanzahl der Vorfertigungen zu ermitteln - von 15 bis 21 Schichten.

Die kostenintensivsten Schichten sind zuletzt hinzuzufügen. Am Kostenintensivsten sind Sonntagsschichten, gefolgt von Samstagsschichten. Am drittteuersten sind Nachtschichten. Die Mindestsimulationsdauer beträgt eine Woche. Ein längerer Simulationslauf ist auf Monatebene zu betrachten (mindestens 3x Mindestsimulationsdauer). Simulationsergebnisgrößen sind die Ausbringungsmengen und die Bestände (Pufferbelegungen). Variable Simulationseingangsdaten sind die Schichtenanzahlen einzelner Vorfertigungen.

Untersucht werden die Ausbringungsmengen der Endfertigungslinien und die Puffer zwischen Endfertigungslinien und Vorfertigungen. Neben der Ausgabe des Endergebnisses und den dokumentierten Bestandsverläufen der Puffer, gibt es eine dynamische Darstellung der Pufferzustände, um eine Nachvollziehbarkeit während des Simulationslaufes selbst zu schaffen: Mit Hilfe der Ampelfarben Grün (Bestand > Sicherheitsbestand bzw. untere Schranke), Gelb (Bestand <= obere Schranke) und Rot (Bestand <= Sicherheitsbestand) werden die Zustände der Puffer mit jedem Puffer Zu- und Abgang aktualisiert. Einzelne Grenzwerte sind mit dem Auftraggeber abzuklären.

Durch Abschluss der Aufgabenspezifikation sind die Rahmenbedingungen gegeben, um im Folgenden die Simulationseingangsdaten zu erheben und aufzubereiten bzw. um das Simulationsmodell zu erstellen und zu validieren.

4.2.3 Rohdaten & Aufbereitete Daten

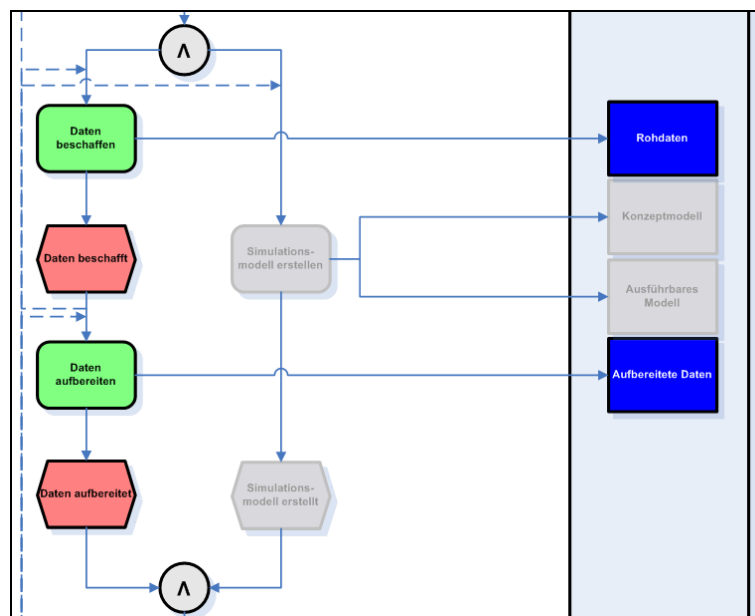


Abbildung 29: Simulationsstudie: Rohdaten & Aufbereitete Daten (eigene Darstellung)

Gemäß der Kapitelüberschrift wurden in der Simulationsstudie die beiden in der Vorgehensweise separat geführten Dokumente Rohdaten und Aufbereitete Daten (siehe Abb. 29), aufgrund der Praktikabilität und damit entstehenden Übersichtlichkeit der Informationen, zu einem Dokument zusammengeführt.

Die in der Aufgabenspezifikation angegebenen, für das Simulationsmodell notwendigen Daten werden im Detail nach einem einheitlichen Schema in diesem Dokument abgelegt. Beispielgebend das Datum *Länge* der Kategorie *Fördertechnik*:

Quelle (Verantwortlichkeiten):

Margit Haberberger, Excel-Dokument „Puffer in Stücke ALS00-1“

Vorgehen der Datenbeschaffung:

Kontaktaufnahme mit Frau Haberberger

Datenverfügbarkeit:

Die Längen der Förderstrecken werden über deren Pufferkapazitäten ermittelt und im Modell abgebildet

Konsistenz und Fehlerfreiheit:

Mittels der Längenberechnung auf Basis der Pufferkapazitäten, ergibt sich eine Näherung der realen Bedingungen. Die Informationen zu den Pufferkapazitäten wurden im Juni 2008 im Zuge des MDE/BDE-Systemanbindungstests erhoben.

Wie unter ‚Vorgehen der Datenaufbereitung‘ beschrieben, sind lediglich jene Förderstrecken (gemäß deren Kapazität) abgebildet, die zwei abstrahierte Fertigungszellen miteinander verbinden. Eine Ausnahme stellt Förderstrecke F9 dar (siehe Anhang ‚Simulationsmodell Endmontage Schütz S00‘). Hier ist die Kapazität auf 100 Stück gesetzt – statt auf 20 Stück, um den Effekt des Bahnhofes, der sich in einer abstrahierten Zelle befindet – eigentliche Kapazität von 660 Stück, in das Modell mit einfließen zu lassen, da dessen Kapazität in der Berechnung der gemittelten Förderstreckenlänge für die Verfügbarkeitskalkulation (siehe Rohdatum Verfügbarkeit der Maschine) als Extremwert ausgeklammert wurde.

Beschreibung der Datenstruktur:

Die Pufferkapazitäten sind im Excel-Dokument „Puffer in Stücke ALS00-1“ zu den einzelnen Funktionseinheiten in der Zeile „Puffer vor FE“ angegeben:

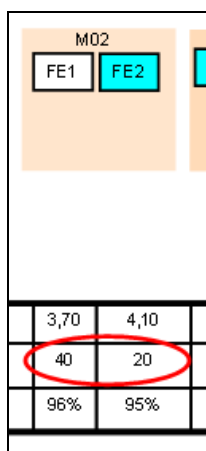


Abbildung 30: Förderstreckenlänge; Datenstruktur (eigene Darstellung)

Verwendungszweck der aufbereiteten Daten im Modell:

Die Pufferkapazitäten werden zur Auslegung der Förderstreckenlängen im Simulationsmodell herangezogen. D.h. Förderstreckenlängen sind gemäß deren Kapazitäten dimensioniert. Durch Abbildung der Förderstrecken, wird der Effekt durch Puffer in einer Fertigungslinie berücksichtigt. Ein Simulationstest mit einem vergleichbaren Modell ohne Förderstrecken, hat die Wichtigkeit bestätigt (Soll-Ist-Abweichung der Ausbringungsmenge von circa 30 Prozent).

Bezug zu den Rohdaten:

Die Pufferkapazitäten dienen als Berechnungsgrundlage für die Längen der Förderstrecken bzw. werden in das Modell direkt eingetragen.

Vorgehen bei der Datenaufbereitung:

Im Modell sind nicht sämtliche Förderstrecken abgebildet sondern nur jene, die zwischen den dargestellten Linienzellen (Black-Boxes, Montagestationen) gegeben sind.

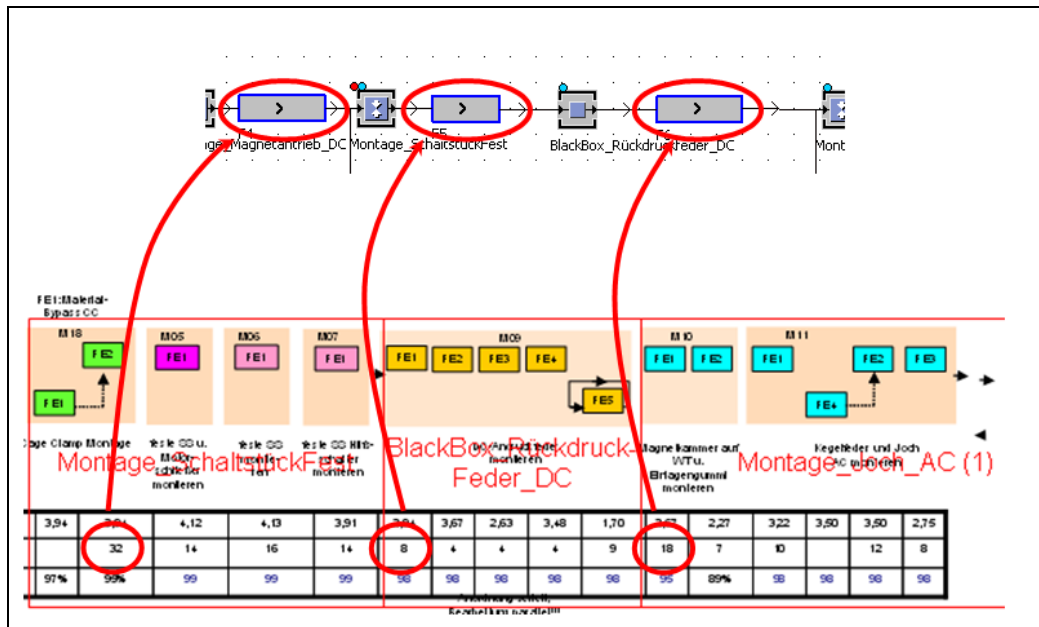


Abbildung 31: Förderstreckenlänge; Vorgehen der Datenaufbereitung (eigene Darstellung)

In den Plant Simulation Förderstreckenobjekten sind diese Werte unter dem Reiter Attribute im Feld Kapazität eingetragen. Die Ermittlung der Förderstreckenlängen ergibt sich wie folgt:

$$\text{Förderstreckenlänge} = \text{Runden}(\text{Länge des BE} * \text{Kapazität})$$

Die Länge der BEs sowohl für AC- als auch für DC-Produkte beträgt 0.1 m. Gerundet wird auf die nächste halbe bzw. ganze Zahl. Beispielrechnung mittels Förderstrecke F4:

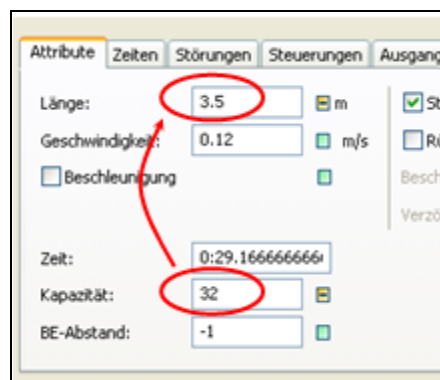


Abbildung 32: Förderstreckenlänge; Einstellungen in Plant Simulation (eigene Darstellung)

Kapazität = 32 Stück

BE-Länge = 0.1 m

Förderstreckenlänge = $\text{Runden}(3.2) = 3.5 \text{ m}$

Bemerkung zu Schütz S0: Da der Fertigungsablauf von Schütz S0 dem zu Schütz S00 identisch ist, wurden diese beschriebenen Informationen direkt in das Modell für Schütz S0 übertragen.

Plausibilitätsprüfungen und qualitätssichernde Maßnahmen:

Plausibilitätsprüfung mit Hilfe von Simulationsläufen im Zuge der Modellvalidierung.

Daten wurden im Allgemeinen von unterschiedlichen, zum Großteil digitalen Quellen bezogen. Dazu zählen SAP-Abfragen, LiTab-Auswertungen, individuell erstellte Excel-Dokumente von einzelnen Ansprechpartnern und Layoutpläne aus CADIM. In vereinzelt Fällen wurden (Schätz-)Werte von Anwendungsexperten miteinbezogen. Der Auszug hat den Aufbau der schematischen Ablage der Informationen zu einem Datensatz gezeigt. Dabei wird beschrieben wie die Daten bezogen wurden und woher sie stammen, mit welchem Fehler/ welchen Soll-Ist-Abweichungen diese behaftet sind, wie die Daten im Modell eingesetzt werden und wie diese vorweg zu diesem Zweck aufbereitet werden. Abschließend wird Bezug auf die Plausibilitätsprüfung des Datums genommen, d.h. wie sichergestellt wird, dass Informationen richtig bezogen, aufbereitet und im Modell eingebunden wurden. Die gewählte Struktur der Datenablage bietet eine Systematik, die den Simulationsanwender dazu auffordert, den jeweils gesamten Umfang eines Datums abzubilden und sich mit den einzelnen diesbezüglich relevanten Aspekten auseinanderzusetzen. Darüber hinaus wird anhand der durchgängig konsistenten Struktur die Übersichtlichkeit und Handhabbarkeit der Nachnutzung des Dokuments gesteigert.

Die somit erhaltenen aufbereiteten Daten können im Weiteren für den Einsatz im Simulationsmodell verwendet werden.

4.2.4 Ausführbares Modell & Modellvalidierung

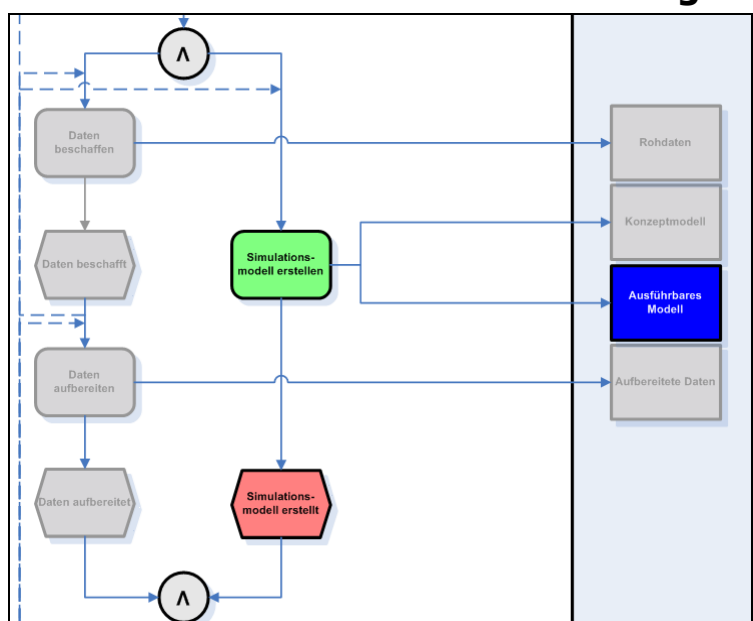


Abbildung 33: Simulationsstudie: Ausführbares Modell & Modellvalidierung (eigene Darstellung)

Es folgt die Erstellung des Modells, die Einbindung der Daten in das Modell und die Validierung. Aufgrund des engen Zusammenhanges dieser Teilprozesse wurde das Dokument Ausführbares Modell um die Anführung der vorzunehmenden Validierung erweitert.

Zunächst wird der Modellaufbau und -ablauf erläutert. Zudem werden sämtliche Teilmodelle („Netzwerke“) in ihrer Funktionalität erklärt. Ein Hauptteil des Dokuments Ausführbares Modell & Modellvalidierung umfasst eine Aufstellung der durchgeführten Validierung der Teilmodelle und des Gesamtmodells. Diese Formalisierung ist von besonderer Wichtigkeit. Erst wenn das Modell als valide bewertet wurde und dies für den Planer auch nachvollziehbar ist, kann eine adäquate Akzeptanz der Simulationsanwendung erreicht werden. Im Folgenden sind exemplarische Auszüge zum Modellaufbau des Gesamtmodells und Beschreibung und Validierung des Teilmodells Endmontagelinie Schütz S00 gegeben.

