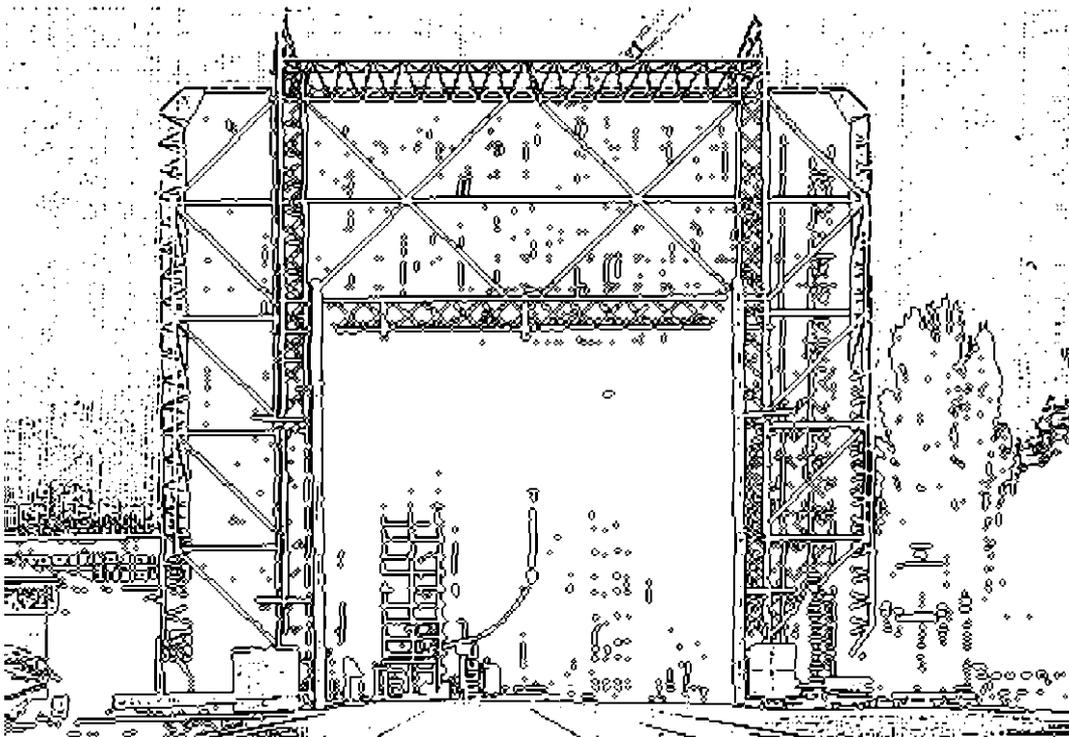


TECHNISCHE UNIVERSITÄT GRAZ

DISSERTATION



INSTITUT FÜR HOCHSPANNUNGSTECHNIK
UND SYSTEMMANAGEMENT

ANALOGIEN VON TECHNISCHEN UND WIRTSCHAFTLICHEN SYSTEMEN SOWIE NUTZUNG TECHNISCHER REGELPROZESSE FÜR DIE UNTERNEHMENSFÜHRUNG

Dissertation

zur Erlangung des Grades eines
Doktors der technischen Wissenschaften

von

Dipl.-Ing. Herwig Klima

1. Begutachter:

Em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h.c. Hans Michael Muhr

2. Begutachter:

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach

Institut für Hochspannungstechnik und Systemmanagement

Technische Universität Graz

Wien, Saalfelden, im Juli 2013

KURZFASSUNG

Eine wesentliche Tätigkeit des Managements ist geprägt durch die gezielte Beeinflussung von Systemen und/oder Prozessen. Die Ursachen dafür sind mannigfaltig, beispielsweise gibt der Aufsichtsrat eines Unternehmens Ziele (Sollwerte) vor, die vom Management entsprechend umzusetzen sind, oder es sind Einflüsse vom Markt, die eine Systembeeinflussung erfordern. Ein anderes Beispiel ist die Umsetzung von Vorgaben einer Bereichsleitung durch den jeweils nachgeordneten Bereich. Um ein System gezielt beeinflussen zu können, bedarf es einiger grundlegender Überlegungen.

Durch die Anwendung der Systemtheorie auf wirtschaftliche Systeme, insbesondere auf Basis der Kybernetik, ist der geschlossene Wirkungskreis, der Regelkreis stets präsent und bildet eine wesentliche Grundlage für die Suche nach Analogien mit anderen Disziplinen, wenngleich jedoch grundlegende Unterschiede zwischen sozialen und sogenannten anderen Systemen bestehen. Die Wahl der Systemabgrenzung sowie die „Position“ des Beobachters spielen dazu eine wichtige Rolle. So bildet beispielsweise der Mensch für sich schon ein nicht modellierbares System an natürlichen Regelmechanismen. Umso weniger ist sein Verhalten gar vorher definierbar. In der Gruppe ergeben sich jedoch wiederum andere, auf Basis statistischer bzw. stochastischer Grundsätze und von außen beeinflusste Verhaltensweise. Entsprechend der Kybernetik zweiter Ordnung sind in sozialen Systemen Regler und Strecke nicht wie bei technischen Systemen getrennte Einheiten, sondern bilden entsprechend der systemimmanenten Regelung ein Ganzes.

Es lassen sich durchaus Analogien von physikalisch technischen und wirtschaftlichen Systemen erkennen, wie beispielsweise den geschlossenen Wirkungsablauf. Es ist jedoch insofern Vorsicht beim Vergleich der Disziplinen geboten, als in sozialen Systemen die Einheiten eines Regelkreises nicht in der Form erscheinen, wie in technischen Systemen („systemimmanente Regelung“). Darüber hinaus finden sich in sozialen Systemen Selbstkontrolle, die Fähigkeit der Selbststeuerung und Selbstreferenz durch ein eigenes „Bewusstsein“, welches so in physikalisch technischen Systemen nicht vorkommt.

Dennoch sind Analogien und teilweise auch Isomorphie darstell- bzw. nachweisbar. Klare Vergleiche gibt es nicht nur bei den schon angesprochenen Strukturen von Regelmechanismen, sondern ganz speziell auch beim Systemverhalten, der Systemdynamik. Die in der Regeltechnik vorhandenen dynamischen Untersuchungen von Systemen sowie die Stabilitätsuntersuchungen sollen so auch bei wirtschaftlichen Systemen Berücksichtigung finden. Die Vergleiche dazu sind entsprechend dargestellt und bilden ein dynamisches Informationsmanagement bzw. dynamisches Berichtswesen.

Die Untersuchung der Stabilität von technischen Regelsystemen ist ein wesentlicher Faktor für das spätere Funktionieren dieser Systeme. Dazu gibt es unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Stabilität. Wesentlich ist die Gewinnung der passenden Information, welche dann für die Bildung der entsprechenden Regelkreise notwendig ist. So können beispielsweise rein wirtschaftliche Kenngrößen für bestimmte Prozesse zu wenig sein oder unpassend sein. Weiter ist die Dynamik der Information von grundlegender Bedeutung für das Systemverhalten. Beliebiges Verändern bzw. Verkürzen von Berichtszeiträumen hat nicht nur einen vermehrten Arbeitsaufwand und meisten subjektiv mehr Information zur Folge, sondern auch einen wesentlichen Einfluss auf das Systemverhalten. In diesem Sinn sollte die Informationsdynamik jedenfalls auf die Unternehmungsdynamik abgestimmt sein bzw. auf die jeweilige Prozessdynamik. Daraus kann sich beispielsweise ein sogenanntes dynamisches, dem System angepasstes, Berichtswesen oder Controlling ergeben.

Abstract

An essential activity of management is characterized by the active influence of systems and / or processes. The reasons are varied, for example, the Supervisory Board of a company defines goals (set points), which are implemented by management accordingly, or there are influences from the market that require a system influence. Another example is the implementation of a requirements management area by the most downstream area. In order to affect a system specifically, it requires some basic considerations.

Through the application of systems theory to economic systems, especially on the basis of cybernetics, is the closed sphere, the loop always present and is a crucial basis for the search for analogies with other disciplines, although reveals fundamental differences between social and so-called other systems exist. The choice of system boundaries and the "position" of the observer play an important role. For example, it is not possible, to set up a model for the human as a system of natural control mechanisms. The less his conduct is previously be defined. In the group arise, however still others based on statistical and stochastic principles and externally influenced behaviour. According to the second-order cybernetics in social systems are not like the controller and process engineering systems separate entities, but form corresponding to the inherent control a whole.

There can be seen quite analogies of physical technical and economic systems, such as the closed action flow. However, it is far spent caution when comparing the disciplines, as in social systems, the units of a control loop does not appear in the same form as in technical systems ("systemic regulation"). Moreover, there are social systems in self-control. The ability of self-control and self-reference by its own "awareness", does not occur in physical technical systems.

Nevertheless, analogies and sometimes Isomorphism are representable or detectable. Comparisons are not only in the already mentioned structures of control mechanisms, but also specifically to the system behaviour, the system dynamics. Present in the dynamic control technology systems as well as investigations of the stability studies should be as found in economic systems into account. The comparisons are presented in accordance to and form a dynamic information management and dynamic reporting. Hence there are those technical systems of interest, on the one hand those with socioeconomic systems comparable structures and on the other hand have corresponding behavioural patterns. These include the above-described systems with closed action sequences with corresponding memory elements.

The investigation of the stability of technical control systems is a key factor for the later functioning of these systems. There are different methods for determining the stability. It is essential to obtain the appropriate information which then is necessary for the formation of the corresponding control circuits. For example, purely economic parameters for specific processes can be too little or be inappropriate. Further the dynamics of the information is essential for the system's behaviour. Any change or shortening of periods has not only an increased workload and most subjectively more information about the episode, but also a significant impact on the system behaviour. In this sense, the information dynamics should in any case be adapted to the company or to the particular dynamics of process dynamics. This may arise, for example, a so-called dynamic, the system adapted, reporting and controlling.

EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommene Stellen als solche kenntlich gemacht habe.



Wien, Saalfelden, im Juli 2013

Herwig Klima

STATUTORY DECLARATION

I declare that I have authored this thesis independently, that I have not used other than the declared sources / resources and that I have explicitly marked all material which has been quoted either literally or by content from the used sources.



Wien, Saalfelden, July, 2013

Herwig Klima

Vorwort

Diese Arbeit entstand nach sehr interessanten Gesprächen und Diskussion des Themas mit Herrn Dipl.-Ing. Dr. techn. Günther Rabensteiner, Mitglied des Vorstandes von Verbund. Ihm möchte ich ganz besonders für die Ermutigung und Unterstützung danken, meine Gedanken in Form dieser Arbeit einer wissenschaftlichen Bearbeitung zu unterziehen.

Mein ganz besonderer Dank gilt Herrn Em. Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Dr. h.c. Michael Muhr für die Betreuung und Begutachtung meiner Arbeit und die laufende Unterstützung. Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. techn. Stefan Vorbach gebührt mein herzlichster Dank für die Begutachtung und Unterstützung sowie Betreuung, insbesondere für den wirtschaftlichen Teil dieser Arbeit.

Ich bedanke mich bei meiner Schwester Frau Mag. Ulrike Klima, sowie Freunden, Herrn Klaus Kettner und Herrn Ing. Herbert Hartl. Durch Sie erfuhr ich in zahlreichen Diskussionen wertvolle Inputs für meine Arbeit und Unterstützung in schwierigen Phasen.

Nicht zuletzt gilt der allerherzlichste Dank meiner Frau Susi sowie meinen Kindern Lukas, Laura und Ary für die wertvolle Unterstützung zu Hause und das Verständnis, dass ich so manches Wochenende oder so manche Ferienzeit mit meiner Arbeit und nicht mit ihnen verbrachte.

INHALT

1.	Einleitung.....	1
1.1	Allgemeines und Hintergrund.....	1
1.2	Begriffsdefinition Analogie	1
1.3	Arbeitsdefinition und Ziel	2
2	Der systemische Ansatz, Betrachtung von Systemen	5
2.1	Grundlegende Gedanken zu Systemen.....	5
2.2	Abgrenzung eines Systems	9
2.3	Systemanalyse, -struktur und -zustand	10
2.4	Interdisziplinäre Betrachtung	11
3	Technische Systeme	15
3.1	Allgemeines	15
3.2	Darstellung von Systemen in der Technik	16
3.3	Steuerung und Regelung	18
3.3.1	Grundstruktur von Regelkreisen	23
3.3.2	Mehrfachstrukturen von Regelkreisen.....	28
3.3.3	Abtastsysteme und digitale Regeltechnik	30
3.4	Dynamisches und Statisches Verhalten von Systemen	40
3.5	Allgemeine Eigenschaften von Regelsystemen	42
3.6	Empirische Einstellregeln für Regelsysteme.....	45
3.7	Eigenschaften hinsichtlich Stabilität.....	50
3.7.1	Definition der Stabilität und Stabilitätsbedingungen	50
3.7.2	Praxisbeispiele zum Verhalten von Regelsystemen und Stabilitätsuntersuchung.....	53
3.7.2.1	Analoger Regelkreis	54
3.7.2.2	Abtastregelkreis.....	54
3.8	Systemverhalten hinsichtlich Führungs- und Störgrößen	56
3.9	Analogien und Isomorphie technischer Systeme:	58
4	Wirtschaftliche Systeme aus Sicht der Systemtheorie sowie beispielhafte Vergleiche	61
4.1	Allgemeines	61
4.2	Wirtschaftliche Systeme im Vergleich mit Technischen.....	63
4.2.1	Darstellung wirtschaftlicher Systeme als “Black Box”	63
4.2.2	Steuerungs- und Regelungsmechanismen in wirtschaftlichen Systemen.....	64
4.2.3	Beispielhafte Vergleiche und Regelkreise von Funktionalbereichen	71
4.2.3.1	Produktion	78

4.2.3.2	Controlling	80
4.2.3.3	Marketing	84
4.2.3.4	Verkauf	86
4.2.3.5	Einkauf	87
4.2.3.6	Personal/HR.....	87
4.2.4	Beispielhafte Vergleiche und Regelkreise von Querschnittsbereichen.....	92
4.2.4.1	Strategie.....	92
4.2.4.2	Projektmanagement	95
4.2.4.3	Krisenmanagement.....	98
4.2.5	Ein Beispiel von Markt und Preisgestaltung als nichtlineares System	103
4.3	Intrinsische und systemimmanente Mechanismen/Gedanken zur Kybernetik im Management	106
4.3.1	Selbstregulierung.....	107
4.3.2	Selbstorganisation	111
4.3.3	Anpassungsfähigkeit und Evolution.....	112
4.4	Modellierung der kybernetischen Organisationsstruktur und Regelkreise in wirtschaftlichen Systemen	114
5	Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen	119
5.1	Einleitung	119
5.2	Analogien	123
5.2.1	Mit technischen Systemen vergleichbare Strukturen und Regelkreise in wirtschaftlichen Systemen	123
5.2.2	Vergleichbares Systemverhalten in technischen und wirtschaftlichen Systemen	129
5.2.2.1	Allgemeine Betrachtung von vergleichbarem Verhalten	129
5.2.2.2	Vergleichbares Systemverhalten unter Berücksichtigung von Abtastung und zeitdiskreten Vorgängen.....	135
5.2.2.3	Ein Beispiel aus der Praxis zum Systemverhalten und „Reglereinstellwerten“.....	139
5.2.2.4	Praxisbeispiel eines nichtlinearen Systems	141
5.2.2.5	Ein Vergleich des vorangegangenen Praxisbeispiels mit einem Regelkreis	145
5.2.2.6	Berücksichtigung von Totzeit beim Systemverhalten	151
6	Resümee.....	156
7	Zusammenfassung.....	159
8	Literaturliste	161
9	Bildverzeichnis.....	165
10	Tabellenverzeichnis.....	169

1. Einleitung

1.1 Allgemeines und Hintergrund

Diese Arbeit ist entstanden aus der Erfahrung meiner Eigenschaft als Techniker in verantwortlicher Position, im Management. Eine wesentliche Tätigkeit des Managements ist geprägt durch die gezielte Beeinflussung von Systemen und/oder Prozessen. Die Ursachen dafür sind mannigfaltig, beispielsweise gibt der Aufsichtsrat eines Unternehmens Ziele (Sollwerte) vor, die vom Management entsprechend umzusetzen sind, oder es sind Einflüsse vom Markt, die eine Systembeeinflussung erfordern. Ein anderes Beispiel ist die Umsetzung von Vorgaben einer Bereichsleitung durch den jeweils nachgeordneten Bereich. Um ein System gezielt beeinflussen zu können, bedarf es einiger grundlegender Überlegungen. Zuerst muss der Bedarf oder Wunsch der Veränderung vorliegen. Dieser Bedarf oder Wunsch leitet sich aus entsprechenden Systemgrößen ab, die von einem bestimmten Wert in einen anderen übergeführt werden sollen. Dieser Aspekt bedingt wiederum Messung. Im technischen Jargon liegt ein bestimmter Istwert vor, der nach der Beeinflussung des Systems in einen neuen Wert (Sollwert) übergeführt wird. Es ergeben sich durch diese Vorgänge von Soll-Ist-Wert-Vergleichen mit Messung und Korrektur Regelkreise als geschlossene Wirkungsabläufe.

Die Erfahrung und Forschung hat nun gezeigt, dass diese Regelungsstrukturen und -mechanismen sowohl in technischen als auch in wirtschaftlichen Systemen vorkommen. Vom Blickwinkel des systemischen Ansatzes aus treten hier Analogien, teilweise sogar Isomorphie auf.

1.2 Begriffsdefinition Analogie

Unter Analogie werden Übereinstimmungen, Ähnlichkeiten oder Gleichmäßigkeit verschiedener Systeme verstanden. Aus diesen ersten Begriffen ist schon ersichtlich, dass es sich um zwar verschiedene Systeme, insbesondere verschiedener Disziplinen, handelt, welche jedoch die genannten vergleichbaren Eigenschaften aufweisen. Der Fokus liegt nun auf der Suche und Begründung brauchbarer Analogien. Lassen sich im Zuge dessen Gleichheiten, als Isomorphie darstellen, ist das umso mehr begrüßenswert.

Strukturelle Analogien zwischen technischen und wirtschaftlichen Systemen finden sich beispielsweise in der hierarchischen Struktur von elektrischen Netzen und Organisationen von Unternehmen. Ein weiteres Beispiel ist die Existenz der bereits erwähnten geschlossenen

Wirkungsabläufe in Form von Regelkreisen, welche sowohl in technischen Bereichen als auch in der Wirtschaft vorkommen.

Wesentlich hier anzumerken ist, dass Analogien bei vergleichbaren Strukturen und Verhaltensweisen erwartet werden. Völlige Gleichheiten oder Identitäten sind, ob der gravierenden Unterschiede von Mensch bzw. den sozioökonomischen Systemen und technischen Systemen nur bedingt zu erwarten.

Beispiele verschiedener Analogien:

- Strukturelle Analogien: Regelkreise, Organisationen
- Verhaltenstechnische Analogien: Schwingung, Wachstum, Stabilität
- Begriffliche Analogien: Zahlungsströme, Masseverwalter, Controlling (Steuerung)

1.3 Arbeitsdefinition und Ziel

Durch das Bedürfnis der gezielten Systembeeinflussung mit der Messung des Erfolges und gegebenenfalls notwendiger Korrektur in wirtschaftlichen und technischen Systemen kommen die Regelkreisstrukturen in beiden Disziplinen vor. Neben den Ähnlichkeiten von Strukturen in den verschiedenen Disziplinen sind auch vergleichbare Dynamiken zu erwarten. Das Systemverhalten wird einerseits durch die Eigenschaften des Systems selbst und andererseits durch die Einwirkungen und Einflüsse von außen bestimmt. Ein wesentlicher Punkt ist die Gewinnung und Weiterleitung von Information in Systemen. Mit der Erfassung von zu regelnden Größen wird beispielsweise Information vom Ausgang auf den Eingang zurückgeführt, womit die Rückkoppelschleifen gebildet werden („Messrichtung“). Mit dem Sollwert kombiniert wird über eine Entscheidungsinstanz die Einflussnahme auf das System veranlasst („Befehlsrichtung“).

Wie einem System laufend Energie zugeführt werden muss, um es am Leben zu erhalten, braucht es auch adäquate Informationsflüsse innerhalb des Systems sowie den Informationsaustausch mit außen über die Systemgrenzen hinweg. Neben der Gewinnung dieser entsprechenden Information aus Systemen, also der Festlegung der „Messpunkte“ und Informationswege kommt der Dynamik der Informationsgewinnung und deren Einflussnahme auf das Systemverhalten eine wesentliche Rolle zu.

In wirtschaftlichen Systemen mit den vorhandenen Regelkreisstrukturen sind ebenfalls verschiedene „Messverfahren“ etabliert, um jene für die Bildung der geschlossenen Wirkungsabläufe notwendigen Rückkoppelschleifen zu ermöglichen. Die Informationsgewinnung betrifft hier verschiedene, nicht nur rein monetäre Größen, sondern auch physikalische Größen, wie beispielsweise

Produktionsmengen, Lagerbestände usw. Die für die Steuerung bzw. Regelung im wirtschaftlichen System notwendigen Informationen werden in verschiedenen Informationsgewinnungsprozessen (Berichtswesen) erfasst und den Entscheidungsinstanzen zugeführt.

Hier entsteht der Ansatz dieser Arbeit. Nach meinen Erfahrungen passiert die Informationsgewinnung in dem wirtschaftlichen System vielfach nach festem Zeitraster, wie beispielsweise mit Wochen- oder Monats-jour fixes, Monats-, Quartals-, Halbjahres bzw. Jahresberichten oder sonstigem Zeitraster. Diese formellen Daten werden noch durch eine Reihe informeller Informationsflüsse ergänzt.

Ziel dieser Arbeit ist es zu zeigen, dass die Dynamik eines wirtschaftlichen Systems von der Kombination der Teilsysteme bzw. Systemparameter und der „Informationsdynamik“ abhängig ist bzw. beeinflusst wird. In technischen Systemen findet das Zeitverhalten der Informationsgewinnung, -verarbeitung und -zurverfügungstellung beim Systemdesign und –betrieb Berücksichtigung. In wirtschaftlichen Systemen sehe ich hier noch Potential, da die Zeitraster (teils auch wegen legislatischer Vorgaben) des Informationsmanagements verhältnismäßig fest erscheinen. Eine Berücksichtigung der Dynamik der Prozesse im Unternehmen bezüglich Information nach dem Muster technischer Systeme wäre sinnvoll.

Wie soll nun der Einfluss der „Informationsdynamik“ auf das Verhalten von wirtschaftlichen Systemen dargestellt und beschrieben werden? Dies soll anhand der Beantwortung folgender Forschungsfragen erfolgen:

Zuerst gilt es die Frage zu klären, auf Basis welches Ansatzes sich wirtschaftliche und technische Systeme vergleichen lassen: Gibt es ein Gebiet, welches interdisziplinäre Vergleiche unterstützt? (erste Forschungsfrage) -> daraus folgt Kapitel 2: Der systemische Ansatz soll den Vergleich und die Suche nach Analogien im Sinne dieser Arbeit einleiten.

Die zweite Forschungsfrage lautet: Bei welchen Systemen ist die Dynamik in Abhängigkeit von den Systemparametern, den Einwirkungen von außen und dem Einfluss der zeitlichen Zurverfügungstellung der Information bekannt? -> Kapitel 3: Technische (Regel)Systeme

Die dritte Forschungsfrage betrifft wirtschaftliche Systeme: Wie müssen wirtschaftliche Systeme betrachtet werden, damit der Vergleich mit technischen Systemen ermöglicht wird? -> Kapitel 4: Wirtschaftliche Systeme aus Sicht der Systemtheorie

Die Kernfrage und vierte Forschungsfrage ist: Wie lässt sich nun die Dynamik technischer Systeme auf wirtschaftliche Systeme anwenden, insbesondere unter Berücksichtigung der Auswirkung der

zeitlichen Zurverfügungstellung von Information? -> Kapitel 5: durch Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen

Kurzzusammenfassung Ziel und Nichtziel:

Der Fokus der Analyse von Analogien technischer und wirtschaftlicher Systeme bezieht sich auf die Systemdynamik. Dazu ist die Suche nach Gemeinsamkeiten sowie Ähnlichkeiten des jeweiligen Systemverhaltens mit besonderer Berücksichtigung der „Informationsdynamik“ Ziel der Untersuchungen. Der Vergleich struktureller Analogien wird insofern miteinbezogen, als er für die Beschreibung der Dynamik notwendig ist.

Da die Arbeit auf bisherigen Ergebnisse bezüglich der Strukturen unterschiedlicher Disziplinen sowie des systemischen Ansatzes von wirtschaftlichen Systemen basiert, werden diese Ergebnisse in diese Arbeit eingebaut, um auf den Kern der Arbeit hinzuführen, sind aber nicht Basis dieser Arbeit. Es ist nicht beabsichtigt, jedenfalls bestehende Unterschiede von technischen und wirtschaftlichen Systemen zu negieren und diese unterschiedlichen Systeme als gleich darzustellen.

2 Der systemische Ansatz, Betrachtung von Systemen

Zur Ermöglichung des Vergleiches und der Suche nach Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen soll dafür der systemische Ansatz gewählt werden.

2.1 Grundlegende Gedanken zu Systemen

Ein System wird als eine Einheit gesehen, welche aus bestimmten (einzelnen) Elementen besteht, welche zueinander in Wechselwirkung, also in irgendeiner Beziehung stehen. Daher ist ein System nicht einfach nur die Summe einzelner Teile, sondern durch die Beziehung der Einzelteile zueinander entsteht eine neues Gesamtes mit neuen Eigenschaften, die nicht ausschließlich auf die Eigenschaften der Elemente für sich zurückführbar ist. Diese Wechselwirkung macht aus einer Menge von Elementen erst ein System. Je enger die Kopplung der einzelnen Elemente eines betrachteten Systems untereinander ist und je stärker der zusammenhängende, betrachtete Bereich von der Umwelt isoliert ist, desto begründeter ist die Bezeichnung „System“. Diese Aussage muss allerdings vor dem Hintergrund gesehen werden, dass die Abgrenzung eines Systems vom jeweiligen Betrachter aus erfolgt. Zum Beispiel kann eine Person Element des Systems eines Unternehmens (für welches sie arbeitet) und/oder Teil der Familie sein. Wird die Betrachtung eine Stufe höher gestellt, so ist die angesprochene Person Element einer Gesellschaft (im soziologischen Sinne). Der Begriff des Elementes bleibt offen und wird nicht näher spezifiziert. Die Teile eines Systems können abstrakter Natur, wie z.B. Aussagen oder Zahlen, sowie konkreter Natur, wie z.B. die Abteilungen in einem Unternehmen oder Einzelteile einer Maschine sein. Der Beobachter kann also Teil des (beobachteten) Systems sein. Zwei wesentliche Punkte sind in der Literatur vorkommende Definitionen: Interagierende, kommunizierende, als Information austauschende Elemente, bzw. Teilsysteme und die Abgrenzung zur Umwelt, welche ebenfalls zumindest einen Informationsaustausch von System und Umwelt ermöglichen muss. Die beschriebene Kommunikation zwischen den einzelnen Elementen muss auch gewissermaßen geordnet, strukturiert ablaufen. Daraus folgt, dass die Teilbereiche geordnet sein bzw. eine bestimmte Organisation aufweisen müssen. Und aus diesen Punkten ergeben sich dann Prozesse und Operationen, die im System ablaufen und dieses ebenfalls mitbestimmen. Durch Struktur, Ordnung und Prozesse grenzt sich das System von der Umwelt ab. Die Elemente des Systems werden eingeschlossen, Teile die nicht zum System gehören ausgeschlossen und bilden so die „Umwelt“. Die Umwelt ist folglich alles, was vom System ausgeschlossen ist. Da es sich hier sowohl um einschließende als auch

ausschließende Beschreibung handelt (wenn etwas eingeschlossen wird, ist etwas anderes ausgeschlossen) sind Umwelt und System notwendig miteinander in Bezug. [vgl. Krieger, 1998, S. 13]

Es können durchaus mehrere Hierarchieebenen auftreten, wobei die einzelnen Teilsysteme je nach „Ort der Betrachtung“ als übergeordnetes oder untergeordnetes System angesehen werden können. Bei der Betrachtung des Systems von außen erscheint es als „Black Box“ mit entsprechenden Eigenschaften. Nun kann man je nach vorhandenem System in die Tiefe gehen und die einzelnen Bestandteile, die Elemente des Systems näher betrachten. Die Schwierigkeit besteht darin, wie weit ins Detail man geht und welche Komplexität möglich zu erfassen bzw. bearbeiten ist. Es bleibt Sache der Festlegung des jeweiligen Ziels oder der Bewältigung der Komplexität, wie weit das System zu strukturieren als sinnvoll erscheint. Bei zu detaillierter Gliederung des Systems wird das Ganze unübersichtlich und ein vermeintlicher Informationsgewinn durch eine Mehrzahl so genannter „Teilinformationsquellen“ bzw. Anzahl von Elementen wird in einer unlösbaren Informationsquelle untergehen. Umgekehrt kann durch eine zu oberflächliche Betrachtung aller Voraussicht nach mit einem Informationsdefizit gekennzeichnet sein. Andererseits stoßen bei zu eng gesetzten Systemgrenzen und nicht berücksichtigter Vieldimensionalität herkömmliche Modellierungs- und Problemlösungsmethodiken zunehmend an Grenzen. [vgl.: Schwaninger, 2004, S.6]

Die Festlegung des Detaillierungsgrades der Systemstruktur wird sich aus der jeweiligen Anwendung ergeben. Es wird wahrscheinlich auch nicht immer sinnvoll und möglich sein, die maximale Stufe der möglichen Zerlegung von Systemen anzustreben. Die Möglichkeiten der Informationsverarbeitung wird dem Detaillierungsgrad bei Systemen Grenzen setzen. Insofern wird auch die Struktur bestehender Systeme indirekt durch den Beobachter festgelegt, wodurch sich die vorhin beschriebenen „relativen Grenzen“ zwischen System und Umwelt aus dem jeweiligen Ziel der Systembetrachtung bzw. der Systemanalyse ergeben werden. Bei einer beliebig festgelegten Grenze von System und Umwelt unter Betrachtung von Ein- und Ausgangsgrößen kann sich zum Beispiel folgendes Bild ergeben: [vgl. Lerner, 1970, S. 19]

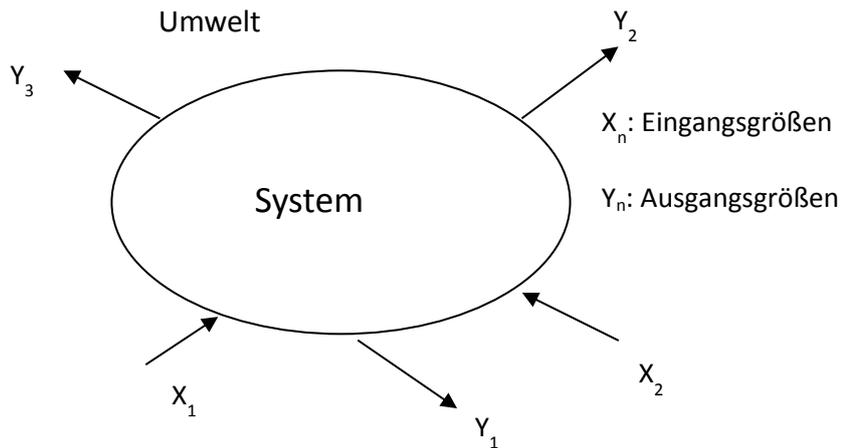


Abbildung 1: System und Umwelt [entnommen aus: Lerner, 1970; S 19]

Eine andere Betrachtung ergibt sich bei Berücksichtigung, dass die Umwelt – wie vorhin beschrieben – selbst immer systemrelativ ist. Es gibt also keine Umwelt in dem Sinn, sondern eine Umwelt des Systems nach Festlegung der Systemgrenzen des Beobachters. [vgl. Krieger, 1998, S. 14]

Die Trennung von System und Umwelt mag wohl die Komplexität des in Betrachtung gezogenen Bereiches reduzieren, führt aber im System selbst ein gewisses Maß an neuer (reduzierter) Komplexität ein. Es wäre daher komplex in diesem Kontext eigentlich reduzierte Komplexität. Jedenfalls ist die Komplexität des Systems geringer als jene der Umwelt, da die Umwelt immer systemrelativ ist. [vgl. Luhmann, 1984, S. 50]

Betrachten wir als Beispiel für die verschiedenen Möglichkeiten eines Systems einen elektrischen Schwingkreis, bestehend aus einer Induktivität (Spule) und einer Kapazität (Kondensator). Nach Anregung gerät dieses System hinsichtlich Strom oder Spannung in Schwingung, mit den Grundeigenschaften z.B. von Amplitude und Frequenz. Bei tiefer gehender Betrachtung kann der Stromfluss im Leiter zwischen der Spule und dem Kondensator angesehen werden. Bei weiterer Erhöhung des Detaillierungsgrades ließen sich das E- und das H-Feld im jeweiligen Element des Schwingkreises untersuchen, die Bewegung der Ladungsträger in den Elementen, Arten der Ströme usw. Letztendlich geht es aber bei Schwingkreisen eben um die Schwingung von Strom und Spannung. Mechanische Schwingung ist hier kein Thema. In nahezu allen Fällen, wo es um Schwingkreise geht, wird er als „Black Box“ mit den beiden Elementen – entsprechender Eigenschaft – angesehen. Dieses schwingungsfähige Gebilde findet sich gewollt oder ungewollt in fast allen Bereichen der Elektrotechnik wieder. Eine Systemabgrenzung für den hier angesprochenen Schwingkreis kann nach verschiedenen Betrachtungsweisen erfolgen. Hier wird das System im

elektrotechnischen Kontext gesehen, wo z.B. die Klemmen zum Abgreifen der Spannung die Grenze zur Umwelt bilden.

Ein Pendant in der Mechanik dazu ist z.B. ein Feder-Masse-System. Auch hier ließe sich der Detaillierungsgrad beliebig verändern. Schwingungsfähige Gebilde treten in unzähligen Bereichen des Maschinenbaues, Stahlbaues, Hoch- und Tiefbau, aber auch in der Wirtschaft, auf. Alle diese Systeme funktionieren nach dem gleichen Schema, teils gewollt und teils auch ungewollt. Auch hier werden entsprechend den noch zu verarbeitenden Komplexitätsgraden die System/Umweltgrenzen gezogen und dadurch die Komplexität des Systems mit den zu beobachtenden Größen reduziert.

Gemeinsame Gesetzmäßigkeiten treten in den unterschiedlichsten Gebieten auf. Zum Beispiel finden sich in der Biologie, Mechanik oder Thermodynamik jeweils vergleichbare Modelle wieder. Aufgrund des systemischen Ansatzes ist es unbenommen, welcher Natur oder Art die einzelnen Elemente sind oder in welcher Beziehung sie zueinander stehen. Diese übergeordnete Sichtweise, die Systemtheorie, wird als eine Metatheorie angesehen, die unterschiedliche Wissensgebiete integrativ behandelt und interdisziplinäre Vergleiche zulässt. [vgl. Bertalanffy, 2008, S. 38]

Diese interdisziplinäre Sichtweise im Rahmen der Systemtheorie beschränkt sich aber nicht nur auf technisch naturwissenschaftliche Bereiche, sondern kann ebenso auf soziale oder biologische Systeme erweitert werden. Die Bedürfnisse von Lenkung beispielsweise und die damit einhergehenden Regel- und Steuermechanismen erscheinen breitbandig über eine Vielzahl von Disziplinen, so auch in Unternehmungen als sozioökonomische Systeme. Damit einhergehend treten die jeweils vergleichbaren Systemverhaltensweisen ebenfalls auf.

In Anlehnung an die Kybernetik als Disziplin, die nicht nur Systeme als solche, sondern gesteuerte (dynamische) Systeme bearbeitet, sollen in dieser Arbeit Unternehmungen ebenfalls als gesteuerte (ökonomische) Systeme betrachtet werden. Die Fähigkeit gesteuerter Systeme ihre Bewegung zu verändern und unter dem Einfluss verschiedener Stellgrößen in unterschiedliche Zustände einzugehen ist die wesentliche charakteristische Besonderheit. So kann zum Beispiel ein Schiff verschiedene Richtungen steuern und sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten jeweils bewegen. Aus diesen unterschiedlichen Bewegungsmöglichkeiten eines Systems lassen sich dann gewünschte Vorzugsbewegungen zum Beispiel auswählen. Da Elemente, Objekte, Erscheinungen und Prozesse jeweils in der Welt verbunden sind und sich gegenseitig beeinflussen können, muss bei Herausgreifen eines Elementes oder Prozesses der Einfluss dieses Elements auf die Umgebung und dessen Wirkung auf die Umwelt berücksichtigt werden. Damit ergibt sich wieder die Betrachtung von Kopplungen, welche die Wechselwirkungen mit der Umwelt charakterisieren. Die Kopplungen lassen sich auch physikalisch (Masse, Kraft, Leistung) oder informationstechnisch (Datenstrom) darstellen.

2.2 Abgrenzung eines Systems

Um ein System als solches überhaupt zu erkennen, bzw. zu definieren, muss es strukturiert und gegenüber seinem Umfeld abgegrenzt werden. Entsprechend der Hierarchie und Definition des Umfangs können dann Systemgrenzen und Schnittstellen innerhalb des Systems und nach außen festgelegt werden. Diese Aussage lässt schon erkennen, dass es keine generellen Festlegungen zur Systemabgrenzung gibt, sondern es vom Beobachter abhängt, das System abzugrenzen bzw. zu definieren. Der jeweilige Zweck und der jeweilige Systembeobachter bzw. –gestalter legen individuell die Systemgrenzen bzw. gegebenenfalls auch die Struktur fest.

Jedenfalls besteht zwischen den Elementen eines Systems eine andere Interaktion als mit der Umwelt. Das System ist gegenüber der Umwelt abgegrenzt, tauscht sich mit dieser aber aus.

„Mit Hilfe von Grenzen können Systeme sich zugleich schließen und öffnen, indem sie interne Interdependenzen von System/Umwelt-Interdependenzen trennen und beide aufeinander beziehen.“ [entnommen aus: Luhmann, 1984, S.52]

Die Systemabgrenzung wird vom Zweck und Standpunkt des Beobachters aus stark abhängen, und es wird daher keine generelle Lösung zu erwarten sein. Darüber hinaus wird speziell bei einem komplexen System, wie einem Unternehmen, sich erst während der Beobachtung herausstellen, ob die Systemgrenzen oder die Strukturierung zweckmäßig gewählt wurden. Der Erfolg von Messungen und Ergebnissen wird u.a. stark von der Wahl der Systemstruktur bzw. Untersystemen sowie der den Messgrößen abhängen. Beim vorhin angeführten Beispiel des Feder-Masse-Schwingers wurde als Ausgangsgröße der Weg „x“ gewählt. Dieser ändert sich nach Auslenkung des Systems (Anregung) nach einer harmonischen Bewegung; das System gerät in Schwingung. Würde man nun bei dem gleichen System mit der gleichen Anregung statt des Weges nun beispielweise die Temperatur der Masse messen (was natürlich absurd ist, aber in diesem Fall die Abhängigkeit des Systemverhaltens vom Beobachter demonstrieren soll), so würde sich keine im herkömmlichen Sinn erkennbare Veränderung ergeben; die Schlussfolgerung wäre, das System ist in diesem Fall in Ruhe. Allein durch die Wahl unterschiedlicher Messgrößen beziehungsweise „Ausgangsgrößen“ ergeben sich für ein und dasselbe System verschiedene Verhaltensmuster. Durch die Beeinflussung des Ergebnisses durch die Beobachtung selbst, kann es bei der Ergebnisfindung auch zu einem iterativen Prozesses kommen, insbesondere bei komplexeren Systemen.

2.3 Systemanalyse, -struktur und -zustand

Ein wesentliches Merkmal betrachteter Systeme ist ihre Veränderlichkeit ihrer Größen in Abhängigkeit von der Zeit. Durch Identifizierung und Analyse des Systems werden Erkenntnisse über das System gewonnen, die sich auf die Systemstruktur und auf das Systemverhalten beziehen. Eine Möglichkeit dazu ist beispielsweise, ein unbekanntes System als „Black Box“ zu sehen und es über das Systemverhalten mit Bekanntem zu modellieren. Das Verhalten eines Systems wird durch die Systemstruktur, die Eigendynamik des Systems, die Einwirkungen von außen und seinem Ausgangszustand beeinflusst. Mit der Systemstruktur ist sein Aufbau bzw. seine Zusammensetzung durch die Einzelelemente dargestellt; in welchem Zustand sich das System befindet, beschreibt der Systemzustand. Die Struktur kann so auch im Sinne des Aufbaues oder einer Gliederung verstanden werden. Der Systemzustand wird neben der Struktur auch durch die Eingangs- und Ausgangsgrößen, welche auf das System wirken und das Systemverhalten, beeinflusst.

Die Systemstruktur bei einem Pendel ist beispielsweise ein fixierter Faden und eine Masse, welche an diesem Faden montiert ist. Dieses System „Pendel“ hat nun einen Ruhezustand, wo es unbewegt nach unten hängt, also eine stabile Ruhelage, die Bewegung $v = 0$. In diesem Fall ist der Systemzustand für dieses Pendel eine Ruhelage (potentielle und kinetische Energie sind relativ zu einer Schwingung gleich null). Während sich das Pendel nach einer Auslenkung hin und her bewegt, hat es an den Stellen des Maximalausschlages ebenfalls einen Zustand der „Ruhe“, wo die Bewegung $v = 0$ ist. Dies ist jedoch keine stabile Ruhelage, es (das Pendel) befindet sich in diesem Fall in einem anderen Systemzustand (die Potentielle Energie ist maximal, die Kinetische ist gleich null). Und dazwischen gibt es je nach Beobachtung verschiedene, unzählige Systemzustände. Eine andere Darstellung der Systemstruktur für dieses Pendel ist – wie später noch gezeigt wird – die Schwingungsdifferentialgleichung. Sie ist ein mathematisches Modell des Pendels und beschreibt das Systemverhalten in Abhängigkeit von der Zeit. Daraus lässt sich der Systemzustand zu bestimmten Zeitpunkten beschreiben.

Bei Systemen im Sinne dieser Arbeit handelt es sich um dynamische Gebilde, die einer stetigen Veränderung über die Zeit unterliegen. Diese Veränderung von Systemen ist das Eigentliche was nun in dieser Arbeit behandelt werden soll und interessiert. Um eine Veränderung bzw. Bewegung als solche zu erkennen, müssen die jeweiligen Systemzustände am Anfang und am Ende eines Beobachtungszeitraumes bekannt sein. Über diese jeweils verschiedenen Zustände ist dann die Veränderung erkennbar bzw. messbar. Die Systemzustände werden über Eingangs- und Ausgangsgrößen sowie allfällig messbarer Zwischenzustände gemessen oder bestimmt.

Es sollen nun die vergleichenden Eigenschaften oder Gesetzmäßigkeiten über die Grenzen der Fachgebiete hinweg hier genutzt werden. Systeme bzw. deren Elemente lassen sich durch eine Vielfalt von Modellen beschreiben oder annähern. So können für die Beschreibung von Systemen beispielsweise verschiedene Arten von Differentialgleichungen oder mathematische Modelle herangezogen werden. Die Modellierung mit Differentialgleichungen ist aber nicht die einzige Möglichkeit, Systeme zu charakterisieren und gegebenenfalls zu quantifizieren. In der allgemeinen Systemtheorie finden sich darüber hinaus weitere, modernere Verfahren, wie zum Beispiel die Informationstheorie, Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kybernetik oder die Spieltheorie, um hier einige aufzuzählen.

Das Wort „Kybernetik“ hat sich Mitte des 20. Jahrhunderts etabliert und leitet sich von den altgriechischen Worten „kybernetes“, das so viel heißt, wie Steuermann und „kybernesis“ das mit „Leitung“ oder „Herrschaft“ übersetzt wird. In diesem Zusammenhang wurde dieser Ausdruck für die gezielte Beeinflussung von Systemen verwendet und geht somit in die Techniken der Steuerung und Regelung über. Speziell die Kybernetik befasst sich mit dieser, oben bereits beschriebenen interdisziplinären und fachübergreifenden Betrachtung und auch Beeinflussung von Systemen. Die Systemanalyse befasst sich demnach mit der eingehenden Untersuchung der jeweiligen zu betrachtenden Systeme und der (ausführlichen) Dokumentation des Verhaltens bzw. des Wirkens. So kann von unterschiedlichsten beobachteten Erscheinungen verschiedener Systeme durchaus vergleichbares Systemverhalten und damit auch die eine oder andere Analogie oder Isomorphie erkannt und dokumentiert werden. Diese Beobachtung vom Verhalten dynamischer (unterschiedlicher Disziplinen) Systeme mündet in die Wissenschaft der Kybernetik. Das Ziel ist letztendlich Aufschlüsse über Struktur und/oder Verhalten von unbekanntem Systemen infolge Modellierung mit Bekannten zu erhalten sowie einen Systemzustand in Abhängigkeit des Ausgangszustandes und von Einwirkungen ableiten oder abschätzen zu können.

2.4 Interdisziplinäre Betrachtung

In der Vergangenheit hat sich in der Wissenschaft eine Unmenge an Daten und Disziplinen angesammelt. Durch diesen enormen Informationsumfang kam es zur Unterteilung der Wissenschaften in diverse Disziplinen. Eine Spezialisierung in den einzelnen Fachgebieten wurde ob des großen Wissensumfanges notwendig. Die Überbegriffe wie zum Beispiel „Physik“, „Chemie“ oder „Wirtschaftswissenschaften“ wurden ihrerseits noch weiter untergliedert, was anhand der Physik als Beispiel gezeigt werden soll: hier gibt es weitere Unterteilungen in Fachgebiete der

Experimentalphysik, Theoretische Physik oder Teilchenphysik um einige zu nennen. In der Elektrotechnik gibt es ähnliche Untergliederungen in diverse Untergruppen und Teilgebiete. Durch diesen hohen Spezialisierungsgrad und der großen Menge an Detailwissen wird es zunehmend schwieriger, interdisziplinär zu arbeiten und den „Überblick“ über andere beziehungsweise gar mehrere Fachgebiete zu behalten.

Um beim Beispiel der Physik zu bleiben zeigt sich, dass von jeweils geltenden physikalischen Grundgesetzen als die Basis in den einzelnen Spezialgebieten geltende Details abgeleitet und verwendet werden. Dadurch wird erkennbar, dass sich viele Mechanismen und Eigenschaften wiederholen. Der Vollständigkeit halber sei hier erwähnt, dass die Mathematik zweifelsohne das Grundwerkzeug bzw. die Sprache der Naturwissenschaften ist, um diese allgemeinen und speziellen Gesetzmäßigkeiten darzustellen, jedoch nicht das einzige. [vgl. Bertalanffy, 1968, S.38]

Je nach Komplexitätsgrad können Systeme in unterschiedlicher Detaillierung dargestellt beziehungsweise modelliert werden, wobei bei zu großer Komplexität bei der Darstellbarkeit und Lösbarkeit von mathematischen Modellen die Grenzen erreicht werden.

Trotz der Existenz verschiedener Fachgebiete bzw. Disziplinen ist erkennbar, dass vergleichbare Systemeigenschaften beispielsweise in der Technik, Biologie oder aber auch in der Wirtschaft vorkommen. Mit der systemischen Betrachtung soll nun das Verhalten bzw. die Eigenschaften der unterschiedlichen Systeme beschreibbar und damit vor allem vergleichbar gemacht werden. Einfache analoge Systeme sind in der Elektrotechnik und in der Mechanik zu finden. Zum Beispiel bilden ein Schwingkreis bestehend aus Spule und ein Pendel isomorphe Systeme. Werden bei den beschreibenden Gleichungen einfach die Formelzeichen ausgetauscht, gilt die beschreibende Gleichung automatisch für das jeweils „andere“ System. Der Analogie sind jedoch Grenzen gesetzt: Bei den Elementen von sozialen bzw. sozioökonomischen Systemen handelt es sich u.a. um Menschen, um Individuen, welche, im Unterschied zu technischen Elementen, ihrerseits sehr wohl selbst handlungsfähig und entscheidungsfähig sein können.

Ein wesentlicher Erfolgsfaktor bei der Bearbeitung dieses Themas ist, wie schon erwähnt, die Festlegung der Betrachtungsebene, die Wahl des Beobachtungspunktes. Es würde keinen Sinn machen, bei der Untersuchung der Eigenschaften eines sozialen Systems, die Beobachtung, bis auf seine Individuen „herunter zu brechen“.

Die allgemeine Systemtheorie will nun Regeln oder Gesetzmäßigkeiten finden, die interdisziplinär anwendbar sind. Diese Regeln sollen unabhängig von der Art und ursächlichen Eigenschaft der einzelnen Systeme sein. Ein wesentliches Ziel ist zum Beispiel die Ableitung von bekanntem

Systemverhalten für im Detail unbekannte Systeme. Für künstliche, bzw. technische Systeme sind in der Natur vorkommende Systeme sehr oft das Modell.

Wenn diese allgemein gültigen Modelle gefunden sind, so kann zu Beispiel vom Verhalten eines (bekannten) Systems auf das Verhalten eines noch unbekanntes Systems geschlossen werden. Daraus lassen sich dann von unbekanntes Modellen Verhaltensmuster (Ausgangssignale/-größen) auf bestimmte Eingangsgrößen ermitteln. Der wesentliche Aspekt liegt hier in der Analyse, also dem Finden der verallgemeinerten normierten Gesetzmäßigkeiten.

Wirtschaftliche Systeme bzw. die Unternehmung als wirtschaftliches System sind eindeutig sozioökonomischen Systemen zuzuordnen und sind als solche durch die große Anzahl interner und externer Einflussfaktoren und „Freiheitsgrade“ als hoch komplexe Systeme zu betrachten. Der wesentliche Unterschied zu rein technischen Systemen liegt darin, dass der „Faktor Mensch“ als intelligentes Wesen („Subsystem“) involviert ist. Neben den rein mathematisch bzw. technisch orientierten Einflussfaktoren bei technischen Systemen kommen hier sämtliche menschliche Attribute zum Tragen. Diese letztgenannten Einflussfaktoren können, bei entsprechender Anzahl von Individuen, über statistische bzw. stochastische Modelle normiert werden.

In diesem Kontext hier soll ein Bereich (zum Beispiel eine Abteilung oder ein Geschäftsbereich) nicht als eine „strukturierte Ansammlung von Individuen“, sondern ein für sich funktionierendes (Sub-) System betrachtet werden, dessen Eigenschaften sich wiederum über Eingangs- und Ausgangsgrößen definieren.

Mit der Kybernetik sowie der Allgemeinen Systemtheorie werden die Systeme verschiedener Disziplinen vergleich- und Analogien bzw. Isomorphie sichtbar, interdisziplinäre Vergleiche und Betrachtungen werden dadurch ermöglicht. Eine der wesentlichen Stützen für die angesprochenen Vergleiche wird über das Systemverhalten gebildet. In technisch naturwissenschaftlichen Bereichen sind die interdisziplinären Betrachtungen schon länger und ob der Herkunft aus einem fachlichen Bereich tiefer verwurzelt. Obwohl beispielsweise der Feder-Masse-Schwinger und der elektrische Schwingkreis physikalisch grundlegend verschiedene Systeme, ergibt sich beim Systemverhalten hinsichtlich der „richtigen“ Wahl der beobachteten Größen eine Isomorphie. Bei Erweiterung der betrachteten Disziplinen um jene der sozioökonomischen Systeme sind wieder vergleichbare Verhaltensmuster nachweisbar. Bei entsprechender Wahl der Eingangs- und Ausgangsgrößen erscheint typisch „technisches“ Systemverhalten, wie beispielweise exponentielles Verhalten oder Schwingungen.

Die Elemente und Strukturen von wirtschaftlichen Systemen können durchaus sehr physikalische Formen annehmen. Ein Lager oder ein Bestand ist im regeltechnischen Sinn ein sogenanntes Integralelement, eine Produktion oder ein Transportweg ein solches mit sogenanntem Totzeitverhalten. Es sind neben den verhaltenstechnischen Vergleichen, die erwartet den Großteil der Analogien ausmachen, auch strukturelle Muster und Elemente vergleichbar vorhanden.

3 Technische Systeme

3.1 Allgemeines

Die Betrachtungen in Kapitel 2 zwei haben gezeigt, dass Systeme mit der Umwelt interagieren können, wie zum Beispiel Information oder auch Energie austauschen. Damit unterliegen Systeme auch einer gewissen Beeinflussbarkeit. Die Beeinflussung von Systemen kann auch das grundlegende Ziel seiner Existenz selbst sein. Dies manifestiert sich beispielsweise in der Steuer- und Regeltechnik in den Ingenieurwissenschaften. Die gezielte oder gewünschte Beeinflussung von Systemen tritt aber auch in anderen Disziplinen, wie u.a. in biologischen oder sozioökonomischen Systemen auf. Im Sinne der Suche nach Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen soll das Augenmerk auf diese Beeinflussbarkeit gelegt werden. Aus dem umfangreichen Spektrum an technischen Systemen werden hier nun jene Systeme betrachtet, welche durch ihre gezielte Beeinflussung charakterisiert sind und sich daher für einen Vergleich mit wirtschaftlichen Systemen, ebenfalls charakterisiert durch die gezielte Beeinflussung, eignen. Die Steuer- und Regeltechnik bietet hier die geeigneten Anhaltspunkte.

Die gezielte Beeinflussung eines (technischen) Systems wird als Steuerung bezeichnet. Dazu wird ein System gewollt von einem Systemzustand in einen anderen übergeführt. Der Wirkungssinn ist unidirektional, eine Überprüfung und Korrektur des Zielwertes erfolgt nicht. Erfolgt eine Erfassung des Zielwertes (Regelgröße), wird die Steuerung durch eine Rückkopplung erweitert und wird zur Regelung. Der Ausgangswert wird zum Eingang rückgekoppelt, es entsteht ein geschlossener Wirkungsablauf, ein Regelkreis.

Um dem Begriff der Bewegung im Sinne eines veränderlichen Systemzustandes eine allgemeine Bedeutung zuzuschreiben, wie es z.B. in der Kybernetik gesehen wird, bedarf es einer Erweiterung dieses Begriffes. So unterliegen auch die Spannung oder die Frequenz eines elektrischen Netzes, die Temperatur eines Körpers, laufende Rechnungssummen einer Bank, die Anzahl von Halbfertigprodukten in einem Lager oder die Zahlungsströme eines Unternehmens auch einer Bewegung. In den Gesetzmäßigkeiten der Bewegung der verschiedenen Objekte erscheinen viele Gemeinsamkeiten. Es erscheint daher als vorteilhaft, die Prozesse nicht in jedem spezifischen System zu betrachten, sondern mittels abstrakter, allgemeingültiger systemtheoretischer Betrachtungen zu untersuchen.

Die Funktionseinheit zur Verarbeitung und Übertragung von Signalen (beispielsweise Material, Energie, Kapital, Information und andere Größen) stellt ein dynamisches System dar. Die

Systemausgangsgröße als die zeitliche Auswirkung wird mit der Ursache, der Systemeingangsgröße in Beziehung gebracht. Diese Systeme können einfache Strukturen mit nur einer Eingangs- und Ausgangsgröße (z.B. Verstärker), komplexe Strukturen mit mehreren Größen, wie beispielsweise ein Wasserkraftwerk sowie hierarchisch gegliederte hochkomplexe Mehrstufensysteme (beispielsweise Unternehmungen oder Wirtschaftsprozesse) aufweisen.

Das gemeinsame Merkmal der [...] Systeme ist, dass sich in ihnen eine zielgerichtete Beeinflussung und Informationsverarbeitung bzw. Regelungs- und Steuerungsmechanismen abspielen [...] [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 2]

Diese Strukturen und dazugehörigen Verhaltensmuster sind nicht auf eine Disziplin, zum Beispiel auf technische Systeme beschränkt, sondern sind auf viele Systeme von Technik, Ökonomie, Soziologie, Natur usw. anwendbar. In der Kybernetik werden diese interdisziplinär wiederkehrenden Gesetzmäßigkeiten von Steuerungs- und Regelungsprozessen sowie Informationsprozessen in Gesellschaft, Technik und Natur versucht zu erkennen (Analyse). Die gewonnene Erkenntnis wird zur Synthese technischer, bzw. zur Verbesserung natürlicher Systeme verwendet. Durch den interdisziplinären Charakter der Regeltechnik ist sie nicht nur technischen Systemen oder der Gerätetechnik sondern eher den Systemwissenschaften zuordenbar. In der älteren Kybernetik I wird noch entsprechend dem mechanistischen Ansatz von getrenntem Regler und zu regelndem System ausgegangen. Die Kybernetik II trennt dieses Elemente von Regler und Strecke nicht mehr in der ursprünglichen Form, sondern betrachtet Systeme, welche sich selbst organisieren und strukturieren. [vgl. H. Unbehauen, 2008, S.2]

3.2 Darstellung von Systemen in der Technik

Die Veränderung des Zustandes eines Systems (also Bewegung eines Systems) kann sowohl von außen her, als auch von eigenen Vorgängen im Inneren eines Systems erfolgen. Eigentlich wird ein System von zahlreichen verschiedenen äußeren Störungen beeinflusst, die aber größtenteils vernachlässigbar sind oder je nach Betrachtung vernachlässigbar sein können. Beispielsweise beeinflusst der Mond mit seiner Anziehungskraft die Erde. Auf die Bewegung eines Autos auf der Straße wird das kaum einen Einfluss haben und daher vernachlässigbar sein. Der Einfluss des Mondes kann sich auf die Bewegung eines Schiffes über die Gezeiten deutlicher auswirken. Das heißt, dass aus der Menge der äußeren Beeinflussungen jene Berücksichtigung finden (soweit erkannt), die für

den Zustand des Systems bestimmend sind. Diese Einflüsse werden zu „Eingangsgrößen“ oder „Eingangssignalen“.

In einem dynamischen System erfolgt eine Verarbeitung und Übertragung von Signalen. Diese Elemente werden als Übertragungsglieder oder –systeme bezeichnet. Diese Übertragungsglieder haben eine eindeutige Wirkungsrichtung, die jeweiligen Eingangs- und Ausgangssignale sind durch Pfeilrichtungen dargestellt. Solch einem Übertragungsglied wird mindestens eine Eingangsgröße $y_E(t)$ zugeführt, welchem mindestens eine Ausgangsgröße $y_A(t)$ folgt.

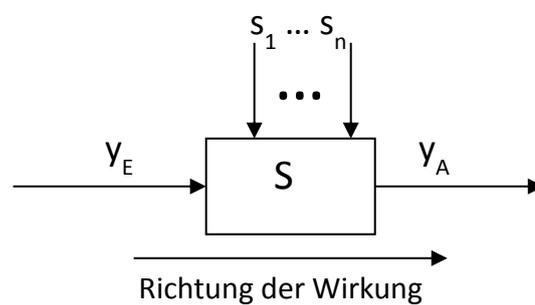


Abbildung 2: Symbol eines Gliedes (Eingrößensystems) [nach Göldner, 1987, S. 15 bzw. H. Unbehauen, 2008, S. 3]

y_E	Eingangsgröße(n) (Ursache)
y_A	Ausgangsgröße(n) (Wirkung)
$s_1 \dots s_n$	Störgöße(n)
S	Systemfunktion

Bei dieser Betrachtung ist der physikalische Mechanismus der Übertragung des Eingangssignals zum Ausgangssignal von untergeordnetem Interesse. Hier geht es um das Vorliegen eines Wirkungsweges und die Signalübertragung, vorgenommen durch ein Objekt; bei diesem Vorgang treten auch die für solche Glieder typischen Verzögerungen auf, wie in folgendem Bild dargestellt:

Sind mehrere Eingangs- und Ausgangsgrößen vorhanden, so wird ein Mehrgrößensystem wie folgt dargestellt:

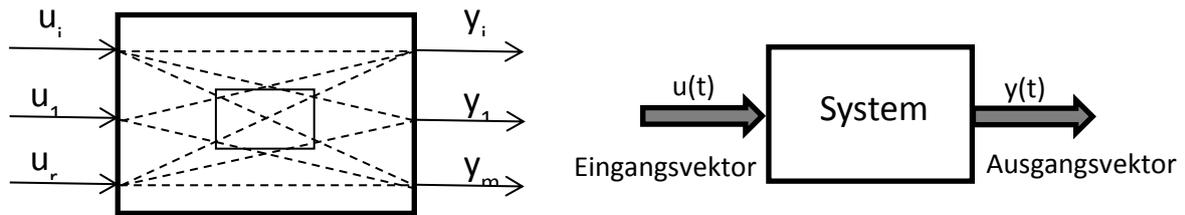


Abbildung 3: Symbolische Darstellung des Systembegriffes eines Mehrgrößensystems [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 3]

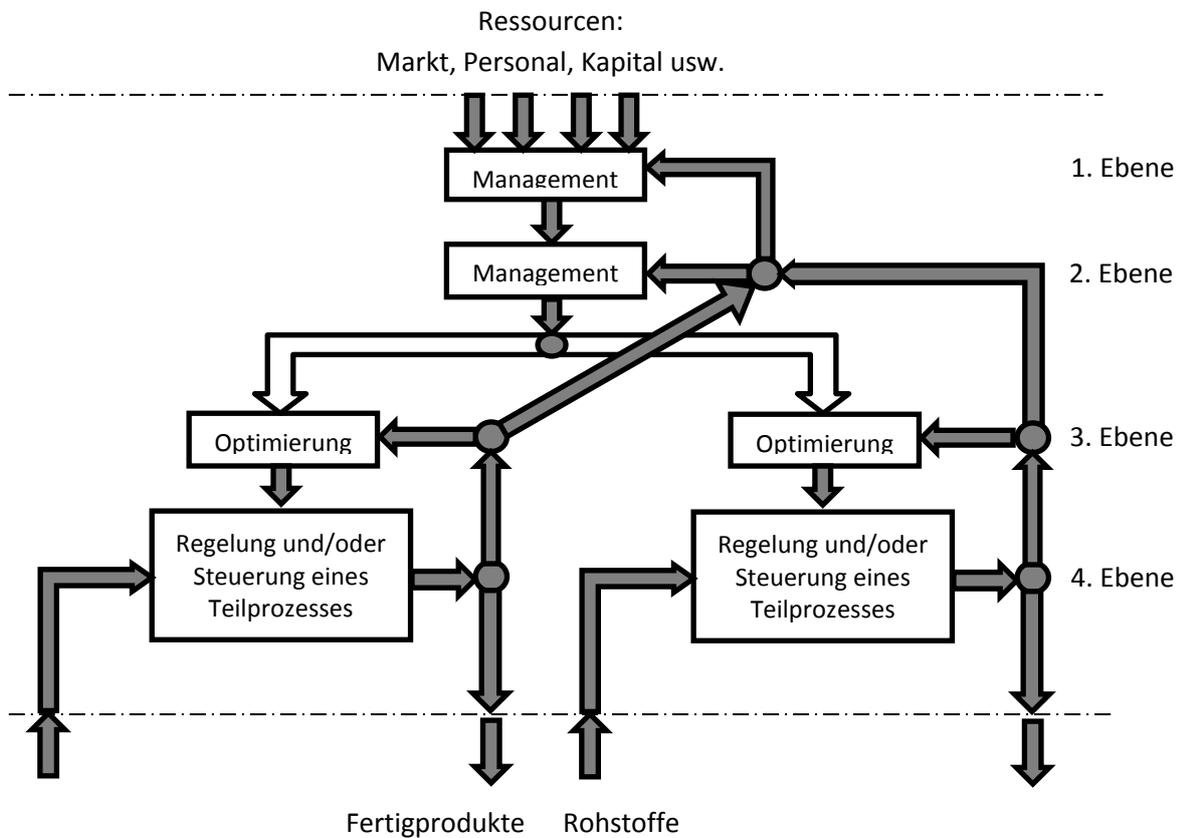


Abbildung 4: Mehrstufiges System in hierarchischer Darstellungsform mit Wirkungsrichtungen [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 3]

3.3 Steuerung und Regelung

Ziel der Steuerungs- und Regelungstechnik ist die kontrollierte Beeinflussung eines Systems bzw. von Systemen. Die relevanten Systemgrößen sollen sich in vorgegebenen Bereichen befinden bzw. das System soll ein vorgeschriebenes Verhalten aufweisen. Die Begriffe Steuerungs- und

Regelungstechnik werden oft ohne grundlegende Unterscheidung verwendet, obwohl es sich hier um unterschiedliche Fachgebiete handelt.

Die Unterscheidung von Regelung und Steuerung ist ein wesentlicher Aspekt, oft werden diese Begriffe nicht deutlich genug unterschieden. Die Struktur und das Verhalten der jeweiligen Systeme unterscheiden sich grundlegend. Bei der Regelung wird die Regelgröße fortlaufend gemessen und deren Wert zu einem Vergleich rückgekoppelt. Es besteht ein geschlossener Wirkungsablauf, welcher Störgrößen entgegenwirken kann. Bei der Steuerung wird eine Zielgröße vorgegeben, welche auf das zu steuernde System wirkt, ohne den Istwert nachzumessen.

Bei der Steuerung wird aufgrund einer Zielgröße die Steuergröße entsprechend eingestellt. Die Ausgangsgröße wird nach der Beeinflussung der Steuerungsstrecke nicht mehr (nach)gemessen, ob sich der gewünschte Zustand eingestellt hat. Es existiert hier ein sogenannter offener, unidirektionaler Wirkungsweg. Es liegt eine Steuerkette vor. Das Beispiel einer Steuerung ist eine Raumheizung, die nur durch die Außentemperatur gesteuert wird. Die Außentemperatur wird durch einen Temperaturfühler erfasst, und das Signal einem Steuergerät zugeführt, welches seinerseits ein Signal dem Motorventil weiter gibt. Dieses Motorventil steuert den Wärmestrom Q in den Raum. Wird nun ein Fenster geöffnet, tritt eine Störgröße auf. Diese wird von der Steuerung nicht erfasst, da eine Messung der Raumtemperatur nicht erfolgt. Es liegt die beschriebene Steuerkette als offener Wirkungsweg vor. Es besteht eine offene Wirkungskette, eine Steuerkette.

Wird hingegen das Ergebnis, die einzustellende Größe der Beeinflussung des Systems nachgemessen und bei einer allfälligen Abweichung des Istwertes vom Sollwert eine Nachjustierung der Beeinflussung durchgeführt, spricht man von einem geschlossenen Wirkungsablauf und von einer Regelung bzw. von einem Regelkreis. Beim oben angeführten Beispiel der Raumheizung wäre das die laufende Messung der Innentemperatur. Tritt durch eine Störgröße eine Veränderung der Regelgröße auf, wird diese durch das Auftreten einer Regelabweichung erfasst vom System korrigiert.

Wesentliche Merkmale der Regelung sind:

- Laufende Messung der Regelgröße y
- Vergleich der Regelgröße y mit dem Sollwert w und Bildung der Regelabweichung $d=w-y$
- Reaktion auf diese Regelabweichung derart, dass sie minimiert wird.

Daher stellt die Regelung einen geschlossenen Wirkungsablauf dar, wodurch sie Störungen selbstständig entgegen wirken kann. Durch die vorhandene Rückwirkung (geschlossener

Wirkungsablauf) besteht allerdings die Möglichkeit, dass so ein System instabil werden und zu schwingen beginnen kann. Schwingung und Instabilität sind in der Regeltechnik höchst unerwünschte Eigenschaften und führen (meistens) zum Kollaps des Systems.

Anhand einer Raumheizung soll der Unterschied verdeutlicht werden:

Wird auf Basis der Außentemperatur und nur durch diese das Heizungssteuergerät mit einer Information versorgt, stellt es daraufhin über das Stellglied die Wärmezufuhr zum Raum ein. Störbeeinflussungen wie das Fenster öffnen werden nicht erfasst und haben keine Auswirkung auf die Ventilstellung und die Wärmezufuhr in den Raum. Es liegt eine Steuerkette vor, die auf Störungen, welche auf die Steuergröße wirken, nicht reagiert.

Die Steuerung stellt einen offenen Wirkungsablauf, eine Steuerkette dar und kann daher nur jenen Störgrößen entgegenwirken, für die sie ausgelegt wurde. Darüber hinaus kann die Steuerung bei stabiler Steuerstrecke (stabilem zu steuerndem Objekt) nicht instabil werden.

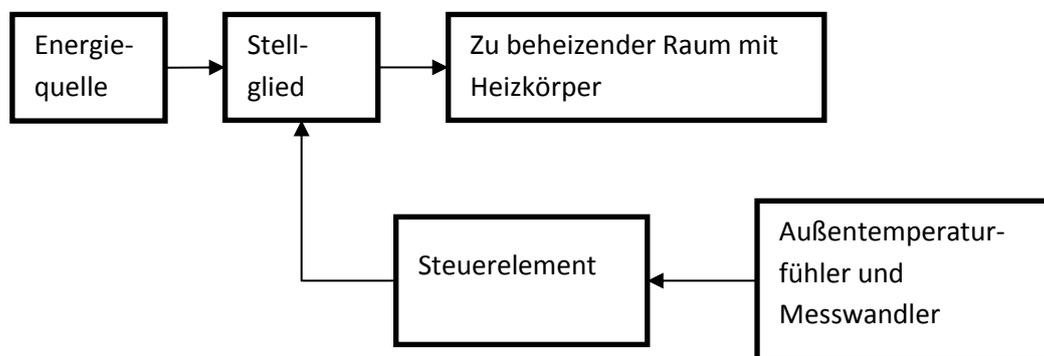


Abbildung 5: Technologieschema der Steuerung einer Raumheizung [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 21]

Wird die Raumtemperatur laufend gemessen und deren Wert mit einem Sollwert verglichen, und diese Differenz einem Regler zugeführt, der wiederum reagiert, wenn die Raumtemperatur vom Sollwert abweicht, kann das System auf Störgrößen, welche auf die Raumtemperatur, die Regelgröße, wirken, reagieren. Durch die fortlaufende Überwachung bzw. Messung und Rückführung der Ausgangsgröße auf den Eingang entsteht der geschlossene Wirkungsablauf in Form eines Regelkreises. Dieses System kann Störungen im Gegensatz zur Steuerung entgegenwirken. Durch den geschlossenen Wirkungsablauf ergibt sich die Basis für eine Schwingungsneigung und damit die Möglichkeit der Instabilität.

Typische Beispiele für technische Regelungen sind die Spannungsregelung in einem Netzgerät, die Drehzahlregelung einer Maschine, eine Temperaturregelung, eine Füllstandregelung oder die Kursregelung eines Schiffes.

Es werden zwei prinzipielle Funktionsweisen von Regelungen unterschieden. Im ersten Fall hat die Regelung die Aufgabe, Störeinflüssen in einem Prozess entgegen zu wirken. Die Regelgrößen in einem Prozess sollen vorgegeben festen Sollwerten entsprechen. Durch Störungen sollen keine nennenswerten Abweichungen der eingestellten Werte erfolgen. Diese Regelungen werden als Festwertregelung oder Sollwertregelung bezeichnet. Im zweiten Fall müssen die Regelgrößen von Prozessen sich ändernden Sollwerten nachgeführt werden. In diesem Fall handelt es sich um Folgeregelungen oder Nachlaufregelungen. Da es sich um Regelungen handelt, muss in beiden Fällen die Regelgröße laufend erfasst und mit dem Sollwert verglichen werden. Weichen Ist- und Sollwert voneinander ab, ist ein Eingreifen in der Weise notwendig, dass die Regelabweichung möglichst wieder verschwindet. Die Beeinflussung zur Korrektur der Abweichung des Istwertes vom Sollwert erfolgt über das sogenannte Stellglied. Die Betätigung des Stellgliedes kann von Hand oder von einem automatisch arbeitenden Gerät aus erfolgen. Dieses eingreifende Gerät wird als Regler bezeichnet und ist Teil einer selbsttätigen Regelung. [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 7 ff]

Beispiele einer Fest- oder Sollwertregelung sind die Füllstandregelung eines Wasserbehälters oder die Drehzahlregelung einer Turbine. In beiden Fällen wird ein Sollwert vorgegeben, im ersten Fall ein bestimmter Füllstand, im zweiten Beispiel eine Drehzahl, welche konstant gehalten werden sollen. Bei Störgrößeneinwirkung, wie beispielsweise die Entnahme der Flüssigkeit und dadurch hervorgerufener Veränderung des Füllstandes soll dieser automatisch wieder nachjustiert werden. Oder die belastete Turbine, deren Drehzahl sich verändern würde soll durch mehr Antrieb die Drehzahlabenkung wieder ausgleichen.

Kennzeichen	Regelung	Steuerung
Wirkungsweg	geschlossen (Regelkreis)	offen (Steuerkette)
Messung und Vergleich der einzustellenden Größe	Die zu regelnde Größe wird fortlaufend gemessen und verglichen	Die zu steuernde Größe wird nicht gemessen und verglichen
Allgemeine Reaktion auf Störungen	Wirkt auf alle Störungen entgegen, die an dem zu regelnden System angreifen	Reagiert nur auf Störungen, die gemessen und in der Steuerung verarbeitet werden
Zeitliche Reaktion auf Störungen:	Reagiert erst dann, wenn die Differenz von Soll- und Istwert sich ändert	Reagiert schnell, da die Störung direkt gemessen wird.
Technischer Aufwand:	Geringer Aufwand: Messung der zu regelnden Größe, Soll-Istwert-Vergleich, Leistungsverstärkung	Hoher Aufwand, wenn viele Störungen berücksichtigt werden müssen, geringer Aufwand, wenn keine Störungen auftreten
Verhalten bei instabilen Systemen:	Bei instabilen Systemen müssen Regelungen eingesetzt werden	Steuerungen sind bei instabilen Systemen unbrauchbar

Tabelle 1: Unterschied von Steuerung und Regelung [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 22]

Betrachten wir nun dynamische Systeme (und beschränken uns nicht nur auf rein technisch naturwissenschaftliche, sondern auch beispielsweise soziale), so bleiben diese nicht immer gleich, sondern unterliegen einer Veränderung. Das Systemverhalten ist nicht immer beliebig, sondern es treten bestimmte Verhaltensmuster immer wieder, auch bei komplexen Systemen, auf. Technische Systeme führen bestimmte, ihnen vorgegebene Operationen immer wieder aus, wie beispielsweise ein bestimmtes Regelungsverhalten. Aber auch Lebewesen oder soziale Systeme können typische Verhaltensmuster entwickeln, welche für ihr Überleben notwendig sind.

In welchem Zusammenhang stehen nun Steuerung und Regelung mit dem jeweiligen System? Wie bereits erwähnt, geht es bei der Steuerung und Regelung um die gezielte Beeinflussung von Systemen. Das System soll also von einem Zustand in einen anderen, einen bevorzugten übergeführt werden und wenn gewünscht, in diesem auch verbleiben, bis eine neue Beeinflussung etwas anderes vorgibt. Eine ungewollte Beeinflussung, eine Störung, soll das Ziel so gut es geht nicht beeinflussen. Dazu muss sie als solche erkannt werden und entsprechende Gegenmaßnahmen einleiten. Ein geschlossener Wirkungsablauf kann bis zu gewissen Maßen Störungen entgegenwirken, ohne im Vorhinein alle Störungen zu „wissen“. Allerdings basiert dieser Ablauf bei der Grundstruktur der Regelung auf einem reaktiven Vorgang. Das heißt, bei der Regelung mit ihrem geschlossenen Wirkungsablauf bekommt die beeinflussende Einheit eine Information der Zielgröße rückgekoppelt und ergreift auf Basis dieser entsprechende Maßnahmen. Die Steuerung hingegen beeinflusst das

System ebenfalls in einer Wirkungsrichtung, jedoch ohne Information über den Erfolg am Ausgang rückgekoppelt zu bekommen.

Wenn nun Systeme die Fähigkeit besitzen, bestimmte Verhaltensweisen einzuschlagen sowie bevorzugte Zustände einzunehmen und sich selbst unter Kontrolle halten, so wird das als Lenkung bezeichnet. Der Wunsch nach der Lenkung von Systemen ist dem Mensch anheim. Das kann sich beispielsweise in der Errichtung von Maschinen manifestieren, die das machen, wozu sie konstruiert wurden, oder aber auch in sozialen Systemen, wo der Mensch durch Lenkung von außen das System unter Kontrolle hält. [vgl. Ulrich/Probst, 1995, S. 78]

Hier kommt wieder der Gedanke der Systemabgrenzung ins Spiel: Ein Schiff wird durch einen Steuermann („kybernetes“) durch das Wasser gesteuert. Der Mensch tritt als Lenker auf und ist aus Sicht der schwimmenden Maschine außerhalb des Systems. Wird jedoch das Schiff mit dem Steuermann betrachtet, so ist der Mensch wieder Teil des Systems. Wenn sich nun das Schiff von einem Ort zum einem anderen bewegen soll, wird es aufgrund der Erfahrung durch das Wasser gesteuert, vorbei an Untiefen und Hindernissen in die notwendige Richtung. Es wird also auf Basis bekannter Informationen entlang des Weges gesteuert: Die Einwirkung auf den Prozess erfolgt bevor etwas passiert. Treten nun unvorhergesehen Ereignisse auf, muss der Steuermann darauf reagieren. Es passiert also etwas, nachdem eine Information vorliegt. Es erfolgt auf die Rückkopplung eine Reaktion. Unter Lenkung versteht man nun gewissermaßen die Kombination von Steuerung und Regelung [vgl. Ulrich/Probst, 1995, S. 80].

3.3.1 Grundstruktur von Regelkreisen

Damit die gestellten Aufgaben eines Regelkreises erfüllt werden können, bedarf es folgender Grundelemente:

- Regelstrecke
- Messglied
- Regler
- Stellglied

Es handelt sich hierbei um die Aufzählung von Grundelementen eines Regelkreises, welche in der Praxis zahlreicher sein können, oder es kommt auch vor, dass Elemente Funktionen vereinen. Die Signale in technischen Regelkreisen sind in einschlägigen Normen grundsätzlich definiert:

y ... Regelgröße (Istwert) u ... Stellgröße
 w .. Führungsgröße (Sollwert) z ... Störgröße
 e ... Regelabweichung

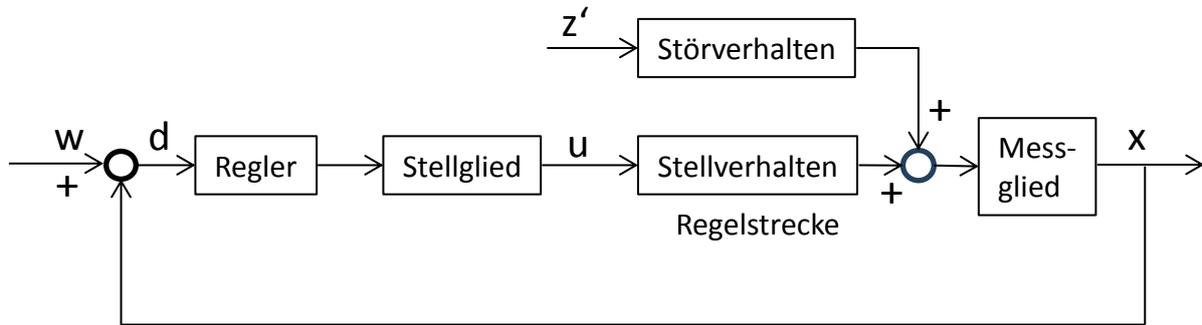


Abbildung 6: Prinzip eines Regelkreises [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 11]

Aus dem Bild ist erkennbar, dass der Ausgangswert y der Regelstrecke (Anlage oder Prozess) möglichst unabhängig von äußeren Störungen im Falle einer Festwertregelung auf einem konstanten Wert (Sollwert w) gehalten werden soll bzw. im Falle einer Folgeregelung möglichst genau einer Führungsgröße nachgeführt werden soll. Diese Aufgabe zur Einstellung der geforderten Regelgröße y auf Basis der Führungsgröße und der Regelgröße mit der sich ergebenden Regelabweichung bewerkstelligt, übernimmt der Regler. Das Ausgangssignal des Reglers wirkt über das Stellglied auf die Regelstrecke ein.

Diese Darstellung bildet die Grundstruktur von Regelkreisen, auf die sich viele Regelkreise zurückführen lassen. Es muss allerdings angemerkt werden, dass in der Praxis eine Unterteilung auf die hier dargestellten Elemente oft nicht möglich ist. So bilden beispielsweise Messglied, Differenzierer und Regler eine Einheit. [vgl. Unbehauen, 2008, S. 12]

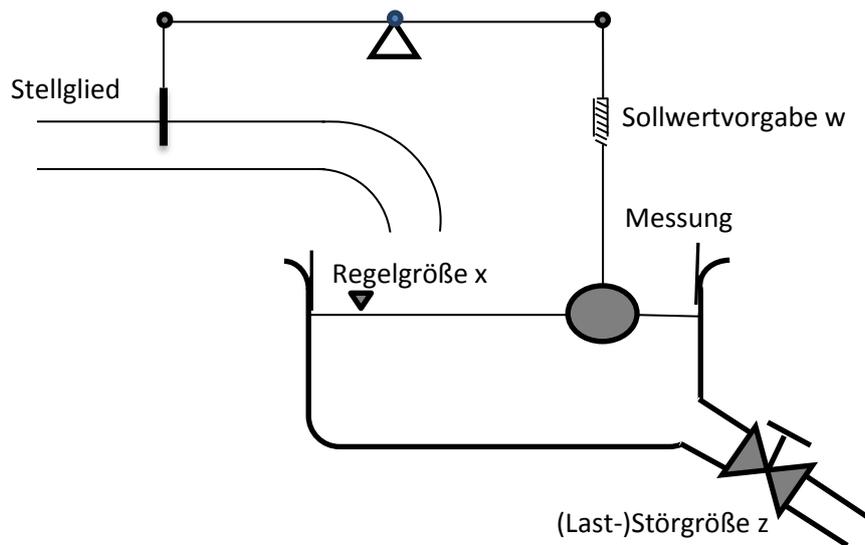


Abbildung 7: Ein Beispiel für eine Regelung mit einem ausgeprägten Regler [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 16]

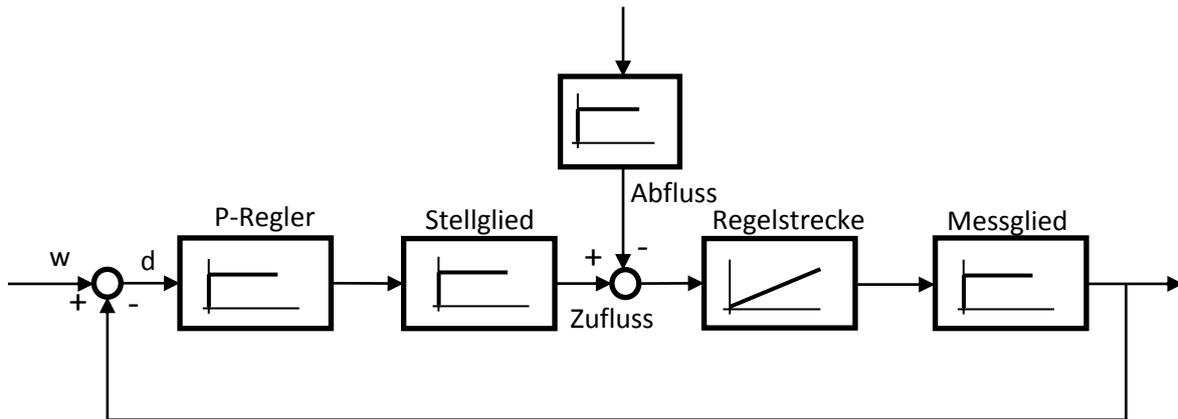


Abbildung 8: Bockschaltung des Regelkreises von Abbildung 7 [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 16]

In Abbildung 7 ist das Beispiel eines Regelkreises mit seinen Regelkreisgliedern dargestellt. Es handelt sich dabei um die Regelung des Füllstandes der Flüssigkeit in einem Behälter. Das System besteht aus einem Behälter mit einem durch ein Ventil veränderbaren Zufluss und einem, ebenfalls veränderbaren Abfluss sowie einem Schwimmer zur Erfassung des Flüssigkeitsstandes im Reservoir. Durch den Abfluss, welcher als Störgröße im Sinne der Regeltechnik betrachtet werden kann, wird der Flüssigkeitsstand im Behälter beeinflusst. Dieser Flüssigkeitsstand wird mit einem Schwimmer erfasst („Messglied“). Der Schwimmer wirkt über einen Hebelmechanismus auf ein Ventil im Zufluss und reguliert damit den Zustrom. Die Regelstrecke wird durch das Reservoir mit dem Füllstand als Regelgröße gebildet.

Verändert sich nun der Flüssigkeitsstand im Behälter, so wirkt das über den Schwimmer und Hebel auf das Ventil im Zufluss.

Jener durch den Hebelmechanismus gebildete Regler stellt eine Proportionalfunktion dar, dessen Verstärkung sich durch das Verhältnis der Hebelarme ergibt. Bei zu hohem Füllstand hebt sich der Schwimmer und der Hebelmechanismus verringert den Zufluss. Umgekehrt wird der Zufluss erhöht, wenn der Füllstandpegel sinkt. Als Störgröße wirkt in diesem Beispiel der Abfluss. In den Blockschaltbildelementen ist das jeweilige Symbol für das dynamische Übertragungsverhalten eingetragen. So hat der Regler in diesem Fall Proportionalverhalten, die Regestrecke hat Integral-Charakter. [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 16]

Diese bisherigen Beschreibungen zeigen Beispiele, wo Regler und Strecke getrennt sind, also ein expliziter Regler vorhanden ist. Die beiden folgenden Beispiele beschreiben Regelsysteme, wo der Regler praktisch systemimmanent ist. Das System ist quasi selbstregelnd, es kann von der Grundstruktur gar nicht anders, als sich selbst regeln. Die „Ersatzschaltung“ weist durchaus ein Regelsystem auf, wenn auch – wie oben erwähnt – kein manifester Regler vorhanden ist.

Das erste Beispiel zeigt ein System mit kommunizierenden Gefäßen, wie es in einer Kraftwerksanlage realisiert ist. Es sind zwei Wasserbecken mit einer Wasserleitung verbunden, das Niveau der beiden Oberkanten ist gleich hoch. Wird nun der Wasserspiegel des Unterbeckens durch eine Wasserentnahme abgesenkt, entsteht durch den Niveauunterschied der beiden Wasserspiegel in der verbindenden Wasserleitung ein Wasserstrom vom Oberbecken zum Unterbecken. Je größer der Niveauunterschied zwischen den Becken ist, desto größer werden auch der Volumenstrom und damit der Zufluss zum Unterbecken sein. Da aber die Oberkanten der beiden Becken gleiches Niveau haben, kann das Wasser im Unterbecken nicht übergehen.

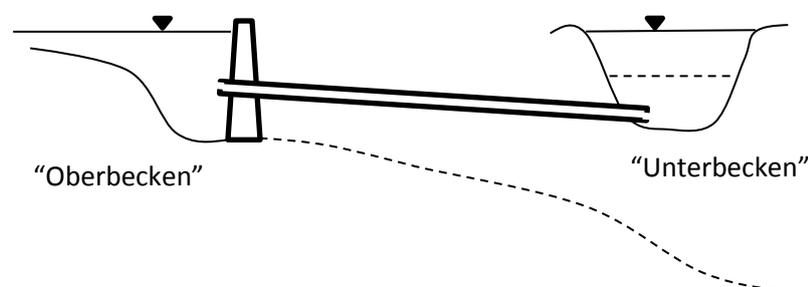


Abbildung 9: Beispiel für einen Regler mit „systemimmanentem“ Regelmechanismus (kein separater Regler):

Bei dieser Überleitung eines Flusses in ein Ausgleichsbecken regelt sich der Volumenstrom ohne externes Einwirken von selbst und geht gegen null, sobald die beiden Becken ausgleichspegelt sind. Der Wasserspiegel im nachgereihten Becken wird immer maximal den Pegel des „Oberbeckens“ erreichen. Somit liegt hier ein Regelsystem vor, das ohne einen expliziten Regler auskommt, da er auf Basis der Systemstruktur systemimmanent vorhanden ist.

Ein anderes Beispiel für eine systemimplizite Regelung ist ein mechanischer (Feder-Masse-System oder Pendel) oder ein elektrischer (Schwingkreis) Schwinger. Das hin- und herpendeln von jeweils kinetischer und potentieller bzw. kapazitiver und induktiver Energie ergibt auch einen einfachen impliziten Regelkreis. Wird die Schwingungsdifferentialgleichung graphisch dargestellt, so entsteht wieder die Struktur eines Regelkreises.

Folgendes Beispiel verdeutlicht, ausgehend von der Differentialgleichung eines Feder-Masse-Dämpfer-Schwingers, den Zusammenhang mit einem Regelkreis. Es handelt sich um einen Regelkreis, welcher aber physikalisch die einzelnen Komponenten von Regler und Strecke beispielsweise nicht ausgeprägt hat, mathematisch sind die Funktionen aber vorhanden.

Ausgehend von der Schwingungsdifferentialgleichung eines Feder-Masse-Schwingers

$$m \ddot{y}(t) + d \dot{y}(t) + cy(t) = u(t)$$

Gleichung 1

m: Masse

d: Dämpfungskonstante

c: Federkonstante

$\ddot{y}(t)$: Beschleunigung

$\dot{y}(t)$: Geschwindigkeit

$y(t)$: Weg

erhält man bei Darstellung dieser in einem Blockschaltbild folgendes Bild:

(m entspricht der Masse, d der Dämpfungskonstante, c der Federkonstante, u(t) der Erregung oder der Eingangsgröße und y(t) dem Weg der Masse oder der Ausgangsgröße.)

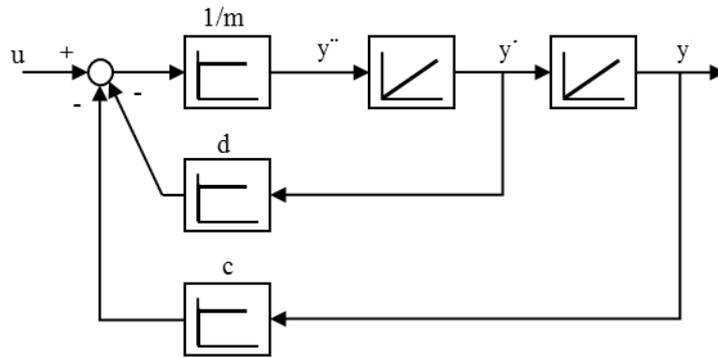


Abbildung 10: Graphische Darstellung der Schwingungsdifferentialgleichung eines Feder-Masse-Schwingers [entnommen aus: H. Unbehauen, 2009, S.2]

Es sind deutlich die Rückkoppelmechanismen des impliziten Regelkreises durch diese Darstellungen erkennbar. Ein vergleichbarer Mechanismus (Selbstregulierung) liegt auch dem Beispiel mit einer Population zu Grunde, welchen sich beispielsweise auf Basis einer Nahrungsmittelfgrundlage einstellt (siehe dazu auch Kapitel 4.3.1 Selbstregulierung).

3.3.2 Mehrfachstrukturen von Regelkreisen

In der Praxis treten sowohl bei technischen Systemen, als auch bei natürlichen oder sozialen Systemen Regelungsstrukturen mit Mehrfachstrukturen auf. Die zu bewältigende Aufgabe wird in Teilbereiche gegliedert, welche für sich in ihrem zugeordneten Bereich agieren. Durch diese Gliederung soll das Regelverhalten des Systems verbessert werden.

Bei technischen Systemen werden zur Verbesserung des Regelverhaltens vermaschte Regelsysteme eingesetzt. Einschleifige Regelstrukturen können bei komplexen Aufgabenstellungen an ihre Grenzen stoßen. Bei Regelstrecken höherer Ordnung bzw. mit eventuell vorhandener Totzeit sowie komplexen Aufgabenstellungen gilt es den Regelkreis hinsichtlich Anstiegsgeschwindigkeit, Überschwingen und Ausregelzeit zu verbessern. Dies kann erforderlich werden, wenn einerseits große Störungen auftreten und andererseits große Verzögerungen zwischen Stell- und Messglied auftreten. Eine Verkürzung der Signalwege, also der Informationsflüsse zwischen den Elementen, insbesondere zwischen Störung und Stelleingriff bringt eine Verbesserung des Regelverhaltens. Damit wird die Störung bereits vor Einwirkung in die Regelstrecke erfasst und kompensiert. Die Störung muss zu diesem Zweck allerdings erfassbar und messbar sein. Jene durch die Erfassung weiterer Größen bewerkstelligte Verkürzung der Informationswege führt zur Erweiterung des

Grundregelkreises und damit zu weiterer Vermaschung des Regelsystems. Dazu gehören die Störgrößenaufschaltung, der Einsatz von Hilfsregelgrößen und die Kaskadenregelung. Mit zunehmender Regelgeschwindigkeit neigt ein Regelkreis allerdings zu Instabilität.

Störgrößenaufschaltung:

Bei der Störgrößenaufschaltung handelt es sich um eine dem Grundregelkreis eingelagerte Steuerung mit dem Ziel, über ein Steuerglied mit entsprechender Übertragungsfunktion die Störung zu kompensieren. Die Störung wird somit vor Einwirkung auf die Regelstrecke erfasst und kompensiert, bevor sie voll auf die Regelgröße einwirkt; es entsteht eine Feed Forward Wirkung. Die Störgröße kann je nach System auf den Regler oder auf das Stellglied aufgeschaltet werden.

Regelung mit Hilfsstellgröße

Zur Gewinnung einer Hilfsregelgröße wird vor der eigentlichen Regelgröße y eine Zwischengröße innerhalb der Regelstrecke gemessen, welche einem Hilfsregler zugeführt wird. Dieses Verfahren wird häufig bei Regelstrecken mit ausgeprägtem Totzeitverhalten angewandt.

Kaskadenregelung

Einen Sonderfall der Hilfsregelgröße stellt die Kaskadenregelung dar. Hierbei wird die Hilfsregelgröße nicht auf das Stellglied geschaltet, sondern es wird dem Hauptregler ein weiterer Regelkreis unterlagert. Hier werden auch eine Verbesserung der Ausregelung von Störungen und eine Beschleunigung des Regelverhaltens des Systems erreicht.

Messung und Rückkopplung:

Ein wesentlicher Teil von Steuer- und Regelsystemen ist die Erfassung von Messwerten und die Einspeisung dieser Werte in das System. Bei einer Steuerung wird ein Wert (Stellgröße) am Anfang der Prozesskette vorgegeben, welcher auf das Steuerglied wirkt. Bei einem Regelsystem kommt dazu noch die Messung der Regelgröße y am Ausgang dazu. Diese Information wird über den Vergleich am Eingang der Prozesskette wieder dem System, dem Regelkreis zugeführt, wodurch der oben beschriebene geschlossene Wirkungsablauf entsteht. Hierbei ist zu unterstreichen, dass unabhängig

vom Physikalischen Prozess, welcher der Regelung unterworfen ist, die Rückkopplung und damit das Schließen des Regelkreises durch Information in welcher Form auch immer erfolgt. Somit ist die Auswahl der Information, also welcher Wert gemessen wird und als Entscheidungsgrundlage wirkt, ein wesentlicher.

Die Informationsgewinnung spielt eine wesentliche Rolle. Es ist von grundlegender Bedeutung, wo welche Information abgegriffen und an welchen Stellen dem System wieder zugeführt wird, also welche Schleifen und Rückkoppelungen gebildet werden. [vgl. H.Unbehauen, 2008, S. 289 ff]

3.3.3 Abtastsysteme und digitale Regeltechnik

Die Vergleiche und systemischen Betrachtungen der einzelnen Disziplinen wurden bisher auf Basis kontinuierlicher Systeme getroffen. Bei Betrachtung von Vorgängen in der Wirtschaft ist erkennbar, dass diese auch zeitdiskret ablaufen. Davon betroffen sind insbesondere Funktionen des Berichtswesens und des Finanzbereiches, welche mit dem Abtastvorgang in der Technik vergleichbar sind. Zur Untersuchung allfälliger Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen in diesem Kontext soll in diesem Kapitel der grundlegende Mechanismus von Abtastsystemen beschrieben werden. Der Fokus liegt bei diesen Betrachtungen auf zeitdiskreten Systemen.

Die Signale können stetig oder auch nicht stetig mit kontinuierlichen Wertebereichen auftreten. Im Folgenden wird der Unterschied zwischen den verschiedenen Formen von Signalen dargestellt. [vgl. Stute, 1981, S.2]

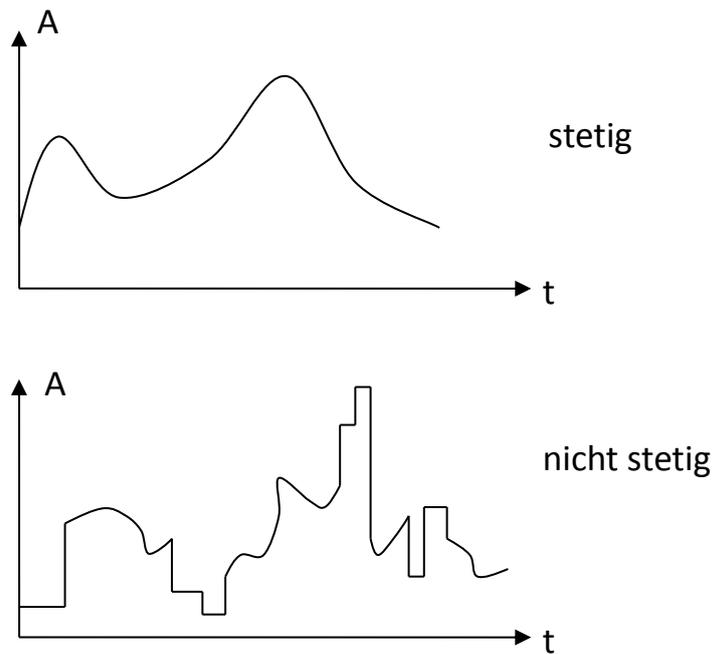


Abbildung 11: Signale mit kontinuierlichen Wertebereichen [vgl. Stute, 1981, S. 2]

Neben den kontinuierlichen Wertebereichen können Signale diskrete (quantisierte) Werte annehmen:

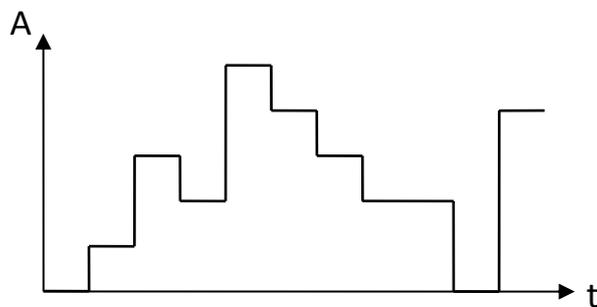


Abbildung 12: Signalverlauf mit zeitdiskreten (quantisierten) Werten [vgl. Stute, 1981, S. 2]

Dieser Signalverlauf ist nicht stetig, er nimmt diskrete (quantisierten) Signalwerte an. Diese oben beschriebenen Signale mit ihren verschiedenen Erscheinungsformen der Darstellung des Wertebereiches sind zeitkontinuierliche Signale, da das Signal, wenn auch unstetig und diskret, zu jedem Zeitpunkt definiert ist.

Sind Signale nicht zu jedem Zeitpunkt definiert, und tritt der Signalwert nur zu bestimmten Zeitpunkten $t_1 \dots t_n$ auf, so liegt ein zeitdiskretes Signal vor. Auch hier kann der Wertebereich zwischen kontinuierlich und diskret unterschieden werden. Bei einem kontinuierlichen Wertebereich kann der Signalwert $u(t)$ zu den bestimmten Zeitpunkten t_n jeden beliebigen Wert annehmen. [vgl: Stute, 1981, S. 38]

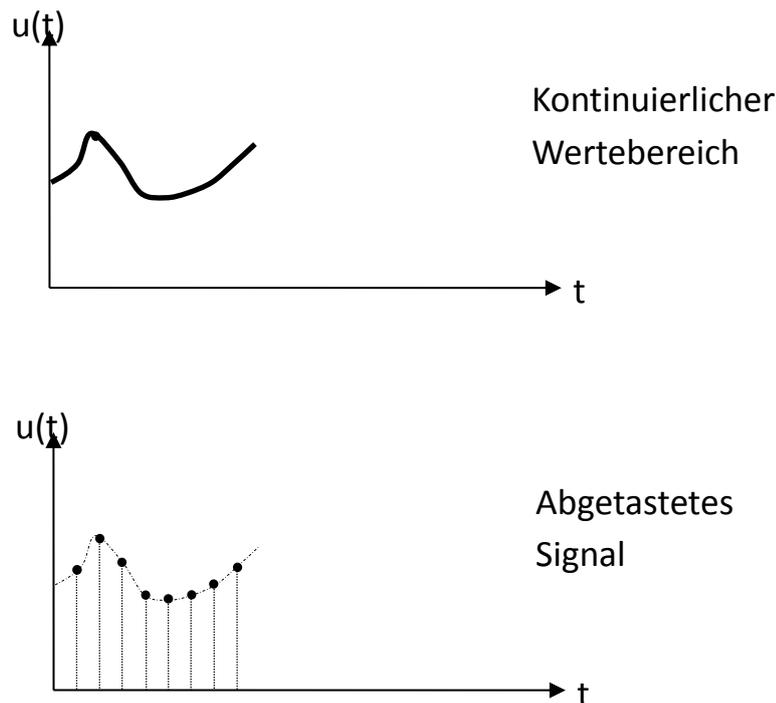


Abbildung 13: Kontinuierlicher und diskreter Wertebereich eines Zeitdiskreten Signales [vgl. Marko, 1986, S. 132]

Die Zeitpunkte t_n des Auftretens des Signals können grundsätzlich beliebig gewählt werden, in der Praxis wird hauptsächlich der mathematische Sonderfall äquidistanter Zeitpunkte gewählt.

Erzeugung von zeit- und wertdiskreten Signalen:

Zeit- und wertdiskrete Signale kommen bei technischen Systemen vorrangig in digitalen Regelsystemen vor. Für die Verarbeitung von Daten mit Prozessrechnern liegt die Prozessinformation diskret und digitalisiert vor. Diese Form der Information entsteht durch Abtasten und Digitalisieren vorliegender analoger Signale. Es entstehen aus analogen, kontinuierlichen Informationen diskrete, deren Größe (Amplitude) sich nach dem Ursprungssignal richtet (amplitudenmoduliertes Signal).

Bisher wurden diverse Signalverläufe, wie zum Beispiel diskret, kontinuierlich, analog oder digital usw. beschrieben. Zur Erzeugung diskreter Signale aus einem kontinuierlichen Signalverlauf wird es abgetastet. Weiter ist dem Abtaster ein Halteglied nachgeschaltet, um den Wert jeweiligen Wert für die Weiterverarbeitung „anstehen“ zu haben. Somit ist ein sogenanntes Abtast-Halteglied vorhanden.

Diese Vorgangsweise das Abtastens und Halten von Werten kommt den wiederkehrenden (Controlling-) Berichten in Unternehmen schon sehr nahe. Auch hier im wirtschaftlichen Bereich wird im Berichtswesen ein Systemzustand (wiederkehrend, meistens zu äquidistanten Zeitpunkten) „abgetastet“, eine definierte Zeit lang „gehalten“ (meistens bis zur nächsten Abtastung) sowie die Information zur Weiterverarbeitung dem System wieder zugeführt. Durch Abtasten wird aus einem, meist kontinuierlich vorliegenden Signal bzw. Informationsquelle eine zeitdiskrete Information gewonnen. Jene zu diskreten Zeitpunkten gewonnene Information steht, wie oben erwähnt meistens bis zur nächsten Abtastung an, da in der Zwischenzeit keine neue Information vorliegt und/oder der Signalverarbeitungsprozess auch eine gewisse Zeit benötigt. Die Terminologie der Abtastung rührt grundsätzlich aus der Technik her, kommt jedoch auch in anderen Disziplinen, wie oben erwähnt in der Wirtschaft ebenfalls vor. Jener in Abbildung 15 dargestellte Signalverlauf basiert grundsätzlich auf technischen Systemen, ist jedoch auch mit einem Berichtswesen in wirtschaftlichen Systemen vergleichbar: Durch das Berichtswesen werden aus Prozessen des Unternehmens zu bestimmten Zeitpunkten Informationen, welche für die weitere Entscheidungsfindung (Kontrollinstanz) dienen zu bestimmten Zeitpunkten (kT_0) entnommen. T_0 kann beispielsweise ein Monat sein, kT_0 wäre in diesem Fall Monatsberichte. Die Analog/Digital-Wandlung (A/D) ist hier nur bedingt vergleichbar und wäre in einem wirtschaftlichen System beispielsweise die Wandlung physikalisch vorliegender Information in monetäre Werte. So kann die Information über die Stückzahl von Produkten in Geldeinheiten dargestellt werden. Diese Information liegt zwar zu einem bestimmten Zeitpunkt vor, wird aber bis zum Vorliegen der nächsten Abtastung Gültigkeit haben. In diesem Zeitraum (kT_0) läuft auch der Prozess der Verarbeitung und Aufbereitung der vorliegenden Information mit allfälliger Entscheidungsfindung (Kontrollinstanz, „Regler“). Die nun neu gewonnene Information wird dem ursprünglich abgetasteten (Grund)prozess wieder zugeführt. Bis zum Vorliegen neuer Information wird diese jüngste Information gültig sein, was in technischen Systemen dem Halteglied gleich kommt. Die in technischen Systemen angeführte Digital-Analog-Wandlung wird entsprechend in wirtschaftlichen Systemen ebenfalls einen allfällig monetären Wert in einen physikalischen Wert umwandeln.

Als Signalverlauf am Eingang des Regelsystems kommen aus den jeweiligen Kernprozessen oder – bereichen des Unternehmens vorliegende Information vor. Das können, wie bereits erwähnt,

physikalische Größen wie Produktionszahlen sein. Als weiteres Beispiel möchte ich hier den Personalstand eines Unternehmens anführen.

Eine Abtastregelung stellt schematisch wie folgt dar:

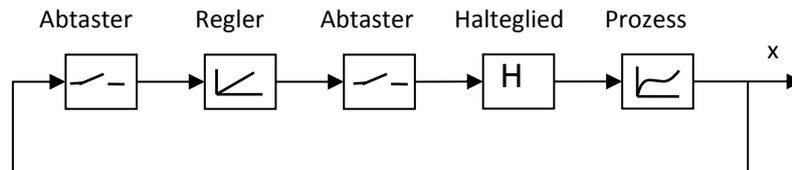


Abbildung 14: Schema einer Abtastregelung

Die schematische Darstellung einer Anwendung mit Elementen der Digitaltechnik sowie einfache Signalverläufe zeigt das folgende Bild:

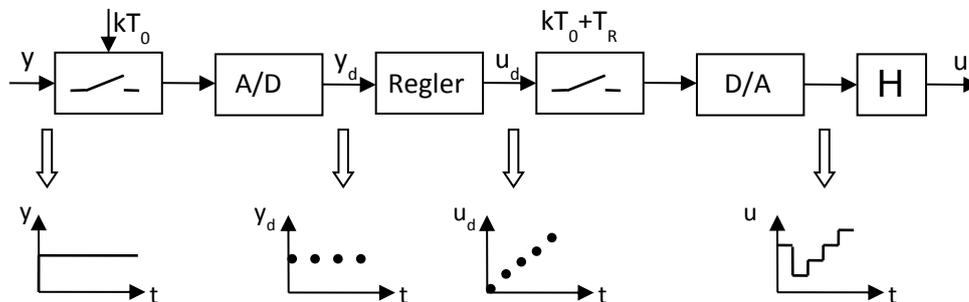


Abbildung 15: Schema der Abtastregelung mit den jeweiligen Signalverläufen [entnommen aus: Isermann, 1987, S. 16]

Mit diesem Regelsystem können teure Geräte mehrfach ausgenutzt werden. Der Regler muss nicht mehr ein spezielles, schwer anpassbares Gerät sein, sondern er kann eine Software sein, die einen bestimmten Regelalgorithmus umsetzt. Weiter kommen solche abgetasteten Signale nicht nur in Regelkreissystemen vor, sondern auch in anderen Disziplinen, wie zum Beispiel bei der Radarortung, Ziehung von Proben bei der Analyse von ökonomischen, biologischen oder meteorologischen Daten. [vgl.: Isermann, 1987, S. 18].

Zeitdiskrete vs. kontinuierliche Signale:

Bei diskreten Signalen liegt der Wert nach der Amplitude oder der Zeit quantisiert vor. Der Unterschied zu kontinuierlichen Signalen, welche stetige Werte annehmen können, liegt nun darin, dass das Signal hier in der Amplitude zu diskreten Zeitpunkten in diskreten Werten vorhanden ist. Zeitdiskrete Informationen beziehungsweise Signale entstehen durch Abtasten kontinuierlich vorliegender Information zu bestimmten Zeitpunkten. Nach dem Abtastvorgang liegt eine Impulsfolge zu vorbestimmten Zeitpunkten vor. In Anlehnung an die Nachrichtentechnik beziehungsweise die Regeltechnik unterscheidet man die Impulsamplituden-, die Impulsbreiten- und die Impulszeitmodulation. Für Untersuchungen an Systemen im Sinne dieser Arbeit wird nur die Impulsamplitudenmodulation herangezogen. Bei der Impulsbreiten- beziehungsweise Impulszeitmodulation liegt die Information über das ursprünglich vorliegende Signal in der Breite der in der zeitlichen Abfolge der gewonnenen Impulse vor. Bei der Impulsamplitudenmodulation steckt die Information des Ursprungssignales in der „Höhe“, der Amplitude einer zeitlich konstanten Abfolge der Impulse. Dieser Vorgang ist verhältnismäßig leicht zu bewerkstelligen, da zu fixen Zeitpunkten der Wert eines Signales übernommen wird und ein Impuls mit dieser Höhe generiert wird. Dieser Vorgang kommt in dieser Form auch in wirtschaftlichen Systemen vor (Berichtswesen). Würde beispielweise eine Impulszeitmodulation in der Wirtschaft angewendet werden, so wäre die Amplitude einer Impulsfolge immer gleichgroß, nur der zeitliche Abstand würde sich in Abhängigkeit der vorliegenden, abzutastenden Information ändern. Solche Systeme sind mir in der Wirtschaft noch nicht aufgefallen.

Eine amplitudenmodulierte zeitdiskrete Impulsfolge entsteht, wie bereits erwähnt, durch Abtastung eines kontinuierlichen Signals, das wie folgt dargestellt ist:

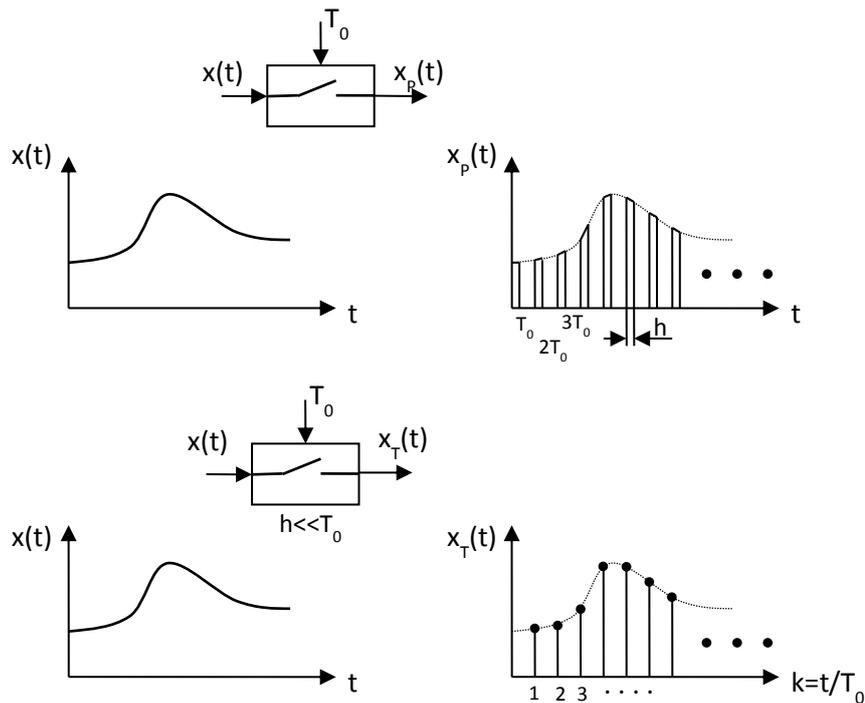


Abbildung 16: Gewinnung der diskreten Werte durch Abtastung [entnommen aus: Isermann, 1987, S. 21]

Ein Schalter erfasst periodisch das stetige, kontinuierliche Signal mit der Periodendauer T_0 (Abtaster) für die Abtastdauer h (Abtastzeit). Durch diese Anordnung entsteht eine amplitudenmodulierte zeitdiskrete Funktion:

$$x \cdot T(t) = x(kT_0) \quad \text{für} \quad t = T_0 \quad \text{und}$$

Gleichung 2

$$x \cdot T(t) = 0 \quad \text{für} \quad kT_0 < t < (k+1)T_0$$

Gleichung 3

Die genaue Herleitung von Stufen- und Impulsfunktion sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur verwiesen, hier ist der überblicksmäßige Unterschied von Stufen und Impulsfunktion dargestellt, sowie das Ersetzen der Impulse durch die δ -Funktion (δ -Impuls). Die Stufen- oder Impulsfunktion ist das Ergebnis der Abtastung und Analog-Digitalwandlung des kontinuierlichen Signals. Zur mathematischen Beschreibung eines solchen Systems bedarf es jedoch einer einheitlichen Darstellung der Signale. Die Modellvorstellung beruht auf einem δ -Abtaster, welcher

eine gewichtete δ -Impulsfolge aus dem ursprünglichen kontinuierlichen Signal erzeugt. Der δ -Abtaster arbeitet in diesem Fall wie ein Modulator. Das Eingangssignal ist das zu modulierende kontinuierliche Signal und die δ -Impulse als Träger gesehen werden können. Die Pfeilhöhe repräsentiert das jeweilige Eingangssignal $[f(t)]$ zum Zeitpunkt $t=kT$, als $f(kT)$. [vgl. Unbehauen, 2009, S. 106 ff]

Wie bereits vorhin dargestellt, lassen sich bei kleiner werdender Abtastzeit h ($h \ll T$) die Impulse eine δ -Impulsfolge approximieren:

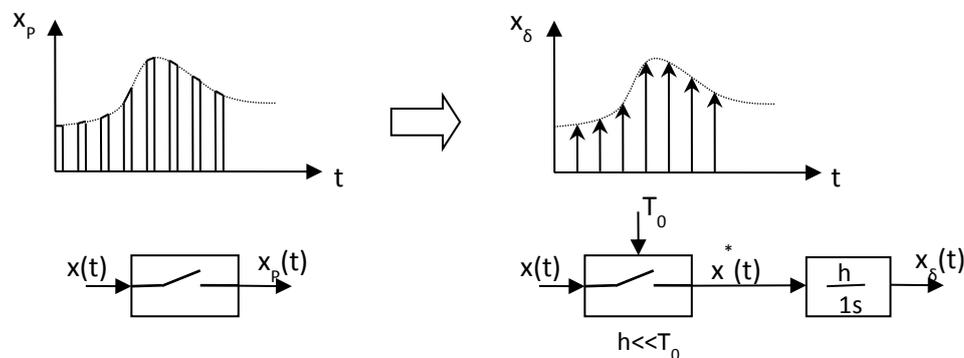


Abbildung 17: Generierung der Impulsfolge [entnommen aus: Isermann, 1987, .S 26]

Zur zweckmäßigen mathematischen Behandlung zeitdiskreter mathematischer Funktionen ist es sinnvoll, die Impulsfolge $x_p(t)$ durch sogenannte δ -Impulse zu approximieren, welche dann in weiterer Folge der Untersuchung des Systemverhaltens, insbesondere der Stabilität dient. Die δ -Impulsfolge $x_\delta(t)$ tritt nur in den Zeitpunkten $t = kT_0$ auf, ist also nur in diesen Zeitpunkten existent.

Unter gewissen Voraussetzungen wird die δ -Impulsfolge wie folgt angeschrieben:

$$x(t) = \sum_{k=0}^{\infty} x(kT_0)\delta(t - kT_0)$$

Gleichung 4

Die Betrachtung der Impulsfolge $x_p(t)$ und deren Approximation im Frequenzbereich führen zur Fouriertransformation. [vgl. Isermann, 1987, S. 28]

Stabilität von Abtastsystemen:

Wie bei analogen Systemen gibt es bei Abtastsystemen ebenfalls Stabilitätskriterien, welche durch numerische oder graphische Verfahren durchgeführt werden. Zur Ermittlung des Verhaltens des Systems wird hier die Methode mit den Wurzeln der Charakteristischen Gleichung vorgestellt. Je nach Lage der Pole kann das Systemverhalten abgeleitet werden.

Die Übertragungsfunktion eines linearen Systems sei wie folgt angegeben: [entnommen aus: Isermann, 1987, S. 54]

$$G(z) = \frac{y(z)}{u(z)} = \frac{B(z)}{A(z)} = \frac{(b_0 z^m + b_1 z^{m-1} + \dots + b_m) z^{n-m}}{z^n + a_1 z^{n-1} + \dots + a_n} = \frac{(z - z_{01})(z - z_{02}) \dots (z - z_{0n})}{(z - z_1)(z - z_2) \dots (z - z_n)}$$

Gleichung 5

Zur Untersuchung des Systemverhaltens bedarf es der Lösung der homogenen Differentialgleichung, um die Pol- und Nullstellen zu finden:

Durch Nullsetzen des Nenner Polynoms ($A(z) = 0$) erhält man die Pole, durch Nullsetzen des Zählerpolynoms ($B(z) = 0$) die Nullstellen der z -Übertragungsfunktion. Das Eigenverhalten des Prozesses wird durch die Pole beschrieben, und wird maßgeblich durch seine internen Kopplungen bestimmt. Daher sind die Pole maßgeblich für die Stabilität. Das Wirken der Eingangsgrößen auf die internen Größen und wie diese die Ausgangsgrößen beeinflussen wird durch die Nullstellen angegeben.

$$y(k) = K_1 z_1^k + \dots + K_n z_n^k, K \geq 0$$

Gleichung 6

Das folgende Bild zeigt einige Beispiele für das Systemverhalten und den Zusammenhang mit der Lage der Pole:

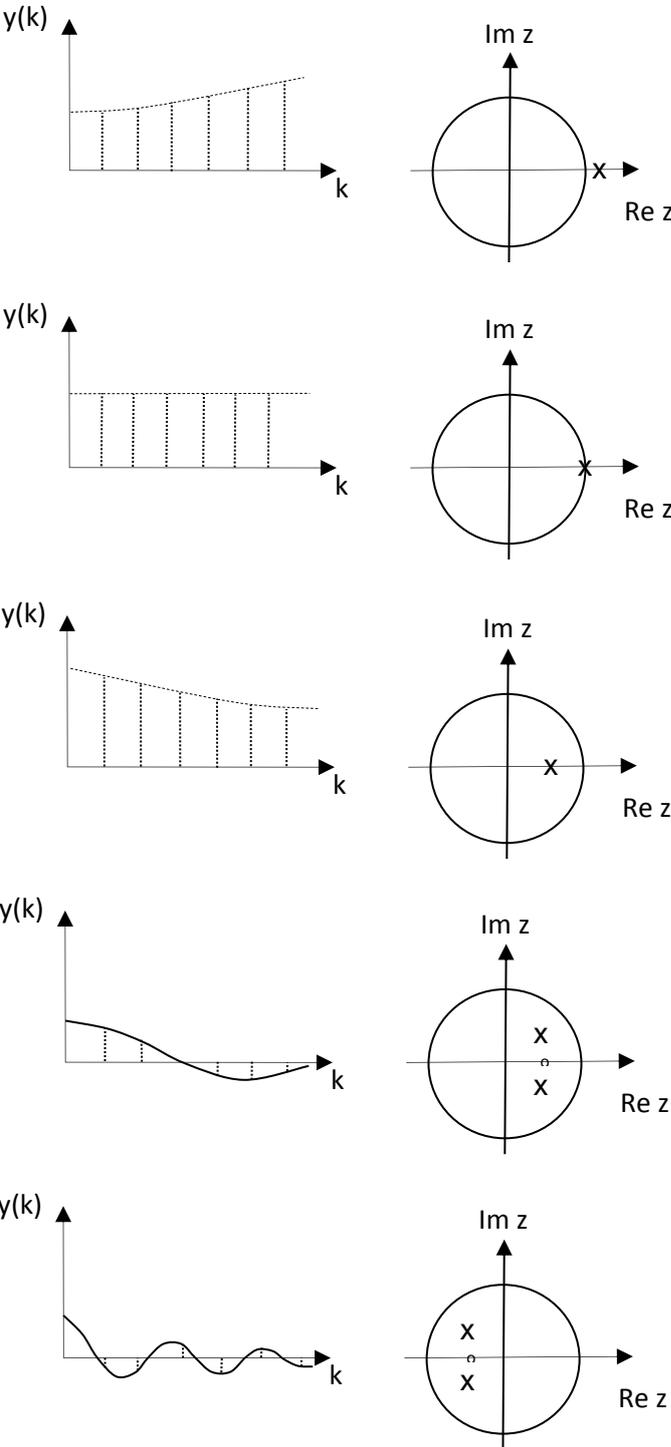


Abbildung 18: Zusammenhang von Systemverhalten und Lage der Pole [entnommen aus: Stute, 1981, S. 52]

Neben der graphischen Stabilitätsuntersuchung existieren verschiedene weitere graphische, algebraische oder numerische Verfahren zur Stabilitätsuntersuchung, auf die hier nicht weiter eingegangen wird.

Mit den hier nun beschriebenen rein technischen Themen aus der Regelungstechnik geht es um die Erläuterung des Verhaltens einzelner Regelkreiselemente sowie das Systemverhalten von Regelkreisen. Ein grundlegender Punkt des Verhaltens ist die Stabilität von Systemen.

Ein kontinuierliches Signal in wirtschaftlichen Systemen liegt meistens durch Information über kontinuierliche Prozesse vor. Meistens handelt es sich um physikalische Größen aus kontinuierlichen Produktionen, wie beispielsweise Energiegewinnung in Laufkraftwerken (Energienmenge in der Zeit) oder eine Papiermaschine im Schichtbetrieb (Massenoutput). Werden nun diese kontinuierlich vorliegenden Werte zu bestimmten Zeitpunkten erfasst, als abgetastet, so entsteht dadurch eine zeitdiskrete Informationsreihe. Das kann beispielweise die Kosten für den wöchentlichen Rohstoffeinsatz sein oder auch ein monatlicher Umsatz aus einem bestimmten Produkt. Die Tageseinnahmen an einer Kinokasse liegen ebenfalls zeitdiskret, eben tageweise, vor. Die Zeitabstände können zwar regelmäßig, aber doch höchst unterschiedlich sein. Bei Jahresbilanzen ist das kT_0 beispielsweise 1 Jahr.

3.4 Dynamisches und Statisches Verhalten von Systemen

Bei Systemen wird gewöhnlich zwischen dem statischen und dynamischen Verhalten unterscheiden. Der zeitliche Verlauf der Systemausgangsgröße bei vorgegebener Systemeingangsgröße wird durch das dynamische Verhalten beschrieben. Die allgemeine Darstellung der Verknüpfung von Eingangs- und Ausgangsgröße erfolgt durch einen Operator P:

$$X_a(t) = P[X_e(t)]$$

Gleichung 7

Im folgenden Beispiel sei die Sprungantwort eines RC-Gliedes betrachtet:

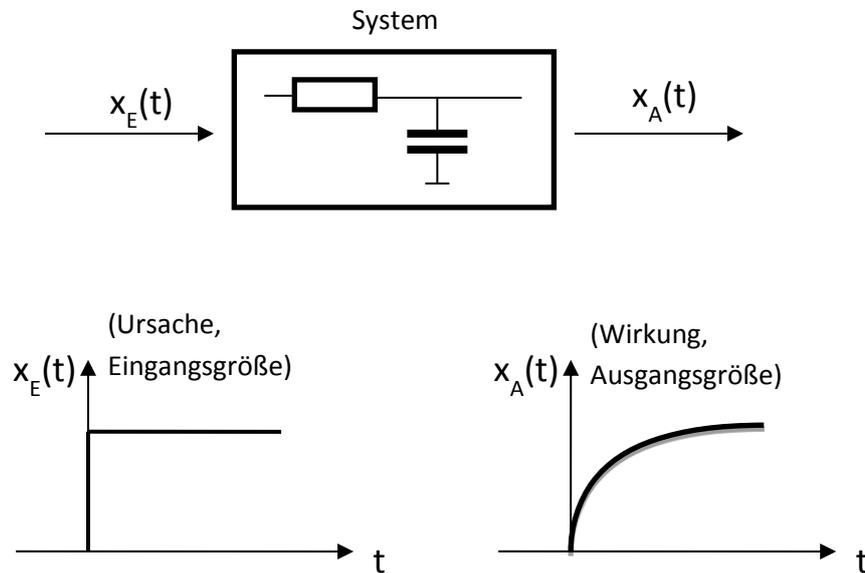


Abbildung 19: Beispiel für das dynamische Verhalten eines Systems, in diesem Fall ein RC-Glied. [Göldner, 1987, S. 14, bzw. H. Unbehauen, 2008, S. 23 u. S. 92 ff]

In diesem Fall wird ein System mit einer Sprungfunktion am Eingang beaufschlagt, wodurch das System am Ausgang entsprechend dem Verhalten eines RC-Gliedes mit einer Verzögerung reagiert (dynamisches Verhalten). Das System geht von einem stationären Anfangszustand $t < 0$ in einen stationären Endzustand für theoretisch $t = \infty$. Wird nun für verschiedene Sprunghöhen des Eingangssignales x_E die stationären Werte der jeweiligen Ausgangswerte aufgetragen, so entsteht die statische Kennlinie des Systems.

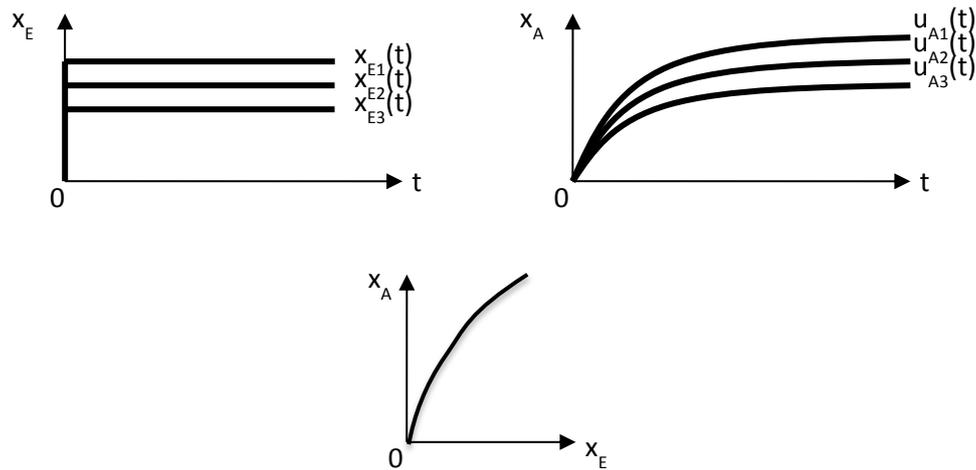


Abbildung 20: Beispiele für das dynamische und statische Verhalten eines Systems [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 23]

3.5 Allgemeine Eigenschaften von Regelsystemen

Obwohl hier technische Regelsysteme beschrieben werden, sind bestimmte Verhaltensmuster für dynamische Systemen generell, also auch für andere Disziplinen, gültig. Ein mathematisches Modell lässt sich dann erstellen, wenn sich das Verhalten eines Systems aufgrund von physikalischen oder anderen Gesetzmäßigkeiten analytisch erfassen oder durch Messung bestimmen lässt. Daraus kann wiederum eine mathematische Beschreibungsform erstellt werden. Differentialgleichungen, algebraische oder logische Gleichungen bilden mathematische Modelle. Mit zunehmender Komplexität der Systeme werden die mathematischen Modelle jedoch sehr umfangreich. Differentialgleichungen höherer Ordnung oder aufwändige Optimierungsaufgaben lassen sich oft nur mehr numerisch und/oder mit hohem Rechenaufwand lösen.

Die folgende Tabelle stellt Gesichtspunkte zur Beschreibung der Eigenschaften von Regelsystemen dar, welche für lineare oder nichtlineare Systeme zutrifft [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 21]

Systeme mit konzentrierten Parametern/Systeme mit verteilten Parametern
Zeitinvariante/Zeitvariante Systeme
Kontinuierliche/Zeitdiskrete Systeme
Deterministische/Stochastische Systeme
Kausale/Nichtkausale Systeme
Stabile/Nichtstabile Systeme
Eingrößen/Mehrgrößensysteme

Tabelle 2: Gesichtspunkte zur Beschreibung der Eigenschaften von Regelsystemen [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 21]

Es kann die Frage nach dem Sinn der Suche nach mathematischen Modellen gestellt werden. Mathematische Modelle dienen der Analyse und Synthese von Regelsystemen und können so auch am Rechner simuliert werden. Wie bereits erwähnt, ist die Erfassbarkeit entsprechender Größen Voraussetzung und der Umfang des mathematischen Modells darf die Grenzen der Rechenkapazität nicht sprengen. Oft kann die Darstellung eines realen Systems in abstrahierter Form durch ein mathematisches Modell vereinfacht werden, es muss jedoch darauf geachtet werden, das System noch genügend genau zu beschreiben.

Zur detaillierten Beschreibung von Regelkreiselementen und deren Zusammenwirken, wie beispielsweise P, I oder D-Glieder und deren Kombinationen mit entsprechendem Verhalten wird auf die einschlägige Literatur verwiesen, insbesondere auf: [H. Unbehauen, 2008, Regelungstechnik I und II sowie Lutz/Wendt, 2010, Taschenbuch der Regelungstechnik].

Die Beschreibung der technischen Systeme konzentriert sich hier auf jene Bereiche, welche aufgrund des „Auslösers“ für diese Arbeit für die Analyse der Analogien wichtig erscheinen. Dazu gehören insbesondere:

- Vergleichbare Strukturen
- Schwingungsverhalten und gegebenenfalls Resonanzerscheinungen
- Messung und Abtastung/“Sample and Hold“

Bei komplexen Systemen können die in der Tabelle angeführten Eigenschaften oft mehrfach vorkommen. Darüber hinaus verschwimmen in sozialen Systemen Trennung von Regler und geregelter System. Die Kybernetik II. Ordnung sieht Organisationen nicht strikt getrennt als Regler

und geregeltes System sondern als sich selbst organisierende, reproduzierende Systeme. Es können aber trotzdem die in technischen Systemen vorkommenden Regelkreisstrukturen auftreten.

Welche Verhaltensmuster können nun bei dynamischen Systemen auftreten?

Das Systemverhalten wird durch die Struktur und die Elemente des Systems grundsätzlich vorgegeben. Durch Rückkopplungsschleifen ergeben sich beispielsweise verstärkende oder ausbalancierende Verhaltensmuster („reinforcing“, bzw. „balancing“), das Zusammenwirken von Elementen verschiedener Disziplinen wie institutionelle und physische, ergeben sich Nichtlinearitäten. Folgende grundlegende Systemverhaltensmuster nach Sterman erscheinen für die Betrachtung von Analogien als sinnvoll:

- Exponentielles Wachstum (bzw. Abklingen)
- Konvergierendes Annähern an einen Grenzwert
- S-förmiges Annähern an einen Grenzwert
- Schwingung
- Anwachsende Schwingung
- Gedämpfte Schwingung
- Annähern an einen Grenzwert mit Überschwingen

[vgl: Sterman, 2000, 108 ff]

Regelungssysteme können ob ihrer unzähligen Erscheinungsformen und Strukturen die unterschiedlichsten Verhaltensmuster zeigen. Das wesentliche Kriterium ist die Stabilität von Systemen. Instabile Regelkreise sind unbrauchbar, weswegen die Stabilitätsuntersuchung von Regelkreisen besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Aber auch stabile Regelungen werden entsprechend den Anforderungen bezüglich ihres Verhaltens hin eingestellt und optimiert. So kann beispielsweise nach einer Sprungaufschaltung der Führungsgröße die Regelgröße in unterschiedlichem Tempo ihre neue Zielgröße erreichen. Ein Wert kann sich langsam einem Ziel annähern, aber auch schnell und/oder mit Überschwingen.

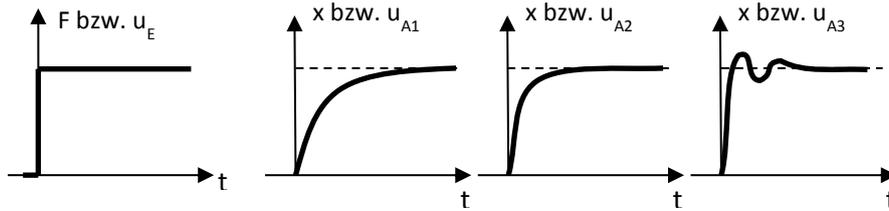


Abbildung 21: Beispiele für die Annäherung eines Ausgangssignals an einen Sprung am Eingang eines Systems

Die Eigenschaften der Regelsysteme werden durch das Zusammenwirken der Eigenschaften der Elemente gebildet. Dabei ist zu berücksichtigen, dass für sich stabile Elemente in Kombination eine instabile Gesamtheit ergeben können. Ein Beispiel dafür bilden unabhängige Speicher (z.B. Induktivität oder Kapazität), welche für sich noch keine Instabilität aufweisen, in einem Schwingkreis jedoch instabil sein können. Es ergeben sich Eigenfrequenzen, gedämpfte oder ungedämpfte Schwingungen.

Bei digitalen Regelsystemen spielt neben den elementaren Systemeigenschaften die Informationsgewinnung und –verarbeitung in Form der Abtastung eine Rolle. Das Systemverhalten, insbesondere die Stabilität eines Abtastregelsystems wird u.a. auch von der Abtastrate beeinflusst. Trotz der Mannigfaltigkeit der Verhaltensmuster von Regelungssystemen gibt es Erfahrungswerte für die Einstellung von Regelkreisen, wie die empirischen Einstellregeln des folgenden Kapitels zeigen.

3.6 Empirische Einstellregeln für Regelsysteme

Die Elemente eines Systems müssen aufeinander abgestimmt sein, damit ein stabiles Systemverhalten und damit Funktionieren des Gesamten auftritt. Bei Regelsystemen verhält sich das gleichermaßen, Regler und Strecke, bzw. Strecken müssen aufeinander abgestimmt sein. In überschaubaren technischen Systemen lassen sich die einzelnen Elemente meistens mit mathematischen Modellen darstellen und berechnen. Werden Systeme zu komplex, lassen sich mathematische Modelle vielleicht noch aufstellen aber eine Lösung der Gleichungssysteme ist analytisch oft nicht mehr möglich. Eine Möglichkeit besteht auch in der empirischen Erfassung vom Systemverhalten und Auswertung der Ergebnisse.

Viele industrielle Prozesse oder bzw. Erscheinungen in diversen Disziplinen weisen Übergangsfunktionen mit rein aperiodischem Verhalten auf. Diese Verhaltensmuster können Übergangsfunktionen von PT_n -Gliedern ganz gut beschrieben werden. Eine hinreichend gute

Approximation lässt sich mit einem Verzögerungsglied 1.Ordnung und einem Totzeitelement erreichen. Die folgende Darstellung zeigt die Annäherung der Übergangsfunktion eines PT_n -Gliedes durch die eines PT_1 -Gliedes mit Totzeitelement.

$$G_S(s) = \frac{K_S}{1 + s \cdot T_S} e^{-T_t s}$$

Gleichung 8

Für Regelsysteme der hier beschriebenen Art wurden in unzähligen Versuchen, Berechnungen, Simulationen oder Modellierungen die Einstellregeln für ein gutes Funktionieren ermittelt. Am weitesten verbreitet sind die Einstellregeln nach Ziegler und Nichols. Die wesentliche Aussage dieses Abschnittes ist die Notwendigkeit der Abstimmung der Parameter von Strecke(n) und Regler aufeinander. Bei dieser empirischen Methode ist das Kennen der Übertragungsfunktion explizit nicht notwendig, es werden die Parameter aus der Sprungantwort der Regelstrecke ermittelt.

Nach [H. Unbehauen, 2008, S 206 ff bzw. Lutz/Wendt, 2010, Seite 441 ff] ergeben sich die Einstellregeln für Regelsysteme nach Ziegler und Nichols wie in folgender Tabelle dargestellt:

Regler	K_R	T_I	T_D
P-Regler	$\frac{T_S}{K_S \cdot T_t}$	-	-
PI-Regler	$0,9 \cdot \frac{T_S}{K_S \cdot T_t}$	$3,33 \cdot T_t$	-
PID-Regler	$1,2 \cdot \frac{T_S}{K_S \cdot T_t}$	$2,0 \cdot T_t$	$0,5 \cdot T_t$

Tabelle 3: Einstellregeln für Ziegler und Nichols [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S 206 ff bzw. Lutz/Wendt, 2010, S. 441 ff]

Viele Prozesse lassen sich durch das bereits angesprochene Modell eines Totzeitgliedes T_t mit einer PT_1 Strecke mit der Streckenverstärkung K_S und der Verzögerungszeit T_S annähern. In der obigen Tabelle sind die entsprechenden Parameter der jeweiligen Regler ersichtlich.

Wenn die Daten der Regelstrecke nicht vorliegen, dann wird die optimale Reglereinstellung nach folgendem Verfahren ermittelt: die Regelstrecke wird einmal mit einem reinen Proportionalregler betrieben und die Reglerverstärkung K_R so lange erhöht, bis die bei einer kritischen Verstärkung $K_R=K_{Rkrit}$ der Regelkreis seine Stabilitätsgrenze erreicht und zu schwingen beginnt. Die gemessene Periodendauer der T_{krit} wird für die Ermittlung der Reglerparameter herangezogen:

Regler	K_R	T_I	T_D
P-Regler	$0,50 \cdot K_{Rkrit}$	-	-
PI-Regler	$0,45 \cdot K_{Rkrit}$	$0,83 \cdot T_{krit}$	-
PID-Regler	$0,60 \cdot K_{Rkrit}$	$0,50 \cdot T_{krit}$	$0,125 \cdot T_{krit}$

Tabelle 4: Experimentelle Ermittlung von Reglereinstellwerten [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 442]

Weitere Einstellregeln für Regler wurden von Chien, Hrones und Reswick erstellt, welche auf Basis der Sprungantwort von Regelstecken mit Verzögerung und ohne Überschwingen ermittelt werden. Es werden Einstellregeln für aperiodischen Regelverlauf sowie 20%igem Überschwingen angegeben und sie sind anwendbar bei einem Verhältnis der Ausgleichszeit T_g zur Verzugszeit T_u $T_g/T_u > 3$. [vgl. Lutz/Wendt, 2010, S. 443 ff]

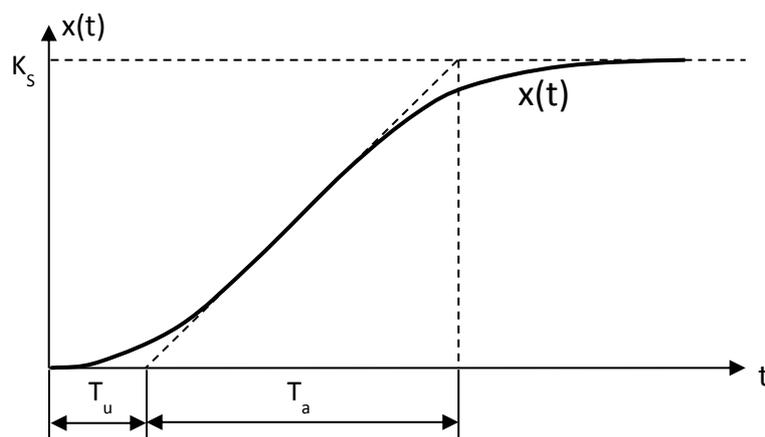


Abbildung 22: Sprungantwort einer Strecke [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443]

Auf Basis der vorliegenden Kurve für die Annäherung des Verhaltens von Regelstrecken wurden von Chien, Hrones und Reswick folgende Einstellwerte ermittelt. Die erste Tabelle sieht Werte für die

Optimierung hinsichtlich Störverhalten, die zweite Tabelle sieht eine Optimierung hinsichtlich Führungsverhalten vor.

Regler-Typ		Aperiodischer Regelverlauf mit 0% Überschwingen bei Störungssprung	Regelverlauf mit 20% Überschwingen bei Störungssprung
P-Regler	K_R	$0,3 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
PI-Regler	K_R	$0,6 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
	T_N	$0,4 \cdot T_u$	$2,3 \cdot T_u$
PID-Regler	K_R	$0,95 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$1,2 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
	T_N	$2,4 \cdot T_u$	$2,0 \cdot T_u$
	T_V	$0,42 \cdot T_u$	$0,42 \cdot T_u$

Tabelle 5: Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick für die Optimierung des Störverhaltens [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443]

Regler-Typ		Aperiodischer Regelverlauf mit 0% Überschwingen bei Führungssprung	Regelverlauf mit 20% Überschwingen bei Führungssprung
P-Regler	K_R	$0,3 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$0,7 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
PI-Regler	K_R	$0,35 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$0,6 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
	T_N	$1,2 \cdot T_u$	$1,0 \cdot T_u$
PID-Regler	K_R	$0,6 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$	$0,95 \cdot \frac{T_a}{K_S \cdot T_u}$
	T_N	$1,0 \cdot T_u$	$1,35 \cdot T_u$
	T_V	$0,5 \cdot T_u$	$0,47 \cdot T_u$

Tabelle 6: Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick für die Optimierung des Führungsverhaltens [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443]

Der Kern sämtlicher Untersuchungen des Verhaltens von Systemen zielt auf die Abstimmung der Elemente aufeinander ab. Dazu gehören Optimierungen und die Auslegung stabiler Systeme. Der

Großteil von Berechnungen und Modellversuchen kommen aus dem technischen Bereich, angesichts der interdisziplinär vergleichbaren Verhaltensweisen von Systemen sind Verhaltensmuster jedoch auch in anderen Disziplinen anwendbar. Die Schwierigkeit ist die mathematische Erfassung und Modellierung der Systeme. Die Praxis hat jedoch gezeigt, dass gewisse Verhaltensmuster immer wieder auftreten und oft das Verhalten höchst komplexer Systeme durch Standardfunktionen näherungsweise erfasst werden können. Die Abstimmung der Verhaltensmuster der einzelnen Systemkomponenten aufeinander ist eine unabdingbare Forderung für das Funktionieren von Systemen. Somit muss der Regler jedenfalls auf die Eigenschaften der Regelstrecke hin abgestimmt sein. Oder anders ausgedrückt muss der Regler bei seiner Funktion die Eigenschaften des zu regelnden Systems berücksichtigen.

Die meisten interdisziplinären Systemvergleiche werden auf Basis analoger Systeme durchgeführt. Gerade bei wirtschaftlichen Systemen kommt eine Taktung bzw. kommen zeitdiskrete Vorgänge zum Vorschein. Das Systemverhalten getakteter bzw. zeitdiskreter Systeme wird unter anderem auch von der Takt- bzw. Abtastrate beeinflusst. Für die Ermittlung der Einstellwerte wird die Sprungantwort der Regelstrecke heran gezogen.

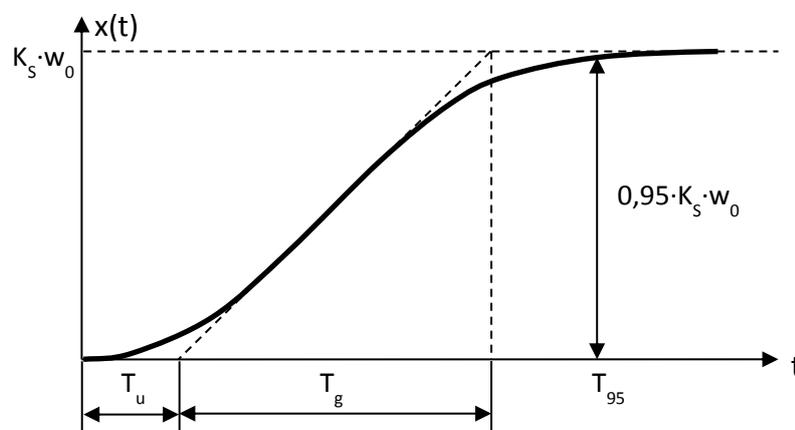


Abbildung 23: Kenngrößen der Sprungantwort [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 498]

Die Abtastzeit von (quasikontinuierlichen) Regelkreisen wird dann aus der folgenden Tabelle abgeleitet:

Zeitkonstante	Anzahl der Abtastungen innerhalb der ZeitkenngroÙe	Abtastzeit
T_u	2 bis 5	$0,2 \cdot T_u \leq T \leq 0,5 \cdot T_u$ gültig für $T_g/T_u < 12$
T_g	≥ 10	$T \leq 0,1 \cdot T_g$
T_{95}	10 bis 20	$0,05 \cdot T_{95} \leq T \leq 0,1 \cdot T_{95}$

Tabelle 7: Ermittlung der Abtastzeit aus den Kenngrößen der Sprungantwort [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 498]

3.7 Eigenschaften hinsichtlich Stabilität

3.7.1 Definition der Stabilität und Stabilitätsbedingungen

Mit der Stabilität wird eine der wichtigsten Eigenschaften des Verhaltens von Systemen charakterisiert, und sie bildet einen Grundbegriff in der Biologie, Physik, Technik oder in der Ökonomie. Grundsätzlich handelt es sich bei der Beschreibung der Stabilität um eine gewisse Beständigkeit im Systemverhalten. Die Stabilität spielt eine zentrale Rolle im Systemverhalten und ist eine unabdingbare Voraussetzung für ein funktionierendes System. Das Einwirken der Stellgröße auf die Regelgröße erfolgt grundsätzlich verzögert. Der Grund dafür liegt in den physikalischen Eigenschaften der Regelstrecke(n). Die Verzögerungen entstehen immer dann, wenn die Energieinhalte von Speichern geändert werden.

Von Regelsystemen wird erwartet, dass sie möglichst schnell eine Abweichung des Istwertes vom Sollwert ausregeln, bzw. den Istwert rasch einer neuen Sollwertvorgabe nachführen. Mit steigender Geschwindigkeit nimmt allerdings die Stabilität des Regelkreises ab. Es ist daher eine wichtige Aufgabe, beim Entwurf eines Regelsystems einen Kompromiss zwischen Schnelligkeit und Stabilität zu erzielen. In Kapitel 3.3 bei der Beschreibung des Unterschiedes von Steuerung und Regelung wurde bereits ausgeführt, dass ein Regelsystem durch den geschlossenen Wirkungsablauf instabil werden kann. Dies wirkt sich beispielsweise durch das Auftreten von Schwingungen aus, deren Amplituden (nur theoretisch) ins Unendliche anwachsen können. Ein System wird als stabil bezeichnet, wenn es auf jedes beschränkte Eingangssignal mit einem beschränkten Ausgangssignal antwortet, in seiner Ruhelage verbleibt bzw. nach Anregung von außen wieder in seine Ruhelage

zurückkehrt. Für ein lineares, zeitinvariantes System definiert sich die Stabilität so, dass das Ausgangssignal der Gewichtsfunktion (Impulsantwortfunktion) für $t \rightarrow \infty$ zu Null wird:

$$g(t \rightarrow \infty) \rightarrow 0.$$

Die mathematische Untersuchung der Stabilität von Regelsystemen setzt voraus, dass sich das System in einem mathematischen System darstellen und dann auch entsprechend lösen lässt. Für lineare, zeitinvariante Systeme niedriger Ordnung, beispielsweise bis 2. Ordnung lassen sich die Differentialgleichungen noch analytisch lösen. Treten hingegen komplexere Systeme auf so wird die Modellierung aufwändiger bzw., wenn vorhanden, dann treten mathematische Modelle höherer Ordnung auf, welche analytisch oft nicht mehr lösbar sind. Da selbst in technischen Systemen der Komplexitätsgrad groß werden kann, werden verschiedene Verfahren zur Ermittlung der Stabilität herangezogen. Mit Hilfe der Laplace-Transformation lassen sich beispielsweise lineare kontinuierliche Systeme im Frequenzbereich beschreiben und entsprechend lösen. Dazu wird eine Funktion unter bestimmten Voraussetzungen vom Zeitbereich $f(t)$ durch eine Transformation im Frequenzbereich $F(s)$ abgebildet. Im Frequenzbereich werden oft bessere Einblicke über das Systemverhalten erzielt, als im Zeitbereich. Weiter werden die Differentiation und Integration im Original- bzw. Zeitbereich als einfache algebraische Funktionen im Bildbereich dargestellt. [vgl. H. Marko, 1986, S.23]

Generell kann festgehalten werden, dass für die Stabilität von Regelungssystemen eine Abstimmung der einzelnen Systemelemente aufeinander erfolgen muss. Bestimmte Regelstrecken lassen sich beispielsweise nicht mit jedem Regler bzw. Regelverhalten beherrschen.

Die Stabilitätsuntersuchung wird mit Hilfe der Übertragungsfunktion $G(s)$ des zu betrachtenden Systems durchgeführt. Lineare, kontinuierliche, zeitinvariante Systeme mit konzentrierten Parametern lassen sich mit gewöhnlichen Differentialgleichungen beschreiben, welche ursprünglich im Zeitbereich definiert sind. Wendet man die Laplace-Transformation an, ergibt sich eine gebrochen rationale Funktion von s . So kann beispielsweise bei bekannter Eingangsgröße $X_e(s)$ und gegebener Übertragungsfunktion $G(s)$ die Laplace Transformierte der Ausgangsgröße ermittelt werden:

$$X_a(s) = G(s) X_e(s)$$

Gleichung 9

Nun kann aus dieser Übertragungsfunktion, welche die grundlegenden Systemeigenschaften des Übertragungssystems beschreibt, Aussagen über die Stabilität getroffen werden. Dabei wird $G(s)$ als gebrochen rationale Funktion mit einem Zählerpolynom $Z(s)$ und einem Nennerpolynom $N(s)$ wie folgt dargestellt [vgl. H. Unbehauen, 2008, S 73]:

$$G(s) = k_0 \frac{(s - s_{N_1})(s - s_{N_2}) \dots (s - s_{N_m})}{(s - s_{P_1})(s - s_{N_2}) \dots (s - s_{N_n})}$$

Gleichung 10

Ein lineares zeitinvariantes Regelsystem gilt dann als stabil, wenn die Pole der Übertragungsfunktion in der linken s -Ebene liegen, also für die Wurzeln der charakteristischen Gleichung nur negative Realteile vorhanden sind. Im Umkehrschluss ist ein lineares System dann instabil, wenn mindestens ein Pol seiner Übertragungssystem in der rechten s -Ebene ($s = \sigma + j\omega$) liegt, bzw. wenn mindestens ein mehrfacher Pol auf der Imaginärachse zu liegen kommt:

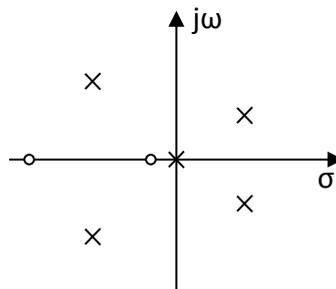


Abbildung 24: Beispiel für eine Pol- Nullstellenverteilung einer gebrochen rationalen Funktion in der s -Ebene (x : Polstelle, o : Nullstelle) [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 73]

Das Aufstellen und Lösen der Gleichungen kann auch in technischen Bereichen sehr aufwendig werden. Dazu gibt es numerische oder graphische Verfahren, mit deren Hilfe festgestellt werden kann, ob ein Regelsystem stabil ist. Das Ergebnis sind sogenannte Stabilitätskriterien, mit Hilfe derer die Stabilität überprüft werden kann.

In der Literatur sind dazu die Beiwertbedingung, das Hurwitz-Kriterium oder das Routh-Kriterium für die Untersuchung der Stabilität angeführt. Die besondere Herausforderung bei der Stabilitätsuntersuchung ist die Ermittlung der charakteristischen Gleichung bzw. die Übertragungsfunktion des zu untersuchenden Regelsystems. Liegen komplexe Systeme vor, so steigt

der Grad der jeweiligen Differentialgleichung, wodurch eine analytische Lösung nicht mehr möglich bzw. nur mehr mit enormem Aufwand möglich ist. [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 141 ff]

Grundsätzlich liegt allen Verfahren die gleiche Definition zu Grunde, sodass ein System dann als stabil gilt, wenn die betrachtete System(n) von sich selbst oder nach einer Anregung von außen einen beschränkten Bereich nicht verlassen. Durch das Zusammenwirken von verschiedenen Elementen in einem System können aus ursprünglich für sich stabilen Elementen instabile Systeme werden. [vgl. R. Unbehauen, Systemtheorie, S 123 ff]

3.7.2 Praxisbeispiele zum Verhalten von Regelsystemen und Stabilitätsuntersuchung

Wird der Aspekt betrachtet, dass rückgekoppelte Systeme mit ihren unterschiedlichen Energiespeichern und Verzögerungen grundsätzlich schwingungsfähige Gebilde darstellen können, so wird ersichtlich, dass Regler und Strecke(n) jedenfalls aufeinander abgestimmt sein müssen um Instabilität zu vermeiden.

Bisherige Untersuchungen haben gezeigt, dass das Verhalten von Systemen aus verschiedenen Disziplinen vergleichbar ist und sich die Prozesse oft durch Standardfunktionen annähern lassen. So treten die bereits in Kapitel 3.5 erwähnten Verhaltensmuster wiederkehrend in verschiedenen technischen, biologischen aber auch in wirtschaftlichen Systemen auf.

Sämtliche auch für nichtlineare oder nicht stetige Systeme geltenden Stabilitätsbedingungen basieren auf dem gleichen Grundprinzip. Nichtlineare Systeme werden z.B. in einem gewissen Bereich linearisiert, um dann wieder die Stabilitätskriterien anzuwenden. Zur Erläuterung der Verfahren zur Stabilitätsbestimmung wird auf die einschlägige Literatur verwiesen.

Der Grundgedanke hinsichtlich Stabilität von Systemen liegt im Zusammenwirken der einzelnen Systemelemente. Es können die einzelnen Elemente für sich zwar stabil sein, deren Kombination aber ein schwingungsfähiges Gebilde ergeben. Weiter gibt es bestimmte Kombinationen von Systemelementen, welche eine sogenannte Strukturinstabilität ergeben. So kann eine I oder IT_1 Strecke beispielsweise nicht mit einem PI-Regler betrieben werden.

3.7.2.1 Analoger Regelkreis

Anhand dieses Beispiels ist ersichtlich, dass die Eigenschaft des Reglers (in diesem Fall die Verstärkung des Reglers K_P) von den Parametern der Strecke abhängen. In vielen Systemen kommen Strecken mit Totzeiten vor, welche beispielsweise von Massetransporten herrühren. Das folgende Beispiel zeigt, wie die Reglerverstärkung von den charakteristischen Größen der Strecke abhängt:

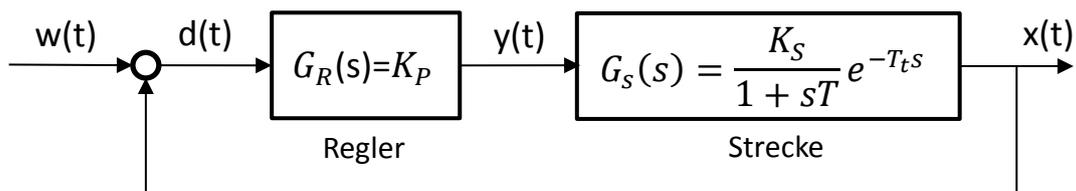


Abbildung 25: Beispiel eines analogen Regelkreises mit Totzeitverhalten der Strecke [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 160]

$w(t)$ Führungsgröße, $d(t)$ Regeldifferenz; $y(t)$ Stellgröße; $x(t)$ Regelgröße

Wird für den dargestellten Regelkreis mit Totzeitstrecke die Stabilitätsuntersuchung gemacht so ergibt sich ein Bereich für die Reglerverstärkung K_p , wo der Regelkreis stabil arbeitet [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, Seite 160 ff]:

$$0 \leq K_R < \frac{T_t \cdot \omega_2}{K_S \cdot \sin T_t \cdot \omega_2}$$

Gleichung 11

3.7.2.2 Abtastregelkreis

Viele Vergleiche dynamischer Systeme werden auf Basis analoger, also zeit- und wertekontinuierlicher Systeme gemacht. Die grundsätzlichen Analogien von Systemen verschiedener Disziplinen lassen sich so sehr gut darstellen. Gerade in wirtschaftlichen Systemen treten hingegen zeitdiskrete Vorgänge auf. Einerseits sind (ausgenommen in bestimmten Schichtbetrieben beispielsweise, da hier ein zeitkontinuierlicher Prozess abläuft) die Prozesse selbst von zeitdiskretem

Vorgang und andererseits funktionieren Steuerungs- und Regelmechanismen nach zeitdiskreten Mustern. So sind beispielsweise Abteilungsleiter- oder Lenkungsausschusssitzungen genauso zu bestimmten Zeitpunkten, wie das Controlling in Betrieben, was mit der Abtastung in der digitalen Regeltechnik vergleichbar ist. Zu bestimmten Zeitpunkten werden durch Messung Werte dem Regelkreis entnommen, einer Bewertung zugeführt, berechnet und neue Werte dem Regelkreis wieder zugeführt. Digitale, sogenannte Abtastregelkreise funktionieren nach dem gleichen Prinzip.

Die Funktionsweise von digitalen Regelsystemen wurde bereits in Kapitel 3.3.3 erläutert, ein Beispiel soll wiederum die Abhängigkeit des Funktionierens eines Regelkreises von den charakteristischen Parametern verdeutlichen:

Gegeben sei ein Regelkreis nach folgendem Schema:

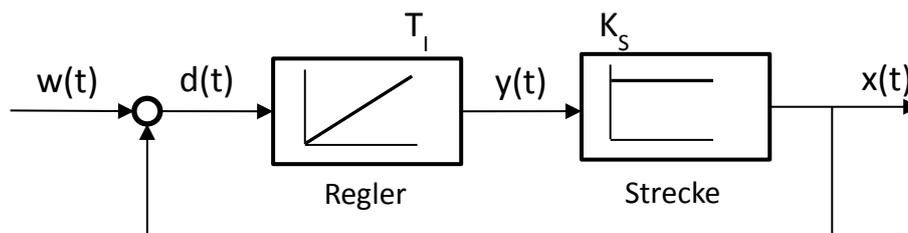


Abbildung 26: Beispiel eines Regelkreises mit I-Regler und Proportionalstrecke [entnommen aus: Lutz/Wendt, S. 483]

Ausgehend vom Integralalgorithmus nach Typ I für einen digitalen Regelkreis erhält man für die Stellgröße y_k folgende Gleichung:

$$y_k = y_{k-1} + \frac{T}{T_I} \cdot x_{d,k-1}$$

Gleichung 12

Auf Basis dieser Gleichung folgt die Gleichung für die Regelgröße x_k :

$$x_k = \left(1 - K_S \cdot \frac{T}{T_I}\right) \cdot x_{k-1} + K_S \cdot \frac{T}{T_I} \cdot w_{k-1}$$

Gleichung 13

Nach Anwendung der Vorgaben für die Stabilität von Abtastregelkreisen, also die Nullstellen der Charakteristischen Gleichung müssen innerhalb des Einheitskreises zu liegen kommen ($|z_1| < 1$) ergibt sich für die Stabilität des angeführten Beispiels:

$$\left|1 - K_S \cdot \frac{T}{T_I}\right| < 1$$

Gleichung 14

Aus dieser Gleichung ist ersichtlich, dass neben der Streckenverstärkung K_S und der Integrationszeitkonstante des Reglers die Abtastzeit auch die Stabilität des Regelkreises beeinflusst!

Die Stabilität von dynamischen Systemen ist eine Grundvoraussetzung für die Funktion der Systeme. Es können einzelne Elemente oder Bereiche von Systemen für sich alleine stabil sein, die Kombination davon kann jedoch instabile Anordnung ergeben. Daraus folgt, dass die Eigenschaften der Teilsysteme beim Systemdesign berücksichtigt werden und aufeinander abgestimmt werden müssen. Wie aus den beiden Beispielen ersichtlich, wird die Stabilität des Gesamtsystems von den charakteristischen Größen der Teile beeinflusst. In einem Abtastregelkreis beeinflusst dazu noch die Abtastrate die Stabilität des Systems. Die große Herausforderung ist die Ermittlung der jeweiligen mathematischen Modelle zur Beschreibung der Verhaltensmuster als Basis für die Ermittlung der Stabilität. [vgl. Lutz/Wendt, 2010, S. 483]

3.8 Systemverhalten hinsichtlich Führungs- und Störgrößen

Bei Regelkreisen wird zwischen Führungs- und Störungsverhalten unterschieden und beim Störungsverhalten noch zwischen der sogenannten Versorgungs- und Laststörung. Bei der Versorgungstörung greift die Störgröße am Eingang der Regelstrecke an, bei der Laststörung am Ausgang der Regelstrecke.

Der Regelkreis soll einerseits Änderungen der Führungsgröße rasch und ohne bleibende Regeldifferenz folgen, Störungen sollen hingegen ebenfalls schnell ausgeregelt werden.

Es ergeben sich folgende Beziehungen für die Regelgröße $x(s)$, die Regeldifferenz $x_d(s)$, die Versorgungsstörgröße $z_1(s)$, Laststörgröße $z_2(s)$ sowie die Reglerübertragungsfunktion $G_R(s)$ und die Streckenübertragungsfunktion $G_S(s)$ für die jeweiligen Größen:

Führungsübertragungsverhalten:

$$x(s) = \frac{G_R(s) \cdot G_S(s)}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot w(s)$$

Gleichung 15

$$x_d(s) = \frac{1}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot w(s)$$

Gleichung 16

Versorgungsstörungsverhalten:

$$x(s) = \frac{G_S(s)}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot z_1(s)$$

Gleichung 17

$$x_d(s) = \frac{-G_S(s)}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot z_1(s)$$

Gleichung 18

Laststörverhalten:

$$x(s) = \frac{1}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot z_2(s)$$

Gleichung 19

$$x_d(s) = \frac{-1}{1 + G_R(s) \cdot G_S(s)} \cdot z_2(s)$$

Gleichung 20

Aus diesen Gleichungen ist ersichtlich, dass der Ort des Einwirkens der jeweiligen Größen am Regelkreis unterschiedliche Auswirkungen auf des Übertragungsverhalten und die bleibende Regeldifferenz hat. Beim Störungsverhalten ist erkennbar, dass sich Versorgungsstörungen stärker auf des Verhalten auswirken können, als Laststörungen und bei den Versorgungsstörungen noch eine bleibende Regeldifferenz wahrscheinlicher ist. [vgl. Lutz/Wendt, 2010, S. 195 ff]

3.9 Analogien und Isomorphie technischer Systeme:

In der folgenden Tafel sind verschiedene Objekte unterschiedlicher physikalischer Gebiete dargestellt, wo gleiche Ursachen gleiche (qualitative) Wirkungen hervorrufen.

Die jeweiligen Eingangs- bzw. Ausgangsgrößen haben – abgesehen von festen Parametern bzw. Koeffizienten- gleiche Charakteristik. Aus der folgenden Tafel sei zuerst das Beispiel mit dem RC-Glied als Tiefpass betrachtet. Wird an das System mit entladem Kondensator zum Zeitpunkt $t=0$ eine Spannung $u=const.$ angelegt (Sprungfunktion), so wird sich die Ausgangsspannung wie dargestellt entsprechend der Ladekurve eines Kondensators einstellen. Wird das mechanische Analogon eines Federsystems mit Dämpfer mit einer Kraft F ebenfalls sprunghaft beaufschlagt, bewegt sich die Platte um den Weg x , wobei $x(t)$ wie die Ausgangsspannung von vorhin eine 1-EXP-Funktion einnehmen wird. Physikalisch sind beide Systeme grundverschieden, ihr Verhalten auf eine Sprungfunktion (Sprungverhalten) ist von gleicher Charakteristik.

Elektrisches Modell	Mechanisches Modell	Eingangsgröße	Ausgangsgröße

Abbildung 27: Beispiele von Systemisomorphie [abgeleitet von H. Unbehauen, 2008, S. 38]

Bei den obigen Beispielen bestehen die Systeme aus mehreren Gliedern, die einander beeinflussen. Die Wirkungsübertragung ergibt sich durch die Kopplung der einzelnen Glieder, und somit das jeweilige spezifische Verhalten des betrachteten Systems. Eine wichtige Voraussetzung für das Funktionieren des Systems ist die Struktur der Glieder im System, wodurch das System seine spezifischen Eigenschaften erhält. Je nach gewünschter Systemeigenschaft ergibt sich eine bestimmte Struktur durch die Anordnung der Glieder des Systems. Nach Vorliegen der Struktur bzw. Eigenschaften der Einzelteile lässt sich die Systemeigenschaft beschreiben, also modellieren. Daraus entstehen mathematische Funktionen, welche die Spezifika definieren. Daraus leitet sich die symbolische Darstellung von Systemen mit zum Beispiel Blöcken und Signalfussbildern ab. Hier zeigt

sich die neutralisierte bzw. standardisierte, vom jeweiligen System unabhängige Darstellungsform mit für bestimmte Systemeigenschaften spezifischen Eigenschaften.

4 Wirtschaftliche Systeme aus Sicht der Systemtheorie sowie beispielhafte Vergleiche

Es stellt sich nun die Frage, welches Forschungsgebiet sich für den Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Systemen eignet. Wie bereits in den vorigen Kapiteln beschrieben, eignet sich die Systemtheorie besonders für den interdisziplinären Vergleich von Systemen. Wir rufen uns dazu noch einmal die Erkenntnisse der Systemtheorie, wie sie in Kapitel 2 dargestellt wurden, in Erinnerung. Ungeachtet der Disziplin geht es letztendlich um die gezielte Beeinflussung von Systemen und deren Verhalten. Durch den systemischen Ansatz werden bestimmte, wiederkehrende Strukturen und Verhaltensmuster in den verschiedenen Disziplinen erkennbar und auch vergleichbar. Trotz der grundsätzlich unterschiedlichen Herkunft der betrachteten Systeme kann durch die geeignete Wahl der Beobachtung eine Vergleichbarkeit erkannt werden.

Typische Eigenschaften der betrachteten Systeme sind die Regelkreisstrukturen in den verschiedensten Ausprägungen und die dazugehörigen Verhaltensmuster. Deshalb wurde auch für den technischen Teil, dargestellt in Kapitel 3, die Regeltechnik gewählt. Wie bereits oben formuliert, sollen nun die Parallelen dazu in wirtschaftlichen Systemen gesucht und diskutiert werden. Dazu folgt nun die Beschreibung wirtschaftlicher Systeme aus Sicht der Systemtheorie und die Darstellung der vergleichbaren Regelungsstrukturen. Eine wesentliche Stütze dafür ist die Managementkybernetik sowie die Betrachtung wirtschaftlicher Bereiche als dynamische Systeme.

4.1 Allgemeines

Zur Beschreibung wirtschaftlicher Systeme im Sinne dieser Arbeit sind Begriffe wie „systemisches Management“, „Managementsysteme“, „Management komplexer Systeme“, „Kybernetik“ oder „das Unternehmen als dynamisches System“ im Vordergrund. Wesentlich bei der Beschreibung von Systemen ist der Standpunkt des Beobachters, so auch bei der Betrachtung von Unternehmungen oder Teilen davon als Systeme.

Die Untersuchung wirtschaftlicher Systeme im Sinne dieser Arbeit basiert auf Erfahrungswerten aus der Praxis im Management und aus Aufgaben in verantwortlicher Position. Dies führt zur Betrachtung dieser wirtschaftlichen Systeme aus dem systemischen Blickwinkel. Bei Anwendung des Systemischen Ansatzes ist erkennbar, dass zwischen wirtschaftlichen und technischen Systemen vergleichbare Strukturen und Verhaltensmuster auftreten. Es gibt aber auch wesentliche

Unterschiede zwischen den Disziplinen der Wirtschaft und Technik, die nicht wegzudiskutieren sind. Eine grundlegende Eigenschaft wirtschaftlicher Systeme liegt im Einfluss menschlicher Aspekte. So wird sich beispielsweise eine humane Einflussnahme nicht einfach mit einem PI-Regler vergleichen lassen können, wenngleich menschliches Regelungsverhalten durchaus auch standardisierte technische Verhaltensmuster enthalten kann.

Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse der Kybernetik II. Ordnung sind in Systemen Regler und Strecke, wie sie in technischen Systemen vorkommen, an sich nicht mehr getrennt betrachtet. Technische Systeme sind außerdem nur begrenzt autopoietisch und selbstlernend, zumindest was die Hardware oder Strukturen betrifft. Selbstreferenzielle Regelungssysteme und entsprechende adaptive Regler haben jedoch sehr wohl Anleihe in der Kybernetik genommen und können durchaus als Selbstlernende Systeme betrachtet werden.

Wirtschaftliche Systeme, insbesondere Unternehmen bzw. soziotechnische Systeme sind höchst komplexe Systeme mit Herausforderungen im Management, welche zur Lösung systemische Denkmuster erfordern. Stafford Beer hat in mehreren Jahrzehnten kybernetischer Forschung das Modell des lebensfähigen Systems entwickelt, Malick baut mit der Strategie des Managements komplexer Systeme auf diesen Ergebnissen auf. Weitere wertvolle Forschung und Inputs auf diesem Gebiet kommen von Schwaninger, beispielsweise hinsichtlich systemischen Managements.

Zur Untersuchung der Analogien von Systemen verschiedener Disziplinen, insbesondere jener der technischen und wirtschaftlichen Systeme im Sinne dieser Arbeit, bilden die bisherigen Forschung auf dem Gebiet der Managementkybernetik und der Betrachtung von Unternehmungen als Lebensfähige Systeme eine wertvolle Basis. Es wurde schon relativ früh mit dem Gedanken der Kybernetik im Management bzw. Betrachtung von wirtschaftlichen Systemen experimentiert und geforscht [Watzlawick, Wiener, Beer, ...]. Die von Beer getätigten Forschungen haben gezeigt, dass sich die Strukturen von lebensfähigen Systemen mit ihren Rekursivität und geschlossenen Wirkungsabläufen in Unternehmungen wiederfinden.

So kann beispielsweise der Betriebsleiter eine Steuerungsinstanz sein, welche der nachgeordneten Einheit Sollwerte vorgibt. Solch eine nachgereichte Einheit kann ein Team, bestehend aus Arbeitern mit einem Meister sein. Der Meister würde dann bei diesem Modell den Regler für seine operationelle Einheit darstellen, welcher vom Betriebsleiter die Sollwerte oder Führungsgrößen, wie diese im technischen Jargon bezeichnet werden, erhält. Über entsprechende Informationskanäle werden die Rückkoppel- bzw. Feedbackschleifen gebildet. Hier ist zu beachten, dass bei Zeitverzögerungen in den Feedback- oder Feedforwardschleifen beispielsweise das Korrigieren von allfälligen Ist-Sollwertabweichungen durch Gegenmaßnahmen ungenügend sein kann. Weiter bildet

sich durch jedwede Zeitverzögerungen in Regelkreissystemen, wie beispielsweise Totzeitverhalten, potentielle Schwingungsneigung bzw. Neigung zu Instabilität. [vgl. Ulrich, 1970, S. 217]

4.2 Wirtschaftliche Systeme im Vergleich mit Technischen

4.2.1 Darstellung wirtschaftlicher Systeme als "Black Box"

Wirtschaftliche Systeme, insbesondere Unternehmungen, bilden zweckorientierte und gesteuerte Systeme, welche – ähnlich wie Technische – durch Eingangsgrößen beschickt werden. Im System werden Prozesse umgesetzt, am Ausgang erscheinen oder erscheint die Ausgangsgröße(n). Bei einem Produktionsbetrieb sind die Eingangsgrößen beispielsweise Rohmaterialien oder Halbfertigwaren, die fertigen Produkte sind am Ausgang die Ausgangsgrößen. Es können aber genauso der Umsatz oder der einbehaltene Gewinn Ausgangsgrößen sein. Wie bereits in den vorigen Kapiteln beschrieben, bildet der Beobachter die Systemabgrenzung und legt die Ausgangs- und Eingangsgrößen fest. Wie in technischen Systemen kann ich in Wirtschaftlichen eine Darstellung gemäß Abbildung 3 eines Systems mit Eingangs- und Ausgangsgrößen gewählt werden:

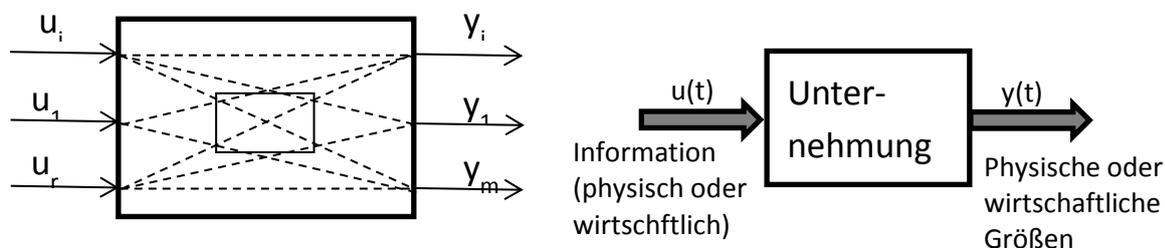


Abbildung 28: Darstellung einer Unternehmung als Blackbox [vgl. dazu Abbildung 3]

In Abbildung 29 ist das Beispiel einer Input-Output-Beziehung in einem Unternehmen anhand eines Organigramms dargestellt. Es werden die Rohstoffe oder Materialien einem Prozess bzw. Prozessen zugeführt, welcher in diesem Fall als Produktionsprozesse angenommen sind. Die Fertigprodukte verlassen das System „Unternehmen“, getrieben durch den Vertrieb:

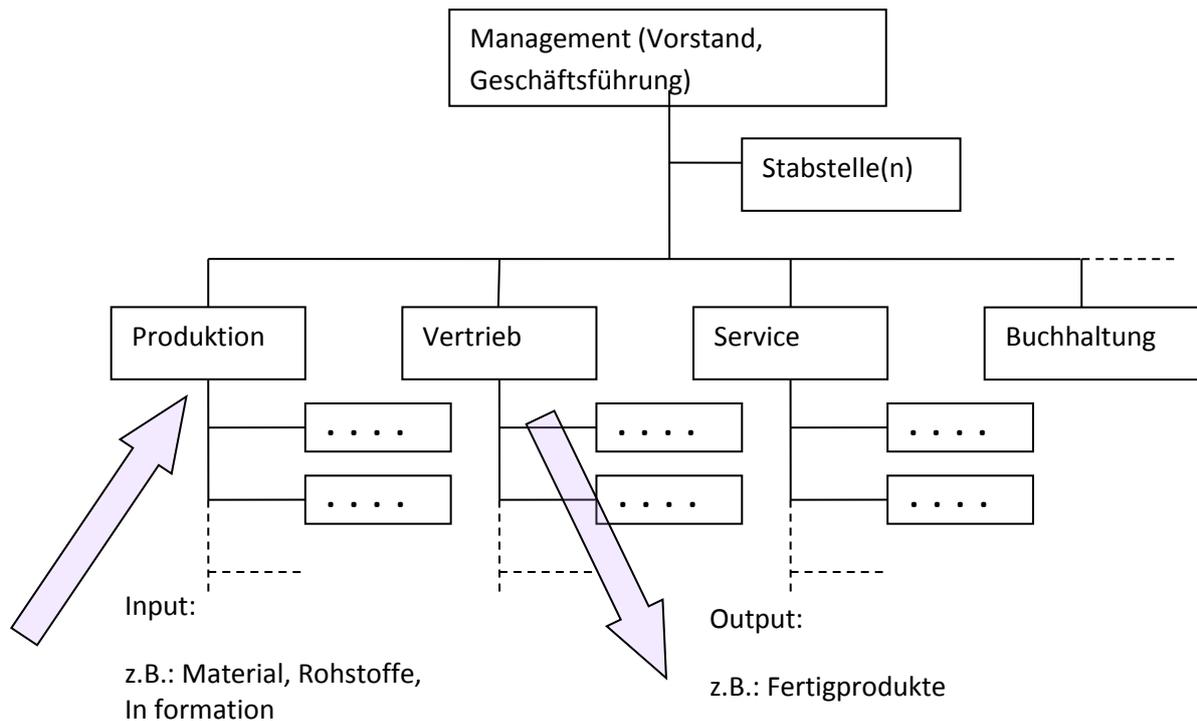


Abbildung 29: Beispiel einer Unternehmensstruktur als Organigramm mit entsprechend gewählten Eingangs- und Ausgangsbereichen und Bezug auf Abbildung 28

Wie oben beschrieben obliegt es dem Beobachter, welche Größen es zu beobachten wert sind und welche Einheiten dafür verwendet werden.

4.2.2 Steuerungs- und Regelungsmechanismen in wirtschaftlichen Systemen

Eine wesentliche Erscheinungsform in all den Untersuchungen und kybernetischen Betrachtungen ist der geschlossene Wirkungsablauf und dadurch entstehende Regelkreise, welche in den verschiedensten Disziplinen, wie der Biologie, in sozialen oder technischen Systemen auftreten. Im technischen Teil dieser Arbeit wurde die positive und negative Rückkopplung mit ihren jeweiligen Auswirkungen bereits beschrieben, wie auch der Grundmechanismus der Regelung mit entsprechendem Systemverhalten und Auswirkung auf das Stabilitätsverhalten.

Regelungssysteme werden auch in kombinierten Strukturen als Mehrfachregelungen in Form von kaskadierten Regelsystemen oder Hilfsregelkreisen etabliert. Neben wichtigen Parametern, wie beispielweise der Regelgüte oder Geschwindigkeit eines Regelkreises ist die Stabilität das wichtigste Kriterium überhaupt. Ein instabiler Regelkreis als solcher ist unbrauchbar.

Die wesentliche Eigenschaft des geschlossenen Wirkungsablaufes ist die Erkennung von Störungen und deren automatisches Entgegenwirken (zumindest bis zu einem gewissen Grad). Es gibt eine Vielzahl von Einflussmöglichkeiten, welche als solche gar nicht im Vorhinein bekannt sein müssen. Das Regelsystem reagiert auch ohne die explizite Kenntnis der möglichen Störbeeinflussungen auf Störungen und ergreift zweckmäßige Korrekturmaßnahmen, um wieder den Sollzustand herbeizuführen.

Einfache technische Regelkreise haben Komponenten, die eindeutig der Funktion des Regels und/oder Steuerns zugeordnet sind, wie beispielsweise der Schwimmer einer Flüssigkeitspegelregelung oder der Thermostat mit Regelgerät einer Heizungsanlage. Die einzelnen Komponenten sind einfach zu identifizieren und haben im Normalfall genau definierte Transferfunktionen, welche meistens zeitinvariant sind. Systemziele werden grundsätzlich von außen in Form einer Führungsgröße beispielsweise gesetzt. Der Weg der Information ist klar, die Struktur ist einfach und es ist feststellbar, wofür jede Komponente da ist. Die Eigenschaften des Systems mit seinen Systemzusammenhängen sind determiniert.

Technische Regelsysteme können hingegen oft weitaus komplizierter und komplexer sein, je nach Anwendungs- oder Einsatzgebiet. Selbstlernende Systeme haben auch in der Technik Einzug gehalten; Fuzzy-Systeme oder Systeme nach kybernetischem Vorbild sind darunter zu finden.

Es gibt auch Regelsysteme, welche nicht aus speziellen Systemkomponenten, wie einem Regler, der zu regelnden Einheit, Sensoren, Stellgliedern usw. bestehen. Sie sind gewissermaßen „von außen“ zugeführt worden, um ein selbstregulierendes Gebilde zu ergeben. Die Zielwerte bei expliziten (meistens technischen mit einzelnen Komponenten ausgestatteten) Regelkreisen sind ebenfalls nicht systemimmanent, sondern von außen zugeführt. Die angesprochene implizite oder auch systemimmanente Regelung hingegen ist ein selbstregelndes System, welches aufgrund seiner Struktur diese Eigenschaft aufweist. Die Rückkopplung als Basis für die Selbstregulierung ist systemimmanent und resultiert aus der Struktur des Systems. Diese Systeme können gar nicht anders, als sich (selbst) zu regulieren, wie in der Kybernetik II. Ordnung beschrieben. [vgl. Schwaninger, 1994, S.14ff]

Wie sind nun die Regelungsmechanismen in wirtschaftlichen Systemen vorhanden?

Die Kunst ist nun das Erkennen der Regelmechanismen in wirtschaftlichen bzw. sozioökonomischen Systemen unter Berücksichtigung der Erkenntnis der Kybernetik zweiter Ordnung sowie impliziter Regelung.

Schwaninger führt zu den systemtheoretisch-kybernetischen Grundlagen im Sinne von „Kybernetik und Management“ drei Punkte aus:

1. *LENKEN: Kybernetik ist ursprünglich die Wissenschaft von der Lenkung; Management ist entsprechend der Beruf der Lenkung [...]. Die Kybernetik studiert den Informationsfluss eines Systems sowie die Vorgänge der Regelung und der Steuerung [...], mit dem es sich selbst unter Kontrolle hält. Management ist somit zum einen die Ausgabe des Sich-selbst-unter-Kontrolle-Haltens eines Systems.*
2. *GESTALTEN: Unter Gestaltung verstehen wir das Konzipieren eines Systems als handlungsfähige Ganzheit. Dabei rückt die neuere Kybernetik die Funktion der Selbstorganisation, also des Sich-selbst-Konzipierens in den Vordergrund.*
3. *ENTWICKLEN: Der Begriff „Entwickeln“ kann nicht nur im deskriptiven („Ein System hat sich auf eine bestimmte Weise entwickelt“), sondern auch im präskriptiven Sinne („das System soll sich in eine bestimmte Richtung entwickeln“) verwendet werden. Im letzteren Fall wird die Funktion des „Sich-selbst-Umstrukturierens“ angesprochen. In der vorausschauenden Änderung der eigenen Strukturen kommt eine höhere Form der Anpassung („Adaption“) zum Tragen, welche für soziale Systeme spezifisch ist. Aber eine Unternehmung entwickelt nicht nur sich selbst. Sie kann darüber hinaus die umfassenderen Systeme, deren Teil sie ist, in einem Prozess der Koevolution schöpferisch mitgestalten und –entwickeln. [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 16 ff]*

Ein Managementsystem erfüllt somit wesentlich mehr Aufgaben, als es vergleichsweise technische Systeme tun. Es umfasst hohe Komplexität und die Anforderung, selbst zu entwickeln, es „besser zu tun“ im Sinne einer komplexen Zielorientierung.

Die angesprochene Komplexität, mit der oft Führungskräfte konfrontiert sind, definiert sich aus einer Eigenschaft, welche eine große Anzahl von Zuständen annehmen kann. In der Kybernetik wird die Komplexität durch die „Maßzahl Varietät“ ausgedrückt. Die Varietät drückt die mögliche Anzahl von Zuständen eines Systems aus und impliziert quasi den Verhaltensspielraum, die Verhaltensmöglichkeiten, bzw. das Verhaltensrepertoire. Mit Gleichung 21 wird quasi der Komplexität ein Wert, eine Maßzahl zugeordnet und als Varietät bezeichnet: [vgl: Ulrich, 1970, S. 116]

$$V = m \cdot \frac{n(n-1)}{2}$$

Gleichung 21

- V: Varietät
n: Anzahl der Elemente
m: Anzahl der Beziehungen zwischen jeweils zwei Elementen

Die Varietät lässt sich aber auf Basis der Anzahl der Elemente berechnen, wie die folgende Gleichung zeigt: [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 18]

$$V = z^n$$

Gleichung 22

- z: Anzahl der Zustände je Element
n: Anzahl der Elemente

Die grundlegende Gegebenheit im Management ist geprägt durch eine überwältigende Komplexität. Es stehen im Normalfall Führungskräfte bzw. jene durch sie geleiteten Organisationen Situationen gegenüber, welche sie prinzipiell überfordern, da die Varietät der Situation meistens eine größere als die eigene ist. Die Komplexitätsbewältigung erscheint hier als erste Aufgabe im Management. Will nun diese Aufgabe bewältigt werden, wird sich die Varietät des Managements gegenüber der Situation erhöhen müssen und jene der Situation gegenüber dem Management vermindern; jene des Managements muss ich also verstärken, und jene der Situation dämpfen.

Zur Bewerkstelligung dieser Anforderungen besteht aus Sicht der Kybernetik die Aufgabe im "Varietäts-Engineering", was sich im Ausbalancieren zweier interagierender Systeme manifestiert, wobei hier wieder ein geschlossener Wirkungskreis erkennbar ist:

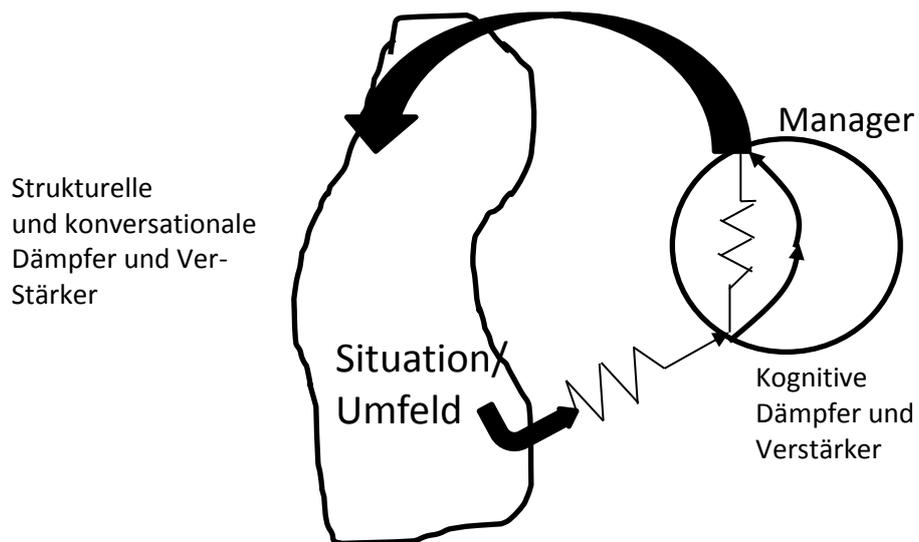


Abbildung 30: Geschlossener Wirkungsablauf im Management [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 20]

Angesichts der Einflechtung der Kybernetik in das Management taucht der geschlossene Wirkungsablauf und Regelkreis immer wieder auf. Insbesondere der Führungsprozess kann auch als Lenkungsprozess und in weiterer Folge als Regelkreis betrachtet werden. Es kommen die Phasen „Entscheiden“, „in Gang setzen“ und „Kontrollieren“ vor. Durch das Kontrollieren und jener daraus gewonnenen Information, welche rückgekoppelt wird, schließt sich der Regelkreis.

Der Regelkreis als grundlegendes Konzept der Kybernetik bildet Lenkungsformen in vereinfachter Form ab. Wie in technischen oder biologischen Systemen werden durch Führung Prozesse geregelt. Dabei werden die Ist-Werte erfasst, an die Lenkungseinheit als Feedback übermittelt (Messung und Rückkopplung) und mit den Sollwerten verglichen. Auf Basis dieses Soll/Ist-Wertvergleiches werden gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen eingeleitet. Wesentliche Grundlage dafür sind eine funktionierende Kommunikation und Information.

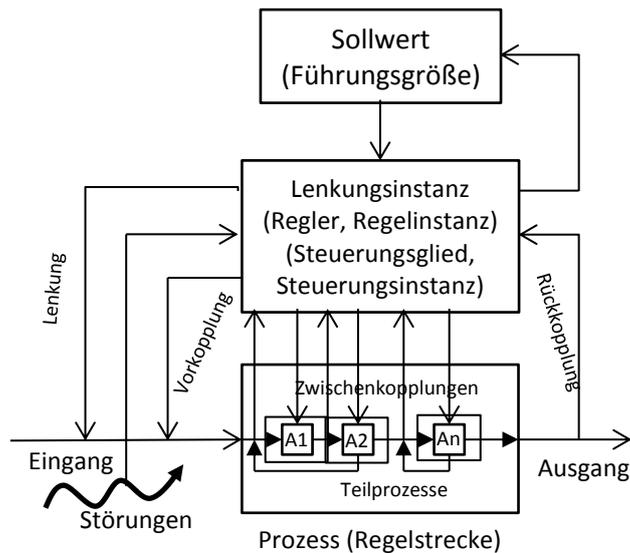


Abbildung 31: Erweitertes Schema des Regelkreises [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 22]

Mit den verschiedenen, strukturierten Prozessen in wirtschaftlichen Systemen ergeben sich Mehrfachregelkreise wie beispielsweise kaskadierte Regelkreise oder Regelkreise mit Hilfsreglern (Hauptregelkreise unterlagerte oder eingelagerte weitere Regelkreise).

Der einfache Regelkreis wird nur auf Basis seines Outputs gelenkt, welche als gemessene Information an den Eingang rückgekoppelt werden. Nach dem Vergleich von Ist- und Sollwerten werden Entscheidungen getroffen. Dieser Regelungsvorgang basiert also auf historischen Daten, also im Wesentlichen „ex post“. Zur Erreichung einer vorausschauenden („ex ante“) Regelung soll von einer Berücksichtigung der Störung schon im Vorhinein ausgegangen werden, also das Prinzip der Vorkopplung verfolgt werden. Die Wirkung von Störungen soll die Steuerungsentscheidungen schon im Voraus berücksichtigen. In technischen Bereichen werden mögliche und im Vorhinein erkennbare Störungen durch sogenannte Störgrößenaufschaltung dem Regelkreis zugeführt und somit ein „feed forward“ Effekt erzielt. Die im System ablaufenden Teilprozesse oder –schritte sind in der Graphik von Vorhin dargestellt und bilden Teilregelkreise und somit die vorhin erwähnten Kaskadensysteme. Durch die Unterteilung von Prozessen wird beispielsweise eine Beschleunigung der Regelung erreicht, allerdings kann auch die Instabilität solcher Systeme zunehmen.

Obwohl das beschriebene Schema der Regelung auf biologische, soziale, humane oder physikalisch-technische Systeme anwendbar ist, bleiben doch auch grundlegende Unterschiede im Raum stehen. Im Unterschied zu technischen Systemen verfügen soziale und humane Systeme über ein eigenes Bewusstsein, sowie die Fähigkeit zu Selbststeuerung, -organisation und –referenz. Diese Systeme

konstituieren sich letztlich aus Subsystemen, welche ihrerseits wieder spezifische Werthaltungen, Überzeugungen sowie eigene Zielsetzungen verfolgt. [vgl. Schwaninger, 1994, S. 23].

Durch die Prinzipien wie Autonomie, Eigenlenkung, Selbstorganisation von sozialen bzw. humanen Systemen mit ihrer Selbstkontrolle gewinnt der Unterschied zu den technischen und biologischen Ausprägungen der Kybernetik an Bedeutung. Dadurch sind sie für organisatorische Belange von höchster Bedeutung.

Die Unterscheidung von Kybernetik erster Ordnung und Kybernetik zweiter Ordnung hat sich durch die Anwendung der Vorstellungen der Kybernetik auf soziale Systeme ergeben. Der Regler steht bei der Kybernetik erster Ordnung außerhalb des Systems, Ziele werden dem System von außen gegeben. Bei der Kybernetik zweiter Ordnung ist der Regler Teil des Systems, welches zielorientiert ist und aus mehreren Subsystemen besteht, und selbst eigene Ziele verfolgen.

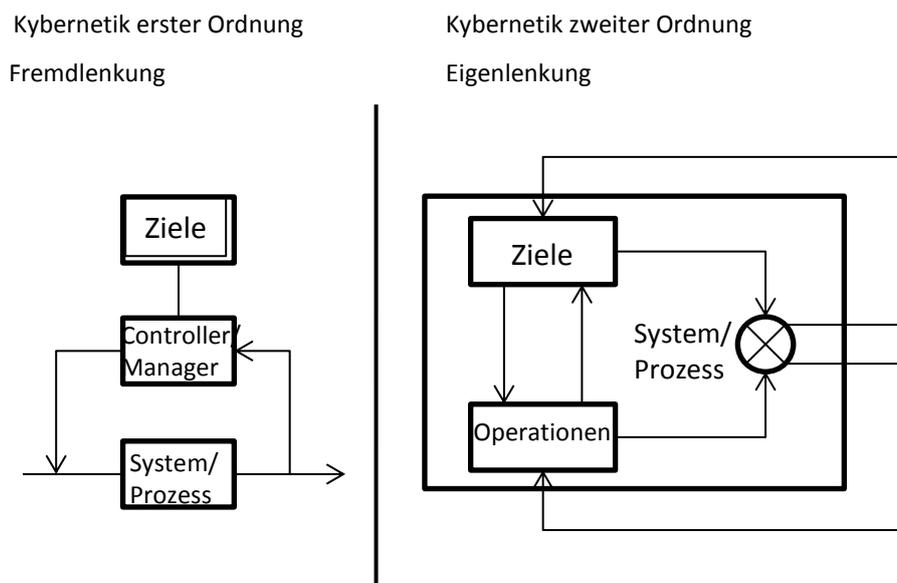


Abbildung 32: Darstellung der Kybernetik erster Ordnung und Kybernetik zweiter Ordnung [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 24]

Die beiden Konzepte der Kybernetik erster Ordnung und der Kybernetik zweiter Ordnung ergänzen einander. Das Grundkonzept des Regelkreises wird nicht obsolet, sondern wird in einem neuen Blickwinkel betrachtet. Die Trennung von Regler und geregelter Einheit kann auch dann sinnvoll sein, wenn es sich beispielsweise um einen Menschen handelt. Im Beispiel mit der systemimmanenten Regelung wurde die Trennung von Regler und Strecke dargestellt, auch wenn diese so nicht

vorhanden sind. Es ergibt sich eine analytische Trennung von Objekt- und Lenkungssystem. [vgl. Simon, 2008, S. 40]

4.2.3 Beispielhafte Vergleiche und Regelkreise von Funktionalbereichen

Regelkreise tauchen in den verschiedensten Formen und Bereichen in Unternehmungen auf, sowie werden Regelkreise auch vom Unternehmen mit seiner Umwelt gebildet. Stafford Beer vergleicht die Unternehmung mit den Dimensionen der neurophysiologischen Regelung eines lebensfähigen Systems und teilt es in fünf Ebenen. Hier existieren auf der untersten hierarchischen Ebene autonome Regelkreise, wie beispielsweise Tochtergesellschaften oder eigenständig agierende Bereiche. Diese Bereiche haben Kontakt zur Umwelt und bilden eigenständige Regelsysteme, welche in das Großregelsystem eingebaut sind. Beer bezeichnet diese Ebene als Systemstufe 1. Jede Tochter hat im sogenannten „System 2“, welches die autonomen Bereiche koordiniert ihrerseits einen Kontrollbereich. So ist in „System 2“ für jeden Bereich der Ebene 1 bzw. „System 1“ ein Kontrollorgan, ein Regler situiert. Im „System 2“ werden sämtliche Informationen aus den Bereichen gesammelt und Koordiniert an „System 3“ weitergegeben, welches seinerseits wieder eine Kontrollfunktion für das „System 2“ und die Verbindung zum „System 4“ bildet. „System 4“ tauscht mit der Umwelt Informationen aus und schließt damit den Regelkreis des Gesamtsystems. „System 5“ bildet die oberste Kontroll- und Steuerungsinstanz in der Unternehmung und ergibt für die nachgereihten Regelsysteme den Sollwert bzw. die Führungsgröße.

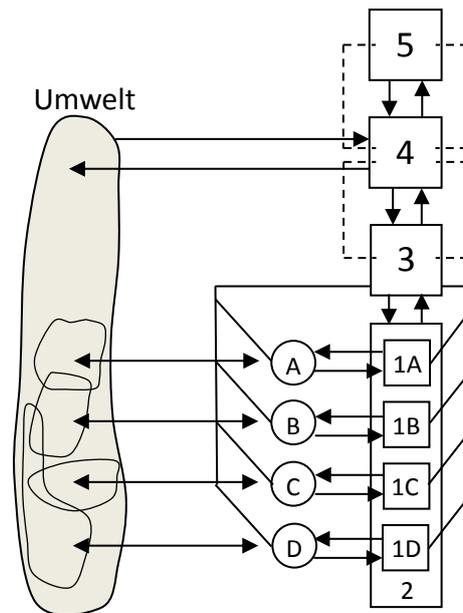


Abbildung 33: Betrachtung einer Unternehmung mit ihren Tochtergesellschaften A, B, C, u. D als autonomes System [entnommen aus Beer, 1972, S. 168]

Grundsätzlich besteht immer ein System vier, auch wenn es explizit nicht strukturiert ist. So ist zumindest die Funktion als solche vorhanden. Es kann auch aufgeteilt in verschiedenen Teilbereichen einem Unternehmen mit seinen Funktionen vorkommen. Auch wenn niemand sich dieser Funktion des Systems vier als solche bewusst ist, so muss es irgendwie vorkommen, da sonst das Topmanagement nicht die Basis für die Unternehmensführung hätte. Die folgende Betrachtung zielt auf die Darstellung und wissenschaftliche Untersuchung dieser Funktion im Sinne dieser Arbeit ab [vgl. Stafford Beer, 1972, S. 168].

Angenommen, ein Unternehmen plant die Einrichtung einer (weiteren) Tochtergesellschaft. Das notwendige Kapital wird einerseits aus einem unternehmensinternen Überschuss bereitgestellt und andererseits durch Fremdkapital ergänzt. Damit werden die notwendigen Prozesse entsprechend den Businessplänen bedient. In diesem Beispiel werden zwei Outputgrößen „produziert“: Erträge aus der Geschäftstätigkeit und Abschreibungen, die den Erträgen entsprechend entgegenwirken. Die Differenz ergibt den Cashflow dieses Unternehmens. Daraus ergeben sich drei Bereiche, die finanziell zu bedienen sind: Steuern, Dividenden an die Shareholder und Kapital für weitere Maßnahmen im Gesamtunternehmen, welches in zwei Senken mündet: Dem Re-Investment im Unternehmen selbst und Verwendung für Bedürfnisse des Gesamtunternehmens:

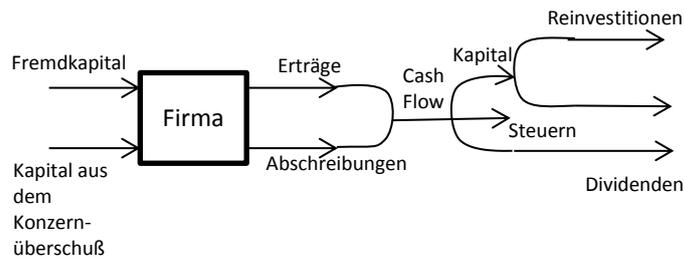


Abbildung 34: Modell einer Struktur von Finanzierungen [entnommen aus: Beer, 1972, S. 234]

Die Graphik stellt zwar die Struktur der Finanzierungen dar, bildet aber kein recht effektives Modell, da es die eigentliche Dynamik des Unternehmens und Rückkoppelschleifen nicht erfasst. Würde es nämlich die genannten Punkte erfüllen, so müsste für jede Zeitscheibe ein neues Bild gezeichnet werden. Diese Punkte können durch die Betrachtung des Unternehmens als lernfähiges System mit geschlossenem Wirkungskreis erfüllt werden. Dabei wird das Re-Investment als eine Rückkoppelschleife wie in der Regelungstechnik dargestellt. Die Entscheidungsfindung für die Re-Investment basiert auf dem Prinzip einer Stufenfunktion, die verzögerte Rückführung dieses Investments in das Unternehmen ist vergleichbar mit der glättenden Funktion eines Integrators mit hohem Verstärkungsfaktor. Beer schreibt von einer synergetischen Nutzung der Assets, wodurch die Verstärkung hervorgerufen wird. Es wirkt sich die Verstärkung in Teilbereichen auf das gesamte System aus. Ein vergleichbarer Effekt ist bei der Verstärkung hochfrequenter Signale in der Wanderfeldröhre beobachtbar. Hier wird eine Verstärkung des Gesamtsignals derart erreicht, dass jene für die Verstärkung notwendige Energie in eine Teilwelle eingekoppelt wird und diese sich dann auf das gesamte Signal auswirkt.

Nun ist die Rückkoppelschleife sichtbar, welche das Re-Investment regelt. Es wird vorausgesetzt, dass ein entsprechender Plan für das jeweilige Investment vorhanden ist, um die Leistung bzw. Auswirkung zu messen und somit bei Bedarf den Plan laufend anzupassen. Daraus sind zwei wesentliche Punkte der Kybernetik erkennbar.

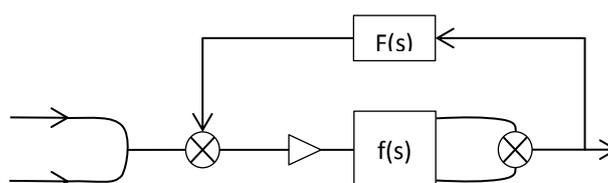


Abbildung 35: Grundlegende Funktion der Rückkopplung eines wirtschaftlichen Systems [entnommen aus: Beer, 1972, S. 235]

Durch die Betrachtung des Unternehmens als dynamisches System kann das Modell für verschiedene Zustände des Wachstums des Unternehmens angewandt werden. Beer schreibt weiter, dass am Beginn noch keine Information für eine Rückkoppelung vorhanden ist. Erst mit entsprechender Geschäftsentwicklung entsteht die Möglichkeit „etwas“ zurück zu koppeln. Wie bereits in vorhergehenden Kapiteln beschrieben, läuft dieser Vorgang grundsätzlich zeitdiskret ab. Nach und nach entstehen Informationen bzw. durch die Erlöse aus der Geschäftstätigkeit die Möglichkeit zur Rückkopplung. Am Beginn muss sämtliche Aktivität von außen kommen, da das Unternehmen selbst noch keine Ergebnisse haben kann. Erst nachdem sich die Firma entwickelt, wird ein Output generiert, welcher rückgekoppelt werden kann.

Durch den geschlossenen Wirkungskreis entstehen nun grundsätzlich die Möglichkeit der Fehlerkorrektur und das Reagieren auf Abweichungen, welche jedoch nicht auf starren Plänen beruhen kann, sondern entsprechend immer angepasst werden muss, da die Grundfunktion $f(s)$ sowohl Störungseinflüssen von außen, als auch Beeinflussungen von innen unterliegt. Wird nun ein konstanter Output erwartet, und das System unterliegt den beschriebenen Störungseinflüssen, so bedarf es eines speziellen und hoch performanten Regelmechanismus im Rückkoppelzweig, um diesen konstanten Output zu gewährleisten. Damit sollen die Störeinflüsse ausgeregelt werden. Dies entspricht dem unternehmerischen Planungswesen der Firma. Ein wesentlicher Punkt ist die Auswirkung von hohen Verstärkungsfaktoren auf den gesamten Regelkreis. Ist nämlich die Rückkoppelfunktion $F(s)$ dominant, so wirkt sich deren Eigenschaft ebenfalls dominant auf den gesamten Regelkreis und sein Verhalten aus und beeinflusst entsprechend das Inputsignal. Wie in technischen Regelkreisen wird also durch die Einfluss des hohen Verstärkungsfaktors im Rückkoppelzweig, in diesem Fall also jene des Regelalgorithmus, das Inputsignal entsprechend stark geprägt und das Outputsignal erzeugt. [vgl. Beer, 1972, S. 235]

Nun sind hier mehrere Punkte erkennbar: Erstens ist [lt. Beer] erkennbar, wie der komplexe Prozess des Reinvestments das Überleben des Unternehmens beeinflusst. Ein wesentlicher Punkt sind die Langzeitauswirkungen beziehungsweise das Langzeitverhalten der Maßnahmen. Zweitens wird die Rückkoppelfunktion (jener „Algorithmus, welcher in der Rückkoppelschleife „eingebaut“ ist) durch die Unternehmensplanung gebildet und geht so maßgeblich in das Gesamtverhalten des Systems als Regelkreis ein.

Shareholder oder Finanz-Journalisten sehen oft gerne nur einen absoluten Outputwert. Dieser muss aber in einem Gesamtkontext gesehen werden, welcher insbesondere die Langzeitauswirkungen von Maßnahmen, wie beispielsweise der Reinvestition, ebenso abhängt. Von außen sind die komplexen Planungsmechanismen oft nicht erkennbar. Sie sind aber umso wichtiger, als sie, wie vorhin

beschrieben, den Rückkoppelmechanismus bilden und so das gesamte Regelsystem maßgeblich beeinflussen.

Wie jedes System ist auch ein als Regelsystem betrachtetes Unternehmen Störungen ausgesetzt. Die Regelungsfunktion als Managementaktivität beschränkt sich nicht nur auf die Einstellung der Erlöse auf einen bestimmten Wert, sondern beinhaltet beispielsweise auch die Anpassung der Eigenschaften des Produktes auf die Anforderungen des Marktes. Dadurch entsteht im technischen Jargon ein kaskadiertes oder mehrstufiges Regelsystem. Dieser zweistufige Regelmechanismus muss einerseits Einflüsse aus dem wirtschaftlichen (Geldmarkt) Umfeld „ausregeln“, und andererseits auf Störungen des Marktes, wie beispielsweise auf aggressives Marketing der Konkurrenz reagieren. Mit „System 4“ ist praktisch dem hierarchisch untergeordneten „System 1“, welches entsprechend dem Modell von Beer (vgl. Abbildung 33) mit den autonomen Einheiten unterlagerte Regelkreise bildet, ein Regelkreis überlagert.

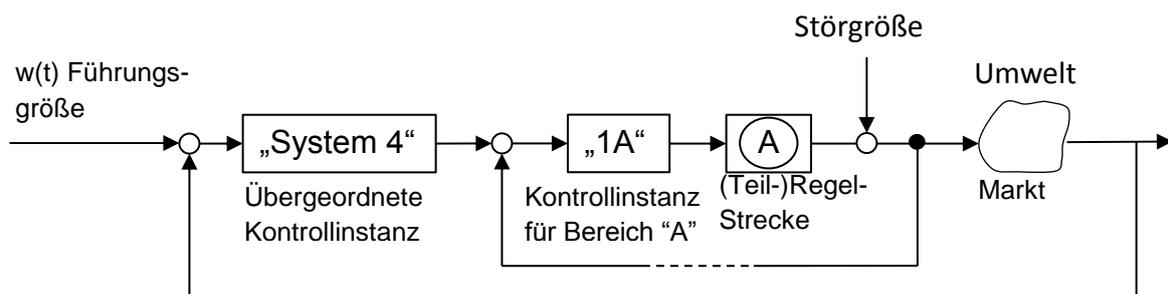


Abbildung 36: Technisches Schema einer Kaskadenregelung abgeleitet von Beer's Modell des autonomen Systems (Abbildung 33) für einen Teil („Subsystem 1A“)

Die folgende Darstellung zeigt den Regelkreis eines Unternehmens mit einigen Regelparametern erweitert, sowie die beiden Hauptregelungsmechanismen. Dabei ist erkennbar, wie durch die Rückkopplung Erlöse wieder zukünftige Erlöse auslösen. Beer stellt dar, dass durch die Eigenschaften von Produkten, inklusive den Preis und dem Bedarf am Markt letztendlich der Produktstrom und somit Erlöse entstehen. Natürlich muss das (Ökonomische) Umfeld am Markt derart passen, dass sich Erlöse ergeben können.

Entsprechend [Beer, 1972, S. 239] wird im Modell die Investitionsentscheidungen durch folgende Parameter dargestellt: product improvement (A), product innovation (B) and die operation effizienz (C) dar. Mit Hilfe dieser drei Faktoren, welche dem Management die Steuerung ermöglichen und somit Steuerungsfunktionen darstellen, sollen die Kapabilitäten der Firma dargestellt sein. Mit zwei

weiteren Steuerungsparametern sieht [Beer] den Regelkreis komplettiert: Einer ist der Einfluss des Marktes (X) und einer ist die Möglichkeit entsprechende Geldmittel (Y) zu beschaffen.

Der eigentliche Beitrag des kybernetischen Modells eines Unternehmens leitet sich vom dynamischen Verhalten ab, wobei das System vier hier nicht außer Acht gelassen werden darf. Diese Modelle müssen unbedingt die Eigendynamik bzw. die Zeitkonstanten der zu steuernden Prozesse berücksichtigen. Dass hier rein finanztechnische Mess- und Steuerungsverfahren, welche sich beispielsweise auf jährlich erscheinende Bilanzen stützen, zu wenig ist, erscheint klar zu sein. Alleine der Unterschied der Zeitkonstanten der Investitionskanäle A, B und C zeigen die Wichtigkeit der Berücksichtigung derselben. Es können aber auch sich rasch ändernde Inputgrößen durch eine Eigenstabilität im Unternehmen und Dämpfung als eine langsam Veränderliche am Ausgang erscheinen. Wie in technischen Systemen können diverse Verstärker im System umgekehrt aber wieder zu (gefährlichen) Schwingungen führen. Letztendlich ist es Aufgabe von System vier, all diese internen und von außen wirkenden Einflüsse derart auszuregeln, dass sich eben keine gefährlichen Schwingungen aufbauen können, aber auch nicht durch „statische“ Modelle oder Planwirtschaft wichtige Informationen verloren gehen. So gesehen muss sich das System vier derart gestalten, dass sich entsprechend der Eigenschaften der Homöostasis kritische Variable in entsprechend vorgegebenen physiologischen Grenzen befinden müssen.

Werden nun die grundlegenden Gedanken des Unternehmens als Regelkreis um die beschriebenen Variablen ergänzt, ergibt sich folgende Darstellung:

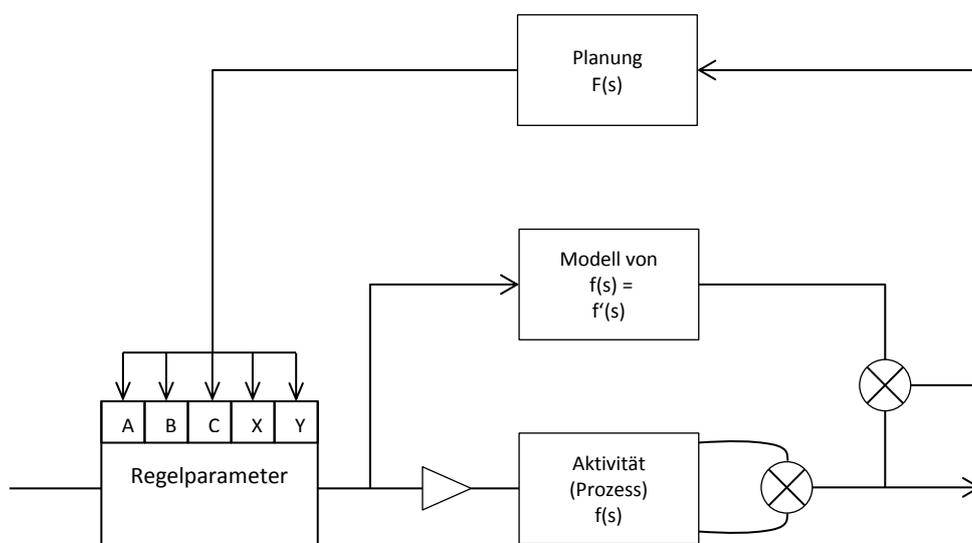


Abbildung 37: Mehrfachregelkreis der Unternehmung [entnommen aus Beer, 1972, S 240]

Mit diesem Modell ist ersichtlich, dass sich ein Unternehmen als ein Mehrfachregelkreis darstellen lässt, welcher in einer bestimmten Umwelt mit mehreren Zielgrößen arbeitet. Es ist klar erkennbar, dass sowohl der Geldmarkt als auch der Produktmarkt befriedigt sein müssen. Auf die aktuelle wirtschaftliche Situation bezogen bedeutet das, dass sich Real- und Finanzwirtschaft jedenfalls ergänzen müssen und keine für sich alleine existieren kann. Der Regelkreis in Abbildung 37 hat eine starke Ähnlichkeit mit einem adaptiven Regelsystem. [vgl. Beer, 1972, S. 240]

Die von Stafford Beer dargestellten, zu regelnden Größen ergeben in diesem Fall einen zweistufigen Regelkreis. Werden mehrere Größen miteinbezogen oder wird weiter ins Detail gegangen, so ergeben sich durchaus sehr umfangreiche und komplexe Modelle. Das Management muss demnach die entsprechenden Parameter mit dem jeweiligen Systemverhalten berücksichtigen. Zur Entscheidungsfindung sind dann die entsprechenden Messgrößen fest zu legen, welche eine adäquate und übersichtliche Betrachtung der Situationen im Unternehmen ermöglichen.

Sterman beschreibt beispielsweise mit Hilfe von Beständen und Flüssen wirtschaftliche Systeme und entwickelt auf diese Weise ebenfalls geschlossene Strukturen, welche mit technischen Systemen vergleichbar sind:

Die verschieden strukturierten Prozesse in wirtschaftlichen Systemen ergeben kaskadierte Regelkreise oder Regelkreise mit Hilfsregelkreisen. In der Regelstrecke, dem zu beeinflussenden Bereich läuft der geregelte oder gesteuerte Prozess, meistens mit Beeinflussung von Energie oder Masseströmen, ab. Die Rückkoppelschleifen werden durch Informationsflüsse gebildet, welche aus der Messung gewonnen werden. Information steuert auch das jeweilige Stellglied an, welches wiederum den Energie- oder Massefluss in der Regelstrecke beeinflusst. Neben den Standardkopplungen, wie sie in technischen Regelkreisen vorkommen, gibt es Zwischenstufen, wodurch die oben angesprochenen vermaschten bzw. kaskadierten Systeme entstehen.

In der folgenden Darstellung eines wirtschaftlichen Systems nach Sterman sind die geschlossenen Wirkungsabläufe mit den dazugehörigen Informationskanälen dargestellt. Die „Stock and Flow Structure“ bildet die Regelstrecke, der Regler ist in der „Decision Rule“ angesiedelt, das System enthält einen geschlossenen Wirkungssinn mit negativer Rückkopplung.

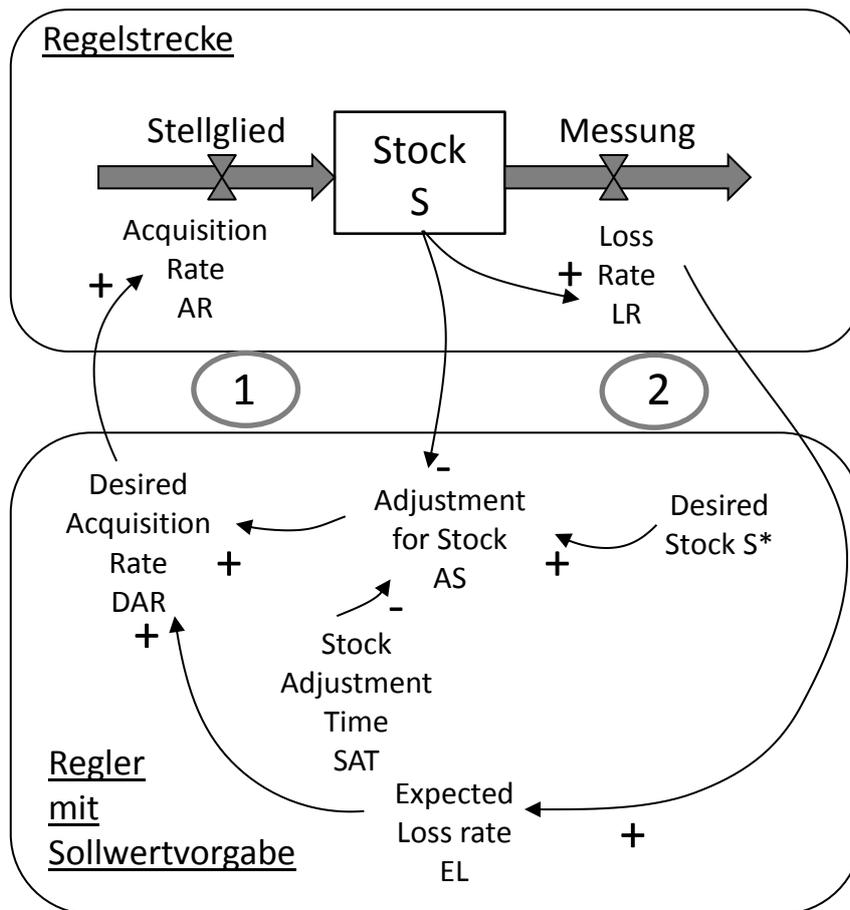


Abbildung 38: Regelkreis [entnommen aus: Sterman, 2000, S.669] mit Ergänzungen

Bei dieser Darstellung von John D. Sterman ist im linken Bildteil der Regelkreis („1“) und im rechten Bildteil eine Störgrößenaufschaltung der Laststörgröße („2“) erkennbar. Das „Adjustment for Stock“ beeinflusst den Zufluss zum Bestand und ist mit der Stellgröße des technischen Regelkreises vergleichbar. Die Aquisitionrate ist in diesem Fall mit einer Versorgungsstörgröße vergleichbar. Die Regelgröße dieses hier dargestellten Regelkreises ist der entsprechende Bestand im Lager („Stock“). [vgl. Sterman, 2000, S. 668]

4.2.3.1 Produktion

Bei der Betrachtung der Produktion hinsichtlich Gemeinsamkeiten von technischen und wirtschaftlichen Systemen sind durch den physikalischen Hintergrund des Grundprozesses die Analogien verhältnismäßig einfach darstellbar. In der Produktion sind technische Regelkreise vorhanden, welche sich über die Betrachtung des Unternehmens als lebensfähiges System in die

Organisation fortsetzt. Die Produktion ist „kundengetrieben“ und soll den Bedarf an den geordneten Produkten decken. Sie ist einerseits Teil einer Supply chain und andererseits wieder ein eigener Regelkreis für sich. Wie in vielen Systemen ist hier wieder die Abgrenzung von der Umwelt die Basis für die Betrachtungsweise. Das „Stockmanagement“, also die Behandlung der Bestände, ist sowohl in der Supply line als auch in den Produktionsprozessen selbst, eine wesentliche Sache.

Im Bereich der Produktion sind wesentliche zeitliche Aspekte vorhanden. Neben der Zeitdauer für den eigentlichen Produktionsprozess existieren noch Zeitverzögerungen in der supply bzw. delivery line. Vor und nachgereichte Lager bilden Bestände (Stocks). Durch den Zeitbedarf für die einzelnen Prozesse entstehen Verzögerungen (delays), Lager bilden voneinander unabhängige Speicher. Diese Elemente bilden zusammen schwingungsfähige Systeme, wie in den vorigen Kapiteln bereits beschrieben.

Die Produktion wird letztendlich durch eine Kundenanforderung bzw. einen Bedarf ausgelöst und setzt die entsprechenden Prozesse in Gang. Es werden Rohmaterialien unter Berücksichtigung einer Lieferzeit angeliefert und die Produktionsprozesse selbst durchlaufen. Am Ende sind die Fertigprodukte vorhanden und bilden vor der Auslieferung wieder einen bestimmten Bestand. Dazwischen sind prozessbedingt immer wieder Delays vorhanden. Es sind im Produktionsbereich Strukturen und Elemente vorhanden, die mit jenen in technischen Systemen vergleichbar sind. Der Kundenbedarf bildet mit dem Produktionsprozess einen geschlossenen Wirkungsablauf, die jeweilige Anforderung ist mit einer Führungsgröße im technischen Regelkreis vergleichbar. Der Bestand eines Lagers ist die physikalische Basis eines Regelkreises in einer Firma, die Produktion ist der Zustrom, die Lieferung an den Kunden der „Abfluss“. Diese Betrachtungsweise ist nahezu identisch mit einer Füllstandregelung.

Die Darstellung des Regelkreises kann aus verschiedenen Gesichtspunkten erfolgen. Wird der Lagerbestand als Regelgröße betrachtet, so ist die Regelung mit einer Bestandsregelung, z.B. Füllstand- oder Lageregelung vergleichbar. Die Produktion bildet den „Zufluss“ zum Lager. Es kann aber auch die Lieferung zum Kunden als die Regelgröße betrachtet werden. In diesem Fall ist das Regelsystem mit einem Durchflussmengen- oder Stromregler in der Technik vergleichbar. Die Kombination aus den beiden Beispielen von Lage- und Stromregler, bzw. Bestands und Liefermengenregelung ergibt kaskadierte Systeme. In der Praxis werden angesichts der hohen Komplexität solcher Systeme ineinander verschachtelte Systeme vorhanden sein. Diese kaskadierten Strukturen erscheinen auch in der Grundstruktur lebensfähiger Systeme.

Die folgende Graphik, welche auf der Darstellung von basiert, stellt Regelkreise im Produktionsbereich dar. [vgl. Sterman, 2000, S. 710]

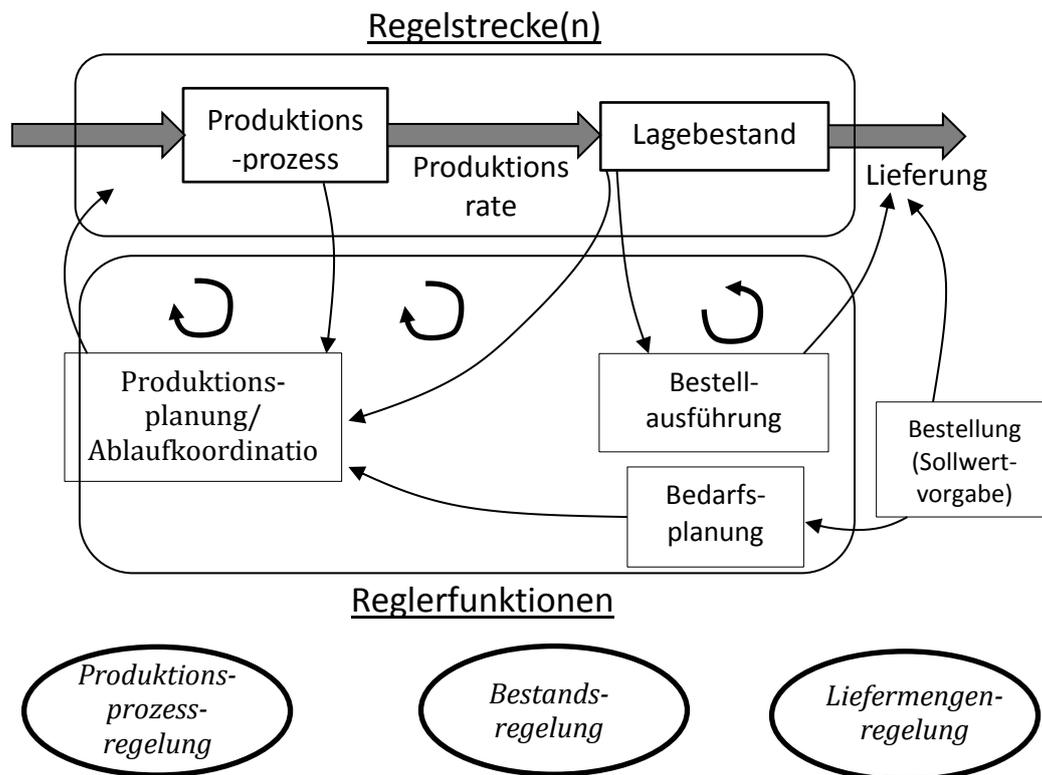


Abbildung 39: Darstellung des Produktions- und Lieferprozesses mit den Reglerfunktionen [nach Sterman, 2000, S. 710]

4.2.3.2 Controlling

Controlling leitet sich vom englischen „to control“ ab bedeutet regeln, steuern, beherrschen, und bedeutet demnach nicht, wie oft landläufig übersetzt, „Kontrolle“. Mit diesem Begriff wird vielmehr Analyse, Messung, Planung und Steuerung verbunden, welche in technischen und wirtschaftlichen Systemen gleichermaßen vorkommen. Für den Begriff des Controllings gibt es keine einheitliche Definition. Controlling kann als ein System in der Unternehmung aufgefasst werden, welches für entsprechende Informationsversorgung sorgt und somit das Gesamtsystem unterstützt. In diesem Sinne bildet es eine Führungsunterstützung. Es ist eine grundsätzlich zeitdiskrete Informationsquelle und unterstützt bei der Führungsaufgabe. Es existieren im deutschen verschiedene Beschreibungen oder Ausdrücke für das englische Wort „controlling“, eine eindeutige oder exakte Übersetzung ins Deutsche gibt es aber nicht. Es wird darunter vielmehr ein Arbeitsbegriff gesehen, welcher sich in der Praxis vielfältig und unterschiedlich ausgelegt wird. Trotz der unterschiedlichen Interpretationen im

Detail wird im Controlling als Hauptaufgabe die Informationsbeschaffung und –aufbereitung für die Erreichung der Unternehmensziele gesehen. Jung sieht darin die

*[...] innovative Entwicklung und Einführung einer **zukunftsorientierten Steuerungsphilosophie** und die zu ihrer Umsetzung unabdingbaren Steuerungsinstrumente.*

[entnommen aus: Jung, 2007, S.5]

Wesentliche Aufgaben des Controllings sind regelmäßige Kontrolle, Entscheidungsfindung mittels betriebswirtschaftlicher Methoden, Gewinnung einer hohen Reaktionsgeschwindigkeit gegenüber Veränderungen, Erstellung und Weiterleitung bedarfsgerechter Information sowie die Abstimmung von Planungs- und Steuerungsprozessen.

Jung fasst die Aufgabe wie folgt zusammen:

*Controlling ist somit ein **funktionsübergreifendes Steuerungsinstrument**, das den unternehmerischen Entscheidungs- und Steuerungsprozess durch zielgerichtete Informationserarbeitung und –verarbeitung unterstützt. [...]*

[entnommen aus: Jung, 2007, S. 6]

Um diese Aufgaben entsprechend erfüllen zu können, bedarf es des funktionsübergreifenden Führungsinstrumentes zur Unterstützung des unternehmerischen Entscheidungsprozesses sowie eines permanenten Soll-Ist-Vergleichs. Dafür braucht es ein auf Informationserarbeitung und –verarbeitung aufbauendes System. Der permanente Soll-Ist-Vergleich ist wieder die Grundlage des Regelkreises als geschlossener Wirkungsablauf und erscheint in sowohl in technischen wie auch wirtschaftlichen Systemen. [vgl. Jung, 2007, S. 7]

In der Darstellung des Controllingsystems ist die Grundstruktur des Regelkreises ersichtlich:

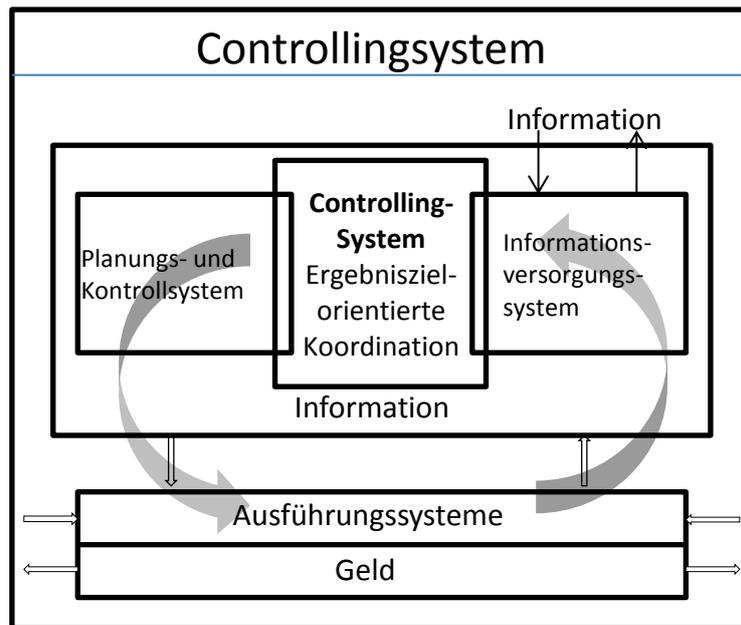


Abbildung 40: Controllingsystem [abgeleitet von: Jung, 2007, S. 7]

Der Begriff „Controlling“ ergibt zwischen wirtschaftlichen und technischen Systemen eine Isomorphie. In der obigen Darstellung sind die Grundelemente des technischen Regelkreises im wirtschaftlichen System erkennbar: beispielsweise die Regelstrecke („Ausführungssysteme“) oder der Regerbereich („Planung“, „Koordination“, „Kontrollsystem“).

Der wesentliche Punkt ist wieder der geschlossene Wirkungsablauf, welcher durch Informationsflüsse gebildet wird. Die Ausführungssysteme bilden in diesem Fall die Regelstrecke, welche durch die Reglerfunktionen gesteuert wird. Durch Messung und Bewertung bestimmter, für den Prozess relevanter Größen werden für den Regelprozess notwendige Informationen gewonnen und dem Koordinationsbereich zugeführt. Dieser ermittelt auf Basis der vorliegenden Informationen Steuerinformationen, welche dem Ausführungsbereich, der Regelstrecke zugeführt werden. Die Informationsgewinnung und Bewertung der Größen (meistens in Geldeinheiten) in wirtschaftlichen Systemen ist mit der Messung in technischen Systemen vergleichbar. Durch rechnergestützte Systeme ergibt sich die Möglichkeit der umfassenden und kurzen Informationsbeschaffung und –verarbeitung.

Der Prozess des Controllings ist meistens kein kontinuierlicher, sondern er passiert zu festgelegten Zeitpunkten. Zu bestimmten Zeiten werden aus dem zu steuernden System Information gewonnen, Maßnahmen errechnet und Steuerinformationen wieder zugeführt. Da dieser Vorgang ein zeitdiskreter ist, ergibt sich der Vergleich mit der Abtastregelung. Die Abstimmung der

Regelparameter, sowie der Abtastrate mit dem System ist eine unumgänglich Voraussetzung für das gute Funktionieren des Gesamten.

Das Controlling bildet wohl eine der deutlichsten Analogien eines wirtschaftlichen Systems, wenn es sich hier nicht sogar um eine Isomorphie handelt. Es steckt im Wort „Controlling“ schon die Bedeutung für Steuerung bzw. Regelung. Durch den Controllingbereich werden im Unternehmen wesentliche Rückkoppelschleifen gebildet.

Wie in den vorigen Kapiteln beschrieben, sind in einem Unternehmen als wirtschaftliches System geschlossene Wirkungsabläufe in Form von Regelkreisen mit den entsprechenden Größen, wie beispielsweise Führungsgröße oder Regelgröße vorhanden. Durch Messung werden die entsprechenden Werte gewonnen, welche dem Regelkreis zugeführt werden. Das Controlling ist ein klassisches Messinstrument in der Unternehmensführung und dient u.a. der Informations- bzw. Messwertgewinnung (Berichtswesen) aus den Unternehmensprozessen und bildet einen entscheidenden Leistungsfaktor. Es dient aber nicht nur der reinen Informationsgewinnung durch Messung, sondern auch dem Informationsaustausch zwischen den einzelnen Bereichen. Es nimmt selbst nicht am eigentlichen Prozess teil, unterstützt diese jedoch durch die erwähnte Messung und entsprechende Informationsbereitstellung. Analog zu digitalen Regelsystemen treten in einem Unternehmen hier diskrete Informationen auf. So liefern zum Beispiel die Controllingberichte in zeitdiskreten Abständen die Informationen. Die Unternehmung muss sich laufend auf die entsprechenden, verändernden Umweltbedingungen einstellen. Die sich erhöhende Komplexität und Dynamik der Umwelt wirkt auf das Unternehmen. Ursachen dafür liegen in der Internationalisierung und Globalisierung des Marktes und des Wettbewerbes, im verschärften Wettbewerb generell sowie in stagnierenden oder schrumpfenden Nachfragen aufgrund von Marktsättigung. Gesteigertes Umweltbewusstsein, Entwicklung durch politische Rahmenbedingungen, staatliche Eingriffe und Reglementierungen (beispielsweise Förderungspolitik für erneuerbare Energie, Umweltschutzgesetze) und Verknappung bzw. Verteuerung von Energie sind Beispiele für die Einwirkung auf Unternehmen, welche bei nicht entsprechender Beachtung zur Insolvenz führen können. Die von außen einwirkenden Faktoren sind entsprechend in der Unternehmensführung zu erkennen und zu berücksichtigen und das Ergebnis zu kontrollieren.

Das Controlling verkörpert eine Isomorphie zwischen technischen und wirtschaftlichen Regelsystemen. Das zu bestimmten Zeitpunkten erfolgende Gewinnen von Informationen ist mit einem Abtast-Halte-System von diskreten Regelkreisen vergleichbar und liefert zeitdiskrete Messwerte. Die Entscheidungsfindung und Bildung von Korrekturwerten läuft ebenfalls zeitdiskret ab.

4.2.3.3 Marketing

Der Vergleich des Marketingthemas mit technischen Systemen erscheint grundsätzlich nicht sehr einfach, da Marketing mit höchst subjektiven und menschlichen Attributen in Verbindung gebracht wird. Psychologische Aspekte spielen eine wesentliche Rolle, es handelt sich beim Marketing um eine äußerst dynamische Disziplin in der Welt der Unternehmen. Eine ständige Anpassung an die wechselnden Anforderungen des Marktes stellt eine besondere Herausforderung dar. In der Literatur werden beispielweise die klassischen vier „P“ beschrieben, welche Marketing grundlegend umfassen: Product, Price, Place and Promotion. Diese vier P's wurden nun bei Dienstleistungen ergänzt durch People, Processes und Physical facilities. [vgl.: Schürmann, 2011, S. 255]

Durch das Marketing soll der Produktabsatz angekurbelt werden und gemeinsam mit den entsprechenden Bereichen im Unternehmen dieses zu einem profitablen machen. Trotz der subjektiven und sozialen Komponente im Vergleich zu anderen Bereichen entstehen auch in diesem Bereich geschlossene Wirkungskreise mit entsprechenden Zielvorgaben („Führungsgrößen“), Messung und Korrektur im Bedarfsfalle. Letztendlich trifft beim Marketing durch die höhere soziale Komponente der Begriff des lebensfähigen Systems sehr gut zu. Die Prozesse selbst, beispielsweise in Abbildung 41 und Abbildung 42 sind durchaus mit technischen vergleichbar. Dennoch spielen im Marketing psychologische Aspekte eine vergleichsweise größere Rolle, als bei der Buchhaltung oder im Controlling. Die letztgenannten Bereiche sind hauptsächlich unternehmensinterner Natur, während Marketing sich nach außen richtet. Neben den vom Unternehmen zu steuernden Effekten, ergibt sich in diesem Metier ein gewisses Maß an Eigendynamik, welches außerhalb, oft nicht mehr direkt beeinflussbar, sein kann. Dazu kann der Hype eines Produktes zählen. Kognitive psychische, Prozesse treten hier als Treiber auf. Letztendlich soll das Verhalten des Konsumenten zugunsten des Produktes entsprechend gesteuert bzw. kontrolliert werden. Durch entsprechende Information sollen im Menschen positive Stimuli mit dem Produkt in Verbindung gebracht werden. Dadurch soll das Ziel eines jeden Unternehmens bestmöglich erreicht werden, sein Produkt oder die Produkte so gewinnbringend wie möglich am Markt zu platzieren. In diesem Bereich sind Informationsflüsse und Regelkreise deutlich ausgeprägt, erscheinen im Vergleich zu den oben genannten Disziplinen im Unternehmen aber stärker als Systemimmanente. [vgl. Homburg/Krohmer, 2003, S.48]

Jene nach Abgrenzung der Bereiche im Unternehmen bildet das Marketing ein Regelungssystem für sich oder aber ist es Teil eines übergeordneten Regelungssystems. Bei der Betrachtung des Marketings als Teil eines übergeordneten Regelungsmechanismus soll es mit dem Kundenbedürfnis

der Antrieb für die Prozesse im Unternehmen sein. Die Produktionsprozesse würden nicht laufen, wenn nicht die Marketingprozesse funktionieren und den Verkauf entsprechend ankurbeln.

Das Marketing bildet aber auch für sich selbst einen Kreislauf, welcher bei Abweichung von den Zielvorgaben nachjustiert wird. Es ergeben sich mit technischen Systemen vergleichbare Strukturen und Prozesse. Der Hauptantrieb ist beispielsweise, ein Produkt entsprechend am Markt zu positionieren. Für diese Aufgabe bedarf es entsprechender personeller und technischer Ressourcen, welche wiederum einen Budgetbedarf dafür, das Marketingbudget, auslöst (beispielsweise die vorhin angeführten „4+3 P's“). Ein laufender Prozess des Kontrollierens der Vorgaben mit Korrektur ist ein typischer Regelungsprozess:

Vorgangsweise bei der Erstellung des Marketingbudgets: [entnommen aus: Schürmann, 2011, S. 281]:

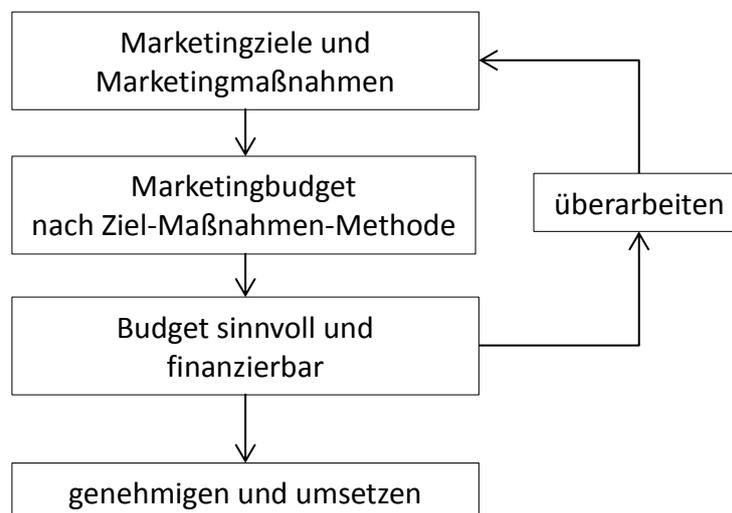


Abbildung 41: Vorgangsweise bei der Erstellung eines Marketingbudgets [entnommen aus: Schürmann, 2011, S. 281]

Dieses hier angeführte Beispiel eines Genehmigungsprozesses für ein Marketingbudget ist seinerseits wieder Teil eines übergeordneten Regelungsprozesses. Dieser gibt beispielsweise den Absatz eines Produktes vor, welcher durch ein entsprechendes Marketing ermöglicht werden soll. Im weitesten Sinne erfüllt das Marketing dann die Funktion eines Stellgliedes in einem technischen Regelprozess. Es „öffnet“ den Markt für das Unternehmen und soll für einen entsprechenden Produktstrom sorgen:

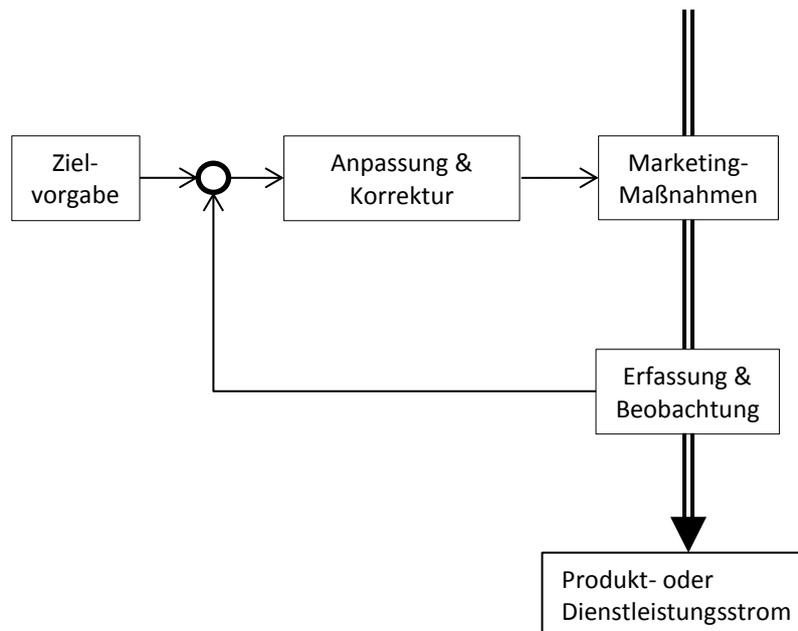


Abbildung 42: Vergleich des Marketings mit einer Durchflussmengenregelung

Beim Marketing verhält sich der Vergleich mit technischen Regelkreisen ähnlich wie beim Personalthema. Es sind vergleichbare Strukturen und Elemente vorhanden. Der hohe Anteil an menschlichen Aspekten, wie beispielsweise die Psychologie im Marketing sowie weichen Faktoren bei der Kaufentscheidung erschweren jedoch den direkten Vergleich mit technischen Systemen. Systemimmanente Regelungsmechanismen scheinen im Marketing einen vergleichsweise größeren Anteil zu haben, als beispielsweise im Controlling.

4.2.3.4 Verkauf

Der Verkauf ist Teilbereich für die Auslösung der Lieferung im obigen Produktionsbeispiel. Der Verkauf stimmt mit dem Kunden die Bedingungen ab und bildet die Schnittstelle zur Produktion. Es entsteht eine Regelkreis am Ende der Supply Chain (aus Sicht des Produzenten). Der Vorgang des Verkaufes ist jedoch kein isolierter, sondern es ist ein mit der Produktion laufend in Abstimmung befindlicher Prozess. Die Verkaufsabteilung wird als Teil eines lebensfähigen Systems für sich einen intrinsischen Regelkreis bilden, jedoch –wie oben beschrieben- in einen übergeordneten Regelkreis eingebettet sein.

4.2.3.5 Einkauf

Der Einkauf spielt in Unternehmen insofern eine Rolle, als er bei Nichtfunktionieren zur Versorgungsstörgröße wird. Da Versorgungstörgrößen am Eingang der Regelstrecke wirken, können sie das Gesamtsystem stärker beeinflussen, als beispielsweise Laststörgrößen.

Der Einkauf als eigener Bereich (Abteilung), bildet für sich einen Teil eines lebensfähigen Systems mit den entsprechenden Regelmechanismen und Strukturen. Der direkte Vergleich mit technischen Systemen ist im Gegensatz zu anderen Bereichen, wie beispielsweise der Produktion hier kaum möglich. Im weitesten Sinne ist der Einkauf mit einem Stellglied in einem Regelkreis vergleichbar. Er ermöglicht die angemessene Versorgung der logisch nachgereichten Bereiche mit den Lieferungen und Leistungen.

4.2.3.6 Personal/HR

Bei der Untersuchung von Analogien von wirtschaftlichen und technischen Systemen bildet die Betrachtung des Personalbereiches eine wesentliche Rolle. Das Personalwesen ist mitunter einer der heikelsten Bereiche in der Betriebswirtschaftslehre, der Mensch ist unmittelbar betroffen. Unzählige Abhandlungen und Untersuchungen wurden über dieses Thema erstellt, es gibt durchaus kontroverielle Ansichten zu diesem Thema. Beim Personalthema sind neben den betriebswirtschaftlichen mehrere Bereiche betroffen, wie beispielsweise neben der Psychologie u.a. Pädagogik, Soziologie, Ethnologie sowie die praktische Philosophie (Ethik). Sie bilden wichtige Quellen des verhaltenswissenschaftlichen Fundamentes. [vgl. Klimecky/Gmür, 2005, S. 29]

Hinsichtlich der Theorie bzw. der Konzepte der Personalwirtschaft gibt es unterschiedlichste Ansätze, welche sich im Laufe der Zeit entwickelt haben. Neben beispielsweise dem konfliktorientierten Ansatz, arbeitsökonomischen Ansatz sei hier im Sinne dieser Arbeit der systemorientierte oder systemische Ansatz erwähnt.

Dieser systemorientierte Ansatz geht davon aus, dass der Personalmanager ein beobachtendes bzw. gestaltendes Subjekt ist und die einzelnen Beschäftigten als Objekt der Personalarbeit zu betrachten sind, die Personalbeziehungen werden demnach durch Personen bestimmt. Systemische Erklärungsansätze basieren nicht auf Modellen individuellen Verhaltens, sondern auf Annahmen über Gesetzmäßigkeiten, welche auf sozialen Strukturen und Gesetzmäßigkeiten beruhen.

Der Ressource „Personal“ kommt insofern eine hohe Bedeutung zu, als hier unmittelbar und gesellschaftsübergreifend Themen des Menschen direkt betroffen sind. Neben den sozialen und menschlichen Aspekten stellt das Personal einen nicht unerheblichen Kostenfaktor dar.

Das Personalmanagement ist einerseits ein entwicklungsorientiertes Management zwischen Stabilität und Flexibilität und andererseits eine Entwicklungsfunktion. Eine Unternehmung oder Organisation geht am Beginn ihrer Gründung von einem gewissen Anfangsbestand an Ressourcen aus. Durch den Evolutionsprozess unterliegt der Anfangsbestand einer gewissen Veränderung, welche beispielsweise durch Neubeschaffung hervorgerufen wird. Dieser Aspekt der zeitlichen Veränderung des Systemzustandes ruft wieder den Gedanken an die Stabilität auf den Plan. Das Stabilisierungsprinzip im Sinne des Personalmanagements bezieht sich auf die laufende Fortsetzung bewährter Entscheidungen über die Ressourcenbeschaffung. Die Fortsetzung bewährter Entscheidungen bzw. Maßnahmen reduziert jedoch auch laufend die Betrachtung möglicher Alternativen. Das Flexibilisierungsprinzip steht nun diesem Stabilisierungsprinzip gegenüber. Hierbei wird dem Ziel der Aufrechterhaltung der langfristigen Effektivität durch Anpassung an die äußeren Rahmenbedingungen mehr Gewicht beigemessen, als jenem der kurzfristigen Effizienz. Hinsichtlich kurzfristiger budgetwirksamer Maßnahmen wird auch gerne in den Personalbereich eingegriffen. So zeigen beispielsweise Reduktionen im Bildungsbudget oder die Verschiebung von Neuaufnahmen unmittelbare Auswirkungen im Finanzbereich. Es ist jedoch zu beachten, dass die kurzfristig als erfolgreich und budgetentlastet wirkenden Entscheidungen Auswirkungen haben, welche sich erst später bemerkbar machen. Eigendynamik und Komplexität des Unternehmens spielen hier eine wesentliche Rolle.

Bei der Betrachtung des Personalmanagements als Entwicklungsfunktion soll nicht die Gesamtheit aller Beschäftigten im Unternehmen sein, sondern im Mittelpunkt sollen jene von den Beschäftigten in die Wertschöpfungskette eingebrachte Leistung sein. Zwei Attribute spielen hier eine wesentliche Rolle: die Motivation und die Qualifikation des Personals. Die Motivation als emotionaler Antrieb des Handelns ist eine Grundlage für die Leistungserbringung und ist eine individuelle Ressourceneinheit, welche in die Organisation eingebracht wird. Die Messbarkeit von Motivation ist nur bedingt und das in psychologischen Tests möglich. Die Qualifikation spiegelt die Befähigung zum Handeln wider. Der Mensch wird die Kenntnisse und Fertigkeiten, welche ihn dazu befähigen, zum Problemlöser für die Organisation. Die Qualifikation wird meistens vor Eintritt in das Unternehmen erworben und im Zuge der Tätigkeit weiter ausgebaut. Die Qualifikation muss sich nicht auf einen Bereich beschränken, Personen können auch über mehrere Qualifikationen verfügen. Die Messung der Qualifikation wird mit Fähigkeitstests gemessen, formale Bildungsabschlüsse oder Referenzen können nur bedingt Messergebnisse liefern. [vgl. Klimecki/Gmür, 2005, S. 112]

Klimecky und Gmür beschreiben für die Arbeitsleistung einen interessanten Vergleich im Sinne dieser Arbeit: Die erbrachte Arbeitsleistung ist eine Kombination aus Motivation und Qualifikation. Beide gehen entsprechend dieser Beschreibung direkt proportional in das Ergebnis ein und bilden eine Analogie zur Berechnung der elektrischen Leistung:

$$\begin{array}{l} \text{Elektrische Leistung (P)} = \text{Stromstärke (I)} \quad \times \quad \text{Spannung (U)} \\ \text{Arbeitsleistung} \quad \quad \quad = \text{Qualifikation} \quad \quad \times \quad \text{Motivation} \end{array}$$

[entnommen aus: Klimecki/Gmür, 2005, S. 113]

Die Motivation wird mit der Spannung verglichen, dem Antrieb etwas zu bewegen. Die Spannung als Ursache für den Stromfluss durch einen Widerstand treibt demnach das Ganze um die entsprechende Leistung zu erbringen. Der Stromfluss bewerkstelligt den eigentlichen Energietransport, ausgelöst durch die Spannung. Die Qualifikation entspricht demnach dem Stromfluss, dem Vermögen etwas zu bewegen. Beide Attribute, der Drang und das Vermögen sind Grundvoraussetzung zur Leistungserbringung.

Mit dem entwicklungsorientierten Personalmanagement ist die Steuerung der Human Resources, der Qualifikation und Motivation gemeint und läuft in Teilprozessen ab. Sie ist zwar nur bedingt steuerbar, es treten hier auch wieder die bekannten Strukturen der Regelungsmechanismen auf. [Klimecki/Gmür] beschreiben die Teilprozesse mit Personalaktivierung, Personallenkung und Personalbindung und unterscheiden dabei zwei Analyseebenen: Die Ebene der Personalpolitik und jene der Human Resources:

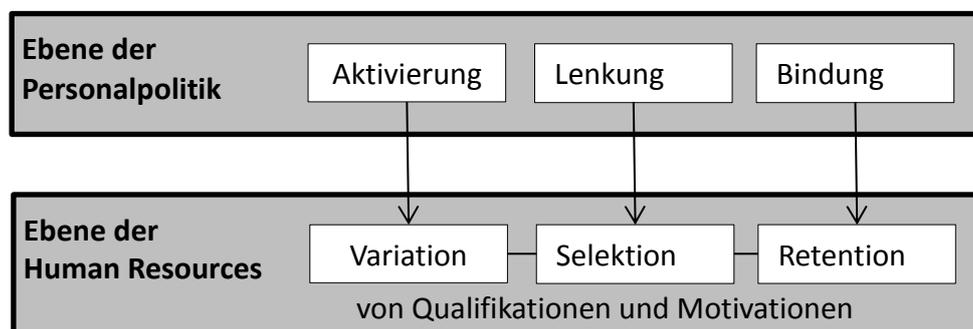


Abbildung 43: Konzept des entwicklungsorganisierten Personalmanagements [entnommen aus: Klimecki /Gmür, 2005 S.118]

Die aktivierenden, lenkenden und bindenden Maßnahmen sind aber nicht grundlegend isoliert, sondern sind miteinander verknüpft. Und von der Art der Verknüpfung, den Rückkoppelschleifen, hängt es dann ab, ob die Personalpolitik im Unternehmen stabilisierend oder flexibilisierend wirkt. Es ergeben sich hier wieder Rückkoppelschleifen, welche die einzelnen Bereiche miteinander verknüpfen, wie sie auch in technischen Regelkreisen vorkommen. Das folgende Bild für das Konzept des entwicklungsorientierten Personalmanagements ist mit der Grundstruktur eines kaskadierten Regelkreises vergleichbar:

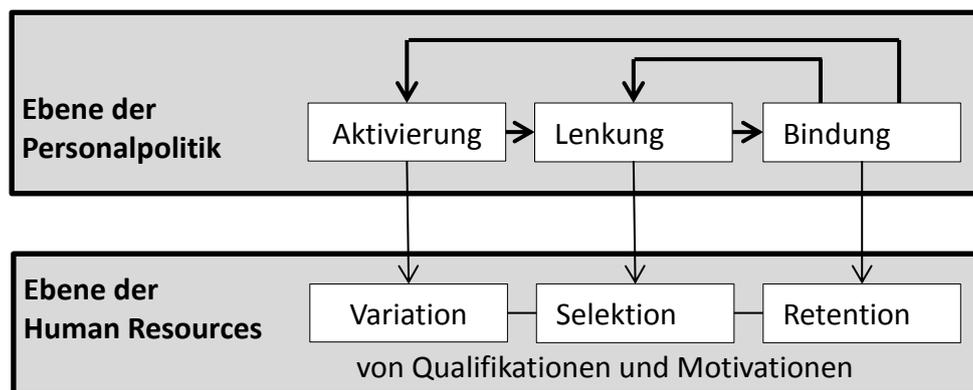


Abbildung 44: Regelschleifen im Bereich des Personalwesens [entnommen aus: Klimecki/Gmür, 2005, S. 120]

Sind die einzelnen Bereiche eng gekoppelt so ergibt sich ein stabilisierendes Verhalten, sonst flexibilisierend. Interessant ist die Beschreibung der Funktion der Rückkopplung: Im Gegensatz zu technisch-naturwissenschaftlichen Systemen wird hier die positive Rückkopplung als stabilisierend beschrieben. Mit der positiven Rückkopplung wird hier allerdings das Fortführen etablierter Maßnahmen gemeint, also Stabilität im Sinne der Beibehaltung etablierter Vorgänge. In technisch-naturwissenschaftlichen Systemen hingegen wirken negative Rückkopplungen stabilisierend, positive Rückkopplungen wirken stark verstärkend und führen zu instabilen Systemen. Letztendlich liegt eine, wie auch immer geartete Rückkopplung vor, die je nach Vorzeichen stabilisierend, oder flexibilisierend wirken kann. Letztendlich ist für eine adäquate Entwicklungsorientierung eine Ausgewogenheit zwischen stabilisierender und flexibilisierender Effekte anzustreben, um die Anforderungen aus den Unternehmenszielen hinsichtlich Human Resources bestmöglich zu erfüllen.

Je nach Zustand eines Unternehmens verändern sich die Bedeutungen der einzelnen Teilprozesse von Personalaktivierung, -lenkung und Bindung sowie Kopplungen und Rückkopplungen. Ein junges Unternehmen (Startup) wird eine stark ausgeprägte Personalaktivierung haben sowie verhältnismäßig schwache Bindungen, um den entsprechenden Bedarf im Unternehmen aufzubauen.

Die Kommunikation und der Informationsaustausch werden eher informeller Natur mit vergleichsweise geringem Regelwerk sein. Verändert sich das Unternehmen im Zuge seiner Entwicklung über den Typ „Aufbau“ zu Konsolidierung, verändern sich entsprechend die Bedeutungen und Kopplungen der einzelnen Teilprozesse mit. Entsprechend den Bedürfnissen ergeben sich positive oder negative Rückkopplungen oder sie verändern sich beispielsweise von engen zu losen Kopplungen und/oder umgekehrt. [vgl. Klimecki/Gmür, 2005, S. 126]

Hier ist aber auch ein Unterschied zu technischen Systemen erkennbar: es sind zwar Regelungsstrukturen vorhanden, das jeweilige System selbst muss jedoch nicht notwendigerweise zeitinvariant sein. Die Ressource Personal ist also ein wesentlicher Faktor der Entwicklungsfähigkeit eines Unternehmens und wird durch die Kombination von flexibilisierenden und stabilisierenden Maßnahmen bzw. Aspekten beeinflusst. Maßnahmen wie Aktivierung, Lenkung und Bindung beeinflussen personalpolitisch den evolutionären Prozess der Ressource Personal. Analogien zu technischen Systemen sind vorhanden, wie beispielsweise an den geschlossenen Wirkungsabläufen durch Rückkopplungen erkennbar ist.

Weiterführende Untersuchungen zum Vergleich von Personalmanagement im Blickwinkel der Analogien bieten sich hinsichtlich der Betrachtung von weichen Faktoren, wie beispielsweise Work-Life-Balance, an. Hier sind ebenfalls geschlossene Wirkungsabläufe zur Erreichung von bestimmten Zuständen vorhanden. Angesichts eines nicht zu übersehenden subjektiven Faktors und menschlicher Komponente ergibt sich hier bei der Suche nach Analogien mit technischen Systemen eine besondere Herausforderung. Besonders schwierig ist die Messung „weicher“ Faktoren bzw. das Anlegen eines Maßstabes zur Gewinnung von geeigneten Größen für die Bildung der Rückkoppelschleifen.

Das Personalmanagement kann in der Unternehmung als Versorgungsbereich betrachtet werden. Im Falle des Nichtfunktionierens wird es entsprechend zur Versorgungsstörgröße. Durch die relativ langen Reaktionszeiträume im Personalbereich beim Recruiting sowie der Ausbildung, aber den raschen Auswirkung von Maßnahmen auf der finanziellen Seite, ist hier besondere Vorsicht bei Aktionen geboten. So wirken sich die Kündigung von Mitarbeitern, ein Aufnahmestopp oder das Streichen von Bildungsmaßnahmen sehr rasch auf das Ergebnis aus und sind deshalb beliebte Maßnahmen für rasche Maßnahmen um Auswirkungen in finanzieller Hinsicht zu erzielen. Demgegenüber stehen aber die langfristigen Auswirkungen und langen Zeiträume, welche benötigt werden, um beispielsweise entsprechendes Personal am Markt zu „recruiten“ oder auszubilden.

4.2.4 Beispielhafte Vergleiche und Regelkreise von Querschnittsbereichen

4.2.4.1 Strategie

Die Strategie bzw. die Unternehmensstrategie legt die Verhaltensweisen fest, wie Unternehmensziele mittel- bzw. langfristig erreicht werden sollen. Es ist klar, dass die Strategie sämtliche Unternehmensbereiche mit einschließt und sich nicht auf einige Bereiche beschränkt. Aus diesen Aspekten heraus ist erkennbar, dass die Komplexität hier sehr groß ist und die Planbarkeit mit zunehmendem Planungszeitraum immer schwieriger wird. Dennoch wollen Störungen so früh wie möglich erkannt werden, am besten in einem Frühwarnsystem. Angesichts der hohen Komplexität sowie langfristiger Betrachtungszeiträume und dem Bewusstsein, dass wirtschaftlichen Systemen eine gewisse Zeitvarianz zu Grunde liegt, sind hier Rückkoppelschleifen und technische Maßstäbe schwer erkennbar, aber dennoch vorhanden. Die Strategie betrifft als Querschnittsmaterie letztlich sämtliche Unternehmensbereiche. Dadurch entstehen Kettenstrukturen und kaskadierte Strukturen, wie die folgenden Ausführungen zeigen. Der Bereich der Strategie liefert damit Führungsgrößen im Jargon der Regeltechnik für die nachgereihten operativen Bereiche.

Mit der Strategie wird allgemein das Denken und Handeln sowie Entscheiden auf oberster bzw. übergeordneter Ebene verstanden. Es soll nicht vom kurzzeitigen oder kurzfristigen Denken geleitet werden, sondern es geht um die allumfassende und weit vorausschauende Sichtweise. Wesentlich ist auch das Orientierungserfordernis außerhalb des eigenen Systems, da das „Obersystem“ oder „Umsystem“ erfolgsrelevante Einflüsse auf das eigene System ausübt. Die strategische Überlegungen beziehungsweise Entscheidungen unterliegen im Vergleich zu operativen einem höheren Komplexitätsgrad. Durch den erweiterten Zeithorizont sind die zeitlichen Aspekte größer und durch die Einbeziehung des Umsystems wird die Menge möglicher Systemzustände ebenfalls gesteigert. Ein weiterer Punkt in strategischen Betrachtungen ist die allumfassende Betrachtung in Form eines „Gesamtplanes“. Aus diesem Gesichtspunkt erscheint in strategischen Belangen durchwegs ein vergleichsweise höherer Komplexitätsgrad, wie in anderen Bereichen.

Dieser Gesamtplan soll dann eine zusammengehörige Verhaltens- und Entscheidungsfolge enthalten, um den Weg des Unternehmens vorzuzeichnen, der zu den festgelegten, übergeordneten Zielen führt. Durch die Strategie werden bestimmte, höherrangige Ziele für das Unternehmen erstellt. „Höherrangige“ oder „übergeordnete“ Ziele sind somit nachgereihten, operativen Bereichen vorgegeben und unterscheiden sich grundsätzlich von den „niederrangigeren“. Strategische

Überlegungen haben daher durchwegs „Führungsgrößencharakter“ im Unternehmen. [vgl. Gälweiler, 1990, S.67]

Durch die übergeordnete Eigenschaft der Strategie umfasst sie als „oberster“ Regelprozess sämtliche Wertschöpfungsaktivitäten in der Unternehmung und hat alle Veränderungen im Laufe der Zeit zu erfassen und, wenn möglich, auszuregeln. Es ist unbenommen, ob es sich um interne oder externe Einflüsse handelt. Ein interner Einfluss kann beispielsweise von der Belegschaft herrühren, ein externer kommt zum Beispiel vom Markt. Letztendlich geht es um den Wettbewerbsvorteil, der das Unternehmen erfolgreich machen soll. Dieser übergeordnete Regelmechanismus mit unterlagerten Teilregelkreisen zeigt die typische Struktur von kaskadierten Regelsystemen. [vgl. Töpfer, 2005, S. 504ff].

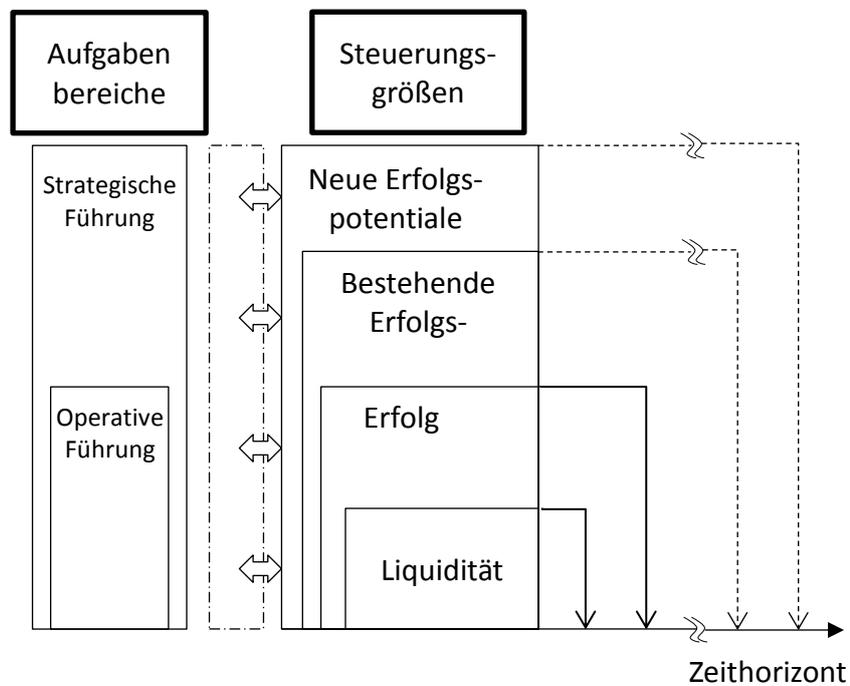


Abbildung 45: Aufgabenbereiche der Unternehmensführung [teilweise entnommen aus: Gälweiler, 1990, S.34]

Die übergeordneten Regelkreise der strategischen Führung sind durch größere Zeithorizonte gegenüber den operativen Bereichen charakterisiert. Organisatorisch bzw. hierarchisch ist der strategische Bereich dem operativen überlagert, „frequenztechnisch“ ist der operative Bereich jedoch durch seine kürzeren Zeitkonstanten offensichtlich dem strategischen überlagert, wie in Abbildung 46 ersichtlich ist.

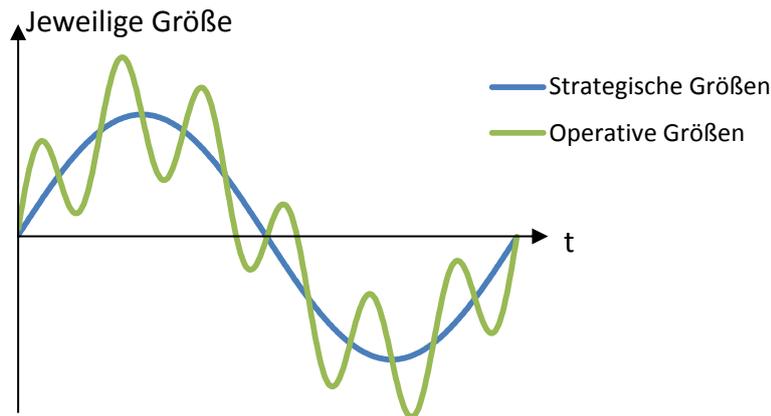


Abbildung 46: Schematische Darstellung von Größen verschiedener Zeithorizonte

Die Sicherung der vollen Überlebensfähigkeit der Unternehmung über eine möglichst lange Zeit hinweg ist die übergeordnete Aufgabe der Unternehmensführung. Die Steuerungsgrößen dafür, wie Erfolgspotentiale, Erfolg und Liquidität müssen dazu in einem ausgewogenen Verhältnis zueinander stehen. Die angesprochenen Steuerungsgrößen unterliegen jedoch auch unterschiedlichen Zeithorizonten. So ist beispielsweise die Liquidität laufend zu sichern und unterliegt einer anderen Zeitkonstante, wie beispielsweise jene der Erfolgspotentiale.

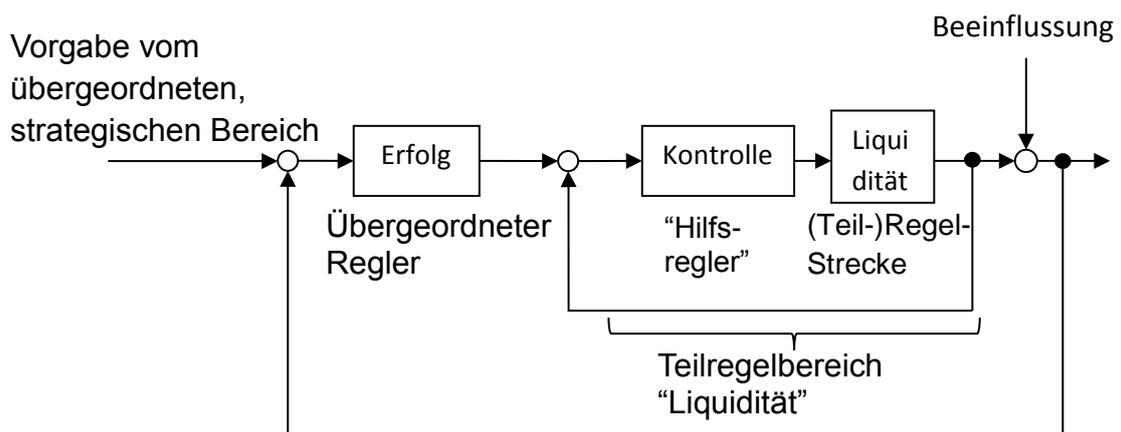


Abbildung 47: "Technisches" Modell eines Regelkreises mit Hilfsregler für die zwei operativen Bereiche von Abbildung 45

Zur Überwachung und gegebenenfalls notwendigen Durchführung von Korrekturen unterliegen die Steuerungsgrößen einem laufenden Soll/Ist-Vergleich, weswegen sich wieder durch die

Rückkoppelschleifen geschlossene Wirkungsabläufe ergeben. Die sind ineinander verschachtelt, beziehungsweise weisen kaskadierte Strukturen auf. Damit müssen bei diesem übergeordneten und allumfassenden Bereich der Strategie die „hierarchische Verschachtelung“ (Kaskadierung) und zeitliche Überlagerung (verschiedene Zeithorizonte) der jeweiligen Größen Beachtung finden.

4.2.4.2 Projektmanagement

Bei Projekten handelt es sich grundsätzlich um komplexe Aufgabenstellungen, die zeitlich begrenzt und mit einem definierten Budget für die entsprechende Umsetzung der Projektziele ausgestattet sind. Je nach Komplexität werden temporäre Aufgaben in der Linienhierarchie bzw. in Klein- oder Großprojekten abgearbeitet. Die Bedeutung des Projektmanagements nimmt laufend zu. Zu groß sind die finanziellen und reputationsmäßigen Schäden bei misslungenen Projekten. Der Umfang eines Projektes beeinflusst auch die Anforderungen an das Projektmanagement.

Mit dem Projektmanagement werden klassische Regelungs- und Steuerungsmechanismen in Verbindung gebracht. Es liegt eine Aufgabe vor, die im Rahmen eines Projektes abgearbeitet werden soll. Es bedarf daher der Definition des Zieles des Projektes, der Projektauftrag wird erstellt. Daraus entwickelt sich die Projektplanung und Projektkoordinierung. Zur Erfassung der wichtigen Messgrößen und Bildung der Rückkoppelschleifen gibt es ein Projektcontrolling sowie ein laufendes Monitoring des Projektzeitplanes und Überwachung der Ressourcen. Bei Abweichungen werden, wie in einem technischen Regelkreis, entsprechende Korrekturmaßnahmen eingeleitet. Zwecks Einrichtung und Aufrechterhaltung der Informationsflüsse werden Besprechungen sowie der Austausch von Informationen via Mail beziehungsweise Documentsharingplattformen eingerichtet.

Ein Projekt kann je nach Größe Strukturen wie ein Unternehmen, ein Lebensfähiges System annehmen. Bei Projekten eines bestimmten Umfangs ergibt sich die enge Zusammenarbeit von Teams verschiedener Unternehmen, die unmittelbare Steuerung und Koordinierung passiert im Projektteam. Die Rückkoppelschleifen werden grundsätzlich im Projektteam gebildet, können sich jedoch über Lenkungsausschüsse und Eigentümer- bzw. Auftraggebergremien auf die jeweils das Projekt dotierende Unternehmen ausdehnen.

Projektmanagement umfasst daher Planung, Steuerung, Kontrolle und Organisation eines Projektes. Ein Projekt als zusammenhängendes System braucht eine klare Definition und Abgrenzung seines Zieles. Neben der Zieldefinition ist die Definition von Nichtzielen ein wesentlicher Aspekt zur Abgrenzung des Projektes. Sind die Ziele festgemacht, wird das Projekt in sich strukturiert. Es bedarf

der Projektstruktur mit der Organisation der einzelnen Teilbereiche, wie beispielsweise Projektcontrolling, Projektfinanzierung usw. Die graphische Darstellung bildet den Projektstrukturplan (PSP). Der Terminplan bildet die Basis der zeitlichen Abfolge des Projektes bzw. dessen Teilprojekte.

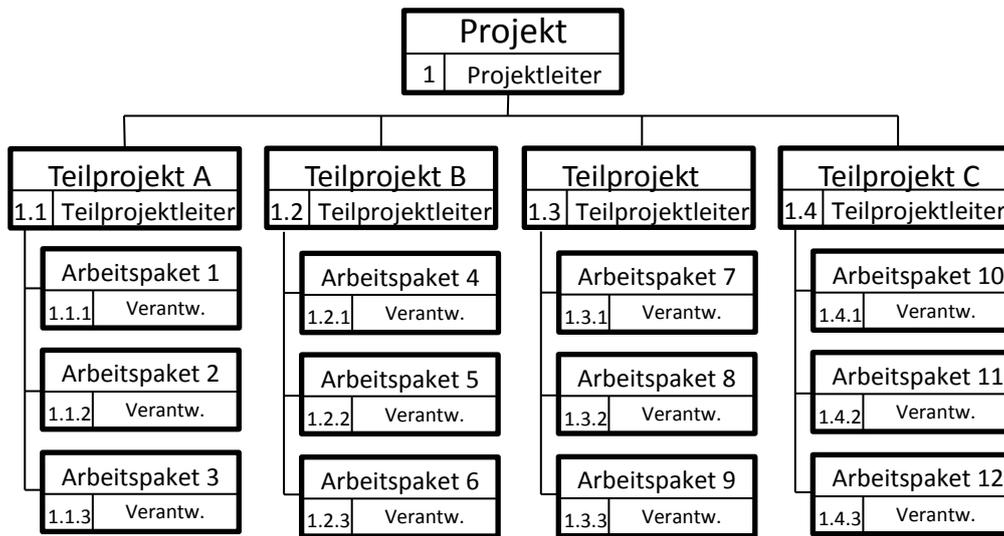


Abbildung 48: Beispiel eines Projektstrukturplans [vgl. Sterrer, 2011, S. 24]

Das übergeordnete Projektziel wird in die einzelnen Teilbereiche heruntergebrochen und in die jeweiligen Teilziele strukturiert. Da sämtliche Ziele überwacht und gegebenenfalls korrigiert werden, bilden sich auch in diesen Bereichen Strukturen mit geschlossenen Wirkungsabläufen durch Rückkoppelungen. Und die Rückkoppelungen werden durch Messwertgewinnung und Rückführung gebildet. Durch die hierarchische Struktur und vermaschten Ziele ergeben sich wieder kaskadierte Regelsysteme.

Projektplanung:

Die Projektplanung folgt auf den Projektauftrag. Der Projektleiter und gegebenenfalls Teile des Teams sind bereits etabliert. Diese führen aufbauend auf die Projektziele und den Projektauftrag die Projektplanung durch. Für die Arbeitspakete müssen Ressourcen und Kosten geplant werden und während der Umsetzung des Projektes laufend überwacht werden. Die Termine bilden wesentliche Punkte auf der Zeitachse des Projektes. Neben den „Hardfacts“ gilt es ebenso den Projektkontext, also seine Einbettung in die Umwelt zu berücksichtigen. Projektrisiken müssen ebenso erfasst und in einem „Projektrisikomanagement“, in Risikomaßnahmen berücksichtigt werden.

In der Projektplanung sind Leistungsplanung, Terminplanung, Kosten- und Ressourcenplanung enthalten. Die Projektorganisation stellt die Aufteilung der einzelnen Bereiche auf Teams bzw. Personen dar. Durch die Planung, Ausführung, Überwachung der Ergebnisse sowie gegebenenfalls Korrektur sind auch beim Projektmanagement geschlossene Wirkungsabläufe vorhanden. Das Projektcontrolling ist eine Funktion, welche eine Rückkoppelschleife bildet und laufend für die Nachjustierung bei Abweichung vom Sollwert sorgt:

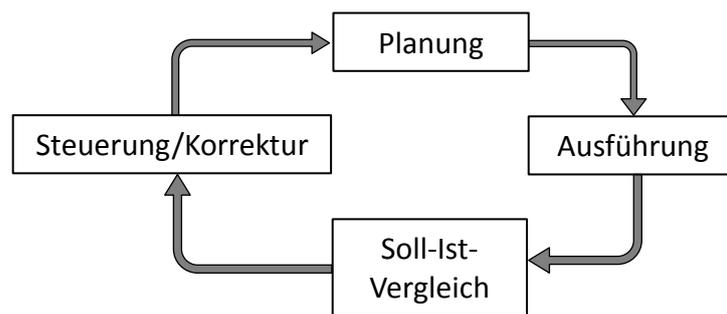


Abbildung 49: Soll-Ist-Vergleich durch Abweichungsanalyse [entnommen aus Sterrer, 2011, S. 44]

Aus diesem Grundmodell lässt sich die Darstellung in Form eines Regelkreises mit Sollwertvorgabe, Messung und Regeleinrichtung ableiten:

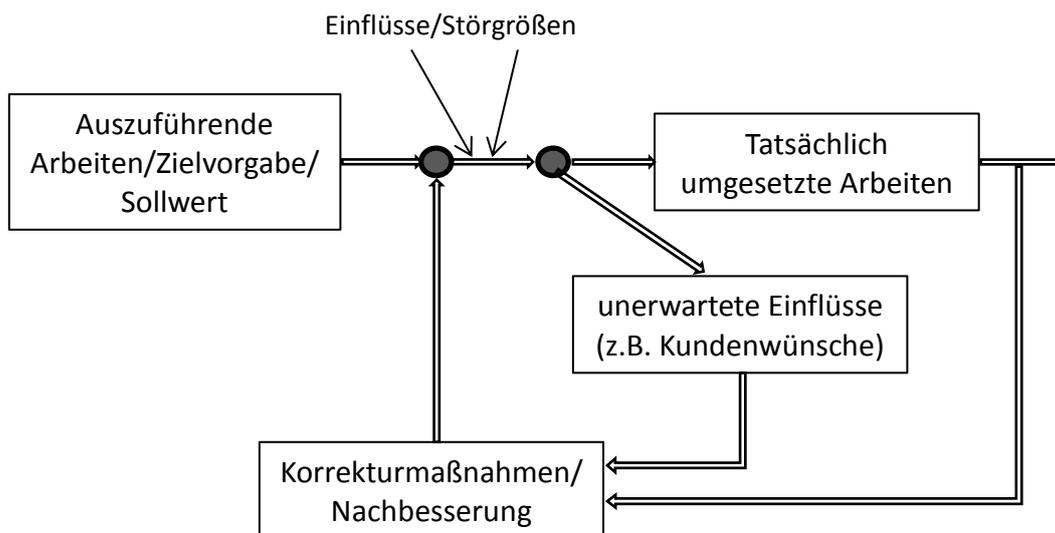


Abbildung 50: Darstellung des Projekttablaufes als Regelkreis [abgeleitet von: Sterman, 2000, S. 58]

Das Projektmanagement ist eine klassische Steuerungs- und Regelungsfunktion zur Umsetzung der gestellten Aufgaben. Es ist ein Prozess zur Aufrechterhaltung der Zielvorgaben und geschieht durch ständiges Vergleichen der Zielvorgaben (Sollwerte) mit dem Istzustand und Ausregeln von Differenzen. Umwelteinflüsse wirken wie Störgrößen auf den Gesamtprozess und werden ausgeregelt. Änderungen der Zielvorgaben können ebenfalls in Projekten auftreten. Diese Änderungen lösen wiederum Regelprozesse aus und haben Korrekturmaßnahmen zur Folge. Wie in vorigen Kapiteln beschrieben, spielt der Ort der Einwirkung von Einflüssen eine erhebliche Rolle auf das Gesamtverhalten des Regelprozesses. Je früher (örtlich und zeitlich) die Einwirkungen stattfinden, desto intensiver sind deren Auswirkungen auf das Gesamtsystem.

Das Projektmanagement lässt sich durch seine steuernde und regelnde Funktionen gut mit technischen Systemen vergleichen. Es sind Sollwerte und Istwerte vorhanden, geschlossene Wirkungsabläufe sowie Reglerfunktionen und Störgrößenberücksichtigung.

4.2.4.3 Krisenmanagement

Das Krisenmanagement spielt in Unternehmungen eine wesentliche Rolle. In der einschlägigen Literatur wird die Krise oft als jedwede Abweichung des Istwertes vom Sollwert beschrieben. Diese Beschreibung würde aber zu weit führen, da auch im „normalen“ Geschäft es laufend zu Abweichungen von Ist und Sollwert kommen kann, welche im Tagesgeschäft bearbeitet werden. Deshalb muss es sich noch um keine Krise handeln. Eine Störung ist beispielsweise eine Beeinträchtigung des Betriebes, welche im Rahmen normaler Betriebszeiten und Maßnahmen behoben wird. Ein Notfall ist hingegen ein Ereignis, das sofortiges Handeln erfordert, da unmittelbare Gefahr für Personen und Sachwerte droht. Durch das zeitgleiche Auftreten bzw. die Verkettung von Störungen und Notfällen, welche im normalen Betrieb nicht mehr zu beherrschen sind, wird eine Krise hervorgerufen. Ein wesentliches Merkmal einer Krise ist ihre selbständige Ausweitung und massive Schadensausweitung bei Untätigkeit und nicht Ergreifen entsprechender Maßnahmen zur Eindämmung der Krise. Das Krisenmanagement wird in vielen Bereichen auch als Teil des Risikomanagements gesehen. Das Risikomanagement bietet Raum für eigene Ausbildungsrichtungen und Arbeiten, die Ausführungen in diesem Kapitel beziehen sich auf den Zusammenhang von Krisenmanagement und den geschlossenen Wirkungsabläufen in wirtschaftlichen Systemen.

In Unternehmen sind für die Bewältigung von Krisen besondere Vorkehrungen getroffen. Es sind Krisenstäbe installiert, Krisenszenarien werden simuliert und deren Bewältigung im Vorfeld geübt.

Das Krisenmanagement hat eine organisatorische Komponente, die in das Unternehmen eingebettet ist. Dem Krisenmanager mit seinem Team kommt hier eine grundlegende Rolle zu. Ein weiterer wesentlicher Punkt sind die Schnittstellen nach außen. Das Zusammenspiel mit anderen Einsatzorganisationen wie beispielsweise Rettungsorganisationen, Bundesheer sowie Behörden tragen maßgeblich zur erfolgreichen Krisenbewältigung bei.

Damit die Krisenbewältigung im Ernstfall auch entsprechend gut funktioniert, bedarf es einer guten Vorbereitung im Vorhinein. Es sind dazu die betroffenen Mitarbeiter zu nominieren und auszubilden. Weiter sind eine entsprechende Aufbauorganisation für den Krisenfall zu erstellen sowie die Schnittstellen im Unternehmen und nach außen zu definieren. Wie bereits oben erwähnt, tragen wiederkehrende Übungen wesentlich zum Erfolg im Bedarfsfalle bei.

Wie funktioniert nun Krisenmanagement?

Im Unternehmen sind entsprechend den Aufgaben und dem Geschäftszweck, wie in den vorhergehenden Kapiteln beschrieben, entsprechende Regelkreisstrukturen etabliert. Diese Arbeiten im sogenannten „normalen“ Betrieb regeln Soll-/Istwertdifferenzen aus. Es stellt sich nun die Frage, wie das Krisenmanagement zu sehen ist. Ist das beispielsweise ein massives Reagieren der „normalen“ Regelkreise, oder ist das ein besonderer, eigener Regelkreis, welcher nur im Krisenfall aktiv wird. Je nach Betrachtungsweise kommen grundsätzlich beide Regelkreissystemfunktionen zu Tragen. Die Mitglieder von Krisenstäben sind ja meistens in den normalen Ablauf eines Unternehmens integriert. Dennoch wird im Krisenfälle die Krisenorganisation „hochgefahren“.

4.2.4.3.1 Die Krisenbewältigung im Rahmen des „Regelkreises Unternehmen“

Die Unternehmung als Gesamtsystem setzt ihre Ressourcen dort ein, wo sie zur Bewältigung der gestellten Aufgaben benötigt werden. Es ist ein bestimmtes Reservoir an Ressourcen vorhanden, dass entsprechend den gestellten Anforderungen aufgeteilt wird. Meistens steht dafür ein gewisses Pensum an Zeit zur Verfügung. Die zu bewältigenden Anforderungen können beispielweise im Normalfall in der Produktion oder der Kommunikation liegen. Tritt nun ein Ausnahmefall, eine Krise, ein müssen rasch entsprechende Maßnahmen zum Gegensteuern ergriffen werden. Es wird entsprechend den festgelegten Prioritäten und den Erfahrungen aus den Übungen bzw. bisherigen Ausnahmeszenarien, Maßnahmen zur Krisenbewältigung eingeleitet. Der Krisenstab wird „hochgefahren“ und beginnt zu arbeiten. Die dafür notwendigen Ressourcen werden aus dem Unternehmen rekrutiert. Dabei kann es passieren, dass durch die Verlagerung von Ressourcen

bestimmte Bereiche in solch einem Ausnahmezustand ihre Aufgaben zu diesem Zeitpunkt nicht erfüllen können und diese gegebenenfalls zu einem späteren Zeitpunkt erst umsetzen. Vom Prinzip her vereint das Krisenmanagement die Eigenschaften des expliziten und des intrinsischen Regelkreises.

Der explizite Regelungsmechanismus besteht durch das „normal“ laufende Geschäft. Es sind, wie in den vorherigen Kapiteln beschrieben, die entsprechenden Regelungsstrukturen im Unternehmen etabliert. Ausgehend von der Annahme, dass die Werte der Prozesse in den vorgegebenen Grenzen liegen, bedarf es keines regelnden bzw. korrigierenden Eingriffes. Tritt nun der außerordentliche Zustand mit der Abweichung von den Sollwerten (im technischen Jargon: eine „Regeldifferenz“) ein, treten im Unternehmen Krisenmaßnahmen in Kraft und steuern gegen. Der Krisenstab wird aktiviert und ergreift entsprechende Maßnahmen, um den Sollzustand wieder herzustellen. Ist der Sollzustand wieder erreicht (die Regeldifferenz geht gegen Null), treten die Krisenmaßnahmen wieder außer Kraft, der „normale“ Prozess läuft wieder weiter. Dieser Mechanismus entspricht einem typischen Regelungssystem:

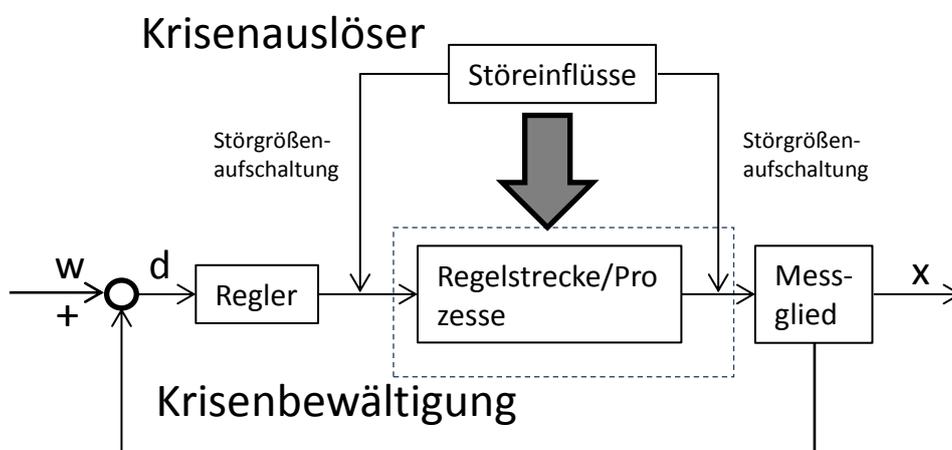


Abbildung 51: Einwirkung der Störungen auf einen Regelkreis aus Sicht des Krisenmanagements

Der Prozess der Krisenbewältigung selbst ist ein geschlossener Wirkungsablauf mit einer Grundstruktur, wie bei einem Regelkreis. Er beginnt mit dem Erkennen der Krise, dem Einrichten des Krisenstabes und Durchführung der Maßnahmen zur Krisenbewältigung bis zur Feststellung des Endes der Krise.

Der Regelkreis des Führungsverhaltens für den Kriseneinsatz selbst stellt sich dann wie folgt dar:

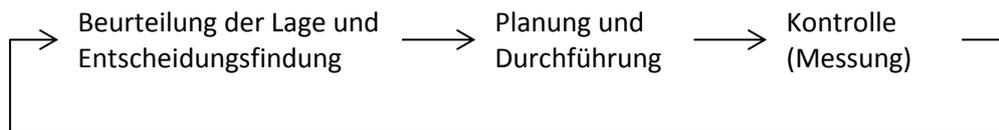


Abbildung 52: Regelkreis des Krisenmanagements

Im Krisenmanagement kommt sowohl der internen als auch der externen Kommunikation besondere Bedeutung zu. Durch eine entsprechende externe Kommunikation sollen einerseits außerhalb des Unternehmens stehende, von allfälligen Einflüssen informiert oder gewarnt werden und andererseits einem Imageschaden des Unternehmens vorgebeugt werden. Die interne Kommunikation muss die notwendigen Informationsflüsse zeitgerecht sicherstellen. Durch die Informationswege werden die Rückkopplungsschleifen des Regelkreises gebildet. Die zeitgerechte und aktuelle zur Verfügung Stellung der notwendigen Informationen ist von grundlegender Bedeutung und Basis für ein funktionierendes System generell, umso mehr für ein funktionierendes Krisenmanagement. Die Organisationen für Krisenstäben oder –kommandos wird meistens in sechs (international übliche) Teilgebiete strukturiert: S1 Personal, S2 Lageführung, S3 Einsatz, S4 Versorgung, S5 Öffentlichkeitsarbeit sowie S6 Information/Kommunikation (in militärischen Bereichen wird unter S6 auch das Fernmeldewesen/Telekommunikation genannt). Die Wichtigkeit der Information und Kommunikation ist durch die Zuteilung eines eigenen Sachgebietes S6 erkennbar. [entnommen aus: https://www.onlinesicherheit.gv.at/nationale_sicherheitsinitiativen/koordination_und_strategie/71763.html]

Die systemimmanente oder intrinsische Regelung basiert auf dem gleichen Prinzip wie die Darstellung der Regelkreis bei einem Pendel oder einem Feder-Masse-Schwinger. Es sind bestimmte Ressourcen im Gesamtsystem vorhanden und die werden den jeweiligen nach Prioritäten gereihten Aufgaben zugeteilt. So werden im Krisenfall zwangsweise gewisse im Normalbetrieb laufende Prozesse zu Gunsten der Krisenbewältigung reduziert werden. Nach der Wiederherstellung des Normalbetriebes werden die Prozesse des Tagesgeschäftes wieder aufgenommen. Eine Alternative zur Umschichtung ist die Vorhaltung von Ressourcen, welche dann im Krisenfall zum Einsatz kommen. Diesen zusätzlichen Ressourcen müssen nicht notwendigerweise im Unternehmen sein, sondern können auch von außen zugekauft werden.

4.2.4.3.2 Organisatorische Struktur eines Krisenstabes:

Der Krisenstab mit seinem Leiter, dem Krisenmanager, untersteht direkt der Geschäftsleitung und hat die Aufgabe, alle Maßnahmen zu ergreifen und durchzuführen, um ehestmöglich den Normalzustand, den ordentlichen Betriebszustand wieder herzustellen. Dazu sind ihm weitreichende Kompetenzen und Entscheidungsfreiheiten zugeteilt. Zur Umsetzung ist dem Krisenstab dann ein entsprechender Einsatzstab samt Einsatzleiter zugeteilt, die unterlagerten Teams setzen die festgelegten Maßnahmen um.

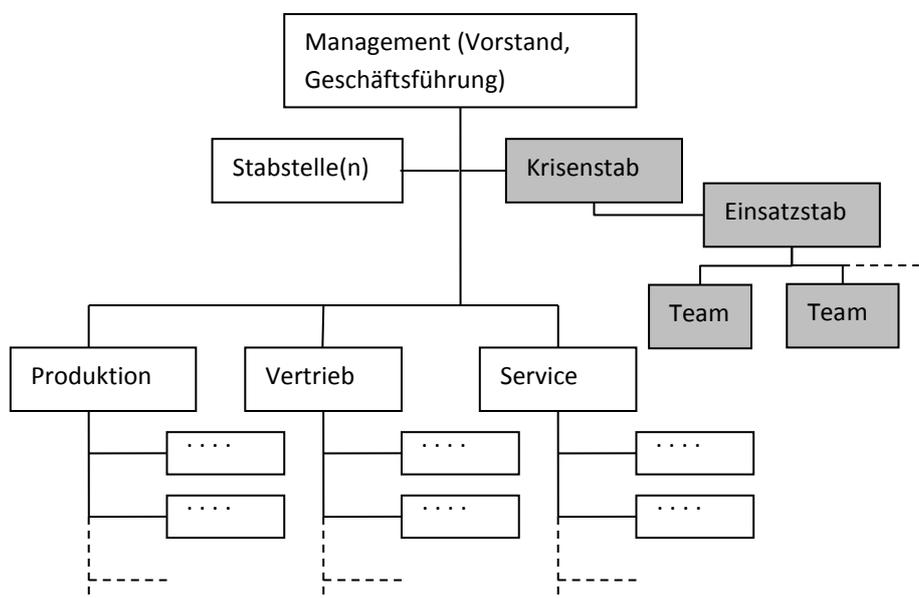


Abbildung 53: Organisatorische Zuordnung des Krisenmanagements in einem Unternehmen (vgl. dazu Abbildung 29)

Die Organisation und die Aufgaben des Krisenmanagements müssen klar definiert sein und sind in den meisten Unternehmen in Krisenhandbüchern festgeschrieben. Ihr Funktionieren wird durch laufend wiederkehrende Übungen gesichert und stetig verbessert. Durch die klaren Strukturen, den genau festgelegten Aufgabenumfang und die hierarchisch im Unternehmen sehr weit oben angesiedelte Funktionen des Krisenmanagements ist rasches und unbürokratisches Handeln und somit Gegensteuern zur Krisenbewältigung möglich.

4.2.5 Ein Beispiel von Markt und Preisgestaltung als nichtlineares System

Die bisherigen Betrachtungen wirtschaftlicher Systeme aus Sicht der Systemtheorie sollen um die Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme erweitert werden.

Bei der Platzierung von Produkten am Markt spielen die Preis- bzw. Kontrahierungspolitik eine wesentliche Rolle. Der Preis ist nach wie vor ein wesentlicher Treiber für die erzielbaren Absatzmengen eines Produktes und damit eine wichtige Entscheidungsgrundlage. Durch die in der heutigen Zeit meistens übliche Konkurrenzsituation auf Käufermärkten ist die Gestaltungsmöglichkeit nur beschränkt möglich. Darüber hinaus ist bei der Festlegung des Preises zu berücksichtigen, dass durch Preissenkung nicht notwendigerweise eine Erhöhung des Absatzes einhergehen muss. Der Preis steht oft auch für eine gewisse Qualität, die bei Unterschreitung eines gewissen Preises zu sinken beginnt. Darüber hinaus kann das gegenseitige Unterbieten von Konkurrenten zu einem ruinösen Preisverfall kommen. Ein Beispiel dafür ist der österreichische Telekommarkt, insbesondere der Mobilfunkbereich.

Bei der Suche nach dem optimalen Absatzpreis entsteht ein Entscheidungsproblem. In der Praxis wird die Preisbestimmung durch einen Marketingmix getrieben sein, die Preistheorie in der BWL wird jedoch isoliert davon gesehen und geht von gewissen Vereinfachungen aus. In diesem Sinne eignet sie sich auch besser für den Vergleich mit technischen Systemen.

Entsprechend den Grundlagen der Preistheorie besteht zwischen dem Preis p und der mengenmäßigen Nachfrage x nach einem Gut ein Zusammenhang, die Preis-Absatz-Funktion $p(x)$. Unter der Annahme eines Einprodukt-Unternehmens und einer monopolistischen Stellung ergibt sich die lineare Preis-Absatz-Funktion [vgl. Domschke/Scholl, 2005, S. 188ff, bzw. Krummenacher/Thommen, 2007, S. 112ff]

$$p(x) = p_{\max} - b \cdot x$$

Gleichung 23

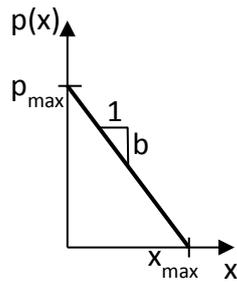


Abbildung 54: Lineare Preis-Absatz-Funktion [entnommen aus: Domschke/Scholl, 2005, S. 189]

In dieser Formel bezeichnet p_{\max} den maximal erzielbaren Prohibitivpreis, die maximal erzielbare Menge ist x_{\max} (Sättigungsmenge).

Die Umsatzfunktion $U(x)$ ergibt sich zu

$$U(x) = x \cdot p(x) = x \cdot (p_{\max} - b \cdot x) = x \cdot p_{\max} - b \cdot x^2$$

Gleichung 24

Bei dieser Funktion handelt es sich um eine nichtlineare Systemfunktion.

Zur Ermittlung des Gewinnes bedarf es noch der Kostenfunktion $K(x)$. c entspricht den Stückkosten, x wieder der Anzahl der Einheiten.

$$K(x) = c \cdot x,$$

Gleichung 25

woraus sich dann die Gewinnfunktion ergibt ($a = p_{\max}$):

$$G(x) = U(x) - K(x) = ax - bx^2 - cx = (a - c - b \cdot x) \cdot x$$

Gleichung 26

[vgl. Domschke/Scholl, 2005, S. 196, bzw. Kopel, 1994, S. 12]

Wird nun ein Teil des Gewinnes wieder der Produktion zugeführt, ergibt sich eine Rekursion für den Absatz der Folgeperiode aus der Vorperiode:

$$x_{t+1} = e \cdot G(x_t) / c$$

Gleichung 27

e ist dabei jener Anteil des Gewinnes der Vorperiode, welcher der Produktion der Folgeperiode wieder zugeführt wird.

Setzt man nun Gleichung 26 in die Gleichung 27 ein, ergibt sich:

$$x_{t+1} = e/c(a-c-bx_t)x_t$$

Gleichung 28

Bei diesem Modell wird vereinfachend angenommen, dass die Finanzierung der Produktion der Folgeperiode ausschließlich aus dem Gewinn erfolgt und es keinerlei externe Finanzierungsmöglichkeiten existieren. Die Produktion der Anfangsperiode wird ausschließlich von den Anteilseignern finanziert. Da bei diesem Modell der Gewinn der Vorperiode wieder dem System (zumindest anteilmäßig) wieder zugeführt wird, liegt ein nichtlineares rückgekoppeltes System (mit einem geschlossenen Wirkungssinn) für die Finanzierung aus dem Gewinn vor. Der Teil $e/c(a-c-bx_t)$ von obiger Gleichung hat eine gewisse Ähnlichkeit mit der Übertragungsfunktion (Gleichung 13) des Abtastregelkreises von Kapitel 3.7.2.2 worauf später in Kapitel 5 noch näher eingegangen wird.

4.3 Intrinsische und systemimmanente Mechanismen/Gedanken zur Kybernetik im Management

Regelungsmechanismen treten oft nicht nur mit expliziten Elementen, wie beispielweise mit einem getrennten Regler und Strecke auf. Speziell in der Kybernetik II. Ordnung werden die Systeme als Gesamtheit betrachtet. Der Regelmechanismus als Teil des Gesamten, muss nicht notwendigerweise explizit ausgeprägt sein (wenngleich er es natürlich sein kann). Die früher rein analytische Betrachtungsweise wurde durch eine synthetische, integrierende ergänzt. Wesentlich ist das Erkennen des Vorhandenseins von (intrinsischen) Rückkoppelungsschleifen und die Bedeutung von Information und Kommunikation in Systemen. Unternehmen werden nicht mehr nur isoliert betrachtet, sondern im Gesamtkontext der Einbettung in die Umwelt, das gewissermaßen das Umsystem bildet. Und diese Umwelt ist als solche wieder von unterschiedlichen Systemen durchsetzt, deren (Teil)Strukturen dem zu untersuchenden System gleichen können. Mit dieser vorhandenen kybernetischen und systemtheoretisch orientierten Denkweise fließen kybernetisch basierte Ansätze von Problemen im Management ein. Die Konzeption von technisch geprägten Produktionsprozessen über Lager- und Logistikthemen bis zu Managementsystemen wird zunehmend von den systemtheoretischen und kybernetischen Vorstellungen geprägt. Bisher wurden die einzelnen Bereiche als Teilprobleme untersucht. Beim Management hingegen ist das Unternehmen hingegen als Ganzes zum Gegenstand (mit der Einbettung in die Umwelt). Durch die Kybernetik wird der interdisziplinäre Vergleich ermöglicht oder zumindest erleichtert. Neben den strukturellen Analogien sind vergleichbare Verhaltensmuster von großem Interesse. Wie vorher erwähnt, vergleicht beispielsweise Stafford Beer das Modell des lebensfähigen Systems mit einer Unternehmung. Die Resultate aus bio- und neurokybernetischen Forschungen lassen sich unter Berücksichtigung des Invarianztheorems hier im speziellen auf die Managementlehre anwenden. Eine wesentliche Aussage des hier erwähnten Invarianztheorems besagt grundsätzlich, dass alle komplexen Systeme ungeachtet ihrer Zugehörigkeit zu Disziplinen, isomorphe Lenkungsstrukturen aufweisen. So kann durchaus der eine oder andere Ausdruck aus der Kybernetik, Biologie oder Technik auf Managementsysteme angewandt werden. Es soll aber angesichts der Vergleiche und gegenseitigen Anwendung von Ausdrücken der jeweils „anderen Disziplin“ nicht vergessen werden, dass es sich hier um Analogien handelt. Sie werden dort aufgezeigt, wo sie vorhanden sind, wo es Sinn macht, zu vergleichen und wo gegebenenfalls entsprechend des kybernetischen Ansatzes und des Isomorphietheorems die Vergleiche passend sind. Wie in Beer's Forschungen, wo beispielsweise das zentralen Nervensystem des Menschen mit den jeweiligen Elementen, welche als System eins bis fünf bezeichnet werden, die Basis für den Vergleich mit Unternehmungen bilden, werden auch

Unternehmensbereiche mit den jeweiligen Informationsflüssen und Rückkoppelschleifen entsprechend gegliedert und eingeteilt. [vgl. Beer, 1972, S. 154 ff]

4.3.1 Selbstregulierung

Natürliche oder biologische Systeme haben im Laufe der Evolution Fähigkeiten entwickelt, sich selbst zu regulieren bzw. zu regeln. Die Selbstregulierung kann aber auch auf Basis beschränkter Ressourcen sich entwickeln. Ein physikalische System, wie beispielsweise das Pendel ist auch so ein System, dass sich auf Basis von begrenzten Ressourcen (in diesem Fall die enthaltene Energie) selbst reguliert. Das folgende Beispiel von Paul Watzlawick zeigt einen systemimmanenten Regelungsmechanismus eines biologischen Systems in der Tierwelt:

Es gibt in einer Gegend Nordkanadas eine Fuchsgattung, welche sich fast ausschließlich von einer bestimmten Kaninchenart ernährt, welche ebendort lebt. Die Dichte der Fuchsbevölkerung verändert sich im Laufe der Zeit:

in einer bestimmten Gegend Nordkanadas zeigt Die Fuchsbevölkerung eine auffallende Regelmäßigkeit in der Zu- und Abnahme ihrer Dichte. Im Laufe von vier Jahren steigt sie zunächst zu einem Höchstwert an, beginnt dann abzusinken, erreicht einen kritischen Tiefpunkt, und beginnt schließlich wieder anzusteigen. Der Grund für diese Periodizität ist weder im Einzeltier noch in der sozialen Organisation der Gattung zu finden. Erst wenn – wie es heute selbstverständlich ist - die unmittelbare Umwelt einbezogen wird, zeigt sich, dass die in derselben Gegend lebenden wilden Kaninchen, identische Phasen durchlaufen, die allerdings gegenüber denen der Füchse um zwei Jahre verschoben sind: Dem Höchststand der Fuchsbevölkerung entspricht der Tiefstand der Kaninchen und umgekehrt. Da die Füchse fast ausschließlich von Kaninchen leben, und diese kaum einen anderen natürlichen Feind haben als die Füchse, erweist sich der Vierjahreszyklus als eine Interferenzerscheinung des Zusammenlebens dieser beiden Gattungen: je zahlreicher die Füchse, desto mehr Kaninchen werden gefressen; je weniger Kaninchen, desto weniger Nahrung ist für die Füchse vorhanden, was für die Kaninchen eine Schonzeit bedeutet und ihre Zahl rasch wieder ansteigen lässt. [entnommen aus: Watzlawick et. al., 2011, S. 21]

Es entsteht hier ein systemimmanenter Regelungsvorgang, welcher keinen ausgeprägten Regler aufweist, sehr wohl aber einem gewissen Regelmechanismus folgt.

Unter den während des Krieges in England stationierten US-Soldaten. War die Ansicht weit verbreitet, die englischen Mädchen seien sexuell überaus leicht zugänglich. Merkwürdigerweise behaupteten die Mädchen ihrerseits, die amerikanischen Soldaten seien übertrieben stürmisch. Eine Untersuchung [...] führte zu einer interessanten Lösung dieses Widerspruchs. Es stellte sich heraus, dass das Paarungsverhalten (countership pattern) – vom Kennenlernen der Partner bis zum Geschlechtsverkehr – in England wie in Amerika ungefähr dreißig verschiedene Verhaltensformen durchläuft, dass aber die Reihenfolge dieser Verhaltensformen in beiden Kulturbereichen verschieden ist. [...] Die Lösung eines solchen Beziehungskonflikts durch die beiden Partner selbst ist natürlich deswegen praktisch unmöglich, weil derartige kulturbedingte Verhaltensformen und –abläufe meist völlig außerbewusst sind. Ins Bewusstsein dringt nur das undeutliche Gefühl: der andere benimmt sich falsch.

[entnommen aus: Watzlawick et. al., 2011, S. 22]

Werden gewisse Dinge in einer Isolation studiert, so kann es zu fehlendem Variieren der Systemangrenzung und mangelndem Verständnis der untersuchten Vorgänge kommen.

Anhand dieser Beispiele wird veranschaulicht, dass gewisse Ereignisse, Phänomene usw. nicht verstanden werden, wenn sie nicht im richtigen Kontext gesehen werden und dass das Verhalten oder die Geschehnisse eines Systems durchaus durch ein Meta-System (mit den entsprechenden Spielregeln zur Bestimmung der Interaktionsweise) stimuliert werden kann. Es ist daher unumgänglich beim Handling von komplexen Systemen diese Regelungsmechanismen zu identifizieren und berücksichtigen. Für die Problemlösung wird in vielen Fällen nur die Veränderung an „richtiger“ Stelle bzw. zumindest die Berücksichtigung der entsprechenden Regelungsmechanismen zum gewünschten Erfolg führen.

Wissen im vorangegangenen Beispiel Engländer und Amerikaner über die jeweiligen Spielregeln Bescheid, wären die beobachteten Missverständnisse dieser Art kaum entstehen. Oder man führte allfällige Missverständnisse dieser Art einer Lösung zu, indem man darüber spricht, also Lösung oder Vermeidung des Problems durch Kommunikation auf übergeordneter Ebene, also Meta-Kommunikation. Ohne zu wissen, was die beteiligten Personen an einem bestimmten Tag sprechen oder tun, also das jeweilige Verhalten sehr vielgestaltig und varietätsreich sein kann, ist das grundlegende Muster des Systemverhaltens weitgehend transparent und abschätzbar, sobald die metasystemischen Zusammenhänge betrachtet und erkannt werden. Die Betrachtung und Berücksichtigung von metasystemischen Regelmäßigkeiten führt normalerweise zu Erkenntnissen und Bewusstsein über bestimmte Phänomene auf Objektebene. Diese Einsicht kann dann in

bestimmter Form wiederum zu vollständigem Wissen und somit Vorhersicht über das Verhalten des Systems und damit zu Kontrolle führen. Dabei ist die Kenntnis über das durch hohe Komplexität und Diversität gekennzeichnete Verhalten auf Objektebene oftmals nicht möglich oder gegeben. [vgl. Watzlawick et. al., 2011, S.24]

Zur Veranschaulichung sei dieses Beispiel angeführt: Eine Maschine hat die Aufgabe und Aktivität, ganze Zahlen miteinander zu multiplizieren, das Ergebnis ist das Produkt. Es ist unschwer zu erkennen, dass das Verhalten der Maschine sehr mannigfaltig ist, da jede Veränderung am Eingang eine am Ausgang hervorruft. Ein Vorhersagen des Systemverhaltens würde sehr, wenn nicht zu umfangreich werden. Es ist dennoch am Ausgang eine bestimmte Regelmäßigkeit, ein grundlegendes Muster erkennbar: werden zwei ungerade Zahlen miteinander multipliziert, ergibt das wieder eine ungerade Zahl, sonst ist das Ergebnis immer eine gerade Zahl. Das ist zwar nur ein kleiner Teil an Wissen über das Verhalten des Systems. Aufgrund dessen aber, dass es einer logisch höheren Ebene angehört, ist es in sich vollständig. Eine Behauptung auf Objektebene lautete beispielsweise „ $3 \times 5 = 15$ “. „Die Multiplikation von zwei ungeraden Zahlen ergibt eine gerade Zahl“ ist hingegen eine Aussage auf Meta-Ebene, da sie generelle Invariante der Objektebene zum Gegenstand hat. [vgl. Ashby, 1954, S. 104]

Watzlawick et.al. beschreiben anhand einer Analogie die Unterscheidung von Meta-Ebene und Objekt-Ebene:

Die Leistung eines Motors kann auf zwei grundsätzlich verschiedene Weisen verändert werden: entweder durch Betätigung des Gaspedals (also durch Erhöhung oder Verminderung der Brennstoffzufuhr zu den Zylindern) oder durch Gangwechsel. Wenn wir die Analogie etwas strapazieren wollen, können wir sagen, dass der Wagen in jedem Gang einen bestimmten Bereich von möglichen ‚Verhaltensformen‘ (das heißt von Leistung und daher von Geschwindigkeit, Beschleunigung, Steigvermögen usw.) hat. Innerhalb dieses Bereiches (also der Klasse von Verhaltensformen) bewirkt die zweckmäßige Betätigung des Gaspedales die erwünschte Leistungsveränderung. Wenn die notwendige Leistung aber außerhalb dieses Bereiches fällt, muss der Fahrer einen Gangwechsel vornehmen, um ein Phänomen von höherem logischem Typenwert als das Gasgeben und es wäre ein offensichtlicher Unsinn, wollte man über die Mechanik eines komplizierten Getriebes in der Sprache der Thermodynamik des Benzins sprechen. [entnommen aus: Watzlawick et. al., 1974, S. 27]

Bei der Beeinflussung komplexer Systeme spielen die Veränderungen zweiter Ordnung, welche sich auf der Meta-Ebene abspielen und diese auch betreffen, eine wesentliche Rolle. Wird hingegen (nur) die Objektebene beeinflusst, führt das durchaus auch zu Veränderungen, jedoch kann das unter

Umständen so viel werden, dass man dieser nicht mehr Herr wird. In diesem Fall kommt die meistens sehr hohe Varietät der jeweiligen Systeme voll zum Tragen. Die bisherigen Ausführungen bezogen sich auf System und Metasystem bzw. auf Kommunikation und Metakommunikation. Es muss das Systemverhalten Objektebene nicht bekannt oder vorhersagbar sein, bei Einbeziehung der Umwelt bzw. der Metaebene können dann Verhaltensmuster verständlich gemacht werden. Selbst wenn Systeme der Objektebene höchst komplexe sind und eine Beschreibung oder gar Vorhersagbarkeit des Systemverhalten unmöglich ist, ergibt die Betrachtung auf Meta-Ebene durchaus brauchbare Ergebnisse. Oft hilft eine Beeinflussung auf einer Ebene (z.B. der Objektebene) alleine nicht zur Zielerreichung [vgl.: Watzlawick et. al, 1954, S. 41, bzw. Malik, 2006, S. 360]

In diesem Zusammenhang soll hier auf die Forschung von Stafford Beer zurückgegriffen werden: Beim Management komplexer Systeme werden weiter die zu managenden Systeme mit den Aspekten der Kybernetik bzw. Systemtheorien betrachtet. Beer betrachtet dabei den systemmethodischen Ansatz des lebensfähigen Systems. Die Basis für strategisches Management findet sich in der metasystemischen Steuerung von (komplexen) Systemen. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich Objektsysteme weitgehend selbst organisieren und jene auf Objektebene ablaufenden Prozesse grundsätzlich selbstregulierend sind. In der Eigenschaft „selbstregulierend“ ist „Regulieren“ ein Bezug zu Regelung, enthalten. Aufgrund der hohen Komplexität in der Objektebene lassen sich die Ereignisse im Detail oft nicht organisieren. Es ist nicht möglich, einer lenkenden, gestaltenden oder steuernden Instanz das für den hohen Komplexitätsgrad eines Systems notwendige Wissen mitzugeben, um seine Steuerungsaufgaben erfüllen zu können. Auf Basis dieser Hypothese setzt eine erfolgsversprechende Steuerung möglichst auf einer höheren Ebene, einer Meta-Ebene, an, welche eine Selbstregulierung und Selbstorganisation auf der Objektebene ermöglicht. Durch diese Form einer indirekten Lenkung kann ein Verstärkungseffekt nutzbar gemacht werden, da sich Regulative nicht auf einzelne Fälle beschränken müssen, sondern bestimmte, in eine Kategorie passende Fälle umfassen. Es lässt sich hier also bei Beeinflussung eines Falles die ganze Kategorie entsprechend beeinflussen und ein Verstärkungseffekt erzielt. Mit der Beeinflussung von Systemen auf der Meta-Ebene lassen sich somit eine im Vorhinein unbekannt Anzahl von jeweiligen Ereignissen einer Kategorie steuerungsmäßig erfassen, wodurch sich eben diese Verstärkung der Steuerungsintensität ergibt. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich diese Art von Steuerung oder Lenkung nicht auf etwaige Details beziehen kann, sondern jene Merkmale, welche sich durch dieses Prinzip erfassen lassen. Die Meta-Ebene darf aber nicht ausschließlich im Zusammenhang mit organisatorisch höher gestellten gesehen werden (z.B. Machtbezug), sondern viel mehr im logischen Zusammenhang. Mit „einer“ Meta-Ebene muss es nicht getan sein, es kann sich auch eine Art Hierarchie der Ebenen ergeben (Meta-Meta-Ebenen usw.). [vgl. Senge, 2006, S. 113]

Wichtige Grundsätze der Steuerungsprinzipien bilden nun jene Grundsätze, nach denen die Prozesse gegliedert, also organisiert werden, was Basis eines jeden lebensfähigen Systems ist. Das Erfordernis des Lenkens von Systemen setzt eine gewisse Struktur voraus, jener von lebensfähigen Systemen und bildet die Grundlage, damit systembeeinflussenden Maßnahmen möglich werden. Bei Betrachtung der oben genannten Vorgänge ergibt sich nun die Frage, inwieweit sich soziotechnische Gebilde bereits in einer Struktur lebensfähiger Systeme darstellen, und falls noch nicht vorhanden, welcher Weg beschritten wird, damit eben solche Strukturen lebensfähiger Systeme eingeführt werden können. Weiter stellt sich die Frage, wie und wo nun allgemeine kybernetische Systemvorstellungen zur Problemlösung zur Anwendung kommen können. [vgl. Beer, 1972, S. 154 ff.]

4.3.2 Selbstorganisation

Wenn so eine Struktur des lebensfähigen Systems einmal eingeführt ist, können wiederum systemmethodische Prozesse im Rahmen der Subsysteme ablaufen. Diese sind teilweise für die Aufrechterhaltung der Systemstrukturen selbst ausgerichtet, teilweise dienen sie der Lösung subsysteminterner Probleme und teilweise für die Verankerung des lebensfähigen Systems in seiner Umwelt. Die Bildung von Steuerungs- und Lenkungsmodellen zur Lösung jeweiliger Problemsituationen können sowohl auf Basis von kybernetischen Systemüberlegungen als auch jener der lebensfähigen Systeme erfolgen. Malik führt das anhand von zwei Beispielen aus und unterscheidet grundsätzlich von der Anwendung von Modellen auf kybernetischer Basis und jenen von lebensfähigen Systemen. Bei den lebensfähigen Systemen ist die Funktion von System 4 damit bestimmt, die externe Stabilität und die Positionierung des Unternehmens durch Informationssammlung und –verarbeitung, also Einbettung in die Umwelt, beispielsweise den Markt, zu ermöglichen. Zur sinnvollen und den jeweiligen Gegebenheiten entsprechenden Einbettung in die Umwelt muss notwendigerweise untersucht werden, welche Eigenschaften diese Umwelt ihrerseits wieder hat. Es ist unumgänglich, dass das System und die Umwelt entsprechend aufeinander abgestimmt und angepasst sind, was in vielen Fällen sehr differenzierte Untersuchungen nach sich zieht. Meistens hat die als „Markt“ bezeichnete Umwelt eines Unternehmens jene als polystabil bezeichnete Eigenschaften, welche sich in keinen besonderen Strukturen und Stabilitätsmerkmalen manifestiert. Es sind in der Systemumwelt auch noch weitere Systeme zu finden, welche ähnlichen Strukturen aufweisen können, wie das eigene Unternehmen. Dazu gehören beispielweise Mitbewerber, Lieferanten, Behörden, Banken, Verbände usw. Von diesen Systemen kann man davon ausgehen, dass in ihnen ähnliche Strukturen, wie die von lebensfähigen Systemen vorhanden sind.

Die Frage, welches kybernetische Modell jeweils zur Anwendung kommen soll, kann nicht ohne weiteres im Vorhinein gelöst werden. Man muss sich im Laufe des Problemlösungsprozesses mit der Frage auseinandersetzen, ob das Modell, welches gerade zur Anwendung kommt, passend ist oder nicht. Es kann auch vorkommen, dass während des Problemlösungsprozesses oder auch noch in der Anwendungsphase das Modell ausgewechselt wird. Durch die Verwendung kybernetischer Modelle, deren grundlegender Inhalt entsprechend dem Grundgedanken der Kybernetik immer das Thema der Lenkung ist, kann durch das Isomorphietheorem der Kybernetik erwartet werden, dass sich dadurch stets grundlegende Gemeinsamkeiten, je nach Abstraktionsniveau, ergeben. Jene durch bestimmte Modelle gewonnenen Erkenntnisse lassen sich dann entsprechend in andere Modelle integrieren. Durch den Einbau von gewonnenen Kenntnissen in die jeweils nächste Stufe bzw. das nächste Modell und wieder nachjustieren in der Vorstufe wird sich eine typische Form eines trial and error Prozesses ergeben. Dieser Prozess läuft aber nicht rein zufällig ab, sondern wird in jener Form gerichtet sein, als sich der Suchbereich auf die Klasse der Lenkungsmodelle abgrenzt. [vgl. Malik, 2006, S. 455 ff]

4.3.3 Anpassungsfähigkeit und Evolution

Die Ergebnisse Beers aus seinen Arbeiten daraus mündeten in ein Modell, welches durch seine Struktur und Systemverhalten im Stande ist, in einer dynamischen Umwelt zu existieren. Anpassungsfähigkeit, Selbstregulierung und –organisation sowie Evolution und Lernfähigkeit sind Attribute solcher Systeme, um die geforderten Aufgaben bewerkstelligen zu können. Das zentrale Problem in der Kybernetik ist die Frage, wie ein System in der komplexen, sich ständig ändernden Umwelt existieren und sich entsprechend auch selbst organisieren und anpassen kann. Organisation und entsprechende Kommunikation scheinen hier die entscheidenden Aspekte zu sein. Es scheint jedoch nicht jede Organisationsform das nötige Potential zur Komplexitätsbewältigung zu haben.

Unter Betrachtung der Ausführungen in Kapitel 4.3.1 und 4.3.2 zu Selbstregulierung und Selbstorganisation drängt sich nun die Frage auf, wie sich Systeme in der Veränderung bzw. Entwicklung verhalten. Die Natur hat über Jahrtausende gezeigt, dass sich Systeme selbst anpassen. So entwickelten Lebewesen entsprechend ihrem Umfeld Eigenschaften und Strukturen, die derart angepasst sind, dass ein Überleben ermöglicht bzw. erleichtert wird. Am Land Lebende entwickeln zur besseren Fortbewegung Beine, in kalten Regionen beispielsweise schützt eine Isolationsschicht den Körper der Lebewesen vor Temperaturverlust. Aber auch das „Gesamtkonzept“ des Systems in der Natur sind derart entwickelt, dass ein Überleben ermöglicht wird. Die Systeme sind von außen beeinflusst und passen sich von selbst an, ohne ein direktes Gestalten durch einen Dritten.

Vergleichbares Verhalten weisen auch wirtschaftliche Systeme auf. Es sind beispielsweise Unternehmungen, die sich entsprechend dem Markt entwickeln, um zu überleben. Es sind aber auch ganze Branchen, die entstehen oder auch verschwinden. Die Modelle der Natur scheinen in der Wirtschaft ebenfalls zuzutreffen. Unternehmungen als wirtschaftliche Systeme sind einem laufenden Anpassungsprozess unterworfen. Das Erfordernis zur Anpassung besteht grundsätzlich laufend und kann von innen oder auch extern ausgelöst sein.

Eine interne Anpassungsnotwendigkeit besteht beispielsweise bereits nach Entwicklung und Einführung eines neuen, innovativen Produktes. Irgendwann wird sich das Produkt im günstigen Fall etablieren, nachgeahmt werden und so bleibt das Unternehmen im Zwang, bezüglich dieses Produktes weiter zu reüssieren oder sich anderweitig zu profilieren.

Externe Einflüsse können ebenfalls zur Anpassung zwingen. In der Natur ist es beispielsweise die Entwicklung von Kiemen oder Lungen, je nach Umwelt, wo sich das Lebewesen befindet. Nicht anpassungsfähige Arten sterben aus, andere entwickeln sich entsprechend weiter. Unternehmungen müssen sich ebenfalls den Umgebungsbedingungen anpassen und entsprechend entwickeln. Ganze Branchen verändern sich, verschwinden oder es entstehen neue. Als Beispiel für eine Branche, welche sich aufgelöst hat, möchte ich hier Wagner bzw. Kutschenbauer anführen, welche der Autoindustrie im großtechnischen Sinne gewichen sind. In Nischen gibt es sie noch. Umgekehrt hat sich in den letzten Jahrzehnten beispielsweise eine Elektro- und Elektronikindustrie entwickelt, die es davor so noch nicht gab.

Evolution findet aber nicht nur branchen- oder produktbezogen statt. Sie geschehen auch in der Unternehmung selbst, beispielsweise strukturell statt. Vor der industriellen Revolution gab es manuell arbeitende und verarbeitende, vergleichsweise kleine, Betriebe. Durch die Erfindungen und Entwicklungen bei den Maschinen, Energiegewinnung und –umsetzung, Informationstechnik (Informationsverarbeitung und Übertragung) sowie in der Betriebswirtschaftslehre selbst wurden erst Großbetriebe und Konzerne heutiger Dimensionen möglich. Hier sind es kulturelle, gesellschaftliche und jeweils fachliche Umweltbedingungen, welche entsprechende Entwicklungen auslösen.

Die erfolgten Entwicklungen brachten auch innerhalb der Unternehmungen neue Strukturen hervor. Durch die Größe sind die Unternehmungen anders aufgebaut und beinhalten Bereiche, welche in kleinen Einheiten so nicht vorkommen oder vorkamen. Als Beispiel sei hier das Controlling und Berichtswesen angeführt, das sich in den Unternehmen etabliert und weiterentwickelt hat. Dieser Abtastvorgang, wie er auch in technischen Systemen vorkommt, ist von der zeitlichen Entwicklung her in technischen und wirtschaftlichen Systemen etwa vergleichbar.

Sämtliche Entwicklungen haben letztendlich den Sinn und Zweck, dem System, der Spezies einen Vorteil gegenüber anderen zu verschaffen und es am Leben zu erhalten.

4.4 Modellierung der kybernetischen Organisationsstruktur und Regelkreise in wirtschaftlichen Systemen

Abgeleitet von den Forschungen von Stafford Beer werden die Bereiche der Aktivitäten einer Unternehmung, welche als lebensfähiges System betrachtet wird, in 5 Ebenen, System 1 bis System 5 gegliedert. Mit System 1 wird jener Bereich bezeichnet, welcher die Lenkung einer Division im Rahmen der übergeordneten Unternehmenspolitik übernimmt. Somit ist System 1 auf Entwicklungen in jener für die entsprechende Division relevanten Umwelt sensibilisiert bzw. verantwortlich und führt die Koordinierung mit anderen Divisionen im Sinne der eigenen Stabilität abgestimmt mit der Gesamtstabilität des Unternehmens durch. Die hohe Lenkungsvarietät von System 1 ergibt sich durch den Einfluss jener für die Division relevanten Umwelt, den ständigen Zu- und Abfluss von Material, Energie und Information (Versorgungsstörungen im Sinne der Regeltechnik) sowie die Durchführung dieser Koordinationsaufgaben unter Berücksichtigung des Gesamtunternehmenskontextes. Dies erfordert das „Handling“ zahlreicher Inputkanäle und die „Speisung“ nicht minder an der Zahl vorhandener Outputkanäle. Solche Funktionen mit enormer Vielfalt von Informationen, Tätigkeiten, Kontrollen usw. lassen sich nicht detailliert modellieren bzw. abbilden. Es müssen Vereinfachungen zur Reduktion der vorhandenen Varietät erfolgen. Trotzdem soll versucht werden, solche Modelle zu bilden, um zumindest grundlegende Mechanismen der Entscheidungsfindung und Informationsverarbeitung zu finden. Eine Möglichkeit die Funktionsweise zu generalisieren ist, sie als Servomechanismus darzustellen. Beer beschreibt die notwendigen Grundfunktionen damit, dass das System erkennen (also messen) muss, wenn es seine (interne) Stabilität verlässt und entsprechende Maßnahmen ergreift, damit es wieder zum internen Gleichgewicht zurückkehrt.

Daraus lassen sich grundlegende Eigenschaften aus der Regelungstechnik, welche für ein stabiles Funktionieren eines Regelkreises vorhanden sein müssen, ableiten. Es sei hier angemerkt, dass im Sinne der Regelungstechnik von einem negativ rückgekoppelten Regelkreis ausgegangen wird. Ein Regelalgorithmus als Initialplan, der im weitesten Sinne mit dem Regelalgorithmus vergleichbar ist. Sensoren müssen in „Echtzeit“ die Informationen (beispielsweise zur Bildung von Rückkoppelschleifen) erfassen und weiterleiten. Zeitverzögerungen kämen einem Totzeitverhalten im Jargon der Regeltechnik gleich, das, wie in technischen Systemen ersichtlich, die Schwingungsneigung und somit die Instabilität fördern kann. Motorische Kanäle leiten die

Durchführung der gewählten Aktionen ein, was mit der Stellgröße bzw. dem Stellorgan verglichen werden kann. [vgl. Beer, 1972, S. 165]

Wesentlich bei diesem Servomechanismus ist, dass korrigierende Maßnahmen durch unvorhergesehene bzw. unerwünschte Entwicklungen von selbst ausgelöst werden. Dies soll durch die Rückkopplung der resultierenden Abweichung des Systems vom Sollwert von selbst bewirkt werden. Wie soll nun bei der Erstellung eines Servomechanismus vorgegangen werden, wie soll er ausgestaltet sein? Eine unumgängliche Notwendigkeit ist die Erstellung eines Modells der Division, also im übertragenen Sinn der Regelstrecke. Es müssen nämlich einerseits die zu überwachenden bzw. beeinflussenden Größen und andererseits deren (optimal bzw. zulässig) erreichbaren Grenzen ermittelt werden. Dieser Vorgang entspricht genau dem gleichen Muster, wie der Regler in technischen Systemen designed wird. Auch hier ist die möglichste genaue Kenntnis der Regelstrecke, ihre potentiellen Einflussfaktoren sowie der jeweiligen Grenzwerte notwendig. Daraus ergibt sich auch die genaue Abstimmung von Regler und Strecke aufeinander, damit das Ganze entsprechend funktionieren kann.

Beer verwendet hier sehr „technisch“ anmutende Begriffe bei der Beschreibung der Aufgaben und fordert in diesem Zusammenhang die Erstellung eines strukturellen und eines parametrischen Modells. Die Struktur der Division, bestehend aus einer Menge von Variablen und deren Beziehungen zueinander, wird im strukturellen Modell charakterisiert. Diese Modelle können sehr ins Detail gehen, wenn beispielsweise technische Prozesse im Unternehmen mit mathematischen Beschreibungen abgebildet werden. Angesichts der Situation, dass die Variablen oft qualitativer Natur sind und unzählige Zusammenhänge und Beziehungen der Variablen untereinander ganze Informationsbündel ergeben, wird sich mit „vertretbarem“ Aufwand eine grobe Struktur ermitteln lassen. Das Modell wird aber insofern passen, als jene lenkungsrelevanten Variablen enthalten sind und diese für die Zwecke der Lenkung ausreichen. Dies sind im technischen Jargon die Messpunkte, also jene Punkte, wo die Sensoren des Servomechanismus angebracht werden müssen.

Die numerischen Werte der Variablen des strukturellen Modelles werden im parametrischen Modell spezifiziert. Diese Werte sollen als Optimalwerte bestimmt werden. Da hier die bestmöglichen Leistungen im Zusammenhang mit den Ressourcen und Bedingungen gesucht sind, handelt es sich um Kapabilitäten und nicht um Kapazitäten. Hier ergibt sich auch wieder die Reduktion auf das Notwendige, um nicht ein zu großes, nicht mehr handhabbares Modell zu erhalten. Eine Erfassung aller möglichen Werte würde den Rahmen sprengen. Durch die Bildung von Indizes und Quotienten werden die Werte in überschaubare Bereiche „gebracht“ und bilden damit die Basis für die Ausgestaltung eines Mechanismus zur Störungserkennung.

Daher kommt der Entwicklung von Indizes zur Erkennung von Störungen eine wesentliche Rolle zu. Durch den Quotienten sind Indizes sogenannte „neutrale“, also dimensionslose Messeinheiten, welche daher frei von irgendwelchen spezifischen Bedeutungen sind und so unternehmerische Gegebenheiten abbilden. So kann der Umsatz beispielsweise in Geldeinheiten (Messeinheit Geld) angegeben sein. Ein dimensionsloser Index bewegt sich stets zwischen 0 und 1, indem er ein Verhältnis einer möglichen Leistung (z.B. 80 Stunden) zu einer tatsächlichen (z.B. 32 Stunden) abbildet.

Beer unterscheidet in diesem Zusammenhang Indizes, welche durch drei verschiedene Entscheidungsgrade, zueinander in Beziehung gesetzt, gebildet werden können:

- *Aktualität:*
Was bei gegebenen Mitteln und Rahmenbedingungen momentan tatsächlich erreicht wird
- *Kapazität:*
Was bei gegebenen Mitteln und Rahmenbedingungen momentan erreicht werden könnte, wenn jede Möglichkeit ausgeschöpft würde.
- *Potentialität:* *Was bei bestmöglicher Ausnutzung und Weiterentwicklung der eigenen Mittel und Beseitigung hindernder Bedingungen im Rahmen des praktischen Realisierbaren erreicht werden könnte.*

Werden nun diese drei Erreichungsgrade zueinander in Beziehung gebracht, ergeben sich wiederum drei Indizes, welche Aufschluss über mögliche Störungen des Systems geben können. [entnommen aus: Beer, 1972, S. 207]

Die Produktivität eines beobachteten Bereiches beispielsweise ergibt sich aus dem Verhältnis der Optimalwerte (Kapazitäten) des parametrischen Modells und den tatsächlich realisierten Werten. Zur Erkennung allfälliger Störungen ist die Beobachtung der Entwicklung der Indizes wesentlich. Weiter führt Beer aus, dass neben einem ausgebauten System 1, dem parametrischen und strukturellen Modell, noch über ein solches mit Potentialitäten verfügen soll, die Latenz und auch die Gesamtleistung der Division zu überwachen.

Die Bestimmung der zu überwachenden Größen und die Bildung von Indizes zur Erkennung von Störungen sind die ersten beiden Voraussetzungen für den Aufbau des sogenannten System 1 zur Steuerung einer Division unter Berücksichtigung des Kontextes der Gesamtunternehmung. Nun müssen jene Standards definiert werden, auf Basis derer ein „nicht normaler“ bzw. nicht erwarteter Einfluss von außen, also eine eintretende Störung, als solche erkannt wird und entsprechende korrigierende Maßnahmen eingeleitet werden können. Das technische Pendant zu diesem Vorgang ist einerseits das Ausregeln von Störungen durch den Regler direkt oder andererseits eine fast-

forward Einbindung der Störung in den Regelkreis durch sogenannte Störgrößenaufschaltung. Diese Standards wirken als Stabilitätskriterien, welche die Feststellung der Abweichung des Verhaltens des Systems vom sogenannten inneren Gleichgewicht ermöglichen. Im technischen Sinne ist die bloße Abweichung von einem (inneren) Gleichgewichtszustand alleine noch keine unmittelbare Verletzung von Stabilitätskriterien, es kann aber so eine Abweichung durchaus zur Instabilität, beispielsweise Schwingung, des Systems führen. Ein sogenannter Initialplan bestimmt diese Stabilitätskriterien und lokalisiert die zu lenkende Division im Gesamtunternehmen. Diese Kriterien definieren dann den weiteren Informationsfluss innerhalb des Netzwerkes.

Für die Erstellung von Plänen für die jeweils auftretenden Störungen müssten alle (möglichen bzw. potentiellen Störungen) bekannt sein. Dies wird aber nicht so einfach möglich sein, alle möglichen Störungen schon im Vorhinein zu kennen. Daher wird in der Praxis durch Erfahrungen die Zuordnung der Pläne zu den Störungen erfolgen. Hier wird schrittweise das Repertoire an Plänen für allfällige Störungen, sowohl durch eine „Politik der kleinen Schritte“ als auch im trial-and-error Verfahren erweitert. Nach der Erfassung von Störungen und der Definition von Maßnahmen müssen diese auch in Lenkungsaktivitäten umgesetzt werden. Diese Aufgaben übernehmen motorische Kanäle, sogenannte Effektoren. Das technische Pendant dafür sind die Stellglieder in einem Regelkreis, welche angesteuert durch die Stellgröße auf die Regelstrecke beeinflussend einwirken.

Das System 2 nach Beer bildet jene Meta-Ebene, welche die Systeme 1 aus Sicht des Gesamtunternehmens koordiniert. Für dieses System ergibt sich eine regeltechnisch sehr interessante Aufgabe, nämlich jene der Verhinderung von Oszillationen zwischen den Divisionen, also die Vermeidung unkontrollierter Schwingungen. Es bilden offensichtlich die einzelnen Divisionen als autonome Einheiten die Pendants zu unabhängigen (Energie-)Speichern in der Physik. In diese Systemkonstellation bildet ab einer Menge von mehr als einem unabhängigen Speicher ein schwingungsfähiges Gebilde. Grundsätzlich kann bzw. soll jede Division für sich autonom arbeiten, Kooperationsschwierigkeiten oder Konkurrenzsituationen zwischen den Divisionen sind nicht ausgeschlossen. Umso mehr ist hier eine koordinierende und damit auch dämpfend wirkende Institution im Sinne eines Systems 2 notwendig. Hier entsteht wieder die Funktion eines Controllers, welcher anhand von gewissen Standards das Verhalten der Divisionen misst und gegebenenfalls entsprechende Maßnahmen ergreift. Dies entspricht einer typischen Messwerterfassung in technischen Systemen, welche dann als Information dem jeweiligen Regelalgorithmus zugeführt wird und der Entscheidungsfindung dient.

Beer beschreibt weiter, dass die Vermeidung von Schwingungen, welche sich negativ auf die Stabilität des Unternehmens auswirken können, durch Schaffung von Informationskreisläufen zur

Koordination der einzelnen Divisionen, besonders wichtig ist. Mit der bloßen Einführung von Informationswegen bzw. Informationskreisläufen und damit dem Vorhandensein von Informationen über Abweichungen ist es aber noch nicht gesichert, dass auch entsprechende Anpassungen eingeleitet werden. Informiert eine Division über Planabweichungen, so kann eine andere Division darauf hin Maßnahmen ergreifen. Das geschieht so lange, bis das Koordinationszentrum dann Vorschriften und somit seinerseits Maßnahmen einleitet. Das Koordinationszentrum muss zur wirksamen Maßnahmeneinleitung die Synergievorstellung des Gesamtunternehmens in die Steuerungsmaßnahmen einfließen lassen. Somit erfüllt dieses Divisionskontrollzentrum die Aufgaben eines Stell- oder Servomechanismus!

Für die praktische Umsetzung entspricht das Divisionskoordinationszentrum einer Überwachungsinstanz, welche nach genau definierten Standards agiert. Die Koordinationsleistung kann aber auch hinsichtlich Stilfragen eines Hauses, wie beispielsweise Lagerpolitik, uniforme Bekleidung oder Öffentlichkeitsarbeit betreffen. Das hier beschriebene System 2 tritt als eine gesteuerte Verbindung zwischen den Divisionen auf, welches einerseits Vorgeben der zentralen Befehlsachse umsetzt und andererseits die Zusammenarbeit zwischen den Divisionen koordiniert. Der Informationsfluss zwischen den einzelnen Regelzentren und dem Divisionskontrollzentrum ist kein hierarchischer oder hat auch keinen Befehlscharakter. Dieser Informationsfluss hat vielmehr den Zweck, im wahrsten Sinne eben zu „informieren“.

Diese Beschreibungen lassen sich auch auf Systeme der nächsten (Meta-)Ebenen fortsetzen. Letztlich zieht sich das Bedürfnis nach Koordination, Informationsaustausch und Suche nach Stabilität durch entsprechende Informationswege und Veranlassung von Maßnahmen durch die Systemwelt. Kommunikation und Informationsflüsse spielen dabei eine wesentliche Rolle. Durch die Informationsflüsse wird einerseits die Kommunikation ermöglicht und andererseits werden dadurch Systeme gebildet. Die Elemente oder Teilsysteme verlieren ihre Unabhängigkeit und nehmen am Kontrollmechanismus des Systems teil. Wie wichtig der Informationsaustausch insbesondere in soziotechnischen Systemen für die Stabilität ist, zeigen Supplychains. [vgl. Beer, 1972, S. 213 ff]

Mit der Managementkybernetik und der Betrachtung von wirtschaftlichen Systemen als sozioökonomische Systeme liegen ungleich komplexere Systeme als in der Technik vor. Selbstregulierung, Homöostase oder Autopoiesis sind Attribute von natürlichen Systemen und in technischen so nicht oder kaum anzutreffen. Es lassen sich hingegen systemimmanente Regelungsmechanismen durchaus auch als explizite Regelkreise im jeweiligen „Ersatzschaltbild“ darstellen.

5 Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen

5.1 Einleitung

Ein umfassender und allgemein gültiger Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Systemen wäre äußerst umfangreich und würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen. Vielmehr sollen beispielhafte Vergleiche die Gemeinsamkeiten der beiden Disziplinen zeigen. Die folgende Darstellung zeigt die Betriebswirtschaftslehre und die Ingenieurwissenschaften im System der Wissenschaften. Beide Disziplinen sind Teil der Real- und Erfahrungswissenschaften, welche im Teil der Sozio-ökonomisch-technische-ökologischen Systeme, der angewandten, praktischen (Handlungs-) Wissenschaften sind. Weitere Bereiche, wie beispielsweise Psychologie, Soziologie, Politologie sind hier ebenfalls angesiedelt. Diese Bereiche können im Sinne dieser Arbeit auch in einem gemeinsamen Kontext gesehen werden. So wird beispielsweise die Psychologie in der Unternehmensführung (als Part der Wirtschaftswissenschaften) über die HR ebenfalls ihren Platz haben.

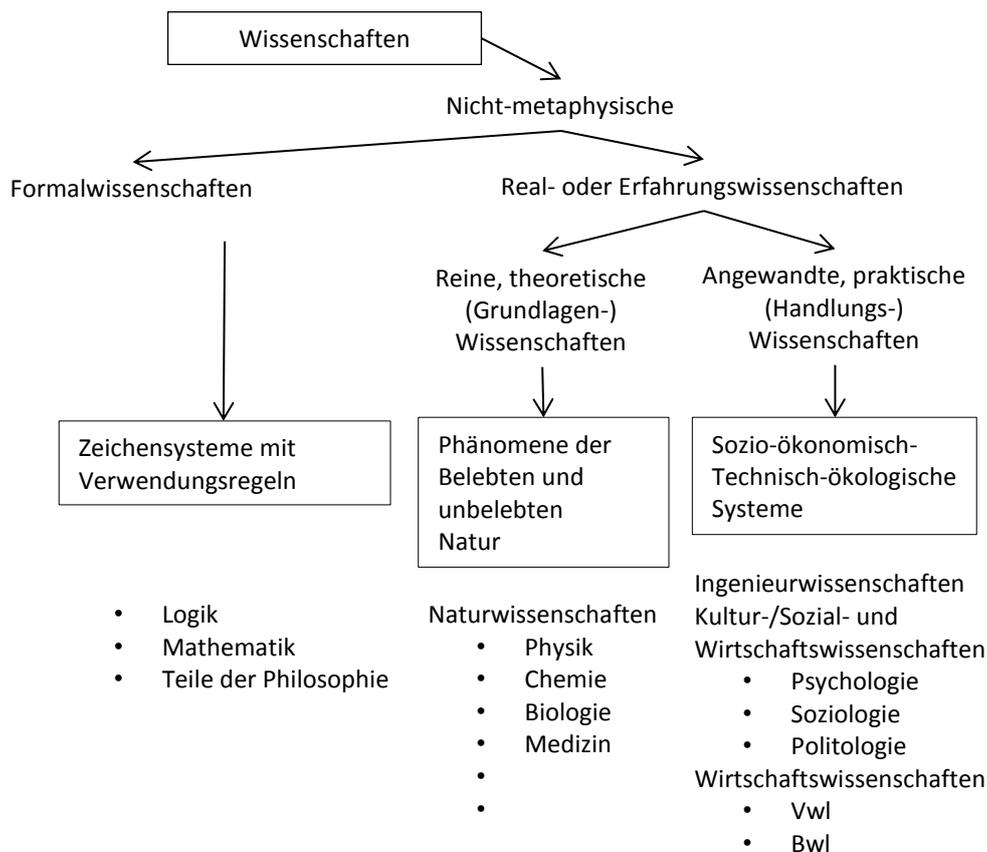


Abbildung 55: Übersicht der Wissenschaftszweige [entnommen aus: Töpfer, 2005, S. 6]

Ein Unternehmen ist in eine größere Umwelt eingebettet, wodurch es deren Einflüssen ausgesetzt ist und im Bedarfsfalle entsprechend reagieren muss. Mit der Betrachtung des Systemansatzes aus sozialkybernetischer Sicht lassen sich Führungs- und Steuerungsprobleme gut darstellen. Darüber hinaus wird durch die systemtheoretische Betrachtung das Auftreten vergleichbarer Strukturen und Verhalten in den verschiedenen Disziplinen, wie beispielsweise der Technik und Wirtschaft erkennbar und sie lassen sich so auch gut darstellen.

Für den Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Systemen wurden für diese Arbeit die Bereiche von

- Technik (T)
- Systemtheorie (S)
- Wirtschaft (W)

in Betracht gezogen.

Aufgrund des großen Umfangs eines umfassenden Vergleiches werden hier beispielhafte Vergleiche aus der Praxis herangezogen. In der folgenden Tabelle sind die jeweiligen Aspekte von Technik und Systemtheorie sowie Wirtschaft und Systemtheorie gegenübergestellt.

Technik und Systemtheorie	Wirtschaft und Systemtheorie
Meta-Ebene z.B.: Regler und Strecke	Planungs-, Steuerungs- und Controlling-aktivitäten, Krisenmanagement, Projektmanagement
Systemimmanente Regelung	Lebensfähige Systeme (Sozioökonomische Systeme: z.B. Konzern, Unternehmungen, Abteilungen)
Dynamisches Verhalten (Stabilität und Schwingung)	Berücksichtigung der Systemeigenschaften, sowie Abstimmung von Regler (Reglerfunktion) und Strecke aufeinander
Abtastung, diskrete Systeme	Finanzwesen, Controlling und Berichtswesen als Messung/Abtastung („System 2“)
Verstärkung, Dämpfung	Varietät im Management, Verstärkung eines Teilbereiches wirkt sich auf das Gesamtsystem aus

Tabelle 8: Gegenüberstellung der Begriffe aus den verschiedenen Schnittmengen interdisziplinärer Betrachtungen der Regelkreise

In dieser Arbeit sind die Disziplinen der Technik, Systemtheorie und Wirtschaft betroffen. Die Vergleiche im Sinne der Suche nach Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen überstreichen alle drei Fachbereiche, wobei die Systemtheorie als eine Art „Metadisziplin“ auftritt, mit Hilfe derer der Vergleich erleichtert oder ermöglicht wird. Die Systemtheorie ist sowohl bei technischen als auch wirtschaftlichen Systemen anwendbar und wirkt wie eine Brücke oder ein Katalysator zur Darstellung der Analogien. Auf diesen Gesichtspunkten basieren Struktur und Inhalt von der Tabelle 8. Auf der einen Seite Technik und Systemtheorie, auf der anderen Seite das dazugehörige Pendant in Wirtschaft und Systemtheorie.

In der linken Spalte, dem technischen Bereich, sind jene klaren Strukturen vorhanden, welche (meistens) berechenbar sind und grundsätzlich physikalisch technischen Gesetzen gehorchen. In diesem Fall sind, wie in der Kybernetik erster Ordnung beschrieben, jene Regelungsstrukturen vorhanden, welche Regler und Strecken getrennt aufweisen. Die Eigenschaften der Elemente sowie die Strukturen sind geschaffen und lassen sich ohne Diskussion mit dem System selbst gestalten und berechnen. Erfahrungswerte, wie beispielsweise praktische Einstellregeln für diverse Regler, sind vorhanden und erprobt.

Auf der rechten Seite von Wirtschaft und Systemtheorie sind zwar ebenfalls entsprechende Strukturen und Systemverhalten von Regelungsmechanismen vorhanden, die einzelnen Teilsysteme organisatorischer Natur unterscheiden sich jedoch grundsätzlich von den technischen. Das beginnt damit, dass Regler und Strecke oft nicht in der Form getrennt sein müssen, wie es in technischen Systemen vorkommt. Die Kybernetik zweiter Ordnung als Weiterentwicklung jener erster Ordnung kommt hier auf den Plan, die eben besagt, dass sich Systeme selbst, intrinsisch, regeln können (systemimmanente Regelung). Diese Form der Regelung kann jedoch grundsätzlich in technischen Systemen auch vorkommen.

Bisherige Arbeiten auf diesem Gebiet sowie eigene Erfahrungen aus der Praxis zeigen, dass, intrinsisch oder nicht, vergleichbare Strukturen in der Technik und Wirtschaft hinsichtlich der Regelungsmechanismen vorhanden sind. Der Unterschied liegt in der Selbstorganisation in den sozioökonomischen Systemen, welche durchaus eine starke Zeitvarianz in das System bringen kann, wodurch eine Berechenbarkeit analytischen Verfahren sehr erschwert oder unmöglich gemacht wird. Das heißt, wie in den ersten beiden Zeilen der Tabelle beschrieben, sind nun grundsätzlich vergleichbare Strukturen und vergleichbares Verhalten in technischen und wirtschaftlichen Systemen vorhanden, die Berechenbarkeit und Vorhersagbarkeit von wirtschaftlichen Systemen ist oft nicht in dem Maße möglich, wie bei technischen. Es sollen aber zumindest Trends oder Abschätzungen ermöglicht werden können.

Dennoch sollte zumindest der Gedanke an eine Stabilität oder die Beeinflussung durch die Informationsdynamik in wirtschaftlichen Systemen nicht fehlen und der Versuch unternommen werden, diese zu berücksichtigen. Dazu muss zweifelsohne die Systemtheorie in Betracht gezogen und versucht werden, die Regelungsstrukturen im betrachteten wirtschaftlichen System zu erkennen. Die Abstimmung der einzelnen erkannten Funktionen der Bereiche ist für eine stabile Funktion unerlässlich.

Die Modelle und wissenschaftlichen Untersuchungen von wirtschaftlichen Systemen basieren hauptsächlich auf dem Vergleich mit analogen Systemen bzw. Regelkreisen. Der Ablauf von Kernprozessen ist jedoch in vielen Fällen ein zeitdiskreter. Durch den Rhythmus natürlicher Taktung, wie beispielsweise durch Vorgaben natürlicher, gesetzlicher (Arbeitszeitgesetz, Zeitablauf von Tages- und/oder Wochenrhythmus) und unternehmensinterner Abläufe entsteht typisch ein getakteter Vorgang bzw. Ablauf, wie er in zeitdiskreten oder digitalen technischen Regelsystemen vorkommt. Darüber hinaus sind die meisten wirtschaftlichen Messverfahren ebenfalls zeitdiskreter Natur. So wird beispielsweise eine Bilanz jährlich erstellt, diverse Berichte durchaus in kürzeren Abständen, jedoch nicht zeitkontinuierlich. Jene aus der Messung bzw. Abtastung gewonnenen Informationen werden wieder Prozessen zur Gewinnung weiterer Informationen und Vorgaben zugeführt, welche ihrerseits eine gewisse Zeit brauchen, um ihre Ergebnisse zu produzieren. Dieser Vorgang läuft in der digitalen Regeltechnik in vergleichbarer Form ab. Sind nun einmal die vergleichbaren mit technischen Systemen Strukturen in einem wirtschaftlichen System identifiziert, lassen sich weitere Analogien hinsichtlich der angesprochenen Verhaltensmuster suchen.

Eine interessante Analogie hinsichtlich Verstärkung soll hier noch erwähnt werden. In technischen Systemen gibt es Effekte, wo bei Einwirkung einer Verstärkung auf einen Teilbereich oder ein Teilsystem die Verstärkung auf das Gesamtsystem wirkt. Ein technisches Beispiel dafür ist die Wanderfeldröhre. Dies ist ein Hochfrequenzverstärkungselement, bei welchem eine Teilwelle des eingekoppelten Signales verstärkt und sich die Verstärkung dann auf das Gesamtsignal auswirkt. In wirtschaftlichen Systemen kommt es ebenfalls bei der Verstärkung von Teilbereichen zur verstärkenden Auswirkung auf das Gesamtsystem bzw. auf das gesamte Unternehmen.

In den folgenden Ausführungen sollen nun die Analogien, vergleichbare Strukturen und vergleichbares Systemverhalten dargestellt werden.

5.2 Analogien

5.2.1 Mit technischen Systemen vergleichbare Strukturen und Regelkreise in wirtschaftlichen Systemen

Das Hauptziel eines wirtschaftlichen Systems, sei es eine Volkswirtschaft oder eine Unternehmung, ist letztendlich erfolgreich zu wirtschaften. Dazu muss sich das System einerseits entsprechend organisieren, damit die Aufgaben zur Erreichung der gesteckten Ziele bestmöglich erfüllt werden können und andererseits sich entsprechend in die Umwelt einbetten, um auf Einflüsse reagieren zu können bzw. sich so aufstellen, dass negative Einflüsse möglichst geringe Wirksamkeit entfalten. Diese Funktion wird erreicht, indem potentielle Einflussfaktoren, beispielsweise Störgrößen, möglichst früh erkannt und bei der Entscheidungsfindung berücksichtigt werden. Dies wird in technischen Regelkreisen u.a. durch die Störgrößenaufschaltung erreicht.

Die Strukturen in wirtschaftlichen Systemen weisen ebenfalls geschlossene Wirkungsabläufe auf, welche mit technischen Regelkreisen vergleichbar sind. Darüber hinaus ergeben sich auch verschiedene Eigenschaften, wie beispielsweise die Störgrößenaufschaltung, um Störgrößen frühestmöglich erkennen und ausregeln zu können. Ziel ist es, frühestmöglich die Einflussfaktoren zu erfassen und entgegenzuwirken und wenn möglich, noch vor deren Erscheinung zu agieren. Man wird danach trachten, aus den Rückkoppelmechanismen, welche durch Feedback gebildet werden und reagieren, Feedforwardstrukturen zu gestalten, um zu agieren. Durch die Strukturen in sozioökonomischen Systemen ergeben sich kaskadierte Regelstrukturen, welche sich aus mehreren und in sich verschachtelten Regelkreisen zusammensetzen. Kaskadierte Regelsysteme sind in der Technik ebenso anzufinden und ergeben sich aus dem Bedarf, die Regelprozesse auf Teilregelkreise aufzuteilen und die Regelprozesse zu beschleunigen. Dadurch ergeben sich kombinierte Strukturen von Mehrfachregelungen, wo beispielsweise in einen übergeordneten Regelkreis (Hauptregelkreis) ein Hilfsregelkreis eingelagert ist. Die Rückkoppelschleifen zur Bildung der geschlossenen Wirkungsabläufe bilden sich durch die Information, welche aus dem zu regelnden Prozess oder den zu regelnden Prozessen gewonnen wird und dem Kreislauf wieder zugeführt wird.

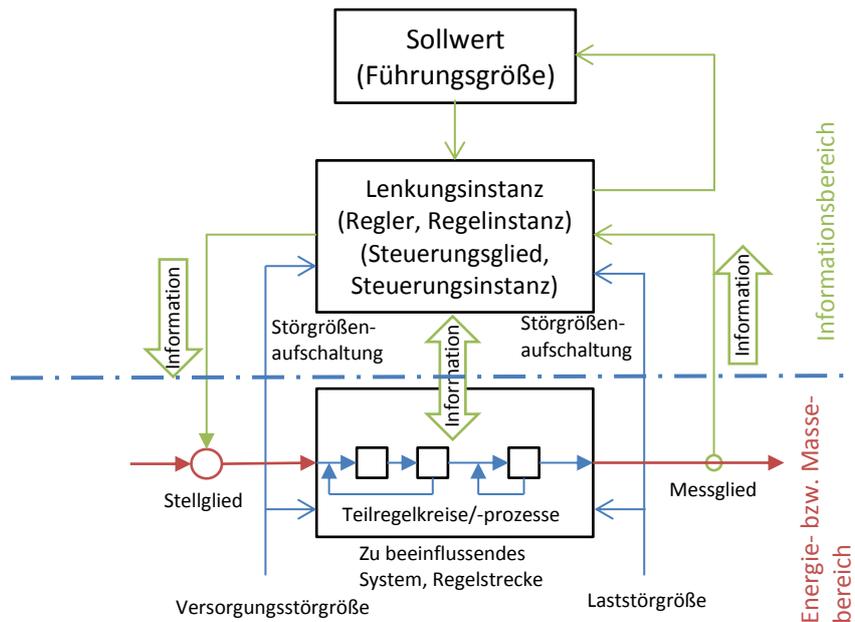


Abbildung 56: Bildung von Regelkreisen in wirtschaftlichen Systemen (vgl. Abbildung 31)

Insbesondere bei sozioökonomischen Regelsystemen sind solche Regelsysteme vorhanden, welche oft nicht aus getrennten Systemkomponenten, wie einem Regler, der zu regelnden Einheit, Sensoren, Stellgliedern usw. bestehen. In diesem Fall liegt ein selbstregulierendes Gebilde mit impliziter Regelung vor. Die angesprochene implizite oder auch systemimmanente Regelung hingegen ist ein selbstregelndes System, welches aufgrund seiner Struktur diese Eigenschaft aufweist. Die Rückkopplung als Basis für die Selbstregulierung ist systemimmanent und resultiert aus der Struktur des Systems. Diese Systeme können gar nicht anders, als sich (selbst) zu regulieren, wie in der Kybernetik 2. Ordnung beschrieben. Beispiele dazu sind jene schon erwähnten selbstregulierenden Systeme, wie eine Wasserüberleitung aus einem Fluss für ein Kraftwerk (siehe Abbildung 9 in Kapitel 3.3.1), eine Fuchspopulation (siehe 4.3.1) oder einfach ein Feder-Masse-Schwinger (siehe Abbildung 10 in Kapitel 3.3.1). Ein wesentlicher Faktor bei diesen impliziten Regelungsmechanismen ist die Begrenzung von Ressourcen. Die Summe der kinetischen und potenziellen Energie beim Feder-Masse-Schwinger ist begrenzt, wie das Nahrungsmittelangebot bei dem Beispiel mit der Fuchsbevölkerung oder das Wasserangebot bei dem Beispiel mit dem Kraftwerk. Da klarerweise in wirtschaftlichen Systemen die Ressourcen ebenfalls begrenzt sind, bestehen neben den expliziten Regelkreisen auch impliziten und es ergeben sich auch aus diesem Grund typische Verhaltensmuster von impliziten Regelkreisen, wie beispielsweise die Schwingung.

Der Regelkreis als grundlegendes Konzept der Kybernetik bildet Lenkungsformen in vereinfachter Form ab. Wie in technischen oder biologischen Systemen werden durch Führung Prozesse geregelt. Dabei werden die Ist-Werte erfasst, an die Lenkungseinheit als Feedback übermittelt (Messung und Rückkopplung) und mit den Sollwerten verglichen. Auf Basis dieses Soll/Ist-Wertvergleiches werden gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen eingeleitet.

Aus Abbildung 56 des Schemas eines erweiterten Regelkreises ergibt sich für einen Teilprozess in der Regelstrecke praktisch ein kaskadiertes Regelsystem als analoge Darstellung aus der Technik:

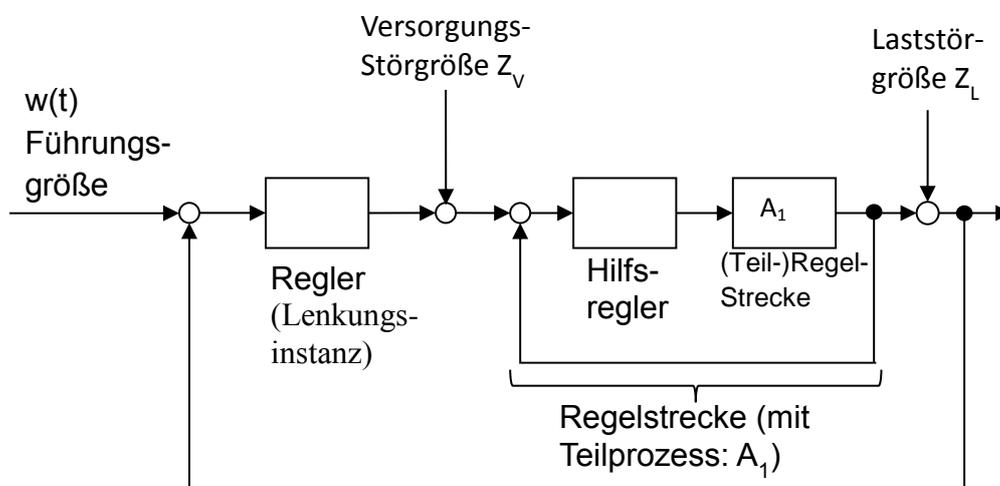


Abbildung 57: Darstellung des Schemas eines erweiterten Regelkreises mit einem Hilfsregelkreis [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 287]

Unternehmen sind entsprechend ihren Aufgaben und Zielen strukturiert. Wie in Abbildung 4 dargestellt ergeben sich verschiedene hierarchische Ebenen. Abteilungen oder Projektteams sind übergeordneten Bereichen zugeordnet, wodurch sich in wirtschaftlichen Systemen ebenfalls kaskadierte Regelungsstrukturen ergeben. In einem übergeordneten Regelkreis sind einer oder mehrere Hilfsregelkreise unterlagert. In Abbildung 57 ist solch eine unterlagerte Regelung von Abbildung 56 als Teilregelkreis abgeleitet. Die unterlagerten Teilprozesse „A_n“ bilden zusammen die Regelstrecke, die ihrerseits von einer („Haupt“-)Lenkungsinstanz, einem übergeordneten Regler gesteuert wird. Solch ein untergeordneter Teilprozess kann beispielsweise eine Projektgruppe in einer Abteilung sein. Viele Steuerungs- und Regelungsaufgaben können direkt im untergeordneten Bereich gelöst werden und bedürfen nicht einer Steuerung ausschließlich von einer übergeordneten Instanz. Unterlagerte Regelkreise können aber auch autonome Einheiten in Konzernen sein, wobei die Tiefe der Abstufung entsprechend zunimmt. Wie in technischen Systemen werden hier die

Flexibilität und die Regelgeschwindigkeit, also die Dynamik des Gesamtsystems erhöht. Es muss allerdings berücksichtigt werden, dass mit zunehmender Dynamik auch die Instabilität des Systems zunimmt.

In technischen Systemen werden kaskadierte Systeme eingeführt, um einerseits die Regelgeschwindigkeit zu erhöhen, um auf Einflüsse von außen (Störgrößen) rascher reagieren zu können und andererseits umfangreiche Aufgabenstellungen der Regelung zu strukturieren und die Komplexität dadurch zu reduzieren. Durch das Vorschalten von Hilfsreglern, und der noch früheren Aufschaltung und Ausregelung von Störgrößen wird zunehmend der Effekt des Feedforward, der Vorkopplung erreicht. Es erfolgt eine Beschleunigung des Systemverhaltens, das System kann auf Einflüsse rascher reagieren oder durch die Aufschaltung von Störgrößen bereits agieren, noch bevor der Einfluss auf das gesamte System wirkt.

Die Grundfunktion des Regelkreises basiert auf rückgekoppelten Outputs, welche als gemessene Information an den Eingang rückgekoppelt werden. Nach dem Vergleich von Ist- und Sollwerten werden Entscheidungen getroffen. Dieser Regelungsvorgang basiert demnach auf historischen Daten, also im Wesentlichen „ex post“. Mit der Einschaltung von Hilfsreglern wird die Berücksichtigung der Störung schon im Vorhinein erreicht, sodass eine vorausschauenden („ex ante“) Regelung erreicht wird. Die Wirkung von Störungen berücksichtigt die Steuerungsentscheidungen schon im Voraus. Dieser Feed Forward Effekt wird in technischen Regelkreisen durch frühzeitige Zuführung der Störinformation in Form der Störgrößenaufschaltung erreicht. In wirtschaftlichen Systemen wird dieser Mechanismus nicht als Störgrößenaufschaltung bezeichnet, sondern man trachtet durch frühestmögliche Einspeisung relevanter Informationen in das System vom Reagieren zum Agieren zu kommen. Formen dieser frühzeitigen Informationsgewinnung sind beispielsweise die Einführung von geeigneten Kennzahlen oder auch Schwellwerten sowie Indikatorgrößen in Unternehmen ergänzt durch ein Qualitätsmanagementsystem.

In technischen Regelsystemen gibt es beispielsweise Situationen, wo für den Regelprozess erforderliche Größen nicht explizit zur Verfügung stehen. Die Installation weiterer Sensoren ist oft nicht möglich oder es wird darauf verzichtet. Zustandsregler bzw. Zustandsbeobachter werden eingesetzt, um aus den Ein- und Ausgangsgrößen eines Systems die nicht direkt messbaren Zustandsgrößen zu berechnen. Es setzt voraus, dass ein System als beobachtbar gilt. Bezug nehmend auf die Darstellung in Abbildung 56 ergibt sich hier eine weitere Analogie von Regelkreisen in technischen und wirtschaftlichen Systemen. Die mathematische Darstellung bzw. Modellierung von sozioökonomischen Systemen ist meistens äußerst schwierig oder ob der hohen Komplexität nicht möglich. Da in der Technik vergleichbare Situationen auftreten, wo sich beispielsweise die

Regelstrecke nicht beschreiben lässt, werden diese oben beschriebenen Regelungsverfahren angewandt. Das Prinzip eines Regelkreises Identitätsbeobachters zeigt die folgende Graphik:

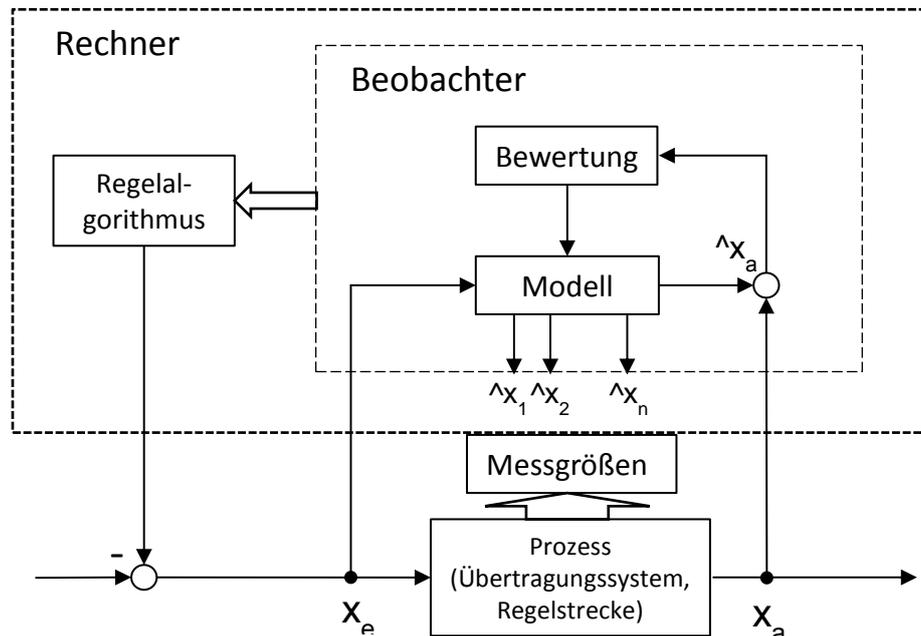


Abbildung 58: Zustandsregler mit Beobachter [vgl. Stute, 1981, S. 110]

Der Vergleich mit der Graphik in Abbildung 56 zeigt das Vorhandensein nahezu gleicher Regelkreisstrukturen in wirtschaftlichen und technischen Systemen. Hier gilt wieder die Grundstruktur, dass die Regelstrecke durch einen zu beeinflussenden Prozess gebildet wird und der Regler durch eine Entscheidungsinstanz. Die Rückkopplung wird durch die Rückführung der Information über die Regelgröße und Informationen gebildet, welche aus der Regelstrecke vorliegen („Messgrößen“). Mit der Störgrößenaufschaltung werden beispielsweise weitere vorliegende Informationen dem Regelsystem zugeführt und die Tendenz zu Feedforward bestärkt.

Eine weitere Analogie im Sinne dieser lässt sich über adaptive Regelsysteme beschreiben. Ändern sich beispielsweise die Arbeitsbedingungen zu stark, können klassische Regelsysteme an ihre Grenzen stoßen und arbeiten unter diesen Einflüssen nicht mehr optimal oder zufriedenstellend. Mit adaptiven Regelsystemen soll nun durch Veränderungen von Systemstrukturen und Parametern erreicht werden, damit das Verhalten trotzdem wieder zufriedenstellend ist. Ein adaptiver Regler kann dann beispielsweise erforderlich werden, wenn sich die Übertragungsfunktion eines Prozesses in der Ordnung oder den Parameterwerten, oder das System selbst durch Abnutzung ändert. Gerade in sozioökonomischen Systemen ist ständig mit sich ändernden Parametern zu rechnen, wodurch sich hier Strukturen adaptiver Regelsysteme ebenso wiederfinden. Die Adaption in technischen

Systemen wird durch drei Schritte, der Identifikation, dem Entscheidungsprozess und dem Einstellprozess, gebildet. Mit der Identifikation wird der (zeitvariable) Zustand des Systems erfasst. Mit dem Entscheidungsprozess wird auf Basis jener durch die Identifikation gewonnenen Information mit dem gewünschten Zustand verglichen und über weitere Maßnahmen entschieden, damit sich das System auf den gewünschten Zustand wieder hinbewegt. Und mit dem Einstellprozess werden jene Veränderungen an der Regeleinrichtung durchgeführt, welche im Entscheidungsprozess bestimmt wurden. Das klassische Regelsystem mit einer Rückkopplenschleife wird durch einen weiteren Zweig ergänzt, welcher die drei Schritte der Identifikation, Entscheidung und Einstellung, enthält. [vgl. Stute, 1981, S. 54]

Vergleicht man nun das Beispiel des Regelmechanismus von Abbildung 37, so sind die Analogien mit einem adaptiven Regelsystem deutlich ersichtlich. Die Aktivität bzw. der Prozess bildet wieder die Regelstrecke. Zur adaptiven Regelung wird das System durch die drei Schritte der Identifikation, Entscheidung und Einstellung erfasst und geregelt. Unter Bezug auf Bild Abbildung 37 ergibt sich das Pendant des technischen, adaptiven Regelkreises wie folgt:

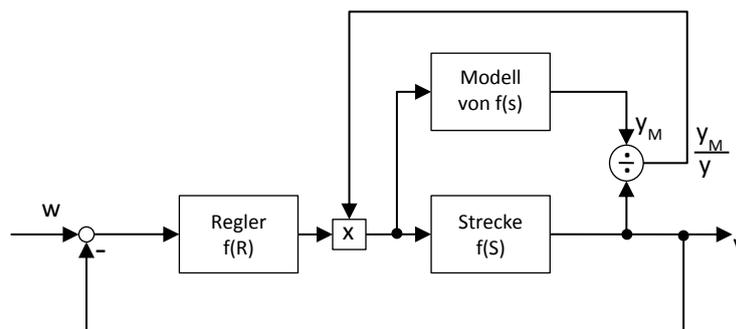


Abbildung 59: Adaptives Regelsystem [entnommen aus: Stute, 1981, S. 55]

Das Prinzip der adaptiven Regelung ist, dass die Strecke mit einem Modell von ihr nachgebildet und mit der gleichen Stellgröße beaufschlagt wird. Der Quotient aus dem Ausgangssignal der Strecke und jenem des Modells wird über einem Multiplikator dem Eingang wieder zugeführt, wodurch Veränderungen der Streckenparameter Berücksichtigung finden. Es sind hier für die Adaption die drei Schritte von Identifikation, Entscheidungsprozess und Einstellprozess notwendig. Rufen wir uns Abbildung 37 aus Kapitel 4.2.3 noch einmal in Erinnerung, so sind auch hier die Analogien von technischen und wirtschaftlichen Regelungsmechanismen deutlich erkennbar:

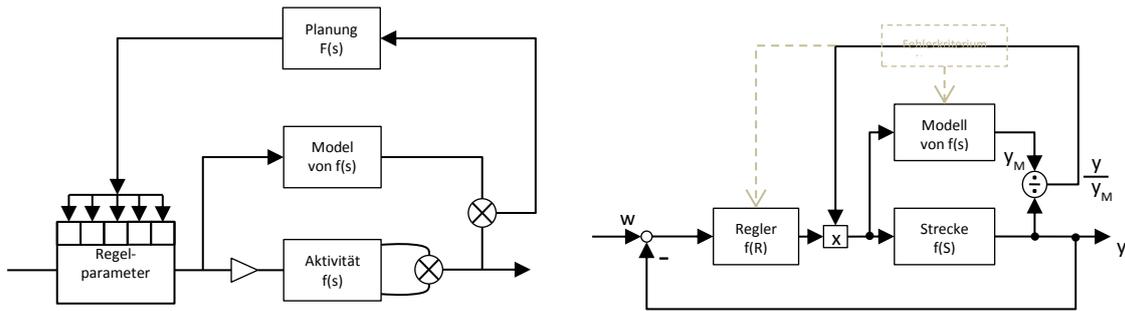


Abbildung 60: Gegenüberstellung von Regelkreisen wirtschaftlicher (links) und technischer Systeme (rechts).

5.2.2 Vergleichbares Systemverhalten in technischen und wirtschaftlichen Systemen

5.2.2.1 Allgemeine Betrachtung von vergleichbarem Verhalten

Es lassen sich u.a. mit Beständen und Flüssen wirtschaftliche Systeme hinsichtlich der Regelungsstrukturen beschreiben. Auf diese Weise entwickeln sich geschlossene Strukturen, welche mit technischen Systemen vergleichbar sind. Die Bestände und Flüsse eignen sich sehr gut für einen Vergleich mit technischen Systemen, da sie meistens selbst in wirtschaftlichen Systemen physikalischer Natur sind. Der Bestand ist beispielsweise mit der Ladung eines Kondensators oder dem Flüssigkeitsstand in einem Behälter vergleichbar. Im Sinne der Regeltechnik handelt es sich in diesem Fall meistens um Elemente mit Integralverhalten und/oder Totzeitgliedern. Ausgehend von Abbildung 38 leitet sich folgender technischer Regelkreis ab:

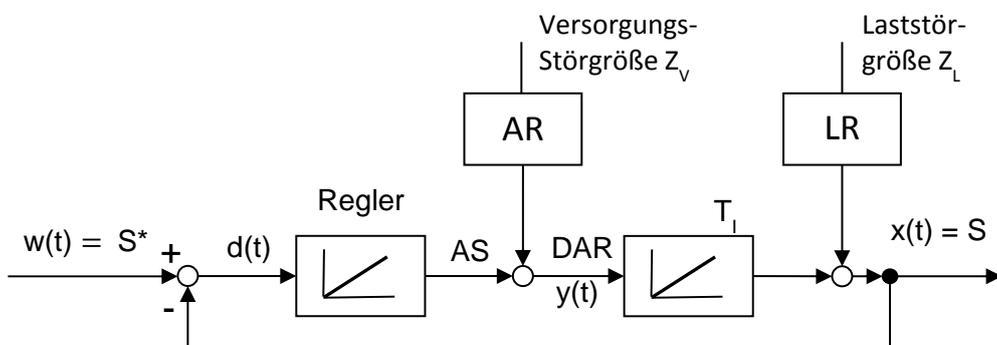


Abbildung 61: Regeltechnische Darstellung der Regelgrößen einer Bestandsregelung in einem wirtschaftlichen System

Eine Gegenüberstellung der Größen des (wirtschaftlichen) Modells von Sterman mit jenen Größen von technischen Regelsystemen ergibt folgende Vergleiche: Die „Stock Adjustment Time, SAT“ ist mit der Integrationszeitkonstanten T_I des I-Anteiles eines Reglers vergleichbar, „Desired Stock, S^* “ entspricht in diesem Fall der Führungsgröße. Exogene und endogene Variablen aus Sterman's Modell entsprechen in der Regelungstechnik Störgrößen, „Adjustment for Stock, AS“ ist mit der Stellgröße $y(t)$ vergleichbar. [vgl. Sterman, 2000, S. 699ff]

Bei diesem Beispiel der Bestandsregelung ist der Sollwert der vorgegebene Bestand, welcher mit „Desired Stock“ als Sollwert in der Regeltechnik als Führungsgröße bezeichnet wird. Bei Abweichung des Bestandes vom Sollwert wird ein Bestell- und Nachliefervorgang ausgelöst um den Zielwert wieder herzustellen. Ein Bestand („Stock“) ist eine Regelstrecke mit typischem Integralverhalten („I-Strecke“). Die „Desired Acquisition Rate, DAR“ ist mit der Stellgröße in der Regeltechnik vergleichbar, welche in diesem Fall bereits mit der Versorgungsstörgröße korrigiert ist, was in der Regeltechnik als Störgrößenaufschaltung bekannt ist. Wie bereits vorhin erwähnt, sollen potentielle Einflüsse so früh wie möglich vom System erfasst werden.

Wird angenommen, dass für das Nachstellen des Bestandes bei Abweichung vom Sollwert ein linearer Zusammenhang besteht, dann ergibt sich folgende Gleichung: [entnommen aus: Sterman, Business Dynamics, S. 671]:

$$AS = \frac{(S^* - S)}{SAT}$$

Gleichung 29

Mit dieser Gleichung wird entsprechend Kapitel 3 ein System mit Integralverhalten dargestellt. Trotz der Einfachheit dieses Beispiels ist zu beachten, dass sich solch ein System in Supply Chains ungeplante Verstärkungen und dadurch Schwingungen auslösen kann. Bei Betrachtung von Gleichung 29 ist erkennbar, dass bei kleiner werdender „Stock Adjustment Time“, also schnellerer Reaktion (technisches Pendant dazu kleinere Integrationszeitkonstante) „Adjustment for Stock, AS“ größer wird.

Folgendes Beispiel [entnommen aus: Sterman, 2000, S. 673] zeigt das Sprungverhalten des obigen Systems von einem Gleichgewichtszustand in einen anderen. Die Zeitkonstanten für die Anpassung (-sfähigkeit) des Bestandes sowie für die Nutzungs-(Lebens-)dauer des Bestandes werden mit 3 Jahren bzw. 10 Jahren angesetzt und sollen einer linearen Funktion folgen. Diese Werte sind Annahmen,

welche auf einer typischen Abschreibungsdauer nach buchhalterischen Vorgaben beruhen, wohlwissend, dass es davon Abweichung geben kann.

Es wird nun angenommen, das System befinde sich in einem Gleichgewichtszustand mit einem Bestand von 100 Einheiten und einem Durchsatz von 14 Einheiten pro Jahr zur Erhaltung des Bestandes. Mit Jahr 1 kommt die Entscheidung, den Bestand um 20% auf 120 Einheiten zu erhöhen, es entsteht ein Sprung in der Führungsgröße, worauf der Regelmechanismus reagiert und den Durchsatz, die „Akquisition Rate“, entsprechend erhöht. Der Anpassungsbedarf des Bestandes steigt um $20 \text{ Einheiten} / 3 \text{ Jahre} = 6,67 \text{ Einheiten/Jahr}$. Damit springt die Akquisitionsrate von ursprünglich 14 Einheiten/Jahr auf 20,67 unter der Annahme, dass eine unmittelbare Anpassung ohne Verzögerungseffekte möglich ist. Damit nimmt der Bestand ab der „Aufschaltung“ des Sprunges ebenfalls zu, wobei mit wachsendem Bestand die Zunahme entsprechende der negativen Rückkopplung wieder abnimmt. Obwohl der Sprung im Bestand 20% beträgt, springt die Akquisitionsrate um 48% ($20,67/14$) und es entsteht zum Zeitpunkt des Sprunges das Verhältnis einer „Verstärkung“ von 2,4. Geht man davon aus, dass die Änderung, also die Akquisition Rate, einen entsprechenden Aufwand generiert, so ist ersichtlich, dass die Änderung dieser Akquisition Rate (zumindest am Beginn) das 2,4fache der Änderung des Bestandes beträgt. Je kürzer die Anpassungszeit, gewählt wird, desto stärker wirkt sich diese „Verstärkungsverhältnis“ aus und der Aufwand nimmt unverhältnismäßig zu. Darüber hinaus neigt das System zunehmend zur Instabilität und Schwingung. [vgl. Sterman, 2000, S. 673ff]

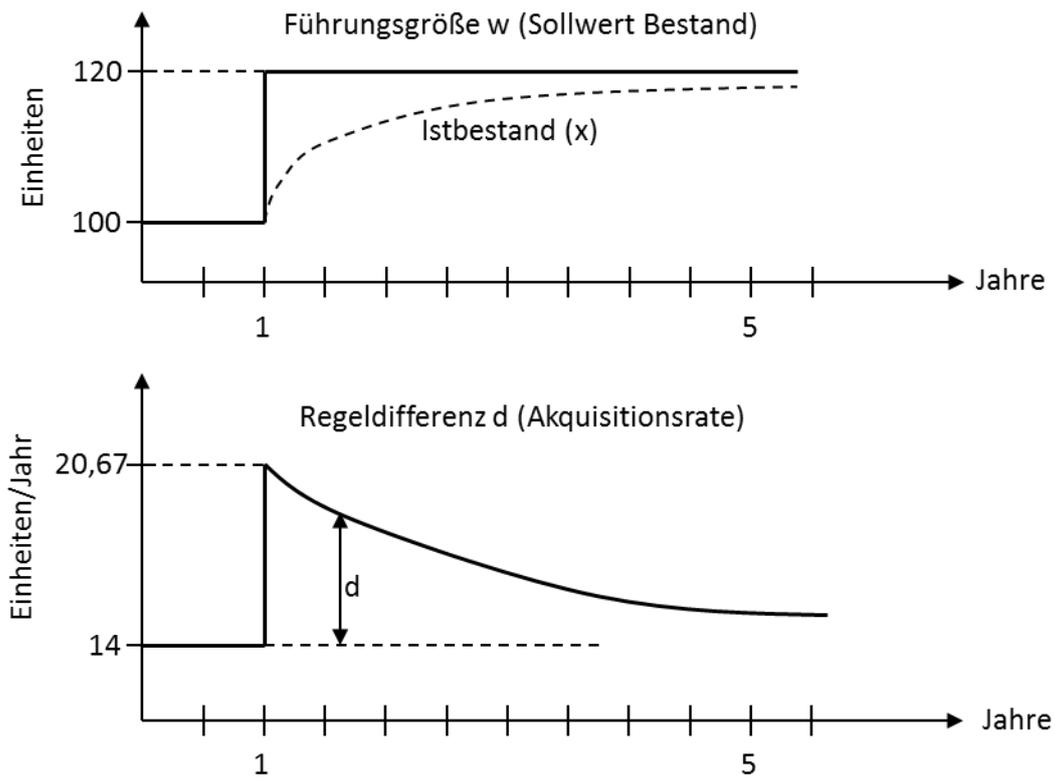


Abbildung 62: Verhalten der Regeldifferenz und der Regelgröße bei einer Sprungfunktion am Eingang (w) [entnommen aus Sterman, 2000, S. 673]

Werden nun bei diesem Beispiel verschiedene Parameter geändert, so ergeben sich entsprechend verschiedene Verhaltensmuster. Ein wichtiger Einflussfaktor ist die Integrationszeitkonstante T_I . Wird diese zu klein gewählt, gerät das System in Schwingung. Für Werte von T_I größer 1 ist es ein asymptotischer Vorgang, für Werte $0,5 < T_I < 1$ ist es eine abklingende Schwingung und für T_I kleiner 0,5 eine zunehmende Schwingung, welche rasch sehr große Werte für die Regelgröße x annimmt, wie aus den folgenden Diagrammen ersichtlich ist.

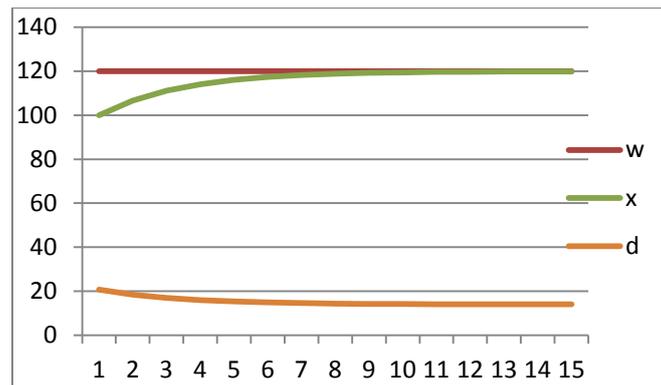


Abbildung 63: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 3 Zeiteinheiten

w steht für die Führungsgröße und ist für dieses Beispiel eine Sprungfunktion. x ist die Regelgröße und d die Regeldifferenz.

Bei Verringerung von T_1 auf 0,6 Zeiteinheiten ergibt sich bereits eine Schwingung, welche allerdings nach ca. 15 Perioden abgeklungen ist und gegen 120 konvergiert.

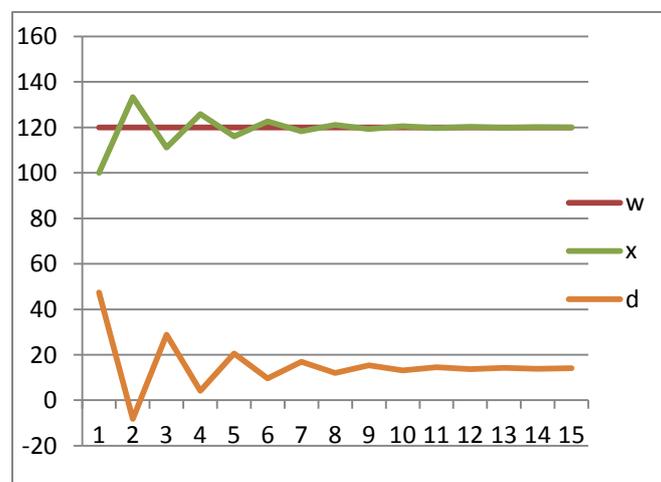


Abbildung 64: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,6 Zeiteinheiten

Bei einer weiteren Verringerung von T_1 auf 0,5 Zeiteinheiten stellt sich bereits eine Dauerschwingung ein, wenn das System mit der gleichen Sprungfunktion im Bestand von 100 auf 120 beaufschlagt wird. Es reicht also in diesem Fall eine Änderung der von T_1 um 0,1, dass sich das Systemverhalten von einer gedämpften Schwingung mit Konvergenz gegen einen fixen Wert zu einem ungedämpften Schwingungsverhalten hin ändert.

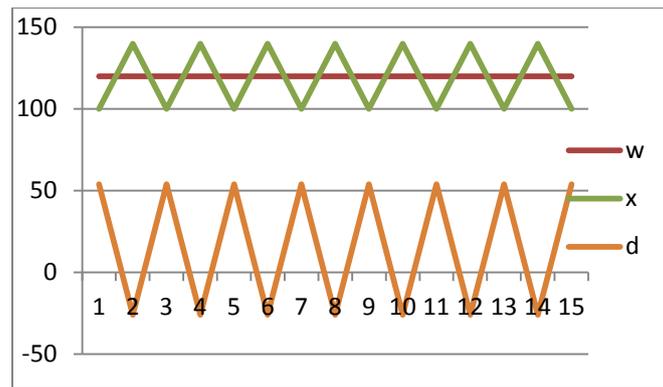


Abbildung 65: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,5 Zeiteinheiten

Bei weiterer geringer Reduktion von T_1 auf 0,48 Zeiteinheiten versetzt das System in eine anschwellende Schwingung. Auffällig ist die kleine Änderung von nur 0,02 Zeiteinheiten für T_1 , welche ausreichend ist, um das Systemverhalten grundlegend zu ändern.

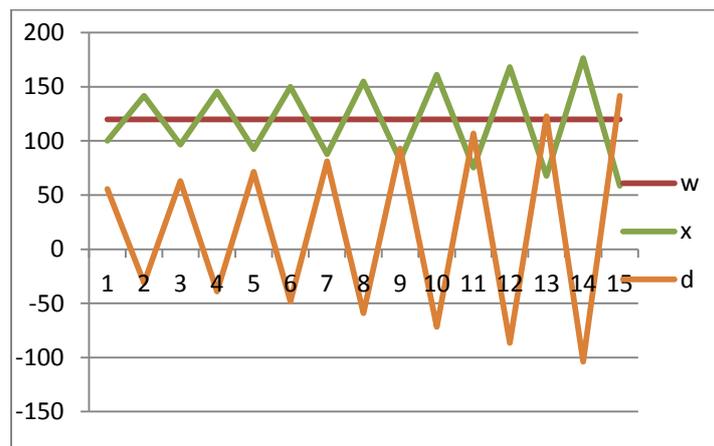


Abbildung 66: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,48 Zeiteinheiten

In der Praxis wirkt sich eine solche Schwingung in einer Supply Line mit beispielsweise entweder übervollen oder leeren Beständen aus, die in solchen Fällen extra Kosten durch mangelnde Liefermöglichkeit, Lageraufwand und Aufwand durch stark ändernden Produktionsbedarf, generieren. Hier ergibt sich eine Isomorphie zu technischen Systemen. Entsprechend den Stabilitätskriterien werden in Regelkreisen Verstärkungsfaktoren und Zeitkonstanten so gewählt, dass ein stabiler Betrieb des Systems möglich ist. Bei dem obigen Beispiel sind keine Verzögerungen angenommen. Totzeitglieder tragen in der Supply Line weiter zur Schwingungsneigung bei.

Totzeitelemente entstehen beispielsweise durch Transportwege oder bestimmte Ruhezeiten in Produktionsprozessen. Wie in Kapitel 3 beschrieben, zeigt ein System mit Totzeitverhalten auf eine Eingangsgröße eine – um die Totzeit – verzögerte Reaktion am Ausgang.

Die Totzeit muss im Management jedenfalls berücksichtigt werden. In wirtschaftlichen Systemen kann jedoch das subjektive Empfinden des „nichts Passierens“ zu überzogenen Steuerungseinflüssen führen, welche ihrerseits das System erst recht in Schwingung versetzen. So dauert beispielsweise die Lieferung nach einer Bestellung eine gewisse Zeit, einer sogenannten Totzeit im Regeltechnikjargon. Sind Läger leer und die Bestellung noch ausständig, neigen Menschen dazu, noch mehr zu bestellen. Es kommt dann die Lieferung und die Läger füllen sich unverhältnismäßig stark, die Bestellungen werden wieder reduziert usf. So kann eine kleine Änderung des Lieferverhaltens am Ende einer Supply Chain am Anfang starke Änderungen im Bedarf, Schwingungen, hervorrufen. Ein Beispiel zum Systemverhalten von Regelkreisen mit Totzeitelementen ist im nachfolgenden Kapitel mit den zeitdiskreten Systemen enthalten.

5.2.2.2 Vergleichbares Systemverhalten unter Berücksichtigung von Abtastung und zeitdiskreten Vorgängen

Bisher wurden die Vergleiche von technischen und wirtschaftlichen Systemen hinsichtlich kontinuierlicher Abläufe gezogen. In der Regeltechnik haben zeitdiskrete Systeme durch die Verwendung der Digitaltechnik bzw. digitaler Regler und Computertechnik Einzug gehalten. Zur Bildung digitaler Regelwerte werden die vorkommenden Signale abgetastet und in Zahlwerte umgewandelt. Aus den vorliegenden abgetasteten Werten werden dann die entsprechenden neuen Werte berechnet, wieder umgewandelt und dem System zugeführt. Diese Vorgänge benötigen eine gewisse Zeit für die Umsetzung, es entsteht ein zeitdiskreter Vorgang aus Sample-and-hold Sequenzen.

In wirtschaftlichen Systemen entstehen vergleichbare Vorgänge. Viele Informationen liegen zeitdiskret vor, da sie von einem in gewissen Zeitabständen „abtastenden“ Berichtswesen herrühren und diese Abtastungen zu diskreten Zeitpunkten erfolgen. Die so gewonnenen Informationen werden weiter verarbeitet, und die Ergebnisse dem Prozess wieder zugeführt. Durch die so ablaufende Informationsgewinnung durch Abtastung, Verarbeitung und Generierung der Maßnahmen entsteht ein typischer Sample-and-hold Prozess, wie in der digitalen Regeltechnik.

Bei technischen Systemen wird zwischen analogen Systemen und Abtastsystemen unterschieden. In der digitalen Regeltechnik beeinflusst die Abtastrate der Sample-and-hold-Systeme das Systemverhalten und die Stabilität des Gesamtsystems. Sowohl zu kleine als auch zu große Zeitabstände können zu instabilen Systemen führen, bzw. das Regelverhalten entspricht nicht den Vorgaben. In der praktischen Regeltechnik gibt es verschiedene Verfahren zur Ermittlung von Einstellregeln für Regelkreise. Durch Erfahrungen im Design und Betrieb von Regelsystemen ergeben sich zum Beispiel empirische Einstellregeln, welche sich zu allgemein gültigen Standards entwickelt haben. Geht man wieder von der grundsätzlichen Annahme aus, dass es sich um lineare, zeitinvariante Systeme handelt, können diese Regeln zur Anwendung kommen. Es steht außer Zweifel, dass es sich bei sozioökonomischen Systemen um hochkomplexe, selbstlernende und autopoietische Systeme handelt. Dennoch sind entsprechende Regelkreisstrukturen vorhanden und nachgewiesen, welche ganz klar mit jenen technischer Systeme vergleichbar sind. Es treten nun auch in diesen Regelkreisstrukturen entsprechende Verhaltensmuster auf.

Rufen wir uns noch einmal den digitalen Regelkreis, wie beispielweise in Kapitel 3.7.2.2 beschrieben, in Erinnerung:

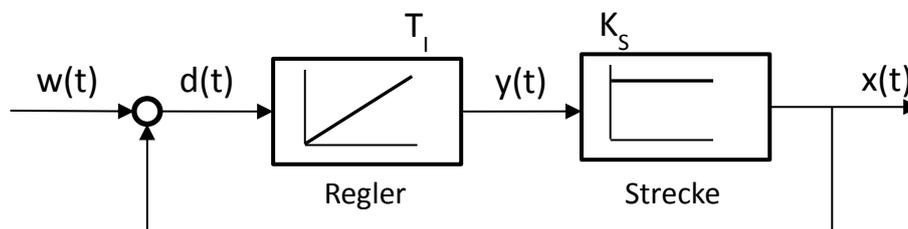


Abbildung 67: Beispiel eines Regelkreises mit I-Regler und Proportionalstrecke von Kapitel 3.7.2.2

Wir rufen uns auch die dazugehörige Übertragungsfunktion des Beispiels noch einmal in Erinnerung:

$$x_k = \left(1 - K_S \cdot \frac{T}{T_I}\right) \cdot x_{k-1} + K_S \cdot \frac{T}{T_I} \cdot w_{k-1}$$

Gleichung 30

Neben der in technischen Systemen und hier nicht weiter berücksichtigten Streckenverstärkung K_S , und der bereits mehrmals beschriebenen Integrationszeitkonstanten T_I , ist nun ein weiterer Parameter, die Abtastzeit T , ersichtlich, welche ebenfalls das Systemverhalten beeinflusst. Die Stabilität hängt in diesem Fall also nicht mehr nur von einer Zeitgröße, sondern von zwei ab. Sterman hat in seinen Ausführungen bereits deutlich auf die Abhängigkeit der Stabilität von der Zeitkonstanten des I-Gliedes im System („Stock Adjustment Time, SAT“) hingewiesen. Diese Abhängigkeit der Stabilität von einem Systemparameter beispielsweise ist direkt mit technischen Systemen vergleichbar ist. Dementsprechend wird nun die Stabilität des Systems von der Abtastzeit auch mit beeinflusst und es besteht für obiges Beispiel in Abbildung 67 folgende Stabilitätsbedingung:

$$\left| 1 - K_S \cdot \frac{T}{T_I} \right| < 1$$

Gleichung 31

Im Vergleich mit dem Beispiel 5.2.2.1 zur Anpassung eines Bestandes ist ersichtlich, dass nicht nur die Anpassungsgeschwindigkeit des Bestandes allein Berücksichtigung findet, sondern bei der Regelung des Systems auch die Wahl der Abtastzeit ein Kriterium für die Stabilität bildet.

Ausgehend von einem System gemäß Abbildung 67, welches die willkürlich angenommene Streckenverstärkung $K_S = 1$ haben soll sowie einen Sprung im Bestand von 0 auf 1 macht, sind nun im Folgenden die Verhaltensmuster des Systems in Abhängigkeit der Abtastzeit dargestellt:

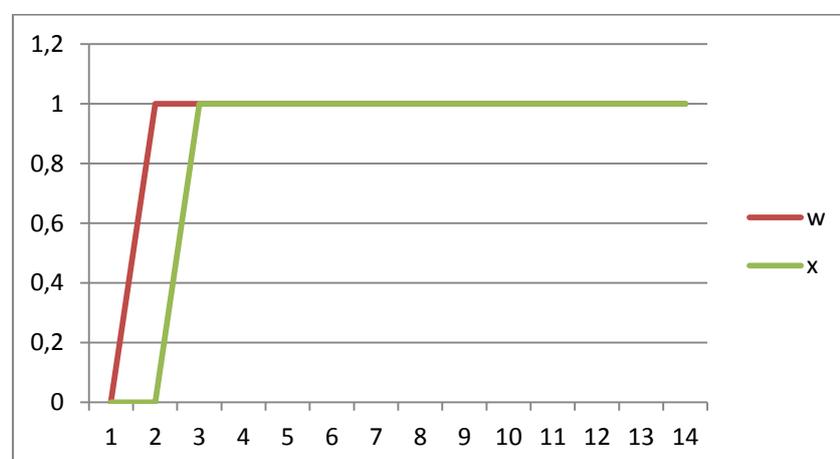


Abbildung 68: Verhalten des Systems in Bild 46 mit $T=1$ und $T_I=1$

w steht für die Führungsgröße und x für die Regelgröße. Wird nun bei gleichen Systemparametern bloß die Abtastrate, also der Zeitraster für die Gewinnung der Information für die Bildung der Rückkopplung verändert, auf einen Wert von $T=1,5$ erhöht, so stellt sich für die Regelgröße bei einem Sprungaufschaltung des Systems ein Einschwingvorgang ein:

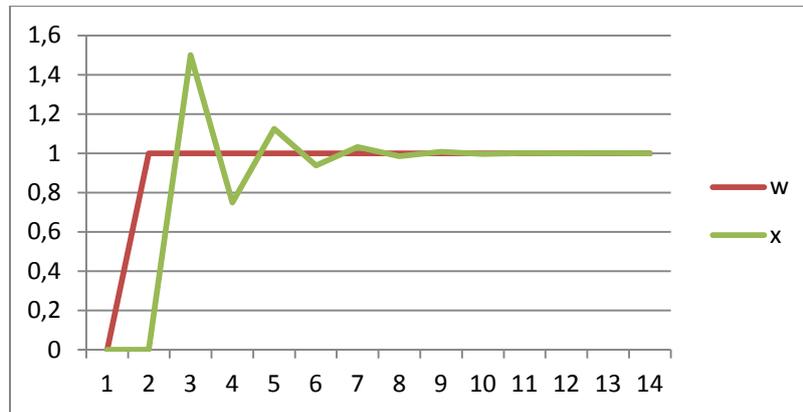


Abbildung 69: Verhalten des Systems von Bild 46 mit $T=1,5$ und $T_1=1$

Bei einer Abtastrate von $T=2$ und $T_1=1$ gerät das System in Dauerschwingung und bei einer Abtastrate $T>2$ ergibt sich eine anwachsende Schwingung:

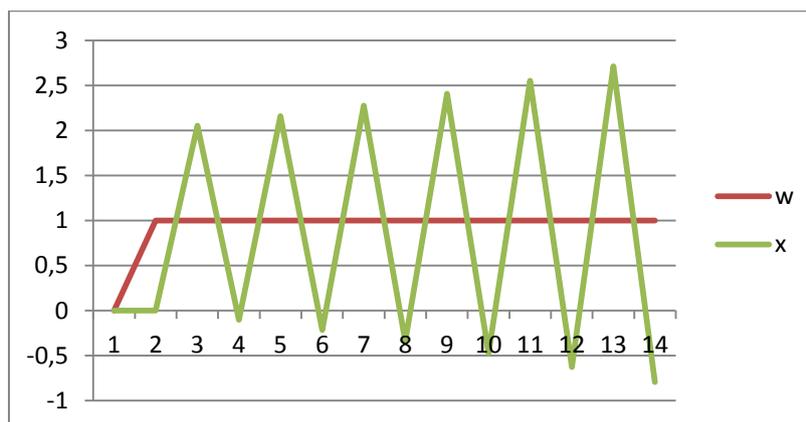


Abbildung 70: Verhalten des Systems von Bild 46 mit $T=2,05$ und $T_1=1$

Es muss also berücksichtigt werden, dass das Verhalten eines Systems nicht nur von den Parametern des Systems alleine abhängt, sondern, wie in diesem Fall gezeigt, auch von der Abtastrate abhängt. Da das Berichtswesen in wirtschaftlichen Systemen eine Gewinnung von Zeitdiskreter Information

aus den Prozessen eines Unternehmens beispielsweise ist, beeinflusst nun die Taktrate dieser Informationsgewinnung ebenfalls das System.

5.2.2.3 Ein Beispiel aus der Praxis zum Systemverhalten und „Reglereinstellwerten“

Die folgende Darstellung aus der Praxis zeigt das Verhalten eines Systems nach Aufschaltung eines Sprungs: Es soll ein Bestand von 0 auf 50 Einheiten erhöht werden, worauf sich die Kurve nach Abbildung 71 ergibt. Aus solch einer Kurve lassen sich in der Regeltechnik empirische Einstellwerte für Regler ableiten. Ähnlich wie bei der Bestandsregelung nach [Sterman, 2000, S. 672ff] welche –wie in den vorigen Kapiteln beschrieben- sich nach durchaus technischen Regeln Systemparametern orientiert, soll hier ebenfalls die Regeltechnik für die geeignete Systembeeinflussung „Pate stehen“.

In der Graphik ist erkennbar, dass das System erst nach einer gewissen Totzeit (T_u) beginnt, zu reagieren, dann der Bestand nach dargestellter Rampe anwächst und sich dem Zielwert angleicht.

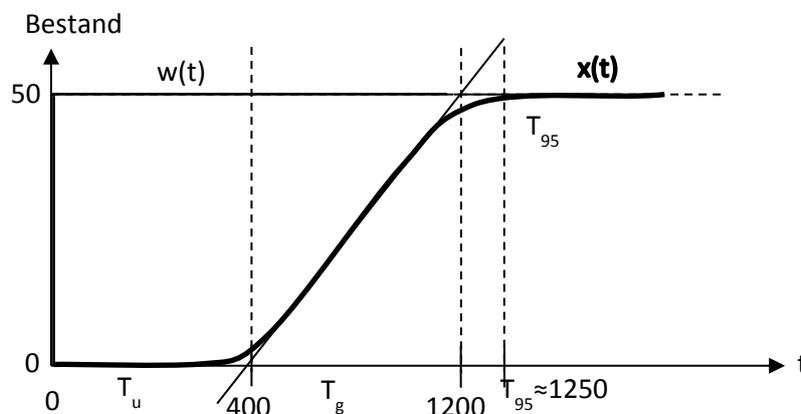


Abbildung 71: Verhalten eines Bestandes über die Zeit nach Aufschaltung eines Sprunges

Die Form dieser Kurve gleicht dem Verhalten eines PT_n -Systems in der Technik. Wird diese Systemantwort durch PT -Glieder gleicher Zeitkonstanten modelliert, so ergibt sich die Anzahl gleicher Teile nach der Tabelle 7 mit $\frac{T_u}{T_g} = 0,5$ zu $n=6$.

Diese Sprungantwort ist somit mit dem Verhalten eines PT_6 -Gliedes vergleichbar.

Würde nun ein fiktiver Regler an diese Strecke angepasst werden, so ergäben sich aus den Einstellregeln für Regler nach der Tabelle 6 folgende Werte für einen PI-Regler hinsichtlich Optimierung für das Führungsverhalten. In der Praxis werden Prozesse zwar nicht mit Standardreglern aus der Technik geregelt, die Parameter, wie Integrierzeitkonstante oder Regelverstärkung weisen jedoch auf darauf hin, dass bei der Beeinflussung die Parameter des zu regelnden Prozesses zu berücksichtigen sind. Diese Aussage deckt sich auch mit den Vorgaben von Stermann in Business Dynamics S. 672ff, wo die Berücksichtigung der Stock Adjustment Time, dem Pendant zur Integrierzeit, eine wesentliche Rolle bei der Stabilität von Regelsystemen spielt.

Für das oben angegebene Beispiel einer Sprungantwort ergeben sich entsprechend Tabelle 6 für die Reglerparameter folgende (fiktive) Werte:

$$T_I = 1,2 \cdot T_a \text{ (Integrierzeitkonstante)}$$

$$K_R = 0,35 \cdot \frac{T_a}{T_u \cdot K_S} \text{ (Reglerverstärkung)}$$

Bei den gemessenen Werten von einer $T_u = 400$ und $T_a = 800$ Zeiteinheiten ergeben sich die fiktiven Regelparameter $T_I = 480$ und $K_R = 0,7$ bei einer angenommenen Streckenverstärkung K_S von 1. Würde die Strecke nun von einem „Regler“ beeinflusst, so müssten die hier ermittelten Parameter eingestellt werden. Vergleicht man die Integrierzeitkonstante T_I mit der SAT von Stermann, so ist ersichtlich, dass man beim Regeln der Strecke entsprechend ihren Eigenschaften „eine entsprechende Zeit“ eingeplant werden muss, um das System reagieren lassen zu können.

Geht man davon aus, dass wirtschaftliche Prozesse von zeitdiskreter Natur, also getaktet sind, so bieten sich die Betrachtung und der Vergleich mit digitalen Regelsystemen an. Bei digitalen Regelkreisen wird die Regelgröße dem Regelreis entnommen und einem „Rechner“ mit dem entsprechenden Regelalgorithmus zugeführt. Dort werden neue Werte errechnet, welche wieder in den Regelkreis eingespeist werden. In der Wirtschaft läuft der Vorgang ähnlich ab. Durch Reporting beispielsweise wird die Regelgröße dem Prozess entnommen, einer Bewertung zugeführt und danach werden gegebenenfalls neue Werte als Korrektive dem Regelkreis wieder zugeführt. Dieser Vorgang ist meistens ein zeitdiskreter, wie es beispielsweise Monats- oder Quartalsberichte im Controlling zeigen. Auf Basis dieser Ergebnisse bekommen jene für die jeweiligen Prozesse Verantwortliche (Reglerfunktion) neue Direktiven.

Wendet man nun die Einstellregeln bzw. die Abschätzung für die Abtastzeit aus

Tabelle 7 für das System mit der Sprungantwort gemäß Abbildung 71 an, so lässt sich die Abtastzeit wie folgt abschätzen:

- $T_u = 400, T_a = 800 \rightarrow$ für T_u ca. 2 bis 5 Abtastungen: $80 \leq T \leq 200$;
- $T \leq 0,1 \cdot T_a \rightarrow T \leq 80$
- $T_{95} \approx 1250 \rightarrow 62,5 \leq T \leq 125$

Aus diesen Einstellwerten würde sich für ein quasianaloges Verhalten eine Abtastzeit von 80 Zeiteinheiten für dieses Beispiel ergeben. In der Praxis müsste nun eine Regel- oder Kontrollinstanz mit einem Berichtswesen, welches eine entsprechende Wiederholrate aufweist, eingerichtet werden. Da die Informationsgewinnung und Berichtserstellung auch mit einem gewissen Aufwand verbunden ist, sollten diese Ausführungen hier dazu dienen, zumindest die zeitliche Abfolge der Informationserstellung für die Bildung der Rückkopplungsschleifen auf das System abzustimmen. Zu kurze Abtastungen erzeugen, wie erwähnt, hohen Aufwand und können Instabilitäten ergeben, zu lange Abstände zwischen den Abtastungen führen zu Instabilitäten und Informationsverlusten. In der Praxis wird man eine dem System und den Prozessen entsprechende Taktung des Berichtswesens wählen.

5.2.2.4 Praxisbeispiel eines nichtlinearen Systems

Der folgende Vergleich bezieht sich auf die Ausführungen in Kapitel 4.2.5 auf den Produktabsatz. Bei diesem Gedanken handelt es sich grundsätzlich auch um einen Produktstrom, es entsteht allerdings bei einer linearen Preis-Absatz-Funktion ein nichtlinearer Zusammenhang für den Umsatz von den Produkten in Abhängigkeit von der Stückzahl (Gleichung 26 aus Kapitel 4.2.5). Wir rufen uns die Gleichung für den Gewinn, welche aus der Differenz von Erlösen und Kosten entsteht, noch einmal in Erinnerung:

$$G(x) = U(x) - K(x) = (a - c - bx)x$$

Gleichung 32

Wobei x die Produktions- und Absatzmenge ist. Es sei hier angenommen, dass die gesamte Produktion abgesetzt werden kann. Darüber hinaus wird weiter angenommen, dass keinerlei andere Finanzierungsmöglichkeiten bestehen, außer dem eigenen Gewinn anteilig wieder in die Produktion zu investieren. Es bestehe weiter nur die Möglichkeit, den Gewinn anteilig auszuschütten oder zu investieren. Das heißt, für dieses Modell muss der gesamte Gewinn einer Periode anteilmäßig im Unternehmen verbleiben sowie an die Anteilseigner ausgeschüttet werden. Die Entscheidungsträger sollen keine Informationen hinsichtlich der optimalen Ausbringungsmenge sowie der Kundennachfrage haben. Sie sollen nur über die anteilmäßige Ausschüttung und die variablen Stückkosten entscheiden. Daraus ergibt sich folgende Regel: [entnommen aus Kopel, 1994, S. 12]

$$x_{t+1} = \frac{eG(x_t)}{c}$$

Gleichung 33

Es wird also von einer Anfangsproduktionsmenge in Periode 0 und einer Einbehaltungsquote e ausgegangen. In der Folgeperiode 1 wird der Gewinn entsprechend der Vorgabe der Entscheidungsträger anteilmäßig wieder dem Unternehmen zugeführt. Daraus ergibt sich eine Produktionsmenge für die Periode 1 mit einem Gewinn aus dieser Periode usw. Vom Prinzip her funktioniert das wie ein diskreter Regelkreis, dessen Ausgangsgröße aus der Vorperiode ($x[t]$) mit dem Faktor e/c dem Prozess wieder zugeführt wird. e/c ist in diesem Fall mit einer Verstärkung vergleichbar.

In diesem Falle liegt ein nichtlineares System vor, wenn für $G(x)$ die entsprechende Gleichung 32 eingesetzt wird und es ergibt sich folgende Systemdynamik:

$$x_{t+1} = \frac{1}{c}e(a - c - bx_t)x_t$$

Gleichung 34

Grundsätzlich hängt die Entwicklung der Ausbringungsmenge von den Parametern a , b , c und e ab. Werden nun konkrete Zahlenwerte eingesetzt, ist ersichtlich, wie stark sich beispielsweise die Ausbringungsmenge in Abhängigkeit der Ausschüttungspolitik ändert. (Die Zahlenwerte wurden dabei nach dem Muster von [Kopel, 1994, S. 14ff] gewählt).

Unter der Annahme, dass beispielsweise $a = 18$, $c = 3$ und $b = 2$ sind, ergibt sich für die Systemdynamik dieses Beispiels folgende Gleichung:

$$x_{t+1} = \frac{1}{3}e(15 - 2x_t)x_t$$

Gleichung 35

Das Interesse gilt nun den Produktionsmengen (bzw. Absatzmengen, da davon ausgegangen wird, dass die gesamte Produktion abgesetzt werden kann) in Abhängigkeit von der Einbehaltungsquote e des Gewinnes. Nach dem Beginn mit einem Wert x_0 ergibt sich für die erste Periode ein Wert von

$$x_1 = \frac{1}{3} \cdot 0,57 \cdot (15 - 2 \cdot 3,9) \cdot 3,9 = 5,3352 \text{ Stück}$$

Gleichung 36

In Abbildung 72 ist der zeitliche Verlauf der Produktionsmenge der ersten 80 Perioden für $e = 0,57$ (57% des Gewinnes werden im Unternehmen einbehalten) dargestellt. Nach einem Einschwingvorgang konvergiert die Ausbringungsmenge gegen einen fixen Wert von 4,89:

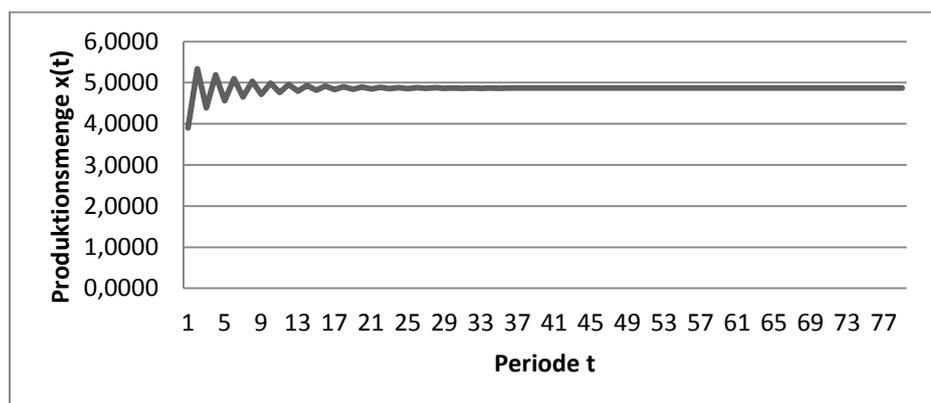


Abbildung 72: Die Produktionsmenge $x(t)$ konvergiert für $e = 0,57$ nach einem Einschwingvorgang gegen einen eindeutigen Wert $x = 4,89$

Für die Konstellation dieses Beispiels kann das Systemverhalten für die Zukunft exakt berechnet werden.

Nehmen wir nun an, dass die Entscheidungsträger 70% des Gewinnes für die Produktion in der nächsten Periode einbehalten ($e = 0,7$), so ergibt sich für die Ausbringungsmenge eine Dauerschwingung mit vier fixen Werten über die Periode t , wenn wieder davon ausgegangen wird, dass die gesamte Produktion abgesetzt werden kann und das Systemverhalten nur von der Einbehaltungsquote abhängt:

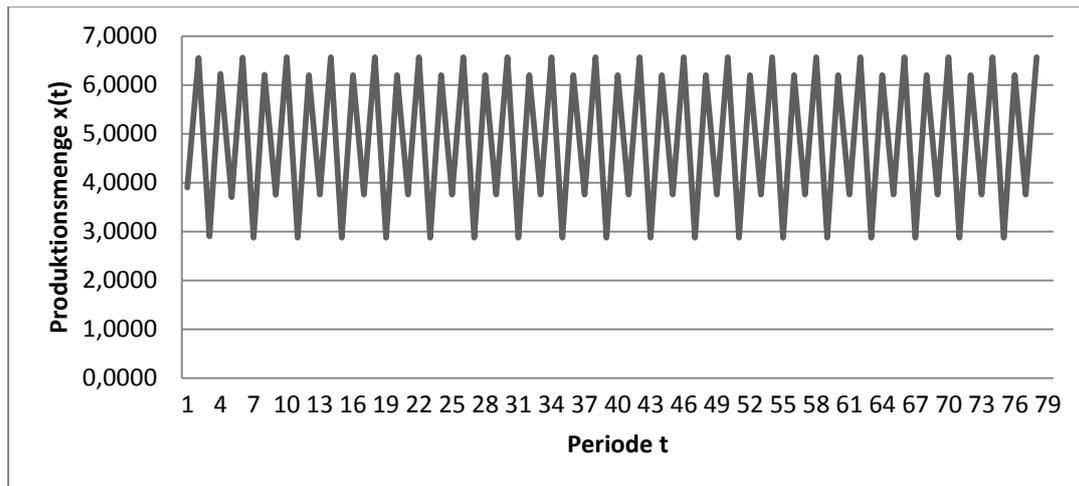


Abbildung 73: Die Produktionsmenge $x(t)$ fluktuiert über die Zeit bei $e = 0,7$ und konvergiert gegen einen Zyklus der Ordnung 4, mit vier Fixwerten

Nach einem wieder auftretenden Einschwingvorgang stellt sich eine gewisse Periodizität ein. Die Werte der Ausbringungsmengen nehmen wiederkehrend wie Werte $x_1 = 6,2021$, $x_2 = 3,7566$, $x_3 = 6,5625$ und $x_4 = 2.8711$ an. Danach wiederholt sich der Zyklus mit diesen Werten. Auch hier können wieder Vorhersagen für die Zukunft nach einer Beobachtung der anfänglichen Perioden abgeleitet werden.

Wird nun die Einbehaltungsquote beispielweise auf 79% erhöht, so ist aus der Zeitreihe der Ausbringungsmenge keine Struktur mehr erkennbar und sie erscheint völlig zufällig bzw. chaotisch. Es fallen nicht nur die unregelmäßige Fluktuation, sondern auch die qualitativen Änderungen gegenüber den vorherigen Mustern auf. [vgl. Kopel, 1994, S. 15ff]

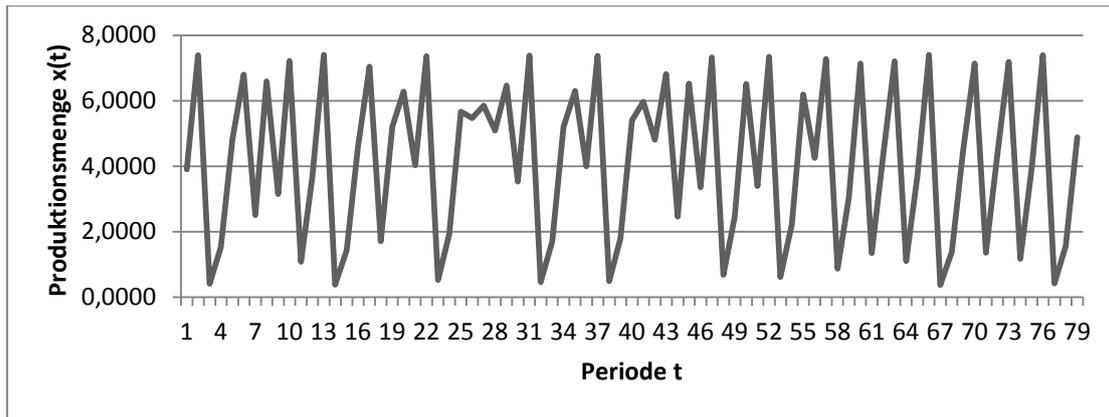


Abbildung 74: Die Produktionsmenge $x(t)$ fluktuiert über die Zeit bei $e = 0,79$ chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster mehr erkennbar

Aus den bisherigen Ausführungen ist ersichtlich, dass bei kleinen Änderungen eines Parameters, in diesem Fall der Einbehaltungsquote e , das System völlig verschiedenartige Verhaltensmuster zeigt. Die Verhaltensweisen reichen von stabil, über Einschwingvorgänge und Konvergenz bis zu völlig chaotischem Verhalten. [vgl. Kopel, 1994, S. 19]

5.2.2.5 Ein Vergleich des vorangegangenen Praxisbeispiels mit einem Regelkreis

Bei der Betrachtung von Gleichung 34 für die Systemdynamik aus Kapitel 5.2.2.4 fällt auf, dass es eine gewisse Ähnlichkeit mit einer Gleichung für ein rückgekoppeltes diskretes Regelsystem gibt. Im vorangegangenen Beispiel wurde das Systemverhalten bei Änderung des Parameters für die Einbehaltungsquote untersucht. Im regeltechnischen Sinne entspricht die Multiplikation mit dem Faktor e einer Verstärkung. Die Parallelen zu technischen Systemen sind hier deutlich erkennbar: Bei Erhöhung der Verstärkung neigt das System zunehmend zu Schwingung und Instabilität, wie es auch in Kapitel 5.2.2.4 deutlich gemacht wurde. Neben der Verstärkung sind, wie in den vorangegangenen Kapiteln ausgeführt, die Zeitkonstanten in Systemen wesentliche Einflussfaktoren für das Systemverhalten.

In Unternehmen geschieht die Informationsgewinnung durch beispielsweise ein Berichtswesen oder zeitlich wiederkehrend Meetings in zeitdiskreten Abständen. Die Information wird dann einem Verarbeitungsprozess zugeführt, Entscheidungen getroffen und Direktiven wieder dem Prozess zugeführt. Das Hauptaugenmerk gilt hier nun dem Einflussfaktor der Taktung bzw. Abtastung eines

zeitdiskreten Systems auf das Systemverhalten. Dazu wird das als zeitdiskretes Regelsystem erscheinende Beispiel von Kapitel 4.2.5 mit einem technischen Regelsystem verglichen. Wir gehen vom Regelsystem von Kapitel 3.7.2.2 aus und erweitern das lineare willkürlich System um eine weitere Rückkopplung, indem die Regelgröße x_k einem Multiplikator dem Regler zugeführt wird. Dadurch ergibt sich ein nichtlineares System mit folgender Systemgleichung:

$$x_k = \left[K_S \frac{T}{T_I} w_{k-1} + (1 - K_S \frac{T}{T_I}) x_{k-1} \right] x_{k-1}$$

Gleichung 37

Formt man diese Gleichung dahingehend um, dass das Vorzeichen des zweiten Terms umgedreht wird und dass dem ganzen System noch ein Verstärker mit dem Faktor K_x vorgeschaltet wird, so ergibt sich eine ähnliche Struktur wie Gleichung 34:

$$x_k = K_x \left[K_S \frac{T}{T_I} w_{k-1} - (K_S \frac{T}{T_I} - 1) x_{k-1} \right] x_{k-1}$$

Gleichung 38

Nun ist $K_S \frac{T}{T_I} w_{k-1}$ mit a-c aus Gleichung 34 vergleichbar, $(K_S \frac{T}{T_I} - 1)$ mit b und K_x mit e. Die Ähnlichkeit der Struktur der beiden Systemgleichungen lässt sich auch darauf zurückführen, dass es sich um Bestände und Materialbewegungen handelt, wie auch bei den Beispielen von 4.2.3 ausgegangen wurde. Ergo muss sich dieses Integralverhalten des Bestandes in den Gleichungen widerspiegeln. Diese Transformation hier wurde aber gemacht, um Aspekte der Abtastung in die Systembetrachtung zu bringen und deren Einfluss auf das System zu zeigen.

Im Beispiel mit dem linearen System von Kapitel 3.7.2 hat sich gezeigt, dass die Änderung der Parameter die Stabilität grundsätzlich beeinflusst. In einem nichtlinearen System kommt es zu weiterer qualitativer Beeinflussung des Systemverhaltens.

Ausgehend von den Werten aus Kapitel 5.2.2.4 für a, b, c und e ergeben sich für die Parameter des Regelkreises für das Unternehmen für die (fiktive) Streckenverstärkung $K_S = 1$, die Integrationszeitkonstante $T_I = 1$ und Führungsgröße $w_k = 5$. Die Variable soll die Taktung T sein. Wir

wenden das Modell derart an, als hinge die Produktionsmenge nur von der Wahl der Abtastung ab. Der Ausgangswert der Periode 0 $x(0)$ sei wieder 3,9.

Bei einer Taktung $T = 3$ Zeiteinheiten ergibt sich die gleiche Systemdynamik wie in Abbildung 73:

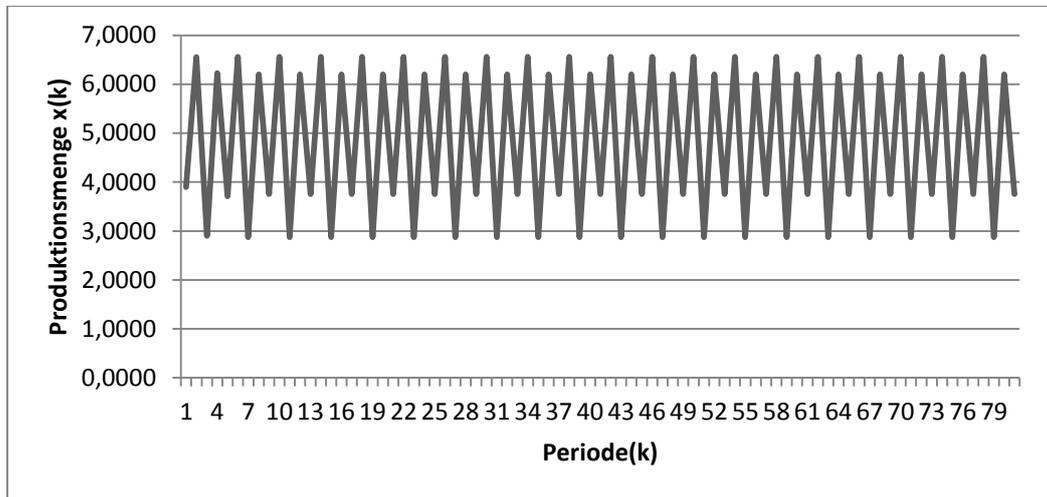


Abbildung 75: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3$ und konvergiert gegen einen Zyklus der Ordnung 4, mit vier Fixwerten

Ändert sich nun die Abtastrate T von 3 auf beispielsweise 3,1 Zeiteinheiten, so verändert sich der zeitliche Verlauf der ausgebrachten Produktionsmenge grundlegend, wie in der folgenden Graphik ersichtlich ist:

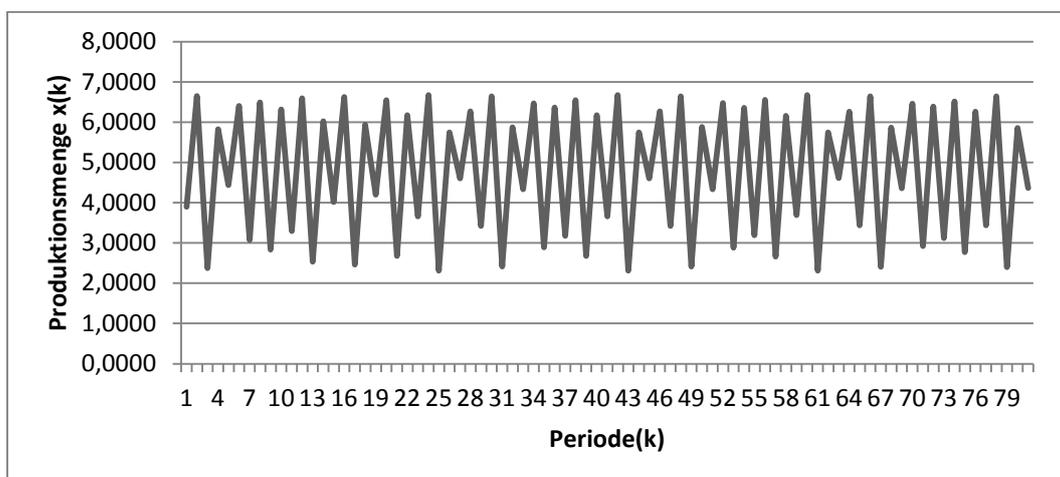


Abbildung 76: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,1$ chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster mehr erkennbar

Die bloße Änderung der Abtastrate um einen Prozentpunkt verändert den zeitlichen Verlauf der Produktionsmenge deutlich. Wird der Wertebereich der Abtastung weiter verändert, treten völlig unvorhersehbare und chaotische Zustände für die Produktionsmenge auf. Kleinste Veränderungen von T bewirken dabei größte qualitative und quantitative Veränderungen im Systemverhalten, wie die folgenden Graphiken veranschaulichen:

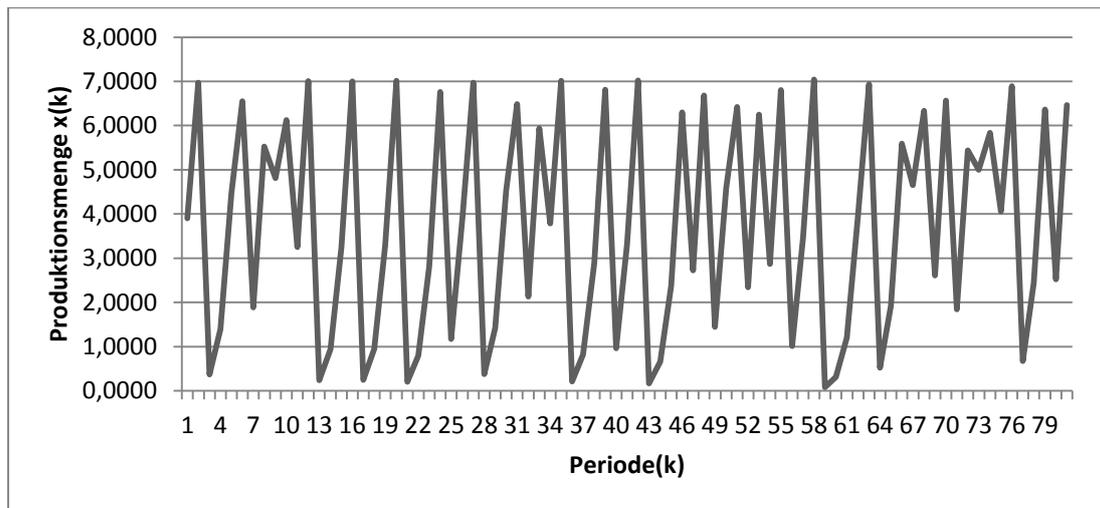


Abbildung 77: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,42$ ebenfalls chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster erkennbar

Der folgenden Wahl von $T = 3,43$, also mit nur einem Prozentpunkt mehr als im vorangegangenen Beispiel, ändert sich das Zeitverhalten der Ausbringungsmenge derart, dass eine sinnvolle Darstellung der Zeitreihe nur bis zur 29. Periode möglich ist. Dann nimmt der Wert für x_k enorme Größen an.

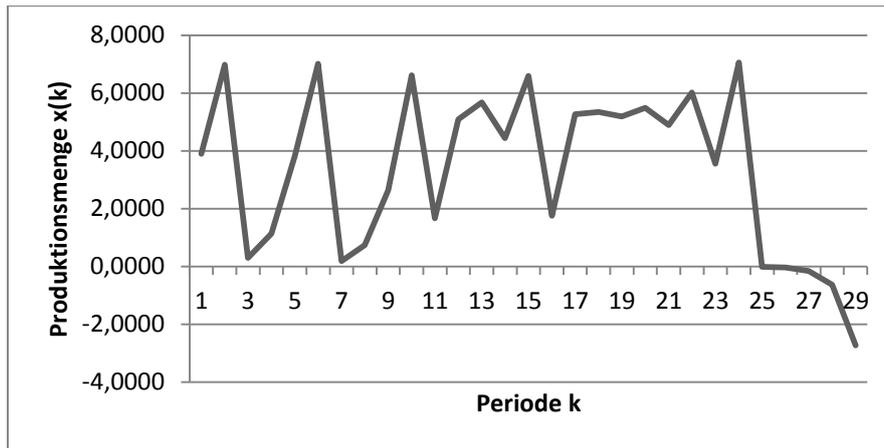


Abbildung 78: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,43$ nicht nur chaotisch, sondern erreicht nach bereits 35 Perioden enorme Werte

Bei einem T von 3,44 ist der darstellbare (und wieder chaotische Bereich) länger, bis etwa 80 Perioden. Danach wächst x_k wieder ins Uferlose.

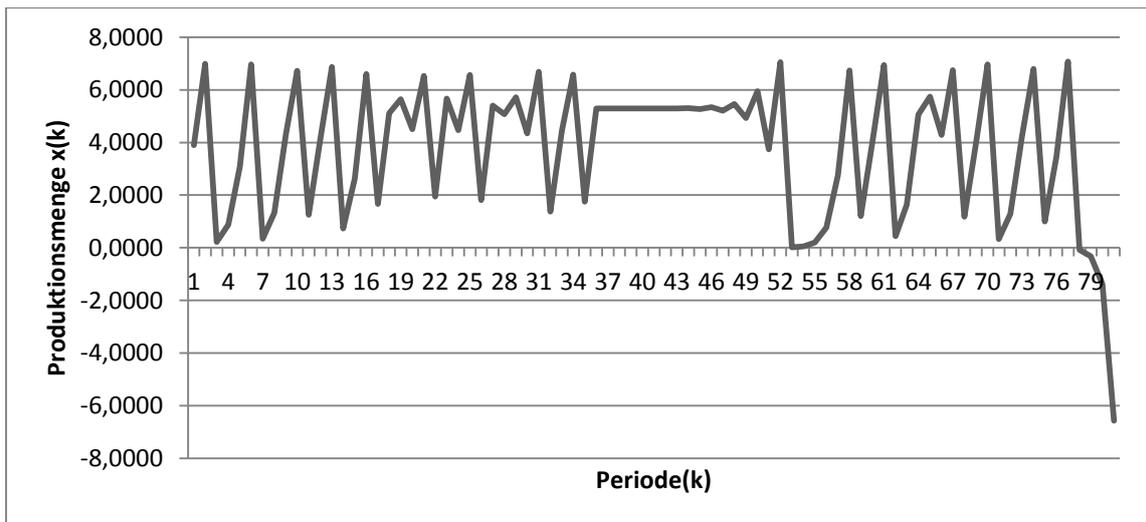


Abbildung 79: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,44$ ebenfalls chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster erkennbar. Der darstellbare Bereich ist etwas mehr als doppelt so groß wie beim Systemverhalten mit $T = 3,43$

Bei der Variation der Einbehaltungsquote e von Kapitel 5.2.2.4 zeigt sich trotz des chaotischen Verhaltens eine gewisse Tendenz bei der Variation der Werte. So ist bei kleinen Werten von e grundsätzlich ein stabiles Verhalten für die Produktionsmenge erkennbar. Mit zunehmender Größe tritt Schwingung im Zeitverhalten der Ausbringungsmenge ein, mit vorerst noch konvergentem Verhalten und dann mit chaotischem Erscheinungsbild.

Bei der Variation von T nach unten tritt in einem gewissen Bereich zwar auch ein gewisser stabilisierender Effekt auf, wie beispielweise bei der willkürlichen Wahl von $T = 2$:

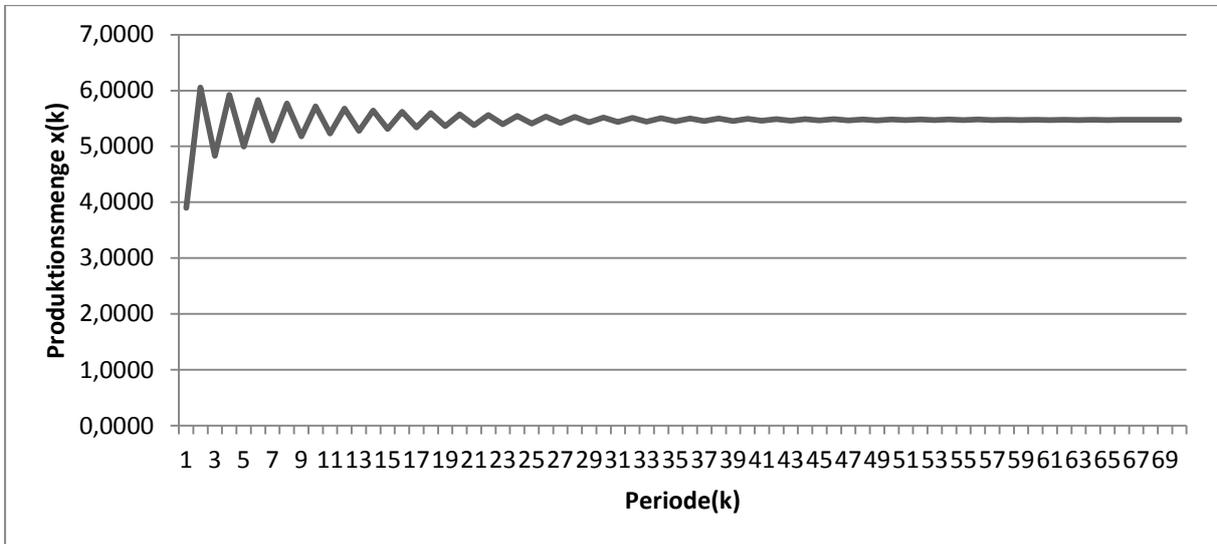


Abbildung 80: Produktionsmenge $x(k)$ zeigt bei $T = 2$ einen kurzen Einschwingvorgang und konvergiert dann bei $x_k = 5,71$

Dieses Verhalten zeigt sich auch für einen gewissen Bereich qualitativ ähnlich, wie beispielsweise für T von 1,5 bis etwa 2,5. Wird nun T weiter verringert, so „kippt“ das System wieder und die Produktionsmenge verändert stark ihr zeitliches Verhalten in Abhängigkeit von T . So reicht beispielsweise eine kleine Änderung der Periode T von 0,35064 auf 0,35065, um von einem stabilen in einen exponentiell anwachsenden Bereich für die Zeitreihe der Produktionsmenge zu kommen:

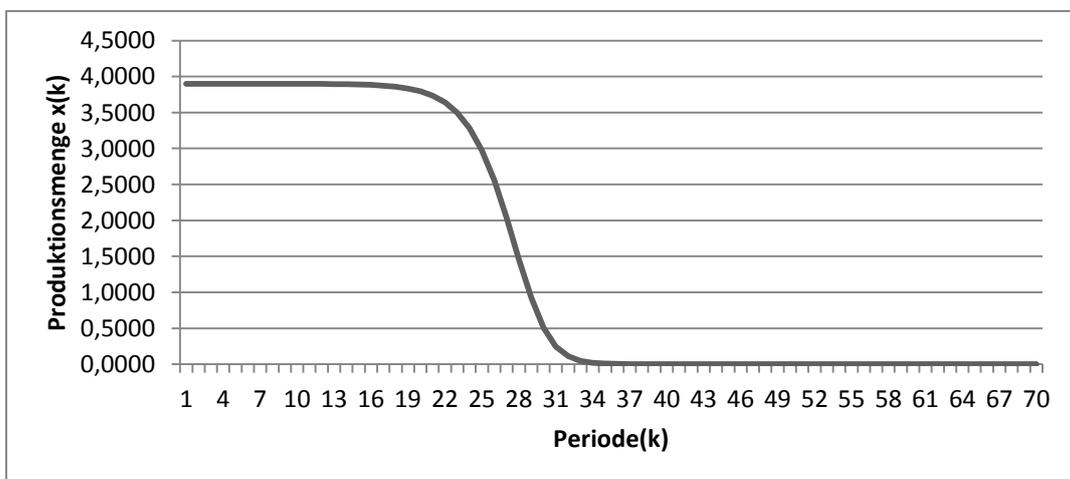


Abbildung 81: Produktionsmenge $x(k)$ beginnt bei $T = 2$ mit einem vergleichsweise konstanten Wert und geht ab ca. 19 Perioden gegen 0

Die folgende Darstellung zeigt das gleiche System bei $T = 0,35065$. Hier wird die Darstellung bei 35 Perioden abgebrochen, da hier wieder die Werte nicht mehr darstellbar sind:

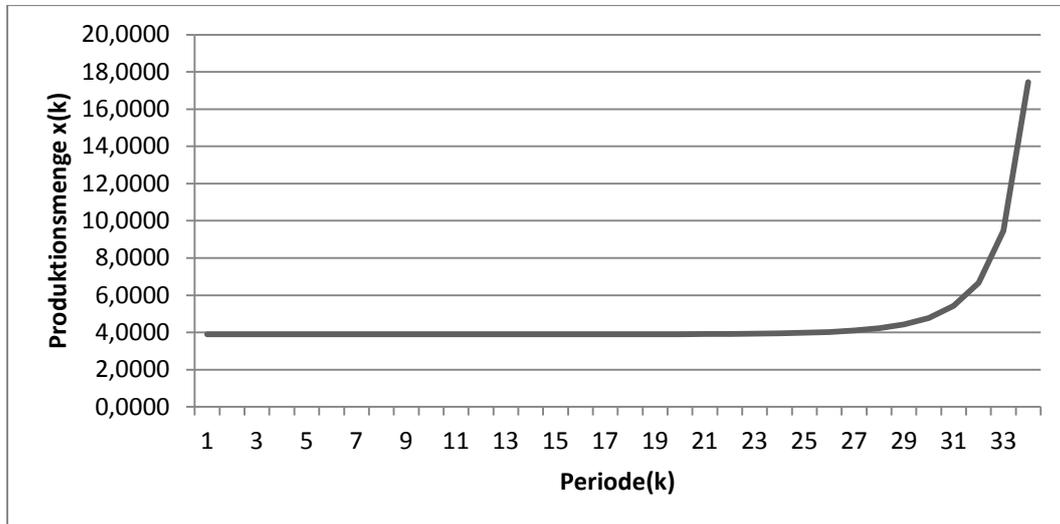


Abbildung 82: Produktionsmenge x_k zeigt bei $T = 0,35064$ einen enormen Anstieg

Wie in den vorangegangenen Graphiken gezeigt, hat die Abtastrate T der Informationsgewinnung einen wesentlichen Einfluss auf das Systemverhalten (in diesem Fall im Hinblick auf die Produktionsmenge).

5.2.2.6 Berücksichtigung von Totzeit beim Systemverhalten

Wie in den vorangegangenen Kapiteln bereits dargestellt, können (signifikante) Zeitverzögerungen zu Instabilitäten in Systemen führen und müssen bei der Betrachtung des Systemverhaltens Berücksichtigung finden. In der Wirtschaft entstehen Zeitverzögerungen beispielsweise durch den Zeitbedarf bei Produktionsprozessen oder durch Lieferzeiten. In technischen Systemen werden Zeitverzögerungen Totzeiten genannt und beeinflussen ebenfalls die Systeme entsprechend. Regelsysteme mit Totzeitgliedern neigen tendenziell eher zu Instabilität als vergleichbare ohne Totzeitglieder.

Das folgende Bild stellt das Beispiel eines Systems mit Totzeitelement und einer Strecke mit Integralverhalten dar:

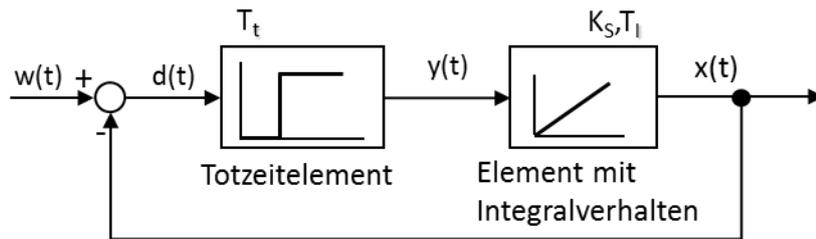


Abbildung 83: System mit Totzeitelement und Element mit Integralverhalten

Die Übertragungsfunktion des Beispiels in Abbildung 83 auf, stellt sich wie folgt dar:

$$x_k = \left(1 - K_S \frac{T}{T_I + T_t}\right) x_{k-1} + K_S \frac{T}{T_I + T_t} w_{k-1}$$

Gleichung 39

Es beeinflussen nun die Abtastzeit, Integrationszeit und die Totzeit das Systemverhalten. Dieses Modell kann sich beispielsweise ergeben, wenn man die Lieferzeit in ein System mit einem Lager einbezieht, das Totzeit spiegelt die Lieferzeit wieder, das Lager wird durch das Element mit Integralverhalten symbolisiert.

Es lässt sich hier ebenfalls das Systemverhalten in Abhängigkeit von den Parametern darstellen. In diesem Fall soll die Abhängigkeit des Systems von der Totzeit sichtbar gemacht werden:

Die jeweiligen Zeitkonstanten wurden willkürlich gewählt und zwar so, dass die Abhängigkeit des Systemverhaltens davon ersichtlich wird. Die Anregung des Systems wurde auf Basis eines Sprunges am Eingang mit der Höhe „1“ angenommen.

Die ersten beiden graphischen Darstellungen von Gleichung 39 zeigen, wie sich Zeitverzögerungen im System auswirken können. Bei angenommenen $T_I = 2$ und $T = 2$ ergibt sich bei einer Totzeit T_t von 1 ein abklingender Einschwingvorgang und x_k konvergiert gegen 1. Ist hingegen eine Totzeit von $T_t = 1,1$ im System enthalten, ergibt sich bereits eine aufklingende Schwingung und damit eine Instabilität.

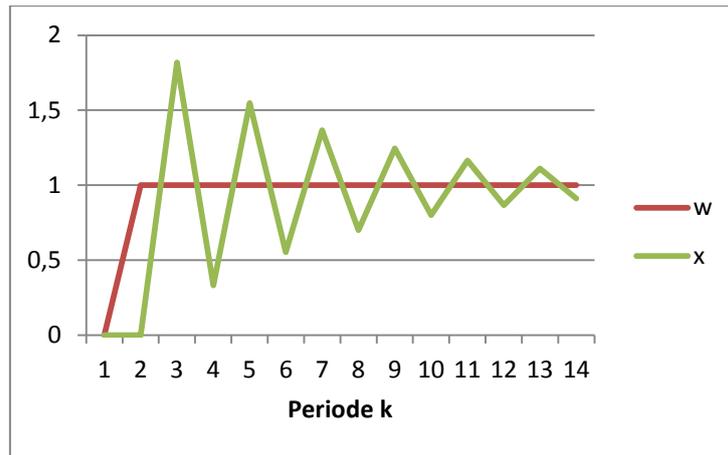


Abbildung 84: Systemverhalten (x_k) mit einer Totzeit von $T_t = 1,0$

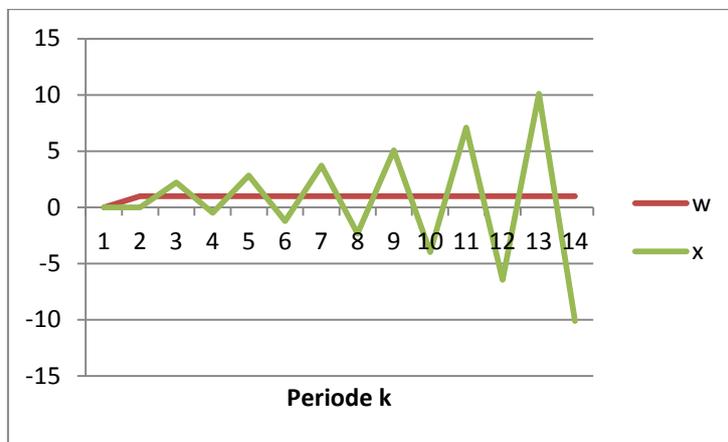


Abbildung 85: Systemverhalten (x_k) mit einer Totzeit von $T_t = 1,1$

Eine bloße Änderung der Totzeit um 10% verändert das Systemverhalten deutlich und führt von einem ursprünglich stabilen Verhalten zu einem instabilen.

Bei den nächsten beiden Graphiken beim selben System mit Totzeitelement wird die Abtastrate verändert. Einmal ist bei fixen $T_l = 2$ und $T_t = 1$ die Abtastrate $T = 1$ und einmal mit $T = 2$ angenommen. Mit $T = 1$ folgt der Wert x_k um eine Takt verzögert dem Sprung w am Eingang, bei $T = 2$ ergibt sich für x_k wieder eine Schwingung:

