

5. Simulation als Entscheidungshilfe: Systemisches Denken als Werkzeug zur Beherrschung von Komplexität

*Harald Schaub*⁷

5.1 Einleitung

In dem folgenden Beitrag wird gezeigt, wie Systemisches Denken (auch Systemdenken, vernetztes Denken *oder* Systems-Thinking) als Werkzeug zur Vereinfachung von Komplexität genutzt werden kann; um die Einsicht in Prozesse, Strukturen und Entscheidungsoptionen komplexer Situationen zu verbessern. Dazu werde ich in Methoden des Systems-Thinking Ansatzes einführen und an Hand zweier Beispiele zeigen, wie auf diesem Ansatz basierende Computersimulationen genutzt werden können, um überraschende Phänomene zu verstehen und daraus Entscheidungen abzuleiten.

Komplexität erhöht die Menge von Informationen, die berücksichtigt werden müssen und damit die Menge von Alternativen, aus denen Entscheidungen ausgewählt werden können. Um Denk- und Handlungsoptionen tatsächlich nutzbar zu machen, muss jedoch Komplexität reduziert werden. Gleich wie komplex die Realität ist (sei es die natürliche Umwelt, seien es organisationelle Strukturen oder technische Artefakte), die Kapazität unseres Gehirns ist begrenzt hinsichtlich der Menge von Elementen und Relationen, die Menschen berücksichtigen können (Miller, 1956; DeGroot, 1965; Hacker, Sachse & Schroda, 1998). Notwendigerweise sind deshalb die mentalen Modelle der Wirklichkeit in unseren Köpfen

⁷ PD Dr. Harald Schaub ist Privatdozent am Institut für Theoretische Psychologie der Universität Bamberg; er ist im Vorstand des Vereins Plattform - Menschen in komplexen Arbeitswelten und als Trainer der Firma System-Denken tätig. Seine Tätigkeitsfelder sind Analysen und Trainings zum Denken, Entscheiden und Handeln in komplexen Situationen; Computermodelle psychischer Prozesse; Persönlichkeitsfaktoren beim Problemlösen. Korrespondenzadresse: Institut für Theoretische Psychologie, Universität Bamberg, Kapuzinerstr. 16, D-96045 Bamberg, harald.schaub@ppp.uni-bamberg.de

Simplifizierungen der Realität. Daraus resultieren Fehler, Irrtümer und Katastrophen (Dörner, 1989; Dörner & Schaub, 1994; Schaub, 1996, 2001; Strohschneider & von der Weth, 2002).

Die kritische Frage dabei ist, auf welche Art und Weise wir vereinfachen und reduzieren können, damit die Situation handhabbar wird, aber die wichtigen und relevanten Aspekte der Realität erhalten bleiben, möglichst sogar prägnant hervortreten? Systems-Thinking bedeutet, dass mentale Modelle *simuliert* werden, um dadurch zu veranschaulichen, zu welchen Konsequenzen bestimmte Annahmen und Handlungen führen können (vgl. Dörner & Schaub, 1992; Brunner & Stäudel, 1992; Schaub, 1993). Das Ziel von Systems-Thinking besteht darin, sowohl für die Konstruktion vereinfachter mentaler Modelle als auch für die Simulation dieser Modelle *Werkzeuge* bereitzustellen. Ich werde drei Typen von Werkzeugen unterscheiden: Das sind zum einen *Denkwerkzeuge*, die helfen die Realität zu vereinfachen. Des Weiteren bietet der Systems-Thinking Ansatz *standardisierte, formale Sprachen*, um komplexe Situationen darstellen und darüber kommunizieren zu können, und schließlich bietet der Ansatz eine Reihe von *Computerprogrammen*, die die Simulation mentaler Modelle erlauben.

5.2 Denkwerkzeuge

Unter dem euphemistischen Begriff der *Denkwerkzeuge* werden Formen der Herangehensweise an die komplexe Realität, Methoden und Heuristiken, zusammengefasst (Vollmer, 1991, spricht von *Denkzeugen*). Denkwerkzeuge strukturieren die Art und Weise der intellektuellen Auseinandersetzung mit einem System in einer für das jeweilige Werkzeug typischen Form. Denkwerkzeuge zum Systemischen Denken sollen eben dieses Denken unterstützen und verbessern. Was aber ist eigentlich Systemisches Denken?

Die Problematik des Umgangs mit komplexen Systemen wird von einer Reihe von Autoren mit unterschiedlichem wissenschaftlichem Hintergrund diskutiert. Zu nennen sind dabei vor allem Vester, der einen ökologischen Ansatz verfolgt (z.B. *Unsere Welt – ein vernetztes System*, 1983), Gomez & Probst, die Systemisches Denken aus einer ökonomischen Herangehensweise begreifen (z.B. *Die Praxis ganzheitlichen Problemlösens*, 1997), Dörner, der vor allem psychologische Gesichtspunkte diskutiert (z.B. *Die Logik des Misslingens*, 1989), Meadows, der versucht, die Dynamik komplexer Systeme generell zu beschreiben (z.B. *Die Grenzen des Wachstums*, 1973), Richmond, der sich für die Konstruktion von unterstützender Software einsetzt (z.B. *Systems Thinking: Four Key Questions*,

1991) und Senge, der die Idee des Systemischen Denkens für das Management nutzbar machen will (z.B. *Die fünfte Disziplin: Kunst und Praxis der lernenden Organisation*, 1998). Jeder dieser Autoren setzt andere Schwerpunkte, was unter Systemischem Denken zu verstehen ist. Die verschiedenen Sichtweisen lassen sich unter einigen zentralen Dimensionen zusammenfassen (vgl. Ossimitz, 2000, S. 52):

- vernetztes Denken (Berücksichtigen von Relationen),
- dynamisches Denken (Berücksichtigen von Prozessen),
- Denken in Modellen (Berücksichtigen von Strukturen) und
- systemisches Handeln (Berücksichtigen von Anwendungsbedingungen und Neben- und Fernwirkungen).

Die typische schulische, universitäre und berufliche Ausbildung fördert das Systemische Denken kaum. Vor allem den Schülern der westlichen Welt wird eher ein Denken in linearen Ursache-Wirkungs-Ketten aneignet (vgl. Strohschneider, 2001). Zu jedem Phänomen (Wirkung) muss es einen (oder wenige) Verursacher geben. Dass ein Phänomen viele Ursachen haben kann, dass die Wirkung selbst wieder Ursache anderer Phänomene, ja dass das Phänomen sogar seine eigene Ursache sein kann, ist in diesem linearen Ursache-Wirkungs-Ansatz nicht „denkbar“. Damit sind unsere typischen Denkstrukturen für den Umgang mit komplexen Systemen kaum geeignet.

Deshalb ergibt sich die Notwendigkeit, diese Denkstrukturen aufzubrechen und durch neue Methoden zu unterstützen. Es werden in der Literatur eine Reihe von Denkwerkzeugen (oder: Heuristiken) vorgeschlagen, die das Systemische Denken unterstützen. Denkwerkzeuge werden als Formen der Herangehensweise an Aufgaben und Probleme beschrieben. Sowie der Hammer vor allem zum Einschlagen von Nägeln dient, sind einzelne Denkwerkzeuge für jeweils bestimmte Anwendungen besonders geeignet. Vom Hammer unterscheiden sie sich in zwei wesentlichen Aspekten: Die Anwendungsbedingungen für einen Hammer sind relativ leicht feststellbar; wann die Situation ein bestimmtes Denkwerkzeug erfordert, ist manchmal nur post hoc sicher feststellbar. Zum Zweiten sind Denkwerkzeuge nicht irgendwie geartete Apparate, die bereits durch die spezifische Art ihrer Konstruktion zur Aufgaben- oder Problemlösung beitragen. Denkwerkzeuge erfordern ein Verändern der eigenen Art und Weise des Denkens und Problemlösens.

Im Folgenden werden einige wichtige Denkwerkzeuge samt ihrer jeweiligen Anwendungsintention kurz vorgestellt, die nach der Herangehensweise an ein neues komplexes System geordnet sind (vgl. dazu auch Hofinger, Kap. 8, in diesem Band).

Einnahmen einer System-Perspektive

Anwendungsintention: *Übersicht verschaffen*

Beim Umgang mit komplexen Systemen ist es besonders in der frühen Phase der Auseinandersetzung mit dem System wichtig, eine *System-Perspektive* einzunehmen. Damit ist das Beziehen eines Standpunktes gemeint, der es erlaubt, das System als Ganzes, ohne die ablenkenden Details, zu betrachten (*den Wald und nicht (nur) die Bäume sehen*). So können die grundsätzlichen Verhaltensmuster und die allgemeinen Trends besser erkannt werden. Es wird deshalb auch von der „10.000-Meter“ oder „Hubschrauber-Perspektive“ gesprochen. Der Bau eines Hauses kann nicht durch die Betrachtung der einzelnen Bausteine begonnen werden. Zuerst werden eine Idee und ein Plan benötigt.