Modellaufbau

Das Simulationsmodell ist hierarchisch gegliedert und für mögliche Erweiterungen vorbereitet:

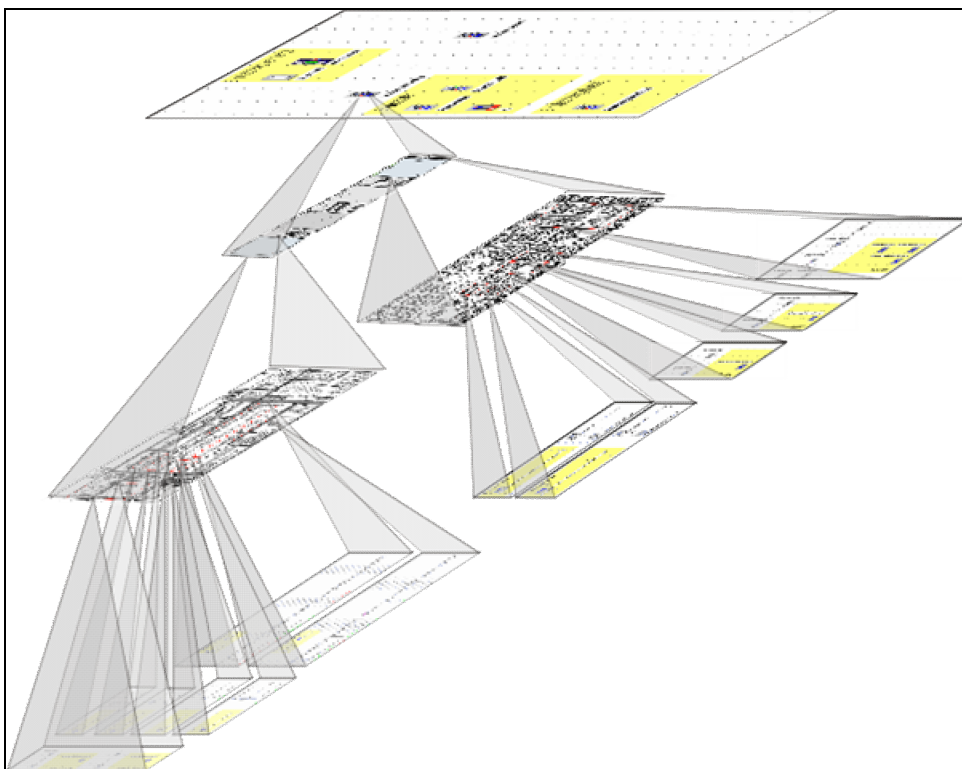


Abbildung 34: Modellhierarchisierung (eigene Darstellung)

Die oberste Ebene entspricht der Übersicht zum Gesamtproduktionssystem Amberg und Cham. Hier ist eine Unterteilung in Simulationssteuerung, die Abbildungen der Produktionssysteme, der Eingabedaten und der Simulationsergebnisdaten gegeben:

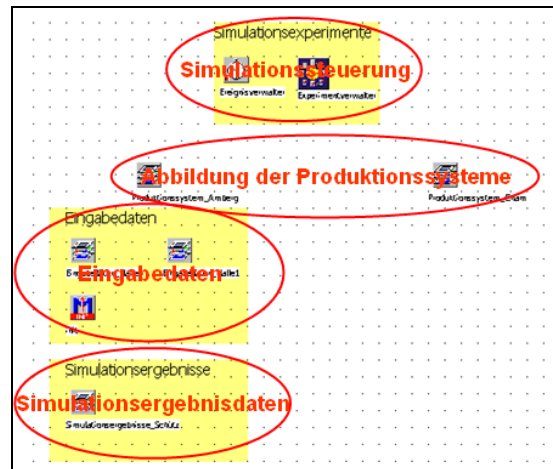


Abbildung 35: Modellaufbau; Ebene Gesamtproduktionssystem (eigene Darstellung)

Wie bereits erwähnt, ist das Modell für Erweiterungen vorbereitet. Das Produktionssystem_Cham wurde noch nicht betrachtet und stellt daher im Modell ein leeres Netzwerk dar. Im Netzwerk Produktionssystem_Amberg sind wiederum zwei Netzwerke anwählbar bzw. in vorliegender Studie involviert: Halle 1 und Halle 4:

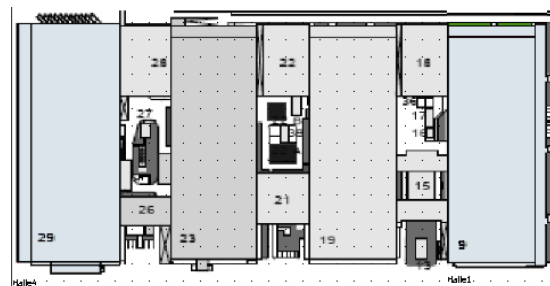


Abbildung 36: Modellaufbau; Ebene GWA (eigene Darstellung)

Sowohl Netzwerk Halle 1 als auch Halle 4 sind mit entsprechenden Hallenlayouts hinterlegt, in denen die einzelnen berücksichtigten Vor- und Endmontagelinien anwählbar sind (rote Rechtecke in Abbildung):

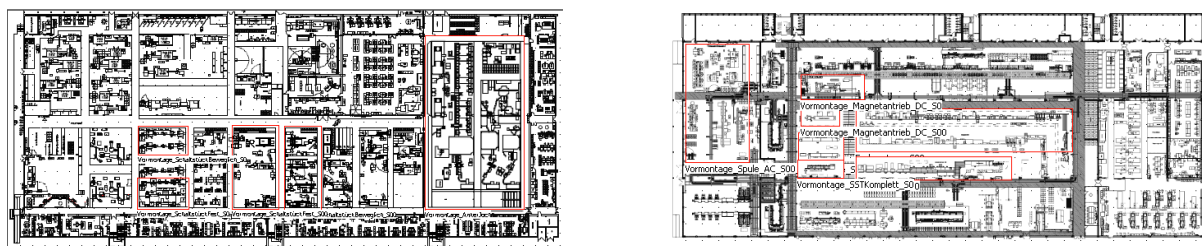


Abbildung 37: Modellaufbau; Ebene Halle 1 und Halle 4 (eigene Darstellung)

Die einzelnen Teilmodelle (roten Rechtecke) sind dabei im Abschnitt Teilmodellbeschreibung des Dokuments Ausführbares Modell & Modellvalidierung näher erläutert. Beispielgebend folgt die Teilmodellbeschreibung zu Endmontage Schütz S00. Das dazugehörige Simulationsmodell ist dem Anhang unter ‚Simulationsmodell Endmontage Schütz S00‘ zu entnehmen.

Teilmodellbeschreibung Endmontage Schütze S00

Vor einem Simulationslauf wird über die init-Methode aus dem Netzwerk Gesamtproduktionssystem die lokale Methode m_init_EndmontagelinieS00 aufgerufen. In dieser werden die Puffer für den Simulationsstart initialisiert, die maximalen Pufferkapazitäten definiert und AC/DC-neutrale Montagestationen und Black-Boxes (BlackBox_Laserbeschriftung, etc.) mit den Eingabewerten aus der Tabelle t_AE_Endmontagelinie_Bearbeitungsplätze belegt.

Die Quelle erzeugt zyklisch, gemäß den angegebenen Mengen für AC- und DC-Produkte in der Tabelle t_Auftragsliste (Netzwerk Eingabedaten_S00), Fördergüter für die Endmontage der Schütze S00. Auf der linearen Fertigung werden Methoden entweder durch Ausgangssteuerungen der Förderstrecken oder Eingangssteuerungen der Montagestationen aufgerufen.

Förderstrecken rufen die Methode m_Montagesteuerung auf, wenn das nachfolgende Objekt nur AC- oder DC-spezifisch mit einer bestimmten Taktzeit, Verfügbarkeit und MTTR aus der Eingabedaten-Tabelle t_Bearbeitungsplätze belegt werden soll (Montage_Anker_AC, Montage_Spule_AC, Montage_Magnetantrieb_DC, BlackBox_Rückdruckfeder_DC, Montage_Joch_AC). Erreicht z.B. ein AC-Produkt eine DC-Station wird im Gegensatz dazu durch diese Methode ein Standardwert von einer Sekunde für die Taktzeit eingetragen und die Verfügbarkeit auf 100 Prozent gesetzt. Damit wird das Verhalten des realen Systems – Durchlaufen der Station auf dem Förderband ohne Beanspruchung der Zellenfunktion, dargestellt.

Ausschließlich Montagestationen (Montage_SchaltstückträgerKomplett, Montage_Anker_AC, Montage_Spule_AC, Montage_Magnetantrieb_DC, Montage_SchaltstückFest und Montage_Joch_AC) rufen bei Eingang eines Fördergutes die Methode m_VorproduktAnstoßen auf. Vorausgesetzt das entsprechende Pufferlager (globale Variable) beinhaltet Teile/Baugruppen in Höhe von mindestens einmal FaktorEML und das zu behandelnde Fördergut ist z.B. ein AC-Produkt auf einer AC-Montagestation, so wird dem Pufferlager diese Menge entnommen und ein Vorprodukt auf dem Vorlager erzeugt. Ist die benötigte Menge nicht vorhanden, wartet die Montagestation, bis ausreichend Teile/Baugruppen vorhanden sind. Hierbei wird bei jedem Pufferabruf überprüft, ob der neue Pufferbestand die obere oder untere Schranke unterschreitet. Je nachdem wechselt die farbliche Darstellung des Pufferlagers von gelb auf grün (obere Schranke unterschritten) bzw. von grün auf rot (untere Grenze unterschritten).

Bricht demnach die Versorgung durch das Pufferlager auf der Endmontagelinie ab, kommt es zu Produktionsunterbrechungen auf dieser. Eine Ausbringungsverzögerung/-verminderung der Endmontagelinie ist die Folge.

Die Validierung erfolgt auf Basis von Simulationsexperimenten. Getestet werden auch im Sinne der Sensitivitätsanalyse Extrembedingungen, obwohl zum Teil wenige Werte für einen repräsentativen Mittelwert zur Verfügung stehen (Bsp. Zehn-Schichten-Modell in Tabelle 8). Dementsprechend sind Soll-Ist Abweichungen toleranter interpretierbar.

Nachfolgende Übersicht gibt Aufschluss über Eingabedaten und Ergebnisse der durchgeführten Simulationsexperimente. Erläuterungen zur Kalkulation einzelner Datensätze sind dem Dokument Rohdaten & Aufbereitete Daten zu entnehmen. Der gesamte Umfang der Simulationsexperimente ist nicht dargestellt (Variation einzelner Parameter etc.), d.h. es sind jene Experimente angeführt, die in der Abschlussphase der Validierung durchgeführt wurden.

Die Pufferbestände wurden für die Simulationsläufe der Validierung als ausreichend hoch angenommen, um die Endmontage nicht durch mögliche Leerläufe zu beeinflussen. Im Geschäftsjahr 2007/2008 sind zudem keine Leerlaufsituationen zu Stande gekommen, womit sichergestellt ist, dass die ermittelten Sollwerte aus Tabelle 9 nicht durch Pufferleerläufe verfälscht sind.

Experimentübersicht Endmontage S00										
globale Variablen:					Eingabedaten:					
qv_FaktorEML	1				Förderstrecken					
Quelle:					Staufähig	ja				
BE-Auswahl	Reihenfolge zyklisch				Geschwindigkeit [m/s]	0,12				
Abstand	konst. 0				Verfügbarkeit [%]	100				
	BE	Anzahl			Länge [m]	Kapazität [Stk]				
AC-Produkte	Modelle.AC	440			F1	1	7			
DC-Produkte	Modelle.DC	660			F2	2	20			
Einzel- und Montagestationen					F3	2	20			
	Taktzeit	Verfügbarkeit	MITTR			F31	1	5		
Montage_SchaltstückträgerKomplet	3,7	35,87	2:30.0000			F4	3,5	32		
Montage_Anker_AC	4,1	35,83	3:45.0000			F5	1	8		
Montage_Spule_AC	3,5	82,85	3:45.0000			F6	2	18		
Montage_Magnetantrieb_DC	3,18	34,17	3:45.0000			F7	1	5		
Montage_SchaltstückFest	4,13	31,17	3:20.0000			F8	1	6		
BlackBox_Rückdruckfeder_DC	3,67	31,99	3:45.0000			F9	10	100		
Montage_Lech_AC	3,5	32,75	2:30.0000			F10	1	8		
BlackBox_Laserbeschriftung	3,83	80,72	2:30.0000			Schichtkalendar				
BlackBox_Funktionsprüfung	4,01	32,03	3:45.0000			Von	Bis	Pausen		
BlackBox_Verpacken	3,13	78,37	3:45.0000			Schicht-1	06:00	14:30	3:15-9:55	
					gewählte Schichten Mo-So					variierbar
Experimente:										
10 Läufe auf 7 Tage										
Anlaufzeit: 6h in Schicht										
	anzahl Werte für Soll-Ermittler	Schichten	Bemerkung	Ist (Sim.)	Soll	relative Abweichung [%]				
Exp1	16	17	Sa.: Früh- und Nachtschicht	75620	76342	-0,345744151				
Exp2	6	16	Sa.: Frühschicht	71365	70280	1,543824701				
Exp3	5	15	Mo-Fr	66797	67703	-1,336197716				
Exp4	7	14	Mo-Fr, Fr: Früh- und Spätschicht	61995	63131	-1,739432925				
Exp5	9	18	Mo-Sa	80423	82106	-2,049783237				
Exp6	4	12	Mo-Do	54297	53496	1,49730821				
Exp7	1	10	Mo-Mi, Do: Frühschicht	45465	47658	-4,601535944				
Exp8	2	13	Mo-Do, Fr: Frühschicht	53131	58608	0,892363647				

Tabelle 9: Endmontagelinie Schütz S00 Experimentübersicht (eigene Darstellung)

Die Validierung zeigt, dass Simulationsergebnisse der Endmontagelinie maximal +/- 5 Prozent vom ermittelten Sollwert abweichen. Das System wird damit als valide bewertet.

Dabei ist zu beachten, dass im Zuge der Validierung die Sensitivitätsanalyse zum Einsatz gekommen ist. Es wurden Extrembedingungen der variierbaren Eingangsdaten (10 Schichten) trotz geringer statistischer Sicherheit (geringe Anzahl an Werten) untersucht, um das

Modellverhalten besser bewerten zu können. Vereinzelt wurde im Zuge der Validierung festgestellt, dass es notwendig ist, die Eingangsdaten grundlegend zu verändern (z.B. Vormontage Magnetantrieb DC S00), womit eine abermalige Behandlung mit Rohdaten und deren Aufbereitung vorzunehmen war (Vergleiche rückläufige Strichlinien/ iterative Schleifen im Vorgehensmodell, siehe Abb. 8).

Aufgrund der durchgeführten und dokumentierten Validierung kann sichergestellt werden, dass die aus Experimenten gelieferten Ergebnisse eine entsprechende Akzeptanz bei verantwortlichen Planern erreichen.

