



Fachbereich 4: Informatik

# System Dynamics

Betriebswirtschaftliche Anwendungsgebiete

Bachelorarbeit

zur Erlangung des Grades eines Bachelor of Science  
im Studiengang Informationsmanagement

vorgelegt von

Mehmet Hadi Tohum

Betreuer: Prof. Dr. Klaus G. Troitzsch, Institut für Wirtschafts- und  
Verwaltungsinformatik, Universität Koblenz-Landau

Erstgutachter: ebenso

Zweitgutachter: Dr. Michael Möhring, Institut für Wirtschafts- und  
Verwaltungsinformatik, Universität Koblenz-Landau

Koblenz, im August 2008

## **Erklärung**

Ich versichere, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt habe.

Mit der Einstellung dieser Arbeit in die Bibliothek bin ich einverstanden. Der Veröffentlichung dieser Arbeit im Internet stimme ich zu.

Koblenz, den 13.08.2008

---

Mehmet Hadi Tohum

## Inhaltsverzeichnis

<b>Erklärung</b> .....	<b>i</b>
<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	<b>ii</b>
<b>Abbildungsverzeichnis</b> .....	<b>iv</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis</b> .....	<b>v</b>
<b>1 Einleitung</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivation.....	1
1.2 Aufbau.....	2
<b>2 Theoretische Grundlagen</b> .....	<b>4</b>
2.1 Systembegriff.....	4
2.2 Kybernetik.....	4
2.3 Systemtheorie.....	5
2.4 Systemarten.....	6
2.5 Systematisches Denken.....	7
<b>3 System Dynamics</b> .....	<b>11</b>
3.1 Historie.....	11
3.2 Anwendungsgebiete.....	15
3.3 Grundlagen von System Dynamics.....	16
3.4 Grundsäulen von System Dynamics.....	17
3.4.1 Die Informations-Rückkopplungs-Theorie.....	17
3.4.2 Automatisierte Entscheidungsfindung.....	20
3.4.3 Die Computersimulation.....	21
3.4.4 Entwicklung digitaler Computer.....	21
3.5 Modellierungsprozess.....	21
3.5.1 Problemspezifikation.....	22
3.5.2 Erstellung eines Kausaldiagrammes.....	23
3.5.3 Formulierung von Simulationsmodellen.....	23
3.5.4 Simulation des Modells.....	25
3.5.5 Identifikation von Policies und Strukturen.....	26
3.5.6 Diskussionen und Debatten.....	26
3.5.7 Implementierung von entwickelten Policies und Strukturen.....	26
<b>4 Balanced Scorecard</b> .....	<b>27</b>
4.1 Das Konzept.....	27
4.2 Perspektiven.....	27
4.3 Besonderheiten.....	29
4.4 System Dynamics Ansatz im BSC-Konzept.....	31
4.5 Case Study.....	33
4.5.1 Einleitung – allgemeine Informationen.....	33
4.5.2 BSC Konzept.....	34
4.5.3 BSC in SDM extrahiert - Kausaldiagramm.....	36
4.5.4 Flussdiagramm.....	38
4.5.5 Simulation und Szenarien.....	40
4.5.6 Bewertung.....	42

---

<b>5 Supply Chain Management</b> .....	<b>45</b>
5.1 Einleitung .....	45
5.2 Beer Game .....	47
5.3 Bullwhip Effekt.....	53
5.3.1 Definition.....	53
5.3.2 Ursachen für die Entstehung.....	54
5.3.3 Auswirkungen des Bullwhip-Effekts.....	55
5.4 Supply Chain Management & System Dynamics.....	56
5.5 Case Study.....	59
5.5.1 Ausgangslage.....	60
5.5.2 Referenzmodus und dynamische Hypothesen.....	63
5.5.3 Formulierung des Modells .....	67
5.5.4 Das Testen des Modells.....	68
5.5.5 Strategieanalyse.....	70
5.5.6 Implementierung: Sequentielle Engstellenbeseitigung .....	72
5.5.7 Ergebnisse .....	74
5.6 Bewertung .....	74
<b>6 Fazit</b> .....	<b>77</b>
<b>Literaturverzeichnis</b> .....	<b>80</b>

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Ereignisorientierte vs. Ganzheitliche Betrachtungsweise .....	8
Abbildung 2: Lineare Denkweise.....	9
Abbildung 3: Systems Thinking Paradigm.....	9
Abbildung 4: Kapitalverzinsung - positive Rückkopplung.....	18
Abbildung 5: Lagerhaltung - negative Rückkopplung.....	19
Abbildung 6: Vorgehensweise für das Entwerfen von System Dynamics Modellen .....	22
Abbildung 7: Kapitalverzinsung - Flussdiagramm.....	25
Abbildung 8: Die Balanced Scorecard mit den 4 Perspektiven .....	28
Abbildung 9: Ursache-Wirkungskette und Wertorientierung in der Balanced Scorecard.	30
Abbildung 10: Wirkungszusammenhänge zwischen den Perspektiven.....	35
Abbildung 11: Das in System Dynamics extrahierte BSC Modell.....	36
Abbildung 12: Parametrisierte BSC Modell .....	39
Abbildung 13: Szenario 0 - Basissimulation .....	41
Abbildung 14: Szenario 1 – Verdopplung der Trainingseinheiten .....	41
Abbildung 15: Szenario 2 – Erhöhung der Bestellhäufigkeit.....	42
Abbildung 16: Manager spielen das Beer Game am MIT.....	48
Abbildung 17: Spielbrett - Ausgangslage .....	48
Abbildung 18: Ergebnisse von Beergame-Simulationen am MIT .....	51
Abbildung 19: Der Bullwhip-Effekt: „Je weiter upstream man sich bewegt, umso mehr wird die Nachfrage ‚aufgepeitscht‘“ .....	54
Abbildung 20: Forresters Supply Chain.....	57
Abbildung 21: Kausaldiagramm zeigt, wie Lagerbestandüberschüsse entstehen .....	64
Abbildung 22: Die dynamische Entwicklung eines „hot products“ .....	66
Abbildung 23: Das Testen des Modells.....	69
Abbildung 24: Kausaldiagramm veranschaulicht die im Text erwähnten Synergieeffekte	71
Abbildung 25: Ursachen und Folgen von Lagerbestandsüberschüssen .....	72
Abbildung 26: Sequentielle Engstellenbeseitigung.....	73

## Abkürzungsverzeichnis

BSC .....	Balanced Scorecard
F & E.....	Forschung und Entwicklung
FGE.....	Fast Growth Electronics
CEO .....	Chief Executive Officer
MIT .....	Massachusetts Institute of Technology
NATO.....	North Atlantic Treaty Organization
RoCE .....	Return on Capital Employed
RoI .....	Return on Investment
SC.....	Supply Chain
SCM.....	Supply Chain Management
SD .....	System Dynamics
SDEP.....	System Dynamics in Education Project
SDM.....	System Dynamics Modellierung
USA .....	United States of America
WIP .....	Work in Process

# 1 Einleitung

## 1.1 Motivation

Betriebswirtschaftliche Trends wie der Wandel auf Käufermärkten, verkürzte Produktlebens- und Innovationszyklen, steigende Kundenanforderungen und immer leistungsfähiger werdende Informations- und Kommunikationstechnologien stellen für Unternehmen anspruchsvolle Herausforderungen dar. „Bis Anfang der 90er Jahre dominierten lokale Optimierungsbemühungen im Rahmen einer auf funktionale Spezialisierung ausgerichteten Aufbauorganisation entsprechend den Überlegungen zu Arbeitsteilung von beispielsweise Smith, Taylor und Ford. Aufgrund der vielfältigen Probleme dieses Ansatzes – insbesondere Schnittstellenbildung, demotivierte Mitarbeiter, mangelnde Kundenorientierung und erhöhter Aufwand zur Steuerung und Koordination der funktionalen Einheiten – vollzieht sich seit Beginn der 90er Jahre in den Wirtschaftswissenschaften und der unternehmerischen Praxis ein Paradigmenwechsel weg von der Funktions- hin zur Prozessorientierung.“<sup>1</sup> Die anspruchsvollen Probleme können aufgrund ihrer Kompliziertheit nicht mehr durch einfache, lokal anwendbare Maßnahmen gelöst werden.<sup>2</sup> In Zeiten hoher Komplexität und Dynamik werden strategische Planungsaufgaben immer wichtiger für ein langfristig erfolgreiches Management. Entscheidungen mit großer Tragweite müssen im Vorfeld vollständig auf ihre kurz- und langfristigen Auswirkungen innerhalb und außerhalb des Unternehmens überprüft werden. Dabei sind die zeitverzögerten Rückkopplungen besonders wichtig. Es kann vorkommen, dass sich eine kurzfristig erfolgreiche Maßnahme zur Ergebnisverbesserung möglicherweise langfristig extrem negativ auf das Ergebnis auswirkt.<sup>3</sup>

System Dynamics, eine Methode zur Untersuchung komplexer, dynamischer Systeme, bietet die Möglichkeit, aus einer Analyse der Systemstruktur und des von ihr verursachten Verhaltens langfristig wirksame Entscheidungsregeln abzuleiten.<sup>4</sup> Dabei werden Unternehmen als offene, äußerst vernetzte soziotechnische Systeme verstanden.<sup>5</sup> System Dynamics, ursprünglich „Industrial Dynamics“ genannt, wurde in den 50ern am Mas-

---

<sup>1</sup> Vgl. Arndt, Holger (Modellierung und Simulation, 2006).

<sup>2</sup> o. V. (System Dynamics, 2008).

<sup>3</sup> Vgl. Schöneborn, F., (Strategisches Controlling, 2004), S. 1ff.

<sup>4</sup> o. V. (System Dynamics, 2008).

<sup>5</sup> Vgl. Schöneborn, F., (Strategisches Controlling, 2004), S. 1ff.

Massachusetts Institute of Technology, MIT, entwickelt. Die Methode nimmt die Komplexität, Nichtlinearität und Rückkopplungsstrukturen, die sozialen und physikalischen Systemen enthalten, als Grundlage. Sie wird inzwischen an einer zunehmenden Zahl von Universitäten gelehrt. Unternehmen und Regierungen nutzen System Dynamics zur Simulation von Management- bzw. Politikentscheidungen. Mit der Hilfe der Methode wird es möglich, komplexe Systeme zu durchschauen, was für Entscheidungsträger eine zunehmende Herausforderung darstellt. Die „System Dynamics Society“ ist bemüht, systematisches Denken einer breiten Masse von Anwendern zugänglich zu machen. Die Methode könnte die Menschen dabei unterstützen, die aktuellen Probleme und die langfristigen Auswirkungen des aktuellen Handelns zu verstehen.<sup>6</sup>

## 1.2 Aufbau

Die Intention dieser Arbeit ist es nun, zwei betriebswirtschaftliche Anwendungsgebiete der System Dynamics Modellierung mit jeweils einem konkreten Fallbeispiel vorzustellen. Dazu werden zunächst in Kapitel 2 die Grundlagen der Systemtheorie dargestellt. Dabei wird auf die Sichtweise von Forrester fokussiert. Darauf aufbauend wird in Kapitel 3 die Methode detailliert vorgestellt. Nachdem die historische Entwicklung von System Dynamics aufgezeigt wird, werden die Anwendungsgebiete, die Grundlagen und die Grundsäulen der Modellierung und der Modellierungsprozess dargelegt.

Im vierten Kapitel wird das erste Anwendungsgebiet untersucht, in der die System Dynamics Modellierung eingesetzt wird, die Balanced Scorecard, ein populäres Konzept für die Performancemessung in Unternehmen. Nachdem das Konzept vorgestellt wird, werden dessen Grenzen aufgezeigt, die mit der Verknüpfung des System Dynamics Ansatz überwunden werden können. Daraufhin werden die Möglichkeiten der System Dynamics Modellierung erläutert, womit die Schwächen der Balanced Scorecard reduziert werden, bevor anhand eines konkreten Fallbeispiels die Verknüpfung des System Dynamics Modellierung mit dem Balanced Scorecard Konzept vorgestellt wird. Eine abschließende Bewertung über die Anwendung wird dieses Kapitel abschließen.

---

<sup>6</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 2f.



---

Im nächsten Kapitel wird die Anwendung der System Dynamics Modellierung im Supply Chain Management untersucht. Zunächst werden die Grundlagen über das Supply Chain Management und Probleme, die damit verbunden sind, erläutert. Anhand des „Beer Game“ werden die typischen Koordinationsprobleme mehrstufiger Lieferketten, der Bullwhip Effekt, verdeutlicht. Im nächsten Schritt wird die Anwendung der System Dynamics Modellierung im Supply Chain Management diskutiert, bevor die Umsetzung in einem konkreten Fallbeispiel aufgezeigt wird. Dieses Kapitel schließt mit einer Bewertung über die Anwendung von System Dynamics im Supply Chain Management ab. Mit dem abschließenden Kapitel Fazit wird die Arbeit abgerundet.

## 2 Theoretische Grundlagen

### 2.1 Systembegriff

Der Systembegriff bildet die Grundlage der allgemeinen Systemtheorie. Der Begriff System stammt ursprünglich aus dem Griechischen und bedeutet Zusammenstellung, Vereinigung bzw. Ganzes. Alleine aus dieser Definition heraus geht hervor, dass Teile existieren müssen, die in einer bestimmten Ordnung zum Ganzen zusammengesetzt werden.<sup>7</sup> Forrester definiert ein System als „eine Anzahl von miteinander in Beziehung stehenden Teilen, die zu einem gemeinsamen Zweck miteinander operieren.“<sup>8</sup> Ein Kraftfahrzeug ist demnach ein System von Komponenten, die zur Durchführung von Transporten zusammenwirken. Die Teile Lagerhaus und Laderampe bilden ein System, das als Zweck das Verladen von Waren auf Lastkraftwagen hat.<sup>9</sup> Dabei richtet Forrester das Hauptaugenmerk darauf, dass die Teile eines Systems zu einem bestimmten Zweck miteinander operieren. Zu einem System können sowohl Menschen als auch Sachen vereinigt werden. Eine Familie, die das Ziel hat zu leben und Kinder aufzuziehen, ist ebenso ein System wie ein Warenhaus, das eine Vereinigung aus den Teilen Lagerverwalter und Büroangestellte ist.<sup>10</sup>

### 2.2 Kybernetik

Norbert Wiener begründete 1948 mit seiner Buchveröffentlichung „Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine“ die Kybernetik, die Lehre von den sich selbst steuernden und regulierenden Systemen. Die Kybernetik beschäftigt sich als eine rein formale Theorie mit Kommunikation und Regelung komplexer, sich selbst regelnder Systeme. Ein System kann sein Systemverhalten so verändern, sodass ein von außen festgelegter Sollwert erreicht wird. Die Informationsübermittlung erfolgt entlang bestimmter Kanäle, die Regelkreise bzw. Regelstrecken genannt werden.<sup>11</sup> Das Grundprinzip der Kybernetik ist das Prinzip der Rückkopplungen. „Rückkopplung ist, [...] ein sehr allgemeines Charakteristikum von Verhaltensformen. In seiner einfachsten Form bedeutet das Rückkopplungsprinzip, dass das Verhalten auf sein Ergebnis hin geprüft wird und dass der Erfolg oder Misserfolg dieses Ergebnisses das zukünftige Verhalten

---

<sup>7</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 4.

<sup>8</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S.

<sup>9</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 9.

<sup>10</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 9.

<sup>11</sup> Vgl. Güldenbergs, Stefan (Wissensmanagement, 2003), S. 32ff.

beeinflusst.“<sup>12</sup> Kybernetik ist mittlerweile zur Basiswissenschaft der allgemeinen Systemtheorie geworden. Die Begriffe Systemtheorie und Kybernetik werden in der Wissenschaft synonym verwendet.<sup>13</sup>

### 2.3 Systemtheorie

Die Systemtheorie entwickelte sich aus dem Wunsch heraus, die immer komplexer werdenden Probleme mit ganzheitlichen Ansätzen zu lösen. Im analytischen, mechanistischen Ansatz werden Probleme detailliert in ihre Einzelteile zerlegt und Lösungen für diese Probleme werden isoliert gesucht. Die Systemtheorie dagegen ist ein Ansatz, in dem es um Ganzheiten geht. Durch eine ganzheitliche Sichtweise der Probleme, ohne die Zusammenhänge zwischen den verschiedenen Einflussgrößen zu zerreißen, werden ganzheitliche Lösungen für ein Problem versucht zu erarbeiten.<sup>14</sup>

Als Begründer der Allgemeinen Systemtheorie gilt der österreichische Biologe Ludwig von Bertalanffy, dessen Anliegen es war, die systemtheoretischen Erkenntnisse seiner Untersuchungen, in denen er die Selbstregulationsfähigkeit offener biologischer Systeme untersuchte, fachübergreifend zu verallgemeinern.<sup>15</sup> Seit ihrer Veröffentlichung ist die Systemtheorie ausführlich diskutiert und in vielen Bereichen der Wissenschaft angewandt worden. Für bestimmte Bereiche der angewandten Wissenschaft ist sie zur Grundlage geworden. Die Begriffe Systemsteuerung, Systemforschung und Systemanalyse, die sich ähneln, sind zu Berufsbezeichnungen geworden. Unternehmen und Regierungen haben Abteilungen, Komitees oder zumindest Spezialisten für systemtheoretische Fragestellungen. Die Universitäten bieten Lehrpläne und Kurse an, um die Systemtheorie in die Ausbildung des Nachwuchses zu integrieren.<sup>16</sup>

Forrester versteht die Systemtheorie als die Wissenschaft der formalen Struktur und spricht ihr eine bedeutende Rolle zu. Nur mit einer integrativen Struktur sei es möglich, Informationen, die als Sammlung von Bruchstücken und Zufällen vorliegen, wirksam zueinander in Beziehung zu setzen und zu interpretieren. Er verwendet ein allgegenwärtiges Beispiel, um seinen Standpunkt zu verdeutlichen. Im alltäglichen Leben können

---

<sup>12</sup> Vgl. Wiener, Norbert (Menschmaschine, 1964), S. 63f.

<sup>13</sup> Vgl. Schwaninger, Markus (Systemtheorie, 2004), S. 4f.

<sup>14</sup> Vgl. Schade, Burkhard (System Dynamics, 2005), S. 20ff.

<sup>15</sup> Vgl. Lück, Wolfgang (Lexikon, 2004), S. 654ff.

<sup>16</sup> Vgl. Bertalanffy, Ludwig von (Allgemeine Systemtheorie, 1977), S. 235f.

Menschen aus gemachten Erfahrungen Aussagen über die Zukunft treffen. Dabei erbringen sie erlebte Tatsachen und gemachte Beobachtungen in eine Struktur, die die wechselseitigen Beziehungen zum Ausdruck bringen.<sup>17</sup>

Die allgemeine Systemtheorie ist als interdisziplinärer Theorieansatz zu betrachten. Die verschiedenen Bereiche der Wissenschaft nehmen verschiedene zweckgebundene Unterteilungen und vor und füllen die einzelnen Begriffe mit verschiedenen Inhalten. Der Begriff System wird bspw. in den unterschiedlichen Wissenschaftsdisziplinen unterschiedlich definiert.<sup>18</sup>

## 2.4 Systemarten

Systeme können in offene und geschlossene Systeme eingeteilt werden. Geschlossene Systeme werden auch Rückkopplungssysteme genannt. Ein offenes System ist dadurch charakterisiert, dass kein Zusammenhang zwischen den Inputs und Outputs des Systems existiert. Weiterhin beobachtet und reagiert ein offenes System nicht auf seinen Output. Das bedeutet, vorangegangene Aktionen beeinflussen zukünftige Aktionen nicht und haben somit keine Folgen für das System, sodass das System nicht rückkoppelnd auf das eigene Verhalten reagiert. Ein Beispiel für ein offenes System ist ein Kraftfahrzeug. Ein Kraftfahrzeug steuert sich nicht selbst aufgrund des Inputs Zielvorstellung und des Outputs zurückgelegte Strecke. Aber auch eine Uhr, die ihre Ganggenauigkeit nicht beobachtet und sich folglich auch nicht selbst reguliert, ist ein offenes System. Die Regulierung müsste von außen erfolgen.<sup>19</sup>

Ein geschlossenes System beeinflusst sein eigenes Verhalten infolge vorausgegangener Aktionen. Bei geschlossenen Systemen spricht man auch von Rückkopplungssystemen, Regelkreisen oder „feedback-loops“, wie sie im englischen Sprachraum bezeichnet werden. Ein Rückkopplungssystem hat die Struktur einer geschlossenen Schleife, in der die Ergebnisse vorangegangener Aktionen zur Kontrolle zukünftiger Aktionen benutzt werden. Beispielsweise ist das Heizungssystem eines Hauses ein Rückkopplungssystem. Das Thermostat reagiert auf die Raumtemperatur und kontrolliert dabei das Heizungssystem, sodass eine von außen festgelegte Temperatur erreicht wird. Dazu vergleicht das Ther-

---

<sup>17</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 11.

<sup>18</sup> Vgl. Niehaus, F. et al. (System Dynamics, 1972), S. 3f.

<sup>19</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 15.

mostat den Ist-Wert der Raumtemperatur mit dem eingestellten Sollwert, sodass bei Bedarf die Heizungsanlage in Betrieb gesetzt wird, damit die gewünschte Raumtemperatur erreicht wird.<sup>20</sup>

Offene und geschlossene Systeme werden in der Literatur auch nach dem Interaktionsgrad mit der Umwelt klassifiziert. Offene Systeme stehen demnach in Kontakt mit ihrer Umgebung, während geschlossene Systeme keinen Kontakt mit ihrer Umwelt haben.<sup>21</sup> Es hängt allein vom Standpunkt des Betrachters bei der Definition des Systemzweckes ab, ob ein System als ein geschlossenes oder offenes System klassifiziert wird. Den Kern von System Dynamics bildet das Entdecken und Aufzeigen von Rückkopplungsprozessen.<sup>22</sup> Im späteren Kapitel 3.4.1 werden Rückkopplungssysteme näher erläutert.

## 2.5 Systematisches Denken

Der Mensch ist unfähig dynamische, komplexe Probleme mit einfachem linearem Denken zu lösen. Problemlösungsversuche können zu Nebenwirkungen führen, die dem System einen größeren Schaden hinzufügen. Um komplexe Systeme zu verstehen, wird eine nicht-lineare Art des Denkens benötigt, die es den Menschen ermöglicht auch Probleme zu verstehen, wenn Ursache und Wirkung nicht innerhalb von Zeit und Raum in enger Beziehung stehen. Die nicht-lineare Art des Denkens wird unter dem Begriff „systems thinking“ charakterisiert. Forrester nennt das Phänomen „counterintuitive behaviour of social systems“.<sup>23</sup> In der Literatur gibt es keine eindeutige Definition des Begriffes. Senge definiert „system thinking“ als eine Disziplin, die den Menschen eine ganzheitliche Betrachtungsweise von Dingen ermöglicht.<sup>24</sup>

Viele Verfechter des „systems thinking“ sehen es als die Fähigkeit, die Welt als ein komplexes System zu sehen, in der man nicht einfach eine Entscheidung trifft und davon ausgehen kann, dass diese keine Auswirkungen auf andere Dinge haben wird. Nach deren Sichtweise ist alles miteinander vernetzt. Der Biologe Lewis Thomas verdeutlicht die Sichtweise über „systems thinking“ mit folgenden Aussagen: Ist man mit einem komplexen System konfrontiert, in welchem Teile existieren, mit denen man nicht zufrieden ist, so dürfe man nicht hingehen und einen Teil des Systems verändern ohne dass das Risiko

---

<sup>20</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 16.

<sup>21</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 9ff und Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S.15ff.

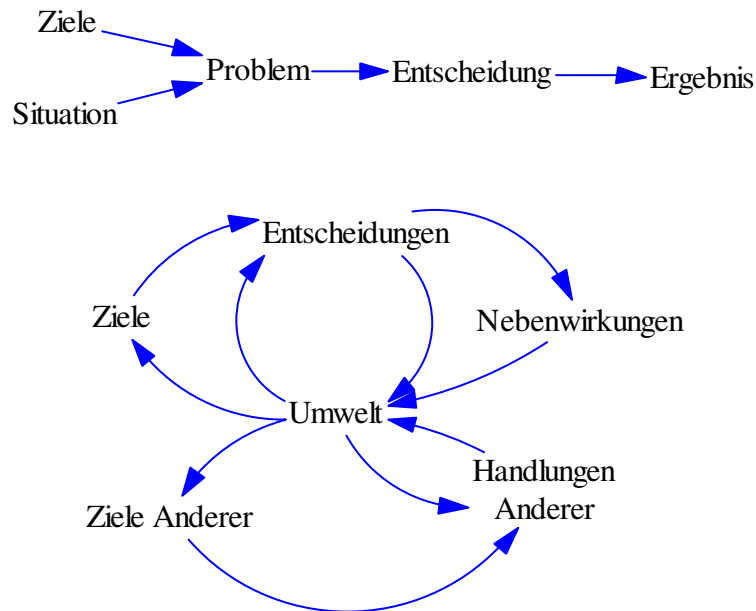
<sup>22</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 12.

<sup>23</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S 4ff.

<sup>24</sup> Vgl. Ossimitz, G. (Systematisches Denken, 1998) und Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 29ff.

entsteht, dass sich diese Veränderungen auf die anderen Teile des Systems auswirken werden. Um das System zu verbessern, muss man zunächst das ganze System verstehen.<sup>25</sup>

Abbildung 1: Ereignisorientierte vs. Ganzheitliche Betrachtungsweise



Quelle: in Anlehnung Stermann, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 10f.

Eine ereignisgesteuerte Weltanschauung führt zu einem ereignisgesteuerten Ansatz der Problemlösung, was in der Abbildung 1 anschaulich dargestellt ist.<sup>26</sup> Als Beispielfall betrachten wir ein Unternehmen, dessen Ziel es war, im vergangenen Jahr einen Umsatz von 100 Millionen Euro zu erzielen. Das Unternehmen erreichte jedoch einen Umsatz von 80 Millionen Euro. Das Problem ist, dass das Unternehmen 20 % weniger Umsatz erwirtschaftet hat als erwünscht. Es gibt viele Möglichkeiten, um das Problem zu lösen. Mit der Strategie der Preissenkung versucht das Unternehmen das Problem zu lösen, aber das System der Marktwirtschaft reagiert. Die Wettbewerber senken auch ihre Preise und „Yesterdays solution becomes today’s problem“<sup>27</sup> Es existieren Rückkopplungen, die unser Handeln determinieren und auch festlegen, welchen Ereignissen jemand in der Zukunft gegenüberstehen wird. Eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Dinge ist notwendig, damit man das ganze System verstehen kann. Abbildung 1 veranschaulicht diese ganzheitliche Betrachtungsweise.

Richmond erklärt das systematische Denken mit folgendem Beispiel: Wenn eine gebildete Person nach dem Problem der Überbevölkerung gefragt wird, wird er meistens die fol-

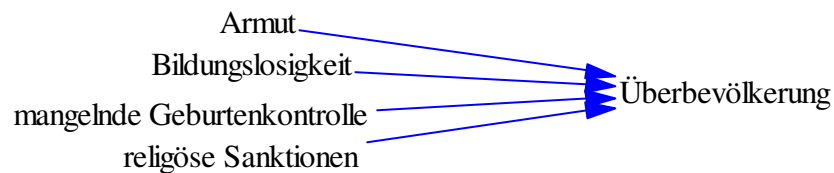
<sup>25</sup> Vgl. Stermann, John D. (Business Dynamics, 2004), S 4ff.

<sup>26</sup> Vgl. Stermann, John D. (Business Dynamics, 2004), S 4ff.

<sup>27</sup> Vgl. Stermann, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 10.

gende additive Liste von Argumenten aufführen. Die Menschen sehen die Überbevölkerung als ein Resultat von den in Abbildung 2 aufgelisteten Ursachen, die sich kumulativ auf die Bevölkerung auswirken. Er bezeichnet das systematische Denken als „Systems thinking paradigm“, der Gegensatz zu additivem Denken.<sup>28</sup>

Abbildung 2: Lineare Denkweise

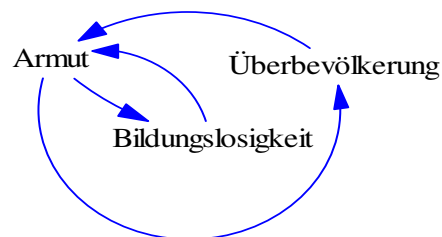


Quelle: in Anlehnung Richmond, B. (Systems Thinking, 1993), S. 117.

Hinter der kumulativen Liste von Argumenten stehen nach Richmond folgende Annahmen:

- Jedes Argument liefert einen Beitrag zur Überbevölkerung und jede der Kausalitäten läuft nur in eine Richtung
- Jeder Faktor wirkt unabhängig von den Anderen.
- Die Stärke des Einflusses jedes Faktors ist fest vorgegeben.
- Nur durch Vorzeichen wird die Art des Einflusses angegeben: entweder ist die Wirkung positiv oder negativ.<sup>29</sup>

Abbildung 3: Systems Thinking Paradigm



Quelle: in Anlehnung Richmond, B. (Systems Thinking, 1993), S. 118.

Die Abbildung 3 zeigt das „Systems thinking Paradigm“ von Richmond. Zwischen den einzelnen Faktoren, die das Überbevölkerungsproblem verursachen, existieren zirkuläre

<sup>28</sup> Vgl. Richmond, Barry (Systems Thinking, 1993), S. 117.

<sup>29</sup> Vgl. Richmond, Barry (Systems Thinking, 1993), S. 117f.

