

Fachgebiet IT in Produktion und Logistik
Fakultät Maschinenbau, Technische Universität Dortmund

Vorgehen zur Berücksichtigung von Wissen zu Wirkzusammenhängen in Simulationsstudien für Supply Chains

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Master of Science (Maschinenbau)
vorgelegt von
Claudia Köster, B.Sc.

Matrikelnummer: 139857
Studiengang: Master of Science im Maschinenbau

1. Gutachter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Rabe
2. Gutachterin: Dipl.-Inf. Anne-Antonia Scheidler

Ausgegeben am: 14.01.2015

Eingereicht am: 01.07.2015

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	II
Tabellenverzeichnis	II
1 Einleitung	1
2 Stand der Technik	2
2.1 Wissen und Information	2
2.2 Simulation	6
2.3 Supply Chain	10
3 Nutzen von Wissen im ASIM-Vorgehensmodell	11
3.1 Fallbeispiele zur Ableitung von Wirkzusammenhängen	11
3.2 Klassifikation der Informationen in Supply Chains	13
3.3 Bedeutung der Klassen für die Simulation	16
4 Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells	20
4.1 Anforderungen an eine Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells	20
4.2 Ableitung einer Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells	21
5 Evaluierung des vorgeschlagenen Vorgehens anhand eines Simulationsmodells	25
5.1 Vorstellung der Beispielsimulationsstudie	25
5.2 Analysen gemäß dem erweiterten ASIM-Vorgehensmodell	26
6 Fazit und Ausblick	29
A Beispielinformationen	31
A.1 Beispiele aus „Simulation in Produktion und Logistik“	31
A.2 Daten für Simulation aus VDI Richtlinie 3633, Blatt 1	32
B Untersuchte Informationen aus Beispielsimulation	33
Literaturverzeichnis	40
Erklärung	43

Abbildungsverzeichnis

Abb. 2.1:	Umwandlung von Zeichen in Wissen	3
Abb. 2.2:	Wissen als Prozess zur Informationserzeugung	4
Abb. 2.3:	Vorgehen zur Durchführung von Simulationsstudien gem. [VDI14]	8
Abb. 2.4:	Schritte zur Durchführung von Simulationsstudien gem. [LK91, S.107]	9
Abb. 3.1:	Klassifikation der Darstellungsarten anhand von Kriterien	14
Abb. 3.2:	Nutzung von Informationen im ASIM-Vorgehensmodell	17
Abb. 4.1:	Übersicht des erweiterten ASIM-Vorgehensmodells	24

Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1:	Charakteristika des ASIM-Vorgehensmodells	9
Tab. 3.1:	Eigenschaften der betrachteten Phasen des ASIM-Vorgehensmodells	17
Tab. 4.1:	Anforderungserfüllung der vorgeschlagenen Erweiterung	23
Tab. 5.1:	Empirische Verteilung für die geplante Lieferdauer	28
Tab. B.1:	Eingangsgrößen aus [Arn14] mit eigenen Auswertungen	33
Tab. B.2:	Ergebnisse aus [Arn14] mit eigenen Auswertungen	36

1 Einleitung

Simulationen sind Abbilder der Wirklichkeit, die unter anderem im Rahmen von Supply Chains genutzt werden, um Angehörige verschiedener Leitungsebenen eines Unternehmens in der Entscheidungsfindung zu unterstützen. Dadurch sollen Aufwand, Zeit und Kosten eingespart werden. Die Güte der Simulationsergebnisse hängt von verschiedenen Aspekten ab, darunter die Genauigkeit, mit der das verwendete Modell die relevante Wirklichkeit abbildet. In der Wirklichkeit bestehende Zusammenhänge anhand der genutzten Daten zu ermitteln und einzubeziehen, macht die Simulation daher präziser und aussagekräftiger. Aus dieser Überlegung motiviert sich die vorliegende Arbeit. Ihr Ziel ist es, herauszufinden, wie Wissen über Zusammenhänge dargestellt werden kann und geeignet ist, in einer Supply-Chain-Simulation verwendet zu werden. Dazu gehört auch eine Abschätzung darüber, wie sich die Einbeziehung dieser Informationen tatsächlich auf die Ergebnisse der Simulationsstudie auswirkt.

Der in dieser Arbeit vorgestellte Ansatz fußt unter anderem auf dem bei der Winter Simulation Conference 2014 veröffentlichten Beitrag *An approach for increasing the level of accuracy in Supply Chain Simulation by using patterns on input data* [RS14]. Hier wird ein Teilaspekt der Simulation beleuchtet, der zum Ziel hat, die Güte der Simulation zu erhöhen, indem die Eingangsdaten ein realistischeres Abbild der Wirklichkeit liefern. Die ereignisdiskrete Simulation (*discrete event simulation*, kurz *DES*), die als Verfahren im Rahmen der Supply Chain erprobt ist, ist der Rahmen für die Betrachtungen.

Die vorliegende Arbeit gibt in Kapitel 2 einen Überblick über die für das Verständnis des Themas relevanten Begriffsfelder „Wissen“, „Simulation“ und „Supply Chain“. Die Begriffe werden eingeführt und relevante Teilaspekte detailliert behandelt. Kapitel 3 zeigt anhand von Fallbeispielen verschiedene Darstellungen von Wissen, die im Rahmen von Supply Chains genutzt werden. Im Anschluss daran werden die identifizierten Darstellungen unter Berücksichtigung des Vorgehensmodells für Simulationsstudien gemäß [VDI14] klassifiziert und ihr möglicher Einfluss auf Simulationen untersucht. In Kapitel 4 wird eine Erweiterung des genutzten Vorgehensmodells vorgestellt. Hierzu werden zunächst die Anforderungen an diese Änderung formuliert, und dann daraus eine Erweiterung erarbeitet, welche die Einbeziehung der erarbeiteten Erkenntnisse erlaubt. Der Hauptteil der Arbeit schließt mit einer Evaluation des erweiterten Vorgehens anhand eines exemplarischen Simulationsmodells in Kapitel 5 ab. Aus einer Beispielsimulationsstudie entnommene Daten werden gemäß des erweiterten Vorgehens untersucht und mögliche Auswirkungen der Neuerungen aufgezeigt. Abschließend werden die Ergebnisse der Arbeit in Kapitel 6 zusammen gefasst und Hinweise auf mögliche Anknüpfungspunkte an ihre Inhalte gegeben.

2 Stand der Technik

Die vorliegende Arbeit bewegt sich zwischen drei großen Themenfeldern, die im Folgenden vorgestellt werden. Wichtige Begriffe aus dem Bereich „Wissen“ werden in Abschnitt 2.1 vorgestellt, in 2.2 folgen Erläuterungen zur Simulation und einigen ihrer Aspekte. Abschnitt 2.3 erläutert Grundlagen zur Supply Chain. Nach der Definition des jeweiligen Überbegriffes folgen, wenn nötig, Abschnitte für besonders relevante Teilaspekte.

2.1 Wissen und Information

Die Onlineausgabe des Dudens bezeichnet Wissen als die Gesamtheit der Kenntnisse, die jemand auf einem bestimmten Gebiet hat [ONL15c]. In verschiedenen wissenschaftlichen Disziplinen werden unter anderem die Herkunft solcher Kenntnisse, Möglichkeiten zu ihrem Erwerb, verschiedene Arten von Wissen, sowie ihre Repräsentationsmöglichkeiten untersucht.

Die Philosophie beschäftigt sich in der Erkenntnistheorie damit, unter welchen Umständen man von gesichertem Wissen sprechen kann und auf welcher Grundlage Wissen entsteht. Hierbei sind auch Einflüsse der Neurowissenschaften relevant [Ber07]. Das Wissensmanagement als Zweig der Wirtschaftswissenschaften betrachtet die mögliche Nutzung von vorhandenem Wissen und die Erzeugung neuen Wissens im Rahmen von betriebswirtschaftlichen Prozessen. Es bildet damit die Grundlage für diesbezügliche Betrachtungen der Informatik.

Michael Polanyi führte 1966 den Begriff des „impliziten Wissens“ ein. Es handelt sich hierbei um die Beschreibung des Umstandes, dass der Mensch über mehr Wissen verfügt, als er artikulieren kann [Krc05] [Non94]. [Non91] entwickelte auf dieser Aufteilung beruhend eine Wissensspirale, die zeigen soll, dass implizites, auch tacites Wissen genannt, in explizites Wissen umgewandelt werden kann. [Sch01] kritisiert diese Aussage als zu grundsätzlich. Er geht davon aus, dass Wissen zunächst amorph vorliegt und mit zu vielen persönlichen Denkopoperationen verbunden ist, um immer umgewandelt werden zu können. Ein weiterer in der Literatur genannter Aspekt zeigt Wissen als Umwandlungsstufe zwischen den vorliegenden Informationen und dem Nutzen dieser zum Zweck einer bestimmten Handlung. Es wird dann also nicht als Objekt, sondern als Prozess verstanden [Fra06] [Nor11].

Um Wissen elektronisch verarbeitbar zu gestalten, bedient man sich eines Modells, nach dem Wissen über mehrere Ebenen aus Zeichen, Daten und Informationen zusammengesetzt werden kann (vgl. Abb. 2.1). Die Zeichen bilden hierbei einen Vorrat festgelegter und im Prinzip beliebiger grafischer Symbole, physikalischer Signale oder anderer Symbole die allen Beteiligten zugänglich sind [Bec13] [FH11] [Krc05]. Werden diese Symbole einer bestimmten Syntax folgend angeordnet, liegen Daten vor. Daten, die in einen sachlichen Kontext gesetzt werden, bezeichnet man als Informationen. Der Begriff Kontext, der in Abbildung 2.1 genutzt wird, wird gelegentlich auch als „Semantik“ angegeben [Fra06].

In jedem Fall geht es darum, die vorhanden Daten in einen inhaltlichen Zusammenhang zu setzen. Aus den Informationen kann darauf aufbauend Wissen durch Vernetzung abgebildet und wieder neu gewonnen werden [Den12]. In einigen Quellen wird dieser Vorgang als „Pragmatik“ bezeichnet [Fra06]. Diese Verwendung zeigt die starken Anleihen bei der Sprachwissenschaft, die jedoch insbesondere im Umfeld der Informatik problematisch sind, da die Pragmatik die „Lehre von der Beziehung zwischen Zeichen und Zeichenverwender“ aus psychologischer und soziologischer Sicht ist [Bro92]. Die Beibehaltung dieser Ausdruckswelt würde also eine Anwendung auf ein maschinelles Umfeld nicht mehr ermöglichen, da dort psychologische und soziologische Konzepte nicht anwendbar sind. Die Begriffe „Kontext“ und „Vernetzung“ sind aus diesen Gründen den linguistischen Begriffen vorzuziehen.

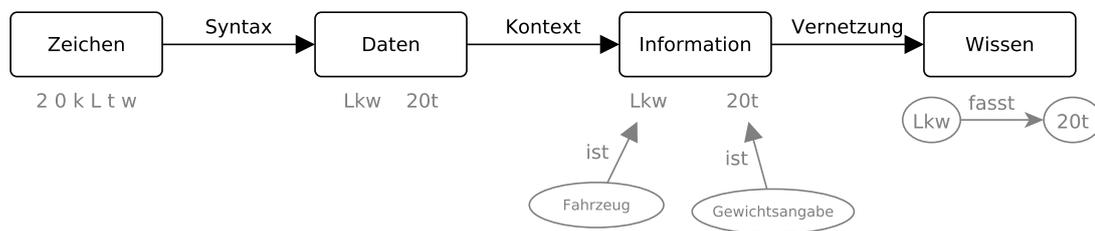


Abb. 2.1.: Umwandlung von Zeichen in Wissen in Anlehnung an [Bau14] mit passenden Beispielen

Die Beispiele, die in Abbildung 2.1 in grauer Farbe dargestellt sind, zeigen, dass das in den Kontext Setzen der Daten bereits als Wissen aufgefasst werden kann. Zwischen der Ausprägung „Lkw“ und der übergeordneten Klasse „Fahrzeug“ wird eine sog. „Ist-ein“-Beziehung hergestellt. Eine solche „Taxonomie“ genannte Zuordnung wird z.B. bei [Den12] als semantische Technologie zum Bereich „Wissen“ gezählt. Dieses einfache Beispiel verdeutlicht die Unschärfe in der Trennung zwischen den Begriffen und ihrer Nutzung in der Fachliteratur. Abbildung 2.2 zeigt deswegen ein auf dem genannten Verständnis von Wissen als Prozess beruhendes Modell für den Zusammenhang von Informationen und Wissen. Es behandelt Zeichen und Daten in der gleichen Weise, wie in Abbildung 2.1. Bei der Überführung der Daten in Informationen löst es den beschriebenen Konflikt auf, indem die Bildung von Beziehungen zwischen zwei Objekten als Wissensprozess verstanden wird, dessen Ergebnis immer neue Informationen sind. Der Prozess läuft demnach ab, wenn Daten erstmals in einen Kontext eingebettet werden und danach immer wieder wenn Informationen neu miteinander verknüpft werden. Das bereits in Abbildung 2.1 eingeführte Beispiel verdeutlicht die Auswirkungen des veränderten Verständnisses. Die analogen Verknüpfungsvorgänge sind beide mit dem Prozessnamen „wissen“ gekennzeichnet. Der Wissensprozess unterscheidet nicht zwischen „Ist-ein“-Beziehungen und andersartigen Verknüpfungen.

Eine gute Beschreibung der durch den Wissensprozess entstehenden Netzstruktur liefert [Wei92]: Es existieren Objekte o_i und Beziehungen b_j . Zwischen mehreren Objekten kann eine beliebige Anzahl von Beziehungen bestehen. Die vorliegende Arbeit folgt dieser Auffassung: Die Daten und Informationen sind die Objekte o_i , die durch den Wissensprozess mit Zusammenhängen miteinander vernetzt werden. Die Zusammenhänge entsprechen

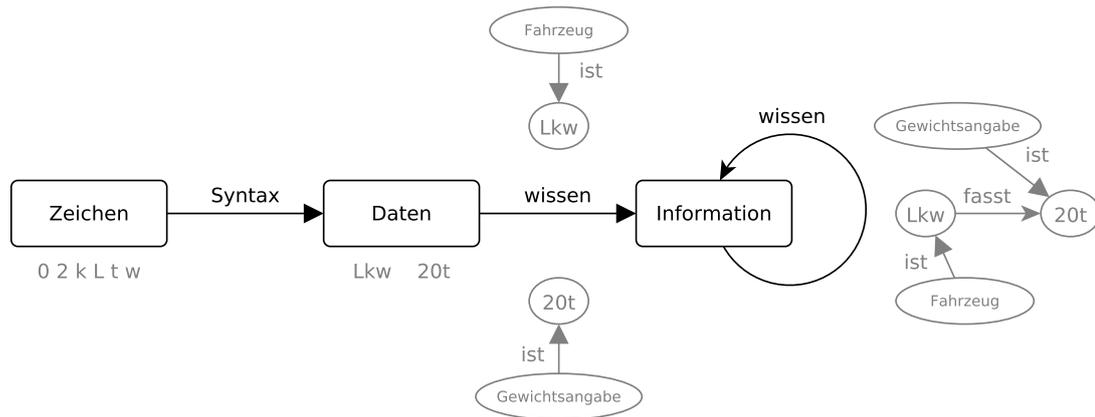


Abb. 2.2.: Wissen als Prozess zur Erzeugung von Informationen mit passenden Beispielen

den Beziehungen b_j . Dieses Verständnis wird im weiteren Verlauf zu Grunde gelegt und wird in den folgenden Definitionen zusammen gefasst.

Definition 1. „Zeichen“ meint ein beliebiges, abstraktes Symbol, auf dessen Verwendung sich eine Gruppe von Benutzern geeinigt hat.

Definition 2. „Daten“ sind Zeichenketten, die nach spezifischen Regeln zusammengesetzt wurden.

Definition 3. „Wissen“ bezeichnet den Vorgang, eine Menge von Objekten, die Daten und Informationen enthalten kann, miteinander in Beziehung zu setzen, um ihnen einen Bedeutungskontext zu geben oder ihren Kontext zu erweitern.

