

Masterarbeit

Methoden zur Vorab- Prozessvalidierung in der Lager- logistik

Emulation und Offline-Simulation: Einsatzmöglich-
keiten und Vorgehensmodell

eingereicht an der

Montanuniversität Leoben

erstellt am

Lehrstuhl Industrielogistik

Vorgelegt von:
Bettina PLANK
0735167

Betreuer/Gutachter:
Ass.-Prof. Dr. Susanne Altendorfer

Leoben, 27.05.2013

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.

Bettina Plank

Leoben, 27.05.2013

Danksagung

Ein herzliches Dankeschön geht an meine Familie, insbesondere an meine Eltern, die immer hinter mir gestanden sind und mir dieses Studium ermöglicht haben.

Ein besonderer Dank gilt auch meinen beiden Betreuern, Herrn DI David Pietzka, der mir dies Arbeit überhaupt ermöglicht hat und mir immer helfend zur Seite stand, sowie Frau Dr. Susanne Altendorfer, die auf jedes meiner Anliegen eine hilfreiche Antwort wusste.

Darüber hinaus möchte ich mich bei Frau Isabella Mayer bedanken, die mich mit ihrem Wissen bei dieser Arbeit unterstützt hat und jede meiner Fragen geduldig beantwortet hat. Auch bei meinem Onkel, Herrn Hubert Haingartner, möchte ich mich für die großartige und engagierte Mithilfe bei der Suche nach Ansprechpartnern bei verschiedensten Unternehmen bedanken.

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit sollen Einsatzmöglichkeiten, Voraussetzungen, Nutzen und Einschränkungen für Simulation und Emulation als Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung bei der Errichtung neuer Lageranlagen ermittelt werden. Hierbei sollen insbesondere die unterschiedlichen Sichtweisen von Auftraggeber und System Provider berücksichtigt werden. Als Grundlage dazu werden Fallstudien über den Einsatz von Simulation und Emulation herangezogen. Darüber hinaus werden Befragungen bei renommierten, österreichischen Unternehmen über den Einsatz von Simulation und Emulation bzw. das Thema Vorab-Prozessvalidierung durchgeführt.

Basierend auf diesen Informationen wird im zweiten Teil der Arbeit ein Vorgehensmodell über den Einsatz von Emulationen zur Vorab-Prozessvalidierung entwickelt.

Abstract

The general objective of this thesis is to investigate on the fields of application, requirements, benefits and constraints of simulation and emulation, which shall be used as a mean of pre-validation when developing and implementing new storage facilities. Therefore it is especially important to distinguish between the different views of the system provider on the one hand and the customer on the other hand. To achieve this general objective, case studies about the concrete use of simulation and emulation will be analyzed. Furthermore surveys concerning the use of these methods in Austrian companies will be executed.

All the gained information will serve as a basis for the development of a procedure model about the concrete and efficient execution of emulations.

Inhaltsverzeichnis

<i>Eidesstattliche Erklärung</i>	<i>I</i>
<i>Danksagung</i>	<i>II</i>
<i>Kurzfassung</i>	<i>III</i>
<i>Abstract</i>	<i>IV</i>
<i>Inhaltsverzeichnis</i>	<i>V</i>
<i>Abbildungsverzeichnis</i>	<i>VIII</i>
<i>Tabellenverzeichnis</i>	<i>IX</i>
<i>Abkürzungsverzeichnis</i>	<i>X</i>
1 Einleitung und Ziel der Arbeit	1
2 Lagerlogistik	3
2.1 Steuerungs- und Kontrollsysteme in der Lagerlogistik	3
2.1.1 Begriffsabgrenzung: Steuerungssystem - Basissystem	3
2.1.2 Steuerungssysteme in der Lagerindustrie	4
2.2 Herausforderungen und Besonderheiten in der Lagerlogistik (bei der Errichtung neuer Produktionsanlagen)	7
3 Management von Software-Projekten in der Lagerlogistik	10
3.1 Literaturrecherche: Management von Software-Projekten	10
3.1.1 Vorgehensweise zum Management von Softwareprojekten nach Moll et al. (2004).....	10
3.1.2 Vorgehensweise zum Management von Softwareprojekten nach Feyhl. (2004).....	11
3.1.3 Vorgehensweise zur Einführung eines WMS nach Ten Hompel et al. (2010)	13
3.2 Management von Software-Projekten bei der Errichtung neuer Lageranlagen aus der Sicht des System Providers	17
4 Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik	21
4.1 Warum ist Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik notwendig?	21
4.2 Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik	22
4.2.1 Übersicht.....	22
4.2.2 Offline-Simulation und Emulation	24
4.2.2.1 Offline-Simulation	24
Einsatzgebiete von Simulationen	26
Simulationswerkzeuge	27
4.2.2.2 Emulation	30
Generelle Einsatzgebiete von Emulationen	30
Komponenten einer Emulation.....	31
4.2.2.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Offline-Simulation und Emulation.....	33
Gemeinsamkeiten	33

Unterschiede.....	33
5 Verwendung von Simulation und Emulation in der Logistik.....	35
5.1 Ergebnisse der Unternehmensbefragungen.....	36
5.2 Fallstudien über den Einsatz von Emulationen.....	39
5.2.1 Modernisierung eines automatisierten Materialflusssystem in der Lebensmittelproduktion.....	39
5.2.2 Erweiterter Einsatz von Simulation beim Testen von Steuerungssystemen für fahrerlose Transportsysteme und automatisierten Materialflusssystemen	42
5.2.3 Analyse der Fallstudien.....	44
5.3 Einsatzmöglichkeiten und Voraussetzungen für den Einsatz von Simulation und Emulation.....	45
5.3.1 Einsatzmöglichkeiten von Simulation	45
Einsatz in der Planungsphase	45
Einsatz in der Implementierungsphase	46
5.3.1.2 Nutzen und Einschränkungen beim Einsatz von Simulation	47
Ausgewählte Nutzenaspekte aus der Sicht des System Providers.....	47
Ausgewählte Nutzenaspekte aus der Sicht des Auftraggebers	48
5.3.2 Einsatzmöglichkeiten von Emulation	49
5.3.3 Wichtige Aspekte, Voraussetzungen und Einschränkungen beim Einsatz von Emulation ..	53
5.3.3.1 Ursache-Wirkungs-Diagramm: Analyse der Einflussfaktoren auf die Funktionalität des Gesamtsystems.....	53
5.3.3.2 Folgerung: Einschränkungen beim Einsatz von Emulation	55
5.3.3.3 Voraussetzungen für die praktische Durchführung von Emulationen	58
5.4 Nutzen durch den Einsatz von Emulation.....	59
5.4.1 Nutzen durch den Einsatz von Emulationen - Sicht des System Providers.....	60
Fehlerfindungsprozess und Testumfang	60
Testumgebung	61
Sicherstellung der Leistung und Überprüfung der Kundenwünsche	61
Image, Kundenzufriedenheit und Wettbewerbsfähigkeit	62
Ressourceninanspruchnahme.....	63
Weitere Potentiale für den Einsatz von Emulationen.....	63
Kosten und Zeit.....	64
Beispiel: Planungsfehler Basissystem	65
5.4.2 Nutzen durch den Einsatz von Emulationen - Sicht des Auftraggebers.....	67
Frühestmögliche Sicherstellung der Leistung und Risikosenkung	67
Testumgebung	67
Kosten und Zeit.....	67
Weitere Potentiale für den Einsatz von Emulation	68
6 Vorgehensmodell für den Einsatz von Emulationen in der Lagerlogistik.....	69
6.1 Analyse der Erfahrungen aus bisherigen Projekten.....	71
6.2 Auswahl Simulations- bzw. Emulationswerkzeug.....	71
6.2.1 Anforderungen an das Simulationswerkzeug	72
6.2.2 Generelle Anforderungen an Emulationen.....	75
6.3 Einsatz von Simulation zur Entwicklung des optimalen Layouts	76
6.4 Erstellung von Testplänen	76

6.5 Erstellung individueller Emulationsmodelle	78
6.6 Durchführung der Emulation	78
6.7 Durchführung von Schulungen	79
6.8 Erfahrungssicherung und Analyse	79
6.9 Modellanpassung und abschließendes Testen	80
<i>7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick.....</i>	<i>81</i>
7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse	81
7.2 Ausblick.....	83
<i>8 Anhang.....</i>	<i>84</i>
<i>9 Quellenverzeichnis</i>	<i>87</i>

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zusammenhang Steuerungssystem - Basissystem	4
Abbildung 2: Ebenenmodell für die Materialflusssteuerung nach VDMA 15276	4
Abbildung 3: Lebenszyklus von Software-Projekten	11
Abbildung 4: Phasenmodell - Beispiel für ein Vorgehensmodell zur Abwicklung von Software-Projekten	12
Abbildung 5: Projektmodell Success	12
Abbildung 6: Projektablauf bei einer WMS-Einführung	14
Abbildung 7: Projektablauf bei der Errichtung neuer Lageranlagen	17
Abbildung 8: Planungs- und Umsetzungsphase	18
Abbildung 9: Implementierungsphase	19
Abbildung 10: Methoden zur Analyse komplexer Systeme	22
Abbildung 11: Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung	23
Abbildung 12: Durchführung einer Simulationsstudie	25
Abbildung 13: Simulationsmethoden	26
Abbildung 14: Einsatzmöglichkeiten von Simulation in der Logistik	27
Abbildung 15: Übersicht über Simulationswerkzeuge	28
Abbildung 16: Beispiele für Simulationswerkzeuge	28
Abbildung 17: Grundprinzip der Emulation	30
Abbildung 18: Komponenten einer Emulation	31
Abbildung 19: Schritte zur Durchführung einer Emulation mit dem ARIDA-Emulationstool	32
Abbildung 20: Testen mithilfe von Simulation, Emulation und Prototypen	43
Abbildung 21: Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Errichtung neuer Anlagen	50
Abbildung 22: Vorgehensweise zur Nutzung der Leerzeit	50
Abbildung 23: Einflussfaktoren auf die Funktionalität bzw. Leistung des Gesamtsystems	53
Abbildung 24: Vergleich von Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung	56
Abbildung 25: Relevante Faktoren für den Projekterfolg aus der Sicht des System Providers	59
Abbildung 26: Änderungsmöglichkeiten und Änderungskosten	62
Abbildung 27: Vergleich von Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung	64
Abbildung 28: Zeitersparnis bei der Durchführung einer Änderung	65
Abbildung 29: Aufgabenverteilung Emulation	70

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation bei der Errichtung neuer Anlagen.....	52
Tabelle 2: Voraussetzungen für den Einsatz von Emulation.....	58
Tabelle 3: Nutzen aus der Sicht des System Providers im Projektablauf	81
Tabelle 4: Nutzen aus der Sicht des Auftraggebers im Projektablauf	82

Abkürzungsverzeichnis

bzw.	beziehungsweise
d. h.	das heißt
ERP.....	Enterprise Resource Planning
et. al.	et. alii
etc.	et cetera
ff.	folgende Seiten
Herv. d. Verf.	Hervorhebung des Verfassers
Hrsg.	Herausgeber
MIS.....	Managementinformationssystem
MFR	Materialflussrechner
S.	Seite
SPS.....	Speicherprogrammierbare Steuerung
u. a.	unter anderem
Vgl.	vergleiche
WMS	Warehouse Management System
WCS.....	Warehouse Control System
WWS.....	Warenwirtschaftssystem
z. B.	zum Beispiel
zit. nach.....	zitiert nach

1 Einleitung und Ziel der Arbeit

Die Errichtung eines neuen Distributionslagers ist ein umfangreiches Projekt, für dessen erfolgreiche Umsetzung verschiedene Faktoren erfüllt sein müssen. Mögliche relevante Faktoren sind unter anderem die folgenden:

- Zeit - die Umsetzung der definierten Aktivitäten im dafür vorgesehenen Zeitrahmen
- Ressourceneinsatz - die Umsetzung der definierten Aktivitäten mit den dafür zur Verfügung gestellten Ressourcen
- Kundenzufriedenheit - die Umsetzung des Projektes bzw. die Errichtung des Lagers nach den Vorstellungen des Kunden
- Qualität der Ergebnisse bzw. Projekterfolg - die Erfüllung bzw. Übereinstimmung der Ergebnisse mit den Projektzielen

All diese Faktoren wirken sich wiederum auf die Kosten aus. Eine Überschreitung des vorgesehenen Zeitrahmens beispielsweise würde zur vermehrten Inanspruchnahme von Ressourcen und damit zu zusätzlichen, ungeplanten Kosten führen. Darüber hinaus ist Kundenzufriedenheit wichtig für ein gutes Image des Unternehmens und damit auch für den Erhalt weiterer Aufträge.

Aus diesen Gründen ist es wichtig, Maßnahmen zur Gewährleistung der geplanten Umsetzung des Projektes, das heißt in der geplanten Zeit, zu geplanten Kosten, mit den geplanten Ressourcen, zu treffen.

Ziel dieser Arbeit ist es nun, die Einsatzmöglichkeiten von Simulation sowie insbesondere Emulation zur Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerindustrie bei der Errichtung neuer Anlagen zu evaluieren. Konkret geht es um die Beantwortung folgender Frage:

Ist der Einsatz von Simulation bzw. insbesondere von Emulation zur Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerindustrie bei der Errichtung neuer Anlagen zweckmäßig zur Sicherstellung des Projekterfolges?

Dies bedingt die Beantwortung folgender Subfragen:

- *In welchen Projektphasen können Simulation bzw. Emulation zu welchem Zweck eingesetzt werden?*
- *Welcher Nutzen und welche Einschränkungen entstehen daraus für Auftraggeber und System Provider?*
- *Wie wirken sich diese Aspekte auf den Projekterfolg aus?*
- *Welche Voraussetzungen müssen für den Einsatz von Emulation erfüllt sein?*

Besonders wichtig für diese Arbeit, sind die unterschiedlichen Sichtweisen aus denen das Thema betrachtet werden soll. Einerseits die Sichtweise des System Providers und andererseits die Sichtweise des Auftraggebers. Besonders bei der Ermittlung des Nutzens von Simulation und Emulation ist diese Unterscheidung von Bedeutung.

Als weiteres Ziel soll in einem praktischen Ansatz ein Vorgehensmodell zur Durchführung einer Emulation in der Lagerlogistik bei der Errichtung einer neuen Anlage, mit Anforderungen an Emulationsprogramm und Simulationswerkzeug, entwickelt werden.

Vorgehensweise

Um diese Ziele zu erreichen, wird zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Diese beinhaltet unter anderem die Ermittlung von Informationen hinsichtlich des Einsatzes von Steuerungs- und Kontrollsystemen in Lägern, Herausforderungen in der Lagerlogistik bei der Errichtung neuer Anlagen, das Management von Software-Projekten, sowie generell Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung in der Logistik. Die Literaturlauswahl erfolgt nach Vergleich der Inhalte mit denen anderer Literaturwerke. Eine besonders wichtige Quelle für Literatur zum Thema Simulation und Emulation stellen die Tagungsberichte der jährlich stattfindenden "Winter Simulation Conference" [Herv. d. Verf.] dar. Die Ergebnisse der Literaturrecherche umfassen die Kapitel eins bis vier.

Zur weiteren Unterstützung werden Fallstudien und Best-Practice Beispiele von Unternehmen im Bereich Anlagenbau, Automobilindustrie sowie Energieanlagenbau herangezogen. Diese Best-Practice Beispiele werden durch Unternehmensbefragungen mithilfe von Fragebögen sowie persönlichen Interviews ermittelt.

Basierend auf den gewonnenen Informationen werden anschließend die Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation ermittelt. Darüber hinaus werden potentielle Vorteile, Voraussetzungen und Grenzen des Einsatzes beider Methoden erarbeitet. All dies ist der Inhalt des fünften Kapitels.

Kapitel sechs beinhaltet die Erstellung einer Vorgangsweise für die Durchführung von Emulationen. Wesentlich ist hierbei die Erarbeitung von Zielen an die Software-Entwicklung - Anforderungen an die Emulation sowie an das Simulationswerkzeug, sowie die Beschreibung der Aufgaben des System Providers und des Auftraggebers. Alle zuvor gewonnenen Informationen bilden dazu eine wichtige Grundlage.

Im letzten Kapitel werden die wichtigsten Ergebnisse noch einmal kurz und übersichtlich zusammengefasst. Darüber hinaus wird ein Ausblick über weitere, im Zusammenhang mit Simulation und Emulation forschungsrelevante Themen angeführt.

2 Lagerlogistik

Das Thema Lagerlogistik kann aus verschiedenen Sichtweisen betrachtet werden:

- Aus der Sicht des Lagerbetreibers, wo es darum geht die Standardprozesse Wareneingang, Wiederauffüllung/Einlagerung, Kommissionierung, Versand, Serviceleistungen und Retourenabwicklung optimal zu gestalten und abzuwickeln.
- Aus der Sicht des Systemproviders, wo es um die optimale Abwicklung von Prozessen zur Errichtung neuer Lager geht.

Für diese Arbeit sind vor allem Aspekte hinsichtlich der Errichtung neuer Anlagen, das heißt die Sicht des Lagerherstellers, von Bedeutung. Dies beinhaltet auch Elemente des Projektmanagements, da die Errichtung einer neuen Anlage meist als Projekt abgewickelt wird. Die generelle Vorgehensweise bei der Errichtung neuer Anlagen sowie insbesondere das Management von Software-Projekten - da die Errichtung eines neuen Lagers auch die Einführung von Softwaresystemen beinhaltet - werden im dritten Kapitel näher behandelt.

Ziel dieses Kapitels ist es, für diese Arbeit grundlegende Aspekte der Lagerlogistik zu erfassen. Ein besonderes Augenmerk liegt hierbei auf dem Punkt Lagerverwaltungssysteme bzw. Steuerungs- und Kontrollsysteme in der Lagerlogistik, da diese neben den einzelnen Materialflusselementen wichtige Bestandteile von Lagern sind. Zusätzlich sollen in diesem Kapitel wichtige Charakteristiken der Lagerlogistik bei der Errichtung neuer Anlagen erfasst werden.

2.1 Steuerungs- und Kontrollsysteme in der Lagerlogistik

2.1.1 Begriffsabgrenzung: Steuerungssystem - Basissystem

Bei Materialflusssystemen, wie zum Beispiel einem Produktionssystem, wird grundsätzlich zwischen Basissystem und Steuerungssystem unterschieden, wobei das Basissystem aus den vorhandenen Ressourcen gebildet wird.¹ Ein Produktionssystem besteht somit zum einen aus den physischen Materialflusselementen und Ressourcen, die beispielsweise der Beförderung oder Bearbeitung von Produkten, Rohstoffen, Halbfabrikaten usw. dienen. Zum anderen bestehen Produktionssysteme aus einem Steuerungssystem, welches die durchzuführenden Prozesse steuert und überwacht. Auch in einem Lager kann diese Unterscheidung getroffen werden: Es gibt einerseits das Materialflusssystem mit den entsprechenden Materialflusselementen zur Lagerung und Beförderung von Objekten, und andererseits ein Lagerverwaltungssystem bzw. Steuerungssystem, mit dem das Materialflusssystem gesteuert wird. Somit ist die Aufteilung in Basissystem und Steuerungssystem auch auf die Lagerlogistik übertragbar.

Versteegt und Verbraeck (2002) unterscheiden in ihrer Arbeit die beiden Begriffe "control system" [Herv. d. Verf.] - also das Steuerungssystem - und "system being controlled" [Herv. d. Verf.] - das zu steuernde System. Als Beispiel für ein zu steuerndes System werden fahrerlose Transportsysteme angeführt. Steuerungssysteme existieren auf verschiedenen Ebenen. So gibt es Steuerungssysteme für einzelne oder auch solche für eine Gruppe Fahrerlo-

¹ Vgl. Mönch, L. (2006), S. 2

ser Transportsysteme. Steuerungssysteme versuchen, die zu steuernden Systeme zu beeinflussen. Dies funktioniert jedoch nicht immer.²

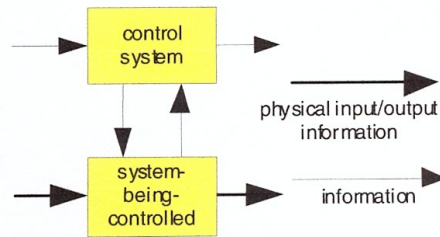


Abbildung 1: Zusammenhang Steuerungssystem - Basissystem³

Beide Unterscheidungen - das heißt die Unterscheidung von Steuerungssystem und zu steuerndem System sowie Steuerungssystem und Basissystem - stimmen grundsätzlich überein und machen die Unterschiede der beiden Systeme deutlich. In dieser Arbeit wird nun weiter mit den Begriffen Steuerungssystem und Basissystem gearbeitet, wobei auf beide Begriffe auch die von Versteegt und Verbraeck gewählte Begriffsabgrenzung zutrifft.

2.1.2 Steuerungssysteme in der Lagerindustrie

In der Lagerlogistik werden Steuer- bzw. Kontrollsysteme auf verschiedensten Ebenen für verschiedenste Zwecke eingesetzt. Die einzelnen Ebenen sind in folgender Grafik dargestellt:

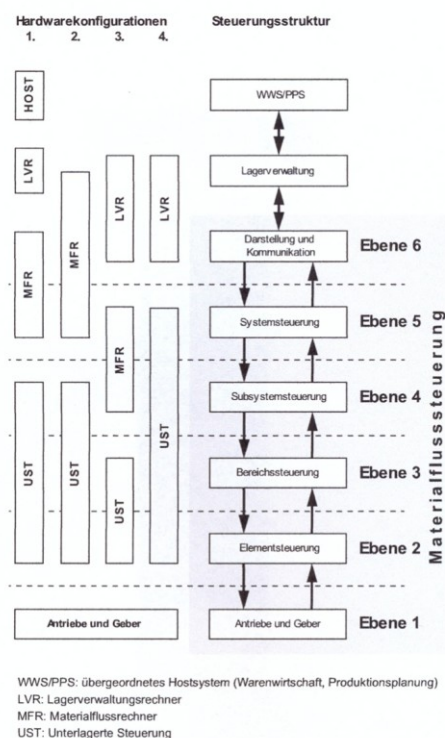


Abbildung 2: Ebenenmodell für die Materialflusssteuerung nach VDMA 15276⁴

² Vgl. Versteegt, C.; Verbraeck, A. (2002), S. 1659

³ Quelle: Versteegt, C. et al. (2002), S. 1659

⁴ Quelle: Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 163

Unterhalb der Lagerverwaltungsebene, in der Auftragserfassung, -disposition und Bestandsverwaltung erfolgen, werden sechs Ebenen der Materialflusssteuerung unterschieden. Zwischen den jeweiligen Ebenen erfolgt der Informationsaustausch.⁵

- **Ebene 6: Darstellung und Kommunikation**
In dieser Ebene, welche die Schnittstelle zum WMS darstellt, werden Transportanforderungen übernommen und mit zusätzlichen Informationen (z. B. Systemkoordinaten) weiter an untergelagerte Systeme übermittelt. Zusätzlich erfolgt in dieser Ebene die Meldung von Auftragsvollzugs- oder Störinformationen an das WMS. Auch die Anlagenbedienung, die Visualisierung des Anlagenzustandes und die Protokollierung der Abläufe erfolgen in dieser Ebene. Hierfür werden meist Materialflussrechner eingesetzt.
- **Ebene 5: Systemsteuerung**
In dieser Ebene erfolgt die zentrale Steuerung aller Transportvorgänge. Auch Transportstrategien werden hier eingesetzt, um eine optimale Auslastung zu gewährleisten. Schließlich werden die Transportaufträge durch Weitergabe an die jeweiligen Subsystemsteuerungen auf die entsprechenden Fördersysteme verteilt.
- **Ebene 4: Subsystemsteuerung**
In dieser Ebene erfolgt die dezentrale Steuerung aller Operationen abgeschlossener Teilsysteme (z. B. von Fahrerlosen Transportsystemen). Industrie-PCs oder Speicherprogrammierbare Steuerungen stellen Möglichkeiten zur Realisierung dieser Steuerungen dar.
- **Ebene 3: Bereichssteuerung**
Diese Ebene ist vorhanden, wenn Subsystemsteuerungen in funktionale Bereiche unterteilt sind, in welchen beispielsweise Fördermittel durch eigene Bereichssteuerungen kontrolliert werden (z. B. Abschnitt einer Förderstrecke). Aufgabe der Bereichssteuerung ist die Platzbelegung auf den Fördermitteln.
- **Ebene 2: Elementsteuerung**
Die Elementsteuerung dient der Steuerung von Antrieben einer Fördermittelkomponente. Die Ausführung ist entweder als Bestandteil der Bereichssteuerung oder auch als Mikrocontroller möglich.
- **Ebene 1: Antriebe und Geber**
Diese sind die Schnittstelle zwischen Materialflusssteuerung und Materialflussebene. Durch Sensoren werden beispielsweise Informationen an die nächsthöhere Ebene weitergegeben.

Relevant für diese Arbeit sind jedoch keine Steuerungsmechanismen einzelner Maschinen (Ebene der Antriebe und Geber bzw. Elementsteuerungen), sondern übergeordnete Lagerverwaltungssysteme, welche die Auftragsausführung steuern und für die optimale Abwicklung von Lagerprozessen zuständig sind. Das heißt, dass vor allem die Ebenen Darstellung und Kommunikation sowie die Systemsteuerung interessant sind.

⁵ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 162-165

Die in diesen Ebenen auszuführenden Aufgaben werden durch verschiedene Steuerungs- bzw. Lagerverwaltungssysteme umgesetzt. Dazu zählen unter anderem folgende:⁶

- **Warehouse Managementsysteme (WMS)**

Reine Lagerverwaltungssysteme dienen in erster Linie der Verwaltung von Beständen und Lagerorten. WMS hingegen werden zur Steuerung, Kontrolle, Führung und Optimierung komplexerer Lagersysteme eingesetzt. Abgesehen von Aufgaben wie Mengen- und Lagerplatzverwaltung oder Fördermittelsteuerung und -disposition stellen WMS auch Betriebs- und Optimierungsstrategien oder Möglichkeiten zur umfassenden Kontrolle von Systemzuständen zur Verfügung. WMS sind übergeordnete Systeme, die mit anderen Materialflusssystemen verknüpft sind.

Es gibt verschiedene WMS, die sich nach Funktionalität, Schnittstellen, erforderlicher Hardware, benötigten Betriebssystemen sowie Bedienkonzepten und Investitionskosten unterscheiden. Die Festlegung auf ein WMS bedeutet meist eine langfristige Bindung an den Hersteller.⁷

- **Warehouse Control Systeme (WCS)**

Ein WCS ist ein "dem Warehouse Management unterlagertes Rechnersystem zur Steuerung (automatisierter) Materialflusssysteme".⁸ Es ist mit Materialflussrechnern vergleichbar und kontrolliert Quell-Ziel-Beziehungen.

Ein WCS ist somit eine Schnittstelle zwischen dem WMS und automatisierten Subsystemen. Mit ihnen werden Transportaufträge abgewickelt. Darüber hinaus dient ein WCS unter anderem der Durchführung und Optimierung von Transport- und Kommissionieraktivitäten, der Auftragsverfolgung sowie als Informationssystem für Lagerarbeiter.

- **Materialflussrechner (MFR)**

Diese koordinieren bzw. optimieren beispielsweise Auftragsreihenfolgen und kontrollieren Quell-Ziel-Beziehungen von Aufträgen oder Prozessen.

- **Warenwirtschaftssysteme (WWS, ERP)**

Sie haben die Erfassung und Verfolgung von Bedarfs- und Mengenströmen, das heißt generell Bestellwesen, Warenvorhaltung und Verkauf zur Aufgabe.

- **Managementinformationssysteme (MIS)**

Managementinformationssysteme sind oft Bestandteile eines WWS. Sie unterstützen bei der Vorbereitung von Managemententscheidungen.

- **Enterprise Resource Planning Systeme (ERP)**

Enterprise Resource Planning Systeme werden zur Planung und Koordination unternehmerischer Aufgaben, mit dem Ziel des effizienten Ressourceneinsatzes, eingesetzt.

⁶ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 8 ff.

⁷ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 349

⁸ Ten Hompel, M. et al. (2011), S. 339

Mithilfe von ERP-Systemen, welche durch zentralisierte Stammdatenverwaltung gekennzeichnet sind, werden Anwendungsmodule der Bereiche Materialwirtschaft, Produktion, Finanz- und Rechnungswesen, Controlling, Personalmanagement, Forschung und Entwicklung sowie Verkauf und Marketing miteinander verknüpft.⁹

- **Produktionsplanungs- und Steuerungssysteme (PPS)**

Produktionsplanungs- und -steuerungssysteme dienen einerseits der mittelfristig-taktischen Produktionsplanung und andererseits der kurzfristig-operativen Produktionssteuerung sowie Auftragskontrolle. Zumeist besteht ein PPS aus folgenden grundlegenden Funktionalitäten: Produktionsprogrammplanung, Fertigungsprogrammplanung, Werkstattfertigung (Unterstützung von Steuerungsaufgaben in Werkstätten), Systemsteuerung (Steuerung auf Maschinenebene).¹⁰

2.2 Herausforderungen und Besonderheiten in der Lagerlogistik (bei der Errichtung neuer Produktionsanlagen)

Ziel dieses Kapitels ist es, die Herausforderungen und Besonderheiten der Lagerlogistik bei der Errichtung neuer Produktionsanlagen aus Sicht des Lagerherstellers zu erarbeiten. Diese sollen als Grundlage für die Ermittlung der Notwendigkeit zur Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerindustrie dienen.

- Internationalität

Ein wichtiges Kennzeichen der Lagerlogistik - aus Sicht des Lagerherstellers - ist die Internationalität der Branche. Betrachtet man beispielsweise die Kundenstruktur der Unternehmen KNAPP Systemintegration oder SSI Schäfer, so ist ersichtlich, dass ein Großteil der Kunden auf dem internationalen Markt - von Deutschland bis Brasilien - zu finden sind.¹¹

Diese Kunden müssen, vor allem während der Inbetriebnahme und Abnahme der Anlage, optimal und vor Ort betreut werden. Aus dieser Tatsache lässt sich schließen, dass auch das Thema Reisekosten in dieser Branche eine wichtige Rolle spielt. Je mehr Zeit die Mitarbeiter im Ausland für die Betreuung des Kunden aufwenden müssen, desto höher sind die Kosten. Die effiziente Abwicklung der durchzuführenden Prozesse vor Ort beim Kunden, vor allem im Ausland, ist somit von großer Bedeutung.

- Software-Projektentwicklung

Da die Errichtung neuer Lageranlagen meist auch die Entwicklung eines Lagermanagementsystems beinhaltet, können Projekte die, die Errichtung eines neuen Lagers zum Ziel haben,

⁹ Vgl. Zsifkovits, H. (2013), S. 268

¹⁰ Vgl. Zsifkovits, H. (2013), S. 170

¹¹ KNAPP AG, URL: <http://www.knapp.com/Anzag?sid=9b4ed92b2b7c737298d3e8eda601701b>, Stand 05.02.2013

dem Bereich Software-Projektmanagement zugeordnet werden. Die grundlegende Vorgehensweise zur Abwicklung von Software-Projekten wird im folgenden Kapitel erarbeitet.

Bestimmte Charakteristiken und Herausforderungen treten häufig im Bereich IT-Projektmanagement auf. Krcmar (2003) führt diesbezüglich in seiner Arbeit die folgenden Punkte an:¹²

- Immaterialität von Software: Aufgrund der Immaterialität von Software lässt sich der Projektfortschritt oft erst in der Realisierungsphase, nachdem Testergebnisse vorliegen, exakt messen.
- Einmaligkeit großer Anwendungsprojekte: Aufgrund dieses Faktors ist der Rückgriff auf bewährte Konzepte im Bereich IT-Projektmanagement eher schwierig.
- Fehlendes Verständnis der Anwendungsentwicklung: Die Anwendungsentwicklung ist mit ungefähr 30 Jahren eine sehr junge Branche. Demnach existiert noch keine klare, stabile Basis dieses Faches. Es gibt verschiedenste Modellierungskonzepte und permanente Änderungen in diesem Bereich.

Wieczorrek und Mertens (2007) führen darüber hinaus noch folgende Aspekte an:¹³

- Anfälligkeit gegenüber Mitarbeiterwechsel: Da vor allem in der Realisierungsphase der Wissenstand einzelner Mitarbeiter sehr speziell ist, ist der Ausfall solch kompetenter Mitarbeiter oft nicht zu kompensieren, auch wenn Vorkehrungen (z. B. projektbegleitende Dokumentationen) getroffen werden. Die diesbezüglichen Risiken steigen überproportional mit der Projektdauer. Somit ist es empfehlenswert, während des Projektes Personalvariationen so weit wie möglich zu vermeiden.

Auch die Durchführung von Aufwandschätzungen ist im Bereich IT-Projektmanagement aufgrund des Projektumfangs und der Komplexität zur Gewährleistung einer koordinierten Projektabwicklung von großer Bedeutung:¹⁴

- Aufwandschätzung stellen eine wichtige Basis zur Planung von IT-Projekten dar. Dabei werden unter anderem Aufwand, Kosten, Termine und Dauer geschätzt. Vor allem Erfahrungen aus vergangenen, ähnlichen Projekten werden dazu genutzt. Je mehr Schätzerfahrung vorhanden ist, desto genauer werden die Schätzungen. Das Ergebnis einer Aufwandsschätzung sind "Planzahlen, deren Einhaltung in kontinuierlichem Tracking verfolgt werden kann". Diese Schätzungen können im Laufe des Projektes jedoch angepasst werden. Es gibt Tools zur Durchführung von Aufwandsschätzungen sowie spezielle Methoden (z. B. Kennzahlenmethode) und Verfahren (z. B. Function-Point-Verfahren), die unterstützend herangezogen werden können.