Zusammenhänge. Systeme werden nicht mehr als statische Ursache-Wirkungsgebilde, sondern als vernetzte, kontinuierliche und dynamische Gebilde gesehen.<sup>30</sup>

Forrester hat eine differenziertere Sichtweise über das systematische Denken als Richmond. Er sieht „system thinking“ als einen guten Ansatz, um auf die Existenz und die Bedeutsamkeit von Systemen aufmerksam zu machen. Das systematische Denken könne als Bewusstseinsinstrument für ein tieferes Systemverständnis und damit für System Dynamics wirken. Dabei müsse man sich bewusst sein, dass man mit „systems thinking“ Systeme und ihre Verhaltensweisen nicht vollkommen verstanden hat. „Some people feel they have learned a lot from systems thinking, but they have gone less than 5 percent of the way toward a genuine understanding of systems. The other 95 percent lie in the rigorous system dynamics-driven structuring of these models and in the simulations based on those models.“<sup>31</sup>

---

<sup>30</sup> Vgl. Richmond, Barry (Systems Thinking, 1993), S. 118.

<sup>31</sup> Vgl. Forrester (Interview, 1992), S. 12f.



## 3 System Dynamics

### 3.1 Historie

Die Vorgeschichte von System Dynamics beginnt 1940, als Jay W. Forrester an der MIT als Forschungsassistent von Gordon S. Brown eingestellt wird. Brown, der damalige Pionier auf dem Forschungsgebiet der Rückkopplungs-Theorien, und Forrester, entwickelten an dem „MIT Servomechanisms“ Laboratorium für die amerikanische Armee militärische Ausrüstungen. Während des 2. Weltkrieges entwickelten sie Servomechanismen zur Steuerung der Radarantennen und Waffenaufhängungen und weitere zahlreiche Erfindungen zur Steuerung rückgekoppelter Systeme, die während des Zweiten Weltkrieges von der US-Army militärisch verwendet wurden.<sup>32</sup>

Nach dem 2. Weltkrieg wird Forrester von seinem Mentor Brown das Projekt auferlegt, einen Flugsimulator für die US-Navy zu entwickeln. „It has to be rather like an elaborate aircraft pilot trainer. However it was to be precise enough to take wind tunnel data from a model of a proposed and predict the behaviour of the full-scale plane before construction.“<sup>33</sup> Für das Projekt wurde 1947 unter der Führung Forresters an dem „MIT Digital Computer“ Laboratorium der erste digitale Computer der MIT entwickelt, der Whirlwind genannt wurde. Forrester und seine Mitarbeiter führten mit ihrem digitalen Computer zahlreiche Projekte für die US-Air Force durch. Auf der Basis der Zusammenarbeit mit diesen Behörden wurde das „MIT Lincoln“ Laboratorium für Luftverteidigungsforschung gegründet. In dieser wissenschaftlichen Einrichtung führte Forrester eine Abteilung, die ein Luftabwehrsystem namens Semi-Automatic Ground Environment für Nordamerika entwickelte. Das Luftabwehrsystem war über 25 Jahre im Betrieb und arbeitete mit einer Auslastung von 99,8 % und gilt damit als eines der effizientesten Systeme, das je etabliert wurde.<sup>34</sup>

Die eigentliche Geschichte von System Dynamics beginnt im Jahr 1956, in dem Forrester durch James Kilian, den damaligen Präsidenten des MIT, angeregt wird, seine Forschungen an der MIT Sloan School of Management fort zu setzen. Die Sloan School wurde 1952 durch die 10 Millionen Dollar Stiftung von Alfred P. Sloan Jr. gegründet. Sie wurde von

---

<sup>32</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 5f.

<sup>33</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 6.

<sup>34</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 6ff.

Alfred Sloan mit der Erwartung gestiftet, dass eine Management­schule im technischen Umfeld neue und wichtige Entwicklungen mit sich bringen würde als die herkömmlichen Management­schulen wie Harvard oder Columbia.<sup>35</sup> Forrester sah die Chance seine bisherigen Erfahrungen auf dem Gebiet der Computerwissenschaft und Regelungstechnik, die er an der MIT gesammelt hatte, mit den Wirtschaftswissenschaften zu kombinieren. Er hatte die Absicht, mögliche Verbindungen zwischen Technik und Managementausbildung zu finden und diese zu entwickeln.<sup>36</sup>

Die Initiierung von System Dynamics waren die Gespräche Forresters mit General Electric Mitarbeitern. Die Mitarbeiter konnten sich Schwankungen in der Produktion und Beschäftigung eines Zulieferbetriebes in Kentucky nicht erklären. Nachdem Forrester von den Mitarbeitern in Erfahrung gebracht hatte, wie Personal- und Warenbestandsentscheidungen getroffen wurden, simulierte er mit Bleistift und Papier, wie sich diese Entscheidungen auf den Warenbestand auswirkten. Er untersuchte das Problem unter der Vorbedingung, dass ein Betrieb ein System ist, in dem Informationen, Materialien, Mitarbeiter oder Kapital als Ströme fließen. Diese Informationsflüsse können mathematisch beschrieben, berechnet und simuliert werden. Dieses erste papiergestützte Warenbestandskontrollsystem war der Beginn von System Dynamics, das in seiner Entstehungszeit als Industrial Dynamics bezeichnet wurde.<sup>37</sup>

Forrester veröffentlichte 1958 in der Harvard Business Review den Artikel "Industrial Dynamics - A Major Breakthrough for Decision Makers", der erste Artikel, der sich mit System Dynamics beschäftigte.<sup>38</sup> Seinen ursprünglichen Ansatz, ein Unternehmen als ein System zu sehen, in den Informationen, Materialien, Mitarbeiter oder Kapital als Ströme fließen, erweiterte Forrester in den Folgejahren zu einer modellbasierten Theorie der Unternehmung.<sup>39</sup>

Der in der Harvard Business Review veröffentlichte Artikel bildete die Grundlage für sein im 1961 veröffentlichtes Buch Industrial Dynamics.<sup>40</sup> Hier definierte er Industrial Dynamics als "[...] the study of the informationfeedback characteristics of industrial activity to

---

<sup>35</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 10f.

<sup>36</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (erste Dekade, 1975 ), S. 73.

<sup>37</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 11f.

<sup>38</sup> Vgl. Sterman, John D. (SD at fifty, 2007), S. 89.

<sup>39</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Breakthrough, 1978), S. 42ff.

<sup>40</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. IX.

show how organizational structure, amplification (in policies), and time delays (in decision and actions) interact to influence the success of the enterprise. It treats the interactions between the flows of information, money, orders, materials, personnel, and capital equipment."<sup>41</sup> In diesem Buch führt er die Industrial Dynamics explizit auf das Prinzip der Rückkopplungen und auf die Automatisierung und Simulation militärischer Systeme mit Digitalcomputern zurück.<sup>42</sup>

In den Folgejahren veröffentlichte er mit "Principles of Systems", mit der deutschen Übersetzung „Grundzüge einer Systemtheorie“, ein Lehrbuch über System Dynamics.<sup>43</sup>

Durch den damaligen Bürgermeister von Boston John F. Collins angeregt, begann Forrester im Jahre 1968 sich für Probleme der Stadtentwicklung zu interessieren. Die Ergebnisse aus der Arbeit mit Collins veröffentlichte er 1969 in seinem Buch Urban Dynamics, in dem staatliche Entscheidungsrichtlinien im Zusammenhang mit urbaner Armut untersucht wurden. Durch die Simulation konnte festgestellt werden, dass die schädlichste Strategie für Städteentwicklung die Subvention von Sozialwohnungen war, was zu der damaligen Zeit die gängige Strategie der Stadtentwicklung war. Durch den Bau von kostengünstigen Wohnungen in den Innenstädten wurde das Land, das für den Bau von arbeitsplatzschaffenden Strukturen hätte verwendet werden können, besetzt. Diese Strategie brachte eine Sozialfalle, „social trap“, hervor, die die Arbeitslosigkeit erhöhte und die ökonomische Vitalität der Stadt und der einzelnen Bewohner verringerte, was die Lebensbedingungen in den Städten verschlechterte und nicht, wie zunächst beabsichtigt, verbesserte. Forrester löste mit seinen unkonventionellen Strategien für die Kommunalpolitik heftige Diskussionen über System Dynamics Modelle und ihre Aussagekraft aus. Das Buch löste große Kontroversen aus. „I don't care whether you are right or wrong, the results are unacceptable.“ “It doesn't make any difference whether you're right or wrong, urban officials and the residents of the inner city will never accept such ideas.“ Obwohl die ersten Reaktionen auf die Ergebnisse diesen ablehnenden Charakter hatten, kam es in den Folgejahren zu einer allgemeinen Akzeptanz der Ergebnisse.<sup>44</sup>

---

<sup>41</sup> Vgl. Forrester; Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S.13.

<sup>42</sup> Vgl. Forrester; Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S.13ff.

<sup>43</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 30.

<sup>44</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Urban Dynamics, 1976), S. IX , S. 9ff, S. 115ff und Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 15ff.

Mit *Urban Dynamics* hatte Forrester die Aufmerksamkeit vieler Wissenschaftler auf sich gezogen. Das Buch initiierte die Bekanntschaft Forresters mit dem Industriellen Aurelio Picci, Gründer des Club of Rome. Diese Bekanntschaft machte den Weg frei, *Industrial Dynamics* auf ein weiteres Anwendungsgebiet, das Weltmodell, zu erweitern. 1968 entwickelte Forrester am MIT das World I-Modell. Das vom Club of Rome diskutierte Problem „World-Problematique“ bildete die Grundlage für das Modell. 1971 veröffentlichte Forrester mit *World Dynamics World I*, was das erste globale Weltmodell war. Das Buch zeigte die Wechselwirkungen zwischen Faktoren wie Bevölkerung, industriellem Wachstum, Nahrungsmittelproduktion und deren Einfluss auf das Ökosystem der Erde. Forrester nannte die Methode in *System Dynamics* um, um die Inkonsistenz zwischen dem Namen und den Anwendungen zu beseitigen. Somit hatte die vom Forrester erfundene Methode seinen endgültigen Namen.<sup>45</sup>

Dennis Meadows, der damalige Leiter der MIT System Dynamics Group und ein früherer Student von Forrester, verbesserte Forresters World-I-Modell zum World-III Modell. Im Frühjahr 1972 wurden die Ergebnisse des World-III-Modells in dem Buch „Grenzen des Wachstums“ veröffentlicht. Das Buch wurde zum millionenfachen Bestseller. Mit den Arbeiten von Meadows und seinen Kollegen an der MIT wurde *System Dynamics* immer populärer.<sup>46</sup>

Forrester begann in den 70er Jahren das Projekt *National Model*, die amerikanische Wirtschaft modellhaft abzubilden. Das Modell sollte nicht nur auf der Grundlage von numerischen Daten und Statistik entstehen, vielmehr sollte es zudem noch die makro- und mikroökonomische Entwicklung in den USA auf der Grundlage empirischen Daten abbilden.<sup>47</sup>

In den 80er Jahren engagierte sich Forrester wie sein Mentor Gordon S. Brown für den Einsatz von *System Dynamics* in Erziehung und Ausbildung. Seitdem arbeitet er am *National Model Project* und ist Direktor des 1990 initiierten Projektes *System Dynamics in Education (SDEP)* am MIT.<sup>48</sup>

---

<sup>45</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), S. 13f und Bossel, H. (Weltmodell, 2006), S. 9f.

<sup>46</sup> Vgl. Bossel, H. (Weltmodell, 2006), S. 9f und o. V. (Club of Rome).

<sup>47</sup> Vgl. Forrester; Jay W. (Autobiography, 2000), S. 20f.

<sup>48</sup> Vgl. Forrester, Jay. W. (K-12 teachers, 1997), S. 4ff, Forrester; Jay W. (Autobiography, 2000), S. 21ff und Forrester, Jay W. (Interview, 1992), S. 18.

In den 80er Jahren wurde die „System Dynamics Society“ ins Leben gerufen, die als Forum für die Weiterentwicklung und Anwendung von System Dynamics fungieren sollte. Sie war aus dem Bedürfnis heraus entstanden, da man Akademiker, die sich mit System Dynamics beschäftigten, zu einem regelmäßigen Meinungsaustausch auf Kongressen zusammenzubringen und ein internationales Netzwerk von System Dynamics Praktikern aufzubauen.<sup>49</sup> Die „System Dynamics Society“ mit ihrer Zentrale an der University of Albany in New York rief 1985 die Fachzeitschrift „System Dynamics Review“ ins Leben.<sup>50</sup> Das Kommunikationsforum hat sich inzwischen zu einer weltweit professionellen Infrastruktur etabliert. Mit ihren Mitgliedern in 55 Ländern stellt die Society einem Forum zur Verfügung, in welchem Forscher, Lehrende, Berater und Praktiker in kommerziellen und öffentlichen Sektor interagieren und mit ihren Arbeiten aktuelle Entwicklungen aufzeigen.<sup>51</sup>

An vielen Universitäten sind Lehrstühle für System Dynamics etabliert, in denen System Dynamics auf unterschiedlichen Leistungsebenen gelehrt wird. Beratungsfirmen wie McKinsey, Andersen Consulting oder Price WaterhouseCoopers sind bestrebt, System Dynamics als kommerzielles Instrumentarium in Unternehmen einzusetzen. Zu der kommerziellen Anwendung von System Dynamics sind auch unternehmensinterne Projekte bekannt. Unternehmen wie Royal Dutch Shell, BBC World Services oder BMW beschäftigen sich mit System Dynamics.<sup>52</sup>

### 3.2 Anwendungsgebiete

Industrial Dynamics ist unter der Prämisse entstanden, um komplexe betriebswirtschaftliche Vorgänge zu beschreiben und diese modellhaft miteinander zu verbinden. Erfolge führten dazu, die Methode mit Urban Dynamics auf städtischem Wachstum und mit World Dynamics und Grenzen des Wachstums auf Weltmodelle anzuwenden. Das National Model, mit dem Forrester die amerikanische Wirtschaft simulierte, war eine weitere volkswirtschaftliche Anwendung der Methode. Die Anwendung des System Dynamics in der Erziehung und Ausbildung wurde auch von Forrester initiiert.

---

<sup>49</sup> Die Internetadresse der 'System Dynamics Society' lautet: <http://www.systemdynamics.org/index.html>

<sup>50</sup> Die System Dynamics Review erscheint vierteljährlich bei Wiley InterScience. Vgl. online unter: <http://www.systemdynamics.org/publications.htm/SystemDynamicsReview>

<sup>51</sup> o. V. (What is System Dynamics, 2008).

<sup>52</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 9ff.

Neben den Anwendungsgebieten, die im vorherigen Kapitel aufgeführt wurden, gibt es noch zahlreiche andere Anwendungsgebiete. System Dynamics ist so allgemein, sodass der zu untersuchende und modellierende Sachverhalt nahezu beliebig gewählt werden kann. Betriebliche, volkswirtschaftliche und soziökonomische Themen lassen sich genauso abbilden, wie naturwissenschaftliche Zusammenhänge. Inzwischen wird System Dynamics erfolgreich zur Untersuchung auf sehr unterschiedlichen Gebieten wie Unternehmensentwicklung, Medizin, Energieversorgung, Volkswirtschaften, Managementtraining sowie Pädagogik herangezogen.<sup>53</sup>

Zu den betriebswirtschaftlich praxisbezogenen Anwendungsbereichen der Methode zählen Szenarioanalysen, Nachhaltigkeitsbetrachtungen, strategische Unternehmensplanung, strategisches Asset Management und Operations Research. Zur Unterstützung von Entscheidungsprozessen im strategischen und operativen Management und zur Darstellung und Optimierung von Prozessabläufen im Bereich Qualitätsmanagement, Risikomanagement, Produktionsmanagement, Supply Chain Management und Projektmanagement wird die Methode auch eingesetzt.<sup>54</sup>

### 3.3 Grundlagen von System Dynamics

System Dynamics wurde als eine Management-Disziplin entwickelt, um zu verstehen, wie Entscheidungen zum Erfolg oder Misserfolg in Unternehmen führen. Forrester sah die Aufgabe des Managements als Aufgabe der Planung und Kontrolle eines industriellen Systems, also eines Unternehmens. Unternehmerischer Erfolg hänge von den Interaktionen zwischen den Informations-, Bestell-, Material-, Geld-, Personal-, und Kapitalflüssen des Systems ab. Mit System Dynamics wurde eine Systemanalyse-Methode entwickelt, mit der die Interaktionen zwischen den Teilen eines Management Systems im Zeitverlauf analysiert werden konnte.<sup>55</sup> Forrester definiert in seinem Buch „Industrial Dynamics“ die Methode folgendermaßen: „Industrial dynamics is the study of the information-feedback characteristics of industrial activity to show how organizational structure, amplification (in policies), and time delays (in decision and actions) interact to influence the success of the enterprise. It treats the interactions between the flows of information, money, orders, materials, personnel, and capital equipment in a company, an industry or a national com-

---

<sup>53</sup> Vgl. Sterman, John D. (SD at fifty, 2007), S. 90 und Bernhard J. Angerhofer, B. J. / Angelides, M. C. (System Dynamics, 2000), S. 342.

<sup>54</sup> o. V. (Anwendungsgebiete, 2007).

<sup>55</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 8ff.

pany.”<sup>56</sup> Sterman sieht System Dynamics als eine Methode, die das Verstehen von komplexen Systemen fördert. Genauso wie Fluglinien Flugsimulatoren einsetzen, um Piloten auszubilden, könne System Dynamics als Management-Flug-Simulator eingesetzt werden, um dynamische Komplexität zu verstehen und effektive Strategien zu planen.<sup>57</sup>

Forrester wollte mit der Entwicklung der Methode eine ganzheitliche Analyse und Simulation komplexer dynamischer Systeme erreichen. System Dynamics sollte es ermöglichen, komplexe, betriebswirtschaftliche Vorgänge zu beschreiben und modellhaft miteinander zu verbinden, welche in seinen Augen die fehlende Praxisorientierung der Management Ausbildung Abhilfe schaffen sollte.<sup>58</sup>

### 3.4 Grundsäulen von System Dynamics

Die Entstehung von System Dynamics wurde erst durch Erfindungen der 40er Jahre in den USA ermöglicht, die das Produkt der militärischen Systemforschung waren. Die Theorie der Information-Rückkopplungs-Systeme, Wissen über automatisierte Entscheidungsfindungsprozesse, den experimentellen Modellansatz zur Systemanalyse und die Entwicklung digitaler Computer zur realistischen Simulation von mathematischen Systemen sind die vier Grundsäulen von System Dynamics.

#### 3.4.1 Die Informations-Rückkopplungs-Theorie

Die erste und wichtigste Erfindung für System Dynamics war das Konzept von Servomechanismen, die während und nach dem Zweiten Weltkrieg benötigt wurden. Vor dieser Erfindung war das Wissen über die Auswirkungen von Verzögerungen, Verstärkungen und Struktur auf das dynamische Verhalten von System sehr begrenzt. Nach diesem Erkenntniszugewinn wurde festgestellt, dass die Interaktionen zwischen den Systemkomponenten wichtiger sein können als die Komponenten selber. Die Informations-Rückkopplungs-Theorie bildet den Kern von System Dynamics, denn in System Dynamics wird davon ausgegangen, dass das Verhalten eines komplexen Systems in erster Linie von Rückkopplungen zwischen einzelnen Elementen des Systems bestimmt wird. Eine Rückkopplung existiert immer dann, wenn das Umfeld zu Entscheidungen führt, die Auswirkungen auf andere Systemelemente haben und diese wiederum die eigenen zu-

---

<sup>56</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 13 und Bossel, H. (Weltmodell, 2006) S 8f.

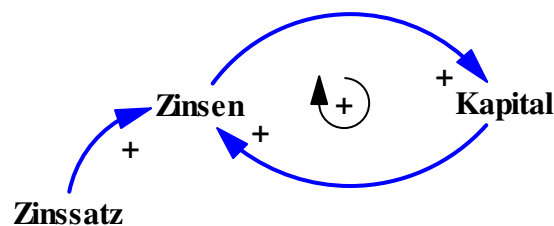
<sup>57</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 4.

<sup>58</sup> Vgl. Forrester, J. W (Industrial Dynamics, 1961), S. 1ff und Bossel, H. (Weltmodell, 2006) S. 9.


künftigen Entscheidungen beeinflussen.<sup>59</sup> Es gibt zwei Arten von Rückkopplungen - positive und negative. In Rückkopplungsschleifen können Verzögerungen und Verzerrungen auftreten und viele Schleifen können miteinander verbunden sein.<sup>60</sup>

Positive Rückkopplungsschleifen erzeugen positive, eskalierende Wachstums- oder Schrumpfungsprozesse. Aktionen innerhalb der Schleife führen zu Ergebnissen, die weitere Aktionen mit noch größeren Wirkungen auslösen. Das System neigt zur Explosion oder zum Niedergang.<sup>61</sup> Das allgegenwärtig bekannte Phänomen des Wettrüstens während des Kalten Krieges zwischen der Sowjetischen Union und der NATO ist ein Beispiel für eine positive Rückkopplung. Je mehr Atomwaffen die NATO baute, desto mehr baute die SU, was wiederum dazu führte, dass die NATO noch mehr baute.<sup>62</sup>

Abbildung 4: Kapitalverzinsung - positive Rückkopplung



Quelle: in Anlehnung Ossimitz, G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).

In der Abbildung 4 ist ein weiteres Beispiel für die positive Rückkopplungsschleife dargestellt. Bei der Kapitalverzinsung beeinflussen sich Kapital und Zinsen sich jeweils positiv. Je höher das Kapital steigt, desto mehr werden die Zinsen. Die immer mehr werdenden Zinsen werden auf dem Kapital zugebucht. Es bildet sich eine Rückkopplungsschleife, die prinzipiell unbeschränktes Wachstum mit sich bringt. Positiven Rückkopplungsschleifen werden in der Regel durch das Symbol  gekennzeichnet. In der Literatur gibt es auch noch andere Symbole für diese Art von Rückkopplungsschleifen.<sup>63</sup>

Negative Rückkopplungsschleifen sind zielsuchend. Sie reagieren auf Zielabweichungen und schwanken um einen Zielwert. Zielsuchende Feedback-Systeme wirken tendenziell jeder Änderung entgegen, um Abweichungen zwischen dem Soll- und Ist-Wert zu redu-

<sup>59</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 14.

<sup>60</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 19ff.

<sup>61</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 15f.

<sup>62</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 12.

<sup>63</sup> Vgl. Ossimitz G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).



zieren. Sie führen Systeme zu einem konstanten Zustand, weshalb sie auch als stabilisierende Rückkopplungsschleifen bezeichnet werden.<sup>64</sup> Das bereits erwähnte Beispiel, die Arbeitsweise eines Heizungsthermostats, stellt eine einfache negative Rückkopplung dar. Der Thermostat überwacht permanent die Raumtemperatur. Tritt eine Abweichung von der gewünschten Temperatur auf, führt die negative Rückkopplungsstruktur eines Thermostaten eine Änderung der Temperatur herbei. Dies führt wiederum dazu, dass der Thermostat eine andere Temperatur misst. Die Prozedur wird solange wiederholt, bis die gewünschte Temperatur erreicht ist.<sup>65</sup>


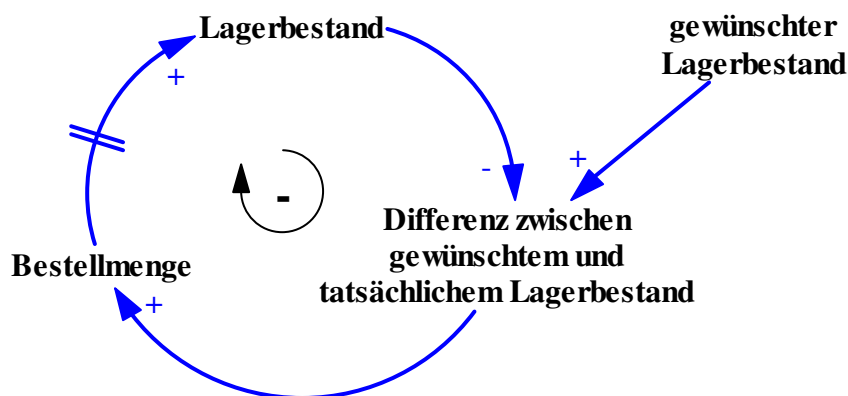
Die in der Abbildung 5 dargestellte Lagerhaltung in einem Betrieb ist ein gutes Beispiel für eine negative Rückkopplungsschleife. Ein gewünschter Lagerbestand wird definiert und der aktuelle Lagerbestand wird gemessen. Die Differenz zwischen diesen beiden Größen, also zwischen Soll- und Ist-Bestand, wird ermittelt. Diese Differenz wird dann bestellt. Die Bestellmenge erhöht den aktuellen Lagerbestand zeitverzögert. Die Verzögerung ist durch die Gleichheitszeichen auf dem Pfeil zwischen der Bestellmenge und dem Lagerbestand gekennzeichnet.<sup>66</sup> Diese Arten von Rückkopplungen werden durch das Zeichen  angezeigt.<sup>67</sup>

Abbildung 5: Lagerhaltung - negative Rückkopplung



Quelle: in Anlehnung Schade, Burkhard (System Dynamics), S. 29.

Obwohl nur diese zwei Arten von Rückkopplungen existieren, können größere Systeme mehrere tausende solcher Rückkopplungsschleifen beider Arten mit multiplen Zeitverzögerungen

<sup>64</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 15f.

<sup>65</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 16.

<sup>66</sup> Vgl. Schade, Burkhard (System Dynamics), S. 29f.

<sup>67</sup> Vgl. Ossimitz G. (Untersuchung vernetzter Syxsteme, 1999).

rungen und Nichtlinearitäten beinhalten. Bei solchen Arten von Systemen ist es schwer, das Systemverhalten vorherzusagen.<sup>68</sup>

### 3.4.2 Automatisierte Entscheidungsfindung

Die zweite Erfindung für System Dynamics ist das Wissen über automatisierte Entscheidungsfindungsprozesse, die sich in den 50er Jahren aus der Forschung zur Planung von Militärstrategien entwickelten. Militärische Bedürfnisse führten nicht nur Erfindungen von Instrumenten wie Flugzeuge oder digitale Computer, sondern Methoden wie die automatisierte Entscheidungsfindungsprozesse zu entwickeln. Die beschleunigte und immer komplexer werdende Art der Kriegsführung brachte das Bedürfnis hervor, sich von dem Ansatz der taktischen Entscheidungsfindung, die sich für kurzfristige Operationen eignete, zum Ansatz der strategischen Entscheidungsfindung zu wechseln, mit der sich langfristige Strategien entwickeln und testen ließen.<sup>69</sup>

Aufgrund des schnellen technischen Fortschritts wird in Analogie im unternehmerischen Kontext der Ansatz einer fokussierten Sichtweise von strategischer Entscheidungsfindung notwendiger als der Ansatz kurzfristiger Entscheidungsfindungsprozesse für alltägliche Probleme eines Unternehmens. Die Beschreibung von möglichen Alternativen und Strategien, der Art, wie taktische Entscheidungen getroffen werden und die mathematische Formulierung der Entscheidungsprozesse bilden den Kern der Theorie der automatisierten Entscheidungsfindungsprozesse.<sup>70</sup>

In diesem Kontext müssen die Begriffe Entscheidungsrichtlinien, Policies, und Entscheidungen, decisions, differenziert werden. Forrester unterscheidet die Begriffe policy und decisions folgendermaßen:

Eine Policy ist eine Richtlinie, die vorgibt, wie alltägliche Entscheidungen getroffen werden. Dagegen sind Entscheidungen Aktionen, die zu einer bestimmten Zeit ausgeführt werden und Ergebnisse der Anwendung der Richtlinien sind.<sup>71</sup>

---

<sup>68</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 14ff.

<sup>69</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 17.

<sup>70</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 17.

<sup>71</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 93.

### 3.4.3 Die Computersimulation

Die dritte Erfindung für System Dynamics ist die Erfindung vom experimentellen Modellansatz zur Systemanalyse - die Computersimulation. Diese ermöglicht ein grundlegendes Verständnis über das Verhalten von komplexen Systemen.<sup>72</sup>

Computersimulation im unternehmerischen Kontext bedeutet, dass alle Geschäftsprozesse einer Unternehmung in einen digitalen Computer eingegeben werden. Der Computer generiert auf der Grundlage von Beschreibungen und Annahmen über das Unternehmen, wie sich die Finanzen, das Personal und die Produkte usw. entwickeln würden. Unterschiedliche Management-Strategien und Markterwartungen können dadurch simuliert werden. Dabei kann festgestellt werden, welche Auswirkungen diese unterschiedlichen Szenarien auf das Unternehmen haben können.<sup>73</sup>

### 3.4.4 Entwicklung digitaler Computer

Die vierte Erfindung für System Dynamics war die Erfindung von digitalen Computern, die in der zweiten Hälfte von 1950er Jahren generell verfügbar waren. Mit der Entwicklung von immer leistungsfähigeren Computern wurde es überhaupt möglich und in späteren Jahren immer einfacher, komplexe System Dynamics Modelle abzubilden. Mit der Anwendung von digitalen Computern wurde es möglich, auch nicht-lineare mathematische Beziehungen zwischen den Elementen zu verarbeiten. Mittlerweile werden selbst Modelle mit mehreren hunderttausend Gleichungen mit geringem Zeitaufwand simuliert.<sup>74</sup>

## 3.5 Modellierungsprozess

In der Literatur gibt es eine Reihe von Vorgehensweisen für das Entwerfen von System Dynamics Modellen. Diese Vorgehensweisen haben in ihrer Grundstruktur viele Ähnlichkeiten. Forrester empfiehlt einen sechsphasigen Modellierungsprozess, nachdem System Dynamics Modelle erstellt werden sollten.<sup>75</sup> Coyle erweiterte Forresters Vorgehensweise um einen Schritt, der Erstellung eines Kausaldiagrammes.<sup>76</sup> Bossel schlägt einen fünfphasigen Modellierungsprozess vor, wonach System Dynamics Modelle entworfen

---

<sup>72</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 17f.