Denken innerhalb des Systems

Anwendungsintention: *Wichtige Einflussfaktoren berücksichtigen*

Denken innerhalb des Systems bedeutet, dass die Ursachen für das Verhalten eines Systems innerhalb des Systems zu suchen sind. Es ist wenig produktiv, „feindliche“ Kräfte außerhalb des Systems für Geschehnisse innerhalb des Systems auszumachen, ohne diese Kräfte genauer zu analysieren. Senge (1990, S.67) meint dazu „there is no one to blame“. Gegebenenfalls muss der betrachtete Systemausschnitt soweit vergrößert werden, dass alle möglichen Ursachen Teil des betrachteten Systems werden. Diese Erkenntnis hat bspw. in der Psychotherapie dazu geführt, dass von der Therapie Einzelner in vielen Fällen zur Paar- oder Familientherapie übergegangen wurde, bzw. heute explizit von Systemtherapie gesprochen wird, da die Ursachen für eine psychische Störung nicht selten im weiteren Umfeld (im „System“) des Betroffenen liegen (Schiepek, 1997).

Hypothesen einfach halten

Anwendungsintention: *Die Welt so abbilden, wie sie ist*

Hypothesen einfach halten meint, über die Dinge so nachzudenken, wie die Dinge tatsächlich sind und nicht unnötig abstrakte Konstrukte einführen. Als ein negatives Beispiel berichtet Richmond (1993, S.128) über ein elaboriertes makroökonomisches Modell der Milchproduktion, das aus vielen Variablen und mathematischen Gleichungen besteht, „but nowhere in the model did cows appear!“

Diese Idee ist ein Standard der wissenschaftlichen Theorienbildung. Erstmals formulierte sie der Philosoph Occam (Occam-Prinzip, auch Occam's Razor) „Pluralitas non est ponenda sine neccesitate“ (William of Occam, 1285-1349), was für Systemisches Denken meint: Vermeide unnötige Kompliziertheit in Modellen! Gibt es für die Beschreibung eines bestimmten Phänomens verschiedene Erklärungen zur Auswahl, so ist häufig das einfachste Modell auch das zutreffende. Einstein formulierte diese Forderung sehr prägnant: Eine Theorie soll so einfach wie möglich sein, aber nicht einfacher.

Generische Strukturen

Anwendungsintention: *Systemerfahrungen nutzen*

Eine wichtige Möglichkeit Hypothesen und Systeme möglichst einfach zu formulieren, ist der Rückgriff auf bekannte Systeme. Viele Prozesse und Strukturen lassen sich auf *generische Strukturen* oder *Archetypen* wie dies Senge (1998) nennt, zurückführen. Es muss nicht jedes Mal das Rad neu erfunden werden, sondern es kann auf bestehendes Wissen darüber zurückgegriffen werden, wie Systeme im Allgemeinen funktionieren. Ein häufiger Archetyp ist z.B. die Problemverschiebung (shifting the burden): Wenn es bei einem Problem eine einfache, symptomatische und eine aufwändige, grundsätzliche Lösung gibt, wird in der Regel die einfache, symptomatische Lösung bevorzugt, die das Problem aber nur kurzfristig beseitigt, dafür aber langfristig häufig noch verstärkt (siehe auch Abschnitt 5.4).

Kontinuierliches Denken

Anwendungsintention: *Faktoren in der Breite der Variationsmöglichkeiten erfassen*

Statt in Schwarz-Weiß-Positionen zu denken, sollten die kontinuierlichen Zwischenstufen bedacht werden. Schwarz-Weiß-Denken wird den meisten komplexen Phänomenen nicht gerecht, denn es schränkt die Sicht auf die Variationsmöglichkeiten der betrachteten Variablen stark ein. Sind die einzigen Kriterien bei der Betrachtung eines Systems nur „gut–schlecht“, wird eine schleichende Verschlechterung des Systemzustandes viel zu spät erkannt, nämlich dann erst, wenn das System tatsächlich in den Zustand „schlecht“ gewechselt ist.

Dynamisches Denken

Anwendungsintention: *Systemverhalten beachten*

Mit *Dynamischem Denken* ist gemeint, dass die Aufmerksamkeit mehr auf Verhaltensmuster des Systems gelegt wird als auf einzelne Ereignisse oder die Struktur des Systems, da die Dynamik oft den wesentlichen Teil der Komplexität

eines Systems ausmacht. Trends, Wachstums- und Rückkopplungsprozesse machen die jeweilige Funktion und Bedeutung eines Systems aus. Eine Lawine erhält ihre Gefährlichkeit erst dadurch, dass sie sich *bewegt*.

Wissenschaftliches Denken

Anwendungsintention: *Strukturiertes Vorgehen*

Wissenschaftliches Denken meint die Verwendung bewährter wissenschaftlicher Methoden, wie beispielsweise die *unabhängige Bedingungsvariation*. Dabei wird jeweils nur eine Variable verändert, um deren Auswirkungen bewerten zu können. Theorien und Hypothesen sollen so formuliert werden, dass sie innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft überprüft, diskutiert und kritisiert werden können. Wissenschaftliches Denken erlaubt eine kritische und strukturierte Herangehensweise.

Die genannten Denkwerkzeuge sind keine Allheilmittel und sind nicht die einzig denkbaren Empfehlungen zum Umgang mit Systemen. So existieren, um nur zwei Beispiele zu nennen, seit über 3000 Jahren die „36 chinesischen Strategeme“, die sich vor allem mit dem komplexen System „Krieg“ auseinandersetzen. Ein Strategem lautet z.B.: „Im Osten lärmern, im Westen angreifen“ (von Senger, 2000). Auch in der Heuristik, der Lehre von den Mitteln und Methoden des Problemlösens (Pólya, 1949), werden Empfehlungen über ein sinnvolles Bearbeiten neuartiger Situationen gegeben. Die oben genannten Denkwerkzeuge zum Systemischen Denken berücksichtigen jedoch, anders als die Strategeme oder allgemeine Heuristiken, die spezifischen Anforderungen von Systemen (z.B. Vernetztheit und Dynamik).

Denkwerkzeuge setzen eine Änderung der eigenen Denk- und Handlungsweisen voraus, die nur durch eine Reflektion der eigenen Denkprozesse erreicht werden kann (vgl. Tisdale, 1998). Die kritische Auseinandersetzung mit möglichst verschiedenartigen Situationen und Systemen fördert die Entwicklung des eigenen *linearen Denkens* hin zum *Systemischen Denken* (üben, üben, üben!). Unterstützt wird das Systemische Denken aber auch durch die Verwendung entsprechender Tools wie standardisierte Systembeschreibungssprachen und Simulationssoftware. Darauf wird in den nächsten Abschnitten eingegangen.

5.3 Standardisierte Sprachen

Die standardisierten Sprachen, die der Systems-Thinking Ansatz verwendet, sind vor allem die graphische Repräsentation in Form von Wirkungs- und Flussdiagrammen; darüber hinaus auch Simulationsgleichungen, die auf mathematischen Standardverfahren aufbauen (in der Regel Runge-Kutta oder Euler-Cauchy) und an die jeweilige Software angepasst sind.

Wirkungsdiagramme

Wirkungsdiagramme sind Graphiken aus Systemelementen und Wirkrelationen zwischen den Elementen – auch: „Ursache-Wirkungs-Diagramme“, „Netzwerkdiagramme“, „causal-loop-diagrams“ (Roberts et al., 1983, S.31ff) oder „systems diagrams“ (Senge, 1990, S.75) genannt. Im folgenden Beispiel ist dies illustriert.

Die Zählung der von Fallenstellern in der kanadischen Hudson Bay bei der Pelzgesellschaft abgelieferten Felle in den Jahren 1840 bis 1940 lieferte die Grundlage für das so genannte *Räuber-Beute-Modell*.

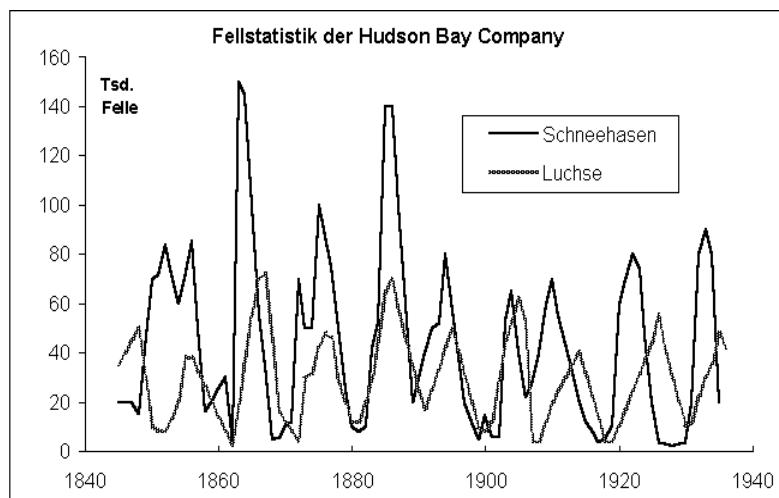


ABB. 5.1: Fellstatistik der Pelzgesellschaft (Quelle: http://php.learnline.de/angebote/blickpunktmatnat/autoren/kohorst_portscheller_goldkuhle/sequenz_modellbildung_simulation/modsim/t13/koh/bilder/hudson.gif).