¹² Vgl. Wieczorrek, H. et al. (2007), S. 244 zit. nach Krcmar, H. (2003)

¹³ Vgl. Wieczorrek, H. et al. (2007), S. 244

¹⁴ Vgl. Bundschuh, M et al. (2004), S. 23-27

- Individualität

Kein Lager gleicht exakt einem anderen, da jedes andere Bestandteile (Materialflussobjekte, Steuerungssysteme), jeder Standort seine eigenen Besonderheiten und jedes Lager seinen eigenen Zweck hat. Demzufolge ist es nicht zulässig, rein aus der erfolgreichen Anwendung eines Systems oder einer Technologie in einem Lager zu schließen, dass diese auch in einem anderen Lager - in einer anderen Situation - erfolgreich und zielbringend sein wird. Um die Funktionalität und die Leistung eines Systems bzw. einer Technologie gewährleisten zu können, ist es somit notwendig, diese auf die jeweilige Situation bezogen zu testen, auch wenn das entsprechende Objekt bereits in einem anderen Lager erfolgreich eingesetzt wurde.

Auf der Ebene des Projektmanagements wird im Bereich des IT-Projektmanagements oft mit (standardisierten) Vorgehensmodellen gearbeitet, welche die groben Schritte zur Durchführung eines IT-Projektes vorgeben. Durch die Anwendung von "Tailoring" [Herv. d. Verf.], das heißt es ist von Projekt zu Projekt zu entscheiden, welche Phasen, Schritten und Aktivitäten durchzuführen sind und welche nicht, bekommt jedoch jedes Projekt seine eigenen Besonderheiten.¹⁵

- Generell hoher Automatisierungsgrad

Wenn die Frage gestellt wird, wie die Systemleistung in Lägern oder die Qualität von Lagerprozessen erhöht oder sichergestellt werden kann, so ist Automation eine mögliche Antwort.¹⁶ Ein höherer Automatisierungsgrad führt dazu, dass mehr Maschinen und Anlagenteile getestet werden müssen. Darüber hinaus müssen mehr Komponenten in das Steuerungssystem bzw. in das Gesamtsystem integriert werden. Durch die höhere Komplexität des Systems existieren auch mehr potentielle Fehlerquellen.

- Hohe Durchlaufzeiten

Die Einführung eines WMS dauert durchschnittlich 9 Monate.¹⁷ Dazu kommt noch die Zeit, die für die Planung und Realisierung der gesamten Anlagen, das heißt auch des physischen Basissystems, benötigt wird. Demzufolge sind die Durchlaufzeiten bei der Errichtung neuer Lageranlagen sehr hoch.

Wird beispielsweise im Rahmen der Implementierungsphase festgestellt, dass eine Änderung am System notwendig ist, so kann dies nicht von heute auf morgen erfolgen. Änderungen müssen zunächst geplant und anschließend validiert werden. Die Umsetzung von Änderungen nimmt somit eine gewisse Zeitdauer in Anspruch, die zu Projektverzögerungen bzw. zu einem vermehrten Ressourceneinsatz führen können. Die Internationalität von Projekten kommt hierbei noch als erschwerender Faktor dazu.

¹⁵ Vgl. Wieczorrek, H et al. (2007), S. 53

¹⁶ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 157

¹⁷ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 323 zit. nach Internationale Marktstudie WMS, <http://www.warehouse-logistics.com>

3 Management von Software-Projekten in der Lagerlogistik

Die Tatsache, dass die Errichtung einer neuen Anlage in der Lagerlogistik neben dem physischen Basissystem auch die Einführung eines softwaregestützten Steuerungssystems beinhaltet, bedeutet, dass die Projektabwicklung dem Thema "Software-Projektmanagement" [Herv. d. Verf.] zuzuordnen ist. Ziel dieses Kapitels ist es nun, die einzelnen Phasen für die Abwicklung eines solchen Projektes zu ermitteln. Dies ist die Grundlage für die Analyse der Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation in der Lagerlogistik.

3.1 Literaturrecherche: Management von Software-Projekten

Um eine allgemein gültige Vorgehensweise für das Management von Software-Projekten erarbeiten zu können, wird diesbezüglich zunächst eine Literaturrecherche durchgeführt. Anschließend werden die in verschiedenen Literaturwerken dargestellten Ansätze zur Software-Projektabwicklung verglichen. Durch Befragung von im Software-Projektmanagement tätigen Unternehmen wird die daraus erstellte Vorgehensweise (Kapitel 3.2) durch praktische Aspekte ergänzt.

3.1.1 Vorgehensweise zum Management von Softwareprojekten nach Moll et al. (2004)

Karl-Rudolf Moll et al. (2004) stellen in ihrer Arbeit einen Lebenszyklus vor, der sich an der ISO-Norm 12207 zum Thema "Information Technology Software Life Cycle Processes" [Herv. d. Verf.] orientiert.

Die Aufnahme der vorgestellten Vorgehensweise zur Abwicklung von Softwareprojekten in diese Arbeit schien vor allem auch deshalb zweckmäßig, weil sie auf von der "Standish Group" [Herv. d. Verf.] durchgeführten Umfragen zum Thema "Erfolgsfaktoren bei der Abwicklung von Softwareprojekten" [Herv. d. Verf.] basiert.

Zu diesen Erfolgsfaktoren zählen die Unterstützung durch die Geschäftsführung, die Einbeziehung der Nutzer, erfahrene Projektleiter, eindeutige Geschäftsziele und Verantwortung, die Minimierung der Projektgröße, eine standardisierte Software-Infrastruktur, stabile grundlegende Anforderungen, verlässliche Schätzungen, kompetente und motivierte Mitarbeiter sowie ein angemessenes Vorgehensmodell einschließlich Qualitätssicherung.¹⁸

Somit spielen bei dem vorgestellten Ansatz auch praktische Aspekte eine wichtige Rolle. Die einzelnen Phasen über den gesamten Projekt-Lebenszyklus, sind in der folgenden Grafik ersichtlich.

¹⁸ Vgl. Moll, K.-R. et al. (2004), S. 420 ff.

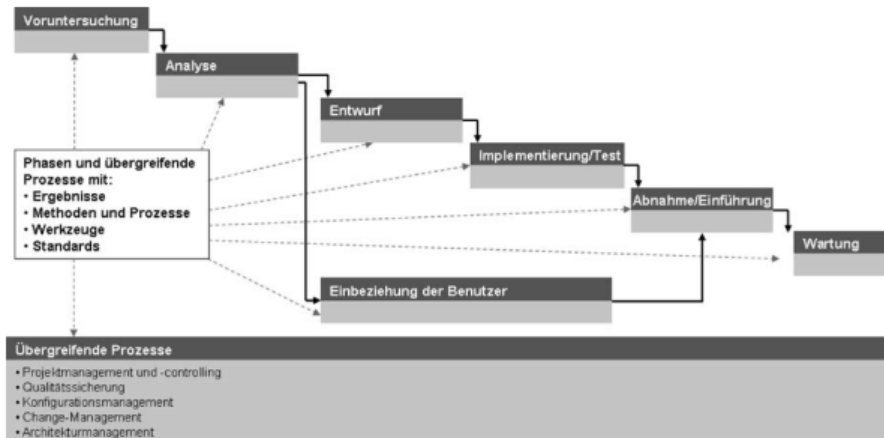


Abbildung 3: Lebenszyklus von Software-Projekten ¹⁹

Die einzelnen Phasen (Voruntersuchung, Analyse, Entwurf, Implementierung, Abnahme, Wartung) werden in dieser Vorgehensweise sequentiell abgearbeitet und sollten durch formale Reviews abgeschlossen werden. Zusätzlich gilt es parallele, übergreifende Prozesse abzuwickeln. Dazu gehören Projektmanagement und -controlling (z. B. Sicherstellung der Kompetenzen in Projektteam und -leitung), Qualitätssicherung (z. B. Reviews zur Freigabe einer Phase), Konfigurationsmanagement, Change-Management sowie Architekturmanagement (z. B. redundanzfreie Implementierung von Daten). Die "Einbeziehung der Benutzer"-Phase [Herv. d. Verf.] dient als Vorarbeit für eine erfolgreiche Software-Einführung und läuft parallel zum Projektentwurf bzw. zur Implementierung ab. Damit verbundene Aufgaben in der Implementierungs-Phase sind beispielsweise die Durchführung von Schulungen oder das Verfassen von Benutzerhandbüchern. Wichtig bei dieser Vorgehensweise ist, dass für alle Phasen und übergreifende Prozesse konkrete Ergebnisse, einzusetzende Methoden und Werkzeuge sowie einzuhaltende Standards (z. B. Dokumentationsrichtlinien) festgelegt sind. Bei der Auswahl solcher Methoden und Werkzeuge ist jedoch auf die Erlernbarkeit durch die betroffenen Mitarbeiter sowie auf eine Standardisierung der Ergebnisse zu achten.²⁰

3.1.2 Vorgehensweise zum Management von Softwareprojekten nach Feyhl. (2004)

Bei der Suche nach Standardwerken bzw. anerkannten Fachwerken zum Thema Software-Projektmanagement wurden die Bücherlisten des Fachmagazins der "Deutschen Gesellschaft des Projektmanagements" [Herv. d. Verf.] herangezogen. Eines der darin angeführten Werke ist Achim Feyhls "Management und Controlling von Softwareprojekten" [Herv. d. Verf.].

Es gibt verschiedene Vorgehensweisen zum Management von Softwareprojekten. Eine der grundlegendsten ist das "Phasenmodell" [Herv. d. Verf.], in dem eine sequentielle Abwicklung der einzelnen Aufgaben erfolgt:

¹⁹ Quelle: Moll, K.-R. et al. (2004), S. 427

²⁰ Vgl. Moll, K.-R. et al. (2004), S. 427 ff.

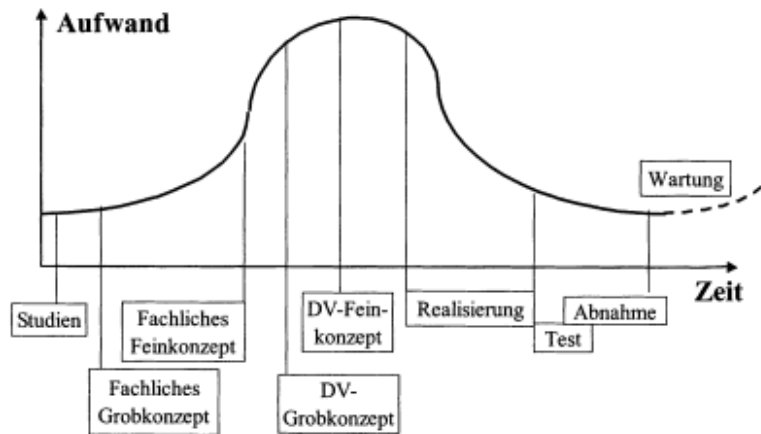


Abbildung 4: Phasenmodell - Beispiel für ein Vorgehensmodell zur Abwicklung von Software-Projekten ²¹

Eine häufige Kritik an diesem Modell ist jedoch, dass es sehr lange dauern kann, bis eine Lösung entwickelt ist, und diese dann oft nicht mit den ursprünglichen Vorstellungen übereinstimmt. Andere Modelle sind beispielsweise das "Spiralmodell" [Herv. d. Verf.], bei dem bestimmte Aufgaben auf höherer Ebene immer wieder auftreten, oder der "Rational Unified Process" [Herv. d. Verf.], der sich an Best Practices der Softwareentwicklung orientiert und eine Weiterentwicklung des Phasenmodells darstellt. ²²

Als Kompromiss zwischen Phasen- und Spiralmodell empfiehlt Feyhl jedoch den Einsatz des Projektmodells "Success" [Herv. d. Verf.]:

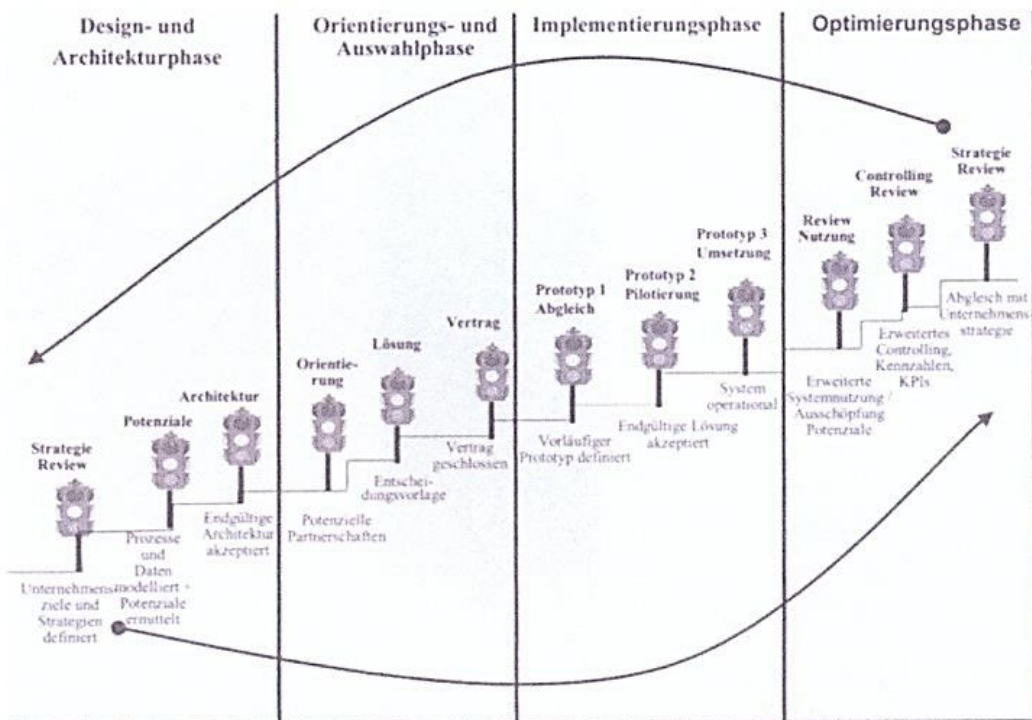


Abbildung 5: Projektmodell Success ²³

²¹ Quelle: Feyhl, A. (2004), S. 16

²² Vgl. Feyhl, A. (2004), S. 16 ff.

²³ Quelle: Feyhl, A. (2004), S. 20

Bei diesem Modell wird der Lebenszyklus eines Prozesses bzw. einer Software in vier grobe Projektphasen gegliedert: Design und Architektur, Orientierung und Auswahl, Implementierung, Optimierung. Kennzeichnend für diese Methode ist, dass die einzelnen Phasen klar abgrenzt wiederum zu einem Projekt zusammengefasst werden können, die Phasen in jeweils drei Stufen unterteilt sind und in jeder Stufe bestimmte Meilensteine, Aufgaben und Verantwortlichkeiten vorliegen. Die einzelnen Aufgaben werden wiederholt, bis sie Abnahme-reife haben.

In der **Architektur- und Designphase** reichen die Aufgaben von der Durchführung einer Vorstudie, Bedarfsanalyse und Wirtschaftlichkeitsbetrachtung bis hin zur Entwicklung eines Soll-Konzeptes (Pflichtenheft). Inhalte des Pflichtenheftes sind beispielsweise fachliche und funktionale Anforderungen an das neue System, Aufgaben, welche damit realisiert werden sollen, Qualitätsanforderungen, Test- und Freigabekriterien, erwartete Wirtschaftlichkeit bzw. erwarteter Nutzen, Kriterien bezüglich Anwenderschulung, Anforderungen in Hinblick auf die Wartung, benötigte Hardware etc.

In der **Orientierungs- und Auswahlphase** erfolgt die Suche und Auswahl von möglichen Partnern für Software, Technik, Consulting etc. Dies passiert im Rahmen von Ausschreibungen durch Angebotsvergleiche, Präsentationen und Referenzbesuche.

In der folgenden **Implementierungs-Phase** erfolgen unter anderem die Erstellung des Grob- und Feinkonzeptes, Realisierung, Test und Validierung bzw. der Proof of Concept.

Anschließend beginnt die **Optimierungsphase**, in der die im Echtbetrieb erzielten Ergebnisse den Soll-Projektzielen und KPIs gegenübergestellt werden. Dies kann etwaige Korrekturen und Optimierungsprojekte nach sich ziehen. Darüber hinaus ist eine Supporttruppe zuständig für Aufgaben wie Wartungen, Updates, Upgrades oder Versionswechsel.

Parallel zu diesen Projektphasen erfolgen wiederum die Projektorganisation (z. B. Festlegung von Verantwortlichkeiten), Change Management (Integration Top-Manager bis End-User), Projektmanagement, Projektcontrolling, Qualitätssicherung und Risikomanagement.²⁴

3.1.3 Vorgehensweise zur Einführung eines WMS nach Ten Hompel et al. (2010)

Diese Vorgehensweise zur Einführung eines WMS wurde aufgrund des besonderen Bezugs zur Lagerindustrie gewählt. Ten Hompel und Schmidt beschreiben die Projektschritte bei der Einführung eines WMS. Die grundlegenden Abläufe sind hierbei wie folgt definiert:

²⁴ Vgl. Feyhl, A. (2004), S. 20 ff.

Projektschritt	Arbeitspunkte
Kick-off "WMS-Projekt"	Installation des Gesamt-Projektteams
Anforderungsdefinition	Ist-Aufnahme Schwachstellenanalyse Entwicklung Soll-Konzept
Erstellung der Ausschreibungsunterlagen	Definition Leistungskennziffern Erstellung Lastenheft Komplettierung der Ausschreibungsunterlagen
Auftragsvergabe	Anbietervorauswahl und qualifizierte Versendung der Ausschreibungsunterlagen Standort-/ Lagerbesichtigung Angebotsvergleich Angebotspräsentation Besuche von Referenzanlagen ausgewählter Anbieter Anbieterauswahl
Kick-off "WMS-Einführung"	Installation des Projektteams "WMS-Einführung"
Umsetzung	Pflichtenhefterstellung Realisierung
Inbetriebnahme	Laborphase Übergang vom alten zum neuen WMS Schulungsmaßnahmen
Abnahme	Leistungstest/ Funktionstest/ Verfügbarkeitsüberprüfung Simulation von Störfällen/ Überprüfung von Notfallstrategien formale Abnahme

Abbildung 6: Projektablauf bei einer WMS-Einführung²⁵

Nach Durchführung des Kick-off-Meetings werden zunächst die Anforderungen an das neue WMS definiert. Dazu werden als erstes im Rahmen einer Ist-Aufnahme Informationen, beispielsweise über Geschäftsprozesse und Informationsfluss, Schnittstellen zu übergeordnete Systeme sowie hinsichtlich des aktuellen WMS, falls es sich nicht um den Neubau eines Lagers handelt, gesammelt. Danach wird eine Schwachstellenanalyse durchgeführt, wobei durch Analyse der Daten der Ist-Aufnahme Verbesserungspotentiale ermittelt werden. Der nächste Schritt besteht dann, unter Berücksichtigung der Schwachstellenanalyse, in der Entwicklung eines Soll-Konzeptes. Ist dieses fertig gestellt, kann mit der Erstellung der Ausschreibungsunterlagen begonnen werden. Diese Phase beinhaltet die Erstellung eines Leistungsverzeichnisses, in dem die Leistungskennzahlen festgelegt werden, und die Erstellung des Lastenheftes, welches die zu erfüllenden Anforderungen an das WMS aus Sicht des Auftraggebers enthält. Mit der Definition von Einkaufsbedingungen, Geheimhaltungsvereinbarungen, Abnahmekriterien oder auch Pönalen sind die Ausschreibungsunterlagen komplett. Im nächsten Schritt erfolgt die Auftragsvergabe. Nach Durchführung einer Anbietervorauswahl, in der die im Lastenheft beschriebenen Anforderungen in Ausschluss- und optionale Kriterien eingeteilt werden, Standortbesichtigung, Angebotsvergleich, Angebotspräsentation sowie der Durchführung von Referenzbesuchen wird schließlich der Anbieter ausgewählt. Anschließend folgt die Umsetzungsphase, für die zunächst im Rahmen eines weiteren Kick-Offs das relevante Projektteam mit Vertretern der Auftraggeber- und Auftragnehmerseite zusammengestellt wird. Nun besteht der erste Schritt in der Pflichtenhefterstellung. Dieses

²⁵ Quelle: Ten Hompel, M. et al. (2010), S. 302

beinhaltet alle Pflichten, inklusive Terminierung, und wird vom Auftragsgeber genehmigt. In der darauf folgenden Realisierungsphase werden die im Pflichtenheft beschriebenen Funktionen umgesetzt. Wichtige Aufgaben dieser Phase sind beispielsweise die Anpassung und Installation der Software (Customizing).²⁶

Problematik bei der Erstellung des Pflichtenheftes:

Wie bereits festgestellt wird im Pflichtenheft festgelegt, wie und womit die im Lastenheft genannten Anforderungen erfüllt werden sollen. Bei der Erstellung des Pflichtenheftes durch einen beauftragten Mitarbeiter wird somit das Lastenheft als Grundlage herangezogen. Werden jedoch nur die im Lastenheft genannten Anforderungen berücksichtigt, so besteht die Gefahr, dass wichtige Aspekte der Realisierung der Anlage außer Acht gelassen werden. Darüber hinaus empfindet jede Person andere Aspekte als wichtig. Bei der Erstellung des Pflichtenheftes durch eine einzelne Person entsteht somit eine eingeschränkte Sichtweise auf das zu lösende Problem. In der Realisierungsphase wird diese Sichtweise noch weiter eingeschränkt, da möglicherweise wieder, je nach Prioritäten der zuständigen Personen, eine Fokussierung auf bestimmte Aspekte des Pflichtenheftes erfolgt.

Für diese Arbeit von besonderer Bedeutung ist die Inbetriebnahme-Phase, welche sich in die Laborphase, Schulungsmaßnahmen bzw. fallweise in den Übergang zwischen altem und neuem System untergliedert.²⁷

- **Laborphase:** In dieser Phase erfolgt der Offline-Test des Systems unter Laborbedingungen mit realen Daten. Hierbei wird die Abarbeitung der Aufträge simuliert. Getestet wird beispielsweise die Bewältigung von Spitzenbelastungen.
- **Übergang zwischen altem und neuem System:** In dieser Phase erfolgt die Umschaltung vom alten auf das neue System, entweder durch Parallelbetrieb oder durch direkte Umstellung.
- **Schulungsmaßnahmen:** Die Schulung sollte gut vorbereitet sein, da ansonsten eine negative Auswirkung auf die Akzeptanz des neuen Systems möglich ist.

Ebenfalls von großer Bedeutung ist die Abnahme-Phase, mit der Kontrolle der in Lasten- und Pflichtenheft beschriebenen Funktionalitäten und Antwortzeiten. Zusätzlich werden Störfälle simuliert und Notfallstrategien überprüft.²⁸

- **Leistungstest:** Beim Leistungstest wird der Anlagenbetrieb unter Realbedingungen und Volllast getestet. Die Hauptbestandteile des Leistungstests sind der Funktionstest sowie die Verfügbarkeitsüberprüfung. Bei den funktionalen Leistungstests wird überprüft, ob auch alle im Pflichtenheft beschriebenen Funktionalitäten vorhanden sind. Anschließend wird jede Funktion einzeln auf ihre ordnungsgemäße Arbeitsweise hin überprüft. Darüber hinaus wird das Zeitverhalten des WMS überprüft (z. B. Dauer eines Datenbankzugriffs, Berechnungszeit Report, Antwortzeit für mobile Ter-

²⁶ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2010), S. 302 ff.

²⁷ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2010), S. 324 ff.

²⁸ Vgl. Ten Hompel, M. et al. (2010), S. 326 ff.

minals). Eine infolge einer Störung entstehende Unterbrechung des Leistungs-
betriebs führt zu einer Wiederholung des Tests.

- **Störfallsimulation und Notfallstrategien:** Hierbei werden unter anderem das "Systemverhalten bei Unterbrechungen der Kommunikation mit dem Host-System" [Herv. d. Verf.], das Verhalten bei einem Stromausfall, verschiedenste Strategien (z. B. Einlagerungsstrategien) sowie "Handlungsweisen und Dokumentationen" [Herv. d. Verf.] und Möglichkeiten zur Wiederherstellung von Daten überprüft.
- **Formale Abnahme:** Hierbei werden die Positionen nacheinander abgenommen und von Auftragsgeber und -nehmer unterzeichnet. Wichtig ist auch die Protokollierung von Fehlern und erfüllten Funktionen. Beim Auftreten von Fehlern werden die Fehlerklasse sowie die jeweilige Auswirkung diskutiert. Hierbei werden folgende unterschieden:
 - "Das Lager kann aufgrund des Fehlers bzw. der funktionalen Abweichung vom Pflichtenheft nicht betrieben werden"
 - "Für einen Fehler bzw. einer Abweichung existiert nur ein aufwändiges alternatives Vorgehen"
 - "Für einen Fehler bzw. einer Abweichung besteht ein akzeptables alternatives Vorgehen"
 - "Ein Fehler bzw. eine Abweichung stellt keine Einschränkung hinsichtlich der Nutzung des Systems dar"

Je nach Fehlerklasse gibt es folgende Auswirkungen:²⁹

- Klasse 1: "Keine Abnahme, keine Produktivsetzung"
- Klasse 2: "Klärung, wer eventuelle Mehrkosten des Auftraggebers trägt"
- Klasse 3: "Eine Abnahme kann mit Auflagen erteilt werden, die Produktivsetzung kann erfolgen. Die Umsetzung der offenen Punkte muss mit höchster Priorität erfolgen."
- Klasse 4: "Eine Abnahme kann mit Auflagen erteilt werden, die Produktivsetzung kann erfolgen. Die zeitliche Umsetzung der offenen Punkte muss zwischen Auftraggeber und Auftragnehmer terminiert werden".

²⁹ Ten Hompel, M. et al. (2005), S. 346 ff.

3.2 Management von Software-Projekten bei der Errichtung neuer Lageranlagen aus der Sicht des System Providers

Aus den im vorigen Kapitel beschriebenen, theoretischen Vorgehensweisen zum Management von Software-Projekten soll nun eine konkrete Vorgehensweise aus der Sicht des System Providers entwickelt werden, welche die Basis für die weitere Arbeit darstellt. Zur Verifizierung, ob das Management von Software-Projekten in der Praxis auch tatsächlich auf diese Weise durchgeführt wird, wurden diesbezüglich praktische Informationen vom Unternehmen KNAPP Systemintegration eingeholt.

Im Folgenden werden die einzelnen Schritte zur Errichtung einer neuen Lageranlage kurz dargestellt.

Die Initialisierung eines Projektes kann durch folgende Ereignisse erfolgen:

- Erhalt von Ausschreibungsunterlagen (inkl. Lastenheft) zur Durchführung eines Lagerneubaus
- Direkte Anfrage beim System Provider zur Durchführung eines Lagerneubaus

Anschließend folgen die Erstellung eines Angebots, Standortbesichtigungen und Referenzbesuche durch den Kunden sowie Angebotspräsentationen beim Kunden. Darauf basierend führt der Auftraggeber die Anbietersauswahl durch. Fällt die Entscheidung positiv aus, so kann das Projekt offiziell gestartet werden.

Die generelle, weitere Vorgehensweise wird im Folgenden dargestellt:



Abbildung 7: Projekttablauf bei der Errichtung neuer Lageranlagen

1. Projektstart

Die Phase **Projektstart** beinhaltet wichtige Maßnahmen im Bereich des Projektmanagements, die für eine erfolgreiche Umsetzung des Projektes durchgeführt werden müssen. Dazu gehören unter anderem:

- Festlegung des Projektteams
- Festlegung der Verantwortlichkeiten innerhalb des Teams
- Erstellung Projektplan
- Definition der generellen Vorgehensweise (u. a. Zeit, Aktivitäten, Verantwortlichkeiten)
- Grob- und Detailplanung
- Definition von Meilensteinen
- Kick-off-Meeting

2. Planung und Umsetzung

Ziel der **Planungs- und Umsetzungsphase** ist die Planung des Gesamtsystems, das heißt des Basissystems und des Steuerungssystems.

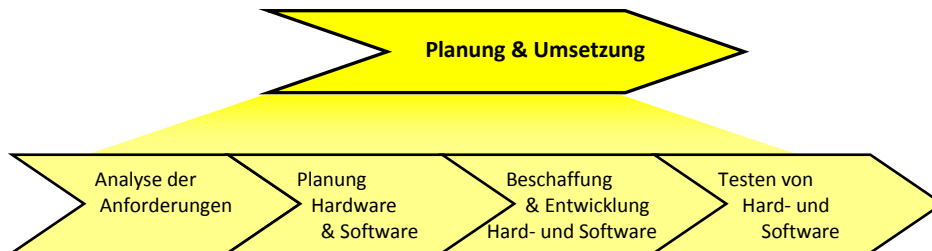


Abbildung 8: Planungs- und Umsetzungsphase

Der erste Schritt besteht in der Analyse der Anforderungen des Kunden. Ziel ist die Erstellung des Pflichtenheftes. Um zu gewährleisten, dass das Gesamtsystem den Kundenwünschen entspricht, erfolgt die Pflichtenhefterstellung in Abstimmung mit dem Kunden.

Anschließend wird mit der voneinander unabhängigen Planung des Basissystems (Hardware) und des Lagerverwaltungssystems (Software) begonnen. Dies beinhaltet auf der Hardwareseite beispielsweise Aufgaben wie Layout-Design oder auch die Planung der gesamten Elektronik. In Einzelfällen werden beim Layout-Design Simulationen zur Überprüfung des erstellten Layouts eingesetzt. Bei unzureichenden Ergebnissen erfolgt ein Neudesign des Layouts. Auf der Softwareseite werden beispielsweise die notwendigen Funktionen des Systems definiert oder grundlegende Daten erhoben.

Die Erarbeitung des Basissystems bzw. des Layouts erfolgt gemeinsam mit dem Kunden. Erst nach der Abnahme des Layouts durch den Kunden kann mit der Produktion und Vormontage begonnen werden.

Auch softwareseitig ist der Kunde in den Planungsprozess mit eingebunden. Dies erfolgt beispielsweise im Rahmen von Pflichtenheftworkshops mit dem gesamten Team des Kunden, im Rahmen dessen der gesamte Prozess detailliert geplant wird. Nach dem Workshop folgt die Abnahme des Pflichtenheftes. Danach entstehende Änderungswünsche werden grundsätzlich vom Auftraggeber bezahlt.

Mit der Software-Planung kann erst dann begonnen werden, wenn das Layout des Basissystems fertiggestellt ist.

Ist diese Phase abgeschlossen, so beginnt die Entwicklungsphase, in der einzelne Systemkomponenten entwickelt bzw. beschafft werden und die Programmierung der Software durchgeführt wird.

Anschließend werden sowohl Hardware (teilweise) als auch Software unabhängig voneinander getestet. Dazu müssen unter anderem Testpläne aufgestellt, Testszenarien entwickelt und Testdaten zur Verfügung gestellt werden. Entsprechen die Ergebnisse nicht den Anforderungen oder kommt es zu Fehlern, so muss je nach Fehlerursache eine Neuplanung oder Neuentwicklung durchgeführt werden. Die einzelnen Schritte des übergeordneten Prozesses "Planung & Umsetzung" [Herv. d. Verf.] können somit auch mehrmals durchgeführt werden.

3. Implementierung

Die **Implementierungsphase** beginnt mit dem Transport aller benötigten Komponenten zum Kunden. Auch die Software, welche oft schon vorinstalliert wird, wird zum Kunden verschickt sobald die Testphase abgeschlossen ist. Ist alles Notwendige vor Ort, so kann mit der Montage von mechanischen, elektrischen und anderen Hardwarekomponenten bzw. mit der Installation der Software begonnen werden.

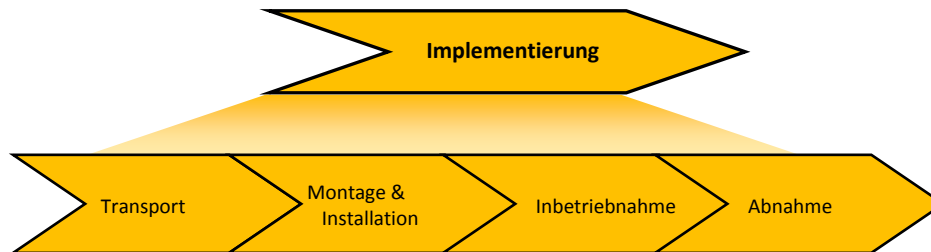


Abbildung 9: Implementierungsphase

Anschließend beginnt die **Inbetriebnahme-Phase**. Ziel dieser Phase ist die grundlegende Überprüfung der Funktionalität der Systemkomponenten. Dafür werden die einzelnen Systemkomponenten vor Ort hochgefahren und auf ihre Funktionalität hin getestet. Anschließend wird das Gesamtsystem hochgefahren und ebenfalls auf seine Funktionalität hin überprüft.

Im Rahmen der Inbetriebnahme-Phase können verschiedenste Probleme auftreten - beispielsweise fehlerhafte Hardwareteile, die nachgeliefert werden müssen oder eine fehlerhafte Software. Darüber hinaus kann es noch zu etwaigen "Change Requests" [Herv. d. Verf.] vom Auftraggeber kommen, sowohl hardware- als auch softwarebezogen, da erst beim Testen vor Ort mit dem Kunden wirklich festgestellt werden kann, ob das entwickelte System den Anforderungen entspricht und die Prozesse optimal umgesetzt werden. Sind viele Änderungen notwendig, so führt dies zu einem verzögerten Go-Live-Termin.

Bei der Inbetriebnahme ist grundsätzlich die software- und die hardware-seitige Inbetriebnahme zu unterscheiden. So ist es beispielsweise möglich, wenn nur ein Teil des Basissystems fertig montiert ist, diesen bereits mithilfe der Software in Betrieb zu nehmen.

Eine weitere wichtige Aufgabe während der Inbetriebnahme-Phase ist die Durchführung von Schulungen beim Kunden hinsichtlich der Benützung des neuen Systems.

Dem folgt die **Abnahmephase**, in der Funktionstests und Verfügbarkeitstests am Gesamtsystem durchgeführt werden. Darüber hinaus werden verschiedenste Störfälle simuliert, um das Verhalten des Systems zu überprüfen. In der Abnahmephase wird die Leistung des Systems in Bezug auf die im Pflichtenheft vereinbarten, vom Kunden geforderten Leistungsziele überprüft. Ziel dieser Phase ist die nach erfolgreicher Durchführung aller Tests und Bereinigung aller Fehler folgende formale Abnahme der Anlage durch den Kunden.

4. Projektabschluss

In der Phase **Projektabschluss** wird das Projekt wenn alle Aktivitäten abgeschlossen sind aus der Sicht des Projektmanagers, des technischen Projektleiters, des Entwicklungsprojektleiters, des Projektteams sowie für die Inbetriebnahme zuständigen Personen formal beendet. Die Verfassung des Abschlussberichts sowie die Sicherung der gewonnenen Erfahrungen sind wichtige Schritte in dieser Phase.

Anschließend wird das Projekt an den Kundenservice übergeben, der es weiter über eine dazu eingerichtete Hotline betreut. Folglich kann es noch zu etwaigen Änderungswünschen, Updates, Hardware-Wartungsmaßnahmen oder auch zu möglichen Folgeprojekten kommen. Der Umfang der Leistungen des Kundenservice wird vertraglich festgelegt.

4 Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik

Ziel dieses Kapitels ist es, eine generelle Übersicht über Methoden zur Prozessvalidierung in der Lagerlogistik zu geben. Anschließend soll insbesondere auf die Themen Offline-Simulation und Emulation näher eingegangen werden. Zunächst gilt es jedoch noch eine grundlegende Frage zu klären:

4.1 Warum ist Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik notwendig?

Um diese Frage zu beantworten ist es notwendig, den Begriff "Vorab-Prozessvalidierung" [Herv. d. Verf.] genauer zu definieren. In dieser Arbeit umfasst der Term Vorab-Prozessvalidierung notwendige Maßnahmen zur Sicherstellung der Funktionalität und zur Gewährleistung der geforderten Leistung von Lagersystemen und -prozessen,

- bezogen auf das Gesamtsystem (d. h. auf das Zusammenspiel von Basis- und Steuerungssystem) und
- vor (Fertigstellung) der Errichtung bzw. vor der Inbetriebnahme der Anlage beim Kunden.

Doch warum ist eine solche Vorab-Prozessvalidierung bei der Errichtung neuer Lageranlagen von Bedeutung? Im zweiten Kapitel wurden unter anderem die Faktoren Internationalität, Individualität, hohe Durchlaufzeiten sowie Automation als Hauptcharakteristiken bei der Errichtung neuer Anlagen in der Lagerindustrie identifiziert.

Wie bereits festgestellt führt die Internationalität der Branche zu vergleichsweise hohen Reisekosten. Treten beim erstmaligen Testen der Gesamtanlage vor Ort beim Kunden größere Probleme auf, so führt dies möglicherweise zu einer Verlängerungen der Aufenthaltsdauer der Mitarbeiter beim Kunden, was zu erhöhten Kosten führt. Aus diesem Grund sprechen auch die hohen Durchlaufzeiten im Bereich Anlagenbau für die Durchführung einer Vorab-Prozessvalidierung. Notwendige Änderungen am System können auf diese Weise früher identifiziert, geplant und umgesetzt werden. Dies führt zu einer Verkürzung der Gesamtdurchlaufzeit.

Auch den Faktor Individualität gilt es zu beachten. Da jede Anlage einzigartig ist, gilt es auch jede Anlage individuell zu testen. Je nach Zweck müssen dazu unterschiedlichste Testszenarien entwickelt werden. Da die Funktionalität eines Systems in einer Anlage nicht auf andere übertragbar ist, ist der Testaufwand in jedem Projekt hoch. Um somit bei der Inbetriebnahme-Phase Zeit zu sparen, ist die Durchführung einer Vorab-Prozessvalidierung sinnvoll.

Liegt bei Anlagen ein hoher Automatisierungsgrad vor, so spricht auch dies für die Durchführung einer Vorab-Prozessvalidierung. Mit dem Automatisierungsgrad steigt auch die Zahl der Maschinen, Anlagen und Bereichssteuerungselemente, die in das Gesamtsystem integriert werden müssen. Das System wird somit komplexer und fehleranfälliger. Aus diesem Grund ist es von Bedeutung, die Funktionalität des Gesamtsystems so früh wie möglich zu überprüfen.

4.2 Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung in der Lagerlogistik

Ein wichtiger Aspekt bei der Durchführung von Software-Projekten ist die Prozessvalidierung, im Rahmen derer die Überprüfung der Leistung des Gesamtsystems hinsichtlich der im Pflichtenheft vereinbarten, geforderten Leistungsparameter erfolgt.

Die Funktionalität von Hardware und Software werden vor der Anlagenfertigstellung beim System Provider zumindest teilweise überprüft. Die erstmalige Überprüfung der Funktionalität des Gesamtsystems erfolgt jedoch oft erst im Rahmen der Inbetriebnahme-Phase nach Anlagenfertigstellung direkt beim Kunden. Da die Funktionalität der einzelnen Komponenten nicht automatisch zur garantierten Einhaltung der vereinbarten, das Gesamtsystem betreffenden Leistungsanforderungen führt, sollen nun generelle Möglichkeiten zur Vorab-Prozessvalidierung ermittelt werden. Hierbei soll vor allem auf das Thema Simulation und Emulation näher eingegangen werden.

Da aus momentaner Sicht vor allem Emulationen in der Literatur noch nicht umfassend behandelt worden ist, bilden zur theoretischen Erarbeitung dieses Themas die Tagungsberichte der "Winter Simulation Conference" [Herv. d. Verf.] eine besonders wichtige Grundlage.

4.2.1 Übersicht

Nach Daniluk und Chisu (2010) gibt es neben Experimenten am realen System noch andere Möglichkeiten für die Analyse komplexer Systeme:

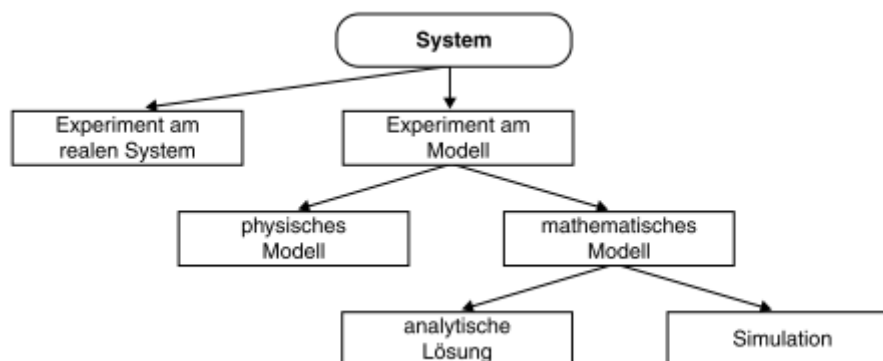


Abbildung 10: Methoden zur Analyse komplexer Systeme ³⁰

Physikalische Modellierung hat den Nachteil, dass trotz des hohen Aufwands und der hohen Kosten ungenaue Ergebnisdaten möglich sind. Analytisch Lösungen sind nach Daniluk und Chisu (2010) für komplexe, dynamische Systeme eher ungeeignet. ³¹

Schließlich besteht noch die Möglichkeit zum Einsatz von Simulation. Dies macht vor allem dann Sinn, wenn die Durchführung von Experimenten am realen System zu gefährlich, zu aufwändig und kostspielig oder generell nicht möglich ist. Auch zur Analyse von Gestal-

³⁰ Quelle: Daniluk, D. et al. (2010), S. 147

³¹ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010), S. 147

tungsvarianten oder zur Betrachtung des Systemverhaltens über einen längeren Zeitraum hinweg können Simulationen effektiv eingesetzt werden. So ist es möglich, Experimente an real noch nicht existierenden Anlagen durchzuführen, die aufgrund ihrer hohen Komplexität mit analytischen Methoden nicht mehr abgebildet werden können. Die grundsätzlichen Fragen, welche mit Simulationen beantwortet werden, können folgendermaßen eingeteilt werden:³²

- What-if?: Analyse des Systemverhaltens
- What-to-do-to-achieve?: Ermittlung empfehlenswerter Maßnahmen

Der Überbegriff "Simulation" [Herv. d. Verf.] umfasst jedoch nicht nur die herkömmliche Offline-Simulation. Je nachdem, ob beim Durchführen der Analysen tatsächliche, reale Systemkomponenten oder Modelle dieser Systemkomponenten eingesetzt werden, können verschiedene Ansätze unterschieden werden:

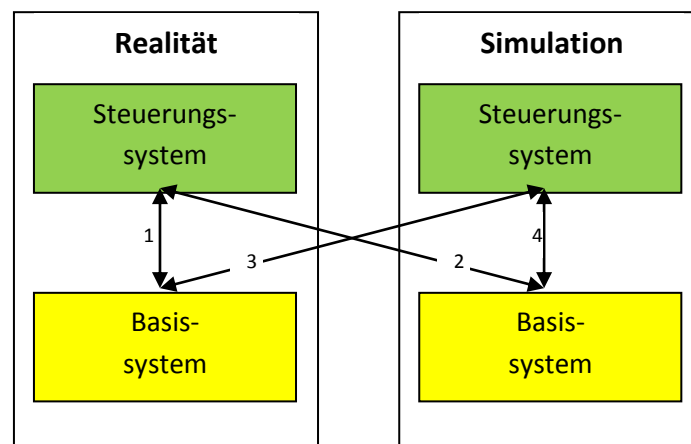


Abbildung 11: Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung³³

Somit bestehen folgende Möglichkeiten:³⁴

1. **Herkömmlicher Ansatz:** Es wird mit dem tatsächlichen Steuerungs- und Basissystem gearbeitet. Das Testen erfolgt nach der mechanischer Errichtung der Anlage direkt beim Kunden.
2. **Soft Commissioning / Emulation / Online-Simulation / Hardware-in-the-loop:** Das Basissystem wird mithilfe eines Modells dargestellt. Das Testen erfolgt in Kombination mit dem tatsächlichen Steuerungssystem in Echtzeit.
3. **Reality in the Loop:** Das Steuerungssystem wird modelliert und in Kombination mit dem tatsächlichen, realen Basissystem getestet.
4. **Offline-Simulation:** Sowohl das Kontrollsystem als auch das logistische System werden modelliert.

³² Vgl. Kuhn, A. et al. (2008), S. 74

³³ Quelle: Vgl. Versteegt, C. et al. (2002), S. 1660

³⁴ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010), S. 152

Im Rahmen dieser Arbeit sollen insbesondere zum einen die Einsatzmöglichkeiten von Offline-Simulation und zum anderen die Einsatzmöglichkeiten von Emulation in der Lagerlogistik analysiert werden. Dafür gilt es zunächst die beiden Methoden detailliert zu beschreiben und auf ihre Unterschiede und Gemeinsamkeiten einzugehen.

4.2.2 Offline-Simulation und Emulation

Ziel dieses Kapitels ist die Definition der Begriffe Offline-Simulation und Emulation, die Erfassung der wichtigsten Charakteristiken dieser Methoden sowie die Ermittlung ihrer Unterschiede und Gemeinsamkeiten.

4.2.2.1 Offline-Simulation

Für den Begriff "Simulation" [Herv. d. Verf.] gibt es verschiedene Definitionen. Im Rahmen der VDI-Richtlinie 3633 zum Thema Modellbildung und Simulation vom Verein Deutscher Ingenieure wird Simulation folgendermaßen definiert:

„...ein Verfahren zur Nachbildung eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden. Mit Hilfe der Simulation kann das zeitliche Ablaufverhalten komplexer Systeme untersucht werden.“³⁵

Weitere wichtige Begriffe im Zusammenhang mit Simulationen sind wie folgt definiert:³⁶

- Unter **Simulationszeitraum** wird die Zeitspanne verstanden, über die das System ausgeführt bzw. analysiert wird.
- Die **Rechenzeit** ist die notwendige Zeit für die Analyse des Systems in einem gegebenen Simulationszeitraum.
- Eine **Simulationsstudie** setzt sich aus der Erstellung des Simulationsmodells, der Durchführung von Simulationsläufen, der Interpretation der Ergebnisse sowie der Übertragung dieser auf das reale System zusammen.

Eine Simulationsstudie kann in die folgenden Schritte gegliedert werden:³⁷

- Vorbereitung
Dies beinhaltet die Gegenüberstellung von Aufwand und Nutzen mit der anschließenden Entscheidung ob eine Simulation durchgeführt wird oder nicht. Fällt die Entscheidung für die Durchführung, werden im nächsten Schritt die Ziele festgelegt und die notwendigen Daten gesammelt. Schließlich wird durch Abstraktion, Vereinfachung oder auch Vernachlässigung mit einem Simulationstool ein deutlich weniger komplexes Modell erstellt.

³⁵ VDI-Richtlinie 3633

³⁶ Vgl. Eley, M. (2012), S. 4

³⁷ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010), S. 149 ff.

- Durchführung
In dieser Phase werden Experimente durchgeführt, das heißt je nach Ziel werden Versuchsreihen aufgestellt und mit verschiedenen Parametern ausgeführt.
- Auswertung
Anschließend erfolgt die Auswertung der Daten, die im Rahmen der Experimente gewonnen worden sind. Die Auswertung inkludiert das Treffen von Rückschlüssen auf das tatsächliche System.

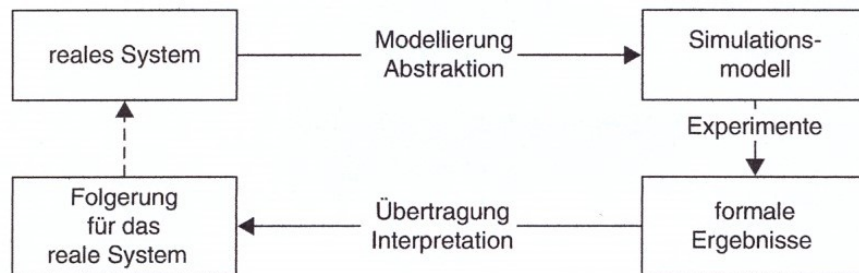


Abbildung 12: Durchführung einer Simulationsstudie³⁸

Ein wichtiger Schritt, den es nach der Erstellung des Simulationsmodells noch zu beachten gilt, ist die Modellvalidierung. Nach der, auf der VDI-Richtlinie 3633 basierenden Definition von Rabe et al. (2008) ist Validierung die "kontinuierliche Überprüfung, ob die Modelle das Verhalten des abgebildeten Systems hinreichend genau wiedergeben".³⁹

In der Literatur werden verschiedenste Techniken zur Validierung von Simulationsmodellen bzw. zur Erstellung gültiger Simulationsmodelle angeführt. Law (2006) führt dazu in seiner Arbeit verschiedene Methoden an, welche er jeweils mit einem realen Anwendungsfall belegt. So kann die Erstellung gültiger Simulationsmodelle beispielsweise durch Vergleich von Output-Daten zwischen Modell und realem System, statistische Methoden, Animation, Sensitivitätsanalysen oder exakte Dokumentation von Annahmen gewährleistet werden. Die Validierung eines Simulationsmodells ist auch dann notwendig, wenn ein bestehendes Modell für einen neuen Anwendungszweck eingesetzt wird.⁴⁰ Weitere Beispiele für in der Literatur beschriebene Methoden sind Begutachtungen, Dimensionstest, Ereignisvaliditätstests, Festwerttests, Grenzwerttests, Monitoring, Schreibtischtests, der Test der internen Validität, Tests von Teilmodellen, Trace-Analyse, Turing-Test, Ursache-Wirkungs-Graph, Validierung im Dialog, Validierung von Vorhersagen oder der Vergleich mit aufgezeichneten Daten.⁴¹

- Die **Simulationszeit** ist die Abbildung der im tatsächlichen System voranschreitenden Zeit im Modell. Mit ihr wird der Bezug zur Zeit im realen System hergestellt.⁴²

³⁸ Quelle: Daniluk, D. et al. (2010), S. 149

³⁹ Rabe et al. (2008), S. 15

⁴⁰ Vgl. Law (2006), S. 58 ff.

⁴¹ Vgl. Rabe et al. (2008), S. 96

⁴² Vgl. Grams, H. (2004), S. 78

- Ein **Experiment (Simulationslauf)** ist "die Nachbildung des Verhaltens eines Systems mit einem Modell über einen bestimmten Zeitraum".⁴³

Es existieren verschiedene Simulationsmethoden, die sich nach der Art und Weise unterscheiden, in der das Zeitverhalten berücksichtigt wird:⁴⁴

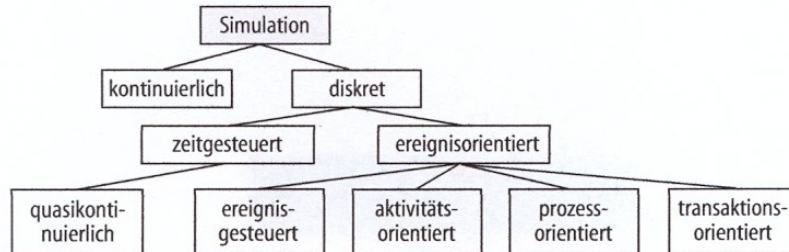


Abbildung 13: Simulationsmethoden ⁴⁵

Da in diesem Kapitel jedoch nur ein genereller Überblick über Offline-Simulation geschaffen werden soll, wird dieses Thema nicht weiter ausgeführt.

Einsatzgebiete von Simulationen

Simulationen werden zur Analyse von Material- und Informationsflüssen oder bestimmter Ereignisse eingesetzt.⁴⁶ Typische Einsatzgebiete für Simulation sind Situationen, in denen:⁴⁷

- "Neuland beschritten wird"
- "die Grenze analytischer Methoden erreicht sind"
- "komplexe Wirkzusammenhänge die menschliche Vorstellungskraft überfordern"
- "das Experimentieren am realen Modell nicht möglich bzw. zu kostenintensiv ist"
- "das zeitliche Ablaufverhalten einer Anlage untersucht werden soll"

Insbesondere im Bereich Produktion und Logistik gibt es für Simulationen vielfältige Anwendungsgebiete:

⁴³ VDI-Richtlinie 3633

⁴⁴ Vgl. Kuhn, A. et al. (2008), S. 78

⁴⁵ Quelle: Kuhn, A. et al. (2008), S. 80

⁴⁶ Vgl. Hibino, H. et al. (2008)

⁴⁷ Daniluk, D. et al. (2010), S. 148

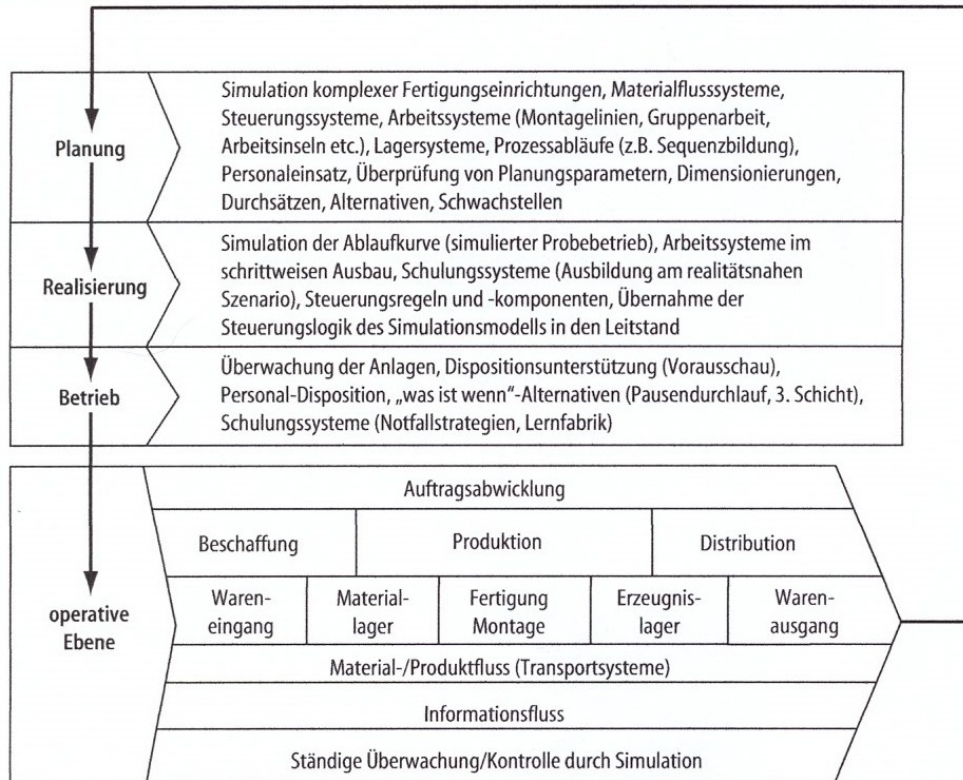


Abbildung 14: Einsatzmöglichkeiten von Simulation in der Logistik ⁴⁸

Simulationswerkzeuge

Ein sehr wichtiger Aspekt für diese Arbeit ist das Thema Simulationswerkzeuge, da im Rahmen dieser Arbeit auch Anforderungen an Simulationswerkzeuge zur Durchführung von Emulationen erarbeitet werden sollen.

Grundsätzlich kommen als Simulationswerkzeuge, neben den als Simulatoren bezeichneten Programmpaketen, auch einfache Programmiersprachen oder sogenannte Simulationssprachen in Frage. Simulationssprachen sind meist um simulationsbezogene Zusatzfunktionalitäten (z. B. Ereignisverwaltung) erweiterte Programmiersprachen. Darüber hinaus existieren Entwicklungsumgebungen für Simulatorentwickler. Simulationsumgebungen sind "offene Simulatoren, die es ermöglichen, neue Bausteine und (in eingeschränkter Form) auch Funktionen anwendungsbezogen zu beschreiben und innerhalb des Werkzeuges zu ergänzen".⁴⁹

⁴⁸ Quelle: Kuhn, A. et al. (2008), S. 75

⁴⁹ Vgl. Kuhn, A. et al. (2008), S. 82-83

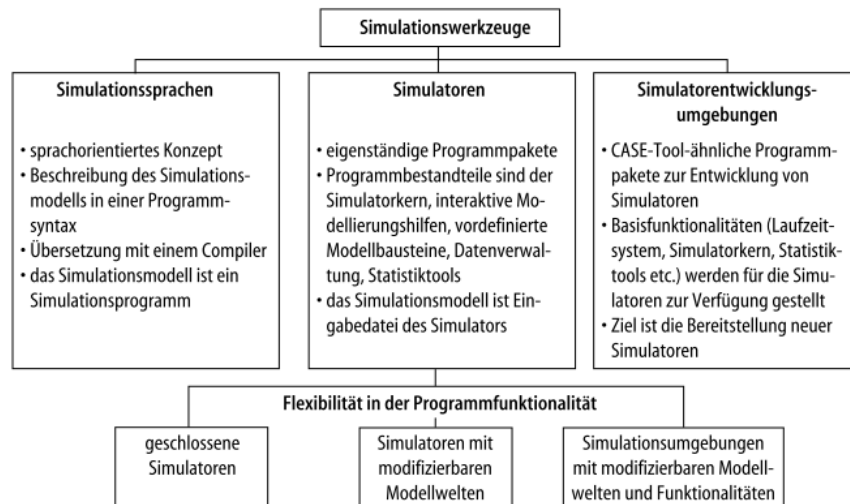


Abbildung 15: Übersicht über Simulationswerkzeuge ⁵⁰

Einige, in Produktion und Logistik einsetzbare Simulationswerkzeuge sind in folgender Grafik angeführt:

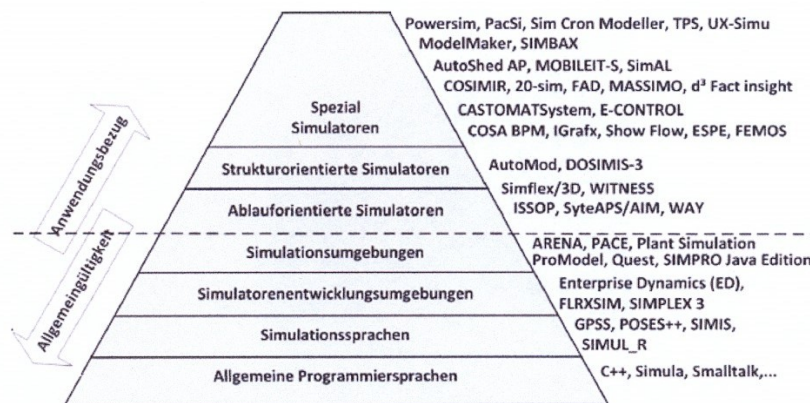


Abbildung 16: Beispiele für Simulationswerkzeuge ⁵¹

Ebenfalls von Bedeutung sind wichtige Kriterien bei der Auswahl von Simulationswerkzeugen. Kuhn et al. (2008) führen in ihrer Arbeit folgende Aspekte an: ⁵²

- Werkzeugentwicklung
 - Entwicklungsgeschichte des Produktes
 - Produkthersteller
 - aktuelle Vertriebspartner
 - Marktpräsenz und Referenzen
- Produkteinsatz
 - typische Anwendungsbereiche
 - Hard- und Softwarerestriktionen
 - Qualitätsanforderungen an Anwender
- Softwarefunktionalität

⁵⁰ Quelle: Kuhn, A. et al. (2008), S. 83

⁵¹ Quelle: Eley, M. (2012), S. 10 zit. nach Wenzel, S. (2008)

⁵² Vgl. Kuhn, A. et al. (2008), S. 85

- Charakteristika und Leistungsmerkmale des Produktes
- angebotene Modellwelt
- Import- und Exportschnittstellen
- Bedienbarkeit
- funktionale Möglichkeiten bzgl. Modellerstellung und Strategiedefinition, Validierung, Experimentplanung sowie Ergebnisaufbereitung
- restriktive Kriterien (z. B. Begrenzung der Modellgröße)
- Service- und Marketingaspekte
 - Anwendungsunterstützung
 - Wartung
 - Preispolitik
 - Verbreitungsgrad des Produktes
 - Marktbedienung
 - Schulung
 - Serviceleistungen (z. B. Hotline, User Groups, Internetpräsenz)

Abschließend gilt es noch anzumerken, dass in den folgenden Kapiteln bei Erwähnung des Begriffs "Simulation" [Herv. d. Verf.] dieser nicht als Überbegriff, sondern als die in diesem Kapitel beschriebene herkömmliche Offline-Simulation zu verstehen ist.

4.2.2.2 Emulation

Eine Emulation, oft auch als Hardware-in-the-loop-Simulation bezeichnet, stellt einen Kompromiss zwischen Simulation und Testen am realen System dar, bei dem die Vorteile beider Methoden - die Flexibilität, Geschwindigkeit und Sicherheit von Simulationen sowie die hohe Zuverlässigkeit des Testens durch den Einsatz realer Komponenten - genutzt werden.⁵³

Eine Emulation besteht demnach aus zwei Disziplinen. Einerseits aus einer Simulation, wobei mithilfe eines geeigneten Simulationswerkzeuges das Materialflusssystem modelliert wird. Andererseits aus einer realen Komponente, beispielsweise dem tatsächlichen Steuerungssystem. Hierzu werden häufig Speicherprogrammierbare Steuerungen (SPS) eingesetzt, die mit dem tatsächlichen Steuerungssystem geladen sind und Anweisungen an das Simulationsmodell übermitteln. Ziel der Validierung durch das Emulationsmodell ist unter anderem die Minimierung der Zeit, die für das Überprüfen und Beseitigen von Fehlern der Anlage vor Ort beim Kunden benötigt wird.⁵⁴

Generelle Einsatzgebiete von Emulationen

Mithilfe von Emulationen kann somit das Zusammenwirken von Steuerungs- und Basissystem getestet werden, auch wenn das physische Materialflusssystem noch nicht vorhanden ist:

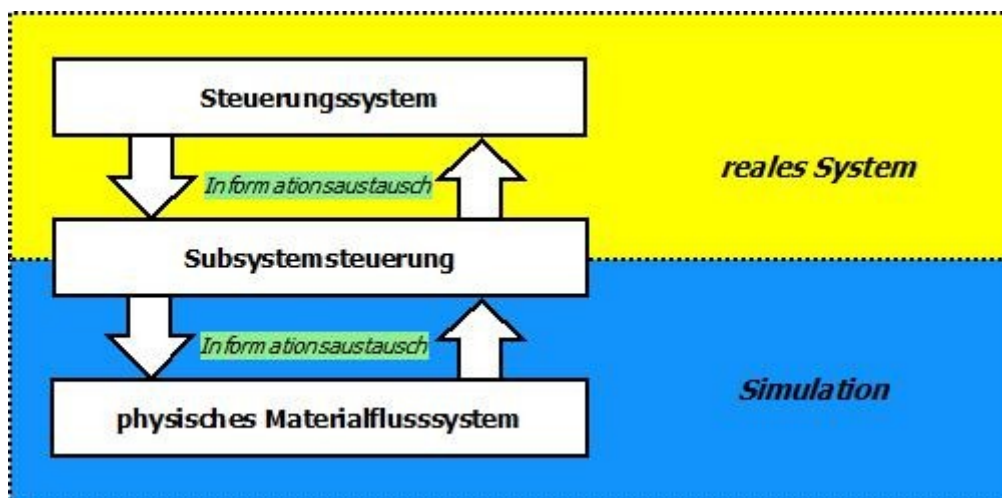


Abbildung 17: Grundprinzip der Emulation

Im Lagerbereich kann das Steuerungssystem zum Beispiel ein WCS sein. Die Subsystemsteuerung kann mithilfe einer SPS realisiert werden.

Typische Situationen, in denen der Einsatz von Emulationen zum Testen von Steuerungs- und Kontrollsystem Sinn macht, sind unter anderem die folgenden:⁵⁵

- Wenn das Testen am realen System mehr kosten würde als das Testen mit Emulation

⁵³ Vgl. Driscoll, S. (2005), S. 1

⁵⁴ Vgl. Schiess, C. (2001), S. 1463

⁵⁵ Vgl. Mc Gregor, I. (2002), S. 1687

- Wenn das Testen ansonsten in einer kritischen Projektphase durchgeführt werden müsste
- Bei Zeitengpässen

Ein typisches Beispiel für eine Emulation ist ein Flugsimulator, bei dem der Mensch die Komponente des realen Systems darstellt. Grundsätzlich macht der Einsatz von Emulationen da Sinn, wo Systemkomponenten vor Beendigung der Entwicklung unter realistischen Bedingungen getestet werden sollen.⁵⁶

Komponenten einer Emulation

Folgendes Diagramm beschreibt die wichtigsten Bestandteile einer Emulation, welche beispielsweise in der Lagerwelt zum Einsatz kommen kann:

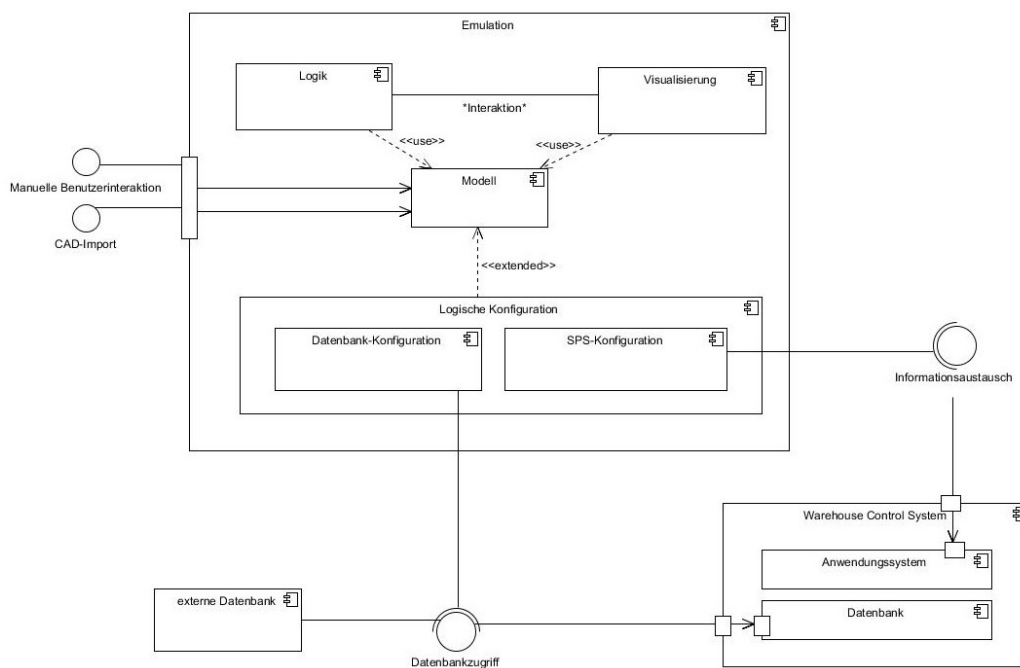


Abbildung 18: Komponenten einer Emulation

Die Emulationssoftware selbst besteht aus der zugrunde liegenden Programmlogik, der Visualisierung, der Benutzeroberfläche sowie aus Schnittstellen zum Steuerungssystem und zu externen Datenbanken. Die Komponente Logik enthält den Programmcode und stellt somit den Kern der Emulationssoftware dar. Darüber hinaus existiert eine Oberfläche zur Prozessvisualisierung, um die ablaufenden Prozesse besser interpretieren zu können. Die Benutzerinteraktion erfolgt über die zugrunde liegende Simulationsoberfläche mit den entsprechenden Funktionen und Werkzeugen zur Materialflussdarstellung. Die Kommunikation mit dem tatsächlichen Steuerungssystem erfolgt über eine entsprechende Schnittstelle. Eine Datenbank-Schnittstelle ermöglicht den Zugriff auf Daten des Steuerungssystems sowie auf externe datenbankbasierende Systeme.

⁵⁶ Vgl. Driscoll, S. (2005), S. 3

Ein wichtiger Faktor bei der Durchführung von Emulationen ist ein effizienter Datenaustausch zwischen Simulationsmodell und der realen Systemkomponenten (z. B. SPS mit Steuerungssystem). Bei der Datenübertragung wird grundsätzlich zwischen den zwei folgenden Ansätzen unterschieden:⁵⁷

- **Change-of-State Data Exchange**
Bei diesem Ansatz wird das Modell mit einem Datenserver verbunden, der mit der SPS kommuniziert. Sobald es zu einer Änderung im Signal der SPS kommt, werden die entsprechenden Daten an das Modell weitergegeben. Bei diesem Ansatz gibt es Einschränkungen der Bandbreite bei den Kommunikationskanälen zwischen Server und SPS. Einige Server sind jedoch leistungsfähiger als andere. Die Leistung von Change-of-State-Datenübertragung ist bis zu einem bestimmten Punkt sehr groß, nimmt dann aber rapide ab.
- **Polled Data Exchange**
Hierbei erfolgt ein regelmäßig ablaufender, periodischer Datentransfer zwischen dem Modell und der externen Einheit. Bei diesem Ansatz werden alle oder ein Teil der Daten, zumeist jedenfalls mehr Daten als beim Change-of-State-Austausch übertragen. Aus diesem Grund kann es zu vergleichsweise langsameren Antwortzeiten kommen. Andererseits ist es viel effizienter, in einer einzigen Übertragung die gesamten Daten auszutauschen, als dies in vielen einzelnen Vorgängen zu machen. Bei hoher Aktivität im System kann die Leistung dieser Methode die von Change-of-State-Übertragung stark überschreiten.

Die Auswahl der Datenübertragungsmethode erfolgt unter anderem nach Anzahl der auszutauschenden Datenpunkte, nach Anzahl der SPSen, nach Aktivität im Systems, nach maximaler Übertragungsrate der Datenserver sowie nach dem erwarteten Datenvolumen.⁵⁸

Um eine Emulation durchzuführen, muss zunächst ein realistisches Modell des realen, physischen Materialflusssystems erstellt werden. Dem folgt die Konfiguration des Steuerungssystems, der Datenbankschnittstellen und der Datenbankaufrufe. Anschließend werden die Ergebnisse ausgewertet.

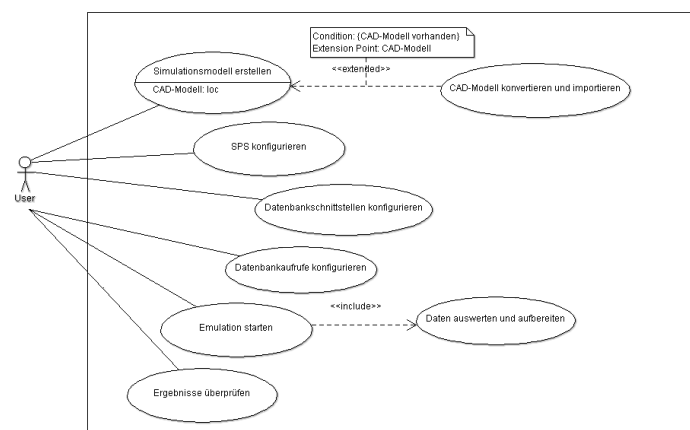


Abbildung 19: Schritte zur Durchführung einer Emulation mit dem ARIDA-Emulationstool

⁵⁷ Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1725

⁵⁸ Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1725

4.2.2.3 Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Offline-Simulation und Emulation

Da die Emulation im weiteren Sinne auch eine Art der Simulation ist, soll in diesem Kapitel auf die Hauptunterschiede und Gemeinsamkeiten von Emulation und Offline-Simulation hingewiesen werden.

Gemeinsamkeiten

Nach McGregor (2002) existieren folgende Gemeinsamkeiten zwischen Emulation und Simulation:⁵⁹

- 3D-Darstellung
Sowohl in Simulations- als auch in Emulationsmodellen ist die Möglichkeit zur 3D-Darstellung von großer Bedeutung, da auch das tatsächliche Materialflusssystem dreidimensional ist. Mithilfe von 3D-Darstellungen können Bewegungen einfacher interpretiert und räumliche Relationen besser dargestellt werden. Dies führt zu weniger Fehler bei der Auswertung.
- Genauigkeit
Eine ausreichende Genauigkeit der Ergebnisse ist sowohl bei Emulationen als auch bei Simulationen wichtig. Was "ausreichende Genauigkeit" [Herv. d. Verf.] in Zahlen ausgedrückt bedeutet, ist von Projekt zu Projekt verschieden. Grundsätzlich kann jedoch gesagt werden, dass die Ergebnisse statistisch aussagefähig bleiben sollten.
- Zero-abstraction-Elemente
Mithilfe dieser Elemente soll gewährleistet werden, dass Modelle schnell und einfach erstellt und verstanden werden können. Kennzeichnend für Zero-abstraction-Elemente ist, dass sie dieselben Charakteristiken aufweisen wie ihre realen Gegenstände. Hauptkomponenten eines Förderbandes sind beispielsweise der Motor, Sensoren sowie Übergänge zu anderen Förderbandsektoren.

Unterschiede

Die Hauptunterschiede zwischen Emulation und Offline-Simulation sind die folgenden:⁶⁰

- Unterschiedliche Ziele
Simulationen haben meist die Ermittlung der besten Lösung zum Ziel. Durch Parametervariation in mehreren Testläufen werden verschiedene Alternativen miteinander verglichen. Darüber hinaus werden Simulationen dazu eingesetzt, die Funktionalität bestimmter Lösungen zu demonstrieren. Ergebnisse aus Simulationen können beispielsweise bei der Layout-Entwicklung von Materialflusssystem unterstützen.

In Emulationsmodellen wird das System so dargestellt, wie es tatsächlich implementiert wird. Mit Emulationen wird das Zusammenwirken des gesamten Systems, unter

⁵⁹ Vgl. McGregor, I. (2002), S. 1683 ff.

⁶⁰ Vgl. McGregor, I. (2002), S. 1684 ff.

Miteinbeziehung des Steuerungs- und Kontrollsystems, getestet. Darüber hinaus können Emulationen für Schulungszwecke eingesetzt werden. Da Emulationen meist in Echtzeit ablaufen, sind sie im Gegensatz zu Simulationen für Experimente eher ungeeignet.

- **Hohe Durchführungsgeschwindigkeit bei Simulationen**
Da mithilfe von Simulationen viele Möglichkeiten in möglichst kurzer Zeit getestet werden sollen, ist eine hohe Durchführungsgeschwindigkeit von großer Bedeutung.
- **Echtzeit bei Emulationen**
Durch die Kopplung an das tatsächliche Steuerungs- und Kontrollsystem ist es notwendig, dass Emulationen in Echtzeit durchgeführt werden. Ansonsten bestünde die Gefahr, dass das Steuerungssystem sich nicht an die hohe Geschwindigkeit anpassen könnte, was zu Fehlern führen würde.
- **Einbeziehung von Antwortzeiten**
Wenn Entscheidungen oder Berechnungen durchgeführt werden, läuft die Zeit in Simulationsmodellen meist nicht weiter, obwohl dies in Wirklichkeit eine gewisse Zeit in Anspruch nimmt. Für Emulationen ist es notwendig, diese Zeit auch im Modell mit einzubeziehen.
- **Wiederholbarkeit von Simulationen**
Simulationen liefern bei wiederholtem Durchlauf dieselben Ergebnisse, wenn keine Veränderung der Parameter durchgeführt worden ist. Diese Eigenschaft ist von großer Bedeutung für ein besseres Verständnis des Modells und für die Fehlersuche.
- **Robustheit von Emulationen**
Bei Emulationen müssen die unterschiedlichen Zeitsysteme vom Modell und der realen Komponente synchronisiert werden. Dies führt dazu, dass eine Wiederholbarkeit wie bei Simulationen unsicher ist und eine gewisse Robustheit des Modells gegenüber unterschiedlichen Belastungszuständen gefordert ist.
- **Detaillierungsgrad**⁶¹
Bei Emulationen wird meist ein Teil des Systems in Kombination mit einer realen Komponente sehr genau betrachtet. Aus diesem Grund ist bei der Abbildung des physischen Systems ein höherer Detaillierungsgrad als bei der Simulation gefordert.

⁶¹ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010), S. 152

5 Verwendung von Simulation und Emulation in der Logistik

Ziel dieses Kapitel ist es, basierend auf der durchgeführten Literaturrecherche, die Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation in der Logistik, insbesondere für die Errichtung automatisierter Materialflusssysteme, zu erarbeiten. Anschließend sollen der Nutzen sowie potentielle Einschränkungen durch den Einsatz ermittelt werden.

Da nicht nur in der Lagerlogistik das Zusammenwirken von Steuerungs- und Basissystem eine wichtige Rolle spielt, ist es wichtig, "über den Tellerrand hinaus zu schauen" [Herv. d. Verf.]. In unterschiedlichen Situationen bzw. Bereichen der Logistik, zum Beispiel bei der Errichtung einer neuen Montagelinie oder im Energieanlagenbau, kann es von großer Bedeutung sein, Prozesse im Vorhinein zu evaluieren. Deshalb bilden auch die Erfahrungen, die Unternehmen verschiedener Branchen mit dem Thema Vorab-Prozessvalidierung gemacht haben, eine wichtige Grundlage für dieses Kapitel.

Aus diesem Grund wurden im Rahmen dieser Arbeit Befragungen bei renommierten, österreichischen Unternehmen in den Bereichen Automobilindustrie, Anlagenbau sowie Energietechnik durchgeführt. Abgedeckt wurden dabei folgende Themengebiete:

1. Generelle Vorgehensweise bei der Errichtung neuer Anlagen / Montagelinien / Kraftwerke
2. Eingesetzte Steuerungs- und Kontrollsysteme
3. Vorgehen bei der Validierung der Prozesse
4. Einsatz von Simulation
5. Einsatz von Emulation

Die Inhalte der ersten beiden Punkte dienen in erster Linie dazu, ein grundlegendes Verständnis für die bei den jeweiligen Unternehmen durchzuführenden Aufgaben zu schaffen. Darüber hinaus sollte dadurch die Vergleichbarkeit des Projektablaufes mit der Abwicklung eines Projektes zur Errichtung einer neuen Lageranlage ermittelt werden, um festzustellen, ob die erhaltenen Informationen auch auf die Lagerindustrie übertragbar sind.

Im dritten Abschnitt des Fragebogens ging es darum festzustellen, wann und wie die erstmalige Validierung der Funktionalität des Steuerungs- und Basissystems für sich bzw. auch des Gesamtsystems erfolgt.

Abschließend sollte noch ermittelt werden, inwiefern im Rahmen der beschriebenen Projektschritte der Einsatz von Simulation und Emulation eine Rolle spielt. Wichtige Aspekte waren hierbei beispielsweise die Ziele des Einsatzes von Simulation und Emulation, die Erfahrungen, die damit gemacht wurden sowie die Anforderungen an das eingesetzte Simulationswerkzeug.

Der Fragebogen wurde individuell für jedes der befragten Unternehmen erstellt. Die Ergebnisse der Befragungen werden im folgenden Kapitel kurz zusammengefasst und fließen in die Inhalte dieser Arbeit ein.

5.1 Ergebnisse der Unternehmensbefragungen

Grundlegend gilt es festzuhalten, dass die groben Projektschritte der befragten Unternehmen mit der im dritten Kapitel erstellten Vorgehensweise zur Errichtung von Lageranlagen vergleichbar sind. So gibt es nach Abwicklung grundlegender Aufgaben des Projektmanagements eine Planungs-, Entwicklungs- und Implementierungsphase mit anschließender Abnahme des Gesamtsystems. Natürlich variieren die Inhalte der einzelnen Projektschritte je nach Art, Verwendungszweck oder Anlagengröße. Darüber hinaus hat jedes Projekt seine eigenen Besonderheiten und Prioritäten. Da jedoch Unternehmen befragt wurden, die unter anderem auch Projekte mit dem Ziel der Errichtung eines Systems, bei dem das Zusammenwirken eines Steuerungs- und eines Basissystems eine Rolle spielt, ist der ungefähre Projektablauf derselbe.

Die erstmalige Überprüfung des Gesamtsystems, das heißt des Zusammenwirkens von Steuerungs- und Basissystems, erfolgt bei den befragten Unternehmen erst im Rahmen der Implementierungsphase.

Im Rahmen der Unternehmensbefragungen konnte festgestellt werden, dass Simulationen hauptsächlich in der Planungsphase zur Anwendung kommen. Typische Einsatzgebiete für Simulationen in dieser Phase sind die folgenden:

- Gegenüberstellung bzw. Vergleich verschiedener Planungsvarianten
- theoretische, mathematische Überprüfung des geplanten Basissystems hinsichtlich des geforderten Outputs zur Anlagendimensionierung
- Simulation von Bewegungsabläufen bestimmter Maschinen bzw. Anlagenteile um beispielsweise Kollisionen zu vermeiden
- Unterstützender Einsatz von Simulation zur Planung der Integration neuer Produkte in bestehende Fertigungsanlagen (bei laufender Produktion)
- Virtuelle, frühzeitige Entwicklung des Fertigungsprozesses parallel zur Produktentwicklung (Abstimmung von Produktentwicklung und Fertigung)

Weitere Potentiale für den Einsatz von Simulation sind laut der befragten Unternehmen beispielsweise das Hinterfragen, Belegen und Transparentmachen von Arbeitsabläufen, unter anderem auch als zusätzliche Unterstützung für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen sowie die Verifizierung von Konzepten.

Aufgrund der erfolgreich erprobten Anwendung in der Praxis sind die genannten Einsatzgebiete für Simulation auch für diese Arbeit relevant.

Bei den Erfahrungen, die mit dem Thema Simulation gemacht wurden, gilt es unter anderem folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Die Erstellung eines Simulationsmodells ist ein Vorgang, dessen Aufwand sehr stark von der Komplexität des zu modellierenden Systems abhängt. Bei besonders komplexen Systemen ist es aus diesem Grund oftmals besser, nur Teilsysteme zu modellieren.
- Bei der Durchführung einer Simulation ist es besonders wichtig darauf zu achten, dass die erhaltenen Ergebnisse auch nachvollziehbar sind. Somit gilt es, das erstellte

Modell zu verifizieren, da dieses oft eine wichtige Grundlage für das Treffen von Entscheidungen bildet.

- Ein sehr wichtiger Faktor bei der Durchführung von Simulationen sind erfahrene Simulanten. Diese werden bei den befragten Unternehmen teilweise auch extern bezogen.
- Eine besondere Schwierigkeit bzw. Herausforderung bei der Durchführung von Simulationen stellen potentielle Personalwechsel dar, das heißt Integration bzw. das Finden von Personen mit neuem Wissensstand in dieses Thema.

Zu den beiden letztgenannten Punkten gilt es noch zu sagen, dass aufgrund des notwendigen, hohen Wissensumfangs bezüglich Methodik und Systemfunktionalitäten von Simulationen oft eine Arbeitsteilung notwendig ist. Das bedeutet, dass ein Systemexperte Simulationssysteme an den Produktionsplaner als Dienstleistung bereitstellt. Der Nachteil ist, dass es bei einer solchen Wissensübergabe zu Schnittstellenverlusten kommt.

Darüber hinaus konnte im Rahmen der Befragungen festgestellt werden, dass sich am Markt nicht immer geeignetes Fachpersonal findet, welches die hohen Anforderungen an einen Simulanten erfüllt. Folglich sind firmeninterne Ausbildungen notwendig.

Eine wichtige für diese Arbeit relevante Erkenntnis, die aus den beschriebenen Erfahrungen mit dem Einsatz von Simulation abgeleitet werden kann ist, dass benutzerfreundliche Oberflächen bzw. eine umfangreiche Benutzerdokumentation für eine erfolgreiche Durchführung der Simulation von großer Bedeutung sind. Desweiteren ist ersichtlich, dass erfahrenes Personal eine der wichtigsten Grundvoraussetzungen für den erfolgreichen Einsatz von Simulation ist. Zusätzlich gilt es bei der Erstellung von Testplänen darauf zu achten, welcher Teil des Systems betrachtet wird, um den Modellerstellungsaufwand so gering wie möglich zu halten. Da die Erstellung eines Modells auch bei der Durchführung von Emulationen notwendig ist, sind die getroffenen Erkenntnisse auch auf diesen Bereich übertragbar. Folglich bilden sie eine wichtige Grundlage für das im letzten Kapitel beschriebene Vorgehensmodell zum Einsatz von Emulation.

Als Vorteile durch den Einsatz von Simulation wurden beispielsweise die frühe Parallelisierung der Planungsaufgaben im Produktentstehungsprozess, eine höhere Planungssicherheit, geringer Änderungskosten und damit verbunden auch die Reduktion von ungeplanten Produktionsausfällen aufgrund von Umbaumaßnahmen angeführt. Zu den Nachteilen zählen der hohe Aufwand bei der erstmaligen Modellerstellung, die generell hohen Anforderungen an den Anwender sowie teilweise nicht ausgereifte Systeme bzw. hohe Systemkosten. Zusätzliche Herausforderungen entstehen, wenn das Modell auf dem neuesten Stand gehalten werden soll, Änderungen - welche ohne vorgehende Simulation umgesetzt wurden - jedoch nicht vollständig rückgemeldet werden. Auch die Vernetzung mit anderen Systemen stellt aufgrund komplexer Datenstrukturen oft eine Schwierigkeit dar.

Eine wichtige Voraussetzung für den Einsatz von Simulation in der Praxis stellen der Rückhalt aus dem Management, Akzeptanz auf allen Ebenen, Standardisierung von Abläufen und Methoden sowie eine Qualifizierungsplanung und -umsetzung dar.

Als mögliche Alternativen zum Einsatz von Simulation wurde die Übertragung bzw. Ableitung von Ergebnissen aus bestehenden Erkenntnissen auf vergleichbare Anwendungsfälle ge-

nannt. Das Thema Erfahrungssicherung ist somit, auch auf die zuvor genannte Herausforderung eines Personalwechsels bezogen, ein sehr wichtiger Aspekt. Folglich ist dieser Aspekt auch im Vorgehensmodell berücksichtigt.

Darüber hinaus wurde das Fabrikplanungsinstrument "visTABLE" [Herv. d. Verf.] als zusätzliches, jedoch eher statisches Planungsinstrument genannt, welches mit dem tatsächlichen, importierten CAD-Layout sowie den tatsächlichen Stücklisten arbeitet. Mit diesem Werkzeug können Transportströme im tatsächlichen Layout übersichtlich in einem Sankey-Diagramm dargestellt werden. Durch den Einsatz dieses Werkzeuges konnte bei einem der befragten Unternehmen relativ einfach die Engpässe im Layout identifiziert werden.

Die Umfragen haben gezeigt, dass der Einsatz von Emulation zur Vorab-Prozessvalidierung noch nicht sehr verbreitet ist. Bei dem befragten Unternehmen aus dem Bereich der Automobilindustrie ist der Grund dafür vielleicht auch, dass der Umbau der Montagelinie nicht sehr häufig erfolgt, da die Verträge mit den Kunden über mehrere Jahre laufen. Darüber hinaus wird bei diesem Unternehmen mit einem eigens entwickelten Steuerungssystem gearbeitet, das grundsätzlich für alle zu produzierenden Fahrzeugtypen eingesetzt werden kann und somit bei einem Wechsel der Montagelinie nur noch "customized" [Herv. d. Verf.] bzw. eingestellt werden muss.

Konkret kommen Emulationen nur in einem der befragten Unternehmen zur Anwendung. Jedoch konnten diesbezüglich keine Auskünfte erteilt werden. Bei einem anderen Unternehmen wird ein erstmaliges Pilot-Projekt bezüglich des Einsatzes von Emulationen durchgeführt.

Generell wurde bei den befragten Unternehmen die Durchführung von Emulationen eher skeptisch betrachtet, was vor allem auch daran liegt, dass es im Umfeld der befragten Unternehmen keine bekannte Projekte gibt, bei denen Emulationen erfolgreich eingesetzt wurden.

5.2 Fallstudien über den Einsatz von Emulationen

Neben den Unternehmensbefragung bilden auch Fallstudien eine wichtige Grundlage für diese Arbeit. Durch Durchführung einer umfangreichen Literaturrecherche konnten Fallstudien über den Einsatz von Emulation aus verschiedenen Bereichen ermittelt werden. Typische Einsatzgebiete für Emulationen reichen hierbei von der Errichtung logistikintensiver Materialflusssysteme bis hin zum Einsatz von Emulation zum Testen von Kontrollsystemen in der Automobil- und Luftfahrtindustrie. Im Folgenden werden die wichtigsten, für diese Arbeit relevanten Aspekte zweier ausgewählter Fallstudien kurz dargestellt.

5.2.1 Modernisierung eines automatisierten Materialflusssystems in der Lebensmittelproduktion⁶²

Ziel des Projektes war die Modernisierung eines automatisierten Materialflusssystem in einem Unternehmen der Lebensmittelproduktion. Das Projekt umfasste die Entwicklung eines neuen WCS, neuer Steuerungshardware und -software für Kräne und schienengebundene Fahrzeuge sowie einiger anderer Steuerungskomponenten. Eine besondere Herausforderungen im Rahmen dieses Projektes stellten die beschränkten Möglichkeiten zum Testen des neuen Systems dar, da der Anlagenbetrieb nicht unterbrochen werden durfte. Außerdem kam erschwerend hinzu, dass der System Provider wenig Erfahrung mit der Steuerung solcher komplexer schienengeführter Transportsysteme hatte. Aus diesem Grund wurden Emulation als Methode zur Vorab-Prozessvalidierung ausgewählt. Die Modellierung des Materialflusssystems erfolgte mithilfe der Software "Emulate 3D Controls Testing Edition" [Herv. d. Verf.]. Grund für diese Wahl war die Möglichkeit zur 3D-Modellierung sowie zur Einbeziehung physikalischer Faktoren, wie zum Beispiel Reibung oder Schwerkraft. Zusätzlich besteht bei dieser Software die Möglichkeit zur Kopplung mit anderen externen Kontrollsystemen. Im Rahmen des Projektes wurde auf verschiedenen Ebenen emuliert:

- **Controls Testing**
Ziel dieses Testvorganges, der mit dem erstmaligen Hochfahren der Maschinen vergleichbar ist, war die Überprüfung der grundlegenden Funktionalität der Steuerungselemente der Förderbänder und des schienengeführten Transportsystems. Dazu wurde jede für diese beiden Systeme zuständige SPS, welche mit der entsprechenden Steuerungssoftware geladen war, mit dem Modell verbunden. Dadurch konnte die Richtigkeit der übertragenen Signale überprüft werden.
- **Subsystem Testing**
In dieser Phase wurden die "Kommunikation" [Herv. d. Verf.] der Betriebsmittel in jedem Subsystem getestet. Dazu wurde für das entsprechende Subsystem (z. B. schienengeführtes Transportsystem) ein vollständiges, genaues Modell erstellt. Durch Verbindung der für die Verkehrsregelung zuständigen SPS mit dem erstellten Modell, konnten alle Funktionen des Subsystems (z. B. Routenplanung, Lenkung der Fahrzeuge) getestet werden. Auf diese Weise konnten Probleme wie ineffiziente Vorgänge oder Staus identifiziert und beseitigt werden.

⁶² Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1716 ff.

- **System Testing**
Nach Überprüfung der einzelnen Maschinen- und Subsystemsteuerungen, erfolgte die Verbindung mit dem WCS, um das Verhalten nach Integration des WCS in allen Subsystemen zu überprüfen. Hierbei wurden Prozesse wie Wareneingänge, Einlagerungen von Rohstoffen oder der Transport von Produkten durch die gesamte Anlage emuliert.
- **Factory-Acceptance Testing**
Aufgrund der hohen Genauigkeit des Emulationsmodelles, konnte es auch für die Durchführung des Abnahmetests eingesetzt werden. Dieser Vorab-Test wurde vor Lieferung des Systems zum Kunden durchgeführt. Da es sich um ein Modernisierungsprojekt handelte und nur Teile des Systems geliefert wurden, wäre bei einem traditionellen Abnahmetest nur betroffene Teile des Systems überprüft worden. Mithilfe der Emulation konnte jedoch die Leistung und Funktionalität des Gesamtsystems überprüft werden.

Der Aufwand für die Durchführung von Simulation und Emulation - inklusive Modellerstellung, Fehlersuche und -behebung - belief sich hierbei auf 344 Arbeitsstunden im Vergleich zu 17891 Arbeitsstunden Gesamtdauer, was 1,92 % entspricht.

Mithilfe von Emulation konnte eine Vielzahl von Funktionen frühzeitig getestet werden. Dazu zählten beispielsweise softwarebezogen die Kommunikationsschnittstellen, logische Verknüpfungen, Bewegungs- und Ortungssysteme, die gesamte Ablaufsteuerung, Berichtserstattung, Benutzerinteraktion, Überwachungssteuerung, Bestandsmanagement, Systemleistung, Systeminteraktion zwischen Host und Client oder das Produkthandling.

Zusätzlich zum Testen des neuen WCS konnte das Emulationsmodell auch noch für Schulungsmaßnahmen eingesetzt werden. Auf diese Weise konnten Schulungen vor der Installation des Systems beim Kunden durchgeführt werden.

Durch den Einsatz von Emulation konnte der Systemintegrator viele Vorteile erzielen, wie zum Beispiel eine verkürzte Start-up-Phase, die Einsparung von Personal- und Reisekosten oder die umfangreicheren Testmöglichkeiten. Für den Systembetreiber spielten vor allem die verbesserte Lernkurve sowie die geringeren Produktivitätsverluste nach dem "go-live" [Herv. d. Verf.] eine Rolle. Durch den Einsatz von Emulationen konnte die Umsetzung des Projektes ohne ungeplante Stillstandzeiten erfolgen.

Im Rahmen einer anfänglichen Schätzung wurde eine Verringerung der Inbetriebnahme-Dauer von mehr als 300 Stunden festgelegt. 50 % dieser Einsparungen sollten für den Kauf der benötigten Software zur Durchführung der Emulationen eingesetzt werden. Abschließend konnte festgestellt werden, dass die Einsparungen noch höher waren als ursprünglich geplant. Somit konnte durch die erzielten Einsparungen während eines Projektes beinahe die gesamte Software finanziert werden (~ 30.000 \$).

Neben diesen und anderen Vorteilen, konnten im Rahmen des Projektes auch noch wertvolle Erkenntnisse hinsichtlich der Durchführung von Emulationen gewonnen werden:

- Bei der Wahl des Simulationsprogrammes ist es wichtig, dass eine realistische Modellierung des physischen Systems möglich ist. Das Modell sollte auf tatsächlichen Abmessungen basieren. Darüber hinaus sollte das Auftreten unvorhergesehener Er-

eignisse möglich sein. Beispiele dafür sind Abweichungen von der idealen Position, Kollisionen, Staus, oder das Abgleiten eines Produktes von einem Förderband.

- Die Modellzeit muss mit den externen Steuerungssystemen synchronisiert werden.
- Eine effiziente Datenaustausch-Methode ist von großer Bedeutung, da im Laufe der Emulation sehr viele Daten ausgetauscht werden. In dem beschriebenen Modell wurden ungefähr 1300 Signale mit externen Steuerungs- und Kontrollsystemen ausgetauscht.
- Obwohl Emulationen im Vergleich zum Testen am realen System viele Vorteile haben, gibt es, wenn zu viel und zu lange getestet wird, einen Punkt, an dem die Erträge durch den Einsatz von Emulation sich verringern. Die Erreichung dieses Zeitpunktes gilt es zu vermeiden.

5.2.2 Erweiterter Einsatz von Simulation beim Testen von Steuerungssystemen für fahrerlose Transportsysteme und automatisierten Materialflusssystemen ⁶³

Die vorliegende Fallstudie stellt einen Ansatz zur Vorab-Prozessvalidierung dar, bei dem sowohl Offline-Simulation als auch Emulation und Reality-in-the-loop eingesetzt werden, dar. Dieser Ansatz kann somit auch als Alternative zur reinen Emulation betrachtet werden.

Gegenstand des Projektes war die Erprobung dieses neuen, erweiterten Ansatzes, der für ein unterirdische Logistiksystem in den Niederlanden - zwischen Flughafen, Logistikzentrum und Zugterminal Schiphol - entwickelt wurde. Insgesamt besteht dieses unterirdische System aus 400 Fahrerlosen Transportsystemen und 40 Sub-Materialflusssystemen. Bei der Durchführung des Projektes existierten weder das Steuerungs-, noch das physische Basissystem. Folgende Schritte wurden im Rahmen des Projektes durchgeführt:

1. **Offline-Simulation:** In dieser Phase wurden Modelle sowohl für das Steuerungssystem als auch für das logistische System erstellt. Die Auswahl des Simulationswerkzeuges erfolgte unter anderem nach folgenden Kriterien:
 - Möglichkeit zur Darstellung komplexer Steuerungsstrukturen durch Programmierung
 - Offene Architektur bzw. einfache Anbindung an andere Systeme (real oder softwarebezogen)
2. **Erstellung von Emulationsmodellen:** Ziel dieser Phase war die Erstellung von realistischeren, viel detaillierteren Modellen für die logistischen Ressourcen und ihre Steuerungssysteme. Nur bei den fahrerlosen Transportsysteme wurde mit dem tatsächlichen Steuerungssystem gearbeitet.
3. **Kombination von Reality-in-the-loop, Emulation und Simulation:** In dieser Phase wurden die erstellten Simulations- und Emulationsmodelle sowie Prototypen gemeinsam getestet.
4. **Implementierung** des gesamten Systems.

Ziel war die Entwicklung austauschbarer Komponenten, welche Simulationsmodelle, detailliertere Emulationsmodelle oder auch Prototypen sein können. "Austauschbar" [Herv. d. Verf.] bedeutet in diesem Fall, dass während der Durchführung von Experimenten Komponenten einfach ausgetauscht werden können, ohne dass Änderungen am Steuerungs- bzw. Kontrollsystem vorgenommen werden müssen. Dieses Prinzip wird in folgender Grafik mit unabhängigen, austauschbaren realen bzw. simulierten Komponenten noch einmal verdeutlicht:

⁶³ Vgl. Versteegt, C. et al. (2002), S. 1659 ff.

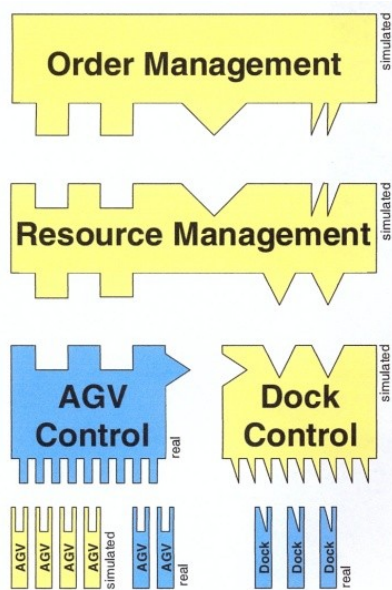


Abbildung 20: Testen mithilfe von Simulation, Emulation und Prototypen⁶⁴

Gründe für die Anwendung dieser Methode waren die Möglichkeit zur früheren Behebung technischer Probleme, die Möglichkeit Investitionen so spät wie möglich nach Behebung der Probleme durchzuführen, sowie die damit verbundene Risikominimierung.

Von besonderer Bedeutung für diese Arbeit sind die im Rahmen des Projektes gewonnen Erfahrungen:

- Eine sehr wichtige Maßnahme war die Entwicklung von "Initialisierungsprotokollen" [Herv. d. Verf.]. Notwendigkeit zu dieser Maßnahme bestand aufgrund der unterschiedlichen Bedingungen in Modell und Wirklichkeit: Ein Simulationsmodell startet leer, ohne jegliche Ressourcen. Im tatsächlichen System befinden sich jedoch oft bereits Ressourcen (z. B. Ladung auf Fahrerlosem Transportsystem).
- Die Einführung eines Speichers für eingehende Nachrichten im Simulationsmodell hat sich ebenfalls bewährt. Diese Maßnahme war notwendig, da bei gleichzeitiger Durchführung von komplexen Aktionen und Nachrichtenaustausch, dieser nicht schnell genug abgewickelt werden konnte.
- Eine Schwierigkeit stellte die Synchronisation der Zeiten von Modell und Realität dar. Insbesondere wenn zum Beispiel fahrerlose Transportsysteme schwierige Passagen durchfahren mussten, stimmten die Zeiten oft nicht überein. Gelöst wurde dieses Problem unter anderem durch die Einführung von asynchroner Datenübertragung.

⁶⁴ Quelle: Versteegt, C. et al. (2002), S. 1661

5.2.3 Analyse der Fallstudien

Auch wenn es sich bei der ersten Fallstudie nicht um den Neubau eines automatisierten Materialflusssystemes handelt, sondern um ein Modernisierungsprojekt, können trotzdem wertvolle Schlüsse aus dieser Fallstudie gezogen werden. Ein besonders wichtiger Aspekt bei Modernisierungsprojekten ist die effiziente Umsetzung der durchzuführenden Maßnahmen innerhalb der vorgegebenen Zeit, da ansonsten möglicherweise ungeplante Stillstandzeiten auftreten. Da jedoch auch beim Neubau eines automatisierten Materialflusssystemes der Faktor Zeit wichtig für den Projekterfolg und somit für die Kundenzufriedenheit ist, sollte auch bei solchen Projekten die Umsetzung der geplanten Maßnahmen in der dafür vorgesehenen Zeit sichergestellt werden. Aus diesem Grund sind die im Rahmen des Modernisierungsprojektes gewonnenen Erfahrungen auch für diese Arbeit von Bedeutung.

Besonders interessant ist unter anderem die Tatsache, dass nach einem bestimmten Testumfang die Erträge durch den Einsatz von Emulationen wieder abnehmen. Eine diesbezügliche, interessante Frage ist, wann dieser Punkt auftritt bzw. wie lange es sinnvoll ist, mithilfe von Emulationen zu testen. Darauf wird im Kapitel "Einschränkungen durch den Einsatz von Emulation" [Herv. d. Verf.] noch näher eingegangen.

Darüber hinaus liefert der Vergleich der hierbei gewählten Vorgehensweise zur Durchführung der Emulation (d. h. wie genau wurde emuliert, auf welchen Ebenen wurde emuliert) mit anderen Projekten wertvolle Erkenntnisse für die Entwicklung eines effizienten Vorgehensmodells zur Durchführung von Emulationen.

In der zweiten Fallstudie wird eine Kombination aus Offline-Simulation, Emulation und Reality-in-the-loop eingesetzt. Trotzdem sind die angewandten Methoden an sich dieselben. Aus diesem Grund sind auch die beschriebenen Anforderungen an das Simulationswerkzeug, nämlich die Möglichkeit zur Programmierung sowie die offene Architektur für diese Arbeit von Bedeutung. Auch die Entwicklung von "Initialisierungsprotokollen" [Herv. d. Verf.] ist ein sehr interessanter Punkt und kann als wichtige Anforderung an ein Simulationswerkzeug betrachtet werden, da in jedem Materialflusssystem die Möglichkeit besteht, dass sich bereits nicht zum Test gehörende Materialflusselemente im System befinden.

Abgesehen davon stellt dieser Ansatz eine interessante Möglichkeit zur Validierung von Prozessen in einer Phase dar, in der nur Teile des Steuerungs- und Basissystems existieren. Auf diese Weise könnten bereits in einer sehr frühen Projektphase umfassende, auf das Gesamtsystem bezogene Experimente durchgeführt werden.

Generell ist bei allen Fallstudien der Nutzen, der durch den Einsatz von Simulation oder Emulation erzielt werden konnte für diese Arbeit von Bedeutung. Insbesondere gilt es hierbei die erzielten Kosteneinsparungen durch Emulation bei der Inbetriebnahme anzuführen, die dazu führen können, dass der Aufwand für die Anschaffung der Software bereits durch den Einsatz in einem Projekt gedeckt werden können.

5.3 Einsatzmöglichkeiten und Voraussetzungen für den Einsatz von Simulation und Emulation

5.3.1 Einsatzmöglichkeiten von Simulation

Wie im vierten Kapitel festgestellt, werden Simulationen grundsätzlich zur Analyse von Material- und Informationsflüssen bzw. zur Ermittlung des (zeitlichen) Ablaufverhaltens neuer, komplexer Systeme herangezogen, wo Experimente am realen System zu kostenintensiv bzw. nicht möglich sind. Im Gegensatz zu Emulationen werden mithilfe von Offline-Simulation Alternativen verglichen, um die optimale Lösung für ein Problem zu ermitteln.

Nun gilt es, unter Betrachtung des Vorgehens beim Management von Software-Projekten, festzustellen, auf welche Phasen diese Situationen zutreffen und auf diese Weise zu ermitteln, wann der Einsatz von Simulationen zweckmäßig ist.

Einsatz in der Planungsphase

Durch die Unternehmensbefragungen konnte festgestellt werden, dass die herkömmliche Offline-Simulation in der Praxis hauptsächlich in der Planungsphase für den Vergleich von Planungsvarianten, zur theoretischen Überprüfung des geplanten Systems hinsichtlich der geforderten Outputs sowie zur Überprüfung von Bewegungsabläufen bestimmter Maschinen und Anlagenteile eingesetzt wird. Dies ist zu diesem Zeitpunkt auch sinnvoll, da ein neues, komplexes Materialflusssystem entwickelt wird, dessen Verhalten vor der praktischen Umsetzung analysiert und theoretisch überprüft werden soll.

Da in der Planungsphase mithilfe des Simulationsmodells der theoretische Output eines Systems im Vergleich zur Anlagendimensionierung übersichtlich dargestellt werden kann, bildet es auch eine wichtige Grundlage für die Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen. Diese Wirtschaftlichkeitsbetrachtung kann wiederum ein Kriterium bei der Auswahl der optimalen Planungsalternative sein.

Darüber hinaus können Simulationsmodelle zur Abstimmung zwischen Auftraggeber und System Provider eingesetzt werden. Obwohl der Auftraggeber in die gesamte Planung des Steuerungs- und Basissystems involviert ist, kann es immer wieder zu Kommunikationsfehlern und Missverständnissen kommen. Hierbei können vor allem Modelle mit 3D-Darstellungs-Möglichkeit genutzt werden, um klare Vorstellungen über das geplante System zu schaffen und auf diese Weise Missverständnissen und Kommunikationsfehlern vorzubeugen. Aufgrund des teilweise hohen Modellerstellungsaufwandes ist ein solcher Einsatz von Simulationsmodellen oft nur bei besonders kritischen Anlageteilen zu empfehlen. Werden Simulationen zuvor schon für einen anderen Zweck eingesetzt, so kann das dazu erstellte Modell auch für Abstimmungszwecke eingesetzt werden.

Der Auftraggeber kann das fertig erstellte Simulationsmodell zur Abstimmung mit seinen Stakeholdern und demnach auch zur Schaffung von Akzeptanz für das neue System nutzen. Der diesbezügliche Einsatz eines, möglicherweise dreidimensionalen, Modells ist vor allem bei Stakeholdern wichtig, die beispielsweise keine Erfahrung mit dem Umgang von CAD bzw.

einem anderen Planungsprogramm haben, da mit dessen Hilfe eine klare Vorstellung über das neue System geschaffen werden kann.

Einsatz in der Implementierungsphase

Weitere Potentiale für den Einsatz von Simulation bei der Errichtung neuer Anlagen liegen in der Implementierungsphase vor. Treten beim Testen am Gesamtsystem Fehler auf, so können diese - je nach Fehlerursache - beispielsweise eine notwendige Änderung am Basissystem zufolge haben. Das Basissystem muss somit zumindest teilweise erneut geplant werden. Um hierbei die bestmögliche Lösung zu ermitteln, können wiederum Simulationen, auf dieselbe Weise wie bereits in der Planungsphase beschrieben, eingesetzt werden.

Da mithilfe von Simulationen komplexe Abläufe visualisiert und transparent gemacht werden können, bietet sich auch ein Einsatz bei der Durchführung von Schulungen an. Dadurch kann das Systemverhalten und die Interaktion des betroffenen Systems mit seiner Umwelt besser und verständlicher dargestellt werden, was wiederum zu effektiveren Schulungen führt. Um das reale System wirklichkeitsgetreuer darzustellen bzw. aufgrund der höheren Genauigkeit, kann hierbei auch mit Emulationen gearbeitet werden.

Generell kann die Durchführung von Emulationen als ein weiteres Potential für den Einsatz von Simulation bei der Errichtung automatisierter Materialflusssysteme betrachtet werden, da das Simulationsmodell eine wichtige Grundlage für die Emulation darstellt. Dieses Thema wird im Kapitel 5.3.2 weiter erarbeitet.

5.3.1.2 Nutzen und Einschränkungen beim Einsatz von Simulation

Das Thema "genereller Nutzen von Simulationen" [Herv. d. Verf.] wurde in diversen Veröffentlichungen bereits umfassend behandelt. Dabei werden unter anderem Vorteile wie der mögliche Wiedereinsatz von Modellen, die geringere Notwendigkeit zum Treffen vereinfachender Annahmen im Vergleich zu analytischen Methoden, die einfache Ermittlung von Auswirkungen durch Veränderungen am System, die Durchführung von Experimenten in kürzerer Zeit, das frühere Erkennen von Fehlplanungen sowie ein besseres Verständnis des Gesamtsystems (auch für fachfremde Personen) genannt.⁶⁵

Als Einschränkungen werden unter anderem der teilweise hohe Kostenaufwand zur Erstellung von Modellen, die Notwendigkeit mehrerer Simulationsdurchläufe zum Erhalt verlässlicher Daten, die Ungenauigkeit der Ergebnisse bei ungenauen Eingangsdaten sowie die Nicht-Miteinbeziehung von Charakteristiken, die nicht modelliert wurden, angeführt.⁶⁶

Ausgewählte Nutzenaspekte aus der Sicht des System Providers

Zusätzlich zu diesen Aspekten ist es noch wichtig, die bereits angesprochene Möglichkeit zur unmissverständlichen Darstellung der eigenen Vorstellungen zu erwähnen, die eine optimale Abstimmung mit den Wünschen des Kunden erlaubt. Dies ist bei der Errichtung von Anlagen von großer Bedeutung, da nachträgliche Änderungen am System - je nach dem zu welchem Zeitpunkt sie geäußert werden - mit einem hohen Aufwand und hohen Kosten verbunden sein können. Aus diesem Grund ist es wichtig, das tatsächliche System unmissverständlich darzustellen, so dass der Auftraggeber etwaige Unstimmigkeiten oder Änderungswünsche so früh wie möglich äußern kann.

Sollte trotzdem, beispielsweise aufgrund eines Fehlers, eine Neuplanung eines Anlagenteils notwendig sein, bringt der Einsatz von Simulationen zur Ermittlung der besten Planungsalternative einen Vorteil mit sich. Da nachträgliche Änderungen am Steuerungs- oder Basis-system ursprünglich nicht vorgesehen sind, führen sie zu einer Verzögerung des Projektes, was verschiedene negative Folgen haben kann: höhere Kosten, geringere Kundenzufriedenheit etc. Aus diesem Grund sollten Änderungen so schnell wie möglich abgewickelt werden. Werden Simulationen eingesetzt, so können die Auswirkungen bestimmter Änderungen auf das System anhand des Modells rasch ermittelt werden. Folglich steigt durch den Einsatz von Simulation die Planungssicherheit. Im Rahmen der Unternehmensbefragungen wurde dieser Aspekt auch als Vorteil durch den Einsatz von Simulation genannt. Auf diese Weise kann in relativ kurzer Zeit und durch die theoretische Überprüfung des Systemoutputs auch mit geringerem Risiko die geeignetste Alternative ausgewählt und die Änderung vergleichsweise rasch umgesetzt werden. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn vom ursprünglichen System bereits ein Modell existiert, und dieses nur noch modifiziert werden muss.

Hier wird somit auch der zuvor genannte Vorteil des möglichen Wiedereinsatzes von Simulationsmodellen wirksam. Generell ist es ein sehr wichtiger Punkt, wenn ein Simulationsmodell mehrmals im Laufe eines oder mehrerer Projekte eingesetzt werden kann. Der Nachteil des hohen Kostenaufwandes bei der Erstellung des Simulationsmodells kann somit gemildert

⁶⁵ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010), S. 151

⁶⁶ Vgl. Centeno, M. et al. (2001), S. 18

werden, da das Modell grundsätzlich nur einmal erstellt und dann wieder eingesetzt werden kann. Obwohl es möglicherweise notwendig ist, Änderungen am Modell vorzunehmen, ist der Aufwand, verglichen zu einer kompletten Neuerstellung des Modells, eher gering.

Auch etwaige hohe Kosten für den Kauf eines Simulationsprogrammes gilt es zu beachten. Wird dieses Programm jedoch nicht nur bei einem Projekt eingesetzt, sondern bei vielen, so teilen sich die Kosten auf die Zahl der Anwendungsfälle auf.

Ausgewählte Nutzenaspekte aus der Sicht des Auftraggebers

Eine exakte Planung des Systems in einer frühen Projektphase ist auch im Sinne des Auftraggebers. Je besser das System geplant ist, desto reibungsloser wird die Umsetzungsphase ablaufen. Ein reibungsloser Projektablauf wiederum ist wichtig für die Einhaltung der Zeitplanung. Wird das Projekt exakt laut Zeitplan umgesetzt, so kann auch die geplante "time to market" [Herv. d. Verf.] eingehalten werden. Aus diesem und anderen Gründen ist der Einsatz von Simulationen für eine optimale Planung bzw. für eine effiziente Durchführung etwaiger Änderungen auch für den Auftraggeber von Vorteil.

Durch den Einsatz des Simulationsmodells zu Abstimmungszwecken zwischen Auftraggeber und System Provider, kann gewährleistet werden, dass das geplante System auch vollständig den Wünschen und Vorstellungen des Auftraggebers entspricht.

Darüber hinaus liegt es im Interesse des Auftraggebers, dass Schulungen effizient und qualitativ hochwertig ablaufen. Qualitativ hochwertig bedeutet hierbei, dass die Schulungsteilnehmer nach Schulungsende einen ausreichend hohen Wissenstand zur bestmöglichen Durchführung ihrer Aufgaben haben.

Neben all diesen Faktoren gilt es auch den Nutzen durch den Einsatz eines Simulationswerkzeuges zur Durchführung von Emulationen zu beachten, da eine erfolgreiche Emulation unter anderem von der Qualität des zugrundeliegenden Simulationsmodells abhängt. Der daraus folgende Nutzen durch den Einsatz von Emulation wird im Kapitel 5.4 näher betrachtet.

5.3.2 Einsatzmöglichkeiten von Emulation

Im Rahmen der durchgeführten Literaturrecherche wurden folgende Situationen als typische Einsatzgebiete für Emulationen definiert:

- Wenn das Testen am realen System mehr kosten würde als das Testen durch Emulation
- Wenn das Testen ansonsten in einer kritischen Projektphase erfolgen würde
- Bei Zeitengpässen
- Wenn Systemkomponenten vor Beendigung der Entwicklung unter realistischen Bedingungen getestet werden sollen
- Wenn das Zusammenwirken mehrerer Systeme getestet werden soll

Ausgehend von diesen Punkten soll nun festgestellt werden, ob Emulationen als Alternative zum Testen am realen System bei der Errichtung neuer, komplexer, automatisierter Materialflusssysteme eingesetzt werden können. Dabei wird, mit besonderem Augenmerk auf die Schritte Planung, Umsetzung sowie Implementierung, von der in Kapitel 2.3 definierten Vorgehensweise zur Errichtung neuer Anlagen ausgegangen.

Betrachten wir zunächst die erste der oben genannten Situationen. Bei der Errichtung neuer Lageranlagen kann aufgrund ihrer hohen Komplexität das erstmalige Testen am realen System oft erst im Rahmen der Inbetriebnahme-Phase nach Abschluss der Montage und Installation von Basis- und Steuerungssystem erfolgen. Aufgrund der Internationalität sowie der hohen Durchlaufzeiten in der Lagerindustrie kann diese Phase sehr kostenintensiv sein. Da viele Projekte im Ausland abgewickelt werden, sind die Personal- und Reisekosten höher als bei vergleichbaren Projekten im Inland. Aufgrund der hohen Durchlaufzeiten der einzelnen Projektphasen bei der Errichtung neuer Anlagen muss der Aufenthalt der Mitarbeiter vor Ort auf der Baustelle auch länger finanziert werden.

Wird hingegen ein Teil der auf der Baustelle auszuführenden Aufgaben der Inbetriebnahme-Phase bereits beim System Provider ausgeführt, so fallen für die Durchführung dieser Aufgaben weniger Kosten an.

Eine weitere Frage, die sich stellt, ist, ob die Inbetriebnahme- bzw. Abnahmephase als kritische Projektphasen bezeichnet werden können. Zuvor wurden bereits die Zeitengpässe sowie die Kostenintensivität dieser Phasen erörtert. Doch es gibt noch einen anderen wichtigen Faktor, den es hierbei zu betrachten gilt: Nämlich den Auftraggeber. Alle Fehler, Probleme und Verzögerungen, die während dieser Projektphasen auftreten, werden auch vom Auftraggeber wahrgenommen. Treten viele Fehler und Probleme auf, wird auch die Kundenzufriedenheit bzw. demzufolge auch das Image des System Providers darunter leiden. Folglich sind die Inbetriebnahme- und Abnahmephase besonders kritische Projektphasen. Die enge Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber in diesen Phasen kann jedoch auch als Chance betrachtet werden, einen außerordentlich guten Eindruck zu hinterlassen, um so das Image des Unternehmens zu verbessern. Aus diesem Grund ist ein reibungsloser Ablauf dieser beiden Projektphasen anzustreben.

Als weiteres Einsatzgebiet für Emulationen werden in der Literatur Situationen angeführt, in denen Systemkomponenten vor Beendigung der Entwicklung unter realistischen Bedingungen getestet werden sollen. Betrachten wir zunächst die folgende Prozessdarstellung zur

Errichtung neuer, automatisierter Lageranlagen mit den in Kapitel zwei beschriebenen Umsetzungsschritten:

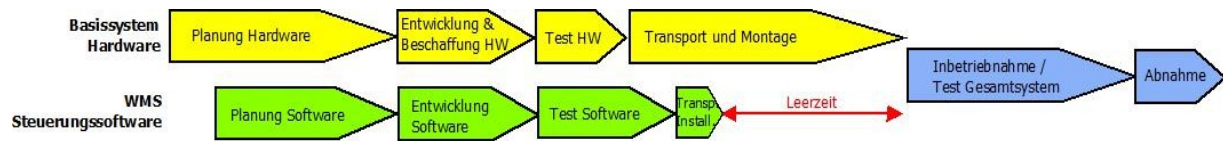


Abbildung 21: Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Errichtung neuer Anlagen

Die Zeitdauer der einzelnen Phasen variiert von Projekt zu Projekt. Dennoch ist die Montage des Basissystems, das heißt die Errichtung des gesamten mechanischen und elektrischen Systems, um einiges aufwändiger und zeitintensiver als die Installation des Steuerungssystems. Unter anderem aus diesem Grund kommt oft die in der Grafik eingezeichnete, von Projekt zu Projekt verschieden lange "Leerzeit" [Herv. d. Verf.] zustande. Da die der Montage folgende Inbetriebnahme- und Abnahmephase hinsichtlich Kosten, Zeit und Kundenzufriedenheit einen sehr kritischen Charakter aufweisen, ist es sinnvoll diese Zeit zu nützen, um nach dem bereits durchgeführten Testen der einzelnen Systeme (Steuerungs- und Basissystem) nun auch das Zusammenwirken dieser beiden Systeme zu testen. Da das Basissystem jedoch noch nicht zur Verfügung steht und hierzu ein Modell eingesetzt werden muss, liegt ein optimales Einsatzgebiet für eine Emulation vor, mit der das Gesamtsystem aufgrund der Verwendung des realen Steuerungssystems realistischer nachgestellt wird als bei einer reinen Simulation.

Da somit alle zu Beginn dieses Kapitels beschriebenen Einsatzgebiete für Simulationen zutreffen, wird die folgende veränderte Vorgehensweise vorgeschlagen:

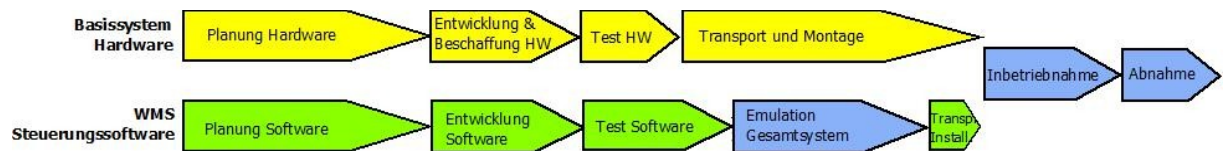


Abbildung 22: Vorgehensweise zur Nutzung der Leerzeit

Bei diesem Ansatz wird die zuvor beschriebene Leerzeit genützt, um vor der Fertigstellung des Basissystems, abseits vom Kunden, Tests bezüglich der Funktionalität und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems durchzuführen. Falls etwaige Änderungen am Steuerungssystem notwendig sind, ist es zweckmäßig, den Transport bzw. die Installation des Steuerungssystems beim Kunden erst nach der Emulation durchzuführen. Auf diese Weise ist bei möglichen Änderungen kein Neutransport bzw. keine erneute Installation des Steuerungssystems notwendig.

Die genau durchzuführenden Schritte für eine erfolgreiche Emulation werden im sechsten Kapitel erarbeitet. Grundsätzlich gilt es jedoch festzuhalten, dass die in der Grafik dargestellte Phase "Emulation Gesamtsystem" [Herv. d. Verf.] neben der Durchführung der Emulation selbst auch die Analyse etwaiger, auftretender Fehler sowie die Beseitigung dieser Fehler beinhaltet.

Wird im Rahmen der Emulationsphase festgestellt, dass Änderungen am Steuerungs- oder Basissystem notwendig sind, so müssen diese geplant und umgesetzt werden. Nach Ermittlung der Problemursache müssen zunächst mögliche Lösungsansätze ermittelt werden. Die optimale Lösung kann, wie bereits festgestellt, mithilfe einer Simulation ermittelt werden. In

der Emulationsphase besteht der nächste Schritt darin, die ausgewählte Lösung auf das Modell zu übertragen. Zur Verifikation der ausgewählten Lösung ist es zweckmäßig, den Test, bei dem das Problem aufgetreten ist, zu wiederholen. Anschließend werden alle weiteren Tests durchgeführt.

Tritt im Rahmen der kritischen Implementierungsphase ein Problem auf, so besteht auch hier die Möglichkeit, die ermittelte Lösung vor der Umsetzung mithilfe einer Emulation zu verifizieren. Die Zweckmäßigkeit dieses Vorgangs hängt jedoch von der Art des Problems und des Aufwands der Lösung ab. Sind beispielsweise fehlerhafte Hardwareteile, die schnell ausgetauscht werden können, die Problemursache, so ist eine Verifikation der Problemlösung durch Durchführung einer Emulation nicht sinnvoll. Muss hingegen ein Teil des Basissystems neu geplant und folglich auch neu montiert werden, so ist die Durchführung einer Emulation zur Verifikation der geplanten Maßnahmen durchaus denkbar, um Fehlinvestitionen zu vermeiden. Dies gilt es jedoch von Fall zu Fall individuell zu entscheiden.

Abgesehen von der früheren Durchführung von Tests am Gesamtsystem können Emulationen, wie bereits erwähnt, auch für Schulungszwecke eingesetzt werden. Auf diese Weise können Schulungen teilweise bereits vor Beendigung der Montagearbeiten durchgeführt werden. Dies macht vor allem dann Sinn, wenn beispielsweise aufgrund vieler Probleme Zeitengpässe entstehen.

Ein weiteres Potential für den Einsatz von Emulation bieten Leistungstests in der Abnahme-Phase. Da es einfacher ist, komplexe Szenarien im Modell zu überprüfen und anschließend die Übertragbarkeit auf die Realität zu validieren, als komplexe Tests am realen System mit hohem Vorbereitungs- und Durchführungsaufwand umzusetzen, besteht hierbei Einsparungspotential hinsichtlich der Faktoren Zeit und Kosten.

Schließlich besteht noch die Möglichkeit, Emulationen im Rahmen von Folgeprojekten einzusetzen. Im besten Fall kann das Modell, so wie es im vorherigen Projekt erstellt wurde, übernommen werden. Ein mögliches Nachfolgeprojekt könnte ein Modernisierungsprojekt sein, wobei ungeplante Stillstandzeiten unbedingt vermieden werden müssen. Dies war auch eine wichtige Vorgabe des im Kapitel 5.1.5 beschriebenen Modernisierungsprojektes.

Generell gilt es beim Einsatz von Emulationen noch zu beachten, dass nicht alle Fehler, die im Rahmen der Inbetriebnahme-Phase beim Testen am realen System auftreten, auch beim Emulieren des Gesamtsystems auftreten. Dazu zählen beispielsweise Fehler, die auf eine falsche Montage einer Systemkomponente zurückzuführen sind. Andere Beispiele werden im Kapitel "Wichtige Aspekte und Voraussetzungen für den Einsatz von Emulationen" [Herv. d. Verf.] genannt. Mithilfe von Emulationen können somit nicht alle Fehler aufgedeckt werden. Aus diesem Grund ist es, auch wenn zuvor emuliert wird, trotzdem notwendig, Tests am realen System durchzuführen.

Die folgende Grafik stellt eine grundsätzliche Übersicht über die Einsatzmöglichkeiten von Emulation sowie von Simulation generell bei der Errichtung neuer, automatisierter Anlagen in den Projektphasen Planung und Umsetzung sowie Implementierung dar:

Tabelle 1: Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation bei der Errichtung neuer Anlagen

Einsatzmöglichkeiten von Simulation und Emulation bei der Errichtung neuer Anlagen		
Projektphase und Aufgaben	Zweck des Einsatzes	
Planung & Umsetzung	Anforderungsanalyse	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung von Simulation zur Entwicklung des optimalen Layouts, zur theoretischen Überprüfung des Outputs, zur Durchführung von Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen bei der Planung des Basissystems Nutzung eines Simulationsmodells zur Abstimmung mit dem Kunden bei kritischen Teilen der Anlage (Sicht: System Provider) Nutzung der vom System Provider erstellten Simulationsmodelle zur Abstimmung mit den eigenen Stakeholdern (Sicht: Auftraggeber)
	Planung Basissystem	
	Planung Steuerungssystem	
	Entwicklung Basissystem	
	Entwicklung Steuerungssystem	
	Test Steuerungssystem	
	Test Basissystem	
Implementierung	Transport	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung der Leerzeit zum Testen des Gesamtsystems (Durchführung der Emulation) Nutzung von Simulation zur Ermittlung der optimalen Lösung bei einer Neuplanung / Änderung des Basissystems Eventuelle Nutzung von Emulation zur Verifizierung der ermittelten, optimalen Lösung (Test Gesamtsystem)
	Montage Basissystem	
	Installation Steuerungssystem	
	Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> Nutzung von Simulation zur Ermittlung der optimalen Lösung bei einer etwaigen Neuplanung / Änderung des Basissystems Eventuelle Nutzung von Emulation zur Verifizierung der ermittelten, optimalen Lösung (Test Gesamtsystem) Nutzung von Emulation zur Überprüfung komplexer Szenarien bei Leistungs- bzw. Abnahmetests
	Abnahme	
	Durchführung Schulungen	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz der Simulationsmodells bzw. der Emulation zur früheren und intensiveren Durchführung von Schulungen
	Folgeprojekte	<ul style="list-style-type: none"> Einsatz der Emulation zur Validierung von Modernisierungen und Änderungen am bestehenden System vor der Umsetzung

5.3.3 Wichtige Aspekte, Voraussetzungen und Einschränkungen beim Einsatz von Emulation

Ziel dieses Kapitels ist nun die Erarbeitung von Voraussetzungen und Einschränkungen beim Einsatz von Emulation in der im vorigen Kapitel beschriebenen Art und Weise.

Eine grundsätzliche Voraussetzung für den zuvor beschriebenen Einsatz von Emulation ist natürlich, dass die betreffenden Aufgaben zum Testen des Gesamtsystems überhaupt in einer früheren Projektphase durchgeführt werden können bzw. dass die daraus erhaltenen Ergebnisse auch auf die Realität übertragbar sind. Um dies feststellen zu können, gilt es zunächst zu analysieren, welche Faktoren in der Realität Einfluss auf die Funktionalität bzw. Leistung des Gesamtsystems haben könnten.

Anschließend werden Überlegungen hinsichtlich folgender Fragen getroffen:

1. Liegen die jeweiligen Einflussfaktoren auch in der virtuellen Umgebung vor?
2. Treten im Vergleich zum Testen am realen System veränderte Testbedingungen auf?

Durch Beantwortung dieser Fragen soll ermittelt werden, welche Aufgaben bzw. welche Arten von Fehlern durch den Einsatz von Emulationen frühzeitig aufgedeckt und beseitigt werden können und welche nicht. Diese und weitere Einschränkungen sollen anschließend im Kapitel 5.3.3.2 kurz erörtert werden. Abschließend wird im Kapitel 5.3.3.3 ein kurze Übersicht über Voraussetzungen, die für die Durchführung der Emulationen selbst erfüllt sein müssen, gegeben.

5.3.3.1 Ursache-Wirkungs-Diagramm: Analyse der Einflussfaktoren auf die Funktionalität des Gesamtsystems

Die Funktionalität bzw. Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems unterliegt verschiedensten Einflussfaktoren. Um diese Einflussfaktoren aus verschiedenen Gesichtspunkten übersichtlich und umfassend abbilden zu können, wurde als Darstellungsform ein Ishikawa-Diagramm mit den individuellen Haupteinflussgrößen Mensch, Hardware (Basissystem), Software (Steuerungssystem), Methode und Umwelt gewählt:

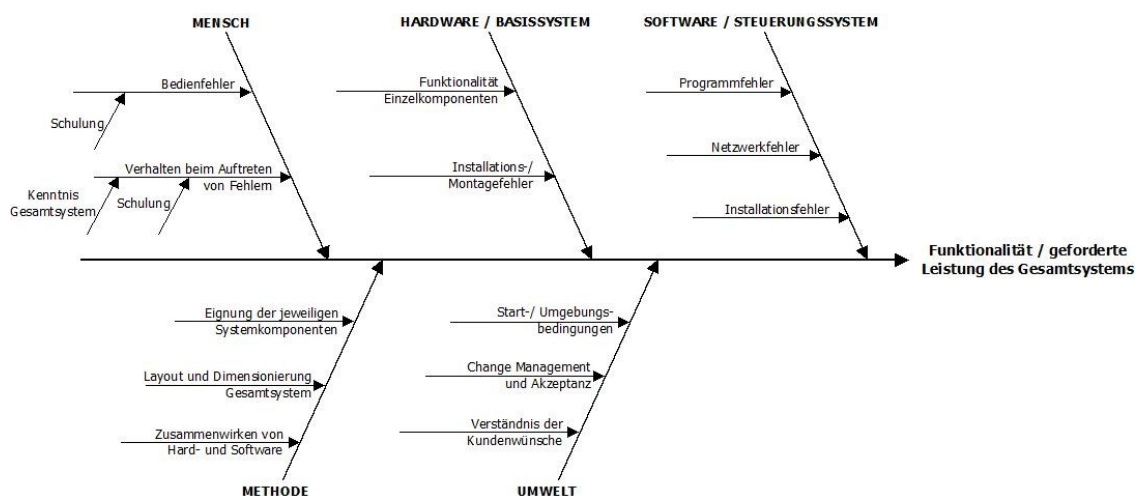


Abbildung 23: Einflussfaktoren auf die Funktionalität bzw. Leistung des Gesamtsystems

Um die Überprüfung gewisser Funktionalität des Gesamtsystems von der Realität (Inbetriebnahme-Phase) ins "Labor" [Herv. d. Verf.] (Emulation) verlegen zu können bzw. um Ergebnisse durch das Testen mithilfe von Emulationen auf die Wirklichkeit übertragen zu können, müssen identische Testbedingungen vorliegen. Um dies zu gewährleisten müssen, die zuvor beschriebenen Einflussfaktoren teilweise auch in der virtuellen Umgebung vorliegen.

- Die Überprüfung der **Funktionalität der einzelnen Komponenten des Basissystems** erfolgt in der Regel am Ende der Planungs- und Umsetzungsphase. Im Rahmen dieser Überprüfung sollte somit die Funktionalität der einzelnen Hardwarekomponenten gewährleistet werden. Da jedoch nicht alle Komponenten getestet werden und es beispielsweise auch im Rahmen des Transportes zu Beschädigungen kommen kann, besteht diesbezüglich ein Restrisiko. Bei der Durchführung einer Emulation erfolgt die Überprüfung des Gesamtsystems anhand eines Modells. Aus diesem Grund besteht dieses Risiko auch nach Durchführung einer Emulation weiter.
- Etwaige **Montagefehler** treten individuell und ungeplant auf und können im Rahmen der Emulation nicht überprüft werden.