Definition 4. Der Begriff „Information“ bezeichnet Objekte, die durch den Wissensprozess in einen Bedeutungskontext gesetzt wurden.

Definition 5. Eine Entität, deren Zugehörigkeit zu einer der Kategorien „Daten“ und „Informationen“ nicht eindeutig oder ungeklärt ist, wird im Rahmen dieser Arbeit als „Größe“ bezeichnet.

2.1.1 Darstellungsarten von Wissen und Informationen

Der Begriff „darstellen“ wird in [ONL15a] mit mehreren möglichen Aspekten angegeben. „Darstellen“ bedeutet demnach entweder die bildliche Wiedergabe eines Objektes oder seine Beschreibung mit Hilfe von Worten. Fasst man mehrere solcher Darstellungen nach festen Kriterien zusammen und gruppiert sie, kann man von einer Darstellungsart reden.

Definition 6. „Darstellungen“ liegen dann vor, wenn ein Inhalt in Worten und/oder Bildern beschrieben wird.

Definition 7. Der Begriff „Darstellungsart“ beschreibt nach festen Kriterien gebildete Gruppen von Darstellungen.

Darstellungsarten können auf abgegrenzte Inhalte wie z.B. Informationen bezogen werden. Gemäß der Definitionen 4, 6 und 7 können demnach gezielt Darstellungen, die

Informationen wiedergeben, gruppiert werden. Aus der Kombination der vorgestellten Definitionen können dann entsprechende Definitionen für „Darstellungsarten von Wissen“ oder „Darstellungsarten von Informationen“ abgeleitet werden. Wissen als Prozess kann nach den in Abschnitt 2.1 erarbeiteten Definitionen zwar dargestellt werden, in der Regel interessiert aber *das Ergebnis des Wissensprozesses*, also die Menge der durch Zusammenhänge vernetzten Informationen.

Die beschriebenen Darstellungen sind Mittel zur Kommunikation, wie sie bei [Bec13] definiert wird: Bedeutungen werden über abstrakte Symbole von einer Stelle an eine andere übermittelt. Diese Definition ist auf Humankommunikation zugeschnitten und kann z.B. unter Berücksichtigung des mathematischen Kommunikationsmodells nach [SW48] auch auf die Kommunikation zwischen zwei Maschinen angewendet werden. Der Begriff „Wort“ in Definition 6 kann demnach sowohl auf menschliche Sprache als auch auf Maschinensprache angewendet werden. Die genaue Auffassung der Begriffe „Sprache“ und „Wort“ im Bereich der Informatik in Abgrenzung zur menschlichen Sprache, sind z.B. bei [FH11, Sprache, Wort] nachlesbar. Die relevanteste Erkenntnis für die vorliegende Arbeit ist die Erkennung der Analogie für beide Spracharten. Dadurch können insbesondere auch mathematische Ausdrücke als „Wort“ aufgefasst werden, was die Darstellung von Informationen durch logische Bausteine in der elektronischen Datenverarbeitung zu einem legitimen Betrachtungsgegenstand macht. Alle im Rahmen der Arbeit betrachteten Inhalte müssen in elektronischer Form vorliegen, da die Simulation in der Regel am Computer ausgeführt wird. Inhalte, die in analoger Form vorliegen, sind für die Simulation dementsprechend schlecht nutzbar. Deswegen wird grundsätzlich davon ausgegangen, dass die betrachteten Größen entweder bereits in elektronischer Form vorliegen oder in diese übertragen werden, bevor eine Verarbeitung innerhalb der Simulationsstudie beginnt.

Die zu übertragende Bedeutung (Inhalt) und die Übertragungsform (Darstellung) bedingen einander. Inhalt ohne Darstellung ist nicht wahrnehmbar und dementsprechend nicht nutzbar, während Darstellung ohne Inhalt nicht existieren kann, da sie ein Anwendungsobjekt benötigt. Daraus lässt sich wiederum folgern, dass jede Größe, die im Rahmen der vorliegenden Arbeit betrachtet wird, mit einer Darstellung versehen sein muss, da sie sonst weder maschinell noch menschlich wahrnehmbar wäre. Die Einteilung dieser Darstellungen in Darstellungsarten ist Gegenstand des Abschnitts 3.2.1.

2.1.2 Wirkzusammenhänge

Der Begriff „Wirkzusammenhänge“ wird in verschiedenen Titeln aus dem Bereich der Fertigungstechnologie, wie z.B. bei [Wen09] und [Wag94], verwendet. Im Umfeld der Supply Chain wird er bei [AKF⁺08] und [WWCB⁺08] genutzt. Der Begriff wird dabei an keiner Stelle explizit eingeführt, sondern als allgemeinsprachlich verständliches Kompositum genutzt. Teilweise wird er synonym mit den Begriffen „Wechselwirkung“ und „Wirkmechanismus“ verwendet [Wag94].

Der Duden gibt an, dass ein „Zusammenhang“ eine innere Beziehung oder Verbindung zwischen Sachverhalten, Vorgängen und ähnlichem beschreibt [ONL15d]. Die „Wirkung“ ist definiert als Veränderung, Beeinflussung oder Ergebnis, welches durch eine verursachende Kraft zustande kommt [ONL15b]. Setzt man beides zusammen, kann dies als Betonung

eines gewissen Aspekts des Zusammenhangs verstanden werden: Verändert sich eine am Zusammenhang beteiligte Größe, wird dies auf die anderen Beteiligten eine Wirkung haben. Im Rahmen dieser Arbeit wird der Begriff „Wirkzusammenhang“ in diesem Sinne dem einfachen „Zusammenhang“ vorgezogen, da er die Wechselwirkung der beteiligten Größen betont und sich dadurch von dem sehr unspezifisch gebrauchten Grundterm abhebt.

Definition 8. *Ein „Wirkzusammenhang“ beschreibt eine innere Beziehung zwischen mehreren Entitäten, die impliziert, dass die Veränderung einer der beteiligten Entitäten eine Wirkung auf einen oder mehrere andere Beteiligte ausübt.*

2.2 Simulation

Der Begriff „Simulation“ ist vom lateinischen „simulatio“ für „Vorspiegelung“ abgeleitet und lässt sich im Rahmen der Informatik als Imitation oder Nachahmung übersetzen [FH11] [Wis07]. Abgebildet werden hierbei komplexe dynamische Prozesse aus der Realität. Deren Ergebnisse können nicht mehr im Rahmen analytischer mathematischer Methoden exakt vorhergesagt werden, sondern werden mit Hilfe der Simulation numerisch untersucht [LK91] [Ban98]. Gründe für die Verwendung von Simulationen sind häufig die Vermeidung von hohen Kosten, Zeitaufwänden, Gefahren und Umweltbelastungen, die anfallen würden, wenn man entsprechende Projekte direkt in der Realität umsetzen würde [FH11] [AKF⁺08]. Laut [VDI14] besteht das Ziel der Simulation darin, mit ihrer Hilfe Erkenntnisse zu gewinnen, die auf die Realität übertragen werden können (vgl. auch [Ban98]). Der vorliegenden Arbeit liegt die Definition gem. [VDI14] zugrunde, die in [KR98, S.3ff.] ausführlich erläutert wird.

Definition 9. *„Simulation“ ist das „Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind“ [VDI14].*

Mögliche Anwendungen von Simulation sind Fertigungslinien, Computersysteme, militärische Anlagen, Verkehrssysteme oder Bestellungsplanungen [LK91] [VDI14]. Hier können Schwachstellen aufgedeckt, Handlungsalternativen evaluiert oder abschließende Funktions- und Effizienztests vor Realisierung eines Systems durchgeführt und so die Entscheidungsfindung unterstützt werden [KKK12] [Ban98] [RD12].

Die Nutzung von Simulation in den oben genannten Gebieten bringt Vor- und Nachteile mit sich, die vor der Anwendung dieses Werkzeugs gegeneinander abgewogen werden sollten. Vor- und Nachteile der Methode sind u.A. bei [LK91] [KKK12] [Ban98] nachzulesen. Zu den Vorzügen der Methode zählen

- die Anwendbarkeit bei sehr komplexen Systemen in beliebigem Detaillierungsgrad,
- die mögliche Abbildung und Manipulation von existenten und inexistenten Systemen,
- die abgeschlossene Experimentierumgebung, die ein evtl. bestehendes System vor Beeinträchtigungen schützt und
- die Betrachtbarkeit von großen Systemzeiträumen innerhalb einer vergleichsweise geringen Realzeit.

Nachteile bestehen darin, dass

- jeder Durchlauf nur die Schätzung eines Ergebnisses liefert,
- die Modelle aufwendig und zeitintensiv erstellt werden müssen,
- die abschließende Darstellung der Ergebnisse oft einen größeren Einfluss auf die Glaubhaftigkeit der Ergebnisse hat als der eigentliche Inhalte und
- für mögliche Optimierungen nur heuristische Suchverfahren zur Verfügung stehen.

2.2.1 Simulationsmodell

Gegenstand der Untersuchung einer Simulation ist ein Modell, in dem Annahmen über das betrachtete System gesammelt werden und an dem gezielt Experimente durchgeführt werden können. Wichtig ist, dass das System, welches modelliert wird, bereits Realität sein kann oder eine Planung abbilden kann.

Definition 10. *Ein Modell ist im Rahmen einer Simulation eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen begrifflichen oder gegenständlichen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Untersuchungsziel abhängigen Toleranzrahmens vom Vorbild [VDI14].*

Verschiedene Quellen merken übereinstimmend an, dass die Auswahl und Überführung der relevanten Systemkomponenten in ein sachlich korrektes Modell den schwierigsten Teil während einer Simulationsstudie darstellt, da er stark subjektiv beeinflusst ist und die Gesamtgrundlage der Studie bildet. Es wird in diesem Zusammenhang von der „Kunst des Modellierens“ gesprochen [Bal89] [ASI97] [RSW08] [WWCB⁺08]. Vor dem Hintergrund der Ingenieurausbildung diskutiert [SM94] diesen Begriff und stellt fest, dass für die erfolgreiche Modellierung auch Kreativität gefragt ist. Durch Übung und Erfahrung, sowie Einhaltung einer festgelegten „wissenschaftlichen“ Herangehensweise kann jedoch so viel vom notwendigen Prozess erlernt werden, dass der Begriff der „Kunst“ vorsichtig verwendet werden sollte, um potentielle Nutzer von Simulationen nicht zu verschrecken. [Sha98] greift das auf und verbindet diese Ansätze, indem er von der „Kunst und Wissenschaft“ der Modellerstellung spricht.

2.2.2 Ereignisdiskrete Simulation

Die oben vorgestellte Definition von Simulation nach [VDI14] lässt die Mittel der Realisierung offen. Hierfür gibt es verschiedene Ansätze, die prinzipiell für die verschiedenen Vorgehensmodelle anwendbar sind. [LK91] stellt neben der ereignisdiskreten Simulation noch die kontinuierliche Simulation, die kombinierte diskret-kontinuierliche Simulation und die Monte-Carlo-Simulation vor. Die Ausführungen dort machen deutlich, dass die Wahl der Simulationsart in erster Linie vom Sachzusammenhang bestimmt wird.

Die ereignisdiskrete Simulation (kurz *DES*, von engl. *discrete event simulation*) besitzt zwei sie abgrenzende Merkmale. Sie basiert erstens immer auf dynamischen Modellen, also solchen Modellen, deren Zustand sich über die Zeit ändert. Zweitens ändert sich der

Zustand des ereignisdiskret modellierten Systems genau dann abrupt, wenn ein Ereignis auftritt. Dies steht im Gegensatz zu kontinuierlichen Simulationen, deren Zustand in regelmäßigen Zeitabständen, unabhängig von den systeminternen Vorgängen, abgefragt wird. Beispiele für Ereignisse, die eine Systemänderung verursachen, sind das Eintreffen einer Ware im Wareneingang oder das Ende eines Fertigungsschrittes [LK91] [Ban98].

Definition 11. *Ereignisdiskrete Simulation ist die Simulation eines dynamischen Systems, dessen innere Uhr dann weiter läuft, wenn sich Zustände innerhalb der Simulation zu diskreten Zeitpunkten ändern.*

2.2.3 Das ASIM-Modell zur Vorgehensweise in Simulationsstudien

Der Begriff „Simulationsstudie“ umfasst gemäß dem von [RSW08] eingeführten und in [VDI14] standardisierten ASIM-Vorgehensmodell den gesamten Vorgang der Beauftragung, Planung, Implementierung, Nutzung und Auswertung einer Simulation zu einem festgelegten Zweck. Die Studie ist dabei als eigenständiges Projekt zu betrachten, das u.U. in einen größeren Projektrahmen eingebettet sein kann [WWCB⁺08].

Abbildung 2.3 zeigt das Schema dieses Vorgehensmodells. Auf der linken Seite sind entlang der Pfeilbahnen einzelne Schritte genannt, die im Verlauf der Studie abgearbeitet werden müssen. Rechts davon bildet die Zielbeschreibung den initialen Input ins System, danach wird für jeden Schritt ein Ergebnis z.B. in Form eines Dokuments oder eines Modells angegeben.

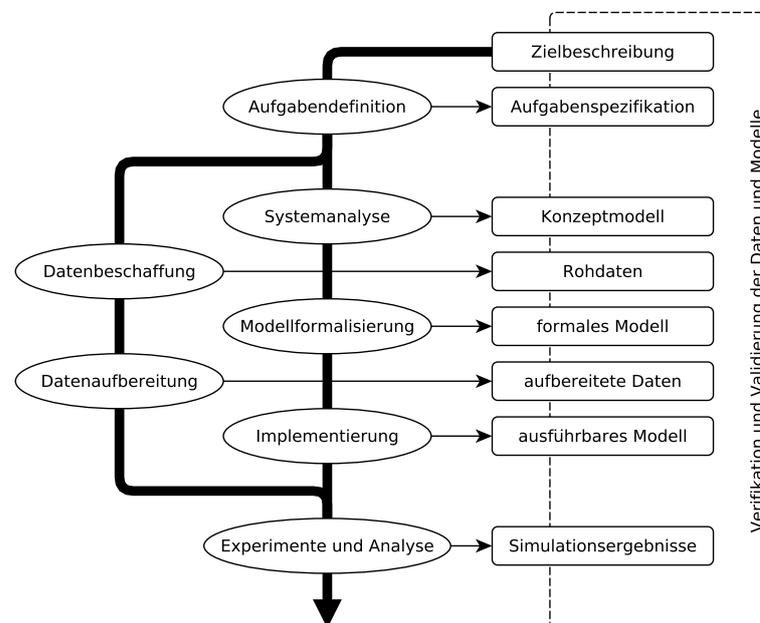


Abb. 2.3.: Vorgehen zur Durchführung von Simulationsstudien gem. [VDI14]

Das Modell unterteilt das Vorgehen in fünf Phasen, die nacheinander ablaufen und zwei Phasen, die parallel durchlaufen werden (vgl. Abbildung 2.3). Jede dieser Phasen besitzt ein Ergebnisdokument, anhand dessen die Verifikation und Validierung (V&V) nach Durchlaufen der Phase durchgeführt wird. Je nachdem, welches Ergebnis eine V&V hat,

können vorhergehende Phasen erneut durchlaufen werden. Tabelle 2.1 zeigt eine Übersicht über die grundlegenden Merkmale des ASIM-Vorgehensmodells.