Eine Räuberpopulation (in diesem Fall die Füchse) dezimiert die Beutepopulation (die Schneehasen). Durch die Abnahme der Beutepopulation finden die Räuber nicht

mehr genügend zu fressen, und die Räuberpopulation nimmt ebenfalls ab. Da nun weniger Räuber vorhanden sind, kann sich die Beutepopulation wieder erholen und beginnt zu wachsen. Damit haben die Räuber genügend zu fressen, und die Räuberpopulation wächst nun ebenfalls wieder, bis das Spiel von Neuem beginnt. Daraus ergeben sich dann die in Abbildung 5.1 gezeigten gegeneinander versetzten sinusförmigen Kurvenverläufe. Mathematisch wird dieser Zusammenhang in der Lotka-Volterra-Gleichung beschrieben (s. Bossel, 1985). Wissenschaftshistorisch ist zu erwähnen, dass sich erst viel später zeigte, dass die tatsächlichen Zusammenhänge zwischen Füchsen und Schneehasen komplizierter sind. Wie aber sieht das hinter diesen Zusammenhängen stehende Modell aus?

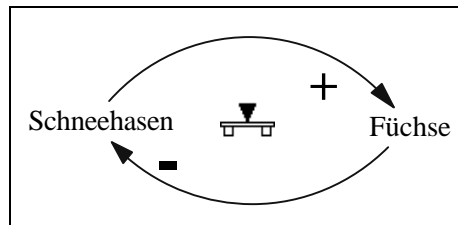


ABB. 5.2: Wirkungsdiagramm eines Räuber-Beute-Systems

Als Wirkungsdiagramm haben wir zwei Variablen (Schneehasen und Füchse) mit zwei Relationen. Das Zeichen „+“ ist wie folgt zu lesen: Je mehr Schneehasen vorhanden sind, desto mehr Füchse können existieren, und: Je weniger Schneehasen vorhanden sind, desto weniger Füchse können existieren. Die Variablen variieren also gleichsinnig. Das Zeichen „-“ bedeutet dagegen: Je mehr Füchse vorhanden sind, desto weniger Hasen können existieren und umgekehrt. Die Variablen variieren also gegensinnig. Dieses kleine System stellt eine so genannte *negative Rückkopplung* dar. Negative Rückkopplungen sind dadurch gekennzeichnet, dass sich das System (in bestimmten Grenzen) selbst stabilisiert. Dies ist in der Darstellung durch das Symbol der ausbalancierten Wippe (☐▼☐) illustriert.

Weitere Beispiele für Wirkungsdiagramme sind Abbildung 5.3 zu entnehmen. Modell (1) stellt eine *positive Rückkopplung* dar. Positive Rückkopplungen führen dazu, dass sich die Variablen des Systems selbst verstärken und gegebenenfalls über alle Grenzen hinaus wachsen. Dieser Zusammenhang wird hier durch das Symbol der rollenden Lawine (☐▼☐), übernommen von Senge, 1990) dargestellt. Das hier illustrierte Beispiel ist die Eskalation der Beziehung eines streitenden Ehepaars, wie es sich bei Watzlawick et al. (1969, S.58ff) findet. Sie nörgelt an ihm herum, er zieht

sich zurück, was dazu führt, dass sie noch mehr nörgelt und er sich noch mehr zurückzieht und so weiter. Die „Eskalation“ könnte allerdings auch umgekehrt verlaufen: Je weniger sie nörgelt, desto weniger zieht er sich zurück, was wiederum dazu führt, dass sie weniger nörgelt – womit sich bereits eine mögliche Lösung des Konfliktes andeutet. Es sei darauf hingewiesen, dass es für die Dynamik des Systems gleichgültig ist, wer bzw. was mit dem defizitären Verhalten angefangen hat. Zur Lösung dieser Beziehungsdynamik, müsste sich aber einer von beiden – gleichgültig wer – entgegen der Systemstruktur verhalten.

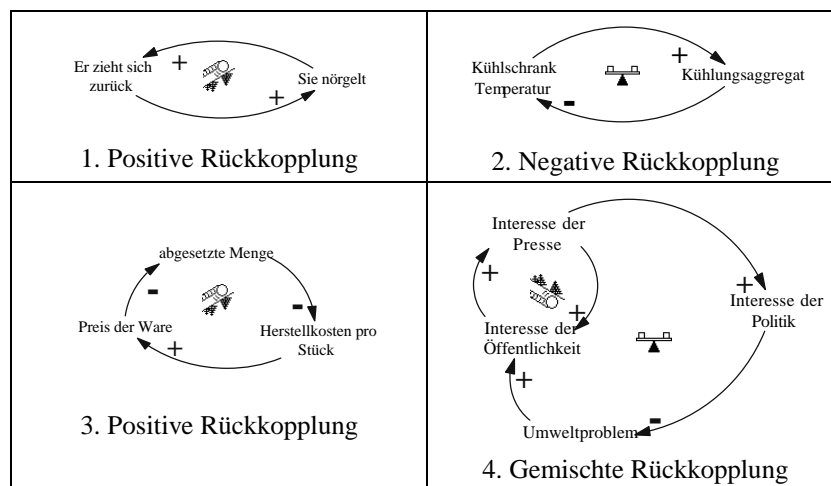


ABB. 5.3: Verschiedene Wirkungsdiagramme; verändert nach Watzlawick et al., 1969 (1); Ossimitz, 1990 (2,3); Vester, 1983 (4).

Das Beispiel (2) stellt eine negative Rückkopplung dar. Dieses Modell ist strukturell analog zu dem Räuber-Beute-System. Die beiden Variablen Temperatur und Kühlung halten sich wechselseitig in einem bestimmten Wertebereich.

Beispiel (3) bildet einen einfachen ökonomischen Zusammenhang ab. Auch hier finden wir eine positive Rückkopplung (gelegentlich auch als 'Teufelskreis' bezeichnet), die zur Eskalation führt. Je nachdem in welche Richtung das System startet, führt es zu stetig wachsenden Preisen, oder zu stetig fallenden Preisen. Für diesen Zusammenhang ist wichtig, in welche Richtung sich das System am Anfang bewegt. Diese Richtung wird durch die positive Rückkopplung verstärkt.

Beispiel (4) beschreibt eine gemischte Rückkopplung, d.h. ein System, welches zwei Rückkopplungsschleifen, eine positive und eine negative Rückkopplung,

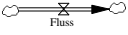

enthält. Je größer ein bestimmtes Umweltproblem (z.B. Luftverschmutzung), desto größer ist das Interesse der Öffentlichkeit an dem Thema, welches wiederum das Interesse der Presse weckt. Das vermehrte Interesse der Presse erhöht seinerseits das öffentliche Interesse. Diese positive Rückkopplung ließe die Interessen über alle Grenzen wachsen. Korrigierend greift die negative Rückkopplung zwischen öffentlichem Interesse, Interesse der Politik und Umweltproblem ein. Je größer das Interesse der Öffentlichkeit und der Presse, desto mehr wird die Politik auf den Plan gerufen und muss irgendetwas gegen das Problem tun (und seien es nur beruhigende Statements). Solche verschachtelten Rückkopplungssysteme entsprechen einer bei Senge (1990) beschriebenen Systemgrundform (Archetypen). Er nennt diese Systemgrundform *Limits to Growth*, Grenzen des Wachstums – wie das gleichnamige Buch von Meadows (1973).