Die eben beschriebenen Einflussfaktoren liegen somit bei der Durchführung von Emulationen nicht vor. Somit können daraus folgende Fehler mithilfe von Emulationen nicht aufgedeckt und beseitigt werden. Das Risiko des Auftretens dieser Fehler besteht auch nach Durchführung der Emulationen weiter.

- Mitarbeiter können die Funktionalität bzw. Leistung des Gesamtsystems beispielsweise durch **Bedienungsfehler** oder das **Verhalten beim Auftreten von Fehlern** beeinflussen. Da dies jedoch individuelle, ungeplante Fehler sind, die nicht auf eine grundlegende Unzulänglichkeit des Systems zurückzuführen sind, können solche Fehler weder bei der Fehlerlersuche und -bereinigung am realen System noch bei der Emulation beseitigt werden. Es ist jedoch von großer Bedeutung, Maßnahmen zu ergreifen, um solchen Fehlern vorzubeugen. Abgesehen von besonders umfangreichen und effektiven Schulungen (z. B. auch mithilfe des Emulationsmodells) könnte eine solche Maßnahme beispielsweise die Verfassung eines detaillierten Benutzerhandbuchs bzw. einer generellen Vorgehensweise oder Anleitung beim Auftreten von Fehlern sein.

Die Möglichkeit des Auftretens mitarbeiterbedingter Fehler bei einer Emulation ist nur beim Vorhandensein einer entsprechenden Funktion im Programm (z. B. Aktivierung von Bedienungsfehler durch einen Button) möglich. Dadurch ist es möglich, die Auswirkungen durch das Auftreten des Fehlers zu analysieren. Dies kann bei Mitarbeiter-schulungen von Vorteil sein, da auf diese Weise das Verhalten des Gesamtsystems bzw. die hohe Wichtigkeit der fehlerlosen Bedienung ohne Risiko der Beschädigung demonstriert werden kann.

Ist eine entsprechende Funktionalität im Programm vorhanden, so liegen im Vergleich zum Testen am realen System keine veränderten Umweltzustände vor. Ist dies nicht der Fall, so können die Auswirkungen durch solche Fehler nicht demonstriert werden. Jedoch können mitarbeiterbedingte Fehler ohnehin nur durch spezielle Maßnahmen (z. B. effiziente Schulungen) reduziert werden.

- Auf das Steuerungssystem bezogene Fehler, wie zum Beispiel **Netzwerk- oder Installationsfehler**, können bei beiden Methoden (Testen am realen System und Testen mithilfe von Emulation) auftreten, da bei beiden Methoden dasselbe, reale Steuerungssystem eingesetzt wird. Selbiges gilt für die **Planung des Gesamtsystem** bzw. für die **Eignung der geplanten Systemkomponenten**, da beiden Methoden derselbe Plan zu Grunde liegt.
- Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Schaffung identer **Start- und Umweltbedingungen** zwischen Modell und Realität. Dies bedeutet, dass auch im Modell die Möglichkeit bestehen sollte, dass sich zu Beginn beispielsweise bereits Materialflussobjekte im System befinden. Diesen Aspekt gilt es bei der Erstellung der Testpläne bzw. Testszenarien mit einzubeziehen. Besteht eine entsprechende Möglichkeit im Simulationswerkzeug, so können auch hinsichtlich dieses Aspektes idente Testbedingungen gewährleistet werden.
- Schließlich sind noch die Punkte **Change Management und Akzeptanz** sowie das richtige **Verständnis der Kundenwünsche** relevant für die gewünschte Funktionalität und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems. Diese Punkte sind, unabhängig von der Testmethode, für eine erfolgreiche Projektdurchführung von immenser Bedeutung. Das Verständnis der Kundenwünsche ist auf die Sicht des System Providers bezogen. Auch wenn ein System perfekt und problemlos funktioniert - wenn es nicht den Vorstellungen des Kunden entspricht, wird dieser mit der Leistung des Gesamtsystems nicht zufrieden sein. Eine diesbezügliche Abstimmung mit dem Kunden ist demnach sehr wichtig. Der Aspekt "Change Management und Akzeptanz" [Herv. d. Verf.] ist der Auftragsgeberseite zuzuordnen. Wenn die Mitarbeiter, welche mit dem neuen System arbeiten sollen, dieses nicht akzeptieren, wird auch die Gesamtleistung nicht passen. Somit ist es wichtig, ein entsprechendes Change Management zu betreiben.

5.3.3.2 Folgerung: Einschränkungen beim Einsatz von Emulation

Die im vorigen Kapitel durchgeführte Analyse der Einflussfaktoren auf die Funktionalität und Leistung des Gesamtsystems hat gezeigt, dass mithilfe von Emulationen nicht alle Arten von Fehlern aufgedeckt bzw. beseitigt werden können. Für eine genaue Abgrenzung der Fehlerarten ist es zunächst notwendig, eine Klassifizierung der Fehlerarten vorzunehmen:

Bei der Errichtung von Anlagen können verschiedene Arten von Fehlern auftreten, die beim Testen des Gesamtsystems zu Verzögerungen führen können. In dieser Arbeit erfolgt eine Gliederung nach Planungsfehler, Entwicklungsfehler und Installationsfehler.

- **Planungsfehler** können beispielsweise durch ein falsches Verständnis der Anforderungen des Kunden auftreten, das heißt durch falsche Interpretation der Kundenwünsche. Eine weitere Möglichkeit ist, dass die Auswirkungen bestimmter Faktoren auf das Gesamtsystem falsch prognostiziert wird. Folge eines Planungsfehlers ist die Neuplanung eines Systems oder einer Systemkomponente. Auch spontane Änderungswünsche des Kunden sind dieser Kategorie zuzuordnen, obwohl diese nicht wirklich selbst verschuldet sind.

- **Entwicklungsfehler** treten dann auf, wenn Hard- oder Software nicht mit den in der Planungsphase definierten, geforderten Leistung oder Funktionen übereinstimmen. Auch fehlerhafte Programme oder Hardwarekomponenten fallen unter Entwicklungsfehler. Die Folge eines Entwicklungsfehlers ist die Neubeschaffung bzw. die Neuentwicklung eines Systems oder einer Systemkomponente.
- **Installationsfehler** umfassen Fehler, die bei der Errichtung der Anlage bzw. bei der Installation der Software beim Kunden anfallen. Ist der Fehler gefunden, muss das System bzw. die Komponente neu und entsprechend den Vorgaben installiert bzw. montiert werden.

Folgende Grafik zeigt sowohl für den herkömmlichen Ansatz beim Testen des Gesamtsystems als auch für Emulation, welche der beschriebenen Fehlerarten in welcher Phase des Projektes auftreten können:

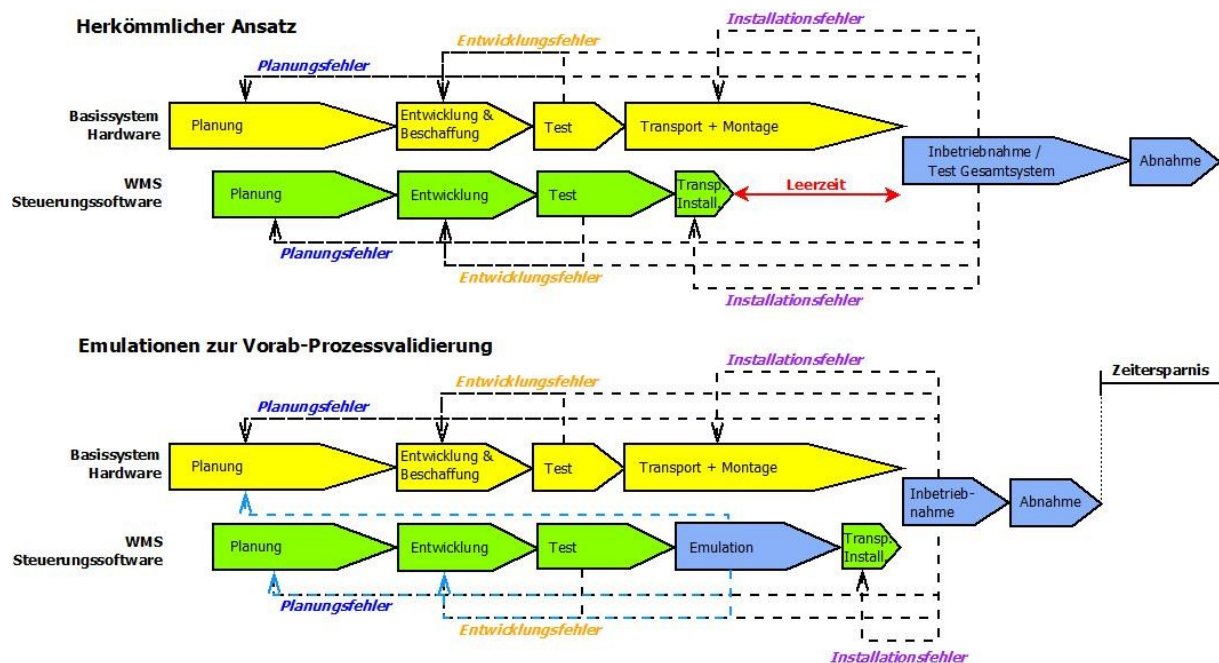


Abbildung 24: Vergleich von Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung

Da das Testen beim Einsatz von Emulation nicht mit dem tatsächlichen Basissystem, sondern mit einem Modell erfolgt, ist das Einsatzgebiet von Emulation eher auf das Aufdecken von Planungs- und softwarebezogenen Entwicklungsfehlern, die vorzeitige Ermittlung der Leistung des Gesamtsystems sowie auf die Anregung des Auftraggebers, so früh wie möglich Änderungswünsche zu äußern, begrenzt. Das Auftreten etwaiger Installationsfehler bzw. hardwarebezogener Entwicklungsfehler (insbesondere bei Hardware-Komponenten, die in der Testphase nicht überprüft wurden) während der Inbetriebnahme-Phase ist somit weiterhin möglich.

Darüber hinaus hängt die Qualität der Ergebnisse bzw. die Zahl der aufgedeckten Fehler von einer Reihe von Einflussfaktoren ab. Dazu zählen unter anderem:

- Ein effizientes Simulations- bzw. Emulationsprogramm, mit dem einerseits die zu modellierenden Prozesse detailliert darstellbar sind, das andererseits auch Leistungsfähigkeit bei der Kommunikation mit externen Systemen bietet.

- Entsprechendes Know-how hinsichtlich
 - von Emulationen generell
 - des Umgangs mit dem eingesetzten Programm
 - der Interpretation der Ergebnisse
- Eine strukturierte Vorgehensweise zur Durchführung der Emulationen, in der genau festgelegt ist, wer was wann zu tun hat.
- Die Bereitschaft bzw. Zustimmung des Auftraggebers, Emulationen durchzuführen

Stehen diese Faktoren nicht in ausreichender Qualität zur Verfügung, so wird auch keine effiziente Durchführung von Emulationen möglich sein.

Grundsätzlich macht der Einsatz von Emulation nur dann Sinn, wenn ausreichend Zeit dafür zur Verfügung steht. Gibt es beispielsweise Verzögerungen bei der Planung oder Entwicklung der Software, die dazu führen, dass nach Beendigung der individuellen Software-Tests auch das Basissystem bereits fertig montiert ist, so sind Tests am realen System zu bevorzugen, da ansonsten zusätzliche Zeit für die Modellerstellung aufgewendet werden müsste. Dies ist möglicherweise auch ein Grund, weshalb es, wenn zu viel und zu lange getestet wird, zu einer Reduktion der Erträge durch den Einsatz von Emulation kommt. Ein weiterer, noch wichtigerer Grund für die Verringerung der Erträge nach einer bestimmten Zeit, ist darauf zurückzuführen, dass die Durchführung einer Emulation natürlich auch mit einem gewissen Aufwand verbunden ist. Durch Aufdecken von Fehlern und Ermitteln von Optimierungspunkten mithilfe von Emulation werden Einsparungen erzielt, mit denen dieser Aufwand gedeckt werden kann. Zu Beginn können solche Optimierungspunkte noch häufiger ermittelt werden. Mit zunehmender "Reife" [Herv. d. Verf.] des Systems wird es jedoch schwieriger ist, Optimierungspunkte zu finden, welche echte Einsparungen darstellen. Schließlich kann der mit der Durchführung der Emulationen verbundene Aufwand womöglich nicht mehr gedeckt werden kann.

Somit ist es wichtig, im Vorhinein abzuschätzen, wie viel Zeit für die Durchführung von Emulationen zur Verfügung steht und welcher Anteil dieser Zeit von Arbeiten zur Fehleranalyse und -behebung in Anspruch genommen wird. Dementsprechend ist es wichtig, exakt festzulegen, was getestet wird und in welchem Umfang getestet wird.

Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass es eine gewisse Zeit dauern wird, bis Emulationen effizient durchgeführt werden können, da womöglich noch nicht ausreichend Erfahrung mit dem Einsatz von Emulationen besteht.

5.3.3.3 Voraussetzungen für die praktische Durchführung von Emulationen

In der folgenden Grafik werden die Voraussetzungen sowohl für den Auftraggeber als auch für den System Provider übersichtlich dargestellt.

Tabelle 2: Voraussetzungen für den Einsatz von Emulation

Voraussetzungen für den Einsatz von Emulation	
Auftraggeber	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinbarung mit dem System Provider bzgl. der Durchführung von Emulationen • Zustimmung des betrieblichen Managements • Know-how bezüglich der Durchführung von Emulationen (mögliche Bereitstellung durch den System Provider) • Ressourcen zur Durchführung von Emulationen (fachkundiges Personal, Betriebsmittel - mögliche Bereitstellung durch den System Provider)
Auftraggeber und System Provider	<ul style="list-style-type: none"> • Effizientes Simulationswerkzeug und effiziente Emulationsumgebung • Möglichkeit zur Schaffung identer Testbedingungen mithilfe des eingesetzten Werkzeuges (z. B. realistische Modellierungen, idente Startbedingungen, Materialflusselemente zur exakten Modellierung des Systems) • Fertigstellung des Steuerungssystems (inkl. Tests) vor Beendigung der Montage des Basissystems
System Provider	<ul style="list-style-type: none"> • Vereinbarung mit dem Auftraggeber bzgl. der Durchführung von Emulationen • Zustimmung des betrieblichen Managements • Know-how bezüglich der Durchführung von Simulation und Emulation (z. B. für die Erstellung des Modells, Durchführung der Emulation) • Ressourcen zur Durchführung von Emulationen (fachkundiges Personal, Betriebsmittel ...) • Ausreichend Zeit (vor der Inbetriebnahme-Phase) zur Durchführung von Emulationen

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für den effizienten Einsatz von Emulationen ist das entsprechende Know-how. Wichtige Aspekte sind hierbei beispielsweise:

- Know-how zum Thema Emulation generell, um optimale, projektspezifische Einsatzgebiete zu identifizieren.
- Know-how zur Auswahl des optimalen Simulationsprogramms.
- Know-how zum Umgang mit dem ausgewählten Programm (Gewährleistung u. a. durch Benutzerhandbücher)
- Know-how zur richtigen, realitätsgetreuen Modellierung des darzustellenden Systems.
- Know-how zum Vorgehen bei der Durchführung von Emulationen.

Diese Arbeit kann als wichtige Grundlage für einige der angeführten Aspekte dienen. Darüber hinaus können Erfahrungsberichte und Fallstudien als wichtige Informationsgrundlage dienen.

5.4 Nutzen durch den Einsatz von Emulation

In diversen Fallstudien, die über den Einsatz von Emulation berichten, wird der erzielte Nutzen beschrieben. Dazu gehören unter anderem eine kürzere Inbetriebnahme-Zeit sowie geringere Projektkosten. Ziel dieses Kapitels ist es nun zu ermitteln, wie solche Nutzenaspekte bzw. auch Einschränkungen zu Stande kommen und welchen Einfluss diese auf den Projekterfolg ausüben.

Dazu ist es zunächst notwendig, für den Projekterfolg relevante Faktoren (aus der Sicht des System Providers) zu erfassen. Anschließend gilt es zu analysieren, inwiefern Emulationen zur Erreichung dieser und anderer Erfolgsfaktoren beitragen können.

Projekterfolg					
Haupt-einfluss-faktoren	Budget	Termine	Leistung	Kundenzufriedenheit	Individuelle Projektziele
<i>Beschreibung</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung des geplanten Projektbudgets 	<ul style="list-style-type: none"> • Einhaltung der geplanten Termine 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfüllung der Kriterien zur Abnahme des Systems durch den Kunden • Erfolgreiche Durchführung von Schulungen (bezogen auf das Know-how der Schulungsteilnehmer nach Beendigung der Schulungen) 	<ul style="list-style-type: none"> • Erfüllung der Kundenanforderungen • Einhaltung der Termine • Projektabwicklung zu vereinbarten Kosten • Reibungslose Projektabwicklung • Fehlerloser Betrieb nach der Systemabnahme 	<ul style="list-style-type: none"> • verbessertes Image bzw. höherer Bekanntheitsgrad • gute Kundenbindung als Basis für weitere Projekte • Know-how-Gewinn (als Grundlage für die Abwicklung weiterer Projekte)
<i>Beispiele für Risiken mit Auswirkung auf Haupt-einfluss-faktoren</i>	<ul style="list-style-type: none"> • zusätzliche Kosten für den Ressourceneinsatz • Änderungskosten • Fehlerbehebungskosten 	<ul style="list-style-type: none"> • Auftreten von Fehlern (Anzahl und Zeitpunkt) • Zeitlicher Aufwand zur Fehlerbeseitigung • Ungenügende Lieferfähigkeit, Liefertreue und Lieferqualität der eigenen Lieferanten • Änderungswünsche durch den Kunden 	<ul style="list-style-type: none"> • Ungenügende Kenntnis der Vorstellungen und Wünsche des Kunden • Unzureichende Miteinbeziehung aller Kundenwünsche in der Planungsphase • Unplanmäßige Umsetzung des Systems und damit der Kundenwünsche in der Entwicklungs- und Implementierungsphase 	<ul style="list-style-type: none"> • Frühste mögliche Beseitigung von Fehlern • Nicht ausreichende Flexibilität 	<ul style="list-style-type: none"> • Erreichung einer hohen Kundenzufriedenheit • Unzureichende Erfahrungsdokumentation

 Basisfaktoren

Abbildung 25: Relevante Faktoren für den Projekterfolg aus der Sicht des System Providers

Neben den oben beschriebenen Faktoren können auch noch andere, projektspezifische Aspekte für den Projekterfolg von Bedeutung sein. Im Bereich "Kundenzufriedenheit" [Herv. d. Verf.] sind einige Faktoren als Basisfaktoren gekennzeichnet. Im so genannten "Kano-Modell" [Herv. d. Verf.] kennzeichnen Basisfaktoren Aspekte, welche unbedingt erfüllt sein müssen, um Unzufriedenheit zu vermeiden.

Die "möglichen Einflussfaktoren" [Herv. d. Verf.] beschreiben potentielle Hebel für die Steuerung der für den Projekterfolg relevanten Haupteinflussfaktoren. So ist beispielsweise die genaue Kenntnis der Kundenwünsche eine wichtige Voraussetzung für die Erfüllung der Voraussetzung zur Abnahme des Systems durch den Kunden oder Flexibilität notwendig, um spontane Änderungswünsche des Kunden umsetzen zu können.

5.4.1 Nutzen durch den Einsatz von Emulationen - Sicht des System Providers

Nun gilt es festzustellen, inwiefern mithilfe von Emulation Einfluss auf diese Faktoren genommen werden kann.

Fehlerfindungsprozess und Testumfang

Tests am realen System sind aufwändiger als das Testen mithilfe eines Modells. Dies ist unter anderem durch die längere Vorbereitungszeit beim realen Testen bedingt. Was in einem Modell mit einem entsprechenden Simulationswerkzeug, welches beispielsweise CAD-Imports zulässt, vergleichsweise rasch erledigt werden kann, ist in der Realität ein viel größerer Aufwand. Doch nicht nur die Vorbereitung ist beim Testen am realen System aufwändiger, sondern auch die Verfolgung bzw. Beobachtung eines bestimmten Materialflussobjektes durch das Gesamtsystem. Beim Testen mithilfe einer Emulation können die Materialflussobjekte bequem auf einem Bildschirm verfolgt werden. Parallel dazu können wichtige Aspekte des Steuerungssystems dargestellt werden, was zu einer Vereinfachung des Analyse- und Fehlerfindungsprozesses führt.

Folglich kann mithilfe von Emulationen die Zeit, die für die Durchführung der Tests, die Analyse und die Fehlersuche benötigt wird, verkürzt werden. Demzufolge können in der selben Zeit auch mehr Tests durchlaufen werden. Soll ein bestimmtes Szenario erneut getestet werden, so muss nur das zuvor abgespeicherte Modell geöffnet und der Test wiederholt werden. In der Realität hingegen ist es schwieriger und viel aufwändiger, den alten Systemzustand schnell wiederherzustellen.

Die Möglichkeit zur Durchführung von mehr Tests in derselben Zeit führt zu einem größeren Testumfang beim Einsatz von Emulationen. Wo beim Testen am realen System auch aufgrund der begrenzten Zeitdauer, die für das Testen zur Verfügung steht, bestimmte Szenarien vielleicht nur einmal überprüft werden können, können bei Emulationen verschiedenste Szenarien öfters durchlaufen werden. Das bedeutet, dass mithilfe von Emulation detailliertere Tests möglich sind.

In einer Fallstudie wurde diesbezüglich auch die Möglichkeit zum Testen des Systemverhaltens bei ungewöhnlichen Ereignissen (z. B. Worst-Case-Szenarien), oder bei Ereignissen, die in der Realität erst ab einer bestimmten Systemlaufzeit eintreten würden als Vorteil angeführt.⁶⁷ Auch besonders aufwändige Szenarien, die beim realen Testen eine längere Vorbereitungszeit benötigen würden, können mit vergleichsweise geringem Aufwand getestet werden.

Folglich wird durch die umfangreicheren Tests die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems genauer überprüft und es werden mehr Fehler aufgedeckt, welche noch vor (Fertigstellung) der Errichtung der Anlage beseitigt werden können.

Jeder Fehler, der vor der Abnahme des Systems beseitigt werden kann, verursacht nach der Abnahme durch den Kunden keine Probleme mehr und macht somit einen fehlerlosen Betrieb wahrscheinlicher. Die Qualität der Leistungen wird somit noch vor der Inbetriebnahme des Systems zumindest teilweise abgesichert. Dies ist ein wichtiger Einflussfaktor auf die Zufriedenheit des Kunden.

Testumgebung

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Testumgebung. Wo beim Testen am realen System Arbeiter, Lärm, und andere störende Faktoren ein konzentriertes Arbeiten nicht immer zulassen, ermöglichen Emulationen die Durchführung der Tests in einer ruhigen Umgebung. Dies wiederum führt zu mehr Produktivität bei der Durchführung der Arbeiten. Je nach Arbeitsinhalt können auf diese Weise beispielsweise Fehlerursachen schneller identifiziert werden.

Dies ist auch bei der Durchführung der Schulungen ein wichtiger Faktor, da sich die Mitarbeiter voll und ganz auf ihre Aufgaben konzentrieren können. Da Schulungen meist ein Teil der Leistungen des System Providers sind, ist es für den Projekterfolg wichtig zu gewährleisten, dass diese effizient abgewickelt werden.

Sicherstellung der Leistung und Überprüfung der Kundenwünsche

Wie in dieser Arbeit bereits erörtert, ist es oft schwierig, die Wünsche des Auftraggebers umfassend umzusetzen, da aufgrund der eingeschränkten oder einseitigen Sichtweise zuständiger Personen (z. B. bei der Erstellung des Pflichtenheftes) die Relevanz bestimmter Faktoren außer Acht gelassen wird. So kann es passieren, dass Faktoren, welche für den Auftraggeber womöglich besonders wichtig sind, vom System Provider als eher nebensächlich aufgefasst und somit nicht ausreichend berücksichtigt werden. Andererseits kommt es auch häufig vor, dass nach Abschluss der Planungstätigkeiten spontane Änderungswünsche des Auftraggebers auftreten.

Da ein Emulationsmodell vor Beendigung der Errichtung der Anlage erstellt wird, und demnach auch die Leistung und Funktionalität des Gesamtsystems vor Beendigung der Montage-Arbeiten überprüft werden, können diesbezügliche Schwierigkeiten früher aufgedeckt werden. Durch Miteinbeziehung des Auftraggebers bei der Durchführung der Emulationen

⁶⁷ Vgl. Versteegt, C. et al. (2002), S.1660

können etwaige, von ihm ausgehende Änderungswünsche noch vor Beendigung der Montage-Phase ermittelt, geplant und umgesetzt werden.

Darüber hinaus kann mit dem Modell bereits im Vorhinein überprüft werden, ob das Gesamtsystem einerseits funktionsfähig ist und ob es andererseits auch die geforderten Leistungsvorgaben erfüllt. Notwendige, fehlerbedingte Änderungen am System können so ebenfalls früher, noch vor der Fertigstellung der Anlage, durchgeführt werden.

In folgender Grafik sind die Änderungsmöglichkeiten im Vergleich zu den Änderungskosten bis zum Bauende aufgezeichnet:

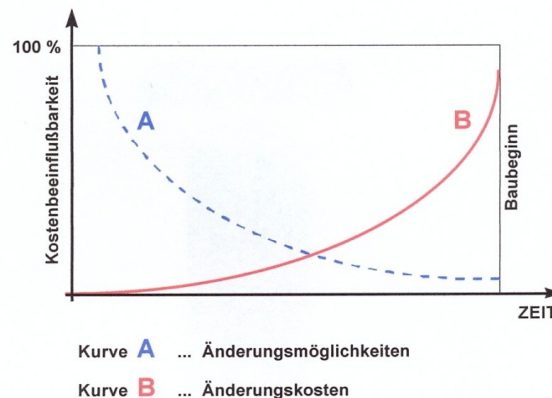


Abbildung 26: Änderungsmöglichkeiten und Änderungskosten⁶⁸

Da in der späteren Inbetriebnahme-Phase die Baumaßnahmen abgeschlossen sind, ist die Umsetzung von Änderungen mit einem sehr hohen Aufwand verbunden. Aus diesem Grund ist es wichtig, die Zahl der notwendigen Änderungen in dieser Phase so gering wie möglich zu halten, was wiederum Zeit und Geld spart. Dies kann mithilfe des Emulationsmodells und durch die aktive Miteinbeziehung des Kunden erreicht werden.

Die Flexibilität bei der Durchführung von Änderungen ist somit in früheren Projektphasen größer als in späteren. Da der Kunde durch den Einsatz von Emulation angeregt wird, Änderungswünsche früher zu äußern, wird die Durchführung von Änderungen in eine Phase verlagert, in der diesbezüglich eine größere Flexibilität vorhanden ist. Da einerseits Flexibilität ein wichtiger Faktor für die Kundenzufriedenheit ist, andererseits jedoch auch die Einhaltung der Termine und Kosten ein wichtiger Faktor sind, diesbezüglich ist der Einsatz von Emulationen besonders vorteilhaft.

Image, Kundenzufriedenheit und Wettbewerbsfähigkeit

Ebenfalls von Bedeutung ist der Imagegewinn, der durch die Durchführung einer Vorab-Prozessvalidierung mit Emulationen erzielt werden kann.

Da hierbei das erstmalige Testen des Gesamtsystems nicht erst beim Kunden sondern bereits zuvor beim System Provider erfolgt, werden viele Fehler schon vor Fertigstellung der Errichtung der Anlage beim Kunden bereinigt. Dies führt zu einem reibungsloseren Ablauf

⁶⁸ Quelle: Tautschnig, A. (1997), S. 7

der Inbetriebnahme- und Abnahmephase und damit zu einer erhöhten Kundenzufriedenheit und einem verbesserten Image. Das wiederum ist ein wichtiger Faktor für den Erhalt weiterer Aufträge.

Auch der Einsatz von Emulationen selbst kann das Image bzw. die Kundenzufriedenheit verbessern, da dadurch das Bemühen, den Auftrag so effizient und gut wie möglich bzw. vor allem nach den Wünschen des Kunden umzusetzen, zum Ausdruck gebracht wird.

Emulationen können auch eine Möglichkeit sein, um sich von der Konkurrenz zu differenzieren und ihr Einsatz ist möglicherweise ausschlaggebend für den Zuschlag bei einem Auftrag sein.

Ressourceninanspruchnahme

Beim Einsatz von Emulationen zur Vorab-Prozessvalidierung wird ein Teil der Fehler des Systems bereits beim System Provider beseitigt. Da aus diesem Grund während der Inbetriebnahme beim Kunden weniger Probleme auftreten, werden die Mitarbeiter auch weniger Zeit auf der Baustelle zur Fehlersuche und -behebung verbringen. Dementsprechend sinken die Reise- und Personalkosten, vor allem dann, wenn es sich um ein Auslands-Projekt handelt, was in dieser Branche wie bereits festgestellt oft der Fall ist.

Ein weiterer wichtiger Punkt ist, dass im Gegensatz zum Testen am realen System beim Emulieren keine realen Betriebsmittel benötigt werden, da alles im Modell dargestellt wird. Somit besteht auch keine Gefahr der Beschädigung der Betriebsmittel.

Bei der Modernisierung eines automatisierten Materialflusssystemes in der Lebensmittelindustrie konnte beispielsweise festgestellt werden, dass jede Stunde die für das Testen anhand eines Emulationsmodells aufgewendet wurde zu mehr als einer Stunde Zeitersparnis beim Testen bzw. bei der Inbetriebnahme vor Ort führte. Darüber hinaus konnte die Zahl notwendiger Personen für das Testen vor Ort beim Kunden von zwei auf eine Person reduziert werden.⁶⁹

Die verringerte Ressourceninanspruchnahme führt dazu, dass keine zusätzlichen, ungeplanten Kosten für Ressourcen anfallen. Dies wiederum ist ein wichtiger Aspekt für die Einhaltung des geplanten Projektbudgets.

Weitere Potentiale für den Einsatz von Emulationen

Abgesehen vom Zweck der Vorab-Prozessvalidierung bestehen noch weitere Möglichkeiten für den Einsatz von Emulationen bei der Errichtung neuer Anlagen.

So kann das Emulationsmodell beispielsweise zur Durchführung von Mitarbeiterschulungen eingesetzt werden. Dadurch können Schulungen bereits vor Fertigstellung der Anlage in einer sicheren Umgebung umfangreicher und detaillierter durchgeführt werden. Darüber hinaus kann aufgrund der Übersichtlichkeit des Emulationsmodells bei den Mitarbeitern ein besseres Verständnis der Wirkzusammenhänge des Gesamtsystems geschaffen werden.

⁶⁹ Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1726

Dies wird unter anderem auch dadurch gewährleistet, dass bei Schulungen mithilfe des Modells risikofrei das Verhalten des Gesamtsystems unter unterschiedlichen, variierenden Einflussfaktoren getestet werden. Auf diese Weise erhalten die Mitarbeiter einen Einblick in das Systemverhalten unter verschiedenen Belastungszuständen.

Der positive Effekt beim Einsatz des Modells für Schulungszwecke kann durch die Ergebnisse zweier Fallstudien bestätigt werden. Sowohl Koflanovich und Hartmann (2010) als auch Phillips und Montalvo (2010) führen bei ihren Ergebnissen nach dem Einsatz von Emulationen zu Schulungszwecken eine verbesserte Lernkurve an.⁷⁰

Besser geschulte Mitarbeiter wirken sich positiv auf die Kundenzufriedenheit aus.

Ein weiteres Potential für den Einsatz von Emulationen besteht nach der Abnahme der Anlage durch den Kunden. Das Emulationsmodell kann hierbei für etwaige Änderungen, Aktualisierungen oder Erweiterungen der Steuerungssoftware herangezogen werden.⁷¹ Auf diese Weise können Änderungen am Steuerungssystem oder auch schrittweise Änderungen am Basissystem vor der tatsächlichen Durchführung getestet werden, um eine Umstellung des Systems ohne Stillstandzeiten zu ermöglichen.

Kosten und Zeit

Einige der zuvor beschriebenen Faktoren wirken sich direkt oder indirekt auf die für den Projekterfolg wichtigen Faktoren Kosten und Projektdauer aus.