<sup>73</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Breakthrough, 1978), S. 40.

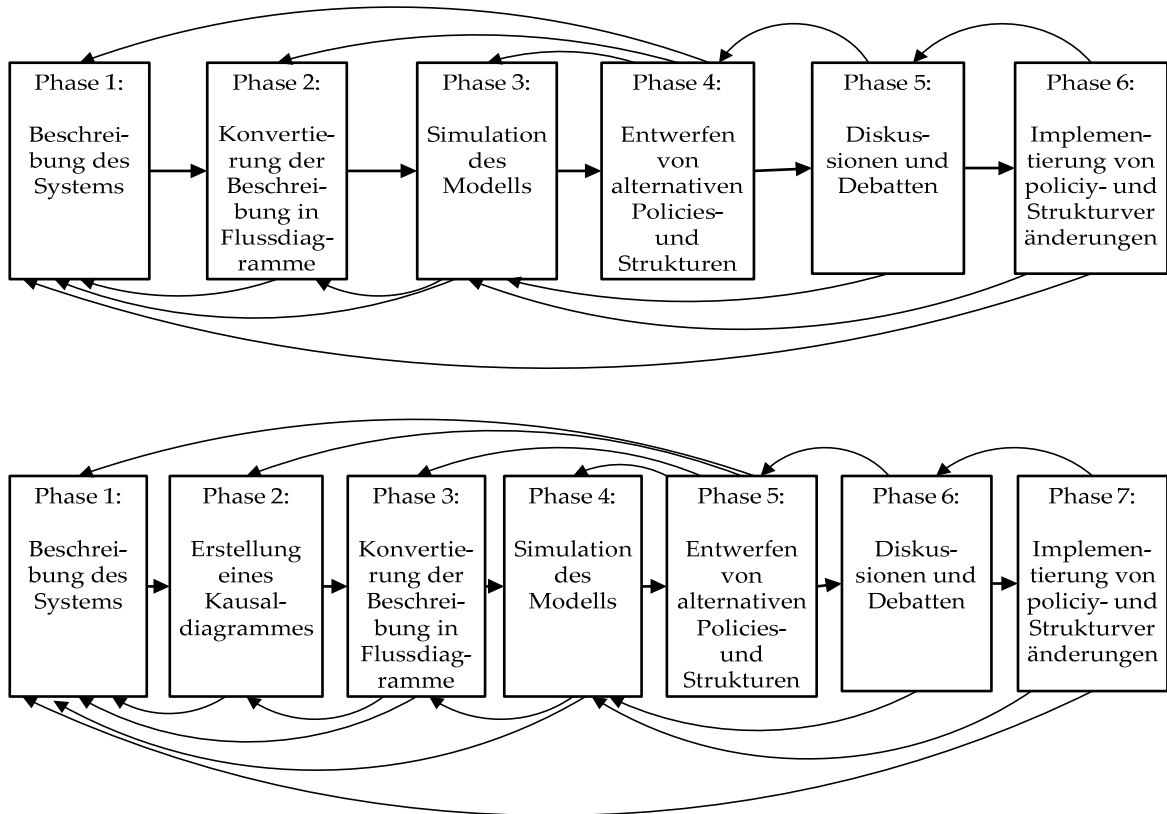
<sup>74</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 18f.

<sup>75</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 1ff.

<sup>76</sup> Vgl. Coyle, R. D. (System Dynamics, 1996), S. 14f.

werden sollen.<sup>77</sup> In der Abbildung 6 werden die Vorgehensweisen von Forrester und Coyle mit ihren Gemeinsamkeiten und Unterschieden voneinander abgegrenzt.

Abbildung 6: Vorgehensweise für das Entwerfen von System Dynamics Modellen



Quelle: in Anlehnung Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 2, Coyle, R. D. (System Dynamics, 1996), S. 14 und Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 45.

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Vorgehensweise von Coyle vorgestellt, die den Modellierungsprozess von Forrester als Grundlage nimmt und diesen Prozess um den zweiten Schritt erweitert. In der Abbildung sind die Rückkopplungen zwischen den einzelnen Phasen sehr gut zu sehen. Jede Modellierungsphase hat eine Rückkopplung zur vorliegenden Phasen. Fehler und Inkonsistenzen, die in späteren Phasen aufgedeckt werden, können dadurch behoben werden. Diese Rückkopplungen zeigen, dass der Modellierungsprozess komplex und dynamisch ist.

### 3.5.1 Problemspezifikation

In der ersten Phase wird das zu untersuchende System, das sich unerwünscht verhält oder dessen Verhalten verstanden und korrigiert werden soll, spezifiziert. Dabei soll eine

<sup>77</sup> Vgl. Bossel, H. (Modellbildung, 1992), S. 40ff.

Hypothese aufgestellt werden, die Aufschluss über das problemverursachende Verhalten gibt.<sup>78</sup>

### 3.5.2 Erstellung eines Kausaldiagrammes

Die Erstellung von Kausaldiagrammen ist in Forresters Modellierungsprozess nicht vorgesehen. Kausaldiagramme zählen zur qualitativen Modellierungsmethode. Forrester und Richmond propagieren ausschließlich die Anwendung des quantitativen Ansatzes zur Modellierung. Das dynamische Verhalten von Systemen könne nur auf diese Weise verstanden werden. Coyle dagegen hält die Erstellung von Kausaldiagrammen für sehr wichtig, da sie es den Menschen ermöglichen ein System ohne besondere Vorkenntnisse zu verstehen. Damit bringt diese Phase den Menschen das Verstehen von Systemen im Sinne von „systems thinking“ näher. Kausaldiagramme bilden die Grundlage für die quantitative Modellierung.<sup>79</sup>

Kausaldiagramme sind mit gerichteten Knoten-Kanten-Graphen zu vergleichen. Die Knoten stellen die Systemelemente dar, während die Kanten die Wirkungen von einem Element auf ein anderes angeben. Auch hier wird entweder eine positive oder negative Wirkungsrichtung bestimmt. Das führt in positiven Rückkopplungsschleifen zu eskalierenden oder in negativen Rückkopplungsschleifen zu zielsuchenden, stabilisierenden Reaktionen, wie bereits in Kapitel 3.4.1 beschrieben.<sup>80</sup>

### 3.5.3 Formulierung von Simulationsmodellen

In der dritten Phase beginnt die Formulierung von Simulationsmodellen, wodurch die Modellierer einen Schritt dichter an das Ziel, die dynamische Komplexität zu verstehen, gebracht werden. Die Systembeschreibungen und Erkenntnisse aus den Kausaldiagrammen werden in Flussdiagramme übersetzt.<sup>81</sup> Flussdiagramme sind gut geeignet, um die Beziehungen zwischen den Teilen eines Systems aufzuzeigen und die Schleifenstruktur des Systems zu akzentuieren. Sie gewähren eine neue Einsicht, in dem sie zeigen, wie die Gleichungen eines Systems miteinander verbunden sind und sich Rückkopplungsschleifen bilden und wie die Regelkreise ineinander verwoben sind und somit das System for-

---

<sup>78</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 3.

<sup>79</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 46f.

<sup>80</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 55ff.




<sup>81</sup> Vgl. Kapmeier, F. (System Dynamics, 1999), S. 46ff.

men. Dabei repräsentieren die Gleichungen des Systems die Beziehungen zwischen den Zustands- und Flussgrößen.<sup>82</sup>

### Flussdiagramme

Flussdiagramme sollten Zustands-, Fluss und Hilfsgleichungen und ihre Verkettung untereinander aufzeigen.<sup>83</sup> In der Notation nach Forrester entwickelten Darstellungsform werden folgende Grundelemente von Flussdiagrammen verwendet. Synonyme bzw. englische Bezeichnungen der Elemente sind in Klammern angeführt.<sup>84</sup>

Tabelle 1: Flussdiagrammnotation

Bezeichnung	Symbol	Bedeutung
<b>Systemzustand</b> (Zustands-, Bestandsgrößen, levels, stocks)		Sie sind durch Rechtecke symbolisiert und haben zu jedem Zeitpunkt einen bestimmten Wert. Die Differenz bildet sich durch die Differenz von Input und Output. Beispiele: Kontostände, Lagerstände, Bevölkerungszahlen, alle Größen in einer Bilanz, etc.
<b>Flussgrößen</b> (rates, flows)		Sie kontrollieren den Fluss im System und definieren die Veränderungen der Zustandsgrößen pro Zeiteinheit.
<b>Hilfsgrößen</b> (auxiliary, converter)	Hilfsgrößen	Hilfsgrößen liegen zwischen den Zustands- und den Flussgrößen. Das Symbol ist das Wort, hinter der sich die Größe finden lässt.
<b>Aussenwelt</b> (sources, sinks)		Wenn die Quelle, aus der ein Fluss kommt, keinen Einfluss auf das System hat, wird es mit diesem Symbol dargestellt.

Quelle: Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 140ff und Ossimitz G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).

Das bereits angeführte Beispiel einer Kapitalverzinsung für eine positive Rückkopplungsschleife hätte in Flussdiagrammschreibweise die in Abbildung 7 dargestellte Gestalt. Die Flussgröße *Zinsen* gibt an, wie viel pro Zeiteinheit in die Zustandsgröße *Kapital* hinein-

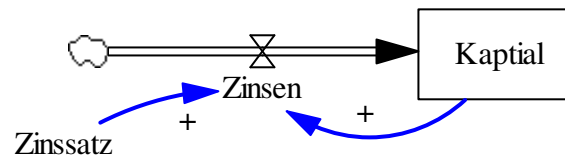
<sup>82</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972) S. 140.

<sup>83</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), S. 140.

<sup>84</sup> Vgl. Ossimitz G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).

fließt. Die Zinsen werden aus dem Kapital und dem Zinssatz errechnet. Die Wolke repräsentiert eine Quelle außerhalb des Systems und hat keinen Einfluss auf das System.<sup>85</sup>

Abbildung 7: Kapitalverzinsung - Flussdiagramm



Quelle: in Anlehnung Ossimitz, G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).

### Differentialgleichungen

Für die Simulation eines Systems auf dem Rechner wird ein Gleichungssystem benötigt, die die Struktur des Systems wiedergibt. Es muss aus den Daten des Systemzustandes eines Zeitpunktes die Systemzustände zu einem anderen Zeitpunkt berechnen können. Dementsprechend sind die Anforderungen an das Gleichungssystem dynamisch, das heißt zeitabhängig.<sup>86</sup> In der System Dynamics Modellierung werden differentialgleichungsähnliche mathematische Gebilde verwendet. Diese Gleichungen beschreiben das Zielsystem. Ausgehend von einem Ist-Zustand werden Veränderungen im Zeitablauf dargestellt.<sup>87</sup>

#### 3.5.4 Simulation des Modells

In der vierten Phase wird das Modell simuliert. Mit der Simulation kann erst begonnen werden, wenn die vorhergehenden Phasen sorgfältig durchgearbeitet und abgeschlossen sind. Konkret bedeutet das, dass in der dritten Phase alle Gleichungen den logischen Kriterien eines funktionstüchtigen Modells mit exakt definierten Variablen und in sich konsistenten Einheiten entsprechen müssen. Simulationen können zunächst unrealistisches Systemverhalten darstellen. Die unrealistischen Ergebnisse der Simulation führen dazu die ersten drei Phasen zu überarbeiten, d. h. Probleme zu spezifizieren, die Kausal, Flussdiagramme und Simulationsgleichungen zu verfeinern. Diese Simulation des Modells wird als die wichtigste Phase der System Dynamics Modellierung gesehen.<sup>88</sup>

<sup>85</sup> Vgl. Ossimitz, G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999).

<sup>86</sup> Vgl. Niehaus, F. et al. (System Dynamics, 1972), 25f.

<sup>87</sup> Vgl. Ossimitz, G. (Untersuchung vernetzter Systeme, 1999) zur detaillierten Beschreibung von Differentialgleichungen

<sup>88</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 4f.

System Dynamics stellt im Gegensatz zu Methoden, die auf Zukunftsszenarien eines Systems fokussiert sind, im ersten Schritt die Entwicklung des Systems bis zur Gegenwart dar und im zweiten Schritt wird das zukünftige Verhalten des Systems beschrieben.

### **3.5.5 Identifikation von Policies und Strukturen**

Im der fünften Phase werden alternative Policies und Strukturen identifiziert, die getestet werden sollten. Die Ergebnisse der Simulationen von möglichen Policies demonstrieren welche Policies erfolgsversprechend sind und welche vernachlässigt werden können. Die Alternativen können von intuitiven Erkenntnissen der ersten vier Phasen, von Vorschlägen und Erfahrungen der Mitglieder des zu untersuchenden Systems oder durch das Testen von möglichen Parameterveränderungen entstehen.<sup>89</sup>

### **3.5.6 Diskussionen und Debatten**

Die sechste Phase ist die Phase der Diskussionen und Debatten. In dieser Phase arbeitet man in Richtung ein Konsens für die Implementierung. Diese Phase stellt die größte Herausforderung an die Führungs- und Koordinationsqualitäten. Für die Implementierung der bis zu dieser Phase herausgearbeiteten Policies wird eine breite Zustimmung bei den Leuten erwartet, die in den Modellierungsprozess und in dem System interagieren.<sup>90</sup>

### **3.5.7 Implementierung von entwickelten Policies und Strukturen**

In der letzten Phase werden die bisher erarbeiteten Policies und Strukturen implementiert. Mögliche Unzulänglichkeiten, die in dieser Phase auftreten, würden laut Forrester von den Defiziten in einem der vorangegangenen Schritte kommen. Die Implementierung verläuft reibungslos, wenn das Modell das zu untersuchende System überzeugend abbildet und die Debatten und Diskussionen in der sechsten Phase ausreichend waren. Auch wenn die Implementierung problemlos verläuft, können die Ergebnisse der Veränderungen erst nach mehreren Jahren erkennbar werden. Es wird Zeit benötigt, damit die alten Policies abgelegt und die neuen Policies durch Lerneffekte erlernt werden.<sup>91</sup>

---

<sup>89</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 5.

<sup>90</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 5.

<sup>91</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), S. 6.



## 4 Balanced Scorecard

### 4.1 Das Konzept

Die Balanced Scorecard ist ein Performance Messsystem, das von Organisationen zur Leistungsbewertung von Geschäftseinheiten eingesetzt wird. Sie ermöglicht Organisationen, die zwei zentralen Probleme, Leistungsbewertung und die Strategieimplementierung, zu lösen. Das Konzept wurde von Ropert S. Kaplan und David P. Norton Anfang der 90er Jahre an der Harvard Business School entwickelt. Kaplan und Norton kritisierten die starke finanzielle Ausrichtung traditioneller Kennzahlensysteme, die nur auf die finanziellen Messgrößen einer Organisation beruhen.<sup>92</sup> In einer konkurrenzbetonten globalen Weltwirtschaft müssen Unternehmen loyale Kunden ergattern und diese langfristig halten, innovative Produkte entwickeln, Fertigkeiten der Mitarbeiter mobilisieren, in neuartige Technologien investieren und neue Datenbank- und Informationssysteme implementieren, um wettbewerbsfähig zu bleiben. Finanzielle Kennzahlen demonstrieren nur einen Teil des Unternehmenserfolgs. Die Größen und die Daten, die in den traditionellen Finanzkennzahlensystemen berücksichtigt werden, sind Ergebnisse vergangener Handlungen.<sup>93</sup> Die Definition eigener Zielvorstellungen der Unternehmensführung und die Übersetzung dieser Zahlen in Kennzahlen fanden nicht statt.<sup>94</sup> Um die Grenzen zu überwinden, erweiterten Kaplan und Norton den finanzorientierten Ansatz der Kennzahlensysteme um drei weitere Messfelder, die auch nicht-finanzielle Aspekte umfassten. Das Ergebnis ist eine Scorecard, die die Vision und Strategie einer Geschäftseinheit in Ziele und Maßeinheiten in vier unterschiedlichen Bereichen übersetzt.<sup>95</sup>

### 4.2 Perspektiven

In der Abbildung 8 ist das Balanced Scorecard Konzept von Kaplan und Norton graphisch dargestellt. Im folgenden werden die vier Perspektiven des Konzepts näher erläutert.

#### *Finanzen*

In dieser Perspektive werden traditionelle finanzielle Kennzahlen verwendet, um zu prüfen, wie sich Strategien auf das Unternehmensergebnis ausgewirkt haben. Im Mittelpunkt stehen Kennzahlen wie Cashflow und Rentabilität der Unternehmung. Diese Kennzahlen

---

<sup>92</sup> Vgl. Horváth & Partner (Balanced Scorecard, 2001), S. 9ff.

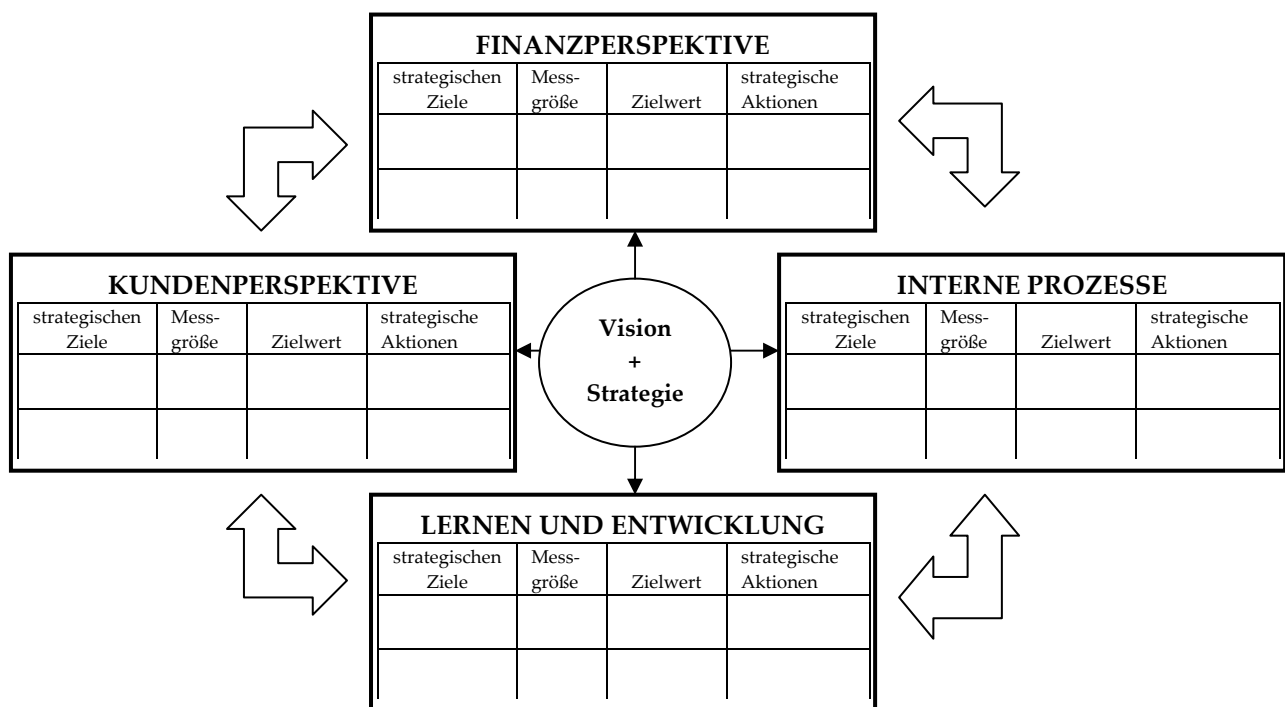
<sup>93</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 170.

<sup>94</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Transforming the BSC, 2001), S. 87.

<sup>95</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 3ff.

reflektieren die finanzielle Leistung, also ob eine Strategie und die daraus abgeleiteten Handlungen erfolgreich waren oder nicht. Die anderen Perspektiven sind der finanziellen Perspektive untergeordnet, und die Kennzahlen dieser Perspektive stellen die Endziele der anderen Perspektiven der BSC dar. Daher müssen die entsprechenden Kennzahlen durch Ursache-Wirkungs-Beziehungen mit den finanziellen Kennzahlen verbunden sein.<sup>96</sup>

Abbildung 8: Die Balanced Scorecard mit den 4 Perspektiven



Quelle: in Anlehnung Horváth & Partner (Balanced Scorecard, 2001), S. 11 und Kaplan, R. / Norton, D. (Transforming the BSC, 2001), S. 91.

### **Kunden**

Kundensegmente, die für das Unternehmen interessant sind, werden identifiziert und die strategischen Ziele des Unternehmens im Bezug auf diese werden in dieser Perspektive abgebildet. Nach der Analyse müssen Kennzahlen, Zielvorgaben und Maßnahmen für die Kundensegmente entwickelt werden, die für das Unternehmen in Frage kommen. Ansprüche der Kunden können in fünf Kategorien eingeteilt werden: Zeit, Qualität, Produktleistung, Service und Preis. Eine wesentliche Kennzahl dieser Perspektive könnte bspw. die Kundenzufriedenheit sein.<sup>97</sup>

<sup>96</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 150f.

<sup>97</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 150f.

### *Interne Prozesse*

Diese Perspektive definiert die kritischen organisatorischen Aktivitäten, die benötigt werden, um die finanziellen Ziele und die Ziele der Kundenperspektive zu erreichen.<sup>98</sup>

### *Lernen und Entwicklung*

„Die Fähigkeit einer Firma sich zu steigern, innovativ zu sein und dazuzulernen, wirkt sich unmittelbar auf ihren Wert aus. Wer neue Produkte herausbringen kann, den Kunden ständig mehr Wert liefert und die betriebliche Effizienz permanent steigert, in neue Märkte eindringt, Erlöse und Mengen vergrößert, kurzum, stetig wächst, erhöht so seinen Wert für die Aktionäre.“<sup>99</sup> Die letzte Perspektive, die Lern- und Entwicklungsperspektive, wird von Norton und Kaplan als die Grundlage jeder Strategie gesehen. In dieser Perspektive geht es um die Identifikation und Schaffung einer Infrastruktur, die für die Unterstützung der Strategie vorhanden sein muss. Diese sind die Fertigkeiten und Fähigkeiten, die Mitarbeiter haben müssen, sowie die Technologie und das Geschäftsklima. Unter Entwicklung wird der Bedarf an Investitionen in die Zukunft verstanden. Die wichtigsten Investitionen betreffen drei Bereiche in der Organisation:

- Menschen: Qualifizierung von Mitarbeitern
- Systeme: Effizienzsteigerung der innerbetrieblichen Informationssysteme
- Unternehmenskultur: Erhöhung der Motivation und Zielausrichtung der Mitarbeiter

Es muss darauf geachtet werden, dass diese Bereiche aufeinander abgestimmt werden.<sup>100</sup>

### **4.3 Besonderheiten**

Kaplan und Norton vergleichen die BSC mit der Instrumententafel im Cockpit eines Flugzeugs. Ein Pilot muss auf einen Blick die wichtigsten Daten, bspw. Informationen über Treibstoff, Geschwindigkeit, Höhe, Luftdruck und Flugziel zur Steuerung und Navigation des Flugzeugs ablesen können, um das Flugzeug sicher und ordnungsgemäß zu fliegen. Die Steuerung einer Organisation ist ähnlich kompliziert wie die von einem Flugzeug. Für richtige Entscheidungen müssen Manager in der Lage sein, die Leistungen auf den unterschiedlichen Perspektiven der Unternehmung zu überblicken, die oben erwähnt wurden. Dabei werden überflüssige Informationen weggelassen. Die BSC zwingt die Manager auf die Abbildung der wesentlichen Faktoren einer Unternehmung mit der Be-

---

<sup>98</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 151f.

<sup>99</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 152.

<sup>100</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 152.

schränkung auf eine handvoll besonders wichtiger Kennzahlen.<sup>101</sup> In der Regel schreibt die BSC vor, dass drei bis fünf Messgrößen in jedem der vier Perspektiven herausgesucht werden müssen.<sup>102</sup>

Abbildung 9: Ursache-Wirkungskette und Wertorientierung in der Balanced Scorecard



Quelle: in Anlehnung Harengel, Jürgen (Die Balanced Scorecard, 2000), S. 49.

Einer der zentralen Voraussetzungen von BSC Projekten ist das präzise Herausarbeiten der Ursache-Wirkungs-Beziehungen. Jede in der BSC eingesetzte Messgröße muss mit den obersten monetären Zielgrößen verbunden sein, denn jede Strategie muss die Erreichung finanzwirtschaftlicher Ziele des Unternehmens anstreben.<sup>103</sup> Die Bedeutung dieser Voraussetzung lässt sich mit folgendem Beispiel, das in der Abbildung 9 schematisch dargestellt ist, leicht verdeutlichen: Das Ziel jeder profitorientierten Organisation ist die Rentabilität. Um rentabel zu sein, müssen Unternehmen ihre Geschäftstätigkeiten kundenorientiert gestalten. Demnach ist es von existenzieller Bedeutung, Kundenbedürfnisse schneller und besser zu befriedigen als die Wettbewerber. Pünktliche Lieferungen führen beispielsweise zu höherer Kundentreue, was wiederum den Umsatz und den Profit positiv beeinflusst. Pünktliche Lieferungen lassen sich durch die Verbesserung der internen Prozesse wie bspw. Prozessdurchlaufzeit und Prozessqualität erreichen. Um das zu erreichen, muss in der Organisation die dazu notwendige Infrastruktur vorhanden sein, d.h. qualifizierte Mitarbeiter und Systeme.<sup>104</sup>

<sup>101</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Balanced Scorecard, 2004), S. 146ff.

<sup>102</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 3.

<sup>103</sup> Vgl. Schöneborn, F. (Strategisches Controlling, 2004), S. 48.

<sup>104</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Transforming the BSC, 2001), S. 87ff.

Die BSC hat ihren Ursprung in den USA, wo es erfolgreich in vielen Unternehmen und im öffentlichen Sektor angewandt wird. Das Instrument wurde aufgrund ihrer Leichtigkeit auch international bekannt und wird in vielen Ländern von vielen Organisationen angewandt.<sup>105</sup> Nach Schätzungen der Gartner Group setzten im Jahr 2000 bereits 40 % der Fortune 1000 Unternehmen die Balanced Scorecard ein. Einer Studie der Universität Eichstätt zufolge setzten 40 % der DAX 100-Unternehmen im Jahr 2001 das Performance Measurement System ein.<sup>106</sup> Die Breite der Anwendungen reicht von mittelständischen Unternehmen, staatlichen Institutionen und Organisationen im Gesundheitswesen bis hin zu Joint Ventures und Akquisitionen.<sup>107</sup>

#### 4.4 System Dynamics Ansatz im BSC-Konzept

Trotz der Popularität und der Verbreitung weist das Konzept einige Schwächen auf, die in der BSC Literatur berichtet werden.<sup>108</sup>

##### *Rückkopplungen*

In der BSC werden nur unidirektionale Ursache-Wirkungsketten verwendet. In dem Konzept fehlt das Element der Rückkopplung. In der Geschäftswelt ist Ursache und Wirkung selten unidirektional. A beeinflusst nicht nur B, sondern über die Zeit beeinflusst B indirekt über C und D wieder A. Diese sind über Rückkopplungsstrukturen, die einer der Grundpfeiler der System Dynamics Modellierung sind, miteinander verbunden.<sup>109</sup> Strategische Maßnahmen zur Erreichung bestimmter Ziele wirken häufig nur langfristig in positiver Richtung auf die eigentliche finanzwirtschaftliche Zielgröße und beeinflussen diese kurzfristig eher negativ.<sup>110</sup>

Die Balanced Scorecard ist in ihrer Form kein geeignetes Abbild zur Analyse und kein ausreichendes Instrument zur langfristig erfolgreichen Steuerung des Unternehmens. Die von der BSC außer acht gelassenen Rückkopplungen werden durch systemdynamische Modelle erfasst und quantifiziert. Nur so kann eine langfristig erfolgreiche Steuerung der Unternehmensentwicklung erreicht werden.<sup>111</sup>

---

<sup>105</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 3.

<sup>106</sup> Vgl. Horváth & Partner (Balanced Scorecard, 2001), S. 2.

<sup>107</sup> Vgl. Kaplan, R./ Norton, D. (Transforming the BSC, 2001), 87f.

<sup>108</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 4.

<sup>109</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 5.

<sup>110</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E., (System Dynamics, 2008), S.176f.

<sup>111</sup> Vgl. Schöneborn, F., (Strategisches Controlling, 2004), S. 52.