Wirkungsdiagramme bieten viele Vorteile: Sie explizieren die mehr oder weniger verschwommenen Vorstellungen, die wir im Kopf mit uns herumtragen. In der Form des Wirkungsdiagramms werden diese Vorstellungen präzisiert und stehen der Kommunikation und kritischen Diskussion zur Verfügung. Gleichzeitig bleibt die Beschreibung eines Systems und dessen Verhalten mit Hilfe solcher Wirkungsdiagramme sehr „kompakt“. Die entsprechenden *Wortmodelle* (auch: *Prosamodelle*), also die verbale oder textliche Beschreibung, sind in der Regel ungleich länger und weniger prägnant. Wirkungsdiagramme erlauben es darüber hinaus, Zusammenhänge auf einer qualitativen Ebene zu beschreiben. Diese Sichtweise ist vor allem dann von Vorteil, wenn ein System noch nicht hinreichend verstanden ist, um auch quantitative Aussagen über das System treffen zu können (dies entspricht der Einnahme der *System-Perspektive*, also des Verschaffens eines Überblicks). Diese Vorteile werden mit dem Nachteil erkauft, dass Wirkungsdiagramme nicht simuliert werden können, d.h. es können kaum Aussagen über das *dynamische Verhalten* gemacht werden (das *Dynamische Denken* wird nicht unterstützt). Prognosen können nur bei einfachen Systemen abgeleitet werden und die Reaktionen des Systems auf bestimmte Eingriffe sind ungewiss.

Flussdiagramme

Um Systemmodelle auch simulierbar machen zu können, bietet der Systems-Thinking Ansatz eine zweite standardisierte Sprache, nämlich die Sprache der *Flussdiagramme* (im englischen auch „stock-and-flow-diagrams“ oder kurz „flow-diagrams“ genannt). Der Begriff ist eher unglücklich, da in der Informatik

Prozessabläufe auch als Flussdiagramme bezeichnet werden. Diese Diagramme sind jedoch völlig anders aufgebaut.

Die grundlegende Beschreibungsform von Systemen mittels Flussdiagrammen ist die Abbildung von Zu- und Abflüssen von Material, Ideen, Objekten, Information in und aus Speichern. Zu- und Abflüsse werden in Flussdiagrammen gerne als Ventile dargestellt: . Wohingegen die Speicher (oder Bestandsgrößen genannt) stilisierte Behälter sind: . In einem Flussdiagramm wird also angegeben, wie viele Objekte, Informationen oder beliebige andere Dinge, die „fließen“ können, von einem Behälter in einen anderen wandern.

Die Möglichkeit zum *Visualisieren* und *Skizzieren* ist die besondere Stärke von Flussdiagrammen. Die Visualisierung zeigt beispielsweise unmittelbar die Zusammenhänge zwischen Komponenten; durch Begriffe können spezifische Aspekte sehr präzise gefasst werden. Wie eine Reihe von Studien zeigen konnte, ist es bei kreativen Prozessen, z.B. beim Konstruieren, von großem Vorteil, wenn der Denkprozess zwischen begrifflichen und bildlichen Repräsentationen wechselt (Badke-Schaub & Dörner, 2002). Dieser „Sprach-Bild-Zyklus“ wird durch Flussdiagramme dadurch gefördert, dass das Flussdiagramm selbst die *bildliche* Repräsentation des Systems bietet, während die mathematischen Funktionen, die im Flussdiagramm implementiert werden, eine *begrifflich* orientierte Repräsentation des Systems ermöglichen. Der Systemkonstrukteur kann je nach Anforderung eine von beiden Sichtweisen (Bild oder Begriff) auf das System wählen.

Bei Ossimitz (2000, S. 73f) finden wir ein Modell zur Verbreitung eines Produkts im Vergleich als Wirkungsdiagramm und als Flussdiagramm dargestellt:

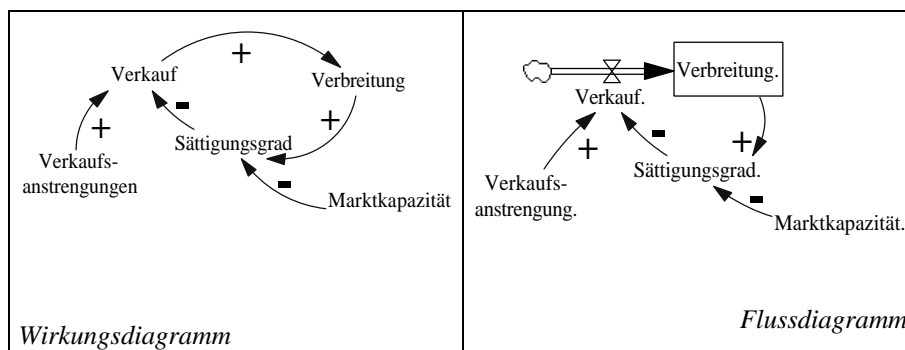


ABB. 5.4: Modelle des Absatzes eines Produkts im Vergleich (korrigiert und verändert nach Ossimitz, 2000, S. 73f).

Die Diagramme in 5.4 bilden eine negative Rückkopplung ab. Die Verkaufsanstrengungen erhöhen den Verkauf (eines Produktes). Durch den Verkauf steigt die Verbreitung und damit die Marktsättigung dieses Produktes. Soll noch mehr verkauft werden, müssen die Verkaufsanstrengungen erhöht und/oder die Marktkapazität vergrößert werden. Im Flussdiagramm ist der gleiche Zusammenhang dargestellt, nur dass bei dieser Darstellung der Verkauf (des Produktes) als Zufluss der *Bestandsgröße* „Verbreitung“ dargestellt ist, und die Variablen Verkaufsanstrengung, Sättigungsgrad und Marktkapazität so genannte *Hilfsgrößen* sind, die den Umfang des Zuflusses modifizieren.

In Abbildung 5.5 ist ein System einer „gemischten Rückkopplung“ als Wirkungs- und als Flussdiagramm ausgeführt.

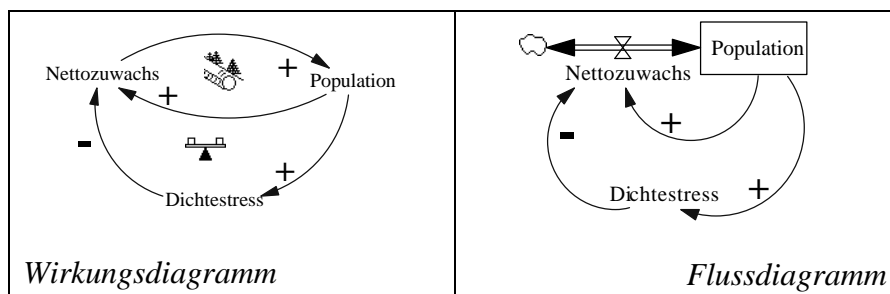


ABB. 5.5.: „Gemischte Rückkopplung“ als Wirkungs- und als Flussdiagramm (nach Ossimitz, 2000, S.66).

Wirkungsdiagramm: Je größer die Population (z.B. einer bestimmten Tierart), desto größer der Nettozuwachs (Geburten minus Sterbefälle), welcher wieder die Population vergrößert. Diese positive Rückkopplung ließe die Population über alle Grenzen wachsen. Korrigierend greift die negative Rückkopplung zwischen Population, Dichtestress und Nettozuwachs ein. Je größer nämlich die Population, desto enger leben die Tiere aufeinander, was sie unter Stress setzt und zu einer Abnahme der Geburtenhäufigkeit führt. Dadurch sinkt letztlich die Populationsgröße wieder.

Flussdiagramm: Die Population ist eine Bestandsgröße, die einen Zufluss (von Geburten) und einen Abfluss (von Sterbefällen), insgesamt als Nettozufluss bezeichnet, hat. Modifiziert wird der Nettozufluss durch die Größe der Population selbst sowie durch die Hilfsvariable Dichtestress.

Analysieren wir noch ein kleines Beispiel, wie es sich z.B. bei Hupfeld (2000) findet. Es geht um die Systemgrundform *Wachstum mit Selbstvergiftung* (s. Abbildung 5.6).

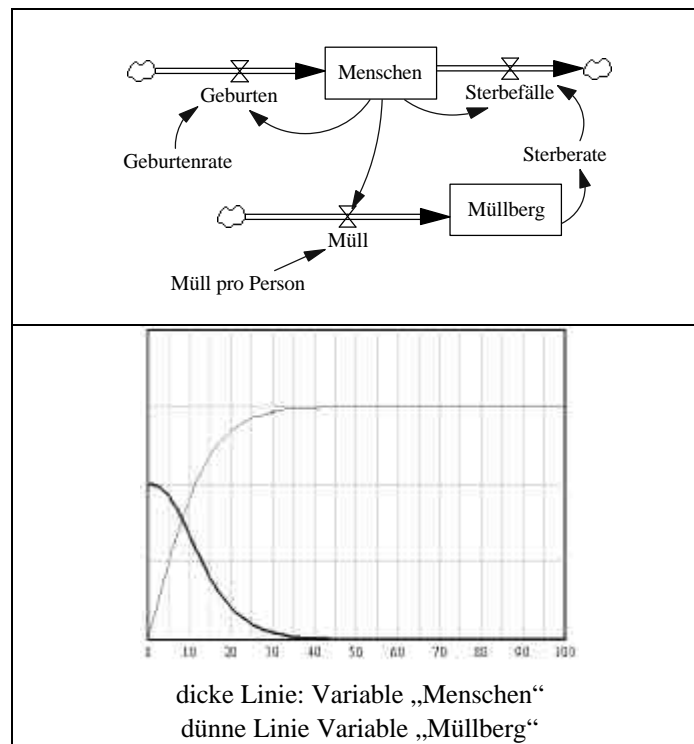


ABB. 5.6: Archetyp Wachstum mit Selbstvergiftung (oben Flussdiagramm, unten Verlauf der Variablen über die Zeit).