4.2.5 Simulationsergebnisse

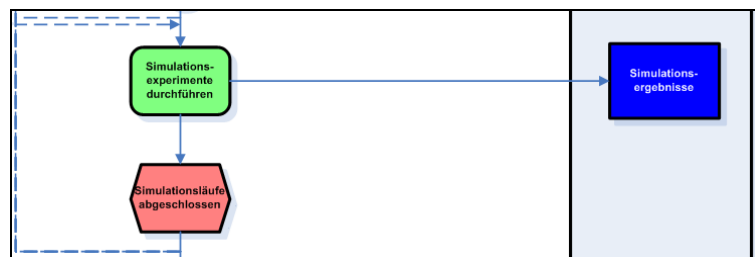


Abbildung 38: Simulationsstudie: Simulationsergebnisse (eigene Darstellung)

Zu Beginn des Dokumentes Simulationsergebnisse werden die Rahmenbedingungen zu den Simulationsexperimenten erläutert. Dazu zählt die verwendete Datenbasis (fixe Eingabedaten), die Beschreibung des Experimentumfangs (Anzahl Experimente und der Beobachtungen je Experiment, etc.) und der Ergebnisaufzeichnung, Erklärungen zu den einzelnen Experimenten selbst und die Beschreibung der Berücksichtigung der Einschwingphase.

Danach sind die Ergebnisse der einzelnen Experimente angeführt. Zunächst werden die Parameter-Konstellationen gelistet, die die spezifischen Ergebnisse des Experimentes geliefert haben (Spalte Endergebnis).

Endmontage	Schichtmodell
Schütz S00	15
Schütz S0	15

Schritt 1:

Vormontage	Entwicklung Schichtmodell-Variation	Endergebnis
Spule AC S00	16, 17, 18	18
Magnetantrieb DC S00	14, 15, 14, 15, 14, 15	15
Schaltstückträger komplett S00	14, 13, 14	14
Spule AC S0	15, 14, 15	15
Magnetantrieb DC S0	15, 14, 15	15
Schaltstückträger komplett S0	8, 6, 5	5
Schaltstücke fest S00	14, 10, 12, 13	13
Schaltstücke beweglich S00	14, 10, 12, 13	13
Anker/Joch	13, 11, 12	12
Schaltstücke fest S0	14, 6, 5	5
Schaltstücke beweglich S0	14, 6, 5, 4, 5, 4, 5	5

Tabelle 10: Kombination variabler Eingangsdaten Experiment 1 (eigene Darstellung)

Danach folgen jeweils die Simulationsergebnisse zu den einzelnen Beobachtungen (Ausbringungsmengen und Diagramme der Pufferbestandentwicklungen):

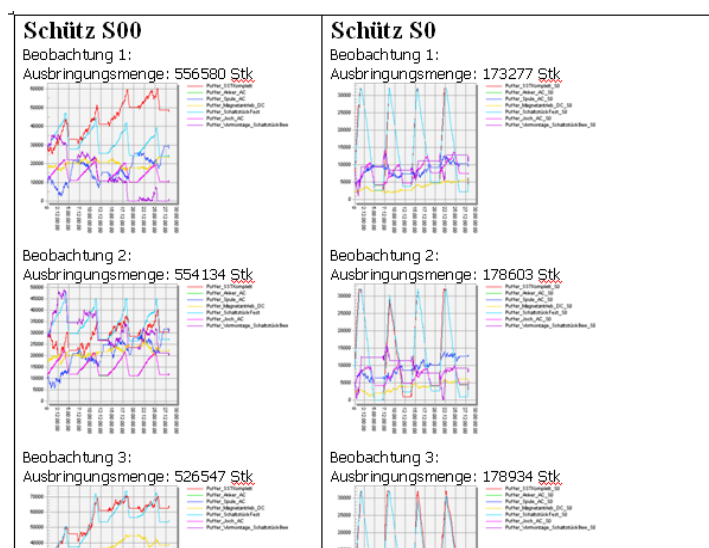


Abbildung 39: Simulationsergebnisse Beobachtungen Experiment 1 (eigene Darstellung)

Abschließend sind die auf Basis der durchgeführten Beobachtungen errechneten statistischen (Mittel-)Werte des Experiments gelistet:

Endmontage	Ausbringungsmenge	Minimum	Maximum	Standardabweichung
Schütz S00	550069	526547	560183	10896
Schütz S0	173472	169585	178934	3583

Tabelle 11: Endergebnisse Experiment 1 (eigene Darstellung)

Nach Abschluss der sieben Experimente werden die erhaltenen Ergebnisse analysiert und daraus Schlussfolgerungen für den Planer abgeleitet. Nachstehender Auszug gibt einen Überblick über die Ergebnisse der vorliegenden Simulationsstudie.

Ergebnisanalyse und Schlussfolgerungen aus den Experimenten

Ziel der einzelnen Experimente ist es, bei gegebenen Schichten der Endmontagesysteme, ein stabiles Gesamtproduktionssystem zu finden. Die zu variierenden Parameter dazu sind die Anzahl an Schichten je Vorfertigung. Die nachstehende Tabelle gibt einen Überblick über die experimentell erzielten Ergebnisse.

Schütz S00	Schichtanzahl						
	15 (Exp.1)	16 (Exp.2)	17 (Exp.3)	18 (Exp.4)	19 (Exp.5)	20 (Exp.6)	21 (Exp.7)
Spule AC 500	18	19	20	21	21	21	21
Magnetantrieb DC 500	15	16	17	18	19	19	20
Schaltstückträger komplett 500	14	15	16	16	17	18	19
Schaltstücke fest 500	13	14	15	16	17	17	18
Schaltstücke beweglich 500	13	14	15	16	17	18	19
Anker/Joch	12	13	14	15	15	16	17
Ausbringung (4 Wochen)	550069	589315	628164	656802	678338	689459	694684
Jahresausbringung (50 Wochen)	6875863	7366438	7852050	8210025	8479225	8618238	8683550
Differenz Schichtmodell - 1 Schicht		490575	485612,5	357975	269200	139012,5	65312,5
Prozentualer Zuwachs zu -1 Schicht		7,134741	6,59223	4,5590005	3,278918	1,639448	0,7578406

Schütz S0	Schichtanzahl						
	15 (Exp.1)	16 (Exp.2)	17 (Exp.3)	18 (Exp.4)	19 (Exp.5)	20 (Exp.6)	21 (Exp.7)
Spule AC 50	15	16	17	18	19	20	21
Magnetantrieb DC 50	15	16	17	18	19	20	21
Schaltstückträger komplett 50	5	6	7	7	7	8	8
Anker/Joch	12	13	14	15	15	16	17
Schaltstücke fest 50	5	6	7	8	9	9	9
Schaltstücke beweglich 50	5	6	6	6	7	7	7
Ausbringung (4 Wochen)	173472	186876	199936	209946	222063	233745	242842
Jahresausbringung (50 Wochen)	2168400	2335950	2499200	2624325	2775788	2921813	3035525
Differenz Schichtmodell - 1 Schicht		167550	163250	125125	151462,5	146025	113712,5
Prozentualer Zuwachs zu -1 Schicht		7,726895	1,069886	1,050066	1,057715	1,052607	1,0389185

Tabelle 12: Ergebnisübersicht (eigene Darstellung)

Zu beachten ist, dass das Gesamtproduktionssystem immer mit beiden Endmontagen zugleich belastet worden ist, zu den jeweils gleichen Schichtmodellen. Beispielgebend wurde in Experiment 1 sowohl die Endmontage Schütz S00 als auch die Endmontage Schütz S0 auf 15 Schichten gesetzt. Weiters wird bei den angegebenen Jahresausbringungen vorausgesetzt, dass das jeweilige Schichtmodell über das gesamte Jahr hinweg angewendet wird. D.h. saisonale Schwankungen wie Sommermonate, zu denen geringere oder höhere Schichtanzahlen pro Woche verwendet werden, sind nicht berücksichtigt. Die Feiertage sind über den Multiplikationsfaktor für die Hochrechnung auf ein Jahr (50 statt 52 Wochen) berücksichtigt.

Bei vorliegenden Experimenten wurden je Experiment zehn Beobachtungen vorgenommen (Zehn Läufe mit unterschiedlicher Streuung der zufälligen Ereignisse). Sind konkretere Aussagen zu einem speziellen Fall/ einer speziellen Parameterkonstellation zu untersuchen, ist ein weiteres Experiment mit höherer Beobachtungsanzahl durchzuführen, um die statistische Sicherheit zu erhöhen.

Die Ergebnisse in der Tabelle zeigen, welche Schichtmodelle für einzelne Vorfertigungen zu wählen sind, um die entsprechend angegebene (Jahres-)Ausbringungsmenge zu erreichen. Die Systeme arbeiten dabei stabil mit Ausnahme der Produktionssysteme zu Schütz S00 in den Experimenten 5, 6 und 7. Hier wurde die Vormontage Spule AC S00 als diesbezüglicher Engpass identifiziert. Die Kapazitäten sind bei 18 Schichten der Endmontage Schütz S00 ausgeschöpft. Eine Erhöhung der Schichten der Endmontage hat somit zur Folge, dass es zu Leerläufen des Puffers Spule AC S00 kommt, wodurch Stillstände der Endmontagelinie Schütz S00 verursacht werden. Wie in den Experimentübersichten ersichtlich, hat das in der Simulation zur Folge, dass sämtliche weitere Vormontagen einen ‚Zeitpuffer‘ gewinnen und diese somit zum Teil volllaufen, da diese mehr auf Lager produzieren, als die Endmontage aufgrund der Stillstände wieder aus dem Lager beziehen kann. Somit sind weitere Erkenntnisse zu den übrigen Vormontagen in den Experimenten 5, 6 und 7 zu Schütz S00 nicht ableitbar. Ersichtlich wird dieser Effekt ebenfalls durch den prozentualen Rückgang an Mehrleistung im Vergleich zu den vorhergehenden Schichtmodellen (siehe Tabelle 12 Schütz S00 Zeile ‚prozentualer Zuwachs‘ Exp.7 zu Exp.6, Exp.6 zu Exp.5 und Exp.5 zu Exp.4). Der ersichtliche, prozentuale Zuwachseinbruch von 17 auf 18 Schichten (im Vergleich zu Exp.1 auf Exp.2 und Exp.2 auf Exp.3), sowohl für Schütz S00 als auch Schütz S0, ist zumindest anteilig ein Ergebnis der hinzukommenden Nachtschicht anstelle einer Früh- oder Spätschicht (Effekt ist ebenso von 20 auf 21 Schichten anteilig zu berücksichtigen). Der Nachtschicht steht weniger produktive Zeit zur Verfügung, daher fällt der Zuwachs geringer aus, als beim Hinzuziehen einer Früh- oder Spätschicht. Bei Produktionssystem Schütz S0 zeigen die Experimente, dass die Vormontagen Spule AC S0 und Magnetantrieb DC S0 potentielle Engpässe darstellen.

Ein Großteil der Vormontagen fordert eine gleichmäßige Erhöhung der Schichtanzahl bei Steigerung der Schichten der Endmontage. Dabei fällt auf, dass insbesondere Vormontagen des Produktionssystems Schütz S0 eine hohe Restkapazität aufweisen (Schaltstückträger komplett S0, Schaltstücke beweglich S0, Schaltstücke fest S0).

Die Vormontage Anker/Joch, die sowohl Endmontage Schütz S00 als auch Endmontage Schütz S0 bedient, verfügt über ausreichend Kapazitäten. Des Weiteren besteht hier die Möglichkeit Kapazitäten für Schütz S00 und S0 untereinander auszutauschen. Demnach sind weitere Experimente vorstellbar, in welchen eine optimale Belastung, bei gegebenen Schichten der Endmontagelinien, für die Vormontage Anker/Joch zu finden ist. Damit könnten die notwendigen Schichten dieser Vormontage reduziert werden und Kosten gesenkt werden.

Gemäß den Experimentergebnissen, zeigen sich keine Probleme bei den Vormontagen Schaltstücke fest S00, Schaltstücke beweglich S00 und Schaltstückträger komplett S00. Die notwendigen Schichtanzahlen steigen proportional zur Endmontagenbelastung und bewegen sich im ähnlich hohen Bereich an notwendigen Schichten wie die etwaige Endmontagen-schichtbelegung selbst (z.B. bei 17 Schichten für Endmontage Schütz S00 → 16 Schichten für Vormontage Schaltstückträger komplett S00 notwendig). Diese Vormontagen sind allerdings nicht als kritisch zu betrachten.

Im Vergleich mit den zu deckenden Marktvolumen des Geschäftjahres 07/08 (7705110 Stk Schütz S00 und 2528294 Stk Schütz S0) ist festzuhalten, dass von Produktionssystem Schütz S00 mindestens ein 17 Schichtmodell und von Produktionssystem Schütz S0 zumindest ein 18 Schichtmodell gefordert wird. Bei einem hypothetischen Anstieg des Marktvolumens der Folgejahre wären Schwierigkeiten insbesondere mit der Vormontage Spule AC S00 zu erwarten (externe Lieferanten, etc.) und erhöhte Produktionskosten durch Wochenendschichten bei sämtlichen Vormontagen zu Schütz S00 – inklusive Anker/Joch, und den Vormontagen Spule AC S0 und Magnetantrieb DC S0.

Eine Zusammenfassung der gesamten Simulationsstudie bietet dem Auftraggeber/ dem projektverantwortlichen Planer die Abschlussdokumentation.

4.2.6 Abschlussdokumentation

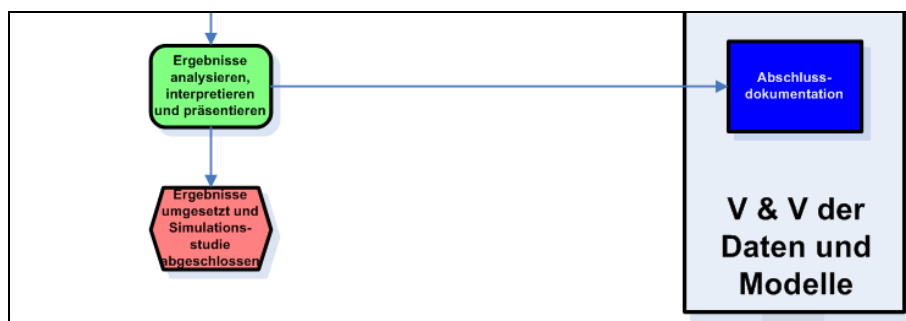


Abbildung 40: Simulationsstudie: Abschlussdokumentation (eigene Darstellung)

Die Abschlussdokumentation stellt eine Sammlung an Kernaspekten der Simulationsstudie dar. Die Dokumentation beschränkt sich auf das für den Auftraggeber Wesentliche und ist in dessen Terminologie verfasst. Die Rekapitulation der Simulationsergebnisse ist um eine darauf ansetzende Schlussfolgerung erweitert:

Schlussfolgerung

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass bei Schichtanzahlerhöhungen (Erhöhung der Endprodukt-Ausbringungsmengen), die Vormontage Spule AC S00 sich als Engpass erweist. Ebenfalls sind die Vorfertigungen Spule AC S0 und Magnetantrieb DC S0 als kritische Faktoren zu

berücksichtigen. Darüber hinaus sind an einem Großteil der Vormontagen Wochenendschichten erforderlich, welche durch anfallende Zuschläge überproportional teuer sind. Die Herstellkosten der Endprodukte steigen. Dem gegenüber stehen Vormontagen mit hohen Restkapazitäten. Ein kapazitiver Ausgleich, sofern technisch und/oder organisatorisch machbar, bietet sich an (Personelle Umschichtungen, etc.). Bei Vorfertigung Spule AC S00 sind Investitionsmaßnahmen zur kapazitiven Erweiterung vorzunehmen, sofern Ausbringungsmengensteigerungen gefordert sind und interne Umstrukturierungsmaßnahmen nicht getroffen werden können.

Überdies wird in der Abschlussdokumentation die Modellnachnutzung thematisiert, die dem Auftraggeber die Möglichkeit der Wieder-/Weiterverwendung des Modells in für ihn interessanten Aspekten aufzeigt. Exemplarisch der Auszug zur genaueren Betrachtung der Pufferbestandsentwicklungen anhand des Durchlaufdiagramms:

Untersuchung der Pufferbestandsentwicklungen

Neben dem Hinzufügen von wertmäßigen Beobachtungsgrößen (durchschnittlicher, mittlerer und maximaler Pufferbestand), empfiehlt sich eine Betrachtung einzelner Pufferbestände mit Hilfe von Durchlaufdiagrammen.

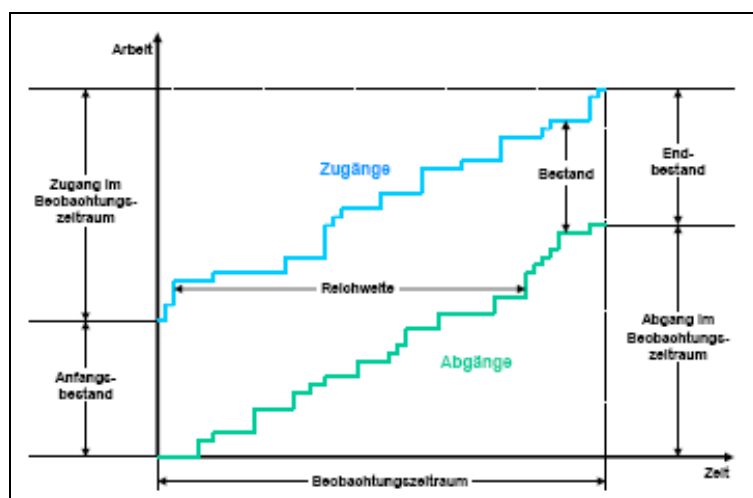


Abbildung 41: Beispiel Durchlaufdiagramm (eigene Darstellung)

Vorausgesetzt wird dabei jedoch eine genauere Abbildung der Pufferkapazitäten, um sämtliche ableitbaren Aussagemöglichkeiten des Durchlaufdiagramms nutzen zu können. Durch Aufnahme von Zu- und Abgängen eines Lagers können neben Informationen zu Bestand und Reichweite einzelner Zeitpunkte, die Tendenzen des Pufferbestandsverlaufes abgelesen werden:

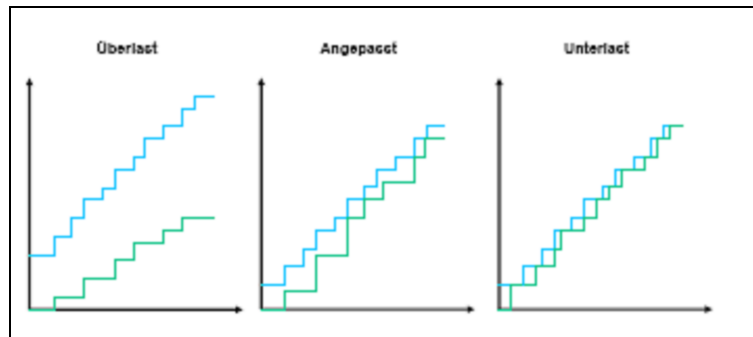


Abbildung 42: Durchlaufdiagramm Interpretation (eigene Darstellung)

Entwickeln sich die Zu- und Abgangskurven voneinander weg, ist mit einem Puffervolllauf zu rechnen (Überlast). Entwickeln sich diese aufeinander zu bzw. ist der fortlaufende Abstand zwischen den Kurven äußerst gering und der ablesbare Bestand des Öfteren gleich Null, ist ein Pufferleerlauf gegeben (Unterlast). Eine parallele Entwicklung deutet auf einen Idealzustand hin, demnach ist das System angepasst.

Die Einbindung von Durchlaufdiagrammen für ausgewählte oder sämtliche Pufferbestände ermöglicht eine genauere Analyse der Pufferbestände der Produktionssysteme. Die Arbeitseffizienz bei zunehmender Detaillierung des Untersuchungsgrades wird erhöht.

Neben den Simulationsergebnissen, wurde vom Auftraggeber eine Bewertung des Simulationseinsatzes zur gegebenen Problemstellung und der Anwendbarkeit im Arbeitsumfeld gefordert. Die Abschlussdokumentation hält eine Reihe von Beurteilungen einzelner Schritte des Simulationsstudienprozesses (Datenerhebung und –aufbereitung, Modellerstellung, etc.). Unter anderem wurde die Datenverfügbarkeit allgemein und im standortweit verwendeten Linientagebuch resümiert.

Datenverfügbarkeit

Das Linien-Tagebuch (LiTab) als Datenquelle:

Da LiTab entwickelt wurde um mit geringem personellen Aufwand relativ gute Informationen über die Anlagenperformance zu erhalten, sind LiTab-Daten nicht immer unmittelbar für Simulationsstudien verwendbar. Linienstammdaten sind mit Anwendungsexperten hinsichtlich deren Aktualität zu besprechen (z.B. Linientaktzeit Magnetantrieb DC S00). Ebenso sind Informationen aus LiTab stets vor einer Verwendung um Fehleinträge zu bereinigen (siehe Dokument Rohdaten & Aufbereitete Daten). Werden diese übersehen, können diese unter Umständen noch in der Validierungsphase erkannt werden. Fehleinträge und gegebene Unsicherheiten verursachen beträchtliche Projektverzögerungen bzw. schmälern den Projekterfolg. Eine weitere Schwierigkeit stellt die teilweise inkonsistente Pflege der Daten in LiTab

dar. So kann, anders als bei der Ankerfertigung, im Produktionsview von Joch S00 und S0 nicht zwischen Ausbringungsmengen von S00 und S0 unterschieden werden.

Eine Simulationsanwendung fordert, dass notwendige Daten im richtigen Ausmaß und fehlerfrei zur Verfügung gestellt werden (Die Datenqualität bestimmt die Qualität der Simulationsergebnisse). Die späte Erkenntnis eines Planers im Simulationsprojekt, dass verwendete Informationen nicht korrekt sein können, bedingt weitere Verzögerungen oder kann das Projekt zum Scheitern bringen. Beispiel im Projekt: Die Taktzeitangaben zu Vormontage Magnetantrieb DC S00 sind in LiTab nicht mehr aktuell. Die Inkorrektheit des Datensatzes wurde dem Simulationsanwender im Zuge der Validierung ersichtlich. Nach einer Rücksprache mit Anwendungsexperten stellte sich heraus, dass auf dieser Linie im vergangenen Jahr Verbesserungsmaßnahmen vorgenommen wurden und sich die Taktzeit verkürzt habe. Das Feststellen des Fehlers und die vorzunehmenden Korrekturen (wiederholte Validierung, etc.) bedingten eine Verzögerung von einem halben Arbeitstag. Treten mehrere dieser im Vorfeld vermeidbaren Schwierigkeiten auf, ist eine massive Projektverzögerung die Folge.

Des Weiteren konnten zum Teil benötigte Informationen nicht von entsprechenden Verantwortlichen innerhalb des Projektzeitrahmens bezogen werden (Pufferkapazitäten, Spule AC Kapazitäten). In diesen Fällen war es notwendig entsprechende Annahmen zu treffen.

Die Abschlussdokumentation repräsentiert den eigentlichen Schlussteil der Simulationsstudie. So wie bei den hervorgehenden Dokumenten, ist auch die Abschlussdokumentation nach Fertigstellung an den Anwendungsexperten/Planer weiter zugegeben, welcher dieses nach einer Durchsicht kommentiert an den Simulationsanwender retourniert. Im Weiteren ist für sämtliche der Projektbeteiligten eine Präsentation durchzuführen, die jedoch bis zum Abschluss der vorliegenden Arbeit noch nicht stattgefunden hat. In dieser werden nach einer kurzen Darbietung der Projektdurchführung die wesentlichen Schlussfolgerungen aus der Abschlussdokumentation veranschaulicht. Hier ist besondere Sorgfalt zu wahren. Die Simulationsergebnisse und abgeleitete Fazite sind den Verantwortlichen adäquat zu präsentieren, um den Erfolg der Simulationsstudie nicht im letzten Schritt zu Fall zu bringen: „A manager rather lives with a problem he can't solve than with a solution that he can't understand.“¹⁵¹

4.3 Fazit praktische Anwendung in der Simulationsstudie

Die konzipierte Vorgehensweise aus Kapitel 3.2 wurde anhand der begleitenden Dokumentation umgesetzt. Dabei sind vereinzelt Änderungen vorgenommen worden: Es hat sich als praktikabel erwiesen das Konzeptmodell bereits in der Aufgabenspezifikation zu dokumentie-

¹⁵¹ Liebl (1992), S. 196.

ren, da sich dies durch die vorzunehmende detaillierte Systemaufnahme bereits anbietet. Weiters wurden die Dokumente Rohdaten und Aufbereitete Daten zusammengeführt, weil jene Prozessschritte der Datenerhebung und Datenaufbereitung sich in der Simulationsstudie in den meisten Datensätzen als eine nahtlos ineinander übergehende Operation erwiesen hat. Zudem ist die Parallelisierung der Datenerhebung/-aufbereitung und der Modellerstellung nur bedingt möglich, da sich gezeigt hat, dass die Modellerstellung zum Teil bereits Daten erfordert. Ferner wurde die gesamte experimentell und rechnerisch durchgeführte Modellvalidierung in das Dokument Ausführbares Modell integriert.

Die Dokumentation hat sich als wesentliches Qualitätskriterium der Simulationsanwendung bestätigt. Diese unterstützt, mit Hilfe der permanent vorgenommenen Kontrolle durch den Planer (V&V-Methode) und der Datensicherung für den Simulationsanwender selbst, Fehler präventiv zu vermeiden. In einer Studiennachbesprechung hat sich der verantwortliche Planer auf Basis der erworbenen Erkenntnisse für die Wichtigkeit der Dokumentation ausgesprochen und die Umsetzung in der durchgeführten Studie mit Sehr Gut bewertet. Dazu ist anzumerken, dass die Nachvollziehbarkeit und Vollständigkeit der Dokumentation die Möglichkeit der Nachnutzung des Modells bestimmen. Jedoch hat sich das Ausmaß der erstellten Dokumentation im durchgeführten Simulationsprojekt nach Abschluss quantitativ als sehr umfangreich erwiesen. Ein dementsprechender zeitlicher Aufwand war im Studienverlauf gegeben. Für künftige Simulationsstudien wird empfohlen die diesbezügliche zeitliche Ressource im Sinne des allgemeinen Nutzen-Aufwand-Verhältnisses realistisch zu begrenzen, um eine übermäßige Dokumentation präventiv zu vermeiden. Dennoch dürfen Vollständigkeit und Nachvollziehbarkeit nicht darunter leiden. Zudem hat sich die Bedeutung der engen Zusammenarbeit zwischen Planer und Simulationsexperten bestätigt, welche sich ebenfalls als entscheidender Erfolgsfaktor für die Projektdurchführung erwiesen hat.

Zu Beginn wurde durch das Erstellen der Zielbeschreibung ein gemeinsames Projektverständnis gesichert. Die klare Zieldefinition, als wesentliches Kriterium für die Überprüfung der Simulationswürdigkeit, für die Bestimmung des Detaillierungsgrades und für die Identifikation der relevanten Simulationsdaten, wurde zunächst innerhalb der Zielbeschreibung formuliert und in der Aufgabenspezifikation konkretisiert. Damit konnte die Nutzwertanalyse zur Simulationswürdigkeitsprüfung auf entsprechender Diskussionsbasis durchgeführt werden. Die Nutzwertanalyse hat im Entscheidungsfindungsprozess hinsichtlich der Simulationsanwendung durch das deutlich befürwortende Resultat die Projektbeteiligten in ihrem Vorhaben bekräftigt. Des Weiteren wurden durch die Besprechung der einzelnen Punkte der Nutzwertanalyse die Projekthinhalte/-ziele für den Simulationsanwender deutlicher. Der verantwortliche

Planer beurteilte die Methode der Nutzwertanalyse zur Bestimmung der Simulationswürdigkeit mit Gut bis Sehr Gut.

Die zunehmend intensiver werdende Auseinandersetzung mit der Problemstellung in profunder Zusammenarbeit mit dem Planer, insbesondere im Zusammenhang mit dem Simulationsziel, erlaubte das Bestimmen der geforderten Mindestgüte. Bedingungen wie der zeitlich zur Verfügung stehende Projektrahmen und die Verfügbarkeit notwendiger Informationen/Daten ermöglichten dem Simulationsanwender die erste Festlegung des maximal zulässigen Aufwandes. Durch das Kennen dieser beiden Grenzen (geforderte Mindestgüte und maximal zulässiger Aufwand) wurde der notwendige Detaillierungsgrad für das Simulationsmodell im Vorfeld definiert und im weiteren Verlauf nach dem Leitsatz ‚so grob wie möglich, so detailliert wie nötig‘ umgesetzt. Die Hierarchisierung des Gesamtmodells hat dabei die Umsetzung wesentlich erleichtert. Der verantwortliche Planer bewertet den erreichten Detaillierungsgrad des Modells für die zu Beginn definierte Zielsetzung als durchgängig zutreffend bewahrt. Erwähnt wurde das geweckte Bewusstsein darüber, dass man bei der Anwendung der Simulationstechnik leicht dazu verleitet werden kann, damit mehrere Problemstellungen zugleich lösen zu wollen. In der vorliegenden Studie ist mitunter aufgrund der konsequenten Erhaltung der entsprechenden Detaillierung dies nicht der Fall gewesen.

Sowohl die klare Zieldefinition als auch die Festlegung des notwendigen Detaillierungsgrades wurden als Grundlage für die Identifikation der relevanten Simulationsdaten herangezogen. Für das Brainstorming zur Datenidentifikation wurde das Ishikawa-Diagramm verwendet, welches vorbereitet durch die Festlegung der Datenkategorien Maschine, Mitarbeiter, Produktionsorganisation, Produktdaten, etc. und dem Simulationsziel zur Verfügung stand. In einem nächsten Schritt wurden die gesammelten Daten unter zu Hilfenahme des erstellten Datenpools (Excel-Dokument) um einige Datensätze erweitert, auf welche im Brainstorming noch nicht Bezug genommen wurde. Das Ergebnis war eine Übersicht an Simulationsdaten – inklusive der dazugehörigen möglichen Quellen gemäß dem Excel-File, die im Anschluss zu erheben waren. Der Planer benotet die gewählte Vorgehensweise mit Sehr Gut.

Nach der Datenerhebung und –aufbereitung und der Modellerstellung und –validierung, in welcher vermehrt die Sensitivitätsanalyse zum Einsatz kam, wurden die Simulationsexperimente durchgeführt. Im Vorfeld galt es dazu im Rahmen der Simulationseingangsdaten zwischen fix/unveränderlich und variabel/variierbar zu unterscheiden. Durch Variation der variablen Eingangsdaten wurden Ergebnisse zu bestimmten Parameterkombinationen in den einzelnen Experimenten erhalten. Nach erfolgter Ergebnisauswertung und Dokumentation (Dokument Simulationsergebnisse) wurden diese interpretiert und ableitbare Schlussfolge-

rungen innerhalb der Abschlussdokumentation dem Auftraggeber präsentiert. Die Simulationsergebnisse selbst sind für den Planer bedingt zufriedenstellend, aufgrund der Notwendigkeit der Einbindung von Schätzwerten, da diesem die Erhebung von exakteren Realwerten nicht möglich war (Pufferkapazitätsgrenzen, zusätzliche Kapazitäten der Spulenwickelerei, etc.). Folglich sind jedoch die damit entstehenden Unsicherheiten durch eine Korrektur dieser Daten und weiteren Experimenten in einfacher Weise behebbar.