Kriterium
Aufbau der einzelnen Phasen aufeinander
Ergebnisse jeder Phase in einem Dokument
V&V am Ende jeder Phase an diesem Dokument
Iterationsmöglichkeiten bei nicht erfolgreicher V&V
Parallelität von Datenverarbeitung und Modellierung

Tab. 2.1.: Charakteristika des ASIM-Vorgehensmodells

Vergleicht man das Modell mit älteren Abbildungen z.B. bei [LK91] oder [Ban98], kann man Parallelen erkennen. Die Schritte für eine Simulation von [LK91] sind in Abbildung 2.4 zu sehen und können wie auch das ASIM-Vorgehensmodell grob in vier Phasen eingeteilt werden:

1. Formulierung von Problem/Ziel/Aufgabe
2. Modellerstellung und Datenerhebung
3. Implementierung
4. Nutzung

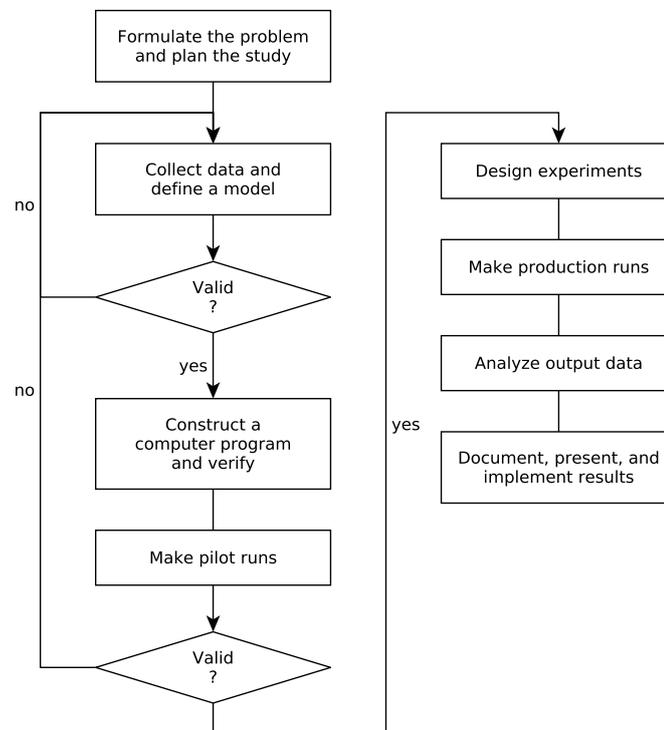


Abb. 2.4.: Schritte zur Durchführung von Simulationsstudien gem. [LK91, S.107]

Im Modell nach [LK91] sind die Bereiche 3 und 4 detaillierter ausgeführt, während das ASIM-Modell die Bereiche 1 und 2 stärker zergliedert. Die Betonung der vorbereitenden Phasen in [VDI14] stellt einen guten Rahmen für die Aufgabenstellung dieser Arbeit zur

Verfügung. Da der Fokus der Arbeit auf den Daten liegt, die das Modell als Eingangsgrößen erhalten soll, bietet der starke Detaillierungsgrad bei den relevanten Vorgehensschritten gute Voraussetzungen für eine Erweiterung in diesem Bereich. Weitere Vorgängermodelle, auf denen das ASIM-Modell aufbaut, finden sich in [RSW08, S.27ff.]. Die Rückführbarkeit des ASIM-Modells auf ältere Modelle und die damit einhergehende Kompatibilität verspricht weite Akzeptanz, wobei die Festschreibung in einer VDI-Richtlinie die professionelle Nutzung und Pflege des Modells fördert. Die Ergebnisse können dadurch in anknüpfenden Arbeiten gut genutzt werden.

2.3 Supply Chain

Der Begriff „Supply Chain“ wird für Wertschöpfungsketten verwendet, die sämtliche Fertigungs- und Absatzstufen von der Rohstoffgewinnung bis zum Konsumenten umfassen [KKK12]. In [Kö14] wird gezeigt, dass sich die Datenverarbeitung im sachlichen Rahmen der Supply Chain nur in geringem Maße von der Verarbeitung in anderen Sachgebieten unterscheidet. Es wird jedoch herausgestellt, dass qualitative Daten häufiger auftreten als quantitative, was die Auswahl der sinnvoll nutzbaren Bearbeitungsmittel beeinflussen kann.

Die Supply Chain ist deswegen ein geeigneter Rahmen für die vorliegende Fragestellung, da hier die ereignisdiskrete Simulation besonders gut zur Anwendung kommen kann und in der Vergangenheit bereits vielfach genutzt wurde [RS14]. Ein detaillierter Überblick über die Nutzung von DES im Supply Chain Umfeld kann in [RD12] gewonnen werden. Dort werden Beispiele für die Nutzung der Methode aufgelistet und es wird dargestellt, dass Supply Chains eine dynamische Umgebung bilden, die vielen stochastischen Einflüssen unterliegt und daher mit analytischen Methoden nicht hinreichend beschrieben werden können. Die DES wird als effiziente Methode zu Analyse solcher Systeme nahegelegt.

3 Nutzen von Wissen im ASIM-Vorgehensmodell

Im folgenden Kapitel wird untersucht, aus welchen Informationen in der Supply Chain Wissen über Wirkzusammenhänge generiert werden kann und unter welchen Gesichtspunkten das Einfließen dieses Wissens in eine Simulation sinnvoll ist. In Abschnitt 3.1 erfolgt die Vorstellung von Fallbeispielen für Wirkzusammenhänge und vorkommende Eingangsgrößen im Rahmen von Supply Chain Simulationen. Danach werden in Abschnitt 3.2 mögliche Darstellungsarten der Eingangsgrößen klassifiziert, die Überführbarkeit dieser Arten ineinander betrachtet und relevante Abschnitte des ASIM-Vorgehensmodells identifiziert. Abschnitt 3.3 betrachtet die Wechselwirkung zwischen den Darstellungsarten und den verschiedenen Phasen des ASIM-Vorgehensmodells.

3.1 Fallbeispiele zur Ableitung von Wirkzusammenhängen

In Abschnitt 3.1.1 werden zwei Beispiele vorgestellt, um die Möglichkeiten der Ableitung von Wirkzusammenhängen zu verdeutlichen. Sie sind aus zwei verschiedenen Bereichen der Supply Chain heraus gegriffen und betrachten sowohl interne Vorgänge, als auch Schnittstellen zwischen verschiedenen Akteuren in der Supply Chain. Abschnitt 3.1.2 zeigt Größen, die in zwei verschiedenen Quellen als Eingangsgrößen in Simulationsstudien vorgestellt werden. Einige Eigenschaften der Größen und ihre Verbindung mit den Inhalten aus Abschnitt 3.1.1 werden herausgearbeitet.

3.1.1 Beispiele für Wirkzusammenhänge

Das erste Beispiel befasst sich mit der zu überprüfenden Warenqualität im Wareneingang eines Unternehmens. Die in einem Wareneingang angelieferten Materialien können einer Eingangsqualitätsprüfung unterzogen werden, um sicherzustellen, dass vereinbarte Spezifikationen eingehalten werden und die Ware für eine Weiterverarbeitung geeignet ist. In diesem Szenario können verschiedene Wirkzusammenhänge relevant sein. Die Qualität der Ware eines einzelnen Lieferanten kann über die Zeit schwanken. Wenn ein Lieferant mehrere Waren liefert, kann zwischen deren Qualität ein zeitlicher Zusammenhang bestehen. Die Grundannahme, dass die gelieferte Qualität vom Lieferanten abhängt, ist bei vom Lieferanten gefertigter Ware gerechtfertigt, kann jedoch für reine Handelsware zweifelhaft sein. Dieses Geflecht aus möglichen Wirkzusammenhängen kann für die Supply Chain und insbesondere die Produktion von Bedeutung sein, wenn Kunden in ihren Spezifikationen festgelegt haben, dass nur Materialien bestimmter Qualität oder von bestimmten Lieferanten für die an sie zu liefernden Produkte verarbeitet werden dürfen.

Das zweite Beispiel befasst sich mit Zeitreihen. Betrachtet man Daten, die in einer Supply Chain anfallen, fällt auf, dass diese häufig zeitbezogen sind. Trägt man die verschiedenen betrachteten Größen dann über die Zeit in sogenannten Zeitreihen auf, können

je nach Länge des betrachteten Zeitraums periodische Zusammenhänge oder auch einmalige wichtige Ereignisse identifiziert werden. Zu den periodischen Erscheinungen können z.B. regelmäßiger Rückgang der Lieferungen in bestimmten Monaten des Jahres gehören. Auch die Schließung von Betrieben an Wochenenden und Feiertagen, sowie Qualitäts- und Mengenschwankungen einer Produktion über den Tag hinweg sind denkbar.

3.1.2 Beispiele von verwendeten Daten, Informationen und Wissen

In Anhang A.1 sind detaillierte Beispiele für Eingangsgrößen in Simulationsstudien aus [KR98] angegeben. Die Daten sind aus vier verschiedenen Beispielsystemen entnommen, wobei sowohl Transport-, als auch Produktionssysteme betrachtet werden. Die Größen umfassen eine große Bandbreite von Gebieten innerhalb der Supply Chain und können in drei Gruppen zusammen gefasst werden. Die physikalischen Größen machen Informationen über Anzahlen, räumliche Dimensionen und Anordnungen, Zeitpunkte und alle anderen messbaren Größen aus. Im Gegensatz dazu gibt es abstrakte Werte wie Bezeichner und monetäre Werte. Bezug nehmen die Größen auf verschiedenste Bestandteile der Supply Chain, so z.B. auf die beteiligten Unternehmen, Mitarbeiter, Produkte und Abläufe.

Auch in [VDI14, S.34] findet sich eine Übersicht, welche „Datenarten“ in einer Simulationsstudie benutzt werden. In den drei Oberkategorien „Systemlastdaten“, „Organisationsdaten“ und „technische Daten“ finden sich jeweils mehrere Untergruppen, die mit diversen Beispielen versehen sind. Anhang A.2 gibt den Inhalt der betreffenden Abbildung vollständig wieder. Viele der Größen aus A.1 gleichen denen der VDI-Richtlinie oder sind lediglich weniger speziell auf ein Anwendungsbeispiel zugeschnitten.

Die vorgestellten Größen aus [KR98] werden als Eingangsdaten oder Eingangsgrößen in das System bezeichnet, während in [VDI14] von „Daten für die Simulation“ die Rede ist. Teilweise handelt es sich bei diesen Eingangsgrößen jedoch nicht um Daten im Sinne der in Kapitel 2.1 festgelegten Definitionen. Zum einen gibt es Entitäten, die eindeutig aus einer Sammlung von Informationen bestehen, wie z.B. bei Qualifikationsprofilen von Mitarbeitern. Zum anderen gibt es aber auch Informationen über Abläufe, bei denen ein hohes Maß an Vernetzung vorliegt. Der Begriff „Daten“ ist daher für die gezeigten Größen in jedem Fall unzureichend. Für den Eingang in die Simulationsstudie wird die Relevanz der Eingangsgrößen für den Sachverhalt geprüft, was nur möglich ist, wenn der Kontext der Größen bekannt ist. Hierdurch ist zu erkennen, dass diese Entitäten meist der Kategorie „Informationen“ zugeordnet werden können. Bedenkt man die Definition von Daten, Information und Wissen, die in Abschnitt 2.1 vorgestellt worden ist, kann also festgestellt werden, dass die Begriffe in den vorliegenden Beispielen unscharf oder falsch benutzt werden. Es liegen hier nämlich sowohl Daten als auch Informationen vor. Die Simulation wird also bereits mit Größen gespeist, die einen Wissensprozess im Sinne der in Kapitel 2.1 genannten Definition durchlaufen haben.

Die vorgestellten Größen können als Grundlage für die in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Beispiele heran gezogen werden. Für die Untersuchung der Lagerauslastung im Zusammenhang mit der transportierten und gelagerten Menge können Transportmengen pro Zeiteinheit, die zu transportierenden Gebinde, Zielorte, Stammdaten der Produktionseinrichtungen, Transportaufträge und Materialflussdaten herangezogen werden. Betrachtet

man Produktionsprofile, produktspezifische Restriktionen, Störfallmanagement und Verfügbarkeiten, kann man Rückschlüsse zum Umgang mit Materialien mangelnder Qualität erhalten. Es fällt hierbei jedoch auf, dass die vorliegende Aufzählung zu den Daten in Supply Chains eher auf die Interna eines einzelnen Betriebes ausgerichtet ist, während Supply Chain übergreifende Aspekte wie z.B. die Lieferanten- oder Kundenbeziehungen keine Erwähnung finden.

3.2 Klassifikation der Informationen in Supply Chains

Die Klassifikation der vorgestellten Eingangsgrößen für die Simulationsstudie soll nach zwei Gesichtspunkten erfolgen. Zum einen wird untersucht, welche Darstellungsarten für sie möglich sind, zum anderen soll geprüft werden, welchen Einfluss die Einarbeitung der Ergebnisse in das ASIM-Vorgehensmodell hat. Damit wird die in Kapitel 2.1.1 angesprochene untrennbare Verbindung zwischen Inhalt und Darstellung weiter untersucht. Während im vorhergehenden Abschnitt 3.1 die Inhalte, die in einer Supply Chain Simulation auftreten, näher beleuchtet wurden, folgt nun die Betrachtung der Darstellungen, die in diesem Kontext möglich und sinnvoll sind. Im Abschnitt 3.2.1 werden zunächst die verschiedenen möglichen Darstellungsarten vorgestellt, deren Überführbarkeit ineinander in Abschnitt 3.2.2 näher betrachtet wird. Abschnitt 3.2.3 identifiziert und beschreibt anschließend die für die Arbeit interessanten Modellphasen. Außerdem beschäftigt er sich mit der Möglichkeit auf Grundlage dieser Erkenntnissen mit der Durchführung des Wissensprozesses neue Erkenntnisse über Zusammenhänge zu gewinnen.

3.2.1 Klassifikation der Darstellungsarten

Betrachtet man die in Abschnitt 3.1.2 vorgestellten Eingangsgrößen, lassen sich vier Kategorien von Darstellungsarten finden, in denen die Größen eingeordnet werden können. Auch gemischte Darstellungen mit Komponenten aus verschiedenen Kategorien sind vorhanden, allerdings sind diese Aggregationen in der Regel in Einzelanteile zerlegbar, die jeweils einer Klasse zugeordnet werden können. Im Folgenden wird die Einteilung der Klassen beschrieben und jede Klasse detailliert besprochen. Ihnen werden außerdem mögliche Beispiele aus Kapitel 3.1.2 zugeordnet.

Die Darstellungsarten werden im Rahmen dieser Arbeit gemäß Definition 7 nach festen Kriterien gebildet. Abbildung 3.1 sind die Kriterien und die Ergebnisse der bei den Darstellungsarten durchführbaren Klassifikation zu entnehmen. Zunächst wird die Unterteilung in maschinenverarbeitbare und nicht maschinenverarbeitbare Größen vorgenommen. Sie leitet sich aus der in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Notwendigkeit, für den Computer verarbeitbare Größen zur Verfügung zu stellen, ab. Für die nicht maschinenverarbeitbaren Größen wird zwischen Fließtexten und Illustrationen unterschieden. Selbst wenn Inhalte digital, z.B. auf einem Computer in einer dieser Darstellungsarten vorliegen, sind sie nicht ohne weiteres durch Algorithmen verarbeitbar. Die unterschiedliche Darreichungsform der Inhalte, entweder grafisch oder textuell, macht jedoch unterschiedliche Vorgehensweisen zur weiteren Verwendung der Inhalte notwendig, weswegen diese nach diesem Kriterium

noch einmal unterschieden wird. Die maschinenverarbeitbaren Größen werden unterschieden nach der Gleichförmigkeit ihrer Inhalte.

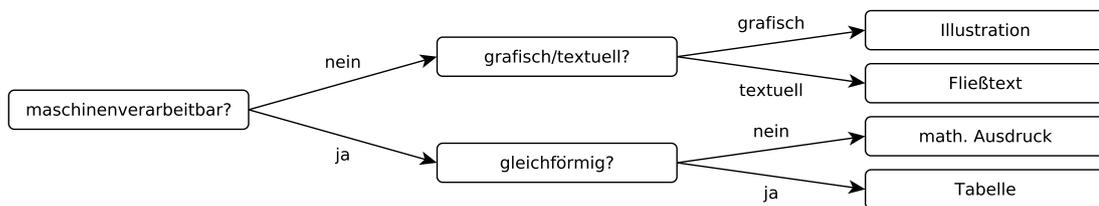


Abb. 3.1.: Klassifikation der Darstellungsarten anhand von Kriterien

Illustrationen

Illustrationen zeichnen sich dadurch aus, dass sie ihren Inhalt vor allem über grafische Elemente vermitteln und Text nur in Form von kurzen, erklärenden oder beschreibenden Einzelaussagen auftritt. Sie sind für die Rezeption durch Menschen gut geeignet, werden ohne hinterlegte Metainformationen für Maschinen aber erst durch Mittel der Bildverarbeitung und -erkennung nutzbar. Aus den vorgestellten Beispielen sind Fahrwege von Gabelstaplern oder Störprofile in dieser Darstellungsart denkbar.

Fließtexte

Fließtexte nutzen den schriftlichen Zeichenvorrat einer natürlichen Sprache, um Informationen in einem entsprechenden Medium festzuhalten. Aufgrund der Einbettung der Informationen in die Gerüste der Grammatik und Wortwahl ist auch hier eine Aufbereitung nötig, bevor der Inhalt maschinenverarbeitbar wird. Qualifikationsprofile von Mitarbeitern können als Fließtext vorliegen.

Mathematische Ausdrücke

Mathematische Ausdrücke zeichnen sich dadurch aus, dass sie mehrere Objekte über logische oder mathematische Operationen miteinander verknüpfen und eine Umwandlung der Objekte nach entsprechend beschriebenen Regeln erlauben. Insbesondere gehören zu dieser Gruppe auch Graphen und logische Operatoren. Unter anderem können zeitliches Produktionsverhalten, Prozessflüsse, Fertigungsabläufe und Saisonabhängigkeiten von Produktionsprogrammen mit mathematischen Ausdrücken beschrieben werden.

Tabellen

Tabellen können eine erhebliche Anzahl verschiedener Größen in maschinenverarbeitbarer Form abbilden. Prinzipiell können ihre Struktur und ihr Inhalt auch als mathematische Ausdrücke aufgefasst werden. Aufgrund der besonderen Gleichförmigkeit ihres Inhalts und des speichernden Charakters werden sie jedoch als eigene Kategorie geführt. Beispielgrößen, die in dieser Darstellungsart vorliegen, können Transportmengen, Gebindeart und -größen, Zielorte und Stellplatzkapazitäten, sowie Einsatzzeiten, Produktionsprofile, Prozesszeiten, Stammdaten zur Produktionseinrichtung oder technische Daten von involvierten Maschinen und Anlagen sein.

3.2.2 Überführbarkeit von einer Darstellungsart in eine andere

Inhalte, die in einer der genannten Darstellungsarten aufbereitet sind, können über die Ausnutzung der zugrunde liegenden Netzstruktur von Informationen in eine andere Darstellungsart überführt werden. Hierfür müssen mittels des menschlichen Verstandes oder entsprechend maschinell implementierter Algorithmen die einzelnen Elemente des hinterliegenden Informationsnetzes identifiziert werden. Gemäß der in Abschnitt 2.1.1 beschriebenen Struktur wird erarbeitet, welche Informationen und welche Zusammenhänge zwischen diesen Informationen dargestellt sind. Ist diese Struktur erfasst, kann ihre Abbildung in einer anderen Darstellungsart erfolgen.

Im Rahmen einer Simulationsstudie ist zu entscheiden, welche Eingangsgrößen für das Ergebnis relevant sind und welche vernachlässigt werden können. Die Überführung der Inhalte aus einer Darstellungsart in eine andere erlaubt es, Informationen, die in der ursprünglichen Darstellung enthalten sind und als nicht relevant für die Simulation eingestuft werden, auszusortieren und nicht mit zu übertragen. Ebenso kann eine Überführung mehrerer Ursprungsdarstellungen in eine gemeinsame Zieldarstellung erfolgen. Dieser Schritt kann Speicherkapazitäten sparen und ermöglicht eine Anpassung der logischen Struktur an die konkreten Simulationsbedürfnisse. Im Rahmen der Simulation ist insbesondere die Umwandlung von nicht maschinenverarbeitbaren in maschinenverarbeitbare Darstellungsarten interessant. Diese Umwandlung ist daher einer der Hauptanlässe für die Nutzung dieser Eigenschaft. Die Mechanismen sind ebenfalls nutzbar für die Umwandlung einer Darstellung in eine andere, die der gleichen Klasse von Darstellungsarten angehört, also z.B. die Umwandlung von einem Balkendiagramm in eine Netzgrafik.

3.2.3 Relevante Abschnitte des ASIM-Vorgehensmodells

Die Phasen „Systemanalyse“, „Modellformalisierung“, „Datenbeschaffung“ und „Datenaufbereitung“ des ASIM-Vorgehensmodells werden im Folgenden genauer betrachtet. Diese Auswahl beruht darauf, dass in diesen Phasen Eingangsgrößen in die Simulation eingebunden oder verarbeitet werden und deswegen für den Zweck der vorliegenden Arbeit von besonderem Interesse sind. [VDI14] liefert detaillierte Informationen dazu, was die genannten Phasen auszeichnet.

Das Ergebnis der Systemanalyse ist das sogenannte Konzeptmodell, dessen Inhalt eine Abbildung des Gesamtsystems ist, welche noch nicht formalisiert oder ausführbar ist. Die Phase ist deswegen interessant, weil sie sich insbesondere mit der Auswahl der relevanten Systemkomponenten und Informationen über diese beschäftigt. In diesem Stadium der Simulationsstudie können noch Inhalte in allen möglichen Darstellungsarten ausgewertet und aufgenommen werden. Der in 3.2.2 beschriebene Vorgang der Darstellungsumwandlung wird hier dementsprechend häufig durchgeführt. Da eine schrittweise Verfeinerung des Modells vorgenommen wird, gibt es hier Ansatzpunkte für Wechselwirkungen mit anderen Phasen der Simulationsstudie.

In der Phase der Systemformalisierung werden Diagramme, Ablaufpläne und Tabellen erstellt, die den Inhalt des Konzeptmodells so wiedergeben, dass er für die Implementierung vorstrukturiert wird. In dieser Phase findet also streng genommen keine Neueinführung von

zu verwendendem Wissen statt, teilweise aber die in Abschnitt 3.2.2 bereits angesprochene Überführung in maschinenverarbeitbare Darstellungsarten.

Die Phasen der Datenbeschaffung und -aufbereitung laufen streng genommen unabhängig und in der Regel parallel zu den beiden oben genannten Phasen der Modellierung. Systemlastdaten, Organisationsdaten und technische Daten werden hierfür zunächst aus bestehenden Quellen entnommen. Da die Erfassung der Daten häufig ohne Vorgaben seitens der Simulationsstudie passiert, sind diese im Rohzustand nicht vollständig und konsistent genug für die direkte Nutzung in der Simulation. Daher wird die Erfassung von Daten nach spezifischen Vorgaben falls notwendig hier veranlasst.

Die Phase der Datenaufbereitung umfasst Plausibilitätsprüfungen und daraus resultierend Ergänzungen und Korrekturen. [RS14] zeigt, dass in dieser Phase neben den von der VDI-Richtlinie vorgesehenen Prüfungen und Veränderungen eine statistische Analyse der Daten Platz hat. Eine solche Analyse kann neue, bis dahin nicht bekannte Zusammenhänge zu Tage fördern, die für die Simulation von Bedeutung sein können. Analysen dieser Art sind im Rahmen der Phasenbeschreibung nicht explizit vorgesehen, jedoch wird hier eine analytische Grobabschätzung aufgrund des Datenbestandes durchgeführt, mit der die beschriebenen Vorgänge einher gehen können.

3.3 Bedeutung der Klassen für die Simulation

Es ist auffällig, dass den ersten beiden vorgestellten Kategorien der Darstellungsarten in Abschnitt 3.2.1, die ohne weitere Zwischenverarbeitung als nicht maschinenverarbeitbar eingestuft werden, nur wenige Beispiele aus den im Abschnitt 3.1 vorgestellten Größen zugeordnet werden können. Den beiden maschinenverarbeitbaren Kategorien „mathematische Ausdrücke“ und „Tabellen“ ist jeweils eine wesentlich größere Anzahl der genannten Größen zuzuordnen. Dies kann auf die bereits in 3.2.1 erläuterte Tatsache zurück geführt werden, dass bei der Simulation Computer eingesetzt werden, die auf maschinenverarbeitbare Eingangsgrößen angewiesen sind. Die bisherigen Ausführungen zeigen, dass die Verbindungsmöglichkeiten des Inhalts und der Darstellung von Informationen mit dem Vorgehensmodell in drei Fragestellungen zusammen gefasst werden können:

1. An welcher Stelle können Inhalte in das Vorgehensmodell einfließen?
2. In welcher Darstellungsart können die Inhalte im Rahmen der Simulationsstudie verarbeitet werden?
3. An welchen Stellen der Studie wird ein Wissensprozess in Gang gesetzt, um das Informationsnetzwerk zielgerichtet zu erweitern und zu verdichten?

Tabelle 3.1 fasst die bisherigen Erkenntnisse zu diesen Fragen zusammen. Bei den verwendbaren Darstellungsarten sticht die Phase der Systemanalyse heraus, da hier alle Darstellungsarten verwendet werden können. Da die darauf folgende Phase der Modellformalisierung auf Tabellen und mathematische Ausdrücke angewiesen ist, ist die Überführung von Größen, die bis dahin nicht maschinenverarbeitbar dargestellt sind, notwendig bevor das formale Modell fertig gestellt werden kann. Die Datenbeschaffung und -aufbereitung

ist ebenfalls von vornherein auf Eingangsgrößen in tabellarischer Darstellung angewiesen. Die Möglichkeit zur Nutzung mathematischer Ausdrücke in der Datenaufbereitung ist sowohl als Input, als auch als eines ihrer Ergebnisse möglich. Einspeisepunkte von Daten und Informationen können nur die Phasen Systemanalyse und Datenbeschaffung sein, da hier jeweils entschieden wird, welche der zur Verfügung stehenden Eingangsgrößen relevant sind und in die Studie eingebunden werden. Die Möglichkeit zur Erweiterung des Informationsnetzwerks besteht ebenfalls in zwei der vier betrachteten Phasen: Während der Systemanalyse und der Datenaufbereitung. Diese Erweiterung im Gegensatz zur reinen Nutzung von bereits zur Verfügung stehenden Informationen ist interessant, da hier ein besonderer Mehrwert entsteht, der im bisherigen Modell so nicht vorgesehen ist. Abbildung 3.2 zeigt an welchen Stellen Wissen über Zusammenhänge in einzelne Phasen des ASIM-Modells eingehen kann.

	Nutzbare Darstellungsarten	Einfließen möglich?	Wissensprozess durchgeführt?
Systemanalyse	alle	ja	ja
Modellformalisierung	Tabelle, math. Ausdrücke	nein	nein
Datenbeschaffung	Tabelle	ja	nein
Datenaufbereitung	Tabelle, math. Ausdrücke	nein	ja

Tab. 3.1.: Eigenschaften der betrachteten Phasen des ASIM-Vorgehensmodells

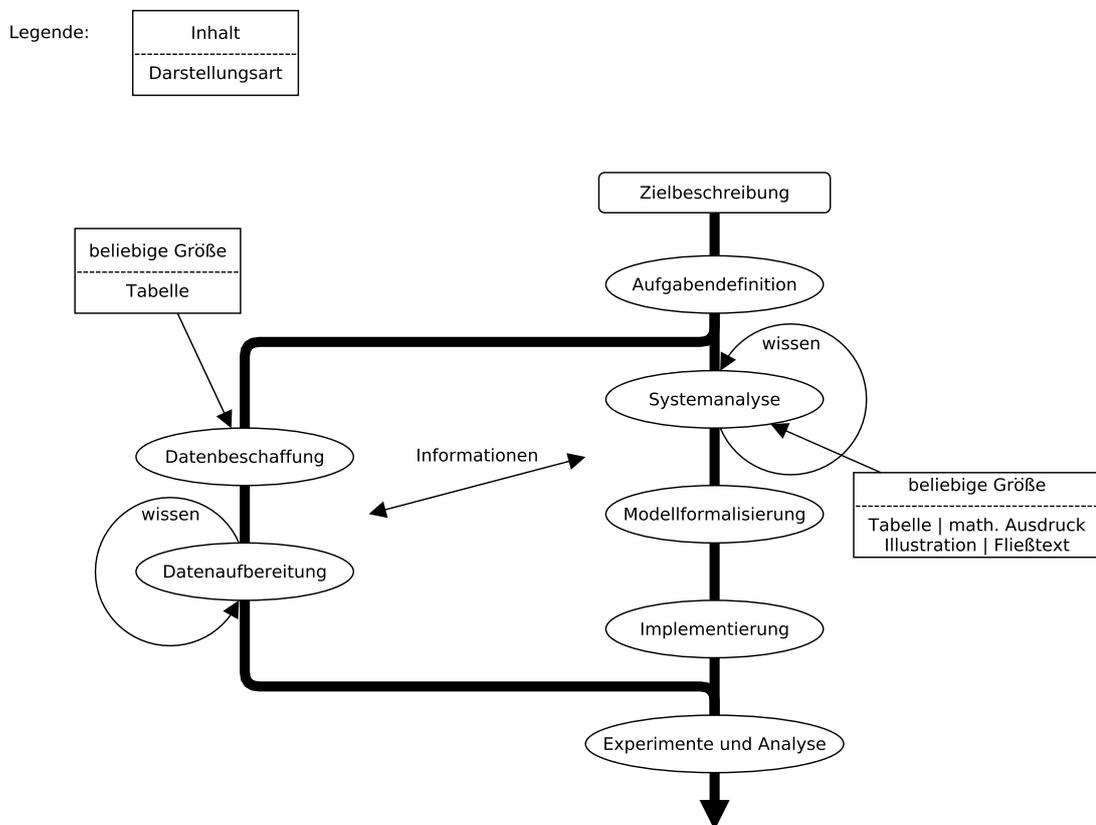


Abb. 3.2.: Nutzung von Informationen in den verschiedenen Phasen des ASIM-Vorgehensmodells

Will man aus einer heterogenen Menge von Eingangsgrößen, wie sie in Abschnitt 3.1 eingeführt wurde, Wirkzusammenhänge erkennen und nutzen, kann versucht werden, aus allen vorhandenen Größen neue Zusammenhänge abzuleiten. Diese Methode wird in der Regel angewandt, wenn die Relevanz des zur Verfügung stehenden Wissens festgelegt wird. Um aus den Beständen neues Wissen zu generieren oder noch unbekanntes Wissen zu entdecken, gibt es verschiedene Möglichkeiten. Im Rahmen der Modellbildung ist die Untersuchung logischer Zusammenhänge in den eingehenden Größen mit Hilfe der Erfahrung des Modellierers und Werkzeugen wie der Prädikatenlogik und Netzwerkdarstellungen möglich. Für die Möglichkeit, Wissen aus den Rohdaten und den aufbereiteten Daten zu generieren, zeigt [RS14] einige Ansätze. Die kritische Überprüfung der Bestände kann ergänzt werden durch statistische Analysen von Korrelationen oder Entscheidungsbäumen.

In [RS14] werden Überprüfungen einer Beispieldatenbank gezeigt, die eine Reihe von Reduzierungen zur Folge haben, ohne, dass simulationsrelevante Größen verloren gehen. Die vorgestellten Tabellenoperationen und das Suchen von Redundanzen kann Wechselwirkungen zwischen den Phasen der Datenaufbereitung und der Systemanalyse erzeugen. Enthält eine Spalte immer den gleichen Wert, kann dieser als generelle Konstante in das Modell eingehen. Die Analyse der Datenbank mit solchen Mitteln kann ergeben, dass es sinnvoll ist, eine Größe nicht über die aufbereiteten Daten, sondern als Variable des Modells in die Simulation einzubringen. Die Durchführung der Analysen zu verschiedenen Zeitpunkten während der bei [RS14] vorgeschlagenen Vorbereitung der Versuchsplanung kann diesbezüglich verschiedene Resultate hervorbringen. Weiterhin können während der Systemanalyse angestellte Überlegungen Anregungen geben, welche statistischen Zusammenhänge vorhanden sein könnten. Die statistische Analyse kann auch dabei helfen, in der Systemanalyse aufgestellte Thesen über Zusammenhänge zu stützen oder zu entkräften.

Betrachtet man die in Abschnitt 3.1.1 vorgestellten Beispielanwendungen für Wissen über Zusammenhänge in der Supply Chain, sind verschiedene Auswirkungen der vorgestellten Analysen vorstellbar. Sind aus den Daten der Vergangenheit Zusammenhänge über die Qualität der Produkte eines Lieferanten zu bestimmten Zeitpunkten ablesbar, macht es Sinn, diesen Zusammenhang in das Modell eingehen zu lassen. Ein gehäuftes Aufkommen von Produkten mangelhafter Qualität könnte einen Engpass in der Produktion erzeugen, der bei verteiltem Auftreten der Qualitätsschwankungen nicht vorhersehbar ist. Zeigen die Daten, dass alle Lieferanten gleiche Qualität bieten, da es z.B. Handelsware ist, kann eine Vereinfachung des Modells durchgeführt werden, da eine Unterscheidung nach Lieferanten für das entsprechende Produkt nicht mehr notwendig ist. Zeitliche Ausnahmesituationen wie Ausfälle, freie Tage, Leistungsunterschiede über den Tag, in denen eine berechnete Verteilung nicht gleichmäßig auftritt, sondern Ausreißer entstehen, könnten bei Nichtbeachtung im Modell dazu führen, dass in der Realität entstehende Staus nicht abgebildet werden. Das kann zu einer Verzerrung der Simulationsergebnisse führen, da Belastungsspitzen dort dann nicht abgebildet sind. Durch die zeitliche Analyse der Daten würden im Modell solche Spitzen, die in der Realität entstehen, berücksichtigt, was die Ergebnisse entscheidend beeinflussen kann.

Die genannten Beispiele beziehen sich auf eine Übertragung von Wissen aus den Phasen der Datenverarbeitung in die Systemanalyse. Umgekehrt können Thesen zu Zusam-

menhängen, wie sie hier gezeigt werden aber auch in der Systemanalyse aufgestellt und im Rahmen der Datenverarbeitung geprüft werden, die Entscheidung über die Relevanz von Aspekten unterstützen.

4 Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells

Im folgenden Kapitel wird die konkrete Umsetzung einer Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells gemäß den im vorhergehenden Kapitel gewonnenen Erkenntnissen erarbeitet. In Abschnitt 4.1 wird betrachtet, welche Anforderungen sich dazu aus den in Kapitel 3 gewonnenen Erkenntnissen ableiten. In Abschnitt 4.2 wird eine entsprechende Lösung aus diesen Anforderungen abgeleitet und detailliert beschrieben. Das Medium der Erweiterung ist die VDI-Richtlinie 3633-1, da das bisherige Vorgehensmodell hier beschrieben wird und eine Erweiterung dazu geeignet sein muss, in diese Struktur eingearbeitet zu werden.

4.1 Anforderungen an eine Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells

In Abschnitt 3.3 wurde gezeigt, dass im bisherigen ASIM-Vorgehensmodell die Nutzung von externen Informationen und die Erzeugung neuer Informationen in bestimmten Phasen möglich ist. Insbesondere die Erzeugung wird in [VDI14] aber nur oberflächlich betrachtet. [BW05] zeigt zwar, dass in der Datenaufbereitung bereits Datenanalyse durchgeführt wird, eine Nutzung der Ergebnisse erfolgt aber nur im Rahmen der Identifizierung möglicher Inputdaten, nicht im Hinblick auf bis dahin nicht berücksichtigte Zusammenhänge. Nicht alle Zusammenhänge, die einen Einfluss auf die Simulationsergebnisse haben, sind den an der Studie beteiligten Personen immer bewusst. Eine explizite Suche nach zusätzlichen Zusammenhängen ist dementsprechend sinnvoll. Eine Anforderung an eine Erweiterung des Vorgehensmodells ist demnach die Herausstellung der Möglichkeit von Informationsgewinn durch die Datenanalyse, da hierin ein Mehrwert zum bisherigen Modell besteht.

Im Zusammenhang mit dem Aufdecken von unbewussten Wirkzusammenhängen steht die Anforderung, einen Austausch von Erkenntnissen zwischen den Phasen der Datenverarbeitung und der Modellierung zu ermöglichen und zu institutionalisieren. Sie beruht auf der in Abschnitt 3.3 gemachten Aussage, dass Mehrwerte zwischen diesen beiden Strängen in beide Richtungen entstehen können. Die Ergebnisse der Datenverarbeitung können Änderungen in der Modellierung anregen. Die Modellierung kann aber auch z.B. von der Überprüfung von aufgestellten Thesen durch die Datenverarbeitung profitieren.

Weiterhin ist es sinnvoll, das bestehende Vorgehensmodell in seiner grundlegenden Struktur zu erhalten und weiter zu nutzen. Da es bereits genutzt wird, würde eine Veränderung der Struktur der Akzeptanz der Erweiterung im Wege stehen und die Kontinuität in der Nutzung gefährden. Da im Rahmen der vorliegenden Arbeit außerdem nur bestimmte Teilaspekte der Abläufe während einer Simulationsstudie betrachtet wurden, wäre eine Veränderung der Struktur ungerechtfertigt, da zu viele Auswirkungen auf ihrer Grundlage gar nicht abgeschätzt werden könnten. Sprachlich drückt sich diese Forderung in der Formulierung „Erweiterung“ des Vorgehensmodells im Gegensatz zu einer „Änderung“ oder „Neuerstellung“ des Modells aus.

Die gefundenen Anforderungen an eine Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells zur Berücksichtigung von Wissen zu Wirkzusammenhängen in Supply-Chain-Simulation sind:

1. Möglichkeiten zur Gewinnung von Informationen während der Simulationsstudie aufzeigen
2. Austausch von Erkenntnissen zwischen den parallelen Phasen institutionalisieren
3. Grundstruktur des Vorgehensmodells nicht verändern

4.2 Ableitung einer Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells

Grundsätzlich stellt die VDI-Richtlinie 3633-1 zwei Ebenen zur Verfügung, auf denen die Verwendungsmöglichkeiten von Wissen über Wirkzusammenhänge aufgezeigt werden können. Die Richtlinie erläutert in Form von Fließtext die einzelnen Phasen des Vorgehensmodells und ihrer Ergebnisse. In diesen Erläuterungen können Hinweise zur Generierung und Nutzung von Informationen eingebunden werden. Die Phasen als Gliederungsebene für die Ausführungen sind die zweite Möglichkeit zur Einbringung. Die Einführung einer eigenen Phase für die Gewinnung neuer Informationen ist dann sinnvoll, wenn sich die vorgesehenen Schritte nicht in die bisherigen Phasen integrieren lassen.

Wie bereits in Kapitel 3.3 festgestellt wurde, ist die Generierung neuer Informationen während der Phasen „Systemanalyse“ und „Datenaufbereitung“ möglich. Während der Systemanalyse wird ein grundlegendes Problem- und Systemverständnis angestrebt, indem die Abläufe und Organisation des betrachteten Systems in im Hinblick auf die Aufgabenstellung sinnvolle Komponenten zerlegt wird. Außerdem wird entschieden, welche der identifizierten Komponenten im Rahmen der Studie relevant sind und im Modell berücksichtigt werden sollen. Diese Phase beinhaltet demnach im Wesentlichen das Auffinden und Bewerten von Zusammenhängen, die das Modell enthalten soll. Diese Dokumentation der Zusammenhänge birgt die Möglichkeit, neue Verknüpfungen, die vorher nicht bekannt waren, offen zu legen oder Vermutungen über bisher unbekannt Zusammenhänge anzustellen. Hier wird dementsprechend ein Wissensprozess bezüglich Wirkzusammenhängen durchgeführt, welcher in der bestehenden Beschreibung bereits ausführlich erläutert wird. Die Tatsache, dass es sich hierbei um einen Wissensprozess handelt, der im Zusammenhang mit ähnlichen Prozessen an anderen Stellen der Richtlinie steht, ist jedoch nicht erfasst und sollte dementsprechend angemerkt werden.

Die Beschreibungen der Phasen der Datenerhebung und -aufbereitung ist in [VDI14] zusammengefasst. Sie erwähnt die Generierung neuer Informationen nur explizit im Abschnitt 8.3.2, in dem die Grobabschätzung der Durchführbarkeit der Simulationsstudie anhand der Daten erfolgen soll. [BW05] zeigt zwar Analysen, die im Rahmen der Datenaufbereitung durchgeführt werden, diese dienen aber ausschließlich der Erstellung geeigneter Inputdaten für die Simulation und nicht der Untersuchung bis dato unbekannter Zusammenhänge. Die in [VDI14] beschriebene Grobabschätzung steht etwas abseits der Struktur des Vorgehensmodells, da sie z.B. nicht als Ergebnisdokument der Phase auftaucht und den Rahmen einer Datenaufarbeitung und -bereinigung übersteigt. Da an anderer Stelle das Generieren von neuen Informationen aus den Datenbeständen bisher nicht oder nur

zum Zweck der Eigenverbesserung vorgesehen ist, stellt die Einführung einer neuen Phase eine methodisch saubere Lösung zur Einbeziehung dieses Vorgehens in das Modell dar. Aus diesen Gründen ist an dieser Stelle im Vorgehensmodell die Einführung einer neuen Phasen im Zweig der datenverarbeitenden Phasen notwendig. Die vorgeschlagene neue Phase mit dem Namen „Datenanalyse“ enthält sowohl Beschreibungen der durchzuführenden Analysen und ihre Hintergründe, als auch die Ausführungen zur analytischen Grobabschätzung, die in der bisherigen Richtlinie bereits bestehen. Es steht zu diesem Zeitpunkt bereits fest, dass die neue Phase nach der Phase der Datenaufbereitung in den Studienverlauf integriert werden muss, die exakte Position ist zu diesem Zeitpunkt jedoch noch offen.

Das Phasenergebnis der neuen Phase „Datenanalyse“ umfasst sowohl die bereits in [VDI14] beschriebene analytische Grobanalyse als auch eine Dokumentation der untersuchten Zusammenhänge. Die detaillierte Beschreibung der Struktur der Phasenergebnisse würde den Umfang der vorliegenden Arbeit in erheblichem Maße sprengen. [RSW08, S.86ff.] gibt detaillierte Informationen zu Umfang und Art der Phasenergebnisse für Datenbeschaffung und -aufbereitung, an denen sich die Ergebnisse der Datenanalyse in hohem Maße orientieren können.

Der Austausch von Wissen zu Wirkzusammenhängen zwischen den Beteiligten verschiedener Phasen ist über die schriftlichen Ausführungen zu den einzelnen Phasen anbringbar. Eine ähnliche Beziehung beschreibt [RSW08, S.52] bereits für die Phasen „Datenbeschaffung“ und „Systemanalyse“ im Detail. An dieser Stelle wird auch beschrieben, wie die Stränge der Datenverarbeitung und Modellierung bereits im bestehenden System vielfältige Wechselwirkungen aufweisen. Die Beschreibung der Phase „Systemanalyse“ in [VDI14] enthält die Aussage, dass die Analyse schrittweise verfeinert wird. Dadurch bietet sich an dieser Stelle ein guter Anknüpfungspunkt für den Hinweis, dass etwaig getroffene Annahmen durch eine Weitergabe von Zwischenergebnissen an die Phasen der Datenverarbeitung eine Absicherung der eigenen Annahmen liefern kann oder umgekehrt neue Anregungen durch in der Datenanalyse aufgedeckte Zusammenhänge eingearbeitet werden können. Auch in den Ausführungen der Phase Datenanalyse ist die Wichtigkeit des Austausches der Ergebnisse mit der Systemanalyse anzumerken. Eine Anbringung des allgemeinen Hinweises vor den eigentlichen Phasenbeschreibungen ist auch denkbar, erscheint aber aufgrund der Nutzungsweise einer VDI-Richtlinie und der entsprechend weiterführenden Literatur als nachteilig. Die Quellen werden in der Regel gerne als Nachschlagewerke von Beteiligten einer Simulationsstudie genutzt. Da diese Teilnehmer in der Regel bestimmten Phasen zugeordnet sind, werden sie insbesondere die Abschnitte zu den sie betreffenden Phasen nachschlagen und nicht die Gesamtwerke komplett lesen. Ein allgemeiner Hinweis im Vorlauf der Einzelbeschreibungen würde hier zu leicht außer Acht gelassen und wäre damit nicht zielführend. Aus diesem Grund wird das Einpflegen der Hinweise in die einzelnen Phasenbeschreibungen bevorzugt. Da sich diese Anbringung auf zwei explizite Phasen beschränkt, wird dieses Vorgehen dem Ziel der Änderungen ebenfalls gerechter.

Mit Erfüllung der zweiten Anforderung ist die Positionierung der neuen Phase festgelegt. Die Platzierung nach der Datenaufbereitung ergibt sich daraus, dass zur Analyse der Daten qualitativ hochwertige Daten gem. [BW05] vorliegen müssen. Eine Unterbrin-

gung noch im parallelisierten Bereich des Ablaufs ist wichtig für den Austausch der neu gewonnen Informationen mit den Verantwortlichen für die Modellierung.

Die dritte Anforderung an die geplante Erweiterung ist, die Grundstruktur des vorhandenen Vorgehensmodells nicht zu verändern. Die Merkmale dieser Grundstruktur wurden in Abschnitt 2.2.3 beschrieben und in Tabelle 2.1 übersichtlich zusammengefasst. Anhand der dort festgehaltenen Merkmale kann die Erfüllung der Anforderung durch die vorgeschlagene Erweiterung gezeigt werden.

Die neu eingeführte Phase baut wie die bisher vorhandenen Phasen auf ihren Vorgängern auf. Die aufgearbeiteten Daten aus der Vorgängerphase sind dabei die unmittelbare Grundlage der neuen Phase. Am Ende der neuen Phase „Datenanalyse“ steht das Abschlussdokument „Datenanalysen“, das die Ergebnisse der analytischen Grobabschätzung und den Austausch und die Überprüfungsergebnisse zu den während der Phase gefundenen Wirkzusammenhänge enthält. Anhand dieses Dokuments kann die Verifikation und Validierung entsprechend dem allgemeinen Vorgehen im Modell durchgeführt werden. Ergibt die V&V ein negatives Ergebnis, ist die erneute Durchführung von vorhergehenden Phasenanteilen möglich. Eine besondere Rolle kommt dabei der losen Kopplung der Datenanalyse und der Systemanalyse zu, da auch bei bereits fortgeschrittener Modellierung eine Überprüfung des Konzeptmodells aus einer gescheiterten V&V der Datenanalyse resultieren kann, obwohl die V&V dort erfolgreich war. Die Parallelität der Phasen im Zweig der Datenverarbeitung und der Modellierung bleibt trotz dieser Kopplung bestehen. Auch im bisherigen Modell ist eine solche Kopplung vorhanden, wie in [RSW08] beschrieben ist. Sie wird von der vorgeschlagenen Erweiterung im bestehenden Umfang genutzt. Damit sind alle Merkmale der Grundstruktur des ASIM-Vorgehensmodells auch nach der Erweiterung gegeben und die Anforderung kann als erfüllt betrachtet werden. Tabelle 4.1 zeigt eine Übersicht der erfüllten Kriterien, die auf Tabelle 2.1 beruht.

Kriterium	erfüllt?
Aufbau der einzelnen Phasen aufeinander	ja
Ergebnisse jeder Phase in einem Dokument	ja
V&V am Ende jeder Phase an diesem Dokument	ja
Iterationsmöglichkeiten bei nicht erfolgreicher V&V	ja
Parallelität von Datenverarbeitung und Modellierung	ja

Tab. 4.1.: Erfüllung der Anforderung nach Erhaltung der Grundstruktur des ASIM-Vorgehensmodells durch die vorgeschlagene Erweiterung

Abbildung 4.1 zeigt den Ausschnitt der schematischen Darstellung des Vorgehensmodells mit der neu einzuführenden Phase „Datenanalyse“ im Parallelstrang zur Datenverarbeitung hinter der Datenaufbereitung und vor der Durchführung der Experimente. Die links im Bild dargestellten Phasenamen mit symbolisch gefüllten Zeilen verweisen auf die Änderungen der Erläuterungen in der Richtlinie. Der Austausch der neu gewonnenen Informationen ist verdeutlicht durch einen gestrichelten Doppelpfeil zwischen den beiden Parallelsträngen zur Datenverarbeitung und zur Modellierung. Das Phasenergebnis der neuen Phase ist mit „Datenanalysen“ benannt und an entsprechender Stelle rechts im Bild eingezeichnet. Die Ähnlichkeit mit dem Ursprungsmodell (vgl. Abbildung 2.3) ist deutlich

erkennbar und zeigt noch einmal grafisch, dass die Grundstruktur des Modells durch die Erweiterung unangetastet bleibt.

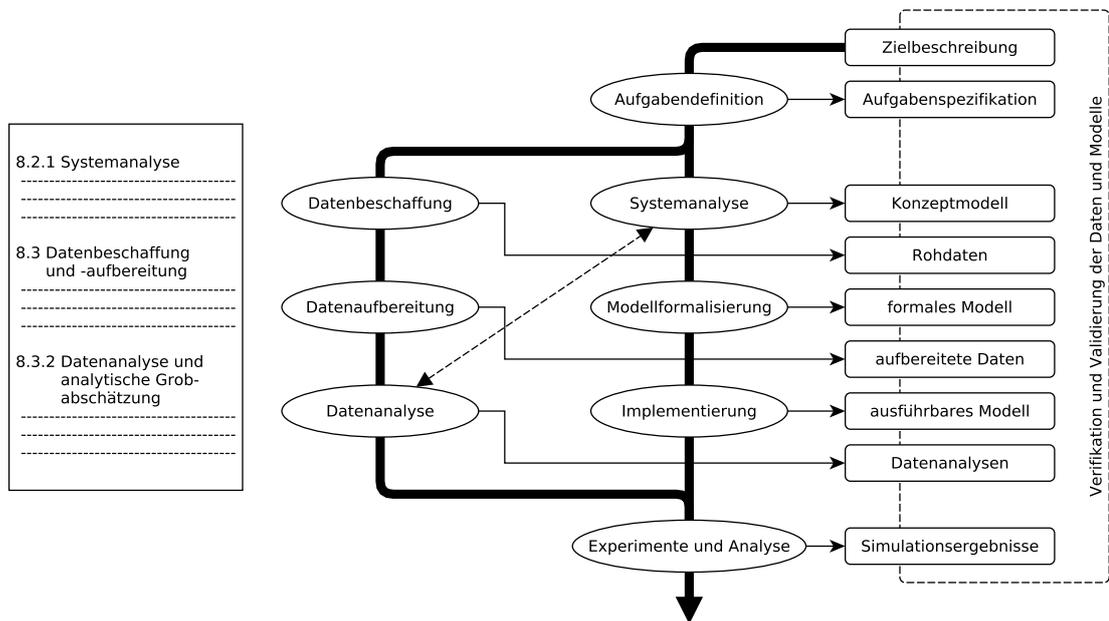


Abb. 4.1.: Übersicht des erweiterten ASIM-Vorgehensmodells

5 Evaluierung des vorgeschlagenen Vorgehens anhand eines Simulationsmodells

Im nun folgenden Kapitel geht es darum, die in Kapitel 4 erarbeitete Lösung anhand einer realen Simulationsstudie zu überprüfen und zu bewerten. Hierzu wird eine Simulationsstudie herangezogen, die im Rahmen von [Arn14] durchgeführt wurde und entsprechend gut dokumentiert ist. Die Studie wird zunächst im Abschnitt 5.1 vorgestellt. Dort wird auch erarbeitet, welche Teile der Studie in der vorliegenden Arbeit genauer untersucht werden. In Abschnitt 5.2 werden die vorher benannten Analysen durchgeführt und ihre möglichen Auswirkungen auf die Studie betrachtet.

5.1 Vorstellung der Beispielsimulationstudie

In [Arn14] wurde eine Simulationsstudie durchgeführt, deren Ziel es ist, aus Originaldaten eines Automobilerstaurüsters (OEM) Transaktionsdaten für eine Supply Chain zu erzeugen, die den Ursprungsdaten möglichst ähnlich sind. Im Rahmen von [Arn14] wurden die vorliegenden Rohdaten bereinigt und aufbereitet, um für die Fragestellung geeignete Größen auswählen zu können. Dabei wurden insbesondere Datumsangaben betrachtet, die sich auf Bestell-, Auslieferungs- und Lieferzeiten beziehen. Aus der vorgestellten Supply Chain wurden diese Größen von insgesamt drei Lieferanten identifiziert, deren Menge groß genug ist, um daraus statistische Verteilungen für den Eingang in die Simulationsstudie abzuleiten. Auswahlkriterien waren die Regelmäßigkeit der Transaktionen zwischen dem OEM und diesen drei Lieferanten, die Identifizierbarkeit der beim Lieferanten erbrachten Dienstleistung, sowie die Qualität der vorhandenen Größen im Hinblick auf Vollständigkeit und logischer Konsistenz. Die untersuchten Größen, die für jeden dieser Lieferanten genutzt wurden, umfassen das Auslieferungsdatum beim Lieferanten und den geplanten und den realen Wareneingang beim OEM. Die sich daraus ergebenden Größen, die untersucht wurden, sind die Lieferdauer und die Lieferabweichung. Die für die drei Lieferanten vorliegenden Größen umfassen außerdem die Bestellzeiten, sowie Mengenangaben und Produktidentifikationsnummern. Diese Größen wurden jedoch nicht näher untersucht und sind nicht in die Simulationsstudie eingeflossen. Die genaue Beschreibung der zur Verfügung stehenden Attribute kann [Arn14] entnommen werden. Letztendlich wurde einer der drei verbliebenen Lieferanten aufgrund der umfangreichen konsistenten Eingangsgrößen für die weitere Bearbeitung ausgewählt. Um Transaktionsdaten zu erzeugen, wurden mit Hilfe der Inputgrößen Verteilungen für die drei betrachteten Größen ermittelt und in einem ausführbaren Modell verarbeitet. Mittels dieses Modells können Datensätze erzeugt werden, die aufgrund eines χ^2 -Anpassungstests als ausreichend ähnlich zu den Eingangsgrößen beurteilt worden sind.

5.2 Analysen gemäß dem erweiterten ASIM-Vorgehensmodell

Betrachtet man die in Abschnitt 5.1 vorgestellten Informationen, kann man bereits mit den wenigen letztendlich im Rahmen der Simulationsstudie bei [Arn14] verwendeten Attributen verschiedene Analysen durchführen. Die Ableitung statistischer und kontinuierlicher Verteilungen, die dabei gemacht wurden, sind bereits Beispiele für solche Analysen. Im Rahmen der in der vorliegenden Arbeit vorgeschlagenen Erweiterung des Vorgehensmodells wäre eine Analyse der ausgewählten Daten vorgesehen. Diese Analyse wird im Folgenden vorgenommen. Die Daten, die der Analyse zugrunde liegen, sind der Tabelle B.1 im Anhang dieser Arbeit entnehmbar.

Die Tabelle zeigt das Identifikationsattribut „Schlüssel“, die drei bei [Arn14] verarbeiteten Attribute „Lieferdatum“, „Ist-Wareneingangsdatum“ und „Soll-Wareneingangsdatum“, die unverändert übernommen wurden. Durch Differenzbildung jeweils zweier Datumsangaben wurden die Analyseattribute „Verspätung“, „Soll-Lieferdauer“ und „Ist-Lieferdauer“ gebildet, wobei „Verspätung“ und „Ist-Lieferdauer“ auch in [Arn14] verwendet werden. Die letzten drei Spalten der Tabelle zeigen binäre Angaben dazu, ob eine verspätete Lieferung vorlag, das Versenden der Ware nach dem Soll-Wareneingangsdatum lag und diese beiden Ereignisse zusammen aufgetreten sind. Hierbei entspricht der Eintrag „1“ dem logischen Wert „wahr“ und „0“ dem Wert „falsch“.

Die tatsächliche Lieferdauer und die Abweichung vom vorgesehenen Lieferdatum wurden bei [Arn14] als für die Simulation relevante Parameter bewertet. Die dritte mögliche Differenz wurde nicht gebildet bzw. als nicht relevant eingestuft. Betrachtet man diese geplante Lieferdauer, fällt auf, dass hier negative Werte entstehen. Der Lieferant hat in 35,5% der Fälle seine Lieferungen später abgeschickt, als das geplante Wareneingangsdatum war. Das entspricht einem Anteil von 64,2% aller zu spät eingegangenen Lieferungen. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass das Soll-Wareneingangsdatum bereits bei der Bestellung festgelegt worden ist, da man davon ausgehen kann, dass das Soll-Wareneingangsdatum nicht beim Abschicken einer Lieferung festgelegt wird und kein Wareneingangsdatum in der Vergangenheit gewählt würde.

Da der genannte Zusammenhang nicht in die Simulationsstudie einbezogen wurde, ergibt eine Überprüfung der Ergebnisse unter diesem Aspekt, dass sie den Eingangsgrößen nicht ähnlich sind. Aufgrund des Aufbaus des verwendeten Modells kann dieser Zusammenhang nicht abgebildet werden, da die Berechnung des Soll-Wareneingangsdatums in Abhängigkeit des Lieferdatums erzeugt wird, auf das gemäß einer empirischen Verteilung Tage hinzu addiert werden. Dementsprechend ist die Zahl der Lieferungen, die erst nach dem Soll-Wareneingangsdatum verschickt worden sind, in allen Simulationsdurchläufen gleich null. Tabelle B.2 zeigt beispielhaft die Ergebnisse eines Simulationsdurchlaufes aus [Arn14]. Anhand der Angaben in der Spalte „Zu spät verschickt?“ ist erkennbar, dass keine Lieferung des Durchlaufs nach dem Soll-Wareneingangsdatum abgeschickt worden ist. Soll- und Ist-Lieferdauer stimmen immer überein.

Dieses einfache Beispiel zeigt, dass eine sorgfältige Analyse der untersuchten Daten bereits in einem aus sehr wenigen Teilen bestehenden Modell einen großen Einfluss ausüben kann. An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Hinweis auf die Nichtberücksich-

tigung des Zusammenhangs keine Aussage darüber macht, inwiefern das die Güte der Simulation beeinflusst. Um dies beurteilen zu können, müsste ein Vergleichsmodell erstellt werden, dessen Outputdaten dann nach vorher festgelegten Kriterien mit den Daten des Ausgangsmodells verglichen werden müsste. Der gefundene Zusammenhang legt die Vermutung nahe, dass eine Einbeziehung des Bestelldatums sinnvoll ist, was aber wiederum weitere Analysemöglichkeiten bietet. Bereits die Betrachtung von Analysen zwischen jeweils zwei Attributen führt zu vier weiteren Untersuchungsgegenständen, die wiederum weitere Einbeziehungen notwendig machen könnten.

Der Output der damit durchgeführten Phase „Datenanalyse“ ist die Erkenntnis, dass zwischen jedem der drei betrachteten Attribute Zusammenhänge bestehen, die im ausführbaren Modell genutzt werden können. Auch die Einbeziehung des neu aufgedeckten Zusammenhangs der verspäteten Lieferung, ist in Form einer empirischen Verteilung möglich, ohne das das Attribut „Bestelldatum“ zusätzlich zum bisherigen Vorgehen in der Studie einbezogen werden muss. Die Berechnung des geplanten Wareneingangsdatums müsste zur Berücksichtigung des neuen Zusammenhangs mit der neuen, auch negative Werte enthaltenden Verteilung, versehen werden. Diese Verteilung würde die bisherige Verteilung für die Lieferabweichung ersetzen. Subtrahiert man die geplante Lieferdauer von der realen Lieferdauer, erhält man wieder die Lieferabweichung, sodass auch diese Größe in der Simulation erhalten bliebe. Für den Subtraktionsvorgang müsste die empirische Verteilung der Lieferabweichung hinterlegt werden. Ist dies nicht möglich, ist zu prüfen, ob durch die Subtraktion ohne weitere Einschränkungen eine hinreichend ähnliche Verteilung der Lieferabweichung erreicht wird. Durch das Einbeziehen der Informationen über die geplante Lieferdauer ergibt sich in jedem Fall ein Gewinn von Informationen, ohne Verlust von vorher vorliegenden Informationen. Die empirische Verteilung, die analog zu den Verteilungen in [Arn14] für die geplante Lieferdauer gebildet wurde, ist in Tabelle 5.1 zu sehen.

Tage	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
-8	2	2 %
-7	4	3 %
-6	3	2 %
-5	2	2 %
-4	5	4 %
-3	8	7 %
-2	5	4 %
-1	14	12 %
0	32	26 %
1	14	12 %
2	8	7 %
3	7	6 %
4	6	5 %
5	2	2 %

Fortsetzung: nächste Seite

Tage	absolute Häufigkeit	relative Häufigkeit
6	3	2 %
7	0	0 %
8	2	2 %
9	0	0 %
10	2	2 %
11	2	2 %
Summe	121	100 %

Tab. 5.1.: Empirische Verteilung für die geplante Lieferdauer

Eine Umsetzung der vorgestellten Änderungen am ausführbaren Modells erfolgt in der vorliegenden Arbeit nicht, da die Evaluierung lediglich das Ziel hatte, die Machbarkeit der erarbeiteten Erweiterung zu zeigen. Hierzu gehört die Durchführung der neuen Phase „Datenanalyse“, sowie das Aufzeigen der Wechselwirkung mit dem im Rahmen der Studie erstellten Modell, da dies die entscheidenden Unterschiede zum bisherigen Vorgehen darstellt.

6 Fazit und Ausblick

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, zu zeigen, in welcher Art und Weise Wissen über Wirkzusammenhänge im Rahmen von ereignisdiskreten Simulationen zur Supply Chain einbezogen werden kann und wie sich diese Einbeziehung in einem Vorgehensmodell niederschlägt. Im Hinblick auf die Ausgangsfragestellung wurden folgende Erkenntnisse gewonnen:

1. Die Darstellungsart einer Information muss ihrer weiteren Verarbeitung entsprechend ausgewählt werden, ist aber bei Bedarf entsprechend anpassbar. Insbesondere die Maschinenverarbeitbarkeit und der verarbeitende oder speichernde Charakter der betrachteten Daten müssen hierbei berücksichtigt werden.
2. Die Wirkzusammenhänge können im Rahmen der Datenverarbeitung und der Systemanalyse erkannt und einbezogen werden. Da die Analyse der Daten den bisherigen Umfang der Verarbeitung übersteigt, ist hierzu die Einführung einer neuen Phase im Modell sinnvoll.
3. Die vorgestellte Erweiterung des Vorgehens erbringt einen Mehrwert für die Simulationsstudie in Form einer Verbesserung der Realitätsnähe der Ergebnisse.

Hierzu wurden zunächst in Kapitel 2 wichtige Begrifflichkeiten erklärt. Insbesondere die Begriffe „Information“ und „Wissen“ haben eine scharfe Abgrenzung erfahren. Es wurde festgehalten, dass für eine saubere aufeinander aufbauende Definition „Wissen“ nicht als Objekt, das verarbeitet werden kann, betrachtet werden kann, sondern viel eher als Prozess, der neue Informationen erzeugt, verstanden werden muss. Darauf aufbauend wird der Begriff des Wirkzusammenhangs als wechselwirkende Beziehungen mehrerer Entitäten eingeführt. Außerdem wurde herausgearbeitet, dass Informationen grundsätzlich aus einem inhaltlichen Kern und einer Darstellung dieses Inhalts bestehen, welche untrennbar miteinander einhergehen. Die Bedeutung der ereignisdiskreten Simulation im Feld der Supply Chain wurde geklärt und das zu erweiternde ASIM-Vorgehensmodell in seinen Grundzügen erläutert.

In Kapitel 3 wurde zunächst die genaue Struktur der verwendeten Informationen untersucht und zwei Fallbeispiele für mögliche Zusammenhänge skizziert, die im Rahmen einer Supply-Chain-Simulation auftreten könnten. Die auftretenden Darstellungsarten wurden anhand festgelegter Kriterien klassifiziert und anschließend in Verbindung mit den relevanten Phasen des ASIM-Vorgehensmodells gebracht. Insbesondere wurden die drei Fragen geklärt, an welchen Stellen Informationen in das Vorgehensmodell einfließen, welche Darstellungsarten in welcher Phase benötigt werden und innerhalb welcher Phasen ein Ausbau des bestehenden Informationsnetzes vorgesehen ist. Zudem wurden Grundlagen zu den Methoden dieses Ausbaus diskutiert.

Kapitel 4 leitet aus den gewonnenen Erkenntnissen drei Anforderungen an die Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells ab. Die Ergebnisse der Anforderungsableitung sind

1. Hinweise zur Generierung neuer Informationen zu Wirkzusammenhängen müssen gegeben werden.
2. Die Wichtigkeit des Austauschs auch von Zwischenergebnissen zwischen den Phasen muss aufgezeigt werden.
3. Die Grundstruktur des Modells darf nicht verändert werden.

Eine diesen Anforderungen entsprechende Lösung wurde erarbeitet. Bereits bestehende Ansätze zur Erfüllung der Anforderungen wurden genannt und auf diesen aufbauend eine Erweiterung entwickelt. Um eine Nutzung der Erweiterung niedrigschwellig zu ermöglichen, ist ihre Beschreibung an der bestehenden Struktur der VDI-Richtlinie 3633-1 orientiert.

Zur Evaluation des vorgeschlagenen Vorgehens wird in Kapitel 5 der Input einer durchgeführten Simulationsstudie gemäß der vorgeschlagenen Erweiterung untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass eine einfache Überprüfung der zeitlichen Abläufe, die durch den Input abgebildet wird, ein Zusammenhang aufgedeckt werden kann, der in der Studie nicht beachtet worden ist. Möglichkeiten zur Einarbeitung des neu entdeckten Zusammenhangs wurden sowie mögliche Auswirkungen wurden gezeigt.

Die vorliegende Arbeit bietet einige Möglichkeiten zur weiteren wissenschaftlichen Verwertung und Erweiterung. Die Erkenntnisse zur Definition der Begriffswelt „Wissen“ und „Darstellung von Wissen“ in Kapitel 2 fassen die wissenschaftliche Diskussion zum Thema zusammen. Als konsequente Schlussfolgerung aus der Zusammenfassung ergibt sich das Verständnis von Wissen als Prozess, der an Informationen durchgeführt wird. Aus der Untrennbarkeit von Inhalt und Darstellung resultiert, dass verschiedene Darstellungen eines Inhalts ineinander überführt werden können und der Umfang des gezeigten Inhalts während der Umwandlung angepasst werden kann. Diese Kernaussagen können in späteren Arbeiten zugrunde gelegt werden. Themen, die den in dieser Arbeit präsentierten Ansatz zur Erweiterung des ASIM-Vorgehensmodells weiterentwickeln, können sein:

- Erarbeitung konkreter Vorschläge, welchen Analysen die Datenbestände in der neuen Phase „Datenanalyse“ durchgeführt werden sollten
- Ausarbeitung der detaillierten Inhalte des Phasenergebnisses „Datenanalysen“
- Erprobung der vorgeschlagenen Erweiterung in realen Simulationsstudien
- Quantifizierung der Verbesserung durch die Nutzung der vorgeschlagenen Erweiterung
- Einbeziehung der Vorschläge in die nächste Version der VDI3633-1

Insgesamt kann resümiert werden, dass die Ziele der Arbeit erreicht wurden. Art und Umfang der Ausarbeitung erlauben den Einstieg ins Thema und bieten Möglichkeiten zur Weiterverwendung und zum Ausbau der Ergebnisse.

A Beispielinformationen

A.1 Beispiele aus „Simulation in Produktion und Logistik“

Beispiel 1: Staplertransport für ein Zentrallager in der Chemieindustrie

Aus: [KR98, S.49]

- Transportquellen
- Transport- bzw. Produktionsmengen pro Zeiteinheit
- zu transportierende Gebinde
- zeitliches Produktionsverhalten
- Zielorte der Transporte (ZLW oder ein Kühllager)
- Stellplatzkapazitäten in der Produktion
- Einsatzzeiten der Gabelstapler
- vorgesehene Fahrwege der Transportmittel

Beispiel 2: Produktions- und Transportsystem in der chemischen Industrie

Aus: [KR98, S.59]

- verschiedene zu untersuchende Produktionsprofile
- produktspezifische Prozessflüsse, Prozesszeiten und Restriktionen
- betriebliche Grunddaten, z.B. zur Abbildung des Betriebslayouts oder des Personaleinsatzes bei der Durchführung manueller Arbeitsgänge
- Stammdaten der Produktionseinrichtungen und der FTS-Fahrzeuge
- Störungsprofile

Beispiel 3: Zementbeschichtung von Stahlrohren

Aus: [KR98, S.79]

- Produktspektrum
- Fertigungsabläufe gemäß vorgegebenem Ablaufdiagramm
- Produktions- und Rüstzeiten
- Kapazitäten der Trocknungsläger
- Störzeiten (Verdichtung des Störungsprotokolls eines Jahres)

- Schichtdicken des Zementmörtels aus statistischer Auswertung
- Bereitstellung des Zementmörtels (Dosier-, Misch-, und Transportzeiten)
- technische Daten der Fördersysteme (Kettenförderer, Portalkräne)

Beispiel 4: Einführung einer teamorientierten Produktion in einer Manufaktur

Aus: [KR98, S.133]

- saisonabhängiges Produktionsprogramm
- Teamstruktur
- Qualifikationsprofile
- Produktionskapazitäten im Team

A.2 Daten für Simulation aus VDI Richtlinie 3633, Blatt 1

Aus: [VDI14, S.34]

- Systemlastdaten
 - Auftragseinlastung:* Produktionsaufträge, Transportaufträge, Mengen, Termine
 - Produktdaten:* Arbeitspläne, Stückpläne
- Organisationsdaten
 - Arbeitszeitorganisation:* Pausenregelungen, Schichtmodell
 - Ressourcenzuordnung:* Werker, Maschinen, Fördermittel
 - Ablauforganisation:* Strategien, Restriktionen, Störfallmanagement
- technische Daten
 - Fabrikstrukturdaten:* Anlagentopologie (Layout, Fertigungsmittel, Transportfunktionen, Verkehrswege, Flächen, Restriktionen)
 - Fertigungsdaten:* Nutzungszeit, Leistungsdaten, Kapazitäten
 - Materialflussdaten:* Topologie des Materialflusssystems, Fördermittel, Nutzungsart, Leistungsdaten, Kapazitäten
 - Stördaten:* funktionale Störungen, Verfügbarkeiten

B Untersuchte Informationen aus Beispiel-simulation

Tab. B.1.: Eingangsgrößen aus [Arn14] mit eigenen Auswertungen

Schlüssel	Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
46607054	12.02.2010	17.02.2010	18.02.2010	0	6	5	0	0	0
46762026	18.02.2010	19.02.2010	19.02.2010	0	1	1	0	0	0
46797658	19.02.2010	22.02.2010	25.02.2010	0	6	3	0	0	0
46860654	26.02.2010	26.02.2010	19.02.2010	7	-7	0	1	1	1
47095312	01.03.2010	02.03.2010	22.02.2010	8	-7	1	1	1	1
47061842	06.03.2010	08.03.2010	03.03.2010	5	-3	2	1	1	1
47252650	16.03.2010	17.03.2010	15.03.2010	2	-1	1	1	1	1
47646032	02.04.2010	02.04.2010	31.03.2010	2	-2	0	1	1	1
48411006	05.05.2010	06.05.2010	29.04.2010	7	-6	1	1	1	1
48509044	10.05.2010	11.05.2010	11.05.2010	0	1	1	0	0	0
48564594	11.05.2010	14.05.2010	11.05.2010	3	0	3	1	0	0
48725744	20.05.2010	21.05.2010	14.05.2010	7	-6	1	1	1	1
48759620	21.05.2010	22.05.2010	21.05.2010	1	0	1	1	0	0
48866580	27.05.2010	27.05.2010	27.05.2010	0	0	0	0	0	0
49104850	03.06.2010	04.06.2010	27.05.2010	8	-7	1	1	1	1
49274072	15.06.2010	16.06.2010	14.06.2010	2	-1	1	1	1	1
49315698	21.06.2010	21.06.2010	29.06.2010	0	8	0	0	0	0
49664172	09.07.2010	09.07.2010	13.07.2010	0	4	0	0	0	0
49679816	12.07.2010	14.07.2010	13.07.2010	1	1	2	1	0	0
49845554	19.07.2010	20.07.2010	15.07.2010	5	-4	1	1	1	1
50169892	31.07.2010	02.08.2010	29.07.2010	4	-2	2	1	1	1
50917584	03.09.2010	06.09.2010	09.09.2010	0	6	3	0	0	0
51063072	09.09.2010	14.09.2010	08.09.2010	6	-1	5	1	1	1
51049904	09.09.2010	13.09.2010	10.09.2010	3	1	4	1	0	0
51137182	16.09.2010	17.09.2010	16.09.2010	1	0	1	1	0	0
51157738	17.09.2010	18.09.2010	17.09.2010	1	0	1	1	0	0
51272332	21.09.2010	24.09.2010	24.09.2010	0	3	3	0	0	0

Fortsetzung: nächste Seite

Schlüssel	Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
51271628	23.09.2010	24.09.2010	22.09.2010	2	-1	1	1	1	1
51431440	29.09.2010	30.09.2010	28.09.2010	2	-1	1	1	1	1
51695714	08.10.2010	12.10.2010	12.10.2010	0	4	4	0	0	0
51697070	12.10.2010	13.10.2010	11.10.2010	2	-1	1	1	1	1
51761416	14.10.2010	15.10.2010	19.10.2010	0	5	1	0	0	0
51843478	18.10.2010	18.10.2010	15.10.2010	3	-3	0	1	1	1
52967572	16.12.2010	17.12.2010	16.12.2010	1	0	1	1	0	0
53809964	21.01.2011	26.01.2011	24.01.2011	2	3	5	1	0	0
53960822	27.01.2011	31.01.2011	28.01.2011	3	1	4	1	0	0
54219048	11.02.2011	12.02.2011	09.02.2011	3	-2	1	1	1	1
54314444	17.02.2011	17.02.2011	18.02.2011	0	1	0	0	0	0
54442444	21.02.2011	22.02.2011	17.02.2011	5	-4	1	1	1	1
54787324	10.03.2011	10.03.2011	04.03.2011	6	-6	0	1	1	1
55413532	05.04.2011	06.04.2011	06.04.2011	0	1	1	0	0	0
55481522	07.04.2011	08.04.2011	05.04.2011	3	-2	1	1	1	1
55479420	08.04.2011	08.04.2011	18.04.2011	0	10	0	0	0	0
55619504	14.04.2011	14.04.2011	11.04.2011	3	-3	0	1	1	1
55619512	14.04.2011	14.04.2011	11.04.2011	3	-3	0	1	1	1
55640396	14.04.2011	15.04.2011	14.04.2011	1	0	1	1	0	0
55953538	27.04.2011	28.04.2011	27.04.2011	1	0	1	1	0	0
55988394	29.04.2011	29.04.2011	28.04.2011	1	-1	0	1	1	1
56081170	02.05.2011	02.05.2011	06.05.2011	0	4	0	0	0	0
56129226	04.05.2011	05.05.2011	05.05.2011	0	1	1	0	0	0
56163008	06.05.2011	06.05.2011	29.04.2011	7	-7	0	1	1	1
56646428	25.05.2011	27.05.2011	27.05.2011	0	2	2	0	0	0
56777952	30.05.2011	31.05.2011	30.05.2011	1	0	1	1	0	0
56776824	30.05.2011	01.06.2011	01.06.2011	0	2	2	0	0	0
56918074	06.06.2011	07.06.2011	17.06.2011	0	11	1	0	0	0
57025102	13.06.2011	13.06.2011	13.06.2011	0	0	0	0	0	0
57064338	17.06.2011	20.06.2011	17.06.2011	3	0	3	1	0	0
57069180	21.06.2011	21.06.2011	13.06.2011	8	-8	0	1	1	1
57144294	28.06.2011	28.06.2011	27.06.2011	1	-1	0	1	1	1
57187374	30.06.2011	01.07.2011	30.06.2011	1	0	1	1	0	0
57586202	14.07.2011	20.07.2011	14.07.2011	6	0	6	1	0	0
57586876	20.07.2011	20.07.2011	19.07.2011	1	-1	0	1	1	1
57636262	20.07.2011	22.07.2011	22.07.2011	0	2	2	0	0	0

Fortsetzung: nächste Seite

Schlüssel	Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
57742484	26.07.2011	27.07.2011	28.07.2011	0	2	1	0	0	0
57790450	28.07.2011	29.07.2011	27.07.2011	2	-1	1	1	1	1
58552956	01.09.2011	01.09.2011	29.08.2011	3	-3	0	1	1	1
58646626	02.09.2011	05.09.2011	05.09.2011	0	3	3	0	0	0
58897470	15.09.2011	16.09.2011	15.09.2011	1	0	1	1	0	0
59196192	26.09.2011	26.09.2011	23.09.2011	3	-3	0	1	1	1
59532122	06.10.2011	10.10.2011	11.10.2011	0	5	4	0	0	0
59791604	20.10.2011	21.10.2011	21.10.2011	0	1	1	0	0	0
60059462	10.11.2011	10.11.2011	10.11.2011	0	0	0	0	0	0
60230716	14.11.2011	14.11.2011	14.11.2011	0	0	0	0	0	0
60646354	29.11.2011	29.11.2011	02.12.2011	0	3	0	0	0	0
60878050	06.12.2011	06.12.2011	06.12.2011	0	0	0	0	0	0
61134732	16.12.2011	16.12.2011	16.12.2011	0	0	0	0	0	0
61960936	12.01.2012	13.01.2012	16.01.2012	0	4	1	0	0	0
62177578	19.01.2012	20.01.2012	20.01.2012	0	1	1	0	0	0
62308152	24.01.2012	24.01.2012	16.01.2012	8	-8	0	1	1	1
62309490	24.01.2012	25.01.2012	20.01.2012	5	-4	1	1	1	1
62912914	13.02.2012	13.02.2012	13.02.2012	0	0	0	0	0	0
63133342	21.02.2012	21.02.2012	16.02.2012	5	-5	0	1	1	1
63134796	21.02.2012	22.02.2012	22.02.2012	0	1	1	0	0	0
63322384	29.02.2012	01.03.2012	02.03.2012	0	2	1	0	0	0
63333608	01.03.2012	02.03.2012	01.03.2012	1	0	1	1	0	0
63336152	02.03.2012	02.03.2012	02.03.2012	0	0	0	0	0	0
63522160	08.03.2012	08.03.2012	06.03.2012	2	-2	0	1	1	1
63769464	12.03.2012	15.03.2012	15.03.2012	0	3	3	0	0	0
63964828	16.03.2012	20.03.2012	16.03.2012	4	0	4	1	0	0
62384186	26.03.2012	27.03.2012	29.03.2012	0	3	1	0	0	0
64166348	28.03.2012	28.03.2012	29.03.2012	0	1	0	0	0	0
64167746	28.03.2012	28.03.2012	30.03.2012	0	2	0	0	0	0
64330446	30.03.2012	02.04.2012	10.04.2012	0	11	3	0	0	0
64355748	02.04.2012	03.04.2012	29.03.2012	5	-4	1	1	1	1
64432178	05.04.2012	06.04.2012	06.04.2012	0	1	1	0	0	0
64811682	16.04.2012	18.04.2012	16.04.2012	2	0	2	1	0	0
64792204	16.04.2012	17.04.2012	16.04.2012	1	0	1	1	0	0
64761604	16.04.2012	16.04.2012	18.04.2012	0	2	0	0	0	0
64792386	17.04.2012	17.04.2012	16.04.2012	1	-1	0	1	1	1

Fortsetzung: nächste Seite

Schlüssel	Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
65199968	30.04.2012	30.04.2012	04.05.2012	0	4	0	0	0	0
65252046	02.05.2012	03.05.2012	02.05.2012	1	0	1	1	0	0
65291584	03.05.2012	04.05.2012	03.05.2012	1	0	1	1	0	0
65417160	08.05.2012	09.05.2012	09.05.2012	0	1	1	0	0	0
65615738	16.05.2012	16.05.2012	15.05.2012	1	-1	0	1	1	1
65670872	18.05.2012	18.05.2012	21.05.2012	0	3	0	0	0	0
65963666	30.05.2012	30.05.2012	25.05.2012	5	-5	0	1	1	1
66014240	31.05.2012	31.05.2012	30.05.2012	1	-1	0	1	1	1
66146530	04.06.2012	04.06.2012	06.06.2012	0	2	0	0	0	0
66156246	05.06.2012	05.06.2012	04.06.2012	1	-1	0	1	1	1
64844476	12.06.2012	12.06.2012	12.06.2012	0	0	0	0	0	0
66261822	15.06.2012	15.06.2012	12.06.2012	3	-3	0	1	1	1
66289058	19.06.2012	20.06.2012	27.06.2012	0	8	1	0	0	0
66367206	25.06.2012	26.06.2012	29.06.2012	0	4	1	0	0	0
66369666	25.06.2012	27.06.2012	05.07.2012	0	10	2	0	0	0
66386100	27.06.2012	28.06.2012	27.06.2012	1	0	1	1	0	0
66393570	28.06.2012	28.06.2012	28.06.2012	0	0	0	0	0	0
65640030	16.07.2012	16.07.2012	13.07.2012	3	-3	0	1	1	1
65671800	17.07.2012	17.07.2012	13.07.2012	4	-4	0	1	1	1
66043120	30.07.2012	31.07.2012	30.07.2012	1	0	1	1	0	0
66107370	02.08.2012	02.08.2012	02.08.2012	0	0	0	0	0	0
66653762	07.09.2012	07.09.2012	07.09.2012	0	0	0	0	0	0

Tab. B.2.: Ergebnisse des ersten Simulationslaufes aus [Arn14] mit eigenen Auswertungen

Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
12.02.2010	14.02.2010	14.02.2010	0	2	2	0	0	0
09.03.2010	13.03.2010	09.03.2010	4	0	0	1	0	0
23.04.2010	25.04.2010	24.04.2010	1	1	1	1	0	0
22.05.2010	23.05.2010	23.05.2010	0	1	1	0	0	0

Fortsetzung: nächste Seite

Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
30.06.2010	04.07.2010	30.06.2010	4	0	0	1	0	0
21.08.2010	22.08.2010	22.08.2010	0	1	1	0	0	0
08.10.2010	13.10.2010	08.10.2010	5	0	0	1	0	0
19.11.2010	19.11.2010	19.11.2010	0	0	0	0	0	0
30.11.2010	02.12.2010	30.11.2010	2	0	0	1	0	0
16.01.2011	19.01.2011	19.01.2011	0	3	3	0	0	0
05.02.2011	14.02.2011	10.02.2011	4	5	5	1	0	0
05.03.2011	07.03.2011	05.03.2011	2	0	0	1	0	0
05.04.2011	13.04.2011	06.04.2011	7	1	1	1	0	0
05.05.2011	10.05.2011	07.05.2011	3	2	2	1	0	0
24.06.2011	26.06.2011	25.06.2011	1	1	1	1	0	0
31.07.2011	01.08.2011	31.07.2011	1	0	0	1	0	0
25.08.2011	25.08.2011	25.08.2011	0	0	0	0	0	0
19.10.2011	22.10.2011	20.10.2011	2	1	1	1	0	0
16.11.2011	17.11.2011	17.11.2011	0	1	1	0	0	0
08.12.2011	12.12.2011	08.12.2011	4	0	0	1	0	0
04.01.2012	06.01.2012	04.01.2012	2	0	0	1	0	0
26.02.2012	27.02.2012	27.02.2012	0	1	1	0	0	0
01.04.2012	07.04.2012	07.04.2012	0	6	6	0	0	0
11.05.2012	16.05.2012	11.05.2012	5	0	0	1	0	0
23.06.2012	23.06.2012	23.06.2012	0	0	0	0	0	0
23.07.2012	23.07.2012	23.07.2012	0	0	0	0	0	0
14.02.2010	25.02.2010	19.02.2010	6	5	5	1	0	0
02.04.2010	02.04.2010	02.04.2010	0	0	0	0	0	0
28.04.2010	05.05.2010	29.04.2010	6	1	1	1	0	0
26.05.2010	30.05.2010	27.05.2010	3	1	1	1	0	0
13.07.2010	16.07.2010	14.07.2010	2	1	1	1	0	0
24.08.2010	26.08.2010	24.08.2010	2	0	0	1	0	0
27.10.2010	31.10.2010	27.10.2010	4	0	0	1	0	0
24.11.2010	25.11.2010	24.11.2010	1	0	0	1	0	0
20.12.2010	24.12.2010	21.12.2010	3	1	1	1	0	0
28.01.2011	29.01.2011	28.01.2011	1	0	0	1	0	0
12.02.2011	16.02.2011	14.02.2011	2	2	2	1	0	0
06.03.2011	09.03.2011	07.03.2011	2	1	1	1	0	0
15.04.2011	16.04.2011	15.04.2011	1	0	0	1	0	0
18.05.2011	19.05.2011	18.05.2011	1	0	0	1	0	0

Fortsetzung: nächste Seite

Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
29.06.2011	30.06.2011	29.06.2011	1	0	0	1	0	0
05.08.2011	05.08.2011	05.08.2011	0	0	0	0	0	0
29.08.2011	30.08.2011	30.08.2011	0	1	1	0	0	0
25.10.2011	26.10.2011	26.10.2011	0	1	1	0	0	0
02.12.2011	07.12.2011	04.12.2011	3	2	2	1	0	0
08.12.2011	08.12.2011	08.12.2011	0	0	0	0	0	0
17.01.2012	17.01.2012	17.01.2012	0	0	0	0	0	0
08.03.2012	08.03.2012	08.03.2012	0	0	0	0	0	0
05.04.2012	10.04.2012	05.04.2012	5	0	0	1	0	0
23.05.2012	01.06.2012	24.05.2012	8	1	1	1	0	0
24.06.2012	28.06.2012	25.06.2012	3	1	1	1	0	0
08.08.2012	09.08.2012	09.08.2012	0	1	1	0	0	0
20.02.2010	21.02.2010	21.02.2010	0	1	1	0	0	0
17.04.2010	17.04.2010	17.04.2010	0	0	0	0	0	0
10.05.2010	11.05.2010	11.05.2010	0	1	1	0	0	0
14.06.2010	16.06.2010	14.06.2010	2	0	0	1	0	0
22.07.2010	24.07.2010	22.07.2010	2	0	0	1	0	0
11.09.2010	13.09.2010	12.09.2010	1	1	1	1	0	0
06.11.2010	08.11.2010	06.11.2010	2	0	0	1	0	0
25.11.2010	25.11.2010	25.11.2010	0	0	0	0	0	0
30.12.2010	01.01.2011	01.01.2011	0	2	2	0	0	0
05.02.2011	13.02.2011	05.02.2011	8	0	0	1	0	0
01.03.2011	02.03.2011	02.03.2011	0	1	1	0	0	0
17.03.2011	20.03.2011	17.03.2011	3	0	0	1	0	0
27.04.2011	01.05.2011	30.04.2011	1	3	3	1	0	0
29.05.2011	02.06.2011	31.05.2011	2	2	2	1	0	0
06.07.2011	09.07.2011	06.07.2011	3	0	0	1	0	0
17.08.2011	18.08.2011	17.08.2011	1	0	0	1	0	0
17.09.2011	18.09.2011	18.09.2011	0	1	1	0	0	0
01.11.2011	01.11.2011	01.11.2011	0	0	0	0	0	0
06.12.2011	07.12.2011	06.12.2011	1	0	0	1	0	0
16.12.2011	22.12.2011	16.12.2011	6	0	0	1	0	0
03.02.2012	09.02.2012	06.02.2012	3	3	3	1	0	0
21.03.2012	24.03.2012	23.03.2012	1	2	2	1	0	0
26.04.2012	27.04.2012	27.04.2012	0	1	1	0	0	0
02.06.2012	02.06.2012	02.06.2012	0	0	0	0	0	0

Fortsetzung: nächste Seite

Lieferdatum	reales Waren- eingangsdatum	geplantes Waren- eingangsdatum	Verspätung	Soll-Lieferdauer	Ist-Lieferdauer	Zu spät angekommen?	Zu spät verschickt?	Beides zu spät?
11.07.2012	12.07.2012	11.07.2012	1	0	0	1	0	0
18.08.2012	20.08.2012	19.08.2012	1	1	1	1	0	0

Literaturverzeichnis

- [AKF⁺08] Arnold, Dieter (Hrsg.); Kuhn, Axel (Hrsg.); Furmans, Kai (Hrsg.); Isermann, Heinz (Hrsg.); Tempelmeier, Horst (Hrsg.): *Handbuch Logistik*. 3. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008
- [Arn14] Arndt, Viktoria: *Ereignisdiskrete Simulation einer Supply Chain zur Generierung von Transaktionsdaten*. Dortmund, Technische Universität Dortmund, Masterarbeit, Dezember 2014
- [ASI97] ASIM: Leitfaden für Simulationsbenutzer in Produktion und Logistik. 1997 (Heft 58). – Forschungsbericht
- [Bal89] Balci, Osman: How to assess the acceptability and credibility of simulation results. In: *Proceedings of the 1989 Winter Simulation Conference*, 1989, S. 62–71
- [Ban98] Banks, Jerry: Principles of Simulation. In: *Handbook of Simulation*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 1998
- [Bau14] Bauer, Katrin: *Auswahl Nutzergruppen-spezifischer Visualisierungsmethoden für Informationen der Supply Chain*, Fakultät Maschinenbau, Fachgebiet IT in Produktion und Logistik, Bachelorarbeit, 2014
- [Bec13] Beck, Klaus: *Kommunikationswissenschaft*. 3. Auflage. Konstanz: UVK Verlagsgesellschaft mbH, 2013
- [Ber07] Bernecker, Sven: *Knowledge : readings in contemporary epistemology*. Oxford: Oxford University Press, 2007
- [Bro92] Pragmatik. In: *Brockhaus Enzyklopädie in 24 Bänden*. Mannheim: F.A. Brockhaus, 1992
- [BW05] Bernhard, Jochen; Wenzel, Sigrid: Information Acquisition for model based Analysis of Large Logistics Networks. In: *Proceedings 19th European Conference on Modelling and Simulation ECMS*, 2005
- [Den12] Dengel, Andreas (Hrsg.): *Semantische Technologien*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag, 2012
- [FH11] Fischer, Peter; Hofer, Peter: *Lexikon der Informatik*. 15. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2011
- [Fra06] Frank, Beate: *Wissenslogistik*. Hamburg, Diss., 2006
- [KKK12] Klaus, Peter (Hrsg.); Krieger, Winfried (Hrsg.); Krupp, Michael (Hrsg.): *Gabler Lexikon Logistik : Management logistischer Netzwerke und Flüsse*. 5. Auflage. Wiesbaden: Gabler Verlage, 2012

- [KR98] Kuhn, Axel (Hrsg.); Rabe, Markus (Hrsg.): *Simulation in Produktion und Logistik*. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 1998
- [Krc05] Krcmar, Helmut: *Informationsmanagement*. 4. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2005
- [Kö14] Köster, Claudia: *Recherche und Bewertung statistischer Zusammenhänge für in Supply Chains anfallende Daten*, Fakultät Maschinenbau, Fachgebiet IT in Produktion und Logistik, Projektarbeit, 2014
- [LK91] Law, Averill M.; Kelton, W. D.: *Simulation Modeling & Analysis*. 2. Auflage. McGraw-Hill, 1991
- [Non91] Nonaka, Ikujiro: The Knowledge-Creating Company. In: *Harvard Business Review* (1991), Nov./Dec., S. 96–104
- [Non94] Nonaka, Ikujiro: A Dynamic Theory of Organizational Knowledge Creation. In: *Organization Science* 5 (1994), Februar, Nr. 1
- [Nor11] North, Klaus: *Wissensorientierte Unternehmensführung*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2011
- [ONL15a] darstellen. In: *www.duden.de*. Besucht am: 26.03.2015
- [ONL15b] Wirkung. In: *www.duden.de*. Besucht am: 26.03.2015
- [ONL15c] Wissen. In: *www.duden.de*. Besucht am: 26.03.2015
- [ONL15d] Zusammenhang. In: *www.duden.de*. Besucht am: 26.03.2015
- [RD12] Rabe, Markus; Deininger, Maik: State of Art and Research Demands for Simulation Modeling of Green Supply Chains. In: *International Journal of Automation Technology* 6 (2012), Nr. 3, S. 296–303
- [RS14] Rabe, Markus; Scheidler, Anne A.: An approach for increasing the level of accuracy in supply chain simulation by using patterns on input data. In: *Proceedings of the 2014 Winter Simulation Conference*, 2014
- [RSW08] Rabe, Markus; Spieckermann, Sven; Wenzel, Sigrid: *Verifikation und Validierung für die Simulation in Produktion und Logistik - Vorgehensmodelle und Techniken*. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008
- [Sch01] Schreyögg, Georg: *Wissen in Unternehmen*. Berlin: Erich Schmidt, 2001
- [Sha98] Shannon, R.E.: Introduction to the Art and Science of Simulation. In: *Proceedings of the 1998 Winter Simulation Conference* Bd. Vol. 1, 1998, S. 7–14
- [SM94] Savory, Paul; Mackulak, Gerald: The Science of Simulation Modeling. In: Knadler (Hrsg.); Vakilzadian (Hrsg.): *International Conference on Simulation in Engineering Education* Bd. Vol. 26, 1994, S. 115–119

- [SW48] Shannon, Claude E.; Weaver, Warren: A Mathematical Theory of Communication. In: *The Bell System Technical Journal* 27 (1948), Juli, Nr. 3, S. 379–423
- [VDI14] *VDI-Richtlinie 3633, Blatt 1: Simulation von Logistik-, Materialfluss- und Produktionssystemen*. Berlin: Beuth Verlag, 2014
- [Wag94] Wagemann, Andreas: *Wirkzusammenhänge beim Planparallelpolieren von Hochleistungskeramik*, Technische Hochschule Aachen, Diss., 1994
- [Wei92] Weidinger, Ludwig: *Ein objektorientiertes Metamodell zur Wissensrepräsentation für Intelligente Tutorsysteme*, Fakultät für Mathematik und Informatik, Diss., 1992
- [Wen09] Wendt, Katrin: *Der Wirkzusammenhang zwischen Knotengestaltung und Eigenschaften von PKW-Karosserien*. Berlin, Technische Universität Braunschweig, Diss., 2009
- [Wis07] Wissenschaftlicher Rat der Dudenredaktion (Hrsg.): *Duden - Das große Fremdwörterbuch*. 4. Auflage. Mannheim: Dudenverlag, 2007
- [WWCB⁺08] Wenzel, Sigrid; Weiß, Matthias; Collisi-Böhmer, Simone; Pitsch, Holger; Rose, Oliver: *Qualitätskriterien für die Simulation in Produktion und Logistik - Planung und Durchführung von Simulationsstudien*. 1. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer Verlag, 2008

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbstständig angefertigt habe. Es wurden nur die in der Arbeit ausdrücklich benannten Quellen und Hilfsmittel benutzt. Wörtlich oder sinngemäß übernommenes Gedankengut habe ich als solches kenntlich gemacht.

Ort, Datum

Unterschrift