Im Modell werden zwei Speicher (Bestandsgrößen) angenommen: Menschen und Müllberg. Die Anzahl der Menschen steigt durch Geburten und sinkt durch Sterbefälle. Jeder Mensch produziert eine bestimmte Menge Müll (Müll pro Person in kg), die auf einem Müllberg gelagert wird. Dieser gelagerte Müll wirkt sich nun, direkt oder indirekt, erhöhend auf die Sterberate aus, d.h. unser eigener Dreck bringt uns um. Da im Modell keine Möglichkeit des Abbaus des Müllbergs vorgesehen ist, wächst dieser Müllberg, solange noch Menschen existieren. Dieses Modell endet in einem wenig erfreulichen, aber stabilen Endzustand. Wenn alle Menschen gestorben sind, dann gibt es keine Geburten mehr, keine Sterbefälle und keinen neuen Müll.

Es wird aus den Beispielen deutlich, dass Wirkungsdiagramme eine intuitivere Darstellungsform als Flussdiagramme sind. Je nach Anwendungszweck sind Wirkungsdiagramme (rein qualitative Systembeschreibung) oder Flussdiagramme (qualitative und quantitative Systembeschreibung) zu verwenden. Nur die Darstellung als Flussdiagramm erlaubt es, *sowohl* eine graphische Repräsentation (*System-Perspektive*) *also auch* (mit der entsprechenden Software) eine Simulation des Verhaltens des Systems zu erzeugen (*Dynamisches Denken*).

Software

Welche Programme bietet der Systems-Thinking Ansatz, um Systemisches Denken durch Simulieren von Systemen zu unterstützen? Grundsätzlich ist die Simulation von Systemen mit jeder beliebigen Programmiersprache oder auch mit Tabellenkalkulationsprogrammen implementierbar. Allerdings ist dies einerseits sehr mühevoll, da diese Programme nicht speziell für Systemsimulationen ausgelegt sind, andererseits unterstützen diese Programme die sehr wichtige Funktion der graphischen Repräsentation des Modells nicht, und bieten damit vor allem keine Möglichkeit eine *System-Perspektive* einzunehmen. Ich werde mich bei der folgenden Beschreibung deswegen auf Programme beschränken, die die graphische Simulationsidee des Systems-Thinking Ansatzes unterstützen.

Das bekannteste Programm in diesem Zusammenhang ist das Programm *Stella* der Firma High Performance Systems Inc. (<http://www.hps-inc.com>; in einer Variante auch *iThink* genannt). *Stella* ist der Urvater der graphischen Systemsimulationstools. Dieses Programm ist sehr leistungsfähig, es existieren allerdings ausschließlich kommerzielle, englischsprachige Versionen. Es gibt ein als Freeware vertriebenes deutsches Programm, das Programm *Dynasys* von Hupfeld (<http://www.hupfeld-software.de/>), das in seinen Möglichkeiten allerdings recht beschränkt ist und vor allem in Schulen zum Einsatz kommt. Das englischsprachige Programm *Vensim* der Firma Ventana (<http://www.vensim.com>) übertrifft in seiner Leistungsfähigkeit die Programme *Dynasys* und *Stella* und liegt in verschiedenen Versionen vor, von denen eine für den privaten Gebrauch kostenlos zur Verfügung gestellt wird. Die Modelle und Darstellungen in diesem Kapitel wurden mit dem Programm *Vensim* hergestellt. Weitere Programme sind u.a.: *Powersim*, *Heraklit*, *myStrategy*, *Modus* und *Gamma*.

Leider ist es bei keinem der Simulationstools mit dem reinen Zeichnen der Flussdiagramme getan. Notwendigerweise müssen die Diagrammelemente noch quantifiziert, d.h. mit numerischen Werten und Funktionen hinterlegt werden. Für

das Dichtestress-Modell aus Abbildung 5.5 sind die Quantifizierung und Funktionen in Tabelle 5.1 wiedergegeben.

TAB. 5.1: Simulationsgleichungen des Dichtestress-Modells (Abbildung 5.5).

(1) Dichtestress= Population/10000
(2) Nettozuwachs= Population*0.9*(1-Dichtestress)
(3) Population= INTEG (Nettozuwachs, 1000)

Gleichung (1) definiert den Dichtestress als Quotient aus der Population und einem maximalen Populationswert (hier: 10000). Ist die Population klein, ergibt sich ein kleiner Dichtestresswert, ist die Population groß, ergibt sich ein großer Dichtestresswert (bei einem typischen Wertebereich von [0..1]). In Gleichung (2) wird der Nettozuwachs berechnet aus der aktuellen Größe der Population multipliziert mit einem Wachstumsfaktor (hier: 0.9) und dem Faktor 1-Dichtestress. Ist der Dichtestress klein (z.B. 0), ist der Nettozuwachs maximal; ist der Dichtestress groß (z.B. 1), ist der Zuwachs null, und wird der Dichtestress unter bestimmten Umständen sehr groß (größer 1), dann wird der Zuwachs negativ. In der dritten Gleichung wird für jeden Simulationsschritt die Größe der Population verändert und zwar durch Integration über den Nettozuwachs (bei einem Startwert von 1000).

5.4 Beispiele

In den folgenden Beispielen werden wir zwei Anwendungen des Systemischen Denkens und des Modellierens mittels Flussdiagrammen ausführen. Die Beispiele beruhen auf tatsächlichen Vorkommnissen. Der Prozess von der Problembeschreibung bis zur Flussdiagrammssimulation wird durch die Angabe des jeweiligen Denkwerkzeuges (*kursiv* und in Klammern), welches bei dem beschriebenen Schritt vor allem zur Anwendung kam, kommentiert. Auf den Internet-Seiten der Plattform „Menschen in komplexen Arbeitswelten e.V.“ (<http://www.plattform-ev.de>) sind Programme und Daten abgelegt, mit denen die Beispiele am eigenen Computer auch hinsichtlich ihrer Dynamik nachvollzogen werden können.

Warum fluktuiert der Bestand meines Produktlagers?

Man stelle sich vor, Frau Müller betreibe eine kleine Firma, und bekomme den in Abbildung 5.7 dargestellten Verlauf der Größe ihres Warenlagers vorgelegt.

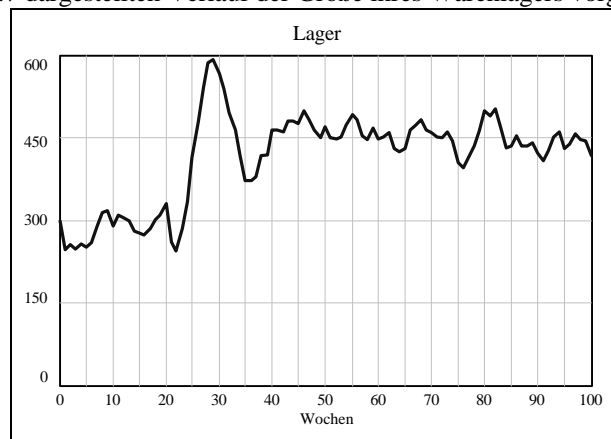


ABB. 5.7: Verlauf des Lagerbestandes über 100 Wochen.

Frau Müller wundert sich über die großen Schwankungen, die der Lagerbestand aufweist, und beschließt, der Sache auf den Grund zu gehen. Sie entscheidet sich dafür, die Informationen, die sie über den Vorgang erhält (*Denken innerhalb des Systems*), in ein Flussdiagramm einzutragen.

Sie beginnt mit einer einfachen Überlegung (*Hypothesen einfach halten*): „Lassen wir mal alle Details weg, dann wird das Lager im Wesentlichen von zwei Größen beeinflusst, von der Produktion und vom Verkauf“ (*System-Perspektive*).

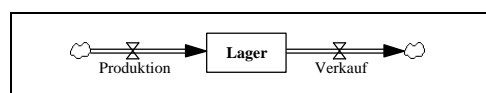


ABB. 5.8: Flussdiagramm aus Produktion, Lager und Verkauf.