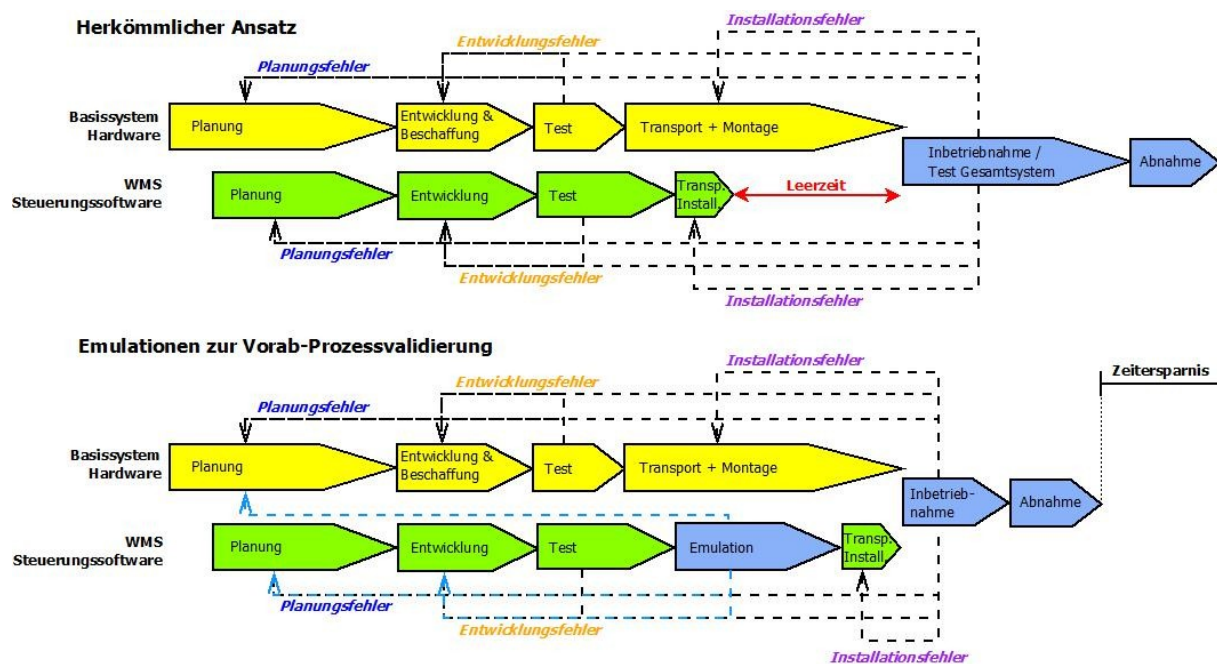


Abbildung 27: Vergleich von Methoden zur Vorab-Prozessvalidierung

Dazu betrachten wir zunächst noch einmal die Gegenüberstellung zwischen herkömmlichem Ansatz zum Testen des Gesamtsystems und Emulation. Beim herkömmlichen Ansatz wird

⁷⁰ Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1724; Phillips, R.; Montalvo, B. (2010), S. 1676

⁷¹ Vgl. Daniluk, D. et al. (2010); S. 153

das Gesamtsystem, das heißt das Zusammenwirken von Steuerungs- und Basissystem, erst vor Ort nach Errichtung des physischen Systems und der Installation des Steuerungssystems getestet. Beim Einsatz von Emulationen hingegen kann das Gesamtsystem noch vor oder während der Errichtung des Basissystems beim Kunden getestet werden.

Werden Emulationen zur Vorab-Prozessvalidierung eingesetzt, so wird auch die bereits beschriebene "Leerzeit" [Herv. d. Verf.] sinnvoll genützt. Die Zeit bis zur Beendigung der Montagearbeiten, die ansonsten weitgehend ungenützt bleiben würde, wird bei diesem Ansatz zum Vorab-Testen des Gesamtsystems genützt. Folglich wird aus diesem Grund auch die Inbetriebnahme- bzw. Abnahme-Phase verkürzt.

Doch auch die kürzere Zeit, die für die Fehlerfindung und Fehleranalyse mit Emulationen im Vergleich zum Testen am realen System benötigt wird, führt zu einer Verkürzung der Inbetriebnahme- und Abnahme-Dauer, da in derselben Zeit mehr Fehler aufgedeckt und beseitigt werden können.

Tritt ein Fehler auf, so kommt diese Zeitersparnis noch deutlicher zur Geltung.

Beispiel: Planungsfehler Basissystem

Hier wird beispielsweise ein Planungsfehler betrachtet, der eine Änderung eines Teils des Basissystems zur Folge hat:

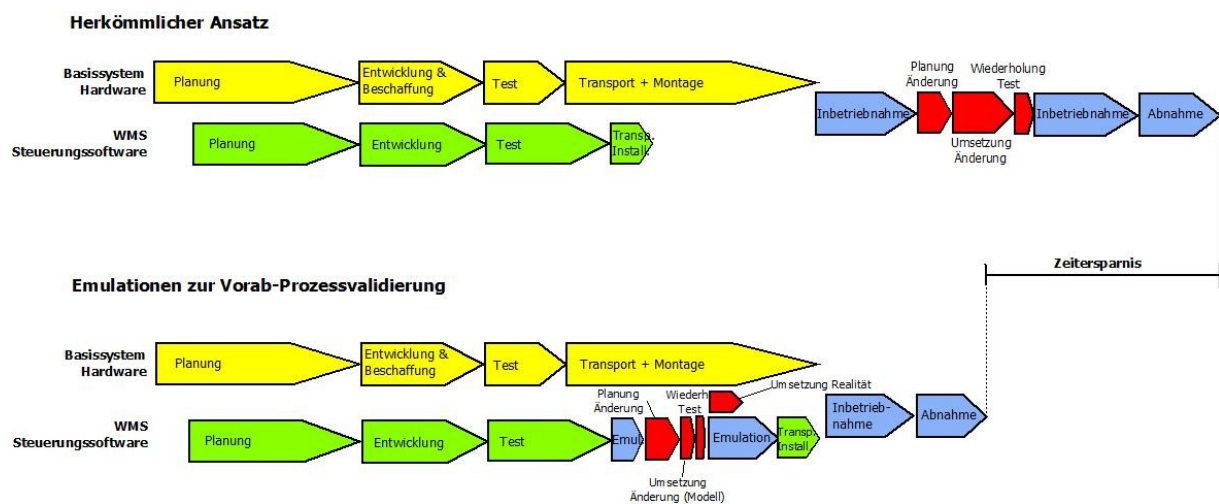


Abbildung 28: Zeitersparnis bei der Durchführung einer Änderung

Tritt beim herkömmlichen Ansatz während der Inbetriebnahme-Phase ein Fehler auf, der beispielsweise eine Änderung am Basissystem zur Folge hat, so muss diese zunächst geplant werden. Anschließend erfolgt die Umsetzung der Änderung sowie die Wiederholung des Tests, durch den der Fehler entdeckt wurde.

Beim Einsatz von Emulation kann derselbe Fehler bereits früher entdeckt bzw. die Fehlerursache rascher identifiziert werden. Wie zuvor muss anschließend die Änderung geplant werden. Die Umsetzung erfolgt zunächst nur im am Modell, was verglichen zur Umsetzung am realen System generell ein geringerer Aufwand ist. Anschließend wird der Test wiederholt. Auch dies benötigt, wie in dieser Arbeit bereits beschrieben, weniger Zeit als das Testen am realen System. Da der entsprechende Teil des Basissystems möglicherweise noch gar nicht

errichtet wurde, ist auch die Umsetzung der Änderung in der Realität, welche parallel zur Durchführung weiterer Tests erfolgt, mit weniger Aufwand verbunden.

Somit führt auch die frühere Erkenntnis über notwendige Änderungen am Steuerungs- oder Basissystem zu einer Verkürzung der Inbetriebnahme- bzw. Abnahmephase.

Kommt es im Rahmen der Montage-Phase zu ungeplanten Verzögerungen, so würde dies beim herkömmlichen Ansatz zu zusätzlichen, ungeplanten Leerzeiten führen. Beim Einsatz von Emulation können diese Zeiten hingegen zur Vorab-Prozessvalidierung genutzt werden. Auf diese Weise kann die zeitliche Verzögerung des Projektes in Grenzen gehalten werden.

Alle Fehler, die im Rahmen der Vorab-Prozessvalidierung aufgedeckt und beseitigt werden können, treten bei der Inbetriebnahme des Systems vor Ort beim Auftraggeber nicht mehr auf. Folglich setzt sich die Verkürzung der Projektdauer grundsätzlich aus folgenden Zeitannteilen zusammen:

- Die "Leerzeit" [Herv. d. Verf.], welche beim herkömmlichen Ansatz entsteht.
- Die Zeitdifferenz für Fehlersuche und -analyse beim Einsatz von Emulationen im Vergleich zum Testen am realen System.
- Die Zeitdifferenz für die Durchführung von Änderungen aufgrund des früheren Auftretens von Änderungsansprüchen.

Es gilt jedoch zu beachten, dass diese Zeitanteile nicht einfach addiert werden können. Der Grund dafür ist, dass beispielsweise die Effizienz der Zeitspanne, in der Emulationen durchgeführt werden, von verschiedenen Faktoren beeinflusst wird. Wichtige Einflussfaktoren sind zum Beispiel die Qualität des Simulationsprogrammes, die zu prüfenden Testfälle oder die Fähigkeit der zuständigen Mitarbeiter zur Analyse der auftretenden Probleme. Das heißt, dass auch wenn beispielsweise ein leistungsfähiges Simulationsprogramm zur Verfügung steht, möglicherweise keine oder nur wenig Fehler aufgedeckt werden, da die falschen Testfälle überprüft werden. Andererseits ist keine effiziente Emulation möglich, wenn das Materialflusssystem mithilfe des Simulationsprogrammes nicht mit ausreichender Genauigkeit dargestellt werden kann.

Wird die vorgesehene Gesamtprojektdauer eingehalten, entstehen auch keine zusätzlichen Kosten, die aufgrund einer zusätzlichen, zu Projektbeginn nicht eingeplanten Ressourceninanspruchnahme zurückzuführen wären. Grundsätzlich führt der zuvor beschriebene Faktor Ressourceninanspruchnahme zu einer Kostensenkung, da beim Einsatz von Emulationen einerseits weniger Testpersonal benötigt wird und andererseits die Mitarbeiter weniger Zeit auf der Baustelle verbringen müssen. Dies führt zu einer Senkung der Personal-, Reise- und folglich auch der Gesamtkosten. Dies kann auch mithilfe einer Fallstudie belegt werden: Im Rahmen eines Projektes, bei dem die Steuerungssoftware eines Gepäckumschlagsystems vor dessen Installation mithilfe einer Emulation getestet wurde, konnte die benötigte Zeitdauer für die Installation bzw. Montage sowie das Testen der Gesamtanlage vor Ort um 30 % reduziert werden. Dies führte wiederum zu einer Reduktion der Projektkosten um 25 %.⁷²

⁷² Vgl. Rengelink, W. et al. (2002), S. 1692

5.4.2 Nutzen durch den Einsatz von Emulationen - Sicht des Auftraggebers

Die zuvor beschriebenen Vorteile kommen teilweise auch dem Auftraggeber zugute:

Frühestmögliche Sicherstellung der Leistung und Risikosenkung

Die vom Auftragnehmer vorgenommenen Maßnahmen zur Sicherstellung der Leistung und Einhaltung der Kundenanforderungen sind natürlich auch für den Auftraggeber von Vorteil. Aus der Sicht des System Providers geht es bei diesem Faktor unter anderem darum, Änderungen so früh wie möglich durchzuführen um dadurch in weiterer Folge Zeit und Kosten zu minimieren.

Bei Durchführung einer Vorab-Prozessvalidierung mithilfe von Emulation wird die Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems bereits nach der individuellen Überprüfung von Hard- und Software erstmalig getestet. Somit kann ein Großteil der Fehler bereits vor der Inbetriebnahme des Systems behoben werden. Da notwendige, ungeplante Änderungen das Projekt verzögern und somit auch zu einem verspäteten "System Go-live" [Herv. d. Verf.] führen, ist die frühestmögliche Sicherstellung der Funktions- und Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems auch für den Auftraggeber von Vorteil. Damit sinkt für ihn auch das Risiko, in eine unzulängliche Technologie investiert zu haben. Darüber hinaus werden beim Testen mit Emulationen keine realen Betriebsmittel benötigt. Demzufolge gibt es auch kein Risiko einer Beschädigung solcher.

Testumgebung

Ein weiterer Vorteil beim Einsatz von Emulationen ist wie im vorigen Kapitel bereits beschrieben die Testumgebung. Werden Emulationen auch für Schulungszwecke eingesetzt, so kommt die ruhige, ablenkungsfreie Testumgebung auch dem Kunden zugute, da die Mitarbeiter sich besser konzentrieren und das Gelernte besser verarbeiten können.

Besser geschulte Mitarbeiter produzieren weniger Fehler bzw. ermöglichen eine höhere Leistung im produzierenden Betrieb.

Kosten und Zeit

Wie bei den Vorteilen aus der Sicht des System Providers, hat der Einsatz von Emulationen auch auf der Auftragsgeberseite einen Einfluss auf Kosten und Zeit. Die kürzere Zeit die für die Systeminbetriebnahme benötigt wird führt zu einer schnelleren Projektabwicklung im Vergleich zu Projekten, in denen Emulationen nicht eingesetzt werden. Dies wiederum führt für den Kunden zu einer kürzeren Markteintrittszeit.

Dieser Effekt konnte auch im Rahmen eines Projektes zur Implementierung eines unterirdischen Materialflusssystemes in den Niederlanden (Schiphol), bei dem auch Emulationen eingesetzt wurden, beobachtet werden.⁷³

Ein weiterer wichtiger Punkt ist die geringere Fehlerquote durch individuelle Bedienungsfehler von Mitarbeitern, welche durch umfangreichere Schulungen und ein besseres Verständnis der Mitarbeiter des Gesamtsystems erreicht werden kann. Dies führt zu geringeren Fehler- und Ausfallskosten.

Dieses geringere Fehlerrisiko wurde auch bei einem Projekt zur Modernisierung eines automatisierten Materialflusssystemes mithilfe von Emulationen festgestellt. Durch die umfangreichere Trainingsmöglichkeiten konnte auch die Lernkurve beschleunigt werden.⁷⁴

Weitere Potentiale für den Einsatz von Emulation

Aus der Sicht des Auftraggebers macht der Einsatz von Emulation vor allem auch bei Projekten Sinn, bei denen mehrere Lieferanten involviert sind. So kann beispielsweise ein Lieferant für die Materialflusssystem-Planung zuständig sein, während ein anderer das Steuerungssystem zur Verfügung stellt. Mithilfe von Emulation kann hierbei noch vor der Implementierung die Funktionalität des Gesamtsystems sichergestellt werden.

Generell können Emulationen bei Folgeprojekten zu Modernisierungszwecken eingesetzt werden. Durch Vorab-Validierung des zu implementierenden Systems und Fehlerbehebung abseits vom Auftraggeber steigt die Wahrscheinlichkeit einer reibungslosen Implementierungsphase. Somit ist auch das Risiko, dass der Betrieb gestört wird, geringer.

⁷³ Vgl. Versteegt, C. et al. (2002), S. 1660

⁷⁴ Vgl. Koflanovich, N. et al. (2010), S. 1724

6 Vorgehensmodell für den Einsatz von Emulationen in der Lagerlogistik

Ziel dieses Kapitels ist es, basierend auf den bisher getroffenen Erkenntnissen, ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Emulationen in der Lagerlogistik bei der Errichtung neuer Anlagen zu entwickeln. Hierbei gilt es, die Sicht des System Providers sowie des Auftraggebers zu unterscheiden und festzulegen, welche Schritte bzw. Aufgaben beide Parteien für eine erfolgreiche Emulation ausführen müssen.

Die folgende Grafik dient als Grundlage für dieses Vorgehensmodell und beschreibt einerseits die Aufgaben des Auftraggebers und andererseits die Aufgaben des System Providers zur erfolgreichen und effizienten Durchführung von Emulationen. Die einzelnen Aufgaben werden anschließend näher beschrieben.

Aufgabenverteilung Emulation

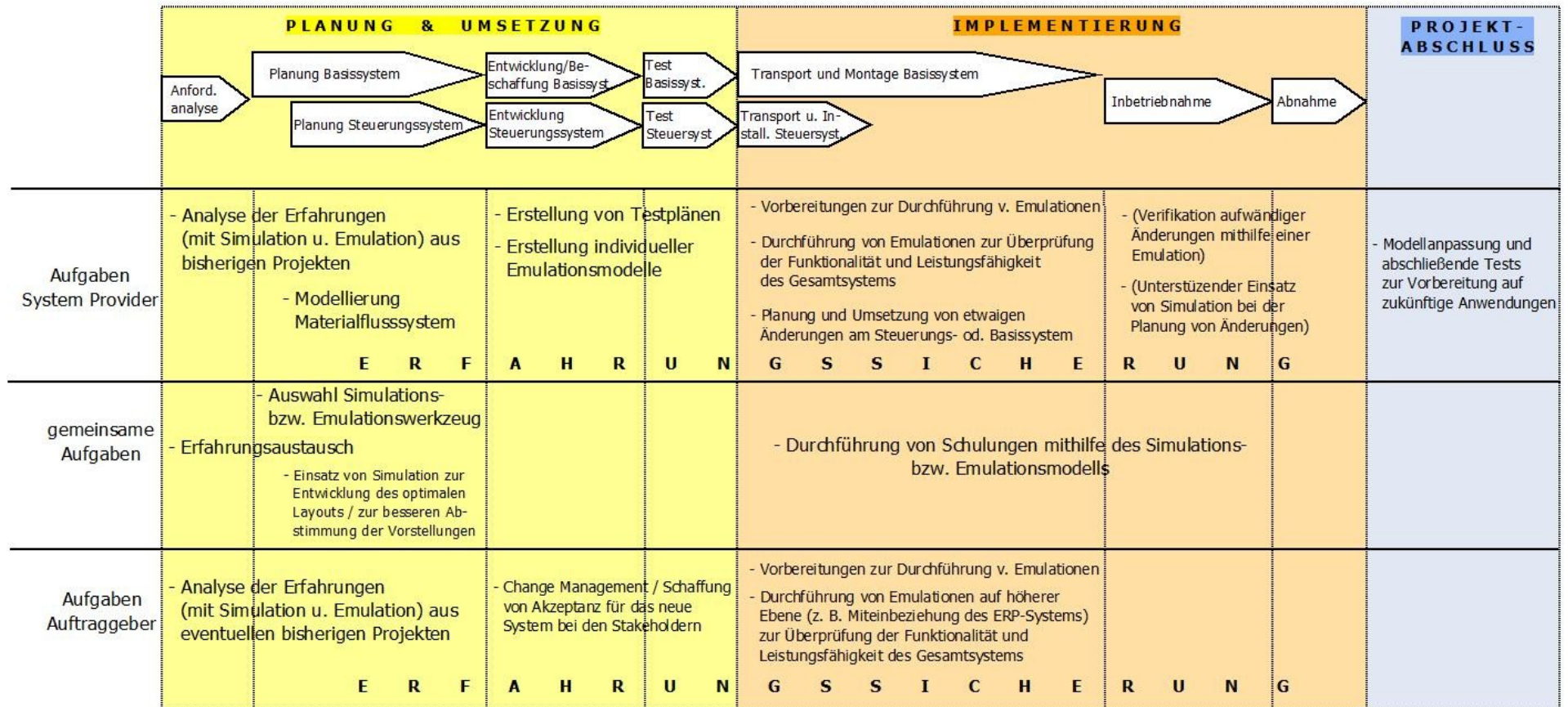


Abbildung 29: Aufgabenverteilung Emulation

6.1 Analyse der Erfahrungen aus bisherigen Projekten

Der erste Schritt bei der Durchführung einer Emulation sollte die Analyse der Erfahrungen zum Thema Simulation und Emulation aus bisherigen Projekten sein.

Wie dies erfolgt, wird von der eingesetzten Erfahrungssicherungsmethode bzw. von der Qualität der vorhandenen Informationen abhängen. Gibt es keine standardisierte Vorgehensweise zur Erfahrungssicherung, so müssen die vorhandenen Daten und Informationen möglicherweise erst aufbereitet werden, um von Nutzen zu sein.

Jedenfalls gilt es zu ermitteln, inwiefern die gesammelten Daten Einfluss auf den weiteren Verlauf des Projektes haben und festzulegen, wie sie optimal genutzt werden können. Dieser Schritt ist sowohl für den Auftraggeber als auch für den System Provider von Interesse, da beide Emulationen durchführen sollten. Aufgrund ihrer unterschiedlichen Prioritäten bzw. Sichtweisen ist auch der Erfahrungsaustausch zwischen den beiden Parteien von Bedeutung. Auf diese Weise können alle vorhanden Informationen genutzt werden.

Ebenfalls von großer Wichtigkeit bei der Analyse der Erfahrungen bisheriger, vergleichbarer Projekte ist es festzustellen, welche Aspekte einen negativen Einfluss auf Faktoren wie beispielsweise die Projektdauer oder Projektkosten hatten. Fehler, die häufiger auftreten können im Rahmen der Emulationen besonders berücksichtigt werden.

6.2 Auswahl Simulations- bzw. Emulationswerkzeug

Der nächste wichtige Schritt zur Durchführung einer Emulation besteht in der Auswahl der einzusetzenden Werkzeuge. Dies ist allerdings nur dann notwendig, wenn das Unternehmen erstmalig Emulationen einsetzt oder zuvor nur mit Programmen mit zeitlich beschränkten Lizenzen gearbeitet wurde.

Wie im vierten Kapitel bereits festgestellt, gibt es eine Vielzahl von Simulationssprachen, Simulationsumgebungen und Simulatoren, aus denen das optimale Werkzeug für den jeweiligen Einsatzfall auszuwählen ist. Darüber hinaus gilt es, die optimale Emulationsumgebung auszuwählen.

Da sowohl der Auftraggeber als auch der System Provider im weiteren Projektverlauf mit dem ausgewählten Werkzeug arbeiten sollen, besteht auch die Möglichkeit, den Auftraggeber in die Wahl mit einzubeziehen, wenn dieser es wünscht. Dies könnte sich positiv auf die Kundenzufriedenheit auswirken. Darüber hinaus sollten bei der Auswahl des Emulationswerkzeuges auch die im Rahmen der Erfahrungsanalyse gewonnenen Informationen aus Fallstudien anderer Unternehmen oder bisherigen Projekten berücksichtigt werden.

Aus den Fallstudien, in denen über Erfahrungen mit dem Einsatz von Emulationen zur Vorab-Prozessvalidierung berichtet wurde, sollen nun wichtige Anforderungen an das Simulationswerkzeug sowie die Emulationsumgebung ermittelt werden. Erstere beziehen sich auf wichtige Aspekte für eine realistische, detaillierte Modellierung des zugrundeliegenden Materialflusssystemes. Die Anforderungen an die Emulationsumgebung umfassen Aspekte hinsichtlich der Ausführung der Emulation, das heißt beispielsweise die Kopplung des Modells mit dem realen System.

Ein wichtige, grundlegende Entscheidung, die bei der Wahl des Simulationswerkzeuges getroffen werden muss ist, ob die komplette Software oder eine Lizenz für einen beschränkten Zeitraum erworben wird.

Wird beispielsweise nur eine Lizenz für die Projektdauer erworben, so sollten auch individuelle Aspekte und Herausforderungen des entsprechenden Projektes in den Auswahlprozess mit einfließen. Wird die komplette Software erworben, so ist dies nur beschränkt möglich. Hierbei werden die Kosten oder der geplante Umfang des Einsatzes von Emulation (z. B. für ein Projekt oder für mehrere) eine Rolle spielen.

Der hier angeführte Anforderungskatalog umfasst einige wichtige Aspekte, die für eine erfolgreiche Emulation in der Logistik bei der Errichtung neuer Anlagen relevant sein können.

6.2.1 Anforderungen an das Simulationswerkzeug

- Animation

Die Möglichkeit, Systemabläufe mithilfe von Animationen darzustellen, ist insbesondere bei komplexen Modellen von Bedeutung, da dadurch das System so visualisiert werden kann, wie es auch in der Realität aussehen wird. Dies ist vor allem beim Einsatz des Modells für Schulungszwecke wichtig. Da möglicherweise nicht alle Schulungsteilnehmer Software-Experten sind bzw. mit Simulationsmodellen vertraut sind, kann es zu Fehlinterpretationen, Unverständnis oder falschen Vorstellungen bezüglich der Funktionsweise des tatsächlichen Systems kommen. Mithilfe von Animationen kann dem entgegengewirkt werden. Auch bei der Abstimmung der Vorstellungen von System Provider und Auftraggeber ist dies wichtig, um Missverständnissen vorzubeugen.

- Möglichkeit zur Darstellung komplexerer Systeme

Bei der Möglichkeit zur Darstellung komplexer Systeme geht es darum, dass ausreichend Bausteine, Werkzeuge und Materialflusselemente zur Verfügung stehen, um das System in der gewünschten Genauigkeit zu modellieren. Dies kann beispielsweise durch ein individuelles, auf ein bestimmtes Projekt oder auf einen bestimmten Zweck angepasstes Werkzeug oder durch die Einbindung einer Programmiersprache, mit deren Hilfe eigene Bausteine oder Funktionen modelliert werden können, realisiert werden.

- Rasche Modellerstellung

Da der hohe Aufwand der Modellerstellung ein schwerwiegender Nachteil beim Einsatz von Simulation ist, ist es wichtig, ein Simulationswerkzeug auszuwählen, mit dem der Modellerstellungsaufwand reduziert werden kann. Eine solche Möglichkeit bieten beispielsweise Simulationswerkzeuge mit automatischer Modellerstellungsfunktion durch CAD-Import. Darüber hinaus ist hierbei das Vorhandensein ausreichender, vorgefertigter Materialflussobjekte von Bedeutung.

- Realistische Modellierung

Realistische Modellierung bedeutet, dass auch ungewöhnliche Ereignisse, wie beispielsweise Kollisionen, Staus oder womöglich auch das Abrutschen von Produkten von Förderbändern, auftreten können. Auf diese Weise können mithilfe des Modells auch Szenarien getestet werden, die ansonsten nur beim Testen am realen System überprüft werden könnten.

Auch die Möglichkeit zur Simulation von Not-Stopps oder Bedienfehler kann von Vorteil sein. Dies kann beispielsweise über spezielle Buttons im Simulationsprogramm umgesetzt werden.⁷⁵

Darüber hinaus umfasst der Punkt "realistische Modellierung" [Herv. d. Verf.] auch die Einbeziehung von Zeiten für Entscheidungen oder diverse Berechnungen. Da diese Aufgaben im realen System oft eine gewisse Zeit in Anspruch nehmen, sollte diese auch im Modell berücksichtigt werden.

- Möglichkeit, Teilsysteme zu einem Gesamtsystem zusammenzufügen

Um bei der detaillierten Modellierung eines komplexen Systems nicht den Überblick zu verlieren bzw. um bei der Modellierung eines Systems eine Arbeitsteilung durchführen zu können, ist es oft notwendig, das System in einem "Bottom-up"-Ansatz [Herv. d. Verf.] zu modellieren. Das heißt, es werden weniger komplexe Subsysteme modelliert, die anschließend zu einem Gesamtsystem zusammengefügt werden sollen. Voraussetzung dazu ist eine entsprechende Funktion im Simulationswerkzeug.

- Erstellung und Wiederverwendung objektorientierter Modelle und Komponenten

Hierbei geht es darum, dass erstellte Modelle oder Modellkomponenten separat, beispielsweise in einer Objektbibliothek, zur späteren Verwendung abgespeichert werden können.⁷⁶ Auch wenn in der Lagerindustrie grundsätzlich jede Anlage individuell ist, kann es trotzdem vorkommen, dass eine bestimmte Elementzusammenstellung häufiger verwendet wird. Auf diese Weise kann die Zeit, die für die Modellerstellung benötigt wird, verkürzt werden.

- Möglichkeit zur Systemanalyse

Um die Möglichkeit zur Systemanalyse zu gewährleisten, sollte die eingesetzte Software während und nach Beendigung der Simulation dementsprechende Werkzeuge, beispielsweise zur Visualisierung des Durchsatzes, oder Statistiken (z. B. über die Produktivität) zur Verfügung stellen.

⁷⁵ Vgl. Phillips, R.; Montalvo, B. (2010), S. 1676

⁷⁶ Vgl. Rohrer, M. (2003), S. 201

- Möglichkeit zur Nutzung des Modells für unterschiedliche Zwecke

Die Möglichkeit zur Nutzung des Modells für unterschiedliche Zwecke bedeutet, dass damit einerseits beispielsweise Emulationen oder Schulungen durchgeführt werden können, wobei eine Echtzeit-Simulation notwendig ist. Wird das Modell jedoch für Planungszwecke eingesetzt, so ist ein anderer Zeitverlauf notwendig (z. B. schrittweise Simulation).⁷⁷

- Protokollierung von Events und durchgeführten Aktionen

Die Aufzeichnung von eingehenden SPS-Events und durchgeführten Aktionen wurde als Verbesserungsvorschlag im Rahmen einer Fallstudie über den Einsatz von Emulation bei einem Gepäckumschlagssystem für das eingesetzte Simulationswerkzeug angeführt.⁷⁸ Die Aufzeichnung von Events und Aktionen ist wichtig für die Systemanalyse. Ist genau bekannt, was wann warum passiert ist, so ist es viel einfacher, die Fehlerursache von potentiellen Problemen zu identifizieren.

- Bedienerfreundliche Benutzeroberfläche und umfassende Benutzerdokumentation

Da - wie die Unternehmensbefragungen gezeigt haben - der Umgang mit Simulationswerkzeugen oft Expertenwissen erfordert, sind eine klare und umfassende Benutzerdokumentation sowie auch eine bedienerfreundliche Benutzeroberfläche von großer Bedeutung.

- Möglichkeit zur 3-dimensionalen Darstellung von Modellen

Die Möglichkeit zur 3-dimensionalen Darstellung dient ähnlich wie die bereits erwähnte Animation der Schaffung eines besseren Verständnis für die tatsächlich stattfindenden Abläufe in komplexen Systemen. Ist die Möglichkeit für Animationen gegeben, so gilt es individuell zu entscheiden, ob auch eine 3-dimensionale Darstellung notwendig ist.

⁷⁷ Vgl. Jacobs, P.; Verbraeck, A. (2005), S. 1454

⁷⁸ Vgl. Rengelink, W. et al.(2002), S. 1692

6.2.2 Generelle Anforderungen an Emulationen

- Möglichkeit zur einfachen Interaktion mit anderen Softwareanwendungen bzw. externen Kontrollsystemen (z. B. mit einer SPS)

Da bei einer Emulation das simulierte Basissystem und das reale Steuerungssystem gemeinsam getestet werden sollen, sollte die Herstellung einer Verbindung zwischen diesen beiden Komponenten unkompliziert und schnell durchführbar sein. Darüber hinaus ist auch die Möglichkeit zur Interaktion mit anderen, externen Softwareanwendungen wichtig, falls diese auch Teil des realen Steuerungssystems sind.

- Initialisierungsprotokolle zur Schaffung identer Startbedingungen

Mithilfe von so genannten Initialisierungsprotokollen soll die Möglichkeit zur Schaffung identer Startbedingungen zwischen Modell und Realität gegeben werden, da ein Modell generell leer ohne etwaige Materialflussobjekte startet. Beim Testen am realen System ist es jedoch möglich, dass sich bereits vor dem Systemstart Behälter auf den Förderern oder andere Objekte im System befinden. Dies führt zu unterschiedliche Startbedingungen zwischen Modell und Realität. Mithilfe von Initialisierungsprotokollen soll dem entgegengewirkt werden. Dies führt zu einer realistischeren Simulation und zur Ermittlung potentieller Fehlerquellen, die ansonsten erst beim Testen am realen System bekannt geworden wären.

Dieser Punkt wurde als wichtige Anforderung in der bereits beschriebenen Fallstudie über den erweiterten Einsatz von Simulation (Kapitel 5.2.2) identifiziert.

- Einführung eines Speichers für Nachrichten / Aufgaben im Modell

Dieser Punkt ist besonders wichtig, wenn beispielsweise gleichzeitig mehrere, komplexe Aktionen durchgeführt werden (z. B. Animation und komplexe Berechnung).

6.3 Einsatz von Simulation zur Entwicklung des optimalen Layouts

Die erste Phase, in der Simulationen zum Einsatz kommen sollten, ist die Planungsphase. Hierbei können Simulationen unterstützend zur Entwicklung des optimalen Layouts bzw. zur Auswahl der optimalen Planungsalternative, für Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen oder zur theoretischen Überprüfung des geforderten Outputs herangezogen werden. Die Modellerstellung ist Aufgabe des System Providers.

Das erstellte Modell kann darüber hinaus zur verbesserten, laufenden Abstimmung mit dem Auftraggeber während der Planungsphase genützt werden. Auf diese Weise kann auch der oftmals einseitigen Betrachtungsweise bei der Pflichtenhefterstellung und somit grundlegenden Missverständnissen und Meinungsverschiedenheiten in einer früheren Projektphase entgegengewirkt werden. Durch die erstmalige Visualisierung des geplanten Materialflusssystems noch während der Planungsphase kann der Auftraggeber etwaige, spontane Änderungswünsche auch früher äußern, was zu weniger Aufwand bei der Umsetzung dieser Änderungen führt. Der Auftraggeber kann das fertig erstellte Modell nutzen, um seine Stakeholder auf die Einführung des neuen Systems vorzubereiten und somit so früh wie möglich Akzeptanz für das neue System zu schaffen. Wichtige Stakeholder sind beispielsweise führenden Mitarbeiter, die nach Fertigstellung mit dem neuen System arbeiten müssen und für die Umsetzung der geforderten Leistung verantwortlich sind.

Vor der Modellerstellung gilt es genau festzulegen, welcher Teil des Systems zu welchem Zweck (z. B. Ermittlung der optimalen Planungsalternative, Abstimmung mit dem Kunden) simuliert werden soll, da die Modellerstellung im Allgemeinen mit einem sehr hohen Aufwand verbunden ist. Je nach Umfang und Zweck der Simulation sollten für die Durchführung Testpläne erstellt werden. Entsprechend dieser Pläne werden anschließend die Simulationen durchgeführt. Ein wichtiger Aspekt nach der Modellerstellung ist die Validierung des erstellten Simulationsmodells. Dazu gibt es verschiedene Ansätze, welche im vierten Kapitel überblicksmäßig angeführt sind.