### *Zeitverzögerungen*

Eine weitere Schwäche der BSC ist, dass im Konzept nicht explizit auf die Zeitdimension eingegangen wird, da oft in Ursache Wirkungszusammenhängen Zeitverzögerungen zwischen Ursache und Wirkung auftreten können.<sup>112</sup> Um BSC zu einer dienlichen Methode zur Prognose oder Vorhersage von Unternehmensergebnissen zu machen, muss das Problem der Zeitverzögerungen explizit angegangen werden. Als Zeitverzögerung werden Prozesse verstanden, deren Output zeitlich hinter dem Input liegen. Diese können sowohl Material- als auch Informationsverzögerungen sein.<sup>113</sup> Für den System Dynamics Ansatz sind Zeitverzögerungen zwischen Ursache und Wirkung genauso grundlegend wie Rückkopplungsschleifen. In System Dynamics ist Ursache und Wirkung im Zeitverlauf getrennt.<sup>114</sup>

### *Mechanismen für die Validierung*

Die dritte Schwäche, die Akkermans et al. anführen, ist das nicht Vorhandensein von Mechanismen für die Validierung. Denn das BSC-Konzept bietet keine Mechanismen für die Prüfung der Relevanz der ausgesuchten Kennzahlen. Der Vorteil, mit einer handvoll Kennzahlen die Leistungsfähigkeit der Unternehmung zu prüfen, kann schnell zum Nachteil werden, wenn nicht die richtigen Zahlen ausgewählt werden. Außerdem kann der Vorteil, die verschiedenen Perspektiven miteinander zu verknüpfen, zu einem Nachteil werden, wenn die ausgewählten Performance-Indikatoren dieser Perspektiven entgegenwirken.<sup>115</sup> In der System Dynamics Modellierung ist es gängige Praxis, qualitative Annahmen über Strategien und Policies zu quantifizieren und simulieren. Damit werden diese qualitativen Annahmen auf ihre Relevanz getestet, validiert und erforscht.<sup>116</sup>

### *Interne Fokussierung*

Viele Autoren kritisieren die zu interne Fokussierung des BSC-Konzepts. Die BSC sei nicht in der Lage die fundamentalste Frage der Manager, „Was machen die Wettbewerber?“, zu beantworten.<sup>117</sup> Genauso wie viele der gängigen BSC aufgrund ihrer zu internen Fokussierung kritisiert werden, sind System Dynamics Modelle oft für Kommentare an-

---

<sup>112</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K., (Developing a BSC, 2002), S. 4.

<sup>113</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E., (System Dynamics, 2008), S. 174.

<sup>114</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K., (Developing a BSC, 2002), S. 6.

<sup>115</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K., (Developing a BSC, 2002), S. 5.

<sup>116</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K., (Developing a BSC, 2002), S. 6.

<sup>117</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 5.

fällig, dass ihr Handlungsspielraum sehr weit ist. Akkermans et al. glauben, man könne mit der Kombination der System Dynamics Modellierung und das BSC Konzept eine ausgewogene Balance zwischen den internen und externen Perspektiven erreichen.<sup>118</sup>

## 4.5 Case Study

### 4.5.1 Einleitung – allgemeine Informationen

Das Fallbeispiel wurde 2008 von Stehen Nielsen und Erland H. Nielsen in der Zeitschrift *Management Research News* unter dem Titel „*System Dynamics modeling for a balanced scorecard: Computing the influence of skills, customers, and work in process on the return on capital employed*“ veröffentlicht.<sup>119</sup>

Das Beispielunternehmen ist ein international und global agierendes schwedisches Unternehmen in der Elektrizitätsindustrie. Es ist eines der größten Unternehmen in Schweden, die die BSC benutzen. Das Unternehmen gehört zu der Asea Brown Boveri (ABB) Gruppe, die mehr als 103.000 Beschäftigte hat und für 2005 einen Umsatz von 22.442 Millionen US-Dollar erwirtschaftete. Die Managementphilosophie des Unternehmens ist von Dezentralisation, Kundenorientierung, Produktivitätsverbesserung, und Kompetenzentwicklung geprägt. Es spielte eine führende Rolle für die Verbreitung des BSC Ansatzes in Schweden. Das BSC Modell des Unternehmens unterscheidet sich ein wenig von dem traditionellen BSC Ansatz von Kaplan und Norton, indem es eine weitere, fünfte Perspektive beinhaltet, die Innovations- und Entwicklungsperspektive. Das Ziel war die Steigerung der Kompetenz und der Flexibilität durch die Erreichung der Dezentralisierung für alle Entscheidungsfindungsprozesse und Verantwortlichkeiten, um die Profitabilität des Unternehmens zu sichern.

Historisch gesehen war das Ziel des Unternehmens durch den Einsatz des BSC-Ansatzes ein Geschäftsunterstützungssystem für die ganze Organisation zu entwickeln. Nach internen Diskussionen, Workshops, Seminaren und den Diskussionen mit externen Beratern, wurde von der Unternehmensführung beschlossen, dass das BSC System fünf Perspektiven reflektieren sollte. Die fünf Perspektiven der Balanced Scorecard des Unternehmens sind in der Tabelle 2 dargestellt.

---

<sup>118</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 6.

<sup>119</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 174-184.

Aufgrund der Komplexität der Scorecard des Unternehmens wird das dynamische Modell, das hier vorgestellt wird, den letzten Schritt der Performancemessungsstruktur des Unternehmens wiedergeben. Dabei werden die Strukturen der einzelnen Perspektiven und die detaillierte Vorstellung der dynamischen Modelle der einzelnen Perspektiven nicht erfolgen. Würde man das komplette System Dynamics Modell des Unternehmens vorstellen, müsste man alle grundlegenden Messgrößen und ihre Wirkungsbeziehungen untereinander aufzeigen. Es ist davon auszugehen, dass die Kennzahlen, die von den einzelnen Perspektiven als Ergebnisse von verantwortungsbewussten Teammitgliedern zur Verfügung gestellt werden, valide sind.

#### 4.5.2 BSC Konzept

In der folgenden Tabelle ist das BSC-Konzept des Unternehmens mit den fünf Perspektiven, den Zielen und den Kennzahlen in den einzelnen Perspektiven dargestellt. Diese fünf Perspektiven wurden ausgewählt, um eine fokussierte und balancierte Sicht des Unternehmens zu bekommen.

*Tabelle 2: Das BSC Konzept des Unternehmens*

<b>Perspektive</b>	<b>Ziele</b>	<b>Messgrößen</b>
Finanzperspektive	In der Lage sein, Kreditoren zu befriedigen, bevor die Dividende ausgeschüttet wird	Umsatz, Produktionskosten, F&E Budget, ROCE
Kundenperspektive	Die besten Produkte bieten, und somit von den Kunden präferiert werden	Qualität, Kundenloyalität, Kundenzufriedenheit
Prozesse- und Lieferantenperspektive	Zugang zu den besten Ressourcen haben und in der Lage sein diese Lieferanten zu zahlen	Aufträge, Lieferungen, Lieferzeiten
Mitarbeiterperspektive	Gut motivierte Mitarbeiter in einem wettbewerbsbetontem Umfeld haben	Training, Fertigkeiten
Innovations- und Entwicklungsperspektive	Sicherung der ständigen Wettbewerbsfähigkeit und in der Lage sein stetig zu wachsen, kontinuierlich neue Produkte und Dienstleistungen zu entwickeln	Forschung und Entwicklung Aktivitäten (F&E Aktivitäten)

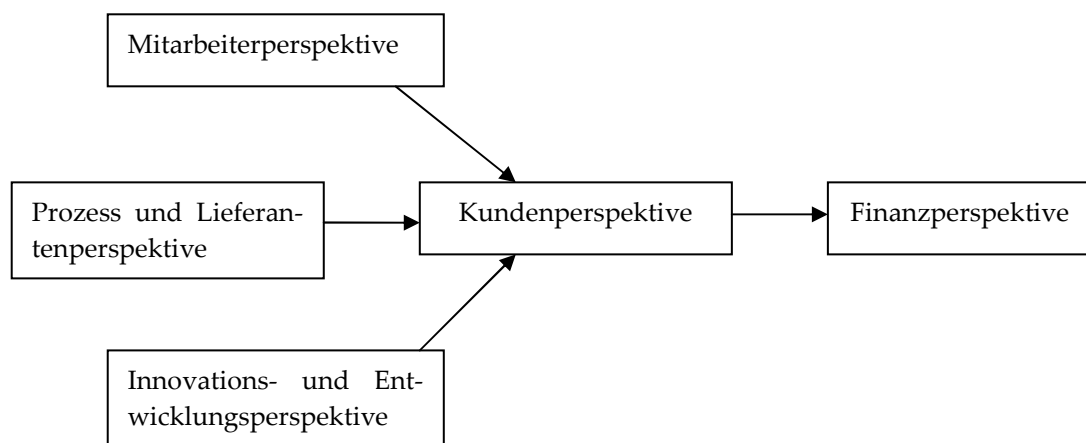
Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 177.

Durch das Modell können Verzögerungen zwischen Handlungen und deren Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit nicht gekennzeichnet werden. Verzögerungen verursachen Übereinstimmungsprobleme zwischen dem Umsatz und Aufwendungen, die ein Unternehmen hat. Im folgenden Beispiel wird versucht, das Problem von Verzögerungen zu



erläutern. Die Kundenzufriedenheit wird durch die Kennzahlen der drei darunter liegenden Perspektiven beeinflusst und ist essentiell für die finanziellen Kennzahlen des Unternehmens. In der Abbildung 10 sind die einseitigen Wirkungszusammenhänge schematisch dargestellt. Des Weiteren sind wie bereits erwähnt die Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Perspektiven nicht berücksichtigt. Bspw. wirken sich die Aktivitäten in den Perspektiven Innovationen, interne Prozesse und Mitarbeiter zeitverzögert aufeinander aus, die in dem Modell nicht dargestellt werden können.

Abbildung 10: Wirkungszusammenhänge zwischen den Perspektiven



Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 177.

Die Performancemessungen, die in einer spezifischen Periode berichtet werden, sind nicht zwingend die Ergebnisse der Aktivitäten, die in der gleichen Periode getätigt wurden. Dies ist eine weitere, direkte Konsequenz von Zeitverzögerungen. Die verzeichneten Unternehmensergebnisse, konkret Kennzahlen der Finanzperspektive, sind möglicherweise die Ergebnisse der Aktivitäten, die in früheren Perioden getätigt wurden. So könnten bspw. die Handlungen und Aktivitäten der Innovations- und Entwicklungsperspektive möglicherweise eine Auswirkung auf die Kundenperspektive in späteren Perioden haben und die Auswirkung der Leistungen der Kundenperspektive auf die Finanzperspektive könnte sogar noch in späteren Perioden erfolgen.

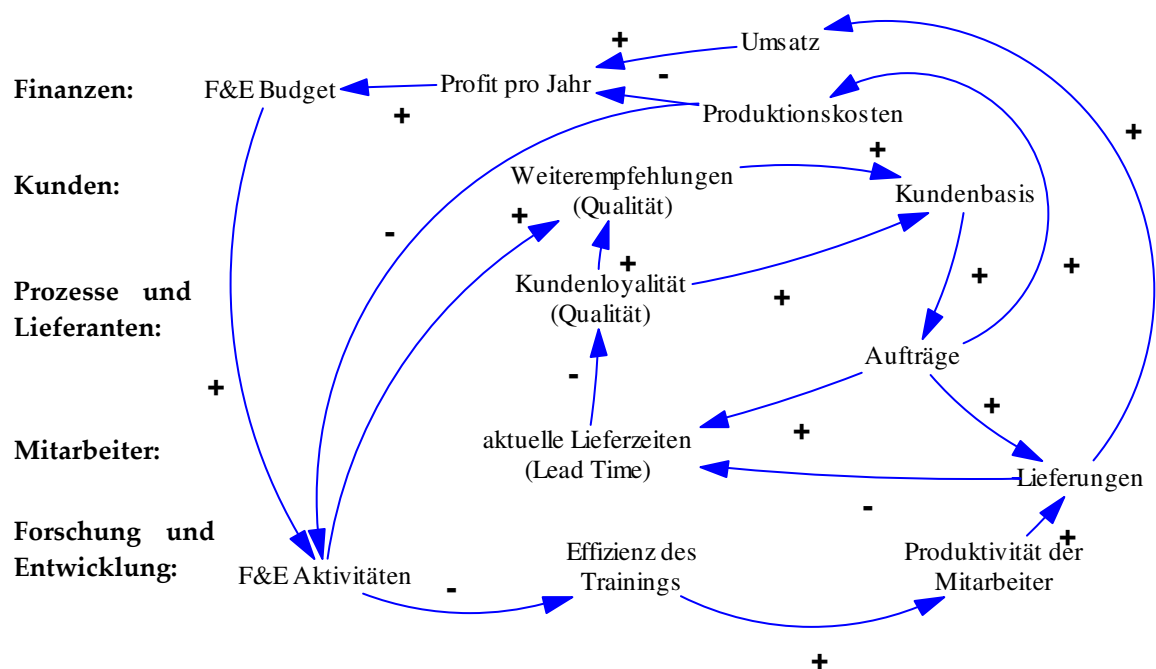
Daher ist davon auszugehen, dass die drei Perspektiven, die die Kundenperspektive beeinflussen, nicht die finanziellen Ergebnisse der aktuellen Periode erklären. Diese müssen als Indikator für die künftige Kundenzufriedenheit und noch mehr als die künftige finanzielle Leistungsfähigkeit des Unternehmens gesehen werden. Die unterschiedlichen Zeit-

verzögerungen zwischen Aufwendungen und Umsätzen bedeuten, dass die Kosten der drei darunter liegenden Perspektiven sich schneller auf die finanziellen Kennzahlen auswirken als die Erlöse, die man in der Kundenperspektive erhalten wird.

#### 4.5.3 BSC in SDM extrahiert - Kausaldiagramm

Das oben aufgeführte Beispiel demonstriert nochmals die Grenzen des Balanced-Scorecard Ansatzes. In dem Unternehmen wurde das BSC Projekt als ein lokal unterstützendes System und nicht als ein System für die Ersetzung der vorhandenen Management, Information und Rechnungswesens gesehen. Nach weiteren Überlegungen wurde die Scorecard des Unternehmens mit der System Dynamics Modellierung verknüpft. Für die Simulation des Modells wurde die Software Vensim PLE benutzt. In der Abbildung 11 wird das in System Dynamics extrahierte Kausalmodell dargestellt.

Abbildung 11: Das in System Dynamics extrahierte BSC Modell



Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 178.

Das Kausaldiagramm veranschaulicht die Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen der verschiedenen Perspektiven, die auf der linken Seite aufgeführt sind. Das Modell beinhaltet drei zentrale Rückkopplungsschleifen: die Logistik-, Weiterempfehlungen- und Produktivitätsrückkopplungsschleife.

Die Logistik-Rückkopplungsschleife, bestehend aus zwei Teilen, arbeitet durch die Variablen: Aufträge → Lieferungen → aktuelle Lieferzeiten → Kundenloyalität → Kundenbasis → Aufträge

*Teil1:* Ein Anstieg der Aufträge bewirkt die Erhöhung des generellen Logistik Volumens, daher erhöhen sich auch die aktuellen Lieferzeiten, was sich erfahrungsgemäß negativ auf die Servicequalität auswirkt. Lieferverzögerungen führen dazu, dass die Kundenloyalität geschwächt wird, was wiederum den Rückgang der Kundenbasis mit sich bringt. Diese Rückkopplungsschleife ist eine negative, also zielsuchende.

*Teil2:* Auf der anderen Seite bewirkt die Erhöhung der erledigten Lieferungen die Verringerung des Logistikvolumens, was erfahrungsgemäß die Lieferzeiten verkürzt. Dadurch wird die Servicequalität gestärkt, was eine Erhöhung der Kundenloyalität und damit einen Anstieg der Kundenbasis mit sich bringt. Es handelt sich um eine potentielle positive, also eskalierende Rückkopplungsschleife.

Die Interaktion von diesen zwei Rückkopplungsschleifen hängt hauptsächlich von den physikalischen Verzögerungsstrukturen zwischen den erhaltenen Aufträgen und getätigten Lieferungen des Güterflusses.

Die Weiterempfehlung-Rückkopplungsschleife, bestehend aus zwei Teilen, arbeitet durch die Variablen: Aufträge → Lieferungen → Produktionskosten/Umsatz → F&E Budget → F&E Aktivitäten → Weiterempfehlungen → Kundenbasis → Aufträge → Bestellungen

*Teil1:* Ein Anstieg von Aufträgen und Lieferungen löst unmittelbar Produktionskosten und die Erhöhung der damit verbunden Kostenvolumen aus, was sich negativ auf die F&E Aktivitäten auswirkt. Die Variable F&E Aktivitäten ist eine verhältnismäßige Variable. Forschung und Entwicklung wird von Unternehmen eingesetzt, um die künftigen Verkäufe zu sichern. Steigt das Kostenvolumen des Unternehmens aufgrund von operationalen Kosten, bspw. Produktionskosten, so ist es ein Zeichen dafür, dass die Fokussierung auf die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten abnimmt. Die Senkung der F&E Aktivitäten impliziert die Schwächung der Weiterempfehlungen, was eventuell dazu führt, dass die Kundenbasis abnimmt und damit die Anzahl der erhaltenen Aufträge sinkt. Es handelt sich um eine stabilisierende, zielsuchende Rückkopplungsschleife.

*Teil2:* Ein Anstieg von erledigten Lieferungen führt zu Umsatzsteigerung, was wiederum zum Anstieg von F&E Budget und damit zum Anstieg von F&E Aktivitäten führt. Die Weiterempfehlungen steigen mit einem positiven Einfluss auf die Kundenbasis, wodurch die Aufträge und damit die Lieferungen steigen. Diese Rückkopplungsschleife repräsentiert eine eskalierende Rückkopplung.

Die Produktivitäts-Rückkopplungsschleife, bestehend aus zwei Teilen, arbeitet durch die Variablen: Aufträge → Bestellungen → F & E Aktivitäten → Effizienz des Trainings → Produktivität der Mitarbeiter → Aufträge → Bestellungen

*Teil1:* Ein Anstieg von Aufträgen bewirkt eine Erhöhung der damit verbundenen Produktionskosten, was dazu führt, dass die F&E Aktivitäten abnehmen. Die Abnahme von F&E Aktivitäten impliziert die Erhöhung der Effizienz der Trainings, was die Produktivität der Mitarbeiter erhöht, das wiederum die Lieferraten erhöht. Dies führt möglicherweise zu einem Anstieg der Aufträge.

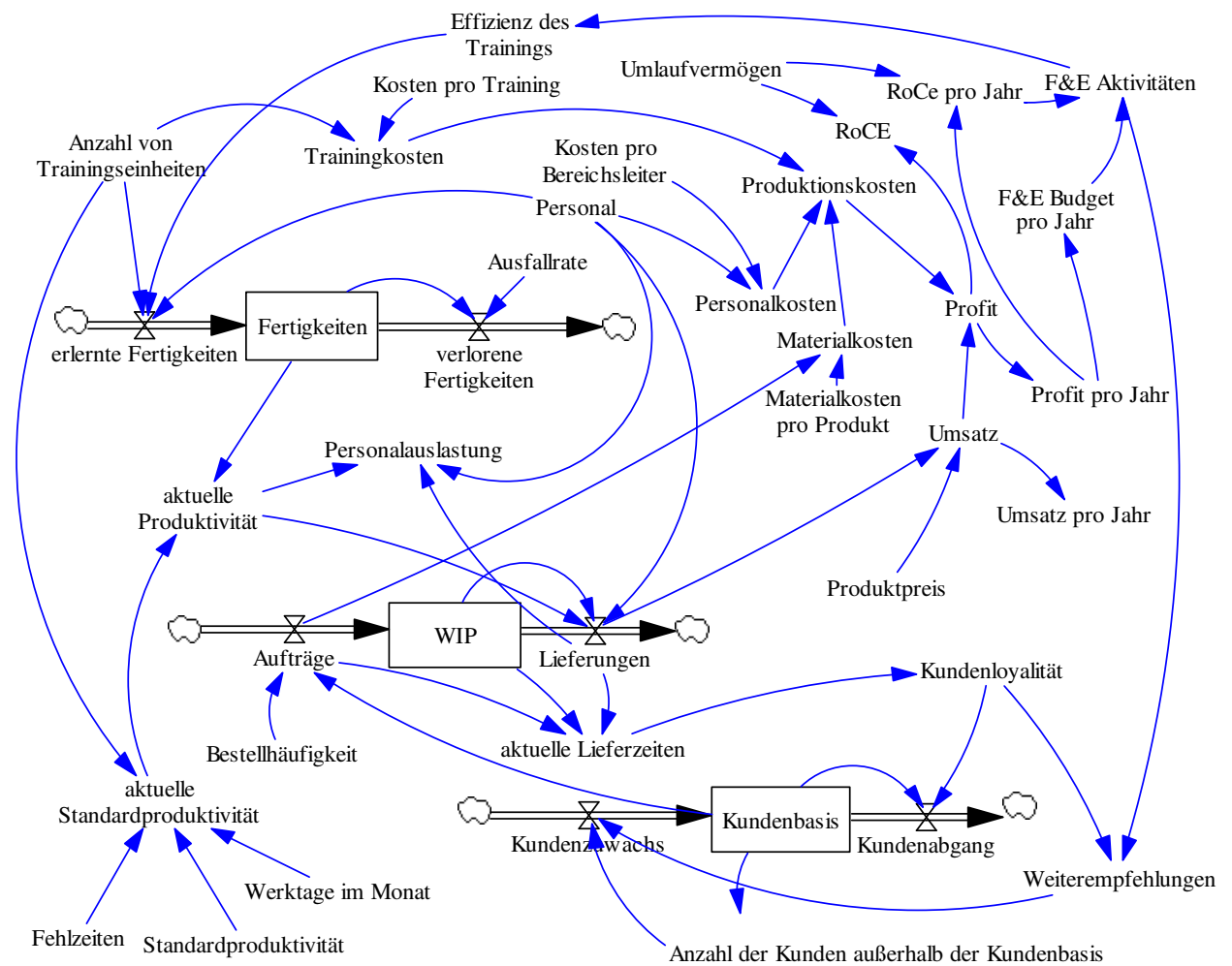
*Teil2:* Ein Anstieg der erledigten Lieferungen bringt die Steigerung des Umsatzes mit sich, was das F&E Budget erhöht. Dadurch steigen die F&E Aktivitäten. Dies führt dazu, dass die Effizienz des Trainings und damit die Produktivität der Mitarbeiter abnehmen. Infolge dessen sinkt die Lieferrate. Diese Rückkopplungsschleife repräsentiert eine stabilisierende, zielsuchende.

#### 4.5.4 Flussdiagramm

In diesem Schritt wird das Kausaldiagramm in die Flussdiagrammdarstellungsweise übersetzt, das in der Abbildung 12 zu sehen ist. In diesem Schritt muss festgelegt werden, welche die Zustandsvariablen sind. Im vorliegenden BSC Konzept wurden drei Zustandsvariablen festgelegt:

1. Fertigkeiten: damit sind die Fähigkeiten und Fertigkeiten des Personals gemeint
2. WIP: Work in Process. Damit ist die Arbeit gemeint, die aktuell erledigt wird.
3. Kundenbasis

Abbildung 12: Parametrisierte BSC Modell



Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 181.

Die Aufträge und Lieferungen bilden die Unterstruktur der Zustandsvariable WIP, die in Arbeit befindlichen Prozesse. Die Variable Aufträge wird durch die Bestellhäufigkeit und durch die Kundenbasis bestimmt. Die Variable Lieferungen wird durch WIP, aktuelle Produktivität und von Personal bestimmt. Die Unterstruktur der Zustandsvariable Kundenbasis ist die Akkumulation von Kundenzuwachs und Kundenabgang. Kundenzuwachs ist hauptsächlich von den Weiterempfehlungen abhängig und Kundenabgang wird durch die Kundenloyalität beeinflusst. Die Akkumulation von erlernten und verlorenen Fertigkeiten bildet die Zustandsvariable Fertigkeiten. Die Variable erlernte Fertigkeiten hängt von der Anzahl der Trainingseinheiten, Effizienz des Trainings und des Personals und Anzahl der Beschäftigten ab. Die verlorenen Fertigkeiten werden durch die Zustandsvariable Fertigkeiten selbst und von der Variable Ausfallrate beeinflusst. Die anderen Ursache-Wirkungszusammenhänge können in dem Flussdiagramm leicht erkannt werden.

#### 4.5.5 Simulation und Szenarien

Die Dimensionen der fünf Perspektiven des BSC-Konzepts werden in dem System Dynamics Modell unter den folgenden Variablen formuliert.

- Innovations- und Entwicklungsperspektive → F&E Budget pro Jahr
- Mitarbeiterperspektive → aktuelle Produktivität
- Prozess und Lieferantenperspektive → WIP
- Kundenperspektive → Kundenbasis
- Finanzperspektive → Profit pro Jahr

Nachdem das Modell in Flussgdiagrammschreibweise formuliert wurde, können im nächsten Schritt die Gleichungen definiert werden, bevor das Modell simuliert wird. In diesem Abschnitt der Arbeit werden drei Beispielszenarien bzw. Strategien analysiert, mit der Fokussierung auf die dynamische Entwicklung der Wirtschaftlichkeit des Unternehmens. In allen drei Szenarien ist das Ziel die Profitmaximierung. Die Tabelle 3 demonstriert die fiktiven Parametergrößen für die Szenarioanalysen. Die Werte für die Zustandsgrößen Fertigkeiten, Work in Process und Kundenbasis wurden auf 10.000, 1.000 und 2.000 gesetzt.

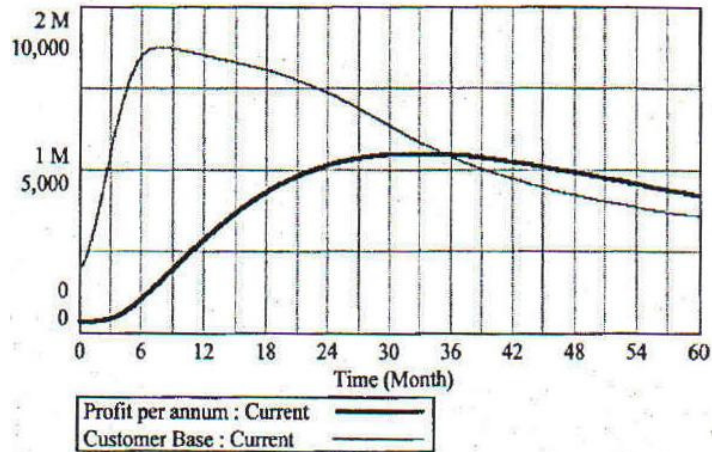
*Tabelle 3: Parameter des Modells*

<b>Parameter</b>	<b>Wert</b>
Umlaufvermögen	1e+007
Kosten pro Bereichsleiter	2
Kosten pro Training	10
Materialkosten pro Einheit	10
Preis pro Einheit	100
Personal	100
Standardproduktivität	100
Fehlzeiten	1
Werktage im Monat	20

Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 182.

Die Basissimulation ist in der Abbildung 13 dargestellt. In der Abbildung ist die Entwicklung der Kundenbasis und des Profites pro Jahr über eine Periode von 60 Wochen analysiert. Nach einer Einsichtnahme auf die Abbildung wird ersichtlich, dass sich das Unternehmen in Gefahr befindet. Das Unternehmen beginnt seine Kundenbasis bereits nach 6 Monaten zu verlieren und die Gewinne beginnen nach drei Jahren abzusacken. Des Weiteren bewegt sich die Personalauslastung über die gesamte Periode hinweg auf ein Niveau von 100 Prozent.

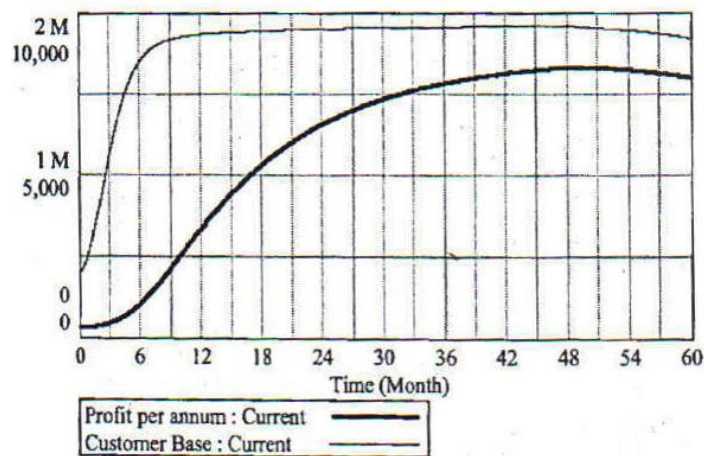
Abbildung 13: Szenario 0 - Basissimulation



Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 183.

Es gibt viele Methoden, die ergriffen werden können, damit die negative Entwicklung beseitigt werden kann. In dem Modell können die Drehschrauben wie die Anzahl der Trainingseinheiten und des Personals erhöht werden oder die Beziehungen in dem Modell verändert werden. Für den ersten Szenariodurchlauf wurde die Anzahl der Trainingseinheiten von eins auf zwei erhöht. Die Ergebnisse dieser Maßnahme sind in Abbildung 14 dargestellt. Nielsen et. al. bezeichnen das Ergebnis als überraschend. Die Kundenbasis steigt rapide an und stabilisiert sich auf ein Wert um die 10.000 und der Profit pro Jahr erreicht ein Niveau von 1.5 mal höher als die Basissimulation, als die Anzahl der Trainingseinheiten eins war.

Abbildung 14: Szenario 1 – Verdopplung der Trainingseinheiten

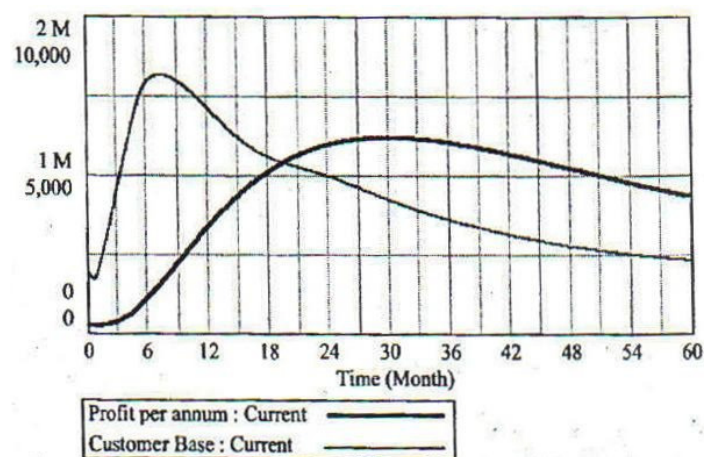


Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 183.