Die Produktion fließt in die Bestandsgröße „Lager“ ein, der Verkauf fließt heraus (Abbildung 5.8). Ihre weitere Überlegung ist: „Wir hatten in der Vergangenheit eine durchschnittliche Produktion von 140 Einheiten pro Woche und einen durchschnittlichen Verkauf von 139 Einheiten. In dem betrachteten Zeitraum wurde mit einem Lagerinhalt von 300 Einheiten begonnen. Wie verändert sich dadurch der Lagerinhalt über die Zeit?“ (*Dynamisches Denken*) *Frau Müller* trägt die Werte in

ihr Modell ein. Die Werte und Formeln, die das Modell enthält, finden sich in Tabelle 5.2.

TAB. 5.2: Simulationsgleichungen des Lager-Modells.

```
(1) Lager = INTEG(Produktion-Verkauf,300)
(2) Produktion=140
(3) Verkauf=139
```

Daraus erzeugt das Simulationsprogramm den Verlauf für die Variable „Lagerinhalt“, der in Abbildung 5.9 wiedergegeben ist.

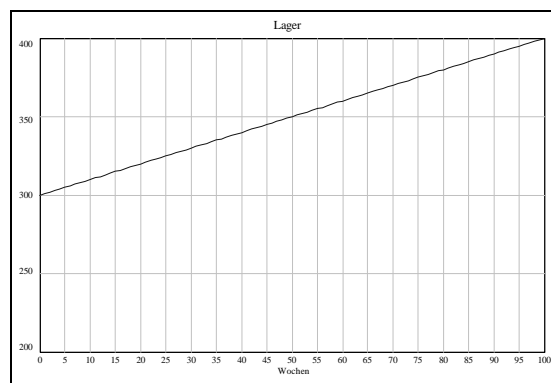


ABB. 5.9: Entwicklung des Lagerinhaltes in einem einfachen Simulationsmodell.

Leider beschreibt die Simulation nicht die tatsächliche Entwicklung des Lagerinhalts. Frau Schmidt intensiviert ihre Informationssammlung und fügt dem Modell noch weitere Elemente hinzu, versucht aber möglichst immer nur eine Sache hinzuzunehmen und das Modell dann wieder zu prüfen (*Wissenschaftliches Denken*). Sie fügt die Anzahl der Arbeitskräfte für die Produktion hinzu, und sie fügt eine Reihe von Regeln hinzu, die in den letzten Jahren festgelegt wurden. So wurde z.B. festgelegt, dass der Lagerinhalt (die Deckung) die dreifache Menge des Verkaufes betragen sollte. Daraus folgt, dass die Produktion entsprechend dieser Vorgaben anzupassen ist und die entsprechenden Arbeitskräfte zur Verfügung gestellt werden müssen. „In der 20. Woche konnten wir unseren Verkauf auf Grund der guten Marktlage von bislang ca. 100 Einheiten pro Woche auf ca. 150 Einheiten pro Woche erhöhen, auch diese Information soll in das Modell“. Auch einige

Erfahrungswerte werden eingetragen; so weiß Frau Schmidt z.B., dass es etwa 2 Wochen dauert, um die Produktion so umzustellen, dass veränderte Lagerstände erreicht werden können. Ebenso hat die Erfahrung gezeigt, dass es etwa 3 Wochen dauert, um die Anzahl der Arbeiter auf die neuen Produktionsvorgaben abzustimmen. Frau Schmidt hat ihr anfängliches Minimalmodell entsprechend erweitert, damit alle Faktoren, die aus ihrer Sicht bedeutsam sind, berücksichtigt werden (*Denken innerhalb des Systems*).

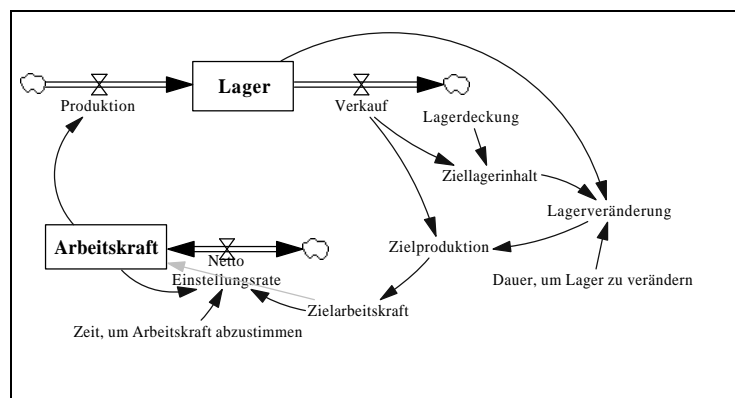


ABB. 5.10: Modell des Zusammenhangs zwischen Lager, Arbeitskraft, Produktion und Verkauf.

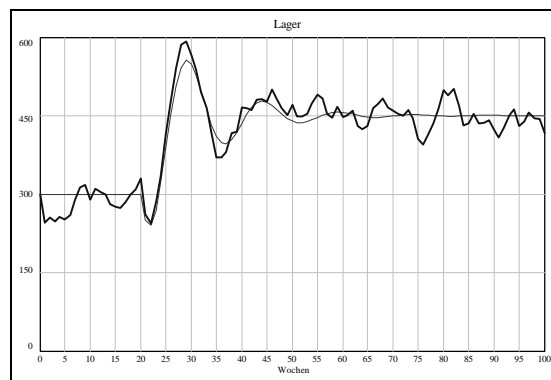


ABB. 5.11: Vergleich des tatsächlichen Lagerinhaltes (dicke Linie) mit dem simulierten Lagerinhalt (dünne Linie).

Der simulierte Graph trifft den tatsächlichen Verlauf überraschend gut. Vor allem wird die Fluktuation sehr gut abgebildet, die genau zu dem Zeitpunkt eintritt, zu dem die Verkaufszahlen von 100 auf 150 erhöht werden. „Nun verstehe ich auch, warum es zu den Schwankungen kam: Durch die Veränderung der Verkaufszahlen wurde das bislang stabile System aus Verkauf, Produktion und Lager gestört. Da die Anpassung an die neuen Zahlen Veränderungen in den Zielgrößen für Lager, Produktion und Zahl der Arbeiter notwendig machte, und diese Prozesse sich quasi erst wieder auf ein neues Gleichgewicht einfinden müssen, überrascht die Störung und das spätere Einschwingen des Systems nicht mehr. Ich kann das System simulieren, nun habe ich das Problem verstanden!“, ist eine Schlussfolgerung, die Frau Schmidt aus diesem Projekt zieht. Außerdem wird klar, wie in der Zukunft zu verfahren ist: Entweder akzeptiert Frau Schmidt die zeitweiligen Schwankungen des Lagerinhaltes bei Verkaufsveränderungen, oder sie versucht, die Einflüsse abzumildern, die für die Störung verantwortlich sind und kommt so zu einem langsameren Einschwingverhalten mit weniger Fluktuationen (*Kontinuierliches Denken*).

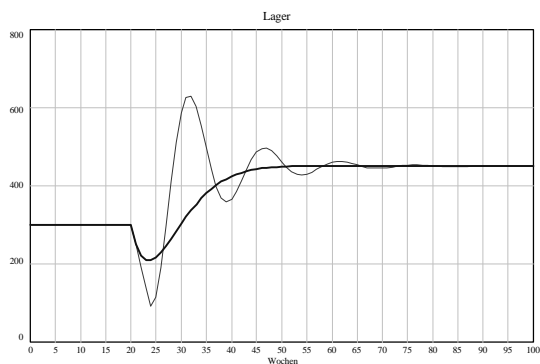


ABB. 5.12: Vergleich des Einschwingens mit rascher Anpassung der Lagermenge an die neuen Lagervorgaben (dünne Linie) und mit einer langsamen Anpassung der Lagermenge (dicke Linie).

In Abbildung 5.12 sind in der dünnen Kurve der *Lageristwerte* die Störungen abgetragen (auf Grund der veränderten Verkaufsmenge und der daraus folgenden Anpassungen von Produktion und Lagerbestand). In der dicken Kurve (ebenfalls *Lageristwerte*) wurde nun die Anpassung der *Lagersollwerte* langsamer vollzogen. Dies führt zu deutlich kleineren Schwingungen bei der Anpassung an den neuen

Lagerbestand. „Es ist wohl“, zieht Frau Schmidt die Lehre für ihr Entscheidungsverhalten, „nicht immer das beste, schnell zu reagieren“.

Warum fällt der Aktienwert des Unternehmens trotz steigender Umsätze?

Betrachten wir ein zweites Beispiel. Auch hier zeigt sich ein merkwürdiges Systemverhalten, welches zunächst unverständlich erscheint. Vielleicht erinnern Sie sich an den Fall „Enron“. Der amerikanische Energieversorger Enron war im Dezember 2001 mit großem Getöse in Konkurs gegangen. Aktionäre verloren Milliarden von Dollar, Tausende von Enron-Mitarbeitern wurden arbeitslos, andere Energiehandelsfirmen gerieten ebenfalls in Schwierigkeiten. Der Enron-Kollaps war Auftakt einer beispiellosen Buchführungs-Skandalwelle in den USA.