Der verantwortliche Planer beurteilte die Projektdurchführung als sehr zufriedenstellend. Es hat sich für diesen gezeigt, dass eine Materialflussanalyse in einem komplexen Umfeld besonders in der Datenerhebungsphase sich als schwierig erweisen kann. Der damit einhergehende, notwendige Aufwand lohnt sich aber für den zu erwartenden Nutzen aus der Simulationsanwendung. Der Nutzen der Simulationsanwendung beschränkte sich nicht nur auf die Ergebnisse der Simulationsexperimente. Zum Beispiel Erkenntnisse die seitens des Planers und weiterer Projektbeteiligter gewonnen werden konnten, haben den eigentlich erwarteten Nutzen der Studie übertroffen. Neben einer Verbesserung des Prozessverständnisses und der Beseitigung von Prozessirrtümern (z.B. tatsächliches Leistungsverhältnis teilmechanisierte Linie zu einer vollautomatisierten Linie der Endmontage Schütz S00; Linientaktzeit der Endmontage Schütz S0 bei Zuschalten der Handmontageplätze), konnte die abteilungsübergreifende Kommunikation zwischen FTQ und FT aufgewertet werden. Sowohl Unstimmigkeiten zu Begriffsdefinitionen als auch gegenläufige Problemzugänge konnten in Meetings partiell geklärt werden. Zudem ist das Verständnis der Notwendigkeit des gemeinsamen Arbeitens der beiden Abteilungen auf beiden Seiten gefestigt worden. Der Planer bewertet die Simulationsstudie selbst als erfolgreich, da die Schwierigkeit der Datenerhebung aufgezeigt wurde, die Verwendbarkeit der Simulationsanwendung für vergleichbare Problematiken bestätigt ist und eine sehr gute Basis für die Weiterarbeit mit dem Simulationsmodell geschaffen wurde.

5 Konklusion

Die im Vorfeld durchgeführte Fragebogenstudie hat sich als sehr gute Grundlage für die Gesamtarbeit erwiesen. Ein Großteil der Forschungsfragen verlangte ein hohes Maß an Anwendungserfahrung, um qualifiziert zu diesen Stellung nehmen zu können. Hypothesen/Resultate aus der Literaturrecherche konnten zudem als praxisnah oder –fern beurteilt und gegebenenfalls im weiteren Verlauf verwendet werden. Darüber hinaus war es möglich grundlegende Schwierigkeiten aber auch Bedeutsamkeiten zu identifizieren, die es sowohl im theoretischen als auch praktischen Teil der Arbeit zu berücksichtigen galt.

Knapp 100 Prozent der Antwortgeber sprachen sich für die Wichtigkeit einer strukturierten Vorgehensweise innerhalb einer Simulationsstudie aus. Jedoch konnten nur wenige ein konkretes, strukturiertes Vorgehen erläutern, andere verwiesen auf die Literatur. Die Notwendigkeit der Themenbehandlung und der Auseinandersetzung damit in vorliegender wissenschaftlicher Arbeit wurden somit bestärkt. Die mit Hilfe der Konventionen zu Ereignisgesteuerten Prozessketten (EPK) in der Arbeit erstellte Vorgehensweise, diente als Leitfaden für die weitere theoretische Ausarbeitung. Im praktischen Teil konnte die Korrektheit des Prozessverlaufes bestätigt werden. Korrekturen waren innerhalb der Gestaltung und Organisation der begleitenden Dokumentation vorzunehmen.

In der Literatur werden eine Reihe von Aspekten genannt, die es zum Entscheid für oder gegen die Anwendung der Simulationstechnik zu untersuchen gilt. Die Bedeutung dieser Punkte wurde von den Antwortgebern der Fragebogenstudie bekräftigt. In diesem Sinne wurde eine Nutzwertanalyse zur Überprüfung der Simulationswürdigkeit von künftigen Projekten der Abteilung FTQ der Siemens AG Amberg/Cham gefertigt. Durch die aus der Fragebogenstudie erhaltene Gewichtung der einzelnen Aspekte, wurde ein Excel-Dokument erstellt, das dem Planer eine quantitative Beurteilung des vorliegenden Projektes ermöglicht und damit als Entscheidungsunterstützung dient. Ein erheblicher Ertrag der Anwendung der Nutzwertanalyse durch den Planer ist die Beschäftigung dessen mit wesentlichen Thematiken der Simulationswürdigkeit und der Studie im Allgemeinen. Die Akzeptanz, das Interesse und das Wissen von und über Materialflusssimulationen seitens des Planers nehmen zu. Betont wird mehrfach in diesem Zusammenhang die Relevanz einer klaren Zieldefinition.

Die klare Zieldefinition - im Rahmen einer aussagekräftigen Aufgabenspezifikation, ist außerdem eine wesentliche Voraussetzung, um aus der dadurch geforderten Simulationsergebnisgüte die notwendige Datenerhebungstiefe und den dabei erforderlichen Aufwand bestimmen zu können. Die Genauigkeit nimmt mit steigendem Detaillierungsgrad zu, jedoch verhalten sich sowohl Akzeptanz als auch Aussagekraft nach Erreichen eines Maximums umgekehrt

proportional. Darüber hinaus wurden Laufzeitproblematiken in der praktischen Studie festgestellt, bei der Wahl eines zu hohen Detaillierungsgrades. Der Simulationsanwender hat die Grenzen ‚geforderte Mindestgüte‘ und ‚maximal zulässiger Aufwand‘ (Zeit, Kosten, etc.) zu eruieren, wodurch eine Festlegung des adäquaten Detaillierungsgrades möglich wird. Diese Schwierigkeit und Herausforderung für den Simulationsanwender (und verantwortlichen Planer) wird dementsprechend in der Literatur als die ‚Kunst des Modellierens‘ bezeichnet.¹⁵² Als weiteres Hilfsinstrument dazu wurde die Hierarchisierung des Gesamtmodells genannt. Die Simulationsstudie zeigte, dass die Modellhierarchisierung die Bewahrung des beabsichtigten Detaillierungsgrades vereinfacht und ferner die Nachnutzung, aufgrund der entstehenden Nachvollziehbarkeit für Simulationsexperten aber auch Planer, erleichtert.

Im Weiteren konnte die vorliegende Arbeit Aufschluss darüber gegeben, welche planungs- und simulationsrelevante Daten es gibt, die für eine Modellbildung und Simulation berücksichtigt werden müssen. Dazu wurden im Vorfeld Simulationsdaten allgemeingültig betrachtet, definiert und kategorisiert. Mit Hilfe eines dazu aufbereiteten Ishikawa-Diagramms mit dem Simulationsziel als richtungweisendes Element, wurden demonstrativ in der Simulationsstudie die notwendigen Daten ermittelt. Eine für die Abteilung FTQ erstellte Datensammlung in Form eines Excel-Dokuments hat die Erhebung im Simulationsprojekt wesentlich unterstützt und gewährleistet, dass wichtige Daten in der Vorbereitungsphase noch mit aufgenommen werden konnten, deren Fehlen im weiteren Studienverlauf zu gravierenden Fehlern bzw. Falschaussagen der Simulationsergebnisse führen hätte können. Der zusätzliche Verweis auf mögliche Quellen der einzelnen Daten im aufbereiteten Excel-Dokument hat überdies die Effizienz des Datenerhebungsprozesses für den Simulationsanwender steigern können. Nach erfolgter Identifikation der relevanten Daten und Erhebung dieser, sind die Simulationseingangsdaten in fix und variabel zu unterscheiden. Dies erlaubt ein strukturiertes Vorbereiten der Simulationsexperimente und die Einschränkung auf potentielle Hauptstellgrößen, die es, sofern unbekannt, durch Anwendung von Sensitivitätsanalysen zu ermitteln gilt.

Die standardisierte Vorgehensweise mit der Dokumentation als Leitfaden, die Nutzwertanalyse, die Vorgehensweise zur Bestimmung des adäquaten Detaillierungsgrades und das Ishikawa-Diagramm mit dem angelegten Datenpool haben sich als anwendbar und praktikabel für Simulationsanwender und Planer bestätigt. Durch folglich vermiedene potentielle Schwierigkeiten und Fehler werden Kosten- und Zeitersparnisse erzielt und die Steigerung der Effizienz der Simulationsanwendung bewirkt.

¹⁵² Vgl. Wenzel et al. (2008), S. 125.

Die Simulationstechnik hat das industrielle Arbeitsumfeld erreicht und sich zu einem mitbestimmenden Wettbewerbsfaktor etabliert. „Voraussetzung ist ihr Eingang in die Gedankenwelt der Fachleute und Arbeitswelt der Planer und Disponenten sowie die technische Integration in die Datenwelt der Unternehmen.“¹⁵³ Sind diese Bedingungen gegeben, ist es möglich die Integration zu intensivieren und einen weiterführenden Regelkreis der Prozessoptimierung zu standardisieren.

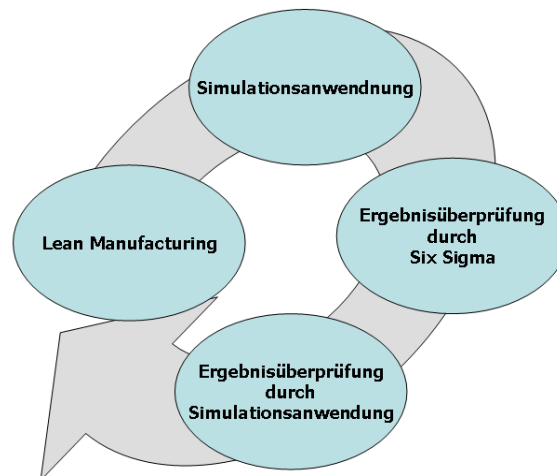


Abbildung 43: Regelkreislauf Prozessoptimierung (eigene Darstellung)

Mit Ansätzen aus dem Lean Manufacturing lassen sich rasch und mit geringem Aufwand Prozessverbesserungen erzielen.¹⁵⁴ Sind Grenzen erreicht, werden weitere, komplexere Problemstellungen behandelt. Die Simulation kommt zum Einsatz. Wurden Ergebnisse aus der Simulation gewonnen, kann mit Hilfe von Methoden aus Six Sigma¹⁵⁵ die statistische Absicherung erfolgen und jene Schlussfolgerungen abschließend mittels Simulationsanwendung überprüft werden. Die veränderten Systembedingungen bieten neuauftkommende Potentiale die es wiederum mit Hilfe des Regelkreislaufes zu erschließen gilt.

¹⁵³ VDI 3633, Blatt 1 (1993), S. 5.

¹⁵⁴ Vgl. Tapping et al. (2002), S. 35ff.

¹⁵⁵ Vgl. Gygi et al. (2006), S. 151ff.

Literaturverzeichnis

Bücher

Arnold, Dieter; Furmans, Kai: Materialfluss in Logistiksystemen. 4. Auflage, Berlin u.a., Springer-Verlag, 2005. ISBN 3-540-22800-4.

Bangsow, Steffen: Fertigungssimulation mit Plant Simulation und SimTalk. München u.a., Carl Hanser Verlag, 2008. ISBN 978-3-446-41490-7.

Banks, Jerry; Carson II, John S.: Discrete-Event System Simulation. New Jersey, Prentice-Hall, 1984. ISBN 0-13-215582-6.

Bossel, Hartmut: Systeme, Dynamik, Simulation – Modellbildung, Analyse und Simulation komplexer Systeme. Norderstedt, Books on Demand, 2004. ISBN 978-3-8334-0984-4.

Grundig, Claus-Gerold: Farbigplanung – Planungssystematik – Methoden – Anwendungen. 2. Auflage, München u.a., Hanser, 2006. ISBN 3-446-40642-5.

Gygi, Craig; DeCarlo, Neil; Williams, Bruce: Six Sigma für Dummies. Weinheim, WILEY-VCH Verlag, 2006. ISBN 3-527-70207-5.

Jensen, Sven: Eine Methodik zur teilautomatisierten Generierung von Simulationsmodellen aus Produktionsdatensystemen am Beispiel einer Job Shop Fertigung. Kassel University Press, 2007. ISBN 978-3-89958-289-5.

Košturiak, Ján; Gregor, Milan: Simulation von Produktionssystemen. Wien, Springer-Verlag, 1995. ISBN 3-211-82701-3.

Law, Averill M.: Simulation Modeling and Analysis. 4. Auflage, Boston u.a., McGraw Hill Higher Education, 2007, ISBN 0-07-110336-8.

Liebl, Franz: Simulation. München, Oldenbourg Verlag, 1992. ISBN 3-486-22109-4.

Kühn, Wolfgang: Digitale Fabrik. München u.a., Carl Hanser Verlag, 2006. ISBN 3-446-40619-0.

Nyhuis, Peter; Wiendahl, Peter: Logistische Kennlinien – Grundlagen, Werkzeuge und Anwendungen. 2. Auflage, Berlin u.a., Springer-Verlag, 2003. ISBN 3-540-43700-2.

Rabe, Markus; Spieckermann, Sven; Wenzel, Sigrid: Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik – Vorgehensmodelle und Techniken. Berlin u.a., Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-35281-5.

Tapping, Don; Luyster, Tom; Shuker, Tom: Value Stream Management – Eight Steps to Planning, Mapping, and Sustaining Lean Improvements. New York, Productivity Press, 2002. ISBN 1-56327-245-8.

Wannenwetsch, Helmut: Integrierte Materialwirtschaft und Logistik – Beschaffung, Logistik, Materialwirtschaft und Produktion. 3. Auflage, Berlin u.a., Springer-Verlag, 2007. ISBN 3-540-29756-1.

Wenzel, Sigrid et al.: Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik. Berlin u.a., Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-35272-3.

Sammelwerke

Carson, John S.: Introduction to Modeling and Simulation. In: Kuhl, M. E. et al.: Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. Orlando, USA, 2005. ISBN: 0-7803-9519-0, S. 16-23.

Csanady, Kolja; Bockel, Björn; Wenzel, Sigrid: Methodik zur systematischen Informationsgewinnung für Simulationsstudien. In: Rabe, Markus (Hrsg.): Advances in Simulation for Production and Logistics Applications. Stuttgart, Fraunhofer IRB-Verlag, 2008. ISBN: 978-3-8167-7798-4, S. 595-604.

Engelhardt-Nowitzki, Corinna et al.: Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation – State-of-the-Art und innovative Konzepte. Wiesbaden, Deutscher Universitäts-Verlag | GWV Fachverlage, 2007. ISBN 978-3-8350-0963-9.

Freiseisen, Wolfgang: Geleitwort. In: Engelhardt-Nowitzki, Corinna; Nowitzki, Olaf; Krenn, Barbara: Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement – Erfolgsfaktoren und Implementierungsszenarien. Wiesbaden, Gabler Verlag, 2008. ISBN 978-3-8349-0844-5.