6.4 Erstellung von Testplänen

Nach Beendigung der Planung des Steuerungs- und Basissystems, kann parallel zur Entwicklung dieser Komponenten, mit der Erstellung von Testplänen für die Emulation begonnen werden.

Wichtige Aspekte, die es in dieser Phase unter anderem zu klären gilt sind:

1. Auf welcher Steuerungsebene wird emuliert?
2. Welcher Teil des Basissystems wird betrachtet?
3. Wer ist für die Emulation zuständig? (Auftraggeber / System Provider)
4. Welche Szenarien gilt es zu überprüfen?
5. Erstellung eines Zeit- und Ablaufplans
6. Wie erfolgt die Kommunikation der Ergebnisse? (z. B. standardisierte Protokolle)

Der erste Aspekt bildet die Grundlage für alle weiteren Punkte und legt fest, auf welchen Ebenen emuliert wird (siehe Kapitel 2.1.2). Hierbei ist vor allem die Systemsteuerungsebene interessant, da diese die Schnittstelle zum zentralen Steuerungssystem (z. B. WCS) darstellt. Gibt es ein übergeordnetes WMS, so kann auch dessen Zusammenwirken mit dem Basissystem durch eine Emulation auf der so genannten Darstellungs- und Kommunikationsebene getestet werden.

Die Steuerungssystemebene, auf der getestet wird, hängt auch von den involvierten Parteien ab (z. B. unterschiedliche Lieferanten für Software und Steuerungselemente). Wird beispielsweise ein gesamtes Subsystem von einem anderen Lieferanten zur Verfügung gestellt, so ist es sinnvoll, dieses durch eine Emulation auf Subsystem-Ebene in den Testprozess mit einzubeziehen. Dies ist insofern notwendig, da das betreffende Subsystem ebenfalls einen Einfluss auf die Funktionalität des Gesamtsystems hat.

Einen wichtigen Aspekt den des bei der Erstellung der Testpläne noch zu beachten gilt ist die Testreihenfolge. So ist es sinnvoll, zuerst auf der niedrigeren Systemebene zu testen, da wenn auf Subsystemebene ein Fehler vorliegt auch das System auf der höheren Ebene nicht funktionieren wird.

Auf das Basissystem bezogen gilt es festzulegen, welche Teile des Materialflusssystems im Rahmen der Emulation näher betrachtet werden sollen. Darüber hinaus ist es wichtig, auch das Zusammenwirken des Basis- und Steuerungssystems mit individuellen, übergeordneten Verwaltungssystemen des Kunden (z. B. ERP-System) zu testen, da durch diese neue Einflussfaktoren entstehen können, welche das Verhalten des Gesamtsystems positiv oder negativ beeinflussen.

Da der System Provider meist auch das Steuerungssystem (z. B. WCS oder WMS) zur Verfügung stellt, macht es auch Sinn, dass dieser die Verantwortung für die Durchführung der Emulation auf der entsprechenden Ebene übernimmt. Die Emulation unter Miteinbeziehung eines ERP-Systems fällt demnach in den Zuständigkeitsbereich des Auftraggebers. Grundsätzlich gilt es jedenfalls festzulegen, wer wofür zuständig und verantwortlich ist.

Anschließend kann festgelegt werden, auf welche Faktoren hin das Gesamtsystem überprüft werden sollen. Wichtige Aspekte können beispielsweise die grundlegende Funktionalität des Systems oder die im Pflichtenheft vereinbarten Leistungen sein bzw. alle Aspekte, die ansonsten erst im Rahmen der Inbetriebnahme vor Ort beim Auftraggeber überprüft werden würden. Dazu sollte das System unter unterschiedlichen Belastungszuständen, d. h. auch unter Überbelastung getestet werden. Ebenfalls ist es wichtig, das System hinsichtlich Faktoren zu überprüfen, welche in vergleichbaren Projekten im Rahmen der Inbetriebnahme- und Abnahmephase zu Problemen geführt haben. Die Basis dafür bildet wiederum die zu Beginn durchgeführte Erfahrungsanalyse. Ist entschieden, worauf bezogen getestet werden soll, so kann anschließend mit der detaillierten Erstellung von Szenarien begonnen werden.

Ein wichtiger Aspekt, den es bei der Erstellung von Szenarien zu beachten gilt, ist die bereits erwähnte Möglichkeit zur Schaffung von Initialisierungsprotokollen. Das bedeutet, dass zum Aufdecken weiterer, potentieller Fehlerquellen unter anderem auch Szenarien überprüft werden sollten, in denen sich zu Beginn bereits Materialflussobjekte im System befinden.

Der nächste Schritt besteht darin, festzulegen, wie viel Zeit für die Überprüfung der einzelnen Szenarien zur Verfügung steht, bzw. wer wann was zu tun hat. Hierbei ist es wichtig, ausrei-

chend Zeit für die genaue Analyse potentiell auftretender Probleme zur Verfügung zu stellen, um so ihre Ursachen zu identifizieren. Auch die Ausstattung der Mitarbeiter mit entsprechenden Verantwortlichkeiten ist hierbei von Bedeutung.

Schließlich gilt es noch festzulegen, in welcher Form die gewonnenen Informationen dokumentiert werden sollen, da diese ja die Basis für weitere Schritte (Problemlösung) bilden. Hier bietet sich beispielsweise die Verwendung standardisierter Protokolle an, in denen genau die Informationen festgehalten werden, die für die weitere Problemlösung von Nutzen sind.

Die Erstellung von Testplänen betrifft sowohl den System Provider als auch den Auftraggeber, da beide Emulationen durchführen sollten.

6.5 Erstellung individueller Emulationsmodelle

Mit der individuellen Modellerstellung kann dann begonnen werden, wenn einerseits das Testen des Steuerungssystems abgeschlossen ist, und andererseits die Testpläne fertiggestellt sind. Die Testpläne dienen als Grundlage für die Modellerstellung, da mit ihnen festgelegt wird, was genau emuliert wird. Somit wird im Rahmen der Testpläne auch festgelegt, welche Subsysteme oder Systemkomponenten des Basissystems genauer betrachtet werden müssen als andere. Die betreffenden Teile sind folglich auch detaillierter abzubilden.

Die Modellerstellung mithilfe des ausgewählten Simulationsmodells ist Aufgabe des System Providers, da dieser ja das Basissystem geplant hat. Doch auch dem Auftraggeber muss das entsprechende Modell zur Verfügung gestellt werden, da dieser für die Emulation des Basissystems in Kombination mit übergeordneten Systemen (z. B. ERP-System) zuständig ist.

6.6 Durchführung der Emulation

Bevor nach Abschluss der Tests am Steuerungssystem mit der Emulation begonnen werden kann, muss dieses zunächst für die Anbindung an das Emulationsmodell vorbereitet werden. Dies kann beispielsweise durch eine Überspielung des Steuerungssystems auf eine SPS, welche anschließend an das Emulationsmodell angebunden wird, erfolgen.

Anschließend gilt es verschiedene Aspekte zu überprüfen, wie zum Beispiel die I/O-Verbindung, die Einstellung bzw. Funktionalität der Motoren und Sensoren sowie die Kommunikationsschnittstelle.

Danach kann, unter Einhaltung der in den Testplänen vorgegebenen Aufgaben, Schritten und Zeitdauern, mit der Emulation des Gesamtsystems begonnen werden. Sowohl beim System Provider als auch beim Auftraggeber. Alle auftretenden Probleme gilt es mithilfe der in den Testplänen festgelegten Kommunikationsmethode an ein zuständiges Problemlösungsteam zu übermitteln. Natürlich kann derjenige, der die Emulation durchführt gleichzeitig auch der Problemlöser sein.

Sobald die Ursache eines Problems bekannt ist, kann mit der Behebung dieses Problems begonnen werden. Dazu müssen Änderungen am Steuerungs- oder Basissystem zunächst geplant werden. Vor ihrer Implementierung kann die geplante Änderung optional mithilfe ei-

ner Emulation verifiziert werden. Die Zweckmäßigkeit dieses Vorganges hängt aber wie bereits festgestellt von der Art des Fehlers ab. Darüber hinaus können Simulationen unterstützend bei der Planung der Änderung herangezogen werden.

Nach Verifikation der geplanten Maßnahmen können diese umgesetzt werden. Für weitere Tests muss das Modell zunächst aktualisiert werden. Die Fehlersuche- und Fehlerbehebungsprozess ist somit ein iterativer Vorgang, der nach Behebung eines Fehlers wieder durchlaufen wird. Da das Testen mithilfe von Emulation ähnlich wie beim Testen am realen System abläuft, sollte mit dem Testen auf einer niedrigen Ebene begonnen werden, das heißt z. B. zunächst auf der Ebene der Bereichssteuerung, dann auf der Ebene der Subsystemsteuerung und erst danach auf der Systemsteuerungsebene.

6.7 Durchführung von Schulungen

Nach der Durchführung der Emulationen können unter Umständen bereits Schulungsmaßnahmen mithilfe des erstellten Modells durchgeführt werden. Hierbei ist es jedoch eine Abstimmung mit dem Auftraggeber sehr wichtig. Sind sich sowohl der Systemintegrator als auch der Auftraggeber darüber einig, dass am System keine groben Änderungen mehr notwendig sein werden, so kann mit der Schulung mithilfe des Emulationsmodells begonnen werden. Dazu gilt es unter anderem folgende Vorbereitungen zu treffen:

- Planung des Ablaufs der Schulungen (zeitlich, inhaltlich)
- Vorbereitung der Schulungsinhalte
- notwendige Ressourcen zur Verfügung stellen (z. B. Schulungsräume, Emulationsmodell)

Auch während der Inbetriebnahme-Phase könnte es sinnvoll sein, beispielsweise theoretische Inhalte der Schulungen anhand des Modells zu lehren, da dies in einer ruhigeren Umgebung erfolgen kann und auf diese Weise die Zusammenhänge des Gesamtsystems besser dargestellt werden können.

6.8 Erfahrungssicherung und Analyse

Eine besonders wichtige Maßnahme, sowohl für den Systemintegrator als auch für den Auftraggeber, ist die Sicherung von Erfahrungen, welche im Zusammenhang mit dem Einsatz von Emulationen gewonnen wurden. Dies ist in allen beschriebenen Phasen von Bedeutung.

Bei der Auswahl von Simulations- bzw. Emulationswerkzeugen ist es unter anderem wichtig zu dokumentieren, welche Gründe für die Wahl des jeweiligen Werkzeuges in einer bestimmten Situation ausschlaggebend waren. Diese Gründe gilt es dann mit den Erfahrungen zu vergleichen, die mit dem Einsatz der entsprechenden Werkzeuge bei der Simulation oder Emulation gemacht wurden. Auf diese Weise können wichtige Änderungen und Ergänzungen am zu Beginn definierten Anforderungskatalog ermittelt werden. Dieser revidierte Anforderungskatalog kann wiederum die Basis für weitere Projekte dienen bzw. können Verbesserungsvorschläge an den Entwickler des Simulationswerkzeuges übermittelt werden.

Wie schon bei der Kommunikation der im Rahmen von Emulationen gewonnenen Ergebnisse ist auch hier die Art und Weise der Erfahrungssicherung von großer Bedeutung. Um nur wichtige und sinnvolle Erfahrungen, die ohne umfangreiche Datenaufbereitung genutzt werden können, zu sammeln, ist auch hier der Einsatz standardisierter Dokumente empfehlenswert. Wichtige Fragen, die im Rahmen der Erfahrungssicherung abgedeckt werden könnten sind allgemeine zur Zweckmäßigkeit von Emulation, wie z. B.:

- Was hat der Einsatz von Emulation gebracht? (z. B. Kostenersparnis)
- Gab es weniger Fehler bei der Inbetriebnahme? Wenn ja, ist dies auf den Einsatz von Emulation zurückzuführen?
- Rechtfertigen die (positiven) Ergebnisse durch den Einsatz von Emulation den Aufwand für die Durchführung (z. B. Modellerstellung?)
- Konnte die Kundenzufriedenheit durch den Einsatz von Simulationen erhöht werden?

Andere Aspekte der Erfahrungssicherung können sich auf die Durchführung der Emulation selbst beziehen:

- Welche Fehler konnten durch Emulationen aufgedeckt werden?
- Welche Fehler sind im Rahmen der Inbetriebnahme-Phase aufgetreten?
- Gab es Einschränkungen bei der Möglichkeit zur Durchführung von Simulationen / Emulationen aufgrund fehlender Funktionalitäten des Simulationsprogrammes?
- Sind im Rahmen der Simulationen / Emulationen Schwierigkeiten aufgetreten? Welche, und wie wurden sie gelöst?

Durch die Erfahrungssicherung können weitere wichtige Schritte zur Durchführung von Emulationen sowohl aus Auftragsgeber-, als auch aus Auftragsnehmersicht festgestellt werden. Das hier vorgestellte grundlegende Vorgehensmodell zur Durchführung von Emulationen kann auf diese Weise Schritt für Schritt erweitert und verbessert werden.

6.9 Modellanpassung und abschließendes Testen

Abschießend - d. h. nach Installation und Montage bzw. Abnahme des realen Systems durch den Auftraggeber - ist es noch wichtig, das erstellte Modell auf den neuesten Stand zu bringen. Im Rahmen der Inbetriebnahme- bzw. Abnahmephase durchgeführte Änderungen sollen auch auf das Modell übertragen werden. Hierbei ist auch ein abschließender Test betreffend der Richtigkeit der vorgenommenen Änderungen zu empfehlen. Ziel dieser Maßnahme ist es, das Modell für potentielle, zukünftige Anwendungen auf den neuesten Stand zu bringen.

7 Zusammenfassung der Ergebnisse und Ausblick

7.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Nach Durchführung einer umfangreichen Literaturrecherche, Befragung von Unternehmen, Auswertung von Fallstudien und Analyse der abzuwickelnden Prozesse bei der Errichtung neuer Lageranlagen gilt es abschließend zu sagen, dass der Einsatz von Simulation und Emulation bei der Errichtung logistischer Anlagen zu empfehlen ist. Vor allem für den System Provider bringt der Einsatz von Emulationen vor der Inbetriebnahme zur Validierung des Gesamtsystems eine Reihe von Vorteilen mit sich. Die wichtigsten Vorteile werden in folgender Grafik auf die einzelnen Projektphasen bezogen angeführt:

Tabelle 3: Nutzen aus der Sicht des System Providers im Projektablauf

Nutzen durch den Einsatz von Emulation und Simulation aus der Sicht des System Providers		
Projektphase und Aufgaben	Nutzen	
<i>Planung & Umsetzung</i>	Anforderungsanalyse	
	Planung Basissystem	
	Planung Steuerungssystem	
	Entwicklung Basissystem	<ul style="list-style-type: none"> • Auswahl der optimalen Planungsalternative • bessere Abstimmung mit den Kunden durch den Einsatz des erstellten Modells
	Entwicklung Steuerungssystem	
	Test Steuerungssystem	
	Test Basissystem	
Durchführung Emulation	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung von mehr Tests in derselben Zeit • Möglichkeit zur Überprüfung von Worst-Case-Szenarios • kein Risiko der Beschädigung von Betriebsmitteln • produktive Arbeitsumgebung • Vereinfachter Analyse- und Fehlerfindungsprozess 	
<i>Implementierung</i>	Transport	<ul style="list-style-type: none"> • kostengünstigere Durchführungen vom Änderungen, da die Notwendigkeit solcher früher ermittelt wird
	Montage Basissystem Installation Steuerungssystem	
	Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> • geringere Ressourceninanspruchnahme (Personal) • verkürzte Inbetriebnahme-Dauer • geringere Personal- und Reisekosten • verbessertes Image und erhöhte Kundenzufriedenheit
	Abnahme	
	Durchführung Schulungen	<ul style="list-style-type: none"> • produktivere Arbeitsumgebung • Möglichkeit, Schulungen früher durchzuführen
<i>Folgeprojekte</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Validierung von Modernisierungen, Änderungen oder Aktualisierungen vor der Umsetzung

Doch nicht nur der System Provider profitiert durch den Einsatz von Emulation (bei einem optimalen Projektablauf):

Tabelle 4: Nutzen aus der Sicht des Auftraggebers im Projektablauf

Nutzen durch den Einsatz von Emulation und Simulation aus der Sicht des Auftraggebers		
Projektphase und Aufgaben		Nutzen
<i>Planung & Umsetzung</i>	Anforderungsanalyse	
	Planung Basissystem	
	Planung Steuerungssystem	
	Entwicklung Basissystem	<ul style="list-style-type: none"> • Sicherstellung, dass das System den eigenen Wünschen entsprechend umgesetzt wird
	Entwicklung Steuerungssystem	
	Test Steuerungssystem	
Test Basissystem		
	Durchführung Emulation	<ul style="list-style-type: none"> • Frühestmögliche Sicherstellung der Leistung des Gesamtsystems
<i>Implementierung</i>	Transport	
	Montage Basissystem	
	Installation Steuerungssystem	
	Inbetriebnahme	<ul style="list-style-type: none"> • Vergleichsweise reibungslose Inbetriebnahme- und Abnahmephase
	Abnahme	
	Durchführung Schulungen	<ul style="list-style-type: none"> • Verbessertes Verständnis des Gesamtsystems der Mitarbeiter • Beschleunigte Lernkurve
<i>Nach Abnahme</i>		<ul style="list-style-type: none"> • System-Go-Live nach Plan (durch Einhaltung der geplanten Projektzeit) • Vergleichsweise geringe Fehlerquote durch Bedienfehler aufgrund gut geschulter Mitarbeiter • Vergleichsweise geringe Ausfallrate (u. a. aufgrund der umfangreicheren Tests)
<i>Folgeprojekte</i>		<ul style="list-style-type: none"> • Validierung von Modernisierungen, Änderungen oder Aktualisierungen vor der Umsetzung

All diese Nutzenaspekte lassen sich auch durch Erfahrungen, die internationale Unternehmen mit dem Einsatz von Simulation und Emulation gemacht haben, belegen.

Als typisches Einsatzgebiet für die herkömmliche Offline-Simulation zählt, sowohl in der Theorie als auch in der Praxis - wie durch die Unternehmensbefragungen festgestellt werden konnte -, die Planungsphase. Hierbei werden Simulationen eingesetzt, um Alternativen zu vergleichen, Anlagen zu dimensionieren oder theoretische Outputs zu ermitteln. Darüber hinaus wird noch der Einsatz des erstellten Simulationsmodells zur Abstimmung mit dem Kunden empfohlen. Da die Errichtung von Lageranlagen ein sehr komplexer Vorgang ist, und die Kosten für die Durchführung von Änderungen mit dem Projektfortschritt steigen, ist es wichtig, die Zahl solcher Änderungen gegen Projektende möglichst gering zu halten. Da Änderungen auch vom Kunden initiiert und gefordert werden, ist es wichtig, ihn zu motivieren,

Änderungswünsche so früh wie möglich zu äußern. Die Darstellung der geplanten Anlage in einem (dreidimensionalen) Simulationsmodell und die Visualisierung der Leistung der Anlage ist dazu ein wichtiges Instrument. Ein Aspekt, der gegen einen diesbezüglichen Einsatz sprechen könnte ist der Aufwand der Modellerstellung bzw. dass Simulationen keinen direkten, in Geldeinheiten ausdrückbaren Nutzen oder Ersparnis erzeugen. Aus diesem Grund ist es wichtig, mit einem Simulationsprogramm zu arbeiten, das die Möglichkeit zum Import und zur automatischen Modellerstellung eines CAD-Dokumentes bietet.

Emulationen bieten sich vor allem für die Verlagerung bestimmter Testvorgänge zur Überprüfung der Funktionalität und Leistung des Gesamtsystems von der Inbetriebnahme-Phase direkt vor Ort beim Kunden "ins Labor" [Herv. d. Verf.] abseits vom Kunden direkt beim System Provider an. Die erstmalige Überprüfung des Zusammenspiels von Steuerungs- und Basissystem erfolgt somit noch vor Beendigung der Montagearbeiten. Doch auch mit Emulationen können nicht alle Fehler aufgedeckt werden, da gewisse Fehler (z. B. Fehler aufgrund defekter Maschinen) erst im Rahmen der Inbetriebnahme des realen Basissystems auftreten können. Darüber hinaus ist der Einsatz von Emulation nur dann zu empfehlen, wenn ausreichend Zeit bis zur Beendigung der Montagearbeiten zur Verfügung steht.

Sowohl für Simulationen als auch für Emulationen stellt das Vorhandensein von entsprechendem Know-how eine der wichtigsten Voraussetzungen dar. Aus diesem Grund ist auch Erfahrungssicherung von großer Bedeutung, sollte in diesem Bereich ein Mitarbeiterwechsel durchgeführt werden.

7.2 Ausblick

Ein anderes, zukünftig relevantes Thema ist die praktische Erprobung von Emulationen. Die durchgeführten Umfragen haben ergeben, dass bei einigen österreichischen, auch international tätigen Großunternehmen der Bereiche Anlagenbau, Automobil bzw. Energieanlagenbau der Einsatz von Emulationen zur Vorab-Prozessvalidierung nicht sehr verbreitet ist. Nur speziell in Unternehmungen der Lagerindustrie finden Emulationen auch hierzulande Anwendung. Auch international betrachtet ist das Thema Emulation kein unbeschriebenes Blatt mehr. Nach Durchführung einer umfangreichen Literaturrecherche konnten einige wenige Fallstudien, in denen der Einsatz von Emulation erprobt wurde, gefunden werden - vor allem zur Validierung logistischer Materialflusssysteme.

Aus diesem Grund sind zukünftig geplante "Pilotprojekte" [Herv. d. Verf.] zum Einsatz von Emulationen, beispielsweise bei der Errichtung neuer Lageranlagen von besonderer Wichtigkeit. Mit den Ergebnissen aus diesen Projekten können weitere wertvolle Informationen zum Thema Emulation gewonnen und möglicherweise zusätzliche, in dieser Arbeit nicht angeführte Nutzenaspekte, Einsatzmöglichkeiten, Einschränkungen oder Voraussetzungen gewonnen werden.

Interessant für weitere Analysen ist auch der Ansatz, der in der Fallstudie über den erweiterten Einsatz von Emulation (Kapitel 5.2.2) dargestellt wurde. Hierbei kann das Gesamtsystem noch früher, das heißt noch vor Fertigstellung der Entwicklung des Steuerungs- bzw. Basissystems, getestet werden. Die Evaluierung dieses Ansatzes für den Einsatz bei der Errichtung neuer Lageranlagen bildet ein interessantes Thema für zukünftige, diesbezügliche Analysen.

8 Anhang

Beispielhafter Fragebogen als Grundlage für Unternehmensbefragungen:

Teil I: Allgemeines / Grundlagen

- Die Errichtung einer neuen Anlage / Montagelinie wird beschlossen. Was sind die groben Schritte zur Umsetzung eines solchen Projektes (z. B. von der Planung der Anlage / Montagelinie, über die Entwicklung und Beschaffung von Hard- und Software, bis hin zu Montage und Inbetriebnahme bzw. Abnahmephase). Welche sind die wichtigsten Aufgaben in den einzelnen Phasen?
- Mit welchen ungefähren Zeiträumen ist für die Durchführung der beschriebenen Prozesse zu rechnen?
- Welche softwarebasierenden Steuerungs- bzw. Kontrollsysteme kommen zur Überwachung der Prozesse in der fertigen Anlage / Montagelinie zum Einsatz? (z. B. Warehouse Management System bzw. Warehouse Control Systeme in der Lagerindustrie). Werden diese Systeme selbst entwickelt oder extern bezogen?

Teil II: Prozessvalidierung

- Wie und wann erfolgt die Validierung der Funktionalität der einzelnen Prozesse, Komponenten und Subsysteme? Welche Werkzeuge / Methoden werden dazu eingesetzt? (z. B. der Funktionalität eines Anlagenteils oder der Steuerungssoftware an sich)
- Wie und wann erfolgt die Validierung der Funktionalität des Gesamtsystems (d. h. des Zusammenspiels von Basissystem/Hardware und Steuerungssystem/Software)? Welche Werkzeuge / Methoden werden dazu eingesetzt?
- Wie und wann erfolgt die Validierung der geforderten Leistung / des geforderten Outputs des Gesamtsystems? Welche Werkzeuge / Methoden werden dazu eingesetzt?

Teil III: Simulation

- Kommen im Rahmen der beschriebenen Prozessschritte auch Simulationen zum Einsatz?

Wenn ja:

- Zu welchem Zweck werden Simulationen eingesetzt?
- Welche Ziele sollen erreicht werden (d. h. welche Erwartungen werden an den Einsatz von Simulationen gestellt; z. B. Verkürzung der Planungsphase)?

- Werden diese Ziele/Erwartungen immer erfüllt? Wenn nein, warum nicht bzw. in welchen Fällen nicht?
- Welche wichtigen Erkenntnisse und Erfahrungen konnten hinsichtlich des Einsatzes von Simulationen gewonnen werden? (Vorteile, Nachteile, Grenzen, Voraussetzungen für den Einsatz)
- Welche Auswirkungen konnten durch den Einsatz von Simulationen hinsichtlich Projekt(gesamt)dauer, Prozessqualität und Kosten beobachtet werden? Gibt es hierbei auch messbare Ergebnisse (Angaben in Zahlen)? Rentiert sich der Einsatz?
- In welchen Phasen (Frage 1, Teil I) konnten (welche) Auswirkungen festgestellt werden? Was sind Ihrer Meinung nach die Gründe dafür?
- Konnte das erstellte Simulationsmodell auch außerhalb des ursprünglichen geplanten Zwecks eingesetzt werden? (z. B. für Schulungsmaßnahmen)
- Was sind die wesentlichsten Vorteile des bei Ihnen eingesetzten Simulationsprogramms bzw. welche Gründe waren ausschlaggebend für die Wahl dieses Programms?
- Sind im Laufe der Simulationen Schwierigkeiten / Nachteile aufgetreten, welche auf fehlende Funktionalitäten des Simulationsprogramms zurückzuführen sind? Wenn ja welche Schwierigkeiten und welche Funktionen waren unzureichend?
- Sind bei der Durchführung der Simulationen unerwartete Herausforderungen/Schwierigkeiten aufgetreten? Wenn ja, welche und wie wurden sie gelöst?

Wenn nein:

- Wurde der Einsatz von Simulationen diskutiert? Wenn ja, was waren die ausschlaggebenden Gründe bzw. Argumente gegen den Einsatz von Simulation?
- Kommen Simulationen in einem anderen Bereich Ihres Unternehmens zum Einsatz? Wenn ja, zu welchem Zweck, mit welchen Ergebnissen und welche Erfahrungen konnten gewonnen werden?
- Wo bestehen Ihrer Meinung nach weitere Potentiale für den Einsatz von Simulationen?
- Welche Anforderungen stellen Sie an ein Simulationsprogramm? (z. B. Möglichkeit zur 3D-Darstellung)
- Welche Methoden, Verfahren oder Werkzeuge könnten in Ihrem Unternehmen alternativ zu Simulationen eingesetzt werden?

Teil IV: Emulation

- Kommen im Rahmen der beschriebenen Prozesse auch Emulationen zum Einsatz?

Wenn ja:

- Zu welchem Zweck werden Emulationen eingesetzt? Was genau wird emuliert?
- Welche wichtigen Erkenntnisse und Erfahrungen konnten durch den Einsatz von Emulationen - auch im Vergleich zu Simulationen - gewonnen werden? (z. B. Vorteile, Nachteile, Grenzen und Voraussetzungen des Einsatzes, Schwierigkeiten, Herausforderungen)
- Welche Auswirkungen auf für den Projekt-/Unternehmenserfolg ausschlaggebende Faktoren (z. B. Projektdauer, Prozessqualität, Kosten, ...) konnten durch den Einsatz von Emulationen - ebenfalls im Vergleich zu Simulationen - festgestellt werden?

Wenn nein:

- Wurde der Einsatz von Emulation diskutiert? Wenn ja, was waren die ausschlaggebenden Gründe bzw. Argumente gegen den Einsatz von Emulation?
- Wo bestehen Ihrer Meinung nach weitere Potentiale für den Einsatz von Emulationen?

9 Quellenverzeichnis

Bundschuh, M.; Fabry, A. (2004): Aufwandschätzung von IT-Projekten. 2. Aufl. Bonn: mitp-Verlag.

Centeno, M.; Carrillo, M. (2001): Challenges of introducing simulation as a decision making tool. In: Peters, B. et al.(Hrsg.): Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. S. 17-21.

Daniluk, D.; Chisu, R. (2010): Simulation und Emulation im Internet der Dinge. In: Günthner, W.; Ten-Hompel, M. (Hrsg.): Internet der Dinge in der Intralogistik. Berlin: Springer. S. 147-164.

Driscoll, S. (2005): The Design and Qualification of a Hydraulic Hardware-in-the-Loop Simulator. Master Thesis, The George W. Woodruff School of Mechanical Engineering.

Eley, M. (2012): Simulation in der Logistik - Einführung in die Erstellung ereignisdiskreter Modelle unter Verwendung des Werkzeuges "Plant Simulation". Berlin: Springer.

Fehyl, A. (2004): Management und Controlling von Softwareprojekten - Software wirtschaftlich auswählen, entwickeln, einsetzen und nutzen. 2. Aufl. Wiesbaden: GWV Fachverlage GmbH.

Grams, H. (2004): Modellierung und Simulation von Testautomaten für integrierte Schaltungen. Dissertation, Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg.

Hibino, H.; Fukuda, Y.(2008): Emulation in manufacturing engineering processes. In: Mason, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2008 Winter Simulation Conference. S. 1785-1793

Jacobs, P.; Verbraeck, A. (2005): Emulation with DSOL. In: Kuhl, M. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference. S. 1453-1462.

KNAPP AG: Zitation von Internet-Quellen. URL:
<http://www.knapp.com/Anzag?sid=9b4ed92b2b7c737298d3e8eda601701b> (Zugriff 05.02.2013).

Koflanovich, N.; Hartman, P. (2010): Live modernizations of automated material handling systems: Bridging the gap between design and startup using emulation. In: Johansson, B. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. S. 1716-1726.

Kuhn, A.; Wenzel, S. (2008): Simulation logistischer Systeme. In: Arnold, D. et al. (Hrsg.): Handbuch Logistik. Berlin: Springer. 3. Aufl. S. 73-94.

Law, M. (2006): How to build valid and credible simulation models. In: Perrone, L. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2006 Winter Simulation Conference. S. 58-66.

McGregor, I. (2002): The relationship between simulation and emulation. In: Yücesan, E. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. S. 1683-1688.

Moll, K.-R. et al. (2004): Erfolgreiches Management von Software-Projekten. In: Zeitschrift Informatik-Spektrum, Vol. 27, Nr. 5, S. 419-432.

- Mönch, L. (2006): Agentenbasierte Produktionssteuerung komplexer Produktionssysteme. 1. Aufl., Wiesbaden: Deutscher Universitäts-Verlag.
- Phillips, R.; Montalvo, B. (2010): Using Emulation to debug control logic. In: Johansson, B. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2010 Winter Simulation Conference. S. 1673-1677.
- Rabe, M. et al. (2008): Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik - Vorgehensmodell und Techniken. Berlin, Springer.
- Rengelink, W.; Saanen, Y. (2002): Improving the quality of controls and reducing costs for on-site adjustments with emulation: An example of emulation in baggage handling. In: Yücesan, E. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. S. 1689-1694.
- Richtlinie, V. D. I. (1996): 3633 - Simulation von Logistik. Materialfluß- und Produktionssysteme.
- Rohrer, M. (2003): Maximizing Simulation ROI with AUTOMOD. In: Chick, S. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference. S. 201-209.
- Schiess, C. (2001): Emulation: Debug it in the lab - not on the floor. In: Peters, B. et al. (Hrsg.): Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference. S. 1463-1465.
- Tautschnig, A. (1997): Projektänderungen während des Projektablaufes bewältigen. Einflussmöglichkeiten in der Planungsphase aus technischer Sicht. I. I. R. Fachkonferenz "Projektmanagement in der Bauwirtschaft".
- Ten Hompel, M.; Schmidt, T. (2005): Warehouse Management - Automatisierung und Organisation von Lager- und Kommissioniersystemen. 2. Aufl., Berlin: Springer.
- Ten Hompel, M.; Schmidt, T. (2010): Warehouse Management - Organisation und Steuerung von Lager- und Kommissioniersystemen. 4. Aufl., Berlin: Springer.
- VDI-Gesellschaft Produktion und Logistik (1996): VDI 3633 - Simulation von Logistik-, Materialfluß- und Produktionssystemen - Begriffsdefinitionen.
- Versteegt, C.; Verbraeck, A. (2002): The extended use of simulation in evaluating real-time control systems of AGVs and automated material handling systems. In: Yücesan, E.; Chen, C.-H.; Snowdon, J.; Charnes, J. (Hrsg.): Proceedings of the 2002 Winter Simulation Conference. S. 1659-1666.
- Wieczorrek, H.; Mertens, P. (2007): Management von IT-Projekten - Von der Planung zur Realisierung. 2. Aufl., Berlin: Springer.
- Zsifkovits, H. (2013): Logistik. Konstanz: UKV Verlagsgesellschaft mBH.