Hinterher wussten es zwar fast alle besser, aber möglicherweise war am Enron-Debakel nicht nur das auf Absicht oder Unfähigkeit basierende Missmanagement schuld, sondern auch das Wunschdenken vieler kleiner Aktienbesitzer. Die Börse ist im Grunde nichts Anderes als ein Spiel. Aber anders als in den Spielhallen und Casinos der Welt erwarten Aktienbesitzer mehr oder weniger sicher, dass sie gewinnen werden. Der erfahrene Spieler weiß, dass eine Glückssträhne nicht immer währt. Aktienbesitzer scheinen dagegen zu erwarten, dass eine Firma auf ewig wachsen kann, ja dass dieses Wachstum sogar noch zunimmt. Betrachten wir dazu das Beispiel einer fiktiven Firma.

Herr Schmidt, der Chef einer börsennotierten Firma betrachtet sich eine Graphik des Wertes der Aktien seiner Firma und die Entwicklung des Umsatzes der letzten Jahre (Abbildung 5.13).

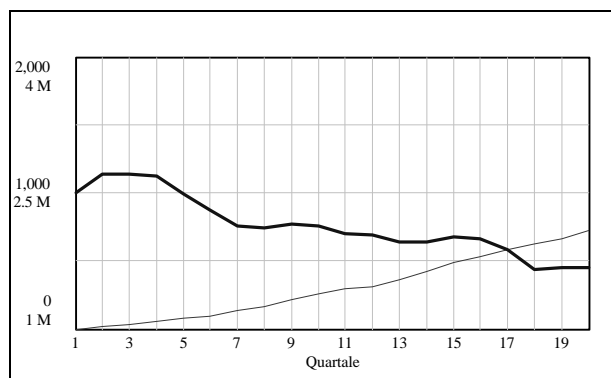


ABB. 5.13: Verlauf von Umsatz (dünne Linie) und Aktienwert (dicke Linie).

Der Verlauf versetzt ihn in Erstaunen: Obwohl der Umsatz (dünne Linie) kontinuierlich steigt (von ca. einer Million € auf über 2 Millionen € pro Quartal), fällt der Wert der Aktien (dicke Linie) von 1000 € auf ca. 450 €. Wie kann das sein?

Herr Schmidt lässt sich alle relevanten Informationen, soweit dies zum gegebenen Zeitpunkt überschaubar ist, zusammenstellen (*Denken innerhalb des Systems*), wobei er Details explizit ausklammert (*System-Perspektive*). Die durchschnittliche *Umsatzsteigerung* pro Quartal lag in den letzten 5 Jahren bei etwa 3.8%. Das ist ein hervorragendes Ergebnis! Warum wird dies von der Börse nicht honoriert? Bevor Herr Schmidt irgendwelche Entscheidungen treffen will, entschließt er sich, ein Simulationsmodell der Situation zu erstellen. Das erste Teilmodell (Abbildung 5.14) beginnt ganz einfach und betrifft den Umsatz und dessen Steigerung (*Hypothesen einfach halten*).

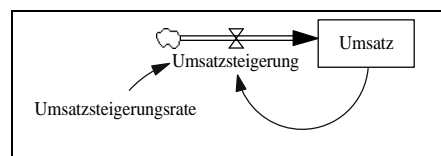


ABB. 5.14: Flussmodell der Umsatzsteigerung pro Quartal.

Der Umsatz pro Quartal erhöht sich von Zeitpunkt zu Zeitpunkt um den Betrag „Umsatzsteigerung“, der sich aus der Umsatzsteigerungsrate und dem Umsatz ergibt.

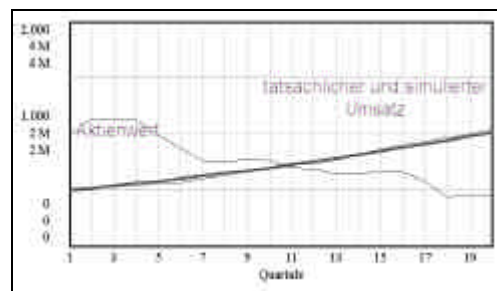


ABB. 5.15: Verlauf von Umsatz und simuliertem Umsatz im Vergleich.

In der Abbildung 5.15 ist die simulierte Umsatzkurve über die tatsächliche Umsatzkurve gelegt, und trifft diese sehr gut. „Mein Modell über den Umsatz

scheint also richtig zu sein“, freut sich der Chef. Doch wie geht es nun weiter? Ein Experte für Systemisches Denken und Simulation gibt ihm einen Tipp: Im Bereich der Systemsimulation gibt es eine prototypische Situation, einen so genannten *Archetyp*, der „Floating Goal Structure“ genannt wird, der genau dieses Phänomen beschreibt (*Generische Strukturen*). Wesentlich dabei sind die Erwartungen der Aktionäre. Im Finanzbereich, wie in vielen anderen Bereichen auch, verändern sich Erwartungen in eine Richtung schnell, in die andere Richtung hingegen nur langsam. Dies erzeugt das so genannte „floating goal“.

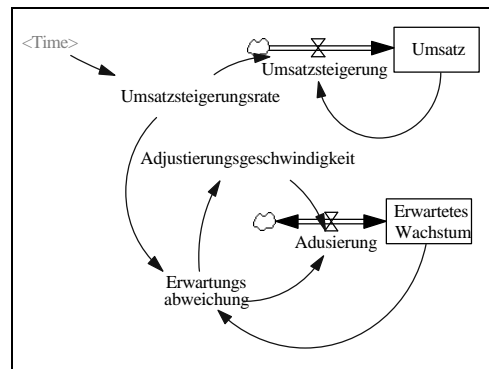


ABB. 5.16: Modell der Veränderung der Umsatzerwartung.

In Abbildung 5.16 ist dargestellt, wie das Modell um diesen Aspekt erweitert wurde. Dem Umsatzmodell wurde ein psychologisches Modell über das *erwartete* Wachstum hinzugefügt (*Denken innerhalb des Systems*). Die Erwartung passt sich sukzessive an das tatsächliche Wachstum an. Aber die Anpassung geschieht schneller in die gewünschte Richtung, d.h. in Richtung einer Zunahme der Umsatzsteigerung, und geschieht langsamer in die unerwünschte, entgegengesetzte Richtung.

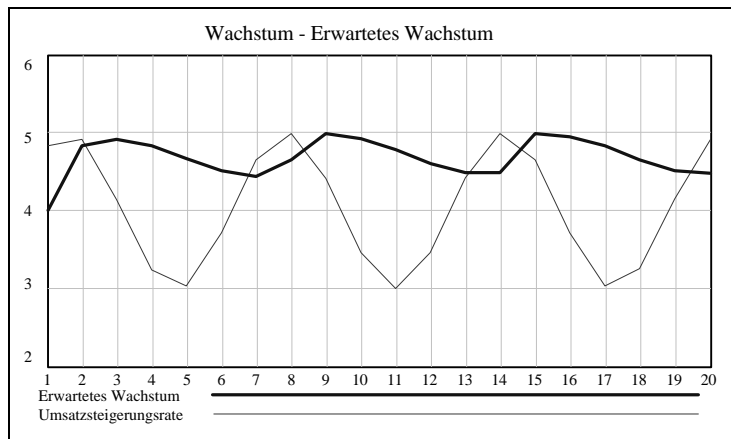


ABB. 5.17: Vergleich der tatsächlichen Umsatzwachstumssteigerung (dünne Linie) mit der erwarteten Umsatzwachstumssteigerung (dicke Linie).

Dies führt dazu, dass die erwartete Wachstumsrate (dicke Linie in der Abbildung 5.17) zu den meisten Zeitpunkten höher ist, als die tatsächliche Wachstumsrate (dünne Linie). Zu bedenken ist dabei, dass der Umsatz in jedem Fall wächst, nur eben etwas schneller oder etwas langsamer! Jetzt bleibt nur noch übrig, dass Modell um die Veränderung des Aktienwertes (Abbildung 5.18) zu ergänzen:

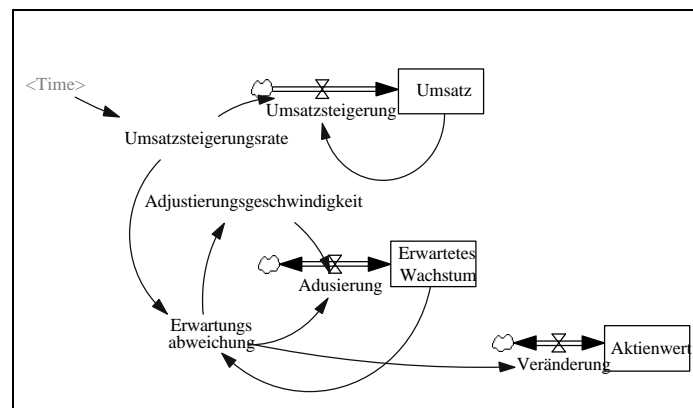


ABB. 5.18: Modell der Abhängigkeit des Aktienwertes von den Wachstumserwartungen der Aktionäre.