Gierth, Andreas; Schmidt, Carsten: Zeitdynamische Simulation in der Produktion. In: Günther Schuh (Hrsg.): Produktionsplanung und -steuerung – Grundlagen, Gestaltung und Konzepte. 3. Auflage, Berlin u.a., Springer-Verlag, 2006. ISBN 13 978-3-540-40306-7, S. 646-681.

Knaak, Nicolas; Meyer, Ruth: Simulation Model Descriptions with UML 2. In: Bernd Page, Wolfgang Kreutzer: The Java Simulation Handbook – Simulating Discrete Event Systems with UML and Java. Aachen, Shaker Verlag, 2005. ISBN 3-8322-3771-2, S. 59-96.

Knaak, Nicolas, Page, Bernd; Kreutzer, Wolfgang [2]: Validation, Verification, and Testing of Simulation Models. In: Bernd Page, Wolfgang Kreutzer: The Java Simulation

Handbook – Simulating Discrete Event Systems with UML and Java. Aachen, Shaker Verlag, 2005. ISBN 3-8322-3771-2, S. 195-236.

Kuhn, Axel; Wenzel, Sigrid: Simulation logistischer Systeme. In: Dieter Arnold et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik, 3. Auflage, Berlin u.a., Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-72929-7, S. 73-94.

März, Lothar; Schmid, Susanne: Graphische Informationen zur Analyse und Optimierung von Eingangsdaten einer Transportnetzsimulation. In: Hauser, Helwig; Straßburger, Steffen; Theisel, Holger (Eds.): Simulation and Visualization 2008 (SimVis 2008), 2008. ISBN: 3-936150-53-2. S. 155-166.

McLean, Charles et al.: Simulation Standards: Current Status, Needs, and Future Directions. In: S.Chick et al.: Winter Simulation Conference – Proceedings of the 35th Winter Simulation Conference, 2003. ISBN 0-7803-8132-7, S. 2019-2026.

Noche, Bernd; Druyen, Jürgen: Simulation von Materialfluss- und Lagersystemen. In: Reinhard Koether (Hrsg.): Taschenbuch der Logistik. 3. Auflage, München, Carl Hanser Verlag, 2008. ISBN 978-3-446-41503-4, S. 258-272.

Page, Bernd: Simulation in Practice. In: Bernd Page, Wolfgang Kreutzer: The Java Simulation Handbook – Simulating Discrete Event Systems with UML and Java. Aachen, Shaker Verlag, 2005. ISBN 3-8322-3771-2, S. 469-486.

Page, Bernd; Kreutzer, Wolfgang: Introduction and Basic Terms. In: Bernd Page, Wolfgang Kreutzer: The Java Simulation Handbook – Simulating Discrete Event Systems with UML and Java. Aachen, Shaker Verlag, 2005. ISBN 3-8322-3771-2, S. 3-22.

Persson, Frederik: The impact of different levels of detail in manufacturing systems simulation models. In: Journal of Robotics and Computer Integrated Manufacturing, Vol. 18, 2002. S. 319-325.

Sadowski, Deborah A.; Sturrock, David T.: Tips for the successful practice of simulation. In: Winter Simulation Conference – Proceedings of the 38th Winter Simulation Conference. Winter Simulation Conference, 2006. ISBN 1-4244-0501-7, S. 67-72.

Straßburger, Steffen et al.: Werkzeuge und Trends der digitalen Fabrikplanung. In: Sigrid Wenzel (Hrsg.): Simulation in Produktion und Logistik 2006. Erlangen, SCS Publishing House, 2006. ISBN 3-936150-48-6, S. 391-402.

Westkämpfer, Engelbert: Fabriken sind komplexe langlebige Systeme. In: Peter Nyhuis (Hrsg.): Beiträge zu einer Theorie der Logistik. Berlin u.a., Springer-Verlag, 2008. ISBN 978-3-540-75642-2, S. 85-108.

Zeitschriften/Handbücher

ASIM Fachgruppe 4.5.6: Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik. Heft Nr. 7a, 1997.

Tecnomatix: Tecnomatix Plant Simulation 8.2 Benutzerhandbuch. 2008.

IDS Scheer AG: Geschäftsprozessmodellierung mit ARIS Business Designer ABD. Business Process Management. Saarbrücken, Benutzerhandbuch. 2005.

Wissenschaftliche Arbeiten

Wachsmann, Jens: Kennliniengestützte Durchführung von Logistiksimulationen. Diss., Universität Hannover, 2006.

Dokumente aus dem Internet

Active Sensing, Inc.: Product Lifecycle Management. Online im Internet: <http://www.product-lifecycle-management.com/> Stand: 07.08.2009. Abfrage: 24.08.2009.

Beichl Managementconsulting: Ishikawa-Diagramm. Online im Internet: <http://www.beichl.com/pdf/ishikawa.pdf> Stand: 24.08.2009, Abfrage: 24.08.2009.

Schmidt, Peter-Michael: Online im Internet: www.math4fun.de/Kurs_PlantSim.ppt Stand: 29.04.2009; Abfrage: 29.04.2009.

Siemens Product Lifecycle Management II (DE) GmbH: Homepage eM-Plant. Online im Internet: <http://www.emplant.de/> Stand: 06.05.2009; Abfrage: 06.05.2009.

Siemens Product Lifecycle Management II (DE) GmbH [2]: Plant Simulation Produktbeschreibung. Online im Internet: http://www.emplant.de/Plant_Simulation_Produktbeschreibung_UGS_50.pdf Stand: 06.05.2009; Abfrage: 06.05.2009.

Siemens AG: Siemens About Us. Online im Internet: <http://w1.siemens.com/about/en/> Stand: 01.07.2009; Abfrage: 19.08.2009.

Siemens AG [2]: Industrie-Automatisierungssysteme SIMATIC. Online im Internet: http://www.automation.siemens.com/simatic/portal/index_00.htm Stand: 23.04.2009, Abfrage: 23.04.2009.

Siemens AG [DE]: Siemens Standorte. Online im Internet: <http://www.siemens.de/standorte/Seiten/home.aspx> Stand: 23.04.2009, Abfrage: 23.04.2009.

Siemens AG Amberg: Homepage Abteilung FTQ. Online im Intranet: https://workspace.automation.siemens.com/content/00000868/content/digitale_fabrik.aspx Stand: 13.05.2009, Abfrage: 13.05.2009.

SimPlan AG: Kurzportrait. Online im Internet: http://www.simplan.de/images/stories/download/Brosch_Flyer/SimPlan_Kurzprofil.pdf Stand: 26.05.2009; Abfrage: 26.05.2009.

Supply Chain Council, Inc.: About Supply Chain Council. Online im Internet: <http://www.supply-chain.org> Stand: 02.09.2009, Abfrage: 02.09.2009.

UML: Homepage Unified Modeling Language. Online im Internet: <http://www.uml.org/> Stand: 10.03.2009, Abfrage: 24.08.2009.

Richtlinien

VDI Richtlinie 2689: Leitfaden für Materialflußuntersuchungen. Berlin, Beuth-Verlag, 1974.

VDI Richtlinie 3633 Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen. Berlin, Beuth-Verlag, 1993.

VDI Richtlinie 3633 Blatt 2: Lastenheft/Pflichtenheft und Leistungsbeschreibung für die Simulationsstudie. Berlin, Beuth-Verlag, 1997.

VDI Richtlinie 3633 Blatt 5: Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen – Grundlagen. Berlin, Beuth-Verlag, 2000.

VDI Richtlinie 4499 Blatt 1: Digitale Fabrik – Grundlagen. Berlin, Beuth-Verlag, 2008.

Anhang

Fragebogenauswertung

Es wurden 31 von 70 Fragebogen retourniert, wobei 12 Personen im wissenschaftlichen Bereich und 19 Personen in Unternehmen unterschiedlicher Wirtschaftszweige tätig sind (Rücklaufquote: 44%).

Bei der Auswertung wurde zunächst zwischen wissenschaftlichen und praktischen Antwortbögen unterschieden. In einem zweiten Schritt wurden die beiden erhaltenen Ergebnisse zusammengeführt. Im Rahmen der Auswertung der Freitextfragen, wurde im Wesentlichen nicht zwischen Wissenschaftler und Praktiker differenziert, da festgestellt wurde, dass die am meisten genannten Antworten sich sowohl auf wissenschaftlicher, als auch praktischer Seite gleichermaßen stark verteilen.

Diese Freitextantworten wurden wertfrei aufbereitet, um ein objektives Gesamtergebnis zu erhalten.

Nicht alle Freitextfragen wurden von allen Befragten beantwortet. Um etwaig schwankende Relationen aufzuzeigen, ist die Gesamtanzahl der Antworten seitens Praktiker und Wissenschaftler zu Beginn jeder Antwort jeder Frage angegeben.

Anmerkung: Die Aussagekraft von Mehrfachnennungen einer Antwort, auch geringer Anzahl, ist zu betonen, da diese im Zuge von Freitextfragen zustande gekommen sind (Mehrfachnennungen sind ab mehr als 2 Personen innerhalb des Auswertungsbogens in blauer Schrift herausgehoben).

1. Welche Argumente sprechen für eine Simulationsdurchführung einer Fertigungseinheit bzw. wie kann für eine Simulationsanwendung im Allgemeinen argumentiert werden?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 16

Aspekte, die auf die Notwendigkeit des Simulationseinsatzes hindeuten:

- Komplexität der Fertigungseinheit (Anzahl Elemente, Abhängigkeiten, etc.) (4 von 28)
- Systemdynamik ist mit analytischen Methoden nicht handhabbar (5 von 28)
- Aufwand/Nutzen-Verhältnis spricht für den Simulationseinsatz (3 von 28)
- Systemindikatoren liegen vor wie z.B. parallele Prozesse und Anlagen-Verfügbarkeiten

Die Methode der Simulation liefert

- Planungssicherheit (5 von 28)
- Unterstützung im Entscheidungsfindungsprozess (3 von 28)
- Steigerung der Nachvollziehbarkeit durch z.B. Animationen
- Risikominimierung (4 von 28)
- Kostensenkungspotentiale (3 von 28)

Simulationsstudien werden eingesetzt, wenn

- eine detaillierte Kenntnis des zukünftigen Systems (und dessen Verhalten) erfolgsentscheidend ist
- ein Nachweis der Wirksamkeit von geplanten Optimierungen von Nöten ist (Investitionsabsicherung) (3 von 28)
- Kapazitätsgrenzen, Szenarien, „Systemrobustheiten“ etc. getestet werden sollen (4 von 28)
- komplexe Steuerungslogiken abgebildet werden sollen
- Layoutplanungen oder Engpassanalysen durchgeführt werden sollen (3 von 28)

Eine Simulationsstudie erlaubt

- eine objektive Betrachtung des Produktionsprozesses
- die Schaffung von Kennzahlen, die ohne Simulation nicht oder nur schwer ermittelbar sind (DLZ, Warteschlangenlänge, etc.)
- das Aufzeigen von Problemen - z.B. Engpässe, die noch nicht bekannt waren
- eine dynamische/nicht statische Systembetrachtung (4 von 28)
- den Einsatz als Kommunikationswerkzeug und lässt dabei neue Ideen entstehen
- 3D-Darstellungen ohne Neuaufbau des Simulationsmodells
- den Einsatz von einer Vielzahl an vorgefertigten (Analyse-)Möglichkeiten des Simulationswerkzeuges (z.B. Plant Simulation: BottleNeckAnalyzer, genetische Algorithmen, objektorientiertes Arbeiten, etc.)
- eine weiterführende Verwendung des Simulationsmodells zur Produktionsplanung nach der Simulationsstudie
- den Einsatz der Simulation als Trainingsmethode für Mitarbeiter
- eine quantitative Einschätzung von noch nicht existierenden Prozessen (3 von 28)

2. Welche Kriterien (unter Umständen K.O.-Kriterien) einer Simulationsdurchführung sind ausschlaggebend, um sich dafür beziehungsweise dagegen zu entscheiden? Gibt es dazu einen quantitativ bewertbaren Ansatz (z.B. Checklisten)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 16

Kriterien, die für eine Durchführung sprechen:

- immer wieder vorkommende Problemstellungen können mittels Standardsimulationen unterstützt werden
- dient der Risikominimierung (bei z.B. Alternativen-/Szenarienauswahl) und Qualitätssicherung (3 von 28)
- Komplexität des Systems (5 von 28)
- am Realsystem sind keine Experimente möglich
- analytische Methoden sind nicht mehr ausreichend (5 von 28)
- hohe Variantenvielfalt der Produkte im Produktionsprozess
- einfach anwendbar und verständlich
- Kunde wünscht sich eine Simulationsstudie

Kriterien, die gegen eine Durchführung sprechen:

- Ergebnisse können nicht fristgerecht geliefert werden
- Kosten, die durch die Anschaffung der Simulationssoftware (und Schulungen) bzw. durch die Bezahlung der Simulationsexperten entstehen
- Einhergehende Kosten und der Aufwand (z.B. fehlende Daten müssten händisch erhoben werden), den eine Simulationsstudie bedingt, sind zu hoch (5 von 28)
- fehlende Unterstützung durch Auftraggeber („keine Lust und Geld“)
- Mangel an qualifizierten Mitarbeitern

- zu spätes Heranziehen der Methodik Simulation in der Planungsphase bzw. zu enger zeitlicher Rahmen für die Durchführung der Simulationsstudie

Kriterien, die zu beachten sind:

- unzureichende Datenverfügbarkeit, ungenaue Datenbasis (3 von 28)
- Notwendigkeit von speziellem (Simulations-)Know-How (3 von 28)
- dynamische Abhängigkeiten müssen abbildbar sein
- Aufwand muss kleiner als der Erwartungswert der Ergebnisse sein (4 von 28)
- Projektzeitrahmen und –budget (3 von 28)
- Personelle Ressourcen
- Welche Datengrundlage ist gegeben?
- Ist der Entwicklungsstand bei Neuplanungen schon simulationswürdig?
- Ist das Unternehmen von der Einsetzbarkeit der Simulationssoftware überzeugt?
- Welcher Genauigkeitsgrad wird verlangt?
- Abbildung erfordert „kluge Annäherungen“

Checklisten:

- nicht bekannt (3 von 28)
- es werden interne Checklisten verwendet
- Unternehmen sollten interne Checklisten verwenden

3. Welche Datenquellen und Vorgehensweisen werden beispielgebend angewendet, um notwendige Informationen zu erheben (eigene/fremdbezogene SAP-Abfragen, Linientagebücher/-aufschreibungen)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 14

Datenquellen:

- Excel-Tabellen (4 von 26)
- Arbeitspläne (5 von 26)
- Layoutpläne (3 von 26)
- Stücklisten (4 von 26)
- Schichtpläne
- Systemdaten (z.B. Lagerkapazitäten)
- Maschinenspezifikationen (4 von 26)
- Kostensätze
- Ist/Soll Produktionsdaten
- Verkaufsdaten
- Linientagebücher/-aufschreibungen
- CAD-Zeichnungen

Vorgehensweisen:

- Für noch nicht existierende Systeme: (durch das Modell) selbst generieren
- Planungssystem-Abfragen (eM-Planner, DELMIA)

- Datenbank-Abfragen allgemein (3 von 26)
- ERP-Systemabfragen (SAP) (8 von 26)
- Abfragen aus Oracle-Datenbanken (3 von 26)
- MS Access-Abfragen
- Datawarehouse-Abfragen
- Daten aus „Satelliten-Systemen“ wie CADIM, LiTab
- Interviews/Befragungen („es lässt sich dabei oft feststellen, dass gewisse Zeitangaben in Arbeitsplänen etc. gar nichts mit der Realität zu tun haben“) (5 von 26)
- „Studenten mit Stoppuhren“
- Verwendung von Normen
- Daten von vergleichbaren Fertigungen
- Wenn keine Daten vorhanden sind, Kunden auffordern, empirische Daten zur Verfügung zu stellen
- Sich mit Kunden einigen, ob Plan- oder Ist-Daten für Studie verwendet werden sollen
- manuelle Erhebungen (Multimomentstudien, etc.) (3 von 26)

4. Welche planer- und simulationsrelevanten Informationen/Daten/Faktoren sind im Allgemeinen zur Modellerstellung notwendig (Bearbeitungs- und Störzeiten, Layoutplan, etc.)? Welche sind dabei im Allgemeinen unerlässlich und würden eine nicht Durchführbarkeit der Simulation bewirken?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 11; Praktiker: 13

Hinweis: der Vermerk „unerlässlich: x von x“ bei einzelnen Informationen/Daten/Faktoren wurde nur gezählt, sofern diese dezidiert als solche bezeichnet wurde.

Grundsätzlich sind die notwendigen Daten von der Problemstellung abhängig. (10 von 24)
Als besonders wichtige planer- und simulationsrelevante Informationen gelten:

- Anlagendaten (Bearbeitungs-, Reparatur und Störzeiten, Verfügbarkeiten, etc.) (13 von 24) (unerlässlich: 3 von 13)
- Reale/realitätsnahe Datenbasis für Simulationsszenarien
- Bedarfscharakteristik (Bedarfsschwankungen, etc.) (unerlässlich: 1 von 1)
- Transportzeiten und -größen (5 von 24) (unerlässlich: 1 von 5)
- Layoutpläne (8 von 24) (unerlässlich: 1 von 8)
- Arbeitspläne (5 von 24) (unerlässlich: 1 von 5)
- Stücklisten (unerlässlich: 1 von 2)
- Schichtpläne (3 von 24) (unerlässlich: 1 von 3)
- Pausenzeiten
- Losgrößen
- Steuerstrategien (4 von 24) (unerlässlich: 1 von 4)
- Historische Verkaufsdaten

- Erfasste Betriebsdaten (Ist-Produktion, etc.)
- Produktvarianten (unerlässlich: 1 von 2)
- Auftragsdaten (unerlässlich: 1 von 2)
- Zu beachtende Sonderregeln („Transportzeit entspricht Mindestabkühlzeit“, etc.)

Es wird auch auf Sammlungen von zu berücksichtigenden Informationen/Daten/Faktoren verwiesen, aus denen die problemspezifisch Passenden ausgewählt werden können (z.B. VDI Richtlinie)

5. Wie kann das richtige Verhältnis zwischen Datenerhebungstiefe und gewünschter Ergebnisgüte erzielt werden (richtige Abstraktionsniveau)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 13

Es gilt „so genau wie nötig, so grob wie möglich“ (4 von 25) um ein vernünftiges Aufwand/Nutzen-Verhältnis zu schaffen. Der notwendige Detaillierungsgrad hängt maßgeblich von der Zielsetzung ab (5 von 25) und somit von den Bedürfnissen des Kunden. Inwieweit dieser bestmögliche Detaillierungsgrad möglichst effizient erreicht werden kann, hängt von der Erfahrung des Simulationsexperten ab (8 von 25). Es hat sich dabei gezeigt, dass 20% Simulationsaufwand 80% der erreichbaren Ergebnisgüte ausmachen.

Um das Soll der Ergebnisgüte erreichen zu können bzw. um dieses nachweisen zu können, werden folgende Methodiken verwendet:

- Ständige Aktualisierung des Lastenheftes
- Sensitivitätsanalyse (Parameter auf Extreme testen)
- Rücksprache mit dem Kunden hinsichtlich gewählten Detaillierungsgrad
- Modelltest mit Historie-Daten
- Überprüfung in mehreren Testphasen – Plausibilitätsprüfung durch Auftraggeber

Dabei muss im Weiteren zwischen manuell und automatisch erstellten Modellen unterschieden werden. Bei automatisch erstellten Modellen handelt es sich um „Standardsysteme“ (z.B. für Planungsvalidierungen), wodurch eine standardisierte Modelltiefe argumentierbar ist.

6. Wie wird bei der Modellbildung und Simulation vorgegangen? Wird eine spezielle Methodik/‘Anleitung’ verwendet oder ‚drauf los‘ modelliert und simuliert?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 14

Vermehrt wird die Wichtigkeit der Zieldefinitionsphase erwähnt, welche entscheidend zur Effizienz des weiteren Studienverlaufes beiträgt. Die Notwendigkeit eines strukturierten Vorgehens wird oftmals unterschätzt. Ein zunächst „einfaches Problem“ kann an Komplexität zunehmen und aufgrund mangelnder Struktur nicht mehr überblickt werden und könnte folglich aufgrund dessen scheitern.

Darüber hinaus wird mehrfach auf Literatur verwiesen, woraus vorgeschlagene Vorgehensweisen/Methodiken Verwendung finden (3 von 26). Konkreter Literaturvorschlag: Vorgehensmodell nach Raab und Wenzel (vgl. „Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik“, Wenzel et al. (2008)). Weiterhin wird der Einsatz von eigenen Checklisten erwähnt.

Ansatz 1: (2 von 26)

- planerische Überlegung
- Abbilden aller notwendigen Systemkomponenten
- „Drauf los“ simulieren

Ansatz 2:

- Alle zu berücksichtigenden Bereiche in Simulationssoftware abbilden
- detaillieren von kritischen Systemfunktionen
- Erstellen von wieder verwendbaren Modulen

Ansatz 3: (2 von 26)

- Projektwahl
- Definition der Ziele
- Definition der Systemgrenzen
- Definition der Systemparameter
- Analyse der Ist-Abläufe
- Modellierung des Systemumfanges
- Verifizierung und Validierung des Modells
- Gestaltung von Alternativen
- Interpretation (Vision für neue Konzepte, Diskussion im Team)
- Präsentation der Ergebnisse
- Entscheidung
- Umsetzung
- Bewertung

Ansatz 4: (2 von 26)

- Zieldefinition/Angebotserstellung
- Auf Basis der Zieldefinition/Angebotserstellung Detaillierungsgrad wählen
- Modellerstellung
- Validierung mit Kunden

Ansatz 5:

Bei der in Frage 5 erwähnten automatischen Erstellung von Modellen, ist die Vorgehensweise sehr stark vereinfacht: „Nach der Erstellung der Standardlösung können die Modelle mit wenig Kapazitätseinsatz erneut erstellt werden.“

Im Allgemeinen wird auf die Notwendigkeit von vorhandener Erfahrung verwiesen (3 von 26). Es können dabei auch „Eigenheiten“ in der Projektdurchführung des etwaigen Simulationsexperten erfolgen.

Insbesondere bei objektorientierten Simulationswerkzeugen, wie z.B. Plant Simulation, bietet sich ein modulares Aufbauen des Gesamtmodells an, womit der Grundsatz „Zerlegen des Problems in Teilprobleme“ empfohlen wird.

7. Welche Aspekte innerhalb der Modellbildung und Simulation werden als wichtig/weniger wichtig empfunden? Bitte kreuzen sie im Folgenden je Aspekt ein Feld an.

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 11; Praktiker: 17-19

		vernachlässigbar	zu beachten	wichtig	sehr wichtig
1	Erstellen eines Lastenheftes	3%	24%	38%	35%
2	Erstentwürfe des Modells mit Papier und Stift	29%	32%	21%	18%
3	Klare Zieldefinition der Simulation	0%	0%	10%	90%
4	Begleitende Dokumentation	0%	24%	38%	38%
5	Datenverfügbarkeit (von z.B. Rüstzeiten)	0%	4%	41%	55%
6	Datenzugänglichkeit (Berechtigungen usw.)	3%	21%	48%	28%
7	Einheitliche Sprachwahl (Deutsch, Englisch, etc.)	19%	37%	33%	11%
8	Einheitliche/Nachvollziehbare Variablenbezeichnungen	0%	25%	50%	25%
9	Einheitliche/Nachvollziehbare Modell- und Ordernamen	0%	36%	46%	18%
10	Einheitliche/Nachvollziehbare Methodenkopfzeichnungen	0%	30%	44%	26%

11	(ausführliche) Methodenbeschreibungen	
12	Kommentieren von Methoden	
13	Einheitliche/Nachvollziehbare Oberflächengestaltung der Simulation in Plant Simulation (Netzwerkgestaltung, Objektordnung mit/ohne Bezeichnungen, etc.)	
14	Grafische Gestaltung von Objekten, Netzwerken usw. (z.B. Gestaltung der BEs in Plant Simulation)	
15	Allgemeine Verständlichkeit der Ergebnisauswertungen (Visualisierungen, etc.)	
16	Systematisches Vorgehen (gemäß eines Konzeptes) in der Modellbildung und Simulation	
17	Regelmäßige Meetings/Rücksprachen mit Auftraggeber	
18	Zusammenarbeit des Simulationsdienstleisters mit z.B. betroffenen Planer	

Tabelle 13: Fragebogenstudie - Frage 7 (eigene Darstellung)

8. Welcher Simulationsansatz wird von Ihnen in der Regel angewendet?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 11; Praktiker: 14

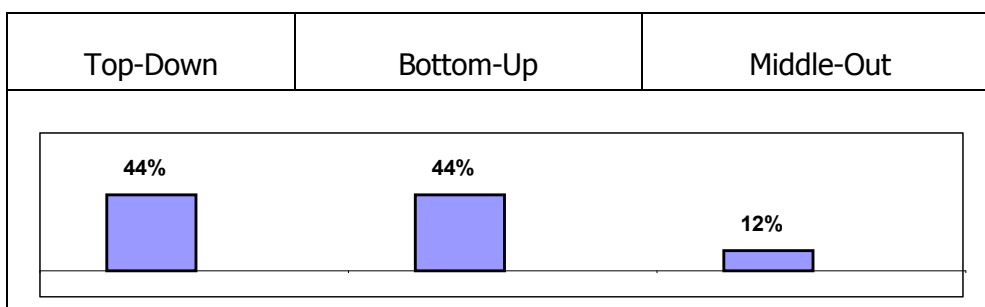


Tabelle 14: Fragebogenstudie - Frage 8 (eigene Darstellung)

9. Welche Methodiken/Techniken werden im Zuge der Verifikation und Validierung eingesetzt (z.B. Animation, Plausibilitätstest)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 11; Praktiker: 11

- Plausibilitätstest (rechnerisch und grafisch) (15 von 22)
- Workshops
- Animation (11 von 22)
- Verwendung eines Debuggers (3 von 22)
- Sensitivitätsanalyse (3 von 22)
- Statistische Anpassungstests
- Traces
- Grenzwerttests
- Vergleich mit Ergebnissen analytischer Methoden
- Ursache-Wirkungsgraph

10. Wie werden Simulationsszenarien definiert (z.B. durch Auftraggeber im Vorfeld)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 10; Praktiker: 13

Allgemein werden Simulationsszenarien durch Absprache mit dem Auftraggeber, bzw. durch dessen Zielvorgaben, bestimmt (19 von 23). Im Anschluss an das Festlegen der Ziele, werden Variationen der Einflussgrößen ermittelt (z.B. mit Hilfe von Faktoranalysen), welche als Szenarien für die Simulationsläufe herangezogen werden (3 von 23). Nach der Modellerstellung kann eine notwendige Anpassung der Szenarien an das Modell erfolgen (z.B. aufgrund von Modellabstraktionen). Gegebenfalls können die Szenarien auch in Folge eines Rückschlusses aus den Simulationsergebnissen erweitert werden. Auch in diesem Zusammenhang ist die Erfahrung des Simulationsexperten von Bedeutung.

11. Welche Simulationszeiträume werden in der Regel für die Szenariendurchführung der Simulationsläufe gewählt?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 10; Praktiker: 12

Aufgrund der starken Problemabhängigkeit (11 von 22), ist die Bandbreite sehr weit zu halten:

- ein Werkstückträgerdurchlauf
- eine Arbeitsschicht (3 von 22)
- ein Arbeitstag (3 von 22)
- eine Woche oder mehrere (5 von 22)
- ein Monat oder mehrere (3 von 22)
- ein Jahr oder mehrere (4 von 22)

Zu beachten:

- Bei der Wahl des Simulationszeitraumes ist die Dauer der Einschwingphase zu berücksichtigen.

- Die Wahl des Simulationszeitraumes hängt von den zur Verfügung stehenden Daten ab
- Bei Simulationsstudien, die saisonalen Schwankungen unterliegen, ist dementsprechend eine längere Simulationsdauer zu wählen, um diese Phasen mit zu erfassen.
- Als Richtwert wird unter anderem auch „3xZykluslänge“ gewählt, um den Simulationszeitraum zu bestimmen (z.B. bei Schwankungen übers Jahr, mindestens 3 Jahre simulieren).

12. Mit welchem zeitlichen Aufwand wird im Durchschnitt je vollständigem Simulationsprojekt gerechnet (Von der Zieldefinition bis zur Ergebnispräsentation)?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 10; Praktiker: 11

Betont wird die Problemabhängigkeit der Simulationsprojektdauer (13 von 21). Die Spannweite reicht von „wenige Tage“ bis hin zu „mehrere Jahre“. Die meisten Angaben erfolgten für 1-3 Wochen (4 von 21) und 6 Monaten (4 von 21).

Es wird im Allgemeinen zwischen kleinen, mittleren und großen Projekten unterschieden. Eine diesbezügliche Verallgemeinerung ist aufgrund der unterschiedlichen Interpretationen von „klein“, „mittel“ und „groß“ nur beschränkt möglich. Im Allgemeinen werden „große Projekte“ mit 6 bis 12 Monaten bewertet.

Standardlösungen für die automatische Erstellung von Modellen können durchaus ein Jahr dauern, allerdings beschränkt sich folglich die weitere wiederholte Einsetzung lediglich auf die „Dauer eines Knopfdruckes“.

13. Werden erstellte Simulationsmodelle nach Projektabschluss wieder bzw. weiterverwendet?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 10; Praktiker: 13

Keine Wieder- bzw. Weiterverwendung: (5 von 23)

Manchmal können Teile/Bausteine davon wiederverwendet werden (Ablegen in der Library): (4 von 23)

Das Modell wird als Betreibermodell weiter eingesetzt:

Ja: (6 von 23)

Abhängig vom Einsatz: (6 von 23)

Das erarbeitete Know-How, in Form von Erfahrung, findet zweifellos Weiterverwendung: (3 von 23)

14. Gemäß der VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1 (2008), Schulze und Robinson, werden die folgenden Aspekte/Anforderungen erwähnt, die hinsichtlich der Simulationswürdigkeit eines Projektes vorab zu überprüfen sind. Wie würden Sie die Wichtigkeit dieser Aspekte in der Überprüfungsphase auf einer Skala von 0 (unwichtig) bis 10 (sehr wichtig) gewichten?

(Bitte dazu in die nachstehenden grauen Felder klicken und die entsprechende Zahl aus der Liste wählen)

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 12; Praktiker: 17-19

		Wichtigkeit
1	Kosten/Nutzen-Verhältnis	8,35
2	Komplexität der Aufgabenstellung (Anzahl Elemente, Interaktionen, etc.)	6,86
3	Unsicherheiten bezüglich der Daten und ihres Einflusses auf die Ergebnisgrößen	7,45
4	Fehlen alternativer, weniger aufwendigen Methoden zur Lösungsfindung	7,38
5	Sicherheitsbedürfnis bei unscharfen Vorgaben und Beweisnot	5,57
6	Notwendigkeit der Mehrfachverwendung des erstellten Modells	3,66
7	Risiken, die durch den Verzicht auf die Simulation entstehen können	7,34
8	Zeitlicher Rahmen für die Simulationsprojektdurchführung	6,7
9	Notwendige Datenbasis, um ausreichend sichere Ergebnisse zu erhalten	7,81
10	Absicht der Kreativitätsförderung	4,07
11	Absicht der Schaffung von Wissen/ neuen Erkenntnissen	6,4
12	Absicht der Schaffung von Nachvollziehbarkeit	6,93
13	Simulation verwenden zur Visualisierung und Kommunikation	5,9
14	Simulationsmethodik nutzen zur Konsensbildung	6

Tabelle 15: Fragebogenstudie - Frage 14 (eigene Darstellung)

15. Wie beläuft sich die gegenwärtige Akzeptanz von Fertigungsplanern und -leiter (nicht Simulationsdienstleister) hinsichtlich Materialflusssimulationen als planerisches Werkzeug?

Gesamtanzahl Antworten: Wissenschaft: 11; Praktiker: 18

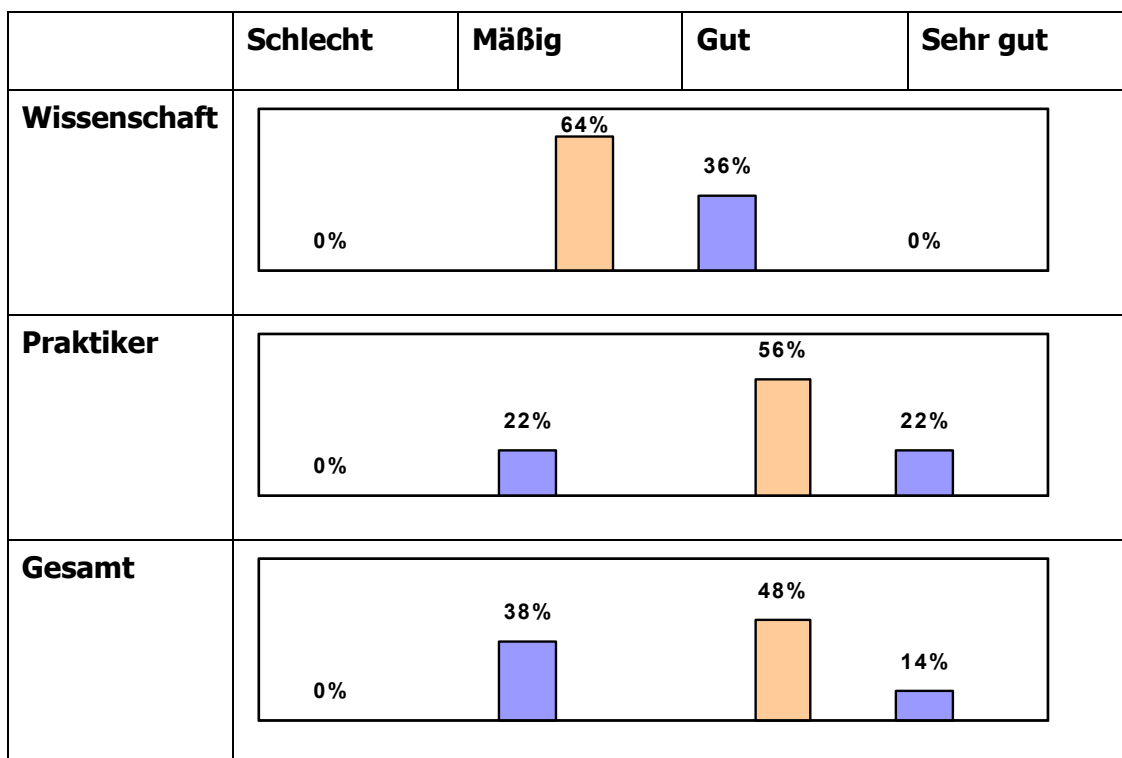


Tabelle 16: Fragebogenstudie - Frage 15 (eigene Darstellung)

Anmerkungen zu Frage15:

- Die zu gebende Antwort ist altersbedingt: >50 = schlecht, jung = gut
>50: Furcht vor:
 - Simulation könnte mich ersetzen (falsch, weil Simulation nur unterstützt bzw. Planer begleitet, aber die planerischen Tätigkeiten nicht ersetzen kann)
 - Respekt vor IT (wollen nicht mit Computer arbeiten (nicht mehr als notwendig))
 - entstehender Mehraufwand
- Um eine sehr gute Akzeptanz bei Fertigungsplanern und -leitern zu erhalten, ist eine ausführliche Information dieser über das Simulationsprojekt notwendig, sowie die Einbindung jener in die Simulationsstudie selbst. Diese Kommunikation ist eine wesentliche Voraussetzung für den endgültigen Projekterfolg.

Datenpool – Simulationsdatensammlung

Simulationseingangsdaten

Systemlastdaten	
Auftragseinlastung/Anlieferung	
Datum	Quelle
Regeln/Ablauf der Auftragszerzeugung und -einlastung	PML, SAP
Strategien/Sonderregeln der Auftragszerzeugung und -einlastung	PML, SME (Planer, Produktion)
Produktionsprogramm	PML, SAP
Lieferliste (Anliefertermine, Anliefergrößen)	SAP
Absatzlisten	SAP
Historiedaten (Menge, Bestellungen, MLFB)	SAP (Material Document List), SME (Planer FTQ)
Prognosedaten	LP (mittelfristig), PM (langfristig)
Produktdaten	
Datum	Quelle
MLFB	SAP (z.B. Infotool Dispo)
Varianten	SAP
Fertigungsvolumen pro Monat/Jahr etc. (Soll/Ist)	SAP (z.B. Infotool Dispo)
Verpackungsaspekte	SAP
Stückliste	SAP (Bill of Material List)
Losgrößen	SAP (z.B. Infotool Dispo)
Nacharbeit	SME (Produktion)
Ausschuss	SME (Produktion)
Arbeitsplan	SAP, Excel-Sheet "Grunddaten" --> SME (FTQ)
Organisationsdaten	
Produktionsorganisation	
Datum	Quelle
Produktionslayout	SME (Planer FTQ)
Schichten- und Pausenregelung	LiTab, SME, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
Produktionsstrategie	SME (LP) + Arbeitsplan
Sonderregeln der Produktion	SME (Produktion)
Produktionssteuerung	PML, SME
Bestell- und Liefervorgang (Kanbaninformationen, Absatzliste, Zielbestellungen)	SAP, SME (LP)
Störfallmanagement (DEE, MTTR, MTBF, geplante Stillstände, etc.)	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME (PC), rE
Mitarbeiter	
Datum	Quelle
Anzahl MA pro Arbeitsplatz	LiTab, SME
Bearbeitungszeit	SME
Effizienz	SME (z.B. Gruppenleiter Produktion)
Qualifikationen	SME (z.B. Gruppenleiter Produktion)
Verantwortlichkeiten	SME (z.B. Gruppenleiter Produktion)
Technische Daten	
Maschine	
Datum	Quelle
Taktzeit	LiTab, SME (Planer FTQ, ME)
geplanter Stillstand	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
geplante Pausen	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
organisatorische Pausen	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand"
Dimensionen	Layout (Planer FTQ)
Ausschuss, Nacharbeit	SAP, SME (Produktion, FTQ)
Rüstzeit	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME (FTQ)
Verfügbarkeit	LiTab, Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", SME
MTTR, MTBF	rE (aus Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", Blatt "Logbuch")
Produktkompatibilität (welche Produkte sind bearbeitbar auf Maschine :)	SME (Planer FTQ)
Sonder(bearbeitungs)regeln	SME (FTQ, ME)
Rüstlogik	SME (FTQ, LP, Produktion)
notwendige Puffer	SME (Planer FTQ, ME)

Lager	
Datum	Quelle
Dimensionen	Layout -> SME (Planer FTQ, LP)
Liegezeiten (Abkühlzeiten, Ölen der Magnete, etc.)	SME (z.B. Produktion)
Min/Max/Sicherheitsbestand	SME (z.B. LP)
Ein-, Auslagerstrategie	SME (z.B. LP)
Fördertechnik (z. B. Förderband)	
Datum	Quelle
Dimension	SME (ME)
Kapazität	SME (ME)
Geschwindigkeit	SME (ME)
Stauverhalten	SME, Beobachtung
Störverhalten	SME (Produktion), Excel-Sheet "Nutzung & Stillstand", LiTab
Sensoren	Maschinenlayout, SME (ME)
Fördermittel (z. B. Stapler)	
Datum	Quelle
Typ	SME (z.B. ELog)
Kapazität	SME (z.B. ELog)
Gesamtanzahl	SME (z.B. ELog)
Geschwindigkeit	SME (z.B. ELog)
Beschleunigung	SME (z.B. ELog)
Transportierbare Produkte	SME (z.B. ELog)
Störverhalten	SME (z.B. ELog)
Fahrwege	Layout, SME (ELog)
Abstellplätze	Layout
Strategie	SME (z.B. ELog)
Förderhilfsmittel (z. B. Werkstückträger, Container)	
Datum	Quelle
Kanbangrößen	SAP
Losgrößen	SAP, SME
Transportierbare Produkte	SAP
Typ	SAP
Gesamtanzahl	SAP
Kapazität	SAP
Zielort	SAP
Ursprung	SAP
Stapelfähigkeit/-schema	SME (z.B. Elog, LP, FTQ, SQA)
Betriebswirtschaftliche Daten	
Datum	Quelle
Maschinenstundensatz (z.B. auch Energieverbräuche)	SAP
MA Stundenlohn	SAP
Entlohnungsmodell	SME
Arbeitsplatzkosten	SAP
weitere fixe Kosten und variable Kosten	SAP

Tabelle 17: Datenpool – Simulationseingangsdaten (eigene Darstellung)

Simulationsergebnisdaten/KPI

Auslastung (in z.B. Summe Schichtanzahl)
Durchsatz
Bestände (Summe, je Variante, Umlaufvermögen)
Zeitverteilungen (Zeitanteil Warten, Blockiert, etc.)
Anzahl Rüstvorgänge
Termintreue (im Allgemeinen voraussetzbar)
Taktzeit
Durchlaufzeit

Legende	
FTQ	Factory Technology and Quality Assurance (Organisationseinheit I IA CD CC FTQ)
ELog	Eingangslogistik (Organisationsheinheit I IA CD CC Elog)
KPI	Key Performance Indicator
LiTab	Linien-Tagebuch-Auswertung
LP	Logistics Processes (Organisationseinheit I IA CD CC LP)
MA	Mitarbeiter/Werker/Operator
ME	Manufacturing Equipment (Organisationseinheit I IA CD CC ME)
PC	Production Control Components (Organisationseinheit I IA CD CC PC)
PML	Produktions-, Materialfluss und Lagersteuerung
rE	rechnerisch ermitteln
SAP	ERP (Enterprise Resource Planning)-System
SME	Subject-Matter Expert
SQA	Suppliers Quality Assurance (Organisationseinheit I IA CD CC SQA)

Tabelle 18: Datenpool – Simulationsergebnisdaten (eigene Darstellung)

Simulationsmodell Endmontage Schütz S00

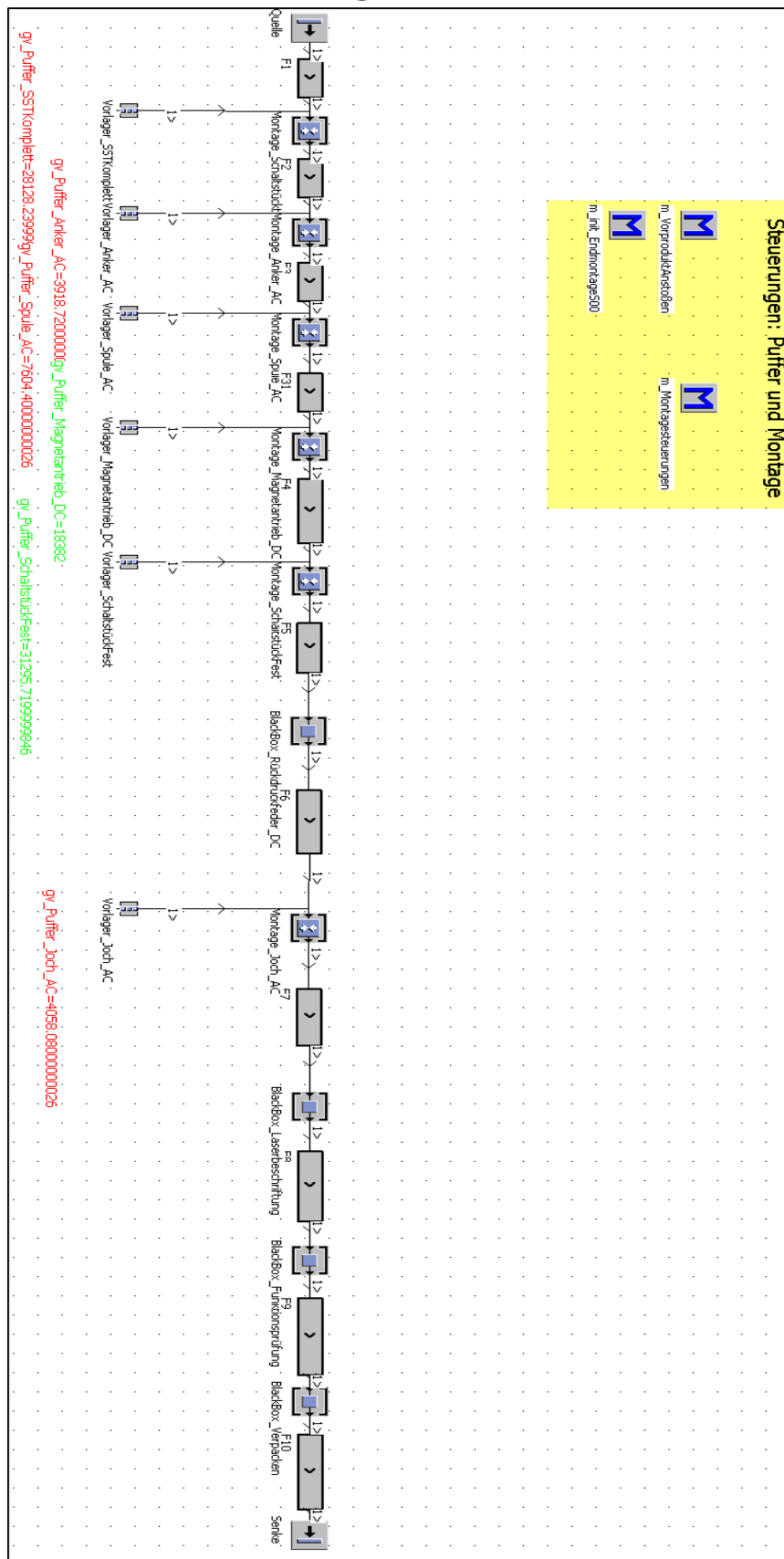


Abbildung 44: Simulationsmodell Endmontage Schütz S00 (eigene Darstellung)