Die Variable Personal hat ebenso das Potential die negative Entwicklung der Basissimulation zu beheben. Nielson et al. kamen zu dem Ergebnis, dass eine ähnliche Entwicklung der Kennzahlen erreicht werden kann, wenn die Anzahl des Personals von 100 auf 135 erhöht wird.

In der Ausgangssimulation war die Bestellhäufigkeit auf den Wert zwei gesetzt worden. In der Abbildung 15 kann gesehen werden, wie sich die Erhöhung der Bestellhäufigkeit um den Wert eins auf das Unternehmen auswirkt. Profit pro Jahr verhält sich fast genauso wie in der Ausgangssimulation, während sich die Kundenbasis negativer entwickelt als in der Ausgangslage. Dieses Szenario veranschaulicht, wie sich das gesamte System entwickelt, selbst wenn nur ein Parameter verändert wird. Als Lösung für das vorliegende Problem könnten die bereits erwähnten Maßnahmen ergriffen werden.

Abbildung 15: Szenario 2 – Erhöhung der Bestellhäufigkeit



Quelle: in Anlehnung Nielsen, S./Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 183.

#### 4.5.6 Bewertung

Das klassische Balanced Scorecard Konzept weist viele Grenzen auf. Vier dieser Grenzen, die Fokussierung auf unidirektionale Kausalitäten, die Unfähigkeit Verzögerungen zwischen Ursache und Wirkung aufzuzeigen, das Nichtvorhandensein von Mechanismen für die Validierung und die ausgeprägte interne Fokussierung<sup>120</sup> wurden im Verlauf dieser Arbeit ausführlich diskutiert. Durch die Verknüpfung des BSC-Ansatzes mit der System Dynamics Modellierung, können die Grenzen des klassischen BSC-Konzepts überwunden

<sup>120</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 18.



werden.<sup>121</sup> System Dynamics ist eine Methode, die mit ihren konzeptionellen Werkzeugen ermöglicht, die Struktur und die Dynamik von komplexen Systemen zu verstehen. Durch die Abbildung komplexer Systeme in eine Computersimulation wird die Möglichkeit geschaffen, effektivere Policies und Organisationen zu entwickeln.<sup>122</sup>

Die unzureichende Erfassung von Dynamik und Rückkopplungen in Balanced Scorecards kann durch die dynamischen Rückkopplungsschleifen der System Dynamics Modellierung erfasst werden. Des Weiteren ermöglicht sie qualitative Zusammenhänge von Systemen quantifizierbar und damit messbar zu machen.<sup>123</sup>

Das Management des schwedischen Elektrizitätsunternehmens konnte durch die Verknüpfung der Balanced Scorecard mit der System Dynamics Modellierung die Ineffizienzen und Grenzen ihrer Scorecard beheben. Mittels der System Dynamics Modellierung wurde die dynamische Komplexität des Unternehmens erfasst. In dem Kausaldiagramm wurden die Ursache-Wirkungszusammenhänge zwischen den einzelnen Kennzahlen und den einzelnen Perspektiven aufgezeigt und die Rückkopplungsstrukturen erfasst. Des Weiteren wurden im Modell Zeitverzögerungen zwischen Ursache und Wirkung berücksichtigt, denn strategische Maßnahmen zur Erreichung bestimmter Ziele wirken sich eventuell langfristig auf die finanziellen Größen des Unternehmens aus. Bspw. ist es gängige Praxis, dass sich die Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten, die in einer Periode getätigt werden, sich langfristig auf die finanziellen Kennzahlen von Unternehmen auswirken. Nachdem die qualitativen Größen quantifiziert wurden, wurde die Entwicklung des Unternehmens über 60 Monate simuliert. Das Ergebnis der Basissimulation zeigte eine negative Entwicklung des Unternehmens auf. Im letzten Abschnitt der Fallstudie wurden drei Strategien untersucht, die die negative Entwicklung vermeiden sollte. Durch die Verknüpfung der BSC mit der SDM wurde ein Instrument zur langfristigen Unternehmenssteuerung geschaffen und somit wurde die BSC des schwedischen Unternehmens zu einer dienlichen Methode zur Prognose von Unternehmensergebnissen.

---

<sup>121</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 185.

<sup>122</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S.174.

<sup>123</sup> Vgl. Schöneborn, F. (Strategisches Controlling, 2004), S. 202f.

In der Literatur finden sich viele Beispiele, in denen die System Dynamics Modellierung mit dem Balanced Scorecard Konzept kombiniert wird. Die Verwendung von System Dynamics könnte in Zukunft die gängige Praxis der Entwicklung von Balanced Scorecards werden. Damit können Unternehmen risikofrei experimentieren, in dem sie einige Teile des Modells, Variablen oder Strategien verändern. Des Weiteren könnte es sein, dass die System Dynamics Modellierung nur die Grundlage der Entwicklung eines Balanced Scorecards wird.<sup>124</sup> Die Synergie zwischen SDM und BSC scheint eine win-win Situation für alle Stakeholder mit sich zu bringen.<sup>125</sup>

---

<sup>124</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E. (System Dynamics, 2008), S. 186.

<sup>125</sup> Vgl. Akkermans, H./ Ourshot, K. (Developing a BSC, 2002), S. 18.

## 5 Supply Chain Management

### 5.1 Einleitung

Der verschärfte Wettbewerb auf globalen Märkten, mit der Einführung von Produkten mit kurzen Produktlebenszyklen und erhöhten Kundenerwartungen haben Unternehmen gezwungen, sich auf ihre Wertschöpfungsketten, Supply Chains, zu konzentrieren. Die kontinuierlich größer werdenden Vorteile der Kommunikations- und Transporttechnologien begünstigen die kontinuierliche Entwicklung der Supply Chains und der Technologien, mit der diese Distributionsketten effektiv gemanagt werden. Eine typische Supply Chain umfasst alle Unternehmen, in denen Rohstoffe beschafft, Produkte produziert und anschließend zu den Großhändlern geliefert werden, damit sie schließlich über die Einzelhändler an die Kunden geliefert werden. Effektive Supply Chain Strategien müssen entwickelt werden, um Kosten zu reduzieren und die Servicequalität zu erhöhen. Die Supply Chain, die als ein Logistik Netzwerk bezeichnet wird, beinhaltet Zulieferer, Produzenten, Lagerhallen, Lieferzentren und Einzelhändler genauso wie Rohstoffe, Kurzzeitlager und Fertigungsprodukte, die zwischen den Werkstätten fließen.<sup>126</sup> David Simchi-Levi et. al. definieren Supply Chain Management folgendermaßen:

„Supply chain management is a set of approaches utilized to efficiently integrate suppliers, manufacturers, warehouses, and stores, so that merchandise is produced and distributed at the right quantities, to the right locations, and at the right time, in order to minimize systemwide costs while satisfying service level requirements.“<sup>127</sup>

Supply Chain Management umfasst alle Einrichtungen, die einen Einfluss auf die Kosten und eine Rolle in der Erstellung eines Produktes nach den Kundenanforderungen haben. Von Zulieferer- und Herstellungseinrichtungen durch Lagerhallen an Distributionszentren zu Einzelhändlern sind alle Unternehmen, die an der Erstellung und Lieferung eines Produktes beteiligt sind, ein Teil der Wertschöpfungskette. Das Ziel von Supply Chain Management ist entlang des gesamten Systems effizient und kostengünstig zu sein. Systemweite Kosten, der Transport und der Absatz von Rohstoffen, Halbfabrikaten und gefertigten Gütern, sind zu minimieren.<sup>128</sup>

---

<sup>126</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 1f.

<sup>127</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 1.

<sup>128</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 1f.

Die Frage, die sich Unternehmen in Bezug auf ihre Wertschöpfungsketten stellen, ist, wie so die Realisierung einer systemweiten, global optimalen, integrierten Lösung schwer ist. Erstens sind Supply Chains komplexe Netzwerke von Unternehmen, die geographisch und in vielen Fällen global verteilt sind. Es ist gängige Praxis, dass globale Unternehmen mit mehreren Zuliefererunternehmen in unterschiedlichen Ländern zusammenarbeiten, die wiederum unterschiedliche Zulieferer haben. Bspw. sind die Produktionsstätten des amerikanischen Halbleiterherstellers National Semiconductor, einer der größten Halbleiterhersteller der Welt, global auf der Welt verteilt. Die Einrichtungen sind in den USA, Großbritannien, Malaysia, China und Singapur. Produkte, die in diesen Zentren gefertigt werden, werden zu hunderten von Produktionseinrichtungen auf der ganzen Welt verteilt, unter anderem Apple, Canon, Delphi, Ford, IBM, Hewlett Packard und Siemens. Aufgrund der Tatsache, dass der Markt für Halbleiter hart umkämpft ist, sind kurze Lieferzeiten und termingerechte Lieferungen von essentieller Bedeutung für die Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen.<sup>129</sup> Des Weiteren nimmt der Logistikaufwand bei den Transporten erheblich zu, da Unternehmen aus mehreren verschiedenen Ländern über große Entfernungen hinweg miteinander zusammenarbeiten müssen.<sup>130</sup>

Das zweite Problem für das Management von Supply Chains sind die unterschiedlichen Zielsetzungen der Unternehmen einer Wertschöpfungskette. Das Ziel der Massenfertigung in Produktionsstätten läuft dem Ziel von Lagerhallen und Distributionszentren, die ihre Lagerbestände gering halten wollen, entgegen.<sup>131</sup>

Des Weiteren ist eine Supply Chain ein dynamisches System, was sich über die Zeit entwickelt. Nicht nur die Kundennachfrage und die Leistungsfähigkeit der Zulieferer verändert sich mit der Zeit, sondern die Beziehungen innerhalb eines Supply Chains entwickeln sich ebenso. Ein weiteres Problem sind Schwankungen in der Nachfrage. Im Planungsprozess müssen die Parameter für Kosten und die Nachfrage, die über die Zeit mit saisonalen Schwankungen, Trends, Promotionen und der Preisstrategie der Wettbewerber variieren, berücksichtigt werden. Diese zeitbedingte Nachfrage und Kostenparameter erschweren es, eine effektive Supply Chain Strategie zu bestimmen, welches einerseits die

---

<sup>129</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 4.

<sup>130</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 1f.

<sup>131</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 5.

systemweiten Kosten reduziert und andererseits den Kundenanforderungen konform wird.<sup>132</sup>

Die Ziele des Supply Chain Managements sind durch eine ganzheitliche und prozessorientierte Betrachtung,

- die Kundenorientierung und –zufriedenheit zu verbessern,
- den Bedarf mit der Versorgung zu synchronisieren,
- die Bestände entlang der Wertschöpfungskette ab zu bauen,
- eine bedarfs- und umweltgerechte Produktion,
- Flexibilität bei Beschaffung und beim Absatz,
- und die Verbesserung der Termintreue und des Lieferservices

zu erreichen.<sup>133</sup>

## 5.2 Beer Game

Das „Beer Game“<sup>134</sup> ist das weltweit bekannteste Unternehmensplanspiel, das als eine Einführung in die Probleme und Möglichkeiten von Supply Chain Management benutzt wird. Das Planspiel, auch „Beer Distribution Game“ genannt, wurde in den 60er Jahren von der System Dynamics Bewegung unter der Führung von Jay. W. Forrester an der Sloan School of Management des MIT entwickelt. Es soll, wie bereits erwähnt, einen Einstieg in die Problematik von Wertschöpfungsketten ermöglichen und als "Flugsimulator für Manager" fungieren. Manager können durch das Spiel die Folgen ihres Handelns erleben<sup>135</sup>, dabei die Problematik von Wertschöpfungsketten anschaulich verstehen und die Fähigkeit erlangen, die dynamischen Effekte in diesen Supply Chains zu analysieren und zu verstehen.<sup>136</sup>

Das „Beer Game“ wurde bis jetzt von mehreren tausenden Menschen auf der Welt gespielt und dabei oft verändert. Dabei ist anzumerken, dass das Produkt, was durch die Supply Chain verschickt wird, die grundlegenden Aussagen der Simulation nicht beeinflusst. Anstatt Bier könnte man genauso gut Tee oder Fruchtsaft<sup>137</sup> durch die Wertschöp-

---

<sup>132</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 5.

<sup>133</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>134</sup> Das Beergame wird ausführlich von Sterman, John D. (The Beer Game, 1992) und Ossimitz, G. (SCM 2002) beschrieben.

<sup>135</sup> Vgl. Ossimitz, G. et al. (Supply Chain Management, 2002), S. 18.

<sup>136</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.42.

<sup>137</sup> Vgl. Sterman, John D. (The Beer Game, 1992).

fungskette schicken.<sup>138</sup> Als Produktions- und Konsumgut wurde Bier ausgewählt, um eine höhere emotionale Beteiligung der Spieler zu erreichen.<sup>139</sup> Das Spiel wird, wie in der Abbildung 16 zu sehen ist, auf einem Brett gespielt, das die Produktion und Distribution von Bier darstellt.

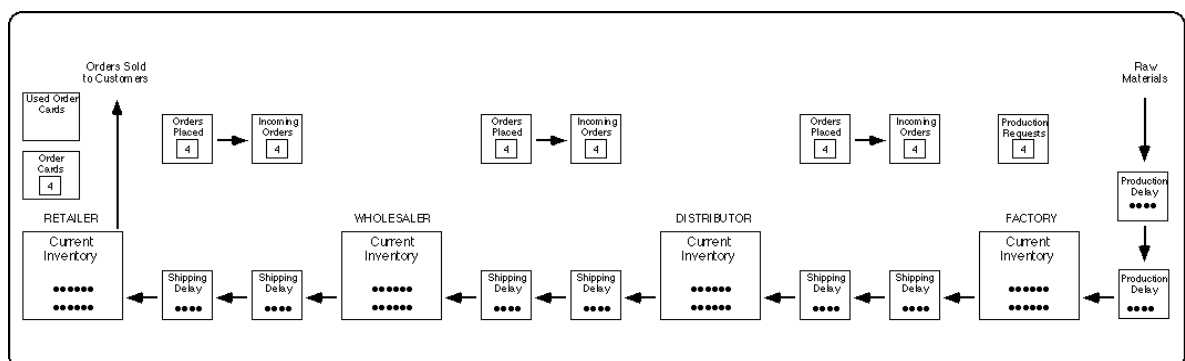
Abbildung 16: Manager spielen das Beer Game am MIT



Quelle: Serman, John D. (The Beer Game, 1992).

Die Simulation basiert auf einer vierstufigen Logistikkette, in der das gemeinsame Ziel die Bierproduktion ist. In der Abbildung 17 ist die lineare Bier- Distributionkette schematisch dargestellt. Die Supply Chain besteht von links nach rechts aus einer Fabrik (*Retailer*), einem Regionallager (*Wholesaler*), einem Großhändler (*Distributor*) und einem Einzelhändler (*Factory*), der mit der Kundennachfrage direkt konfrontiert ist.<sup>140</sup>

Abbildung 17: Spielbrett - Ausgangslage



Quelle: Serman, John D. (The Beer Game, 1992).

<sup>138</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>139</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S. 43.

<sup>140</sup> Vgl. Milling, P. (Supply Chain Management, 1999), S. 2.

Jedem der Spieler wird eine Rolle in der vierstufigen Logistikkette zugewiesen, sodass vor dem Spielbeginn jede der Logistikstufen mit mindestens zwei Personen besetzt ist. Das Ziel von jeder Logistikstufe ist es, in jeder Runde, die eine Woche ist, die Bestellungen der nachgeordneten Stufe möglichst optimal zu erfüllen und die eigene Lieferfähigkeit durch Bestellungen bei vorgeordneten Logistikstufen aufrecht zu erhalten. Die Kommunikation zwischen den Stufen erfolgt nur über das Verschicken von Lieferungen und die Erteilung von Bestellungen. Jede Stufe ist lediglich nur über die Bestellungen, die sie selbst tätigt, informiert. Bestellungen anderer Stufen sind nicht bekannt. Der Einzelhändler erhält im Gegensatz zu den anderen Stufen eine weitere Information, Nachfrage des Marktes, vom Spielleiter. Absprachen und Tricks sind ausnahmslos verboten.<sup>141</sup>

Alle Stufen haben eine identische Struktur. Sie verfügen über ein Zentrallager, das durch Zuflüsse aus dem Wareneingangspuffer und Abflüsse in den Warenausgangspuffer verändert wird. Bei der Lieferung der Waren aus einem Zentrallager in das Zentrallager der nachgelagerten Stufe treten Verzögerungen auf. Für den Informationsfluss gilt das Gleiche, sodass Verzögerungen auftreten bis die erteilten Bestellungen einer Stufe zu eingehenden Aufträgen der nachgelagerten Stufe werden.<sup>142</sup> In der Regel dauert es zwei Wochen, bis die Bestellungen einer Periode eintreffen. Diese Tatsache bringt enorme Auswirkungen für den Spielverlauf mit sich.<sup>143</sup>

In der Abbildung 17 ist die Ausgangslage des Spiels dargestellt. Die Logistikkette befindet sich am Anfang des Spiels im Gleichgewicht. In jedem Zentrallager sind zwölf Kästen Bier und in jedem Pufferlager sind vier Kästen Bier. Die Nachfrage beträgt vier Kästen pro Periode und jede Stufe der Logistikkette hat vier Kästen erteilte Bestellungen und eingehende Aufträge. Das Spiel besteht aus zwei Flüssen: Informations- und Materialflüsse. Die Waren werden entlang des physischen Materialflusses von der Fabrik zum Endkunden geliefert. Die Bestellungen in Form von *Order Cards* fließen in die Gegenrichtung. Ist eine der Stufen des Distributionssystems nicht in der Lage, die eingehenden Bestellungen auszuliefern, bleibt die Nachfrage als Auftragsrückstand bis zur tatsächlichen Lieferung erhalten. Stornierungen von erteilten Bestellungen oder Aufträgen sind in der gesamten

---

<sup>141</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>142</sup> Vgl. Milling, P. (Supply Chain Management, 1999), S. 3.

<sup>143</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

Lieferkette nicht erlaubt.<sup>144</sup> Die ersten vier Runden werden dazu verwendet, die Spieler mit dem Spiel vertraut zu machen. Danach beginnt der Spieler die Nachfrage zu variieren. Selbst kleine Änderungen reichen aus, damit im System Chaos und Panik erzeugt werden.<sup>145</sup> Spielern wird erzählt, dass das Spiel 50 Perioden läuft. Es wird jedoch nach 36 Wochen abgebrochen, um zeitbedingte Nebenwirkungen zu vermeiden.<sup>146</sup>

Das Ziel der Spieler ist die gesamten Teamkosten, also die Gesamtkosten der Supply Chain, zu minimieren. Die Gesamtkosten der Wertschöpfungskette setzen sich aus zwei Arten von Kosten zusammen, den Lagerhaltungskosten und Verzugskosten. Die Lagerhaltungskosten werden mit \$ 0,50 pro Kasten pro Woche und die Verzugskosten werden mit \$ 1.00 pro Kasten pro Woche bewertet.<sup>147</sup> Konkret bedeutet dies, dass die Spieler \$ 0,50 pro Kasten Bier verlieren, die sie in ihren Lagern haben, was in der Realität als Opportunitätskosten für das investierte Kapital gesehen werden kann. Ist eine Stufe der Supply Chain nicht in der Lage, die in Auftrag gegebene Bestellung zu liefern, so betragen die Kosten 1 Dollar, was als Vertragsstrafe zu verstehen ist. Um die Gesamtkosten zu minimieren, muss jeder Spieler seine Bestellpolitik darauf auszurichten, einen niedrigen Lagerbestand zu haben, aber dabei immer lieferfähig zu sein und damit die Nachfrage der Kunden zu befriedigen. Ist ein Spieler in einer Periode nicht lieferfähig, so muss die bestellte Menge in den folgenden Runden ausgeglichen werden. Die Kosten werden von den Spielern individuell erfasst und am Ende des Spiels addiert.<sup>148</sup> Die Spieler müssen in jeder Periode aufgrund der vergangenen und erwarteten Nachfrage Entscheidungen bezüglich der Bestellmengen treffen. Dabei ist anzumerken, dass es während des Spielverlaufes zu starken dynamischen Verhalten der simulierten Wertschöpfungskette kommt.<sup>149</sup>

Sterman findet das Spiel trügerisch leicht im Vergleich zur Realität. Alles was die Spieler zu tun brauchen, sei die Kundennachfrage zu befriedigen, dabei genug von den Zulieferern zu bestellen und den Lagerbestand niedrig halten, während man Verzugskosten vermeidet. Es gibt keine Maschinenausfälle oder andere Zufallsereignisse, keine personel-

---

<sup>144</sup> Vgl. Milling, P. (Supply Chain Management, 1999), S. 3ff.

<sup>145</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>146</sup> Vgl. Sterman, J. D. (The Beer Game, 1992).

<sup>147</sup> Vgl. Sterman, J. D. (The Beer Game, 1992).

<sup>148</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 7ff.

<sup>149</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.43.

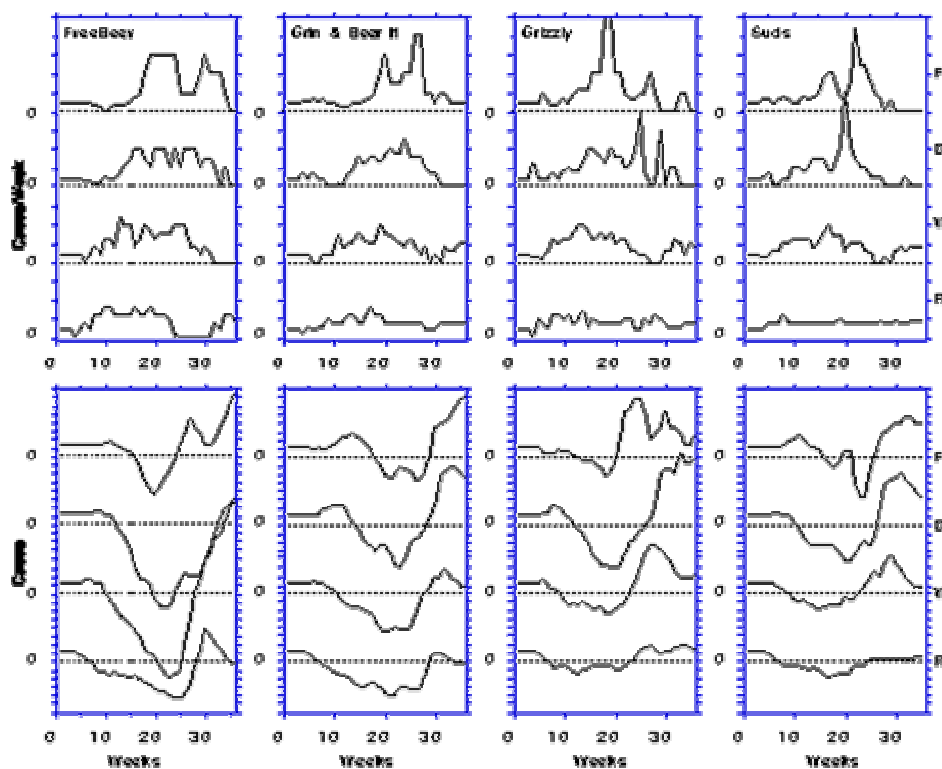


len Probleme, keine Kapazitätsgrenzen oder finanzielle Beschränkungen. Nichtsdestotrotz bezeichnet Sterman die Ergebnisse des *management flight simulators* als schockierend.<sup>150</sup>

### Ergebnisse:

Wie bereits erwähnt wurde das Spiel von tausenden von Leuten in verschiedenen Ländern gespielt. Bemerkenswert ist dabei, dass bei der Entwicklung von Lagerbeständen und Bestellmengen immer wieder dasselbe Muster auftaucht.<sup>151</sup>

Abbildung 18: Ergebnisse von Beergame-Simulationen am MIT



Quelle: Sterman, John D. (The Beer Game, 1992).

Die Abbildung 18 repräsentiert die Ergebnisse von einem „Beer-Game“, das unter der Führung von John D. Sterman an dem MIT gespielt wurde, in den Masterstudenten und Geschäftsleute involviert waren. Jede der Spalten steht für ein Team. Die oberen vier Diagramme zeigen die Bestellaufträge der jeweiligen Spieler, während die unteren vier Diagramme die Lagerbestände der Spieler darstellen. Von oben nach unten repräsentiert der erste Graph immer die Fabrik (F), der zweite die Großhändler (D), der dritte die Regionalhändler (W) und der vierte immer die Einzelhändler (R). Die Durchschnittskosten der

<sup>150</sup> Vgl. Sterman, J. D. (The Beer Game, 1992).

<sup>151</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

Teams liegen bei \$ 2000, obwohl es nicht unüblich ist, dass die Kosten in einigen Fällen die 10.000 Dollar Marke überschreiten oder sich unter \$ 1.000 belaufen. Die optimale Lösung, wenn die Spieler alle Informationen, die ihnen zur Verfügung stehen, nutzen, ist ein Gesamtkostenvolumen von \$ 200. Demnach sind die Durchschnittskosten zehnmal höher als bei der optimalen Lösung.<sup>152</sup> Bei der Betrachtung der Graphen für die Bestellungen und für die Lagerbestände wird schnell ersichtlich, dass sich die Graphen der einzelnen Spalten, also der Supply Chains, sich ähneln. In jeder Kette tauchen dieselben Muster auf, die drei wesentliche Charakteristiken aufweisen.<sup>153</sup>

**Oscillation:** Bei den Bestellmengen und Lagerbeständen treten große Schwingungen auf, die durchschnittlich etwa 20 Wochen andauern.

**Amplification:** Die Schwankungen in den Bestellungen erhöht in der Supply Chain den upstream vom Einzelhändler zur Fabrik.

**Phase Lag:** Das Phänomen der Phasenverschiebung ist am besten in der vierten Spalte festzustellen. Die Graphen der Fabrik und des Großhändlers sind fast identisch und sind gleichzeitig phasenverschoben.<sup>154</sup>

Bei näherer Betrachtung der Kurven fällt schnell auf, dass der Einzelhändler in der vierten Spalte im Vergleich zu den anderen eine konstante Bestellquote hat. Der Reginalhändler in dieser Spalte weist trotzdem eine dynamische Bestellquote mit deutlichen Schwankungen auf. Dies führt dazu, dass der Großhändler, der die Bestellaufträge des Reginalhändlers als Eingangssignal bekommt, weist noch stärkere Schwankungen auf als der Reginalhändler. Die Fabrik, das letzte Glied der Supply Chain, aufweist einen ähnlichen Bestellverlauf auf wie der Distributor, jedoch zeitlich um ca. zwei bis drei Wochen versetzt.<sup>155</sup>

Die Bestellungen beeinflussen die Lagerbestände der Logistikstufen. Bei genauer Betrachtung wird schnell sichtbar, dass die Schwankungen vom Einzelhändler bis zu Fabrik verstärkt werden. Genauso wie bei den Bestellungen steigt die Stärke der Schwankungen der Lagerbestände von Stufe zu Stufe der Supply Chain an. Diese festgestellten typischen

---

<sup>152</sup>Vgl. Serman, J. D. (The Beer Game, 1992).

<sup>153</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>154</sup> Vgl. Serman, J. D. (The Beer Game, 1992) und Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>155</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S. 43 ff

Schwankungsmuster in den Bestellmengen und in den Lagerbeständen sind unter *Bullwhip-Effekt* bekannt.<sup>156</sup>

### 5.3 Bullwhip Effekt

#### 5.3.1 Definition

Das Phänomen *Bullwhip-Effekt*, was in einigen Wirtschaftszweigen als *Whiplash* oder *Whipsaw-Effekt* bekannt ist, tritt bei unternehmensübergreifenden Lieferketten auf.<sup>157</sup> Trotz relativ geringer Nachfragevariabilität auf Kundenseite, lässt sich in mehrstufigen Lieferketten beobachten, dass die Bestellmengen und Lagerbestände auf den höheren Stufen der Lieferkette große Schwankungen aufweisen.<sup>158</sup> Der Bullwhip-Effekt wurde in den 60er Jahren mit der Veröffentlichung des „Industrial Dynamics“ von Jay W. Forrester am MIT bekannt. In dem Buch analysierte er das Verhalten der Supply Chain bei unterschiedlichen Nachfrageverläufen und konnte nachweisen, dass sich die Schwankungen der Bestellungen von unten nach oben durch die Logistikkette aufgeschaukelt haben.<sup>159</sup> Als Ursache für das Aufschaukeln sah Forrester die industriedynamischen Prozesse und das inkonstante Verhalten von Unternehmen im Zeitablauf und wies damit erstmals auf die Wichtigkeit der ganzheitlichen Betrachtung der Wertschöpfungsketten hin.<sup>160</sup> Ossimitz definiert Bullwhip-Effekt folgendermaßen: „Die Erhöhung an Variabilität von Bestellungen einerseits und Lagerbeständen andererseits, die wir erleben, wenn wir die Lieferkette hinaufwandern, wird als Bullwhip-Effekt bezeichnet.“<sup>161</sup> Der peitschenartige, sich aufschwingende dynamischen Effekt der Systembestände, der in vielen realen Systemen beobachtet wird,<sup>162</sup> ist in der Abbildung 19 graphisch dargestellt.

Der Begriff Bullwhip-Effekt wurde Anfang der 90er Jahre von Konsumgüterhersteller Procter & Gamble geprägt. Bei einer Marktuntersuchung stieß der Konzern in Bezug auf die Produktion und Nachfrage seines Produktes Pampers-Windel auf das interessante Phänomen. Trotz relativ konstanter Verkaufszahlen auf Kundenseite wurde festgestellt, dass sich die Nachfrage der Zwischenhändler stärker variierte und die eigenen Bestellungen bei den Zulieferfirmen erhebliche Schwankungen aufwiesen. Der italienische Nudel-

---

<sup>156</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.43ff.

<sup>157</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM, 2002).

<sup>158</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 4.

<sup>159</sup> Vgl. Ossimitz, G. et al. (Supply Chain Management, 2002), S. 15f.

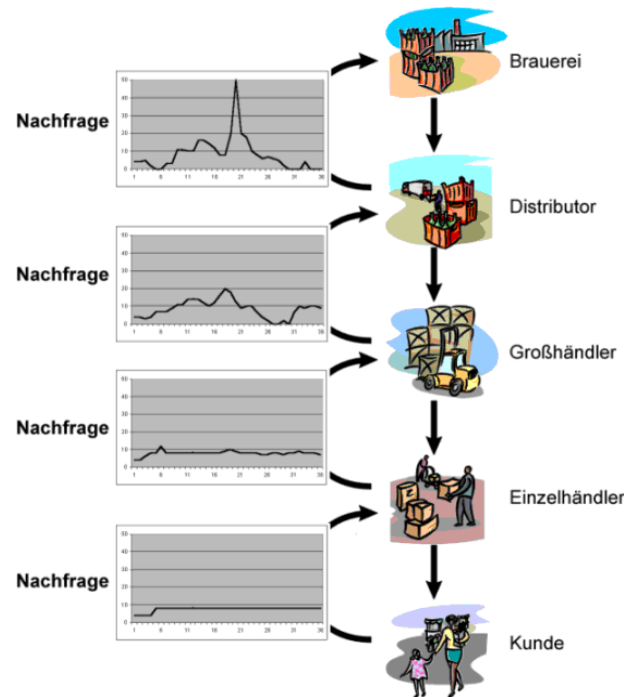
<sup>160</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 4.

<sup>161</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM, 2002).

<sup>162</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S. 43ff.

hersteller Barilla stellte fest, dass sich die Lieferungen bei einem der lokalen Verteilerlager die wöchentlichen Lieferungen im Jahresablauf um den Faktor 70 schwankten, während die Lieferungen an die Supermärkte lediglich um den Faktor 3 schwankten. Der Bullwhip-Effekt konnte in zahlreichen Fallstudien in der Textil- und Computerbranche beobachtet werden.<sup>163</sup>

Abbildung 19: Der Bullwhip-Effekt: „Je weiter upstream man sich bewegt, umso mehr wird die Nachfrage ‚aufgepeitscht‘“



Quelle: Ossimitz, G. (SCM, 2002)

### 5.3.2 Ursachen für die Entstehung

Um den Bullwhip-Effekt zu verstehen, müssen zunächst die Ursachen für die Schwankungen der Bestellmengen verstanden werden. In der Realität tätigen Unternehmen aufgrund fixer Bestellkosten *Bündelbestellungen* mit einer optimalen Bestellmenge und einer optimalen Bestellhäufigkeit für den eigenen Bedarf. Diese Bündelbestellungen führen dazu, dass Bestellungen in bestimmten Zeiträumen erfolgen. Perioden ohne Bestellung folgen gewöhnlich Perioden mit einer großen Bestellmenge. Diese Unbeständigkeit wird zusätzlich durch die Einräumung von Mengenrabatten durch die Zulieferer verstärkt. Des Weiteren führen *Preisfluktuationen* dazu, dass Unternehmen ihre Lager in Zeiten niedriger Preise für Fertigungsprodukte füllen. Dabei werden große Bestellungen getätigt. Wenn die Preise wieder steigen, werden solange die Lagerbestände es erlauben, keine

<sup>163</sup> Vgl. Simchi-Levi et al. (The Supply Chain, 2008), S. 143-152 und Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 5.

Bestellungen durchgeführt. Die Konsequenz ist, dass Perioden mit überfüllten Lagern, Perioden der **Knappheit** folgen. Die Schwankungen innerhalb der Bestellmengen schaukeln sich in der Wertschöpfungskette in die höheren Logistikstufen noch zusätzlich auf.<sup>164</sup> In der folgenden Tabelle sind die Ursachen des Bullwhip Effektes mit den Faktoren, die zu diesen Ursachen beitragen, dargestellt.

Tabelle 4: Ursachen des Bullwhip-Effektes

Ursachen des Bullship Effekts	Beigetragene Faktoren
Unsichere Informationslage und Prognoseprobleme	Lokale Erstellung der Nachfrageprognosen, Erhöhung der Sicherheitsbestände, Keine Informationen über tatsächliche Nachfrage
Lange Auftragsdurchlaufzeiten	Lange Bestell-, Produktions- und Lieferlaufzeiten verstärken Schwankungen über die Berechnung der Sicherheitsbestände
Schubweise Bestellungen durch Losgrößenbildung	Hohe Bestellfixkosten, Transportkostensparnisse, Organisatorische Faktoren,
Werbeaktionen und Preisfluktuationen	Einmalige Werbeaktionen, Rabattpolitik
Rationierung und Spekulationen bei Engpässen	Allokationspolitik bei Rationierungen, keine Mengenbeschränkungen, keine Stornogebühren

Quelle: in Anlehnung Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 19.

### 5.3.3 Auswirkungen des Bullwhip-Effekts

Die mangelnde Koordination zwischen den Partnern einer Wertschöpfungskette mit dem daraus resultierenden Bullwhip-Effekt wirkt sich negativ auf die gesamte Supply Chain aus. Unternehmen müssen größere Lagerbestände und Sicherheitspuffer aufbauen, um bei schwankenden Bestellmengen die eigene Lieferfähigkeit sicherzustellen. Dadurch erhöhen sich die Lagerhaltungskosten der einzelnen Logistikketten der Supply Chain und damit wird Kapital des Unternehmens in den Lagerbeständen gebunden. Aufgrund der Schwankungen in den Bestellungen und Lieferungen müssen die Transport-, Personal- und Produktionskapazitäten an die schwankende Nachfrage angepasst, d. h. in Zeiten hoher Nachfrage ausgebaut werden, was dazu führt, dass die Transport-, Personal und Herstellungskosten steigen.<sup>165</sup>

<sup>164</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM, 2002).

<sup>165</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S. 6f

Die Schwankungen der Nachfrage erhöhen die Wahrscheinlichkeit von Lieferverzögerungen, Engpässen und Fehlmengen, was sich negativ auf den Servicegrad auswirkt. Eine angemessene Servicequalität lässt sich nur mit vielen Kostennachteilen halten. Die Nichtverfügbarkeit von Fertigungsprodukten von den Zulieferern kann dazu führen, dass die eigene Produktion und die nachfolgenden Stufen der Supply Chain nicht termingerecht bedient werden können. Außerdem kann die fehlende Koordination zu einer negativen Beeinflussung der Beziehungen der Partner in der Supply Chain führen.

Die mit dem Bullwhip-Effekt verdeutlichten Schwankungen bringen erhebliche Ineffizienzen und Koordinationsprobleme der gesamten Wertschöpfungskette mit sich. Erhöhte Lagerbestände, hohe Kapitalbindung, ineffiziente Bedarfsplanung, schlechte Kapazitätsauslastung, erhöhte Kosten, verschlechterter Service und unzufriedene Kunden aufgrund verminderter Lieferfähigkeit sind Folgen des Bullwhip-Effektes. Untersuchungen haben ergeben, dass die durch den Effekt anfallenden Kosten negativ auf die Profitabilität der Unternehmung auswirken. Die Profitabilität einer Unternehmung könnte bis zu 30 % steigen, wenn die Auswirkungen des Bullwhip-Effektes reduziert werden könnten.<sup>166</sup>

#### 5.4 Supply Chain Management & System Dynamics

Die Wurzel der Anwendung der System Dynamics Modellierung im Supply Chain Management liegen in den Arbeiten Forresters, die Ende der 50er Jahre entstanden sind. Die erste Veröffentlichung, in der die System Dynamics Modellierung mit Supply Chain Management in Verbindung gebracht wurde, ist der Artikel „A major breakthrough for decision makers“, der im Jahre 1958 in der Harvard Business Review erschienen ist. Forrester sah die Supply Chain als einen Teil eines industriellen Systems.<sup>167</sup> „Management is on the verge of a major breakthrough in understanding how industrial company success depends on the interaction between the flows of information, materials, money, manpower, and equipment. The way these five flow systems interlock to amplify one other and to cause change and fluctuation will form a basis for anticipating the effects of decisions, policies, organizational forms, and investment choices.“<sup>168</sup> Mit diesen einleitenden Sätzen machte Forrester schon damals auf die Bedeutsamkeit der ganzheitlichen Betrachtung der Wertschöpfungskette eines Unternehmens aufmerksam, ohne es damals eine Supply

---

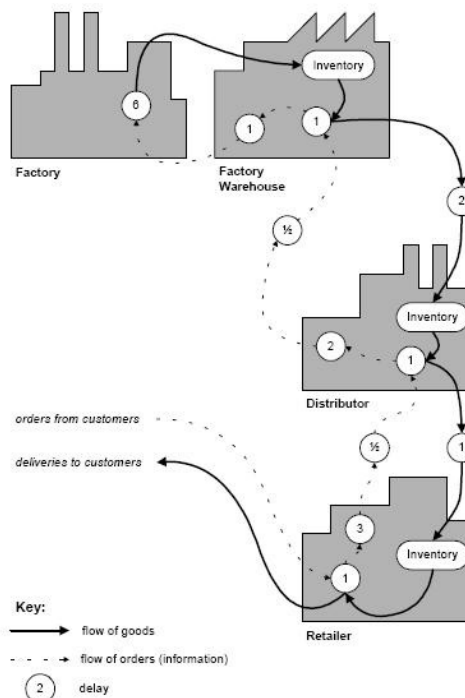
<sup>166</sup> Vgl. Riemer, Kai (E-Commerce, 2008), S.6f und Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>167</sup> Vgl. Angerholfer, B/ Angelides M.C. (System Dynamics, 2000), S. 342.

<sup>168</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Breakthrough, 1978), S. 37.

Chain zu nennen. Er beschrieb das Modell eines Produktions-Distributions-Systems in sechs interagierenden Fluss-Systemen, die die betriebsinternen Flüsse von Informationen, Material, Bestellungen, Geld, Arbeitskräfte und Umlaufkapital darstellten. Im Zuge der Entwicklung und Verwendung der System Dynamics Modellierung versuchte Forrester die Probleme des Supply Chain Managements zu beschreiben, zu analysieren und zu erklären.<sup>169</sup> Mit der Entwicklung der System Dynamics wurde die ganzheitliche Optimierung funktions- und organisationsübergreifender Einheiten und Prozesse als richtungweisender Management-Grundgedanke verstanden. Dieser Management-Grundgedanke, der vom Forrester antizipiert wurde, stellt heute die Grundlage des Supply Chain Managements dar.<sup>170</sup>

Abbildung 20: Forresters Supply Chain



Quelle: Angerholfer, B/ Angelides M.C. (System Dynamics, 2000), S. 343.

Die Abbildung 20 zeigt das klassische Supply Chain Modell, das von Forrester für die Simulation seiner Experimente verwendet wurde. Die Materialflüsse sind downstream, von der *factory* über die *factory warehouse*, dem *distributor* zu dem *retailer* und letzten Endes zum *customer*. Bestellungen und Informationsfluss fließen upstream und in jeder Stufe werden Verzögerungen berücksichtigt. Diese Verzögerungen repräsentieren Verzögerungen in der Herstellungszeit oder Verzögerungen in administrativen Aufgaben oder Be-

<sup>169</sup> Vgl. Angerholfer, B/ Angelides M.C. (System Dynamics, 2000), S. 342f.

<sup>170</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S. 31

stellprozessen. Mit seinen Forschungen untersuchte Forrester bereits in den 60er Jahren viele aktuelle Forschungsfragen bezüglich des Supply Chain Managements, bspw. Nachfrageschwankungen, Lagerbestandsschwankungen, Einfluss von Werbemaßnahmen auf Produktionssteuerung, dezentralisierte Kontrolle und die Auswirkungen der Benutzung von Informationstechnologien im Managementprozess.<sup>171</sup>

Forrester untersucht in seiner Veröffentlichung „A major breakthrough for decision makers“ und in seinem Buch „Industrial Dynamics“ wie sich unterschiedliche Störsignale, wie saisonale und stochastische Nachfrage, auf die Wertschöpfungskette auswirken.<sup>172</sup> Die Simulationsergebnisse zeigen dynamische und oszillierende Prozesse auf, die sich in schwankenden Bestell- und Lagermengen äußern.<sup>173</sup>

Man betrachte die Wertschöpfungskette, die Forrester für seine Forschungen verwendet hat. Sie ist mit der Wertschöpfungsstruktur des „Beer Game“ identisch. Im Kern wird die Produktion und Distribution in einem industriellen System simuliert. Dabei ist die einzige Aufgabe der Stufen der Supply Chain Produktionsraten mit Kundennachfrage zyklisch in Einklang zu bringen. Das Beer Game zeigt uns, dass diese zunächst einfach erscheinende Aufgabe in vielen Fällen nicht zufrieden stellend gelöst wird. Die dynamische Entwicklung in der Wertschöpfungskette verursacht unter anderem den Bullwhip-Effekt, die die gesamte Wertschöpfungskette negativ beeinflusst. System Dynamics ermöglicht die Analyse und Simulation von industriellen Systemen. Dabei werden folgenden Fragestellungen nachgegangen:<sup>174</sup>

- “Wie tragen die Struktur und die Entscheidungsprozesse eines mehrstufigen industriellen Systems dazu bei, dass eine Amplifikation der Varianz des Nachfragesignals entsteht?
- Wie kommt es zu intern generierten Oszillationen der Nachfrage und der Bestände?
- Welche Management-Entscheidungen beeinflussen die intern generierten Oszillationen von Bestellungen und Lagerbestand?
- Wie reagiert das System auf Änderungen der Kundennachfrage?“<sup>175</sup>

---

<sup>171</sup> Vgl. Angerholfer, B/ Angelides M.C. (System Dynamics, 2000), S. 342f.

<sup>172</sup> Die Simulationsergebnisse, detaillierte Beschreibung des Systems und die Formulierung der Modellgleichungen finden sich in Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), S. 137ff.

<sup>173</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S. 41ff.

<sup>174</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.37ff.

<sup>175</sup> Vgl. Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.37ff.



Vor der Analyse der Supply Chain mit System Dynamics müssen drei Eigenschaften des Supply Chain Systems bekannt sein. Diese Eigenschaften sind:

**Systemstruktur:** Sie gibt Auskunft über den Aufbau des Systems. Dabei wird die Anzahl der Elemente und die Interaktionen zwischen diesen Elementen erfasst.

**Verzögerungen:** In einer Wertschöpfungskette treten in der Regel oft Lieferverzögerungen und Bestellverzögerungen auf, die erfasst werden müssen.

**Entscheidungsverhalten** der Systemelemente: Durch die Bestellpolitik wird eine formale Handlungsgrundlage geschaffen, die vorgibt, bei welchem Systemzustand Bestellungen mit welcher Regelmäßigkeit und in welcher Höhe ausgelöst werden.<sup>176</sup>

Die Fokussierung auf Rückkopplungsstrukturen und Zeitverzögerungen machen System Dynamics zu einer dienlichen Methode für Untersuchung von Wertschöpfungsketten. Eine wichtige Eigenschaft der System Dynamics Modellierung ist die Möglichkeit, den Eintritt eines spezifischen Verhaltens herleiten zu können, da die Struktur, die das Systemverhalten verursacht, transparent gemacht wird. Der Nachteil der Benutzung der Simulationsmethode ist, dass die Struktur der gesamten Wertschöpfungskette erfasst bzw. bestimmt werden muss, bevor die Simulation gestartet werden kann. Soll eine flexible Wertschöpfungsstruktur modelliert werden, so müssen alle möglichen Partner der Supply Chain mit den Verbindungen zu den Handelspartnern in das Modell hinzugefügt werden.<sup>177</sup>

## 5.5 Case Study

Das hier erläuterte Fallbeispiel ist dem Buch "Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World" von John D. Sterman entnommen.<sup>178</sup> Als Beispiel für die Anwendung von System Dynamics im Supply Chain Management wurde die „Fast Growth Electronics“, ein Pseudonym, was im Folgenden als FGE abgekürzt wird, untersucht. Es handelt sich um eines der größten Unternehmen in der IT-Industrie. Diese hartumkämpften Märkte mit rasantem Wachstum, Komplexitätszunahme der Technologie und der zunehmenden Globalisierung sind die dynamischsten und nachfrageintensivsten Märkte der heutigen Weltwirtschaft. Diese Entwicklungen stellen große Herausforderungen für Geschäftsprozesse, für das Supply Chain Management und Produktentwicklun-

---

<sup>176</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Breakthrough, 1978), S. 43 und Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007), S.37ff.

<sup>177</sup> Shieritz, N./ Größler, A. (Supply Chains, 2003), S. 1f.

<sup>178</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 743-755

gen dar. Preise fallen in enormem Maß, während die Geschwindigkeit und Funktionalität mit jeder neuen Produktgeneration wächst. Produktlebenszyklen von etwa einem Jahr bedeuten für die Unternehmen, dass sie nur einige Monate Zeit haben, eine ausreichende Menge eines neuen Produkt zu verkaufen und den Umsatz zu erhöhen, um die höchstmögliche Profitabilität zu erreichen, die für weitere, neue Produktentwicklungen benötigt werden.

### 5.5.1 Ausgangslage

Auf den ersten Blick war die FGE sehr erfolgreich. Im Hintergrund allerdings wuchs die Belastung auf das Unternehmen an. Das rasante Wachstum belastete die Systeme des Unternehmens für Bestellprozesse, Prognosen, Produktionsplanung, Materialbeschaffung und andere Kernprozesse des Unternehmens. So wurden bspw. Liefertermine nicht eingehalten und mussten oft überarbeitet werden. Kurzfristige Liefervereinbarungen mit aggressiven Terminüberwachungen und andere spontan getroffene Entscheidungen bezüglich der Lieferungen waren in dem Unternehmen keine Ausnahmen. Die Entwicklung der Supply Chain und des Kundenservice wurde zu einem Problem für das Unternehmen. Als in einem Meeting das Top Management des Unternehmens von dem CEO des größten damaligen Kunden den folgenden Satz hörte: „You’re the best supplier we deal with, but you’re first in a race of pigs.“<sup>179</sup>, wurde die Arbeit für die Verknüpfung des Supply Chain Managements mit der System Dynamics Modellierung initiiert.

Mit dem Bestreben ein Global Player zu werden, setzte sich die Unternehmensführung von FGE eine aggressive Wachstumspolitik als Ziel. Die FGE wuchs mit dieser Mentalität zu einem gewaltigen globalen Unternehmen. Intern führte das Wachstum des Unternehmens zu der Einsicht, dass die vorhandenen Supply Chain Management Systeme und Organisationssysteme mit inkompatiblen, sich überschneidenden, kleinen Systemen und Prozesse nicht mehr angemessen koordiniert werden konnten. Beispielsweise wuchs die Produktkomplexität exponential. So stieg die Anzahl der Lagerhaltungseinheiten um den Faktor 35 binnen 5 Jahren an.

Die damals vorhandene Supply Chain, mit Prozessen wie Bestellungen, Kreditgenehmigungen, Produktionsplanung, Lieferungen und Rücksendungen, Nachfrageprognosen, Materialbedarfsplanung, Beschaffung von Halbfabrikaten, Terminüberwachungen, Zulie-

---

<sup>179</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 743.

fererbewertungen, Neuprodukteinführungsplanung und Produktentwicklung konnte aufgrund des Wachstums und der Komplexitätssteigerung die Prozesse innerhalb des Unternehmens nicht mehr angemessen lösen. Anfang der 90er Jahre wurde diese Tatsache klar. Die Produktlebenszyklen betragen 5 bis 9 Monate, wobei die Anschaffungszeiten für einige Schlüsselkomponenten und Materialien über drei Monate betragen. Verzögerungen, die durch die Zulieferer verursacht wurden, wurden mit Verzögerungen aufgezinnt, die durch FGEs für interne Planung, Prognose und Beschaffung benötigt wurden. Oft wurden zwei bis drei Monate benötigt, um einen Produktionsplan zu entwerfen und zu revidieren, damit anschließend die benötigten Komponenten bei den Zulieferern bestellt werden konnten. Personen, die in die Produktionsplanung involviert waren, mussten die Nachfrage zu einem neuen Produkt vor der Einführung prognostizieren und die Beschaffungs-, Produktions- und Lagerhaltungspolitik auf den Produktlebenszyklus anpassen. In vielen Fällen trat bei der Genauigkeit zwischen den Nachfrageprognosen über die Produktlebenszeit Fehlervarianzen von 50 bis 100 % auf, was für solche Hochgeschwindigkeitsmärkte typisch ist. Dabei muss aber erwähnt werden, dass die Exaktheit der Nachfrageprognose, einen geringen Einfluss auf den Unternehmenserfolg haben. Der Erfolg eines Produktes wird primär von dessen Preis und Leistungsfähigkeit in der Relation zu dem Preis und Leistungsfähigkeit der Wettbewerber bestimmt. Führt ein Unternehmen ein neues Produkt einige Wochen später mit einer Verzögerung ein, so ist es möglich, dass die Kunden Produkte anderer Unternehmen kaufen.

Produktentwicklungsphasen überschritten signifikant oft die Produktlebenszyklen. Fortgeschrittene Entwicklungsteams entwickelten oft Produkte mit der Absicht, die Produkte zu ersetzen, die noch nicht auf den Markt eingeführt wurden. Verzögerungen bei der Produkteinführung führten zu Situationen, in denen ein Produkt stufenweise zurückgezogen wurde, bevor dessen Nachfolgemodell gebaut werden konnte, was zu Lücken in der Produktgruppe führte. Obwohl häufig Lücken in der Produktgruppe auftraten, verzeichnete FGE einen unakzeptablen Grad an Lagerbestandsüberschuss am Ende der Produktlebenszyklen. Aufgrund des hohen Niveaus des technischen Wandels hatten alte Produkte einen geringen Restbuchwert. Somit ist eines der Ziele des Unternehmens, Lagerbestände mit alten Produkten zu vermeiden, um damit die Häufung von diesen Lagerbestandsüberschüssen und kostenintensiven Abschreibungen zu vermeiden.

Die Distributionspartner des Unternehmens operierten mit sehr niedrigen Sicherheitsleistungen. Oft sperrte die Finanzabteilung aufgrund fehlender Kreditwürdigkeit Kundenbestellungen, die die Produktionsplanung und den Beschaffungsprozess verzögerten. Wenn das Ende eines Quartals näher kam, kam die Finanzabteilung unter Druck diese Kredit Sperren aufzuheben, damit die Produktgruppen ihre Quartalsziele, also die gezielten Verkaufszahlen, erreichen konnten. Schnell traten Lerneffekte auf. Die Partner der Distributionskanäle hielten ihre Bestellungen bis Ende eines Quartals zurück, mit der Hoffnung, günstigere Preise oder Kreditbedingungen zu erhalten. Das späte Empfangen von Bestellungen führte zu sprunghaften, unbeständigen Anstiegen bei den Bestellungen, senkte die Prognosegenauigkeit, belastete das Beschaffungssystem und beschädigte das Vertrauen zwischen FGE und deren Kunden.

Durch festgelegte Preise für die Distributionspartner und die Möglichkeit, Bestellungen stornieren zu können, versuchte die FGE Anreize dafür zu schaffen, um die sprunghaften Anstiege bei den Bestellungen zu vermeiden. Die daraus resultierende Unbeständigkeit bei den Bestellungen machte es schwieriger, den Distributionskanal zuverlässig zu machen, was zur Verstärkung des Annahme führte, dass die andere Seite unzuverlässig sei.

Die Schlüsselprobleme mit den empfohlenen Strategien sind in der Tabelle zusammengefasst. Jede der empfohlenen Strategien hatte ihre Befürworter, folgte einer bestimmten Logik und eine erfolgreiche Umsetzung jeder Strategie konnte in der Wirtschaftsliteratur gefunden werden. Das Problem lag nicht daran, Ideen zu generieren, vielmehr zu evaluieren, welche am ehesten funktionieren könnten, welche Wechselwirkungen sie mit sich bringt, welche die höchste Hebelwirkung hat und welche zuerst implementiert werden soll. Das Schrumpfen von Beschaffungslieferzeiten kollidierte mit Prozeduren für Zuliefererbewertung und Sicherheit über die Qualität der Komponenten. Das Verkürzen von Terminüberwachungen senkte die Flexibilität im Bereich Marketing. Das Einfrieren von Produkteinführungsdaten, um die Lücken in den Produktgruppen zu schließen, belastete die Organisation der Produktentwicklung. Nach monatelangen traditionellen Analysen bei FGE und dessen Beratern legte keine klare Strategieempfehlung offen, was die Motivation für einen grundlegenden Wandel erschwerte. Denn trotz der angeführten Probleme, die die FGE hatte, war das Unternehmen unbestreitbar erfolgreich. Einige Personen in der Organisation argumentierten gegen bestimmte vergangene Probleme mit Statements

wie: „We were just growing too fast. “, „That was just a bad example... [it was the] worst case,“ oder „We solved that one already.“<sup>180</sup>

---

*Tabelle 5: Schlüsselprobleme und empfohlene Strategien*

---

### **Schlüsselprobleme**

---

- Lange Lieferzeiten und mangelhafte Lieferzuverlässigkeit
- Überschüssige Lagerbestände
- Schwache Vorhersehbarkeit der Nachfrage
- Lücken in den Produktgruppen
- Vierteljährliche Sprunghaftigkeiten/Unbeständigkeiten

### **Empfohlene Strategien**

---

- Materialbeschaffungszeiten kürzen
- Den monatlichen Planungszyklus über 80 % verkürzen
- Die Materialverwertung bei Neuprodukteinführung verbessern
- Die Komponentenkommunalität erhöhen
- Echtzeit Nachfrage/ Verkaufsinformationen erhalten
- Die Genauigkeit der Nachfrageprognosen verbessern
- Über Kreditsperren früher entscheiden
- Innovationen in dem Fertigungsvorgang
- Zweckmäßige Produktion

Quelle: in Anlehnung Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 745.

---

## 5.5.2 Referenzmodus und dynamische Hypothesen

Ein Team von der weltweit agierenden Unternehmensberatung McKinsey überarbeitete die Supply Chain des FGEs in einem System Dynamics Modell. Das Modell wurde von dem erfahrenen System Dynamics Praktiker Nathaniel Mass entwickelt. Aufbauend auf den gesammelten Daten interviewte das Modellierung-Team zwei Wochen lang mehrere Mitglieder der Kundenorganisation, Verkaufsmanager, Materialplaner und andere Verantwortlichen für die Schlüsselentscheidungen in der Supply Chain. Des Weiteren führte das Team mehrere Workshops mit den Schlüsselentscheidungsträgern von den verschiedenen Supply Chain Funktionen durch, um die Informationen für die Formulierung des Modells zu erhalten. In diesen Workshops wurden auf die Probleme fokussiert, die im vorherigen Kapitel erwähnt wurden, also lange und unbeständige Lieferzeiten, lange Verzögerungen in den Reaktionen der Wertschöpfungskette, vierteljährliche Sprunghaftigkeiten und der finanzielle Druck überschüssige Lagerbestände zu reduzieren. Das Team fand heraus, dass überschüssige Lagerbestände am Ende eines Produktlebenszyklus ein schwerwiegendes Problem darstellte, wenn auch die Verkäufe die anfänglichen

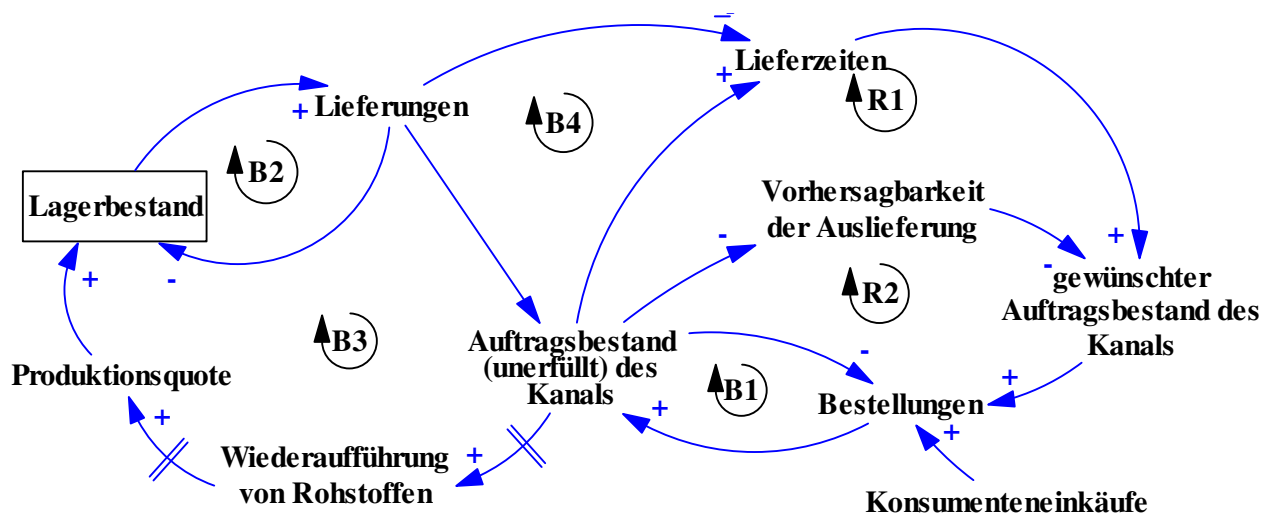
---

<sup>180</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 745.

Erwartungen weit übertrafen. Das Ergebnis wurde nicht so erwartet und als „counterintuitive“ bezeichnet.

Die Ursachen für Lagerbestandsüberschüsse bei nicht begehrten Produkten, die Stermann als „slow-moving products“ bezeichnet, zu verstehen, ist simpel. Die tatsächlichen Verkaufszahlen für solche Produkte fallen geringer aus als prognostiziert. Aufgrund der Prognosen werden die anfänglichen Lagerbestände bestimmt und mit den Zulieferern Vereinbarungen für Materialien getroffen. Wenn die Verkäufe unter den Erwartungen bleiben, entstehen Lagerüberbestände. Das Verstehen von Lagerüberständen bei begehrten Produkten, die Stermann „hot products“ nennt, ist schwieriger. Wie ist es möglich, dass überschüssige Lagerbestände bei Produkten entstehen, die die Erwartungen weit überreffen, die förmlich von den Regalen fliegen und die die Unternehmen einfach nicht schnell genug produzieren können, um die Nachfrage zu sättigen.

Abbildung 21: Kausaldiagramm zeigt, wie Lagerbestandsüberschüsse entstehen



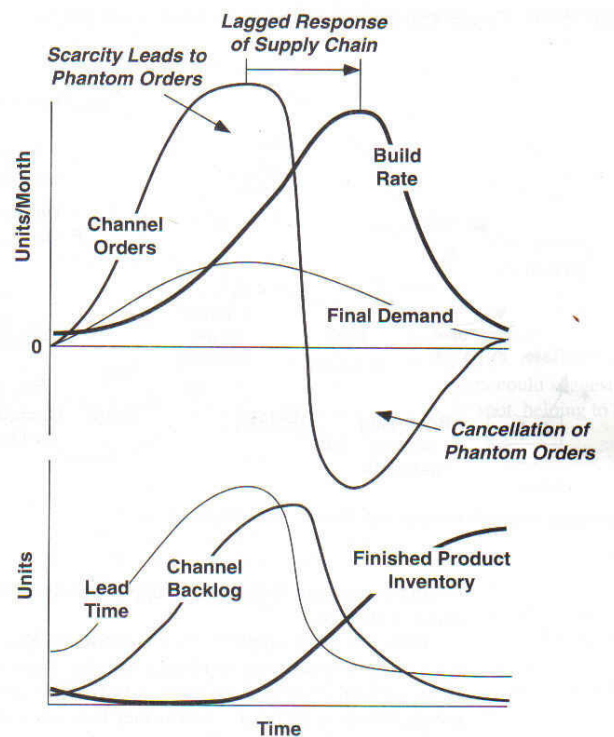
Quelle: in Anlehnung Stermann, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 748.

In Abbildung 21 ist ein Kausaldiagramm dargestellt, in der die vom Team erfasste dynamische Hypothese für die Erklärung des Aufbaus von Lagerbeständen zu sehen ist. Vor der Produkteinführung entwickelt die FGE Verkaufsprognosen und erhielt von den Distributionspartnern die ersten Bestellungen. Die Partner passten ihre Bestellungen so an, sodass die Anzahl der Bestellungen mit dem gewünschtem Bestellrückstand des Kanals übereinstimmten, was in der Supply Line Kontrollschleife B1 formuliert wurde.

Das Unternehmen verwendet die anfänglichen Verkaufsprognosen und Bestellrückstände, um eine Strategie und einen Zeitplan für den Vertrieb des Produktes festzulegen. Wenn ein Produkt sich als ein hot-seller auszeichnet, vermindern die Kundenkäufe die Lagerbestände rasant. Die Distributionspartner müssen dann mehr von FGE bestellen. Die unerwartet großen Mengen an Bestellungen entleeren die Lagerbestände von FGE und die Lieferraten sinken damit unter die Anforderungen. Die balancierende Verfügbarkeits-Schleife B2 hemmt die Lieferungen unter dem gewünschten Niveau, was dazu führt, dass die Verzögerungen bei den Lieferzeiten steigen. Wenn die Lieferungen unter die geforderten Mengen fallen, fällt auch die Vorhersagbarkeit von Auslieferungen. Die Distributionspartner versuchen hoffnungslos immer mehr von dem hot-seller zu bekommen, um ihren Bedarf zu decken. Dies führt dazu, dass die Lieferzeiten größer werden. Wenn die Lieferzeiten von zwei auf vier Wochen ausgedehnt werden, muss in der Wertschöpfungsline der Bestellungen der Wert der zu erwarteten Verkäufe von zwei auf vier Wochen anwachsen. Die Auftragsrückstände steigen noch mehr, ferner bewirkt der Anstieg der erwarteten Lieferzeiten, dass die Partner ihre Bestellmengen erhöhen, was mit der verstärkenden Rückkopplungsschleife R1 formuliert ist. Wenn die Verlässlichkeit bei den Lieferungen fällt, reagieren die Kaufmanager, indem sie ihre Bestellungen defensiv tätigen, ihre Sicherheitsbestände erhöhen und verstärken damit die Auftragsrückstände noch mehr. Dies führt dazu, dass die Lieferzuverlässigkeit sinkt. Die verstärkende Rückkopplungsschleife R2 beschreibt diesen geschilderten Ursache-Wirkungszusammenhang. Die zwei positiven Rückkopplungsschleifen R1 und R2 bringen eine Welle von den sogenannten Phantombestellungen mit sich. Diese sind Bestellungen, die als Reaktion auf die wachsende Knappheit der Produkte entstehen.

Die Abbildung 22 zeigt das typische Verhalten, das bei einem „hot-product“ beobachtet wird. Auftragsrückstände führen dazu, dass die Produktion erhöht wird, was wiederum am Ende zu Lagerbestandsüberschüssen führt. Aus der Sichtweise der Distributionspartner von FGE ist dieses Verhalten vollkommen rational. Wird ein „hot-product“ knapp, so muss jeder Händler mit den Anderen um einen größeren Anteil von dem knappen Produkt konkurrieren. Nach der Bekanntgabe der Knappheit der begehrten Produkte durch den Hersteller reagiert jeder Händler mit höheren Bestellmengen. Die zwei positiven Rückkopplungsschleifen, die durch vorgegriffene Bestellungen und defensive Bestellungen verursacht werden, bedeuten, dass die Reduktion in der Beschaffung die Nachfrage erhöht, was den Engpass noch mehr vergrößert.

Abbildung 22: Die dynamische Entwicklung eines „hot products“



Quelle: Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 747.

FGE und viele andere Zulieferer konnten die tatsächlichen Bestellungen von den Phantombestellungen, die als Reaktion auf Produktknappheit getätigt wurden, nicht unterscheiden. Informationen vom Point of Sale über Kundenkäufe waren nicht verfügbar und die Händler waren abgeneigt ihre Verkaufszahlen mit FGE zu teilen. Sie glaubten, dass dadurch die Fähigkeit, die Lagerbestände zu kontrollieren und die Variabilität der Produktverfügbarkeit zu sichern, erheblich sinken würde.

Mit einer großen Flut von Bestellungen konfrontiert, würde die Materialplanung und das Produktionssystem des Unternehmens gezwungen werden, zu reagieren, was zu wiederholten Bestellungen kritischer Komponenten und terminüberwachten Produktion führen würde. Des Weiteren beanspruchen das Überarbeiten von Produktionszielen, das Wiederaufbauen von Teil- und Materialbeständen und die Montage des Produktes zusätzliche Zeit. Diese Verzögerungen sind in der Verbindung zwischen dem unerfüllten Auftragsbestand des Kanals und der Produktionsquote zu sehen.

Es kann dazu kommen, dass die Lieferungen an die Distributionspartner steigen und die Lieferverzögerungen sinken. Die Händler würden sich nicht mehr notgedrungen fühlen,



im Voraus ihre Bestellungen zu tätigen und könnten damit ihre Auftragsbestände reduzieren. Sobald die Kunden begreifen, dass das Produkt immer mit kurzen Lieferzeiten verfügbar ist, brechen sie ihre Phantombestellungen ab und vermindern ihre Lagerbestände. Ferner, wenn sie ihre Regale schnell und zuverlässig auffüllen können, besteht keine Notwendigkeit eine defensive Lagerpolitik zu führen, was dazu führt, dass die Bestellungen auch in diesen Fällen fallen. Die verstärkenden Rückkopplungsschleifen R1 und R2 wirken jetzt entgegengesetzt. Die Erhöhung der Verfügbarkeit reduziert die Bestellungen des Kanals, vermindert die Bestände, reduziert die Lieferzeiten, erhöht die Lieferzuverlässigkeit und führt zu weniger Bestellungen. Der Wechsel vom Teufelskreis mit verschlechterter Auftragsabwicklung und großen Lagerbeständen zu selbstverstärkenden Einbrechen der Bestände beginnt mit dem Zeitpunkt, zu dem die Produktion so angepasst wurde, dass alle Bestellungen befriedigt werden konnten. Neue Produktionspläne, Materialbestellungen und Bestände für das Produkt werden reduziert, aber aufgrund bestimmter Vereinbarungen zu bestimmten Zuliefern für mehrer Komponenten dauert die Produktion noch für einige Zeit an. Die verzögerte Reaktion der Supply Chain lässt das Herstellerunternehmen mit überschüssigen Lagerbeständen am Ende des Produktlebenszyklus zurück.

### 5.5.3 Formulierung des Modells

Die erste Modellentwicklung dauerte etwa zwei Wochen. Das Team präsentierte das Modell dem Führungsstab einschließlich des CEO von FGE. Das Modell wurde in einem Workshop-Format präsentiert. Führungskräfte konnten Vorschläge für Tests und Strategien, die sofort simuliert und diskutiert werden konnten, abgeben. Diese Art der Präsentation sollte dazu beitragen, das Verständnis und Vertrauen in das Modell zu vertiefen. Im Verlauf der nächsten Monate wurde das Modell aufgrund der eingegangenen Kritiken überarbeitet. In jeder Phase wurden die Zwischenergebnisse in Workshops mit dem Führungsstab überprüft. In jedem dieser Phasen wurde das Modell in Echtzeit mit den Strategien und Tests, die von den FGE-Führungskräften vorgeschlagen wurden, simuliert. Die meisten der Strategien und Tests konnten während der Workshops diskutiert werden, wenn die Veränderungen der Modellstruktur nicht notwendig war. In diesen Fällen erfolgte die Simulation in dem nächsten Meeting.

Das Modell konzentriert sich auf die dynamische Komplexität der Supply Chain von FGE. Es gab keine Bemühungen, alle Lagerhaltungseinheiten in der Produktgruppe im Detail

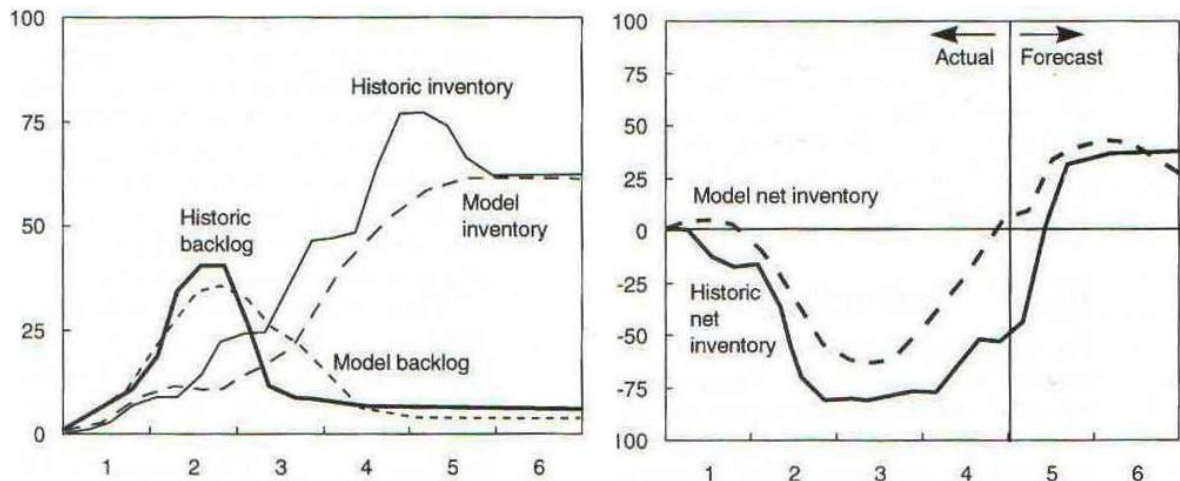
zu repräsentieren. Stattdessen konzentrierte sich das Modell auf die Interdependenzen und Rückkopplungen, die durch das Verhalten der Akteure, insbesondere Wechselwirkungen zwischen dem Vertriebskanal der FGE und seinen Zulieferern. Das endgültige Modell verfolgte ein repräsentatives Produkt durch seinen gesamten Lebenszyklus. Tausende von verschiedenen Komponenten und Materialien wurden in sieben Kategorien, die sich durch ihre Kosten, Fristen und andere Attribute differenzierten, eingeteilt. Das Modell der Produktions- und Fertigungsprozesse erfasste die Komplexität, die durch multiple Konfigurationsoptionen erzeugt wurden, aber repräsentierte nicht jede Produktvariation. Das Modell beinhaltete auch die Einführung der nächsten Produktgeneration, um Dynamik der Produktübergänge zu erfassen. Das Modell enthielt etwa 500 Zustandsvariablen, so dass die vielfältige dynamische Komplexität der Lieferkette wiedergegeben wurde, während das Modell noch in einer überschaubaren Größe blieb.

#### 5.5.4 Das Testen des Modells

Das Team testete mit zwei aktuellen Produkten, ein „slow-mover“ und ein „hot product“, die Fähigkeit des Modells, die historische Entwicklung von diesen Produkten zu abbilden. Der Zweck dieser Prüfung war nicht nur zu prüfen, ob die statistischen Größen des Modells mit vorliegenden Daten übereinstimmen oder Vorhersagegenauigkeit des Modells zu bewerten.

Die FGE Manager wurden zu fortgeschrittenen Modellnutzern ausgebildet und sie wussten, dass eine historische Abbildung allein ein schwacher Test sei. Das Modell musste die festgestellten Muster für beide Produktarten abbilden können, ohne Änderungen der Struktur oder der Parameter, die die Auftragsabwicklung charakterisieren, herbeizuführen. Nur die erwartete Kundennachfrage konnte variieren, von einem schwachen zu einem starken Käufer. Das Modell musste das richtige Verhalten aus den richtigen Gründen generieren und dabei verfälschende Faktoren vermeiden. Die Abbildung 23 zeigt die Simulationsergebnisse des Modells im Vergleich zu den historisch statistischen Daten. Im linken Teil wird die Entwicklung eines „slow-moving“ Produktes und im rechten Teil die Entwicklung eines „hot-products“ dargestellt.

Abbildung 23: Das Testen des Modells



Quelle: Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 750.

Das Modell bildet das Verhalten des „slow-moving“ Produktes gut ab, in der die Entwicklung der unerfüllten Auftragsbestände und der Lagerbestände während des gesamten Produktlebenszyklus dargestellt sind. Zum Zeitpunkt der Simulation war das Produkt am Ende seines Lebenszyklus und bereits vom Markt zurückgezogen. Somit waren die realen Daten verfügbar und konnten mit den Simulationsergebnissen verglichen werden. Im Gegensatz dazu war das „hot product“ zum Zeitpunkt der Analyse auf dem Markt. Allerdings gab es zum Zeitpunkt der Simulation einen großen Nachholbedarf der offenen Aufträge, sodass der Nettolagerbestand signifikant negativ war, was dazu führte, dass die Lieferzeiten viel länger waren als gewöhnlich. Das Modell bildete die Entwicklung der offenen Auftragsbestände relativ gut ab. Noch wichtiger war die Aussage des Modells, dass bald ein Übergang von offenen Aufträgen zu großen Überkapazitäten in den Lagerbeständen statt finden würde. Diese Aussage kollidierte mit den Erwartungen vieler innerhalb des Unternehmens. Einige Zeit später brachen die Auftragsrückstände zusammen und das Unternehmen blieb mit einem großen Lagerbestandsüberschuss zurück. Die Fähigkeit des Modells, die Entwicklungen beider Produktarten ohne umfangreiche Parameteränderungen abbilden zu können, zeigte dem Management des FGE, dass die Ursachen für die überschüssigen Lagerbestände tief in der Struktur der Supply Chain eingebettet waren und nicht Ergebnisse schlechter Entscheidungen waren, die von bestimmten Managern getroffen wurden. So wurde im Modell die Aufmerksamkeit auf die Neugestaltung dieser Struktur und nicht mehr auf die Neugestaltung von Entscheidungsfindungsprozessen fokussiert.

### 5.5.5 Strategieanalyse

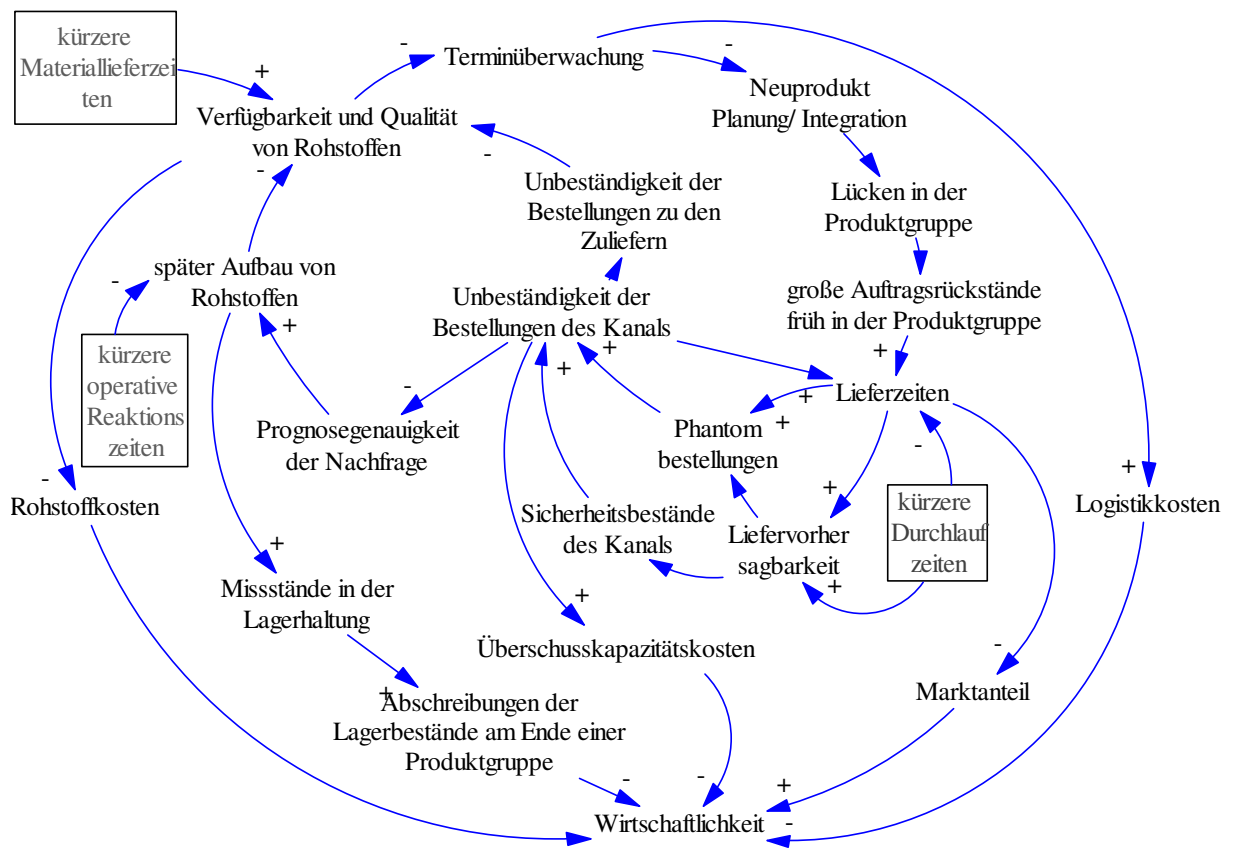
Zum Zwecke der Analyse der einzelnen Policies simulierte das Team die wichtigsten Policyalternativen isoliert voneinander, um die Wirtschaftlichkeit der resultierenden Lebenszyklen zu berechnen. Entgegen der Erwartungen vieler, brachte eine verbesserte Prognosegenauigkeit oder Vorhersagegenauigkeit von Produkteinführungsdaten, lediglich ein durchschnittliches Resultat. Die eigenständige Analyse zeigte die hohe Hebelwirkung, die eine Reduzierung der Reaktion auf die Nachfrageschwankung der Supply Chain hatte.

Jedoch kamen folgende Fragen auf: Wie interagieren die Strategien miteinander? Würden sie Auswirkungen aufeinander haben und sich negativ beeinflussen? Simulationen zeigten, dass eine gemeinsame Implementierung der Reduzierung der Materialdurchlaufzeit, die Zeit für Planung und eine zweckmäßige Herstellungsstrategie eine beträchtliche Synergie zu Folge hatte. Der gesamte Wirkungsgrad dieser Strategien überstieg die Summe der einzelnen Strategien.

Die Gründe für die erwähnte Synergie werden in dem Kausaldiagramm in der Abbildung 24 verdeutlicht. Die Strategie zur Reduzierung von Durchlaufzeiten, die als Schachteln dargestellt sind, generiert Synergien durch die Verringerung der Lieferzeit, sodass kein Bullwhip-Effekt mit Phantombestellungen entsteht und die Leistung und die Wirtschaftlichkeit der Supply Chain sich progressiv und kumuliert verbessern. Schnelle Auftragsabwicklung und schnelle Reaktionen in der Supply Chain reduzieren das Eintreten von Engpässen. Dadurch kann die Beschaffung effektiver gestaltet werden, was dazu führt, dass die Anzahl an Phantombestellungen sinkt und die Kunden weniger Sicherheitsbestände benötigen. Mit zunehmendem Beständigkeitsgrad des Bestellkanals werden die Nachfrageprognosen der FGE genauer und entlasten die Zulieferer. Demzufolge entstehen seltener Rohstoffengpässe, zuverlässigere Lieferungen und es werden Phantombestellungen reduziert. Des Weiteren wird durch die Verringerung der Wiederverfügbarkeitszeiten für Rohstoffe und Komponenten, die Qualität der Komponenten verbessert, Materialeinsatz und die Kosten der Terminüberwachung reduziert. Die verfügbare Zeit kann für die Planung und Einführung von neuen Produkten genutzt werden, womit die Risiken der Einführungsverzögerungen, Produktionsengpässe und Lücken in der Produktgruppe gesenkt werden. Pünktliche Produkteinführungen beugen die Entstehung von

Phantombestellungen in der Anfangsphase eines Produktes vor, was eine Reduzierung von Lieferzeiten mit sich bringt.

Abbildung 24: Kausaldiagramm veranschaulicht die im Text erwähnten Synergieeffekte

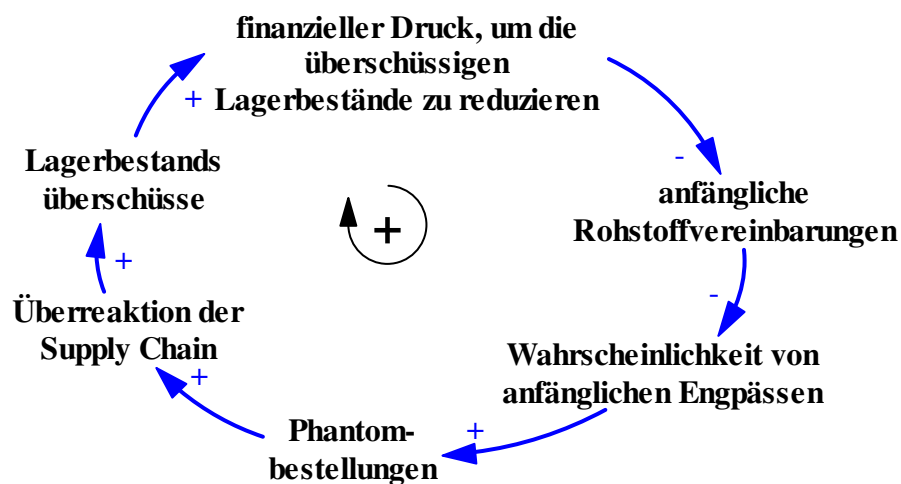


Quelle: in Anlehnung Serman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 752.

Ursprünglich hatten Bestrebungen, die Bestände abzubauen, das Problem gravierender gemacht, was durch die Rückkopplungen in der Abbildung 25 verdeutlicht wird. Die Misstände in der Lagerhaltung brachten negative finanzielle Auswirkungen mit sich. Die Manager gerieten unter immensen Druck, die Lagerkosten zu senken. Sie reagierten mit der Reduzierung der bereitgestellten Lagerbestände bei der Planung jedes neuen Produktes. Diese Maßnahme schien ihnen plausibel, da sie die Nachfrage als exogen und unvorhersehbar erachteten. Aus dieser Perspektive würde das Materialanfangsvolumen bei der Produktion gesenkt, um diesen flexibler zu gestalten. Jedoch wird die Nachfrage, obwohl sie nicht exogen ist, stark vom Verhalten der FGE beeinflusst. Dies hatte zur Folge, dass je geringer die anfänglichen Vereinbarungen über Materialien waren, desto größer das Risiko von Engpässen wurde, was die Auslösung von Phantombestellungen und eine Überreaktion der Supply Chain mit sich brachte. Die Organisation musste die für die Produktion

kritischen Güter mit enormen Kosten wieder beschaffen, um die Nachfrage zu sättigen, was wiederum zu noch größeren Lagerbestandsüberschüssen führte. Damit wurde der finanzielle Druck auf das Unternehmen noch größer. Ungehemmt kann diese positive Rückkoppelung in einer Todesspirale für das Unternehmen enden. Eine Schlüsselerkenntnis dieser Analyse war es, dass größere Anfangsbestände bei kritischen Gütern die Missstände in der Lagerhaltung reduzieren und die Lagerhaltungskosten im Laufe des gesamten Produktlebenszyklus senken.

Abbildung 25: Ursachen und Folgen von Lagerbestandsüberschüssen



Quelle: in Anlehnung Serman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 753.

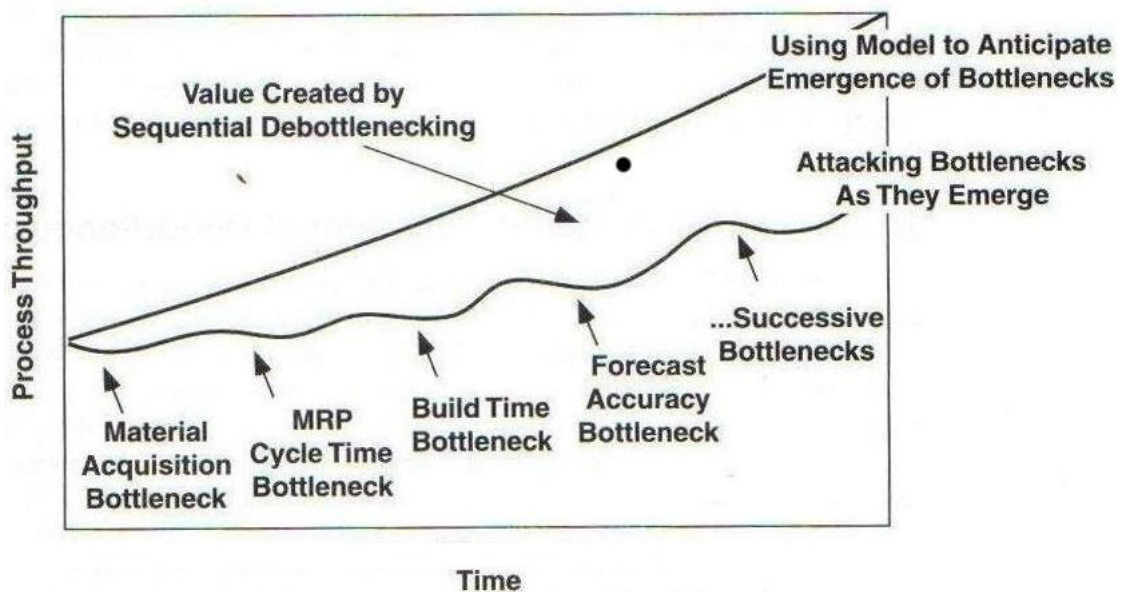
### 5.5.6 Implementierung: Sequentielle Engstellenbeseitigung

In der Modellanalyse wurden etliche Policies identifiziert und es wurde festgestellt welche erheblichen Synergieeffekte durch eine gemeinsame Implementierung dieser generiert wurden. Die empfohlene Vorgehensweise setzt jedoch eine vollständige Neugestaltung sämtlicher Einheiten voraus. Diese umfasst Beschaffungsprozesse, die Produktionsplanung, Logistik, das Zulieferermanagement und das Produktionsverfahren. Um die Erkenntnisse aus dem Modell in einem praktischen Kontext umzusetzen, arbeitete das Forschungsteam mit den Klienten. Dies sollte das Team befähigen, die optimale Abfolge der Prozesse zu verstehen. Ein Großteil der Managementliteratur empfiehlt eine Fokussierung der Optimierungsaktivitäten auf die Identifizierung und Entschärfung von Engpässen. Die Fokussierung der Optimierungsbestrebungen an den Engpässe wirken sich unmittelbar beschleunigend auf den Durchlauf aus, wogegen die Bemühungen, die nicht auf die Engstellen abzielten, als vergeudet bezeichnet wurden. Das Forschungsteam musste

feststellen, dass in der IT-Branche, die sich durch hohes Wachstum auszeichnet, die Beseitigung eines Engpasses zu weiterem Wachstum führt, bis an einer anderen Stelle Engpässe auftreten, die die Organisation negativ beeinflussen. Das Expansionstempo und der Wettbewerbsdruck sind so groß, dass das Warten auf das Auftreten von Engpässen, damit diese bekämpft werden, das Wachstum hemmen könnten. Dadurch würde die Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens beeinträchtigt werden.

Durch Simulation der einzelnen Policies konnte das Team, beispielsweise die Senkung der Beschaffungszeiten bei den Rohstoffen, beobachten, wie sich das Wachstum verbesserte, was langfristig dazu führte, dass die Belastung auf das System zunahm, was wiederum neue Engpässe mit sich brachte. Durch die Beseitigung der neuen Engpässe wäre sogar ein noch größeres Wachstum möglich, was bis zum nächsten Engpass anhalten würde. Durch Einsatz des Modells konnten Engpässe vorausgesehen werden, die durch Verlagerung im Zeitverlauf abgewendet werden konnten. Das Team war somit fähig im Rahmen der Neugestaltung einen Implementierungsplan zu entwickeln, der das Auftreten von Engstellen in der Supply Chain voraussehen konnte, bevor sie auftraten und das Wachstum verlangsamten und hemmen konnten. Das Prinzip ist in der Abbildung 26 dargestellt.

Abbildung 26: Sequentielle Engstellenbeseitigung



Quelle: Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 755.

Die sequentielle Engstellenbeseitigung war eines der kritischsten Policies, die im detaillierten Implementierungsplan für die Neugestaltung der Wertschöpfungskette vorgesehen war. Die Neugestaltung war ein großes Projekt, das über drei Jahre lief. In ihrem Höchstpunkt waren 150 Vollzeit FGE-Fachkräfte und etliche andere externe Mitarbeiter und Berater beschäftigt, die für die Systemintegration, Fertigung und andere Tätigkeiten zuständig waren. Sterman benutzt hier das Wort Armee: „an army of system intergration, manufacturing, and other consultants.“ Demnach müssen viele Professionals in das Projekt involviert gewesen sein.

### 5.5.7 Ergebnisse

Bereits drei Jahre nach dem Projektbeginn waren die Ergebnisse bemerkenswert. Sie sind in der Tabelle 6 dargestellt. Die FGE konnte die Durchlaufzeiten der Supply Chain und die Bestandsüberschüsse in der gesamten Lieferkette drastisch reduzieren, verkürzte Lieferzeiten und verbesserte seine Lieferverlässlichkeit. Dadurch konnte das Unternehmen im Jahre 1997 drei Milliarden mehr Gewinn erwirtschaften.

---

*Tabelle 6: Ergebnisse des Projekts*

---

- Auftrags- und Lieferdurchlaufzeiten waren Ende 1996 60% niedriger als 1993 Q1.
- Lieferrückstände waren 60% niedriger als 1993 1. Quartal.
- wichtige Produktübergänge verbesserten sich um 200 Millionen US-Dollar-Marge.
- Lagerhaltungskosten sanken mehr als 600 Millionen zwischen 1995 und 1997.
- Das Projekt generierte 3 Milliarden.

---

Quelle: in Anlehnung Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 756.

---

Der Modellierungsprozess führte auch zu einem Wandel in den Köpfen vieler beteiligter Personen. Zu Beginn des System Dynamics Projektes waren viele der Berater sehr skeptisch. Zum Ende des Projektes hin entwickelten sie sich zu begeisterten Befürwortern der Anwendung von System-Dynamik in solchen komplexen Projekten. Die FGE selbst untersuchte durch die Entwicklung weiterer System Dynamics Modelle Themen wie Produktentwicklung oder globale Wachstumsstrategie.

### 5.6 Bewertung

Zusammenfassend lässt sich Supply Chain Management als die Überwindung der Grenzen zwischen den Wertschöpfungspartnern des Unternehmens resümieren, wobei die Wertschöpfung als gesamter Prozess verstanden wird, der beim Rohstofflieferanten beginnt und beim Kunden endet. Das Hauptziel des SCM ist die Optimierung des Material-,



Waren-, Informations- und Wertflusses entlang der gesamten Wertschöpfungskette. Die dynamischen und komplexen Abhängigkeiten in der Supply Chain verursachen den Bullwhip-Effekt, die Koordinationsprobleme entlang der Supply Chain. Die einzelnen Stufen einer Distributionskette treffen aufgrund falscher Wahrnehmung und verzerrter Systeminformationen lokale Bestell- und Produktionsentscheidungen, die rational scheinen.<sup>181</sup> Viele können die Auswirkungen der Entscheidungen, die sie treffen, auf das System als Gesamtheit nicht sehen. Besonders schwer fällt es ihnen, die multiplen Rückkopplungsstrukturen, Zeitverzögerungen und die Nichtlinearität im System zu verstehen. Während sie lokal Entscheidungen bezüglich ihrer Bestellungen und Lagerbeständen treffen, vergessen sie, dass sie ein Teil eines Systems sind. Das Fehlen einer ganzheitlichen Betrachtungsweise der systemischen Zusammenhänge führt zu den Problemen.<sup>182</sup>

Das Fallbeispiel demonstriert die Leistungsfähigkeit der System Dynamics Modellierung, die der FGE geholfen hat, ihre komplette Wertschöpfungskette neu zu strukturieren. Nachdem die Ineffizienzen in der Struktur erkannt wurden, wurde versucht, diese mit bestimmten Policies zu beheben. Das Projekt für die Neugestaltung der Supply Chain mittels der System Dynamics Methode dauerte insgesamt drei Jahre. Durch Meetings, die in Form von Workshops verliefen, wurden die relevanten Schlüsselentscheidungsträger des Unternehmens und der Supply Chain in das Projekt involviert. Die hier erarbeiteten Policies wurden sofern diese keine Änderung der Struktur des Modells vorsahen, in den Meetings simuliert. Dadurch konnten diese Policies direkt evaluiert werden. Des Weiteren konnten verschiedenen Policies kombiniert werden, um heraus zu finden, ob dabei Synergieeffekte auftraten. Das Projekt brachte mit der Implementierung der am nützlichsten erachteten Policies einen großen Erfolg für das Unternehmen. Die Frage, die hierbei aufkommt ist, ob man das Ergebnis verallgemeinern kann.

Viele System Dynamics Forscher versuchen mit Fallstudien die Antwort der Frage zu erhalten, ob die System Dynamics Modellierung eine erfolgsversprechende Methode für die Bewältigung der Probleme von Wertschöpfungsketten ist. Die Ergebnisse dieser Arbeiten werden oft im *System Dynamics Review* veröffentlicht. System Dynamics ist ein Ansatz für die Modellierung und Simulation nichtlinearer, dynamischer Systeme, dessen Hauptziel das Verständnis eines Systems, deren Struktur und die Ableitung über das von ihm er-

---

<sup>181</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

<sup>182</sup> Vgl. Sterman, J. D. (The Beer Game, 1992).

wartete Verhalten ist. Das Verständnis eines Systems ist die Voraussetzung, um Strategien zu entwickeln, die die Leistungsfähigkeit des Systems verbessern sollen. Ein Schwachpunkt der System Dynamics Modellierung ist, dass die Struktur des Systems vor dem Start der Simulation festgelegt werden muss und im Verlauf einer Simulation nicht verändert werden kann. Die Untersuchungen bestimmter Problemstellungen verlangen jedoch, dass die Struktur flexibel sein muss. Eine Supply Chain ist ein hervorragendes Beispiel für ein dynamisches System mit einer flexiblen Struktur. Ein Unternehmen in einer Supply Chain kann von einem Lieferanten zu einem anderen Lieferanten wechseln, in den Markt eintreten und austreten, wann es will und mehrere hundert bis tausend Distributionspartner in Supply Chains für unterschiedliche Produkte haben, die quer auf der Welt verteilt sind. Nadine Schieritz und Andreas Größler schlagen in ihrer Veröffentlichung "Emergent Structure in Supply Chains: A study Integrating Agent-Based and System Dynamic Modeling" einen hybriden Modellierungsansatz vor, in der System Dynamics mit der agenten-basierten Modellierung verknüpft wird.<sup>183</sup>

Ossimitz schlägt einen anderen Ansatz vor, die Advanced Planning Systems, kurz APS. APS eignen sich durch restriktionsorientierte Planungsphilosophie, realitätsnahe Abbildung der gesamten Supply Chain, simultane Planung, hohe Geschwindigkeit, globale Sicht und wechselseitige Kommunikation für das Supply Chain Management. Advanced Planning Systeme können als erweiterte Module in die vorhandene ERP-Software der Organisation integriert werden und unterstützen das Unternehmen bei den Planungs- und Entscheidungsprozessen bezüglich der Supply Chain. Des Weiteren betont Ossimitz die Bedeutung der Haltung der Entscheidungsträger. Die Entscheidungsträger müssen zunehmend systematisch denken.<sup>184</sup>

---

<sup>183</sup> Shieritz, N./ Größler, A. (Supply Chains, 2003), S. 7ff.

<sup>184</sup> Vgl. Ossimitz, G. (SCM 2002).

## 6 Fazit

Zusammenfassend ist System Dynamics als eine Simulationsmethode, die auf Erkenntnissen der Kybernetik basiert und neben den Denkansätzen des „Systems Thinking“ eine numerische Simulation zur Ermittlung des Verhaltens nichtlinearer Systeme im Zeitverlauf verwendet.<sup>185</sup> Durch sie wurde eine Methode geschaffen, die die operative Umsetzung der Systemtheorie ermöglicht. Die Methode basiert auf der der Informations-Rückkopplungs-Theorie, der Entscheidungstheorie und experimentellen Computersimulationen. Rückkopplungen und Zustandsvariablen bilden die zentralen Elemente von System Dynamics. Beim Modellierungsprozess wird der Schwerpunkt auf die korrekte und vollständige Identifikation der Systemstruktur und damit den Rückkopplungsstrukturen des Systems gelegt. Zustandsvariablen, die sich nur durch Zu- und Abflüsse verändern, ändern ihre Werte über die Zeit. Differentialgleichungen ermöglichen das Verhalten dynamischer und komplexer Systeme zu beschreiben.<sup>186</sup>

System Dynamics findet in vielen unterschiedlichen Gebieten Anwendung. Von der Städteentwicklung, Weltmodellen, militärischen Problemstellungen, Gesundheitswesen, volkswirtschaftlichen bis hinzu betriebswirtschaftlichen Fragestellungen wird die Methode seit über 50 Jahren erfolgreich eingesetzt.<sup>187</sup> In dieser Arbeit wurden zwei betriebswirtschaftliche Anwendungsgebiete näher untersucht. Die Methode konnte in den ausgewählten Fallbeispielen erheblichen Nutzen für die Balanced Scorecard und für das Supply Chain Management liefern. Das schwedische Elektrizitätsunternehmen konnte durch die Anwendung der Methode für ihre Balanced Scorecard die Schwachpunkte ihrer Scorecard beheben. Des Weiteren wurde damit ein Instrument zur langfristigen Steuerung des Unternehmens geschaffen.<sup>188</sup> Die FGE konnte ebenfalls durch den Einsatz der Methode für die Optimierung ihrer Supply Chain bemerkenswerte Ergebnisse beobachten. Durch das Projekt, das drei Jahre andauerte, konnten die Durchlaufzeiten der Supply Chain und die Bestandüberschüsse der gesamten Lieferkette reduziert werden, was zu verkürzten Lieferzeiten und höherer Liefertreue führte. Die FGE erwirtschaftete bereits ein Jahr nach Projektende drei Milliarden mehr Gewinn, was ein sehr deutliches Indiz für die Dienlichkeit der Methode darstellt.<sup>189</sup>

---

<sup>185</sup> o. V. Universität Paderborn (System Dynamics, 2007).

<sup>186</sup> Vgl. Schade, Burkhard (System Dynamics), S. 39ff.

<sup>187</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (next 50 years, 2007), S. 360ff.

<sup>188</sup> Vgl. Nielsen, S./ Nielsen, E., (System Dynamics, 2008), S. 174-184.

<sup>189</sup> Vgl. Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), S. 743-755.

Die Methode hat auch viele Kritiker. Eine Bewertung bereits erfolgter Implementierungen wird als schwierig erachtet. Ergebnisse, die sich aus den Veränderungen der Policies oder Strukturen ergeben, werden von den Beteiligten auf den externen Wandel zurückgeführt, was das Ergebnis subjektiver Bewertung ist.<sup>190</sup> Eine weitere Kritik erfährt System Dynamics aufgrund des Elements der Ungewissheit, das Fehlen einer klaren, linearen Vorgehensweise. Coyle verdeutlicht das Problem mit folgenden Worten: "I do not know what a model is going to look like when I start on a problem. There is no restriction of the formalities of, say, linear programming; I can let my mind run free on the problem. To be sure, many people outside system dynamics do not like that element of uncertainty."<sup>191</sup> Des Weiteren sind vernetzte Systeme aufgrund ihrer Komplexität und Dynamik schwer zu verstehen und laufen Gefahr „blach boxes“ zu werden, die von den Beteiligten nicht verstanden werden können.<sup>192</sup>

Eine weitere Fragestellung, die die Methode mit sich bringt, ist, ob das erstellte Modell das zu untersuchende Modell richtig abbildet. Diese Frage beantwortet der Begründer der Methode mit folgendem Statement: „There ist no proof that Einstein’s theory is correct. There is no proof that Ohm’s low in electricity of Boyle’s law in gasses are right. There is only experimental demonstration that such laws are useful for specific limited purspose. There is no way of proving that a model or law or theory representing the real world is correct.“<sup>193</sup> Forrester ordnet System Dynamics in die gleiche philosophische Kategorie wie Einsteins Relativitätstheorie. Ein Modell hat die Behauptung, die Struktur und das Verhalten von Etwas im realen Leben zu repräsentieren. Forrester ist der Auffassung, dass es keinen Beweis geben kann, ob ein Modell die Realität richtig abbildet. Viel relevanter und wichtiger erachtet er die Frage, welchen Grad an Vertrauen man in ein Modell hat.<sup>194</sup>

Systemdynamische Organisationsmodelle können Entscheidungsträger unterstützen, die komplexen dynamischen Zusammenhänge der heutigen Geschäftswelt besser zu verstehen. Bei der Entwicklung des Modells und bei der Simulation werden die wichtigsten Rückkopplungen und die Art der Beziehungen der verschiedenen Teilsysteme untereinander und die Auswirkungen von externen Einflussfaktoren auf das Gesamtsystem aufgezeigt. Dadurch wird ein größeres Verständnis und höhere Sicherheit bei der Abschätzung der Auswirkungen strategischer Entscheidungen ermöglicht.<sup>195</sup> Alle unternehmeri-

---

<sup>190</sup> Vgl. Schade, Burkhard (System Dynamics), S. 39ff.

<sup>191</sup> Vgl. Coyle, R. G. (The practice, 1998), S. 365.

<sup>192</sup> Vgl. Lynesis, J. M. (System Dynamics, 1999), S. 37f.

<sup>193</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Interview, 1992), S. 12f.

<sup>194</sup> Vgl. Forrester, Jay W. (Interview, 1992), S. 12f.

<sup>195</sup> Vgl. Schöneborn, F., (Strategisches Controlling, 2004), S 202f.

schen Entscheidungen basieren auf Prognosen oder Annahmen über die Zukunft. Aufgrund dieser werden Manager die Möglichkeit gegeben, bessere Entscheidungen zu treffen. Die Prognosen ermöglichen Managern frühe Warnungen über industrielle und strukturelle Veränderungen, die wichtigsten Achilles-Fersen und Strategien zu identifizieren und Puffer für unvorhergesehene Ereignisse und falsche Annahmen zu bestimmen.<sup>196</sup>

Eine interessante Perspektive, das auch ein Thema für eine weitere Forschungsarbeit sein könnte, ist das Modul Strategic Enterprise Management der SAP AG.<sup>197</sup> Das Modul wird für die Unternehmensmodellierung im strategischen Controlling in der Praxis eingesetzt. Innerhalb des Moduls „Business Planing and Simulation“ können systemdynamische Modelle konstruiert, simuliert und mit Realdaten des Unternehmens verknüpft werden. Durch umfangreiche Szenarioanalysen und Simulationen, die mit diesem System durchgespielt werden, können Strategien und alternative Planungsrechnungen bewertet werden. Es liefert Aufschlüsse über Effekte kurzfristiger Entscheidungen auf langfristige Ziele.<sup>198</sup>

Im Umfeld der Anwendung von System Dynamics in betriebswirtschaftlichem Kontext gibt es noch weiteres Potential. Daher bietet dieses Forschungsfeld Raum für weitere Untersuchungen. Weitere Untersuchungsfelder können Projektmanagement, Produktionsmanagement und der Einsatz in der Finanzindustrie sein.

---

<sup>196</sup> Vgl. Lynesis, J. M. (Forecasting, 2000), S. 23f.

<sup>197</sup> Nähere Informationen: <http://www.sap.com/germany/media/50071524.pdf> und Vgl. Meier et al. (SAP, 2008).

<sup>198</sup> Vgl. Schöneborn, F., (Strategisches Controlling, 2004), S 202f.

## Literaturverzeichnis

- Akkermans, Henk/ Ourschot, Kim van (Developing a BSC, 2002), „Developing a Balanced Scorecard with System Dynamics“, in:  
<http://www.minase.nl/pdf/balanced.pdf> - Abrufdatum 16.07.2008.
- Angerholfer, Bernhard J./ Angelides, Marios C. (System Dynamics, 2000), „System Dynamics Modelling in Supply Chain Management: Research Review“, in Winter Simulation Conference, Proceedings of the 32. conference of Winter Simulation, S. 342-351, 2000.
- Arndt, Holger (Modellierung und Simulation, 2006), „Modellierung und Simulation im Wirtschaftsunterricht zur Förderung systemischen und prozessorientierten Denkens am Beispiel unternehmenübergreifender Kooperation Wertschöpfungsketten, in: Berufs und Wirtschaftspädagogik, Ausgabe 10, Juli 2006, online: [http://www.bwpat.de/ausgabe10/arndt\\_bwpat10.shtml](http://www.bwpat.de/ausgabe10/arndt_bwpat10.shtml)  
Abrufdatum 04.08.08
- Bertalanffy, Ludwig von (Allgemeine Systemtheorie, 1977), „Allgemeine Systemtheorie“, in Witte, Aberhard / Thimm, Alfred L. (Hrsg.) „Entscheidungstheorie: Texte und Analysen“, S. 235-289, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1977.
- Bossel, Hartmut (Modellbildung, 1992). „Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Ein Lehr- und Arbeitsbuch“, Vieweg Verlag, Braunschweig, 1992.
- Bossel, Hartmut (Weltmodell, 2006) „Weltmodell World3-03. Programm, Handbuch, Dokumentation, Anleitung“, Rosenheim, co.Tec GmbH, 2006.
- Coyle, R.G. (The practice, 1998), „The practice of system dynamics: milestones, lessons and ideas from 30 years experience“, in: System Dynamics Review, 14, 1998, 4, S. 343 – 365, 1998.
- Coyle, R.G. (System Dynamics, 1996), „System Dynamics modelling - A practical approach“, Cambridge, 1996.
- Forrester, Jay W. (Autobiography, 2000), „From the ranch to System Dynamics: An Autobiography“, Arbeitspapier D-4197-3 des Massachusetts Institute of Technology, 2000, in <http://scripts.mit.edu/~sdg/docs/D-4197-3.JWF.Ranch%20to%20SD.pdf>, Abrufdatum 12.06.2008.
- Forrester, Jay W. (Breakthrough, 1978), „Industrial dynamics: a major breakthrough for decision makers“, in: „Managerial applications of system dynamics“, Edward B. Roberts, ed., 1978, S. 37 – 65.
- Forrester, Jay W. (Counterintuitive Behavior, 1995), „Counterintuitive behavior of social systems“, Arbeitspapier D-4468-1 des Massachusetts Institute of

- Technology, 1995, in: <http://scripts.mit.edu/~sdg/docs/D-4468-2.Counterintuitive.pdf>, Abrufdatum 12.06.2008.
- Forrester, Jay W. (erste Dekade, 1975), „Industrial dynamics- nach der ersten Dekade“, in: „Grundlagen der Wirtschafts- und Sozialkybernetik/betriebswirtschaftliche Kontrolltheorie“, S. 73-95, 1975.
- Forrester, Jay W. (Industrial Dynamics, 1961), „Industrial dynamics“, Cambridge, 1961.
- Forrester, Jay W. (Interview, 1992), „Interview with Jay W. Forrester on System Dynamics“, Arbeitspapier D-4276-2 des Massachusetts Institute of Technology, in <http://scripts.mit.edu/~sdg/docs/D-4276-2.McKinsey.Interview.pdf> - Abrudatum 06.08.2008.
- Forrester, Jay W. (K-12 Teachers, 1996), System Dynamics and K-12 Teachers, Arbeitspapier D-4665-5 des Massachusetts Institute of Technology, 1996, in <http://scripts.mit.edu/~sdg/docs/D-4665-5.SD&K-12%20teach2-s.pdf> , Abrufdatum 12.06.2008.
- Forrester, Jay W. (Systemtheorie, 1972), „Grundzüge einer Systemtheorie“, Gabler Verlag, Wiesbaden, 1972.
- Forrester, Jay W. (Soft OR, 1994), „System dynamics, systems thinking, and soft OR“, in: System Dynamics Review, Vol. 10, No. 2, S. 1 – 14, 1994.
- Forrester, Jay W. (Urban Dynamics, 1976), „Urban dynamics“, Cambridge, 1976.
- Güldenber, Stefan (Wissensmanagement, 2003), „Wissensmanagement und Wissenscontrolling in Lernenden Organisationen“, Gabler Verlag, 2003.
- Harengel, Jürgen (Die Balanced Scorecard, 2000), „Die Balanced Scorecard als Instrument des Banken-Controlling“, Dissertation zur Erlangung eines Doktorgrades, Universität Konstanz, Fachbereich für Wirtschaftswissenschaften, 2000.
- Horváth & Partner, (Balanced Scorecard, 2001), „Balanced Scorecard umsetzen“, Schäfer-Poeschel Verlag, Stuttgart, 2001.
- Kaplan, Robert s./ Norton, David P. (Balanced Scorecard, 2004), „Balanced Scorecard: Ein neues Instrument zur Leistungsmessung erlaubt dem Unternehmen nach vorn zu schauen – und zu marschieren.“, in: Harvard-Business-Manager, Vol. 26, No. 10, S. 146-158, 2004.
- Kaplan, Robert S./ Norton David P. (Transforming the BSC, 2001), „Transforming the Balanced Scorecard from Performance Measurement to Strategic management: Part I.“, in Accounting Horizons, Vol. 13, No. 1, 2001, S. 87-104.

- Kapmeier, Florian (System Dynamics, 1999): „Vom systemischen Denken zur Methode System Dynamics“, Diplomarbeit, Betriebswirtschaftliches Institut der Universität Stuttgart, 2005, in:  
[http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2003/1591/pdf/Diplomarbeit\\_komplett\\_Florian\\_Kapmeier.pdf](http://elib.unistuttgart.de/opus/volltexte/2003/1591/pdf/Diplomarbeit_komplett_Florian_Kapmeier.pdf) - Abrufdatum: 15.04.2008.
- Lynesis, James M. (Forecasting, 2000), „System dynamics for market forecasting and structural analysisJames“, System Dynamics Review Vol. 16, No. 1, S.3–25, 2000.
- Lynesis, James M. (System Dynamics, 1999), „System dynamics for business strategy: a phased approach“, System Dynamics Review Vol. 15, No. 1, S. 37-70, 1999.
- Lück, Wolfgang / Lexer, Matthias (Lexikon, 2004), „Lexikon der Betriebswirtschaft“, Oldenburg Verlag, 2004.
- Meier, Marco / Mertens, Peter / Sinzig, Werner (SAP, 2003), „SAP Strategic Enterprise Management / Business Analytics: Integration von strategischer und operativer Unternehmensführung“, Springer Verlag, Berlin, 2003.
- Milling, Peter (Supply Chain Management, 1999): „Systemtheoretische und kybernetische Empfehlungen für das Supply Chain Management“, in: Christian Scholz (Hsrg.), „Systemdenken und Virtualisierung“, Verlag Duncker&Humblot, Berlin, 1999.
- Niehaus, F. / Rath-Nagel, St./ Voß, A. (System Dynamics, 1972), „Einführung in die systemtechnische Simulationsmethode System Dynamics“, Berichte der Kernforschungsanlage Jülich, Nr. 849, Jülich, 1972.
- Nielsen, Stehen/ Nielsen Erland H. (System Dynamics, 2008), „System dynamics modelling for a balanced scorecard: Computing the influence of skills, customers, and work in process on the return on capital employed“, in: Management Research News, Vol. 31, No 3, 2008, S. 169-188.
- o. V. (Anwendungsgebiete, 2007), „System Dynamics“, Arbeitspapiere der Universität Paderborn, in: <http://www-eev.uni-paderborn.de/forschung/devs/sd> - Abrufdatum: 10.08.2008.
- o. V. (Club of Rome), „Webseite der deutschen Gesellschaft Club of Rome, in: <http://www.clubofrome.de/clubofrome/index.html> - Abrufdatum 10.08.2008.
- o. V. (System Dynamics, 2008), „Was ist System Dynamics“, Deutsche Gesellschaft für System Dynamics e. V., in: <http://systemdynamics.de/>. – Abrufdatum: 10.08.2008.
- o. V. (What is System Dynamics, 2008), „What is System Dynamics“, System Dynamics Society, in: <http://www.systemdynamics.org/index.html> Abrufdatum: 10.08.2008



- Ossimitz, Günter (Systematisches Denken, 1998), „Systemisches Denken und systemisches Management“, Arbeitspapier des Instituts für Mathematik, Statistik und Didaktik der Mathematik der Universität Klagenfurt, 1998, in: <http://www.uni-klu.ac.at/users/gossimit/pap/sysdenk2.htm> - Abrufdatum: 10.08.2008.
- Ossimitz, Günter (SCM, 2002), „Simulation von SCM Systemen“, Institut für Mathematik; Universität Klagenfurt; in: <http://beergame.uni-klu.ac.at/bg.htm> - Abrufdatum: 25.07.08.
- Ossimitz, Günter (Untersuchung komplexer Systeme, 1999), „Einführung und Kommentar zum Lehrgangskapitel ‚Untersuchung komplexer Systeme‘“, Arbeitspapier des Instituts für Mathematik, Statistik und Didaktik der Mathematik der Universität Klagenfurt, in: <http://wwwu.uni-klu.ac.at/~gossimit/sdyn/lkom.htm> - Abrufdatum 06.08.2008.
- Ossimitz, Günter/ Kreisler, Benjamin/ Zoltan, Melanie (Supply Chain Management, 2002): „Simulation von Supply-Chain-Management Systemen“, Projektendbericht der Universität Klagenfurt, Institut für Mathematik, 2002.
- Richmond, Barry (Systems Thinking, 1993), Systems thinking: critical thinking skills for the 1990s and beyond, in: System Dynamics Review, 9, 1993, 2, S. 113 – 133, 1993.
- Riemer, Kai (E-Commerce, 2008): „E-Commerce und Supply Chain Management: Maßnahmen und Instrumente zur Verbesserung der Koordination in Lieferketten“, Arbeitsbericht Nr. 53 Kompetenzzentrums Internetökonomie und Hybridität der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster, Münster, 2008. URL: <http://www.wi.uni-muenster.de/aw/download/hybride-systeme/Hybrid%2053.pdf> – Abrufdatum 26.07.2008.
- Schade, Burkhard (System Dynamics, 2005), „Volkswirtschaftliche Bewertung von Szenarien mit System Dynamics“, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades eines Doktors der Wirtschaftswissenschaften, Fakultät für Wirtschaftswissenschaften der Universität Fridericiana Karlsruhe, 2005.
- Schieritz; Nadine / Größler, Andreas (Supply Chains, 2003), „Emergent Structure in Supply Chains: A study Integrating Agent-Based and System Dynamic Modeling“, in Proceedings of the 36<sup>th</sup> Hawaii International Conference on System Sciences, 2003.
- Schöneborn, Frank (Strategisches Controlling, 2004), „Strategisches Controlling mit System Dynamics, Physica-Verlag Heidelberg, 2004.
- Schwaninger, Markus (Systemtheorie, 2004), „Systemtheorie: Eine Einführung für Führungskräfte, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler“, Diskussionsbeitrag No 19, Universität St. Gallen, Dezember 2004. in:

[http://www.ifb.unisg.ch/org/ifb/ifbweb.nsf/SysWebRessources/beitrag+19/\\$FILE/DB\\_19.pdf](http://www.ifb.unisg.ch/org/ifb/ifbweb.nsf/SysWebRessources/beitrag+19/$FILE/DB_19.pdf)- Abrufdatum 06.08.2008

Simchi-Levi, David/ Kaminsky, Philip/ Simchi-Levi, Edith (The Supply Chain, 2008), „Designing and Managing the Supply Chain: Concepts, Strategies and Case Studies“, McGraw-Hill Verlag, New York, 2008.

Sterman, John D. (Business Dynamics, 2004), „Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World“, International Edition, McGraw-Hill Education, Singapur, 2004.

Sterman, John D. (SD at fifty, 2007), „Exploring the next great frontier – system dynamics at fifty“, in System Dynamics Review, Vol 23, no 2/3, S. 89-93, Massachusetts 2007.

Sterman, John D. (The Beer Game, 1992), „Teaching Takes off. Flight Simulators for Management Education: The Beer Game“, in: <http://web.mit.edu/jsterman/www/SDG/beergame.html> - Abrufdatum: 25.07.2008.

Tangerman, Ole (Information Dynamics, 2007): „Information Dynamics: Informationen, deren Auswirkungen und Management in Wertschöpfungsketten“, Dissertation zur Erlangung des akademischen Grades Doktor des Ingenieurwissenschaften, von der Fakultät Wirtschaft und Management der Technischen Universität Berlin, Berlin, 2007.

Wiener, N. (Kybernetik, 1952), Mensch und Menschmaschine, Frankfurt am Main 1952