Die Veränderung des Aktienwertes hängt vom Ausmaß der Erwartungsabweichung ab (*Kontinuierliches Denken*). Da, wie gesehen, meist eine höhere Steigerungsrate erwartet als tatsächlich realisiert wird, ist die Abweichung negativ und groß, so dass sich der Aktienwert zu den meisten Zeitpunkten nach unten verändert.

Die Hinzunahme des Konstruktes der *bedingten Erwartungsanpassung* erklärt das Phänomen des Firmenchefs, der mit seiner Firma trotz steigender Umsätze in ein Aktienloch fällt. „Ich habe die Problematik verstanden, die Simulation zeigt mir, dass die Aktionäre in der Regel ein höheres Wachstum erwarten, als wir tatsächlich realisieren!“, konstatiert der Firmenchef. Damit wird aber auch die Strategie für die nächste Zeit klar. Es geht nicht nur darum zu wachsen, sondern es geht auch darum, die Informationen über die eigene Lage richtig zu vermarkten, d.h. den Anstieg der Erwartungen der Aktionäre bei steigendem Wachstum zu dämpfen und den Abfall der Erwartungen bei verringertem Wachstum abzumildern.

5.5 Zusammenfassung

Im letzten Abschnitt wurde an zwei Beispielen skizziert, wie der Weg von einem Problem hin zu fundierten Entscheidungsoptionen führen kann. Dabei haben die Problemlöser ihr Denken in Richtung eines *systemischen Verständnisses* verändert, ihre jeweiligen Erkenntnisse expliziert und in ein simulierbares Flussdiagramm überführt.

Diesem Vorgehen liegen zwei wichtige Gedanken zu Grunde: Zu hohe Komplexität behindert den Entscheider, der seine Denk- und Handlungsoptionen nur nutzbar machen kann, wenn er Komplexität reduziert. Systems-Thinking bietet für diese Vereinfachung von Komplexität Werkzeuge, die das Systemverständnis und die Entscheidungsoptionen verbessern können. Die Systems-Thinking Werkzeuge helfen aber nicht nur dabei, komplexe Realitäten handhabbar zu machen. Die standardisierten Darstellungs- und Simulationssprachen erlauben es darüber hinaus, komplexe Modelle zu simulieren und damit deren Struktur und Prozesse kommunizierbar zu machen. Ein weiterer wichtiger Aspekt der Simulation der (eigenen) mentalen Modelle ist die Prüfung, wie sich eine Situation mit und ohne die Durchführung bestimmter Maßnahmen entwickeln könnte.

Dabei ersetzen die Denkwerkzeuge und Simulationsmodelle nicht das eigene Denken. Werkzeuge können das eigene Denken und Entscheiden aber wirkungsvoll unterstützen, in dem damit die Kernmechanismen eines Systems und die Auswirkungen von Entscheidungen für ein System herausgearbeitet werden können.

5.6 Literatur

- Badke-Schaub, P. & Dörner, D. (2002). Am Anfang war das Wort – oder doch das Bild – oder doch das Wort... In W. Hacker (Hrsg.), *Denken in der Produktentwicklung. Psychologische Unterstützung der frühen Phasen*, S.27-52. Zürich: Rainer Hampp Verlag.
- Bossel, H. (1985). *Umweltdynamik. 30 Programme für kybernetische Umwelterfahrung auf jedem BASIC-Rechner*. München: Te-Wi.
- Brunner, E. & Stäudel, T. (1992). Modellbildung - Ein Trainingsansatz zum Umgang mit komplexen und vernetzten Problemen und dessen Relevanz für die Systemische Diagnostik in der Klinischen Psychologie. *Systeme*, 6, 23-32.
- DeGroot, A. D. (1965). *Thought and Choice in Chess*. The Hague, NL: Mouton.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens*. Reinbek: Rowohlt.
- Dörner, D. & Schaub, H. (1992). Spiel und Wirklichkeit: Über die Verwendung und den Nutzen computersimulierter Planspiele. *Kölner Zeitschrift für Wirtschaft und Pädagogik*, 12, 55-78.
- Dörner, D. & Schaub, H. (1994). Errors in Planning and Decision-making and the Nature of Human Information Processing. *Applied Psychology. An International Review*, 43, 433-453.
- Gomez, P. & Probst, G. (1997²). *Die Praxis ganzheitlichen Problemlösens: Vernetzt denken, unternehmerisch handeln, persönlich überzeugen*. Bern: Haupt.
- Hacker, W., Sachse, P. & Schroda, F. (1998). Design Thinking – Possible Ways to Successful Solutions in Product Development. In E. Frankenberger, P. Badke-Schaub & H. Birkhofer (Hrsg.), *Designers. The Key to Successful Product Development*, pp. 205-216. Berlin: Springer.
- Hupfeld, W. (2000). *Modellbildung und Simulation dynamischer Systeme*. Url: <http://www.ham.nw.schule.de/projekte/modsim>.
- Meadows, D. & Meadows, D. (1973). *Die Grenzen des Wachstums. Bericht an den Club of Rome zur Lage der Menschheit*. Reinbek: Rowohlt.
- Miller, G. A. (1956). The Magical Number Seven, Plus or Minus Two: Some Limits on Our Capacity for Processing Information. *Psychological Review*, 63, 81-97.
- Ossimitz, G. (1990). *Materialien zur Systemdynamik*. Wien: Teubner.
- Ossimitz, G. (2000). *Entwicklung systemischen Denkens*. München: Profil.
- Pólya, G. (1949). *Schule des Denkens*. Bern: Francke.
- Richmond, B. (1991). *Systems Thinking: Four Key Questions*. Lyme, NH: High Performance Systems Inc., Url: <ftp://sysdny.mit.edu/ftp/cle/documents/system-ed/se1993-05stfourkeyquestions.pdf>.

- Richmond, B. (1993). Systems Thinking: Critical Thinking Skills for the 1990s and Beyond. *System Dynamics Review*, 9, 113-133., Url: [ftp://sysdyn.mit.edu/ftp/cle/documents/system-ed/se1993-05stcriticalthinking .pdf](ftp://sysdyn.mit.edu/ftp/cle/documents/system-ed/se1993-05stcriticalthinking.pdf).
- Roberts, N., Andersen, D. & Deal, R. (1983). *Introduction to Computer Simulation. A System Dynamics Modeling Approach*. Reading, MA: Addison-Wesley.
- Schaub, H. (1993). Computersimulation als Forschungsinstrument in der Psychologie. In F. Tretter & F. Goldhorn (Hrsg), *Computer in der Psychiatrie. Diagnostik - Therapie – Rehabilitation*, S. 393-423. Heidelberg: Asanger.
- Schaub, H. (1996). Exception Error. Über Fehler und deren Ursachen beim Handeln in Unbestimmtheit und Komplexität. *gdi impuls*, 14 [4], 3-16.
- Schaub, H. (2001). Menschliches Versagen. *Psychologie Heute*, 1, 62-67.
- Schiepek, G. (1997). Ausbildungsziel: Systemkompetenz. In Reiter, L. et al. (Hrsg.), *Von der Familientherapie zur systemischen Perspektive*, S. 181-215. Berlin/Heidelberg: Springer.
- Senge, P. (1990). *The Fifth Discipline: The Art and Practice of the Learning Organization*. New York: Doubleday.
- Senge, P. (1998⁶). *Die fünfte Disziplin. Kunst und Praxis der lernenden Organisation*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Strohschneider, S. (2001). *Kultur - Denken - Strategie. Eine indische Suite*. Bern: Huber.
- Strohschneider, S. & von der Weth, R. (Hrsg.) (2002²). *Ja, mach nur einen Plan: Pannen und Fehlschläge – Ursachen, Beispiele, Lösungen*. Bern: Huber.
- Tisdale, T. (1998). *Selbstreflexion, Bewußtsein und Handlungsregulation*. Weinheim: PVU.
- Vester, F. (1983). *Unsere Welt – ein vernetztes System*. München: dtv.
- Vollmer, G. (1991). *Denkzeuge*. Mannheimer Forum 90/91. Piper Verlag.
- von Senger, H. (2000). *Strategeme: Die berühmten 36 Strategeme der Chinesen - lange als Geheimwissen gehütet, erstmals im Westen vorgestellt, Bd. 1 und 2*. Bern/München/Wien: Scherz.
- Watzlawick, P., Beavin, J. H. & Lackson, D. D. (1969). *Menschliche Kommunikation: Formen, Störungen, Paradoxien*. Bern: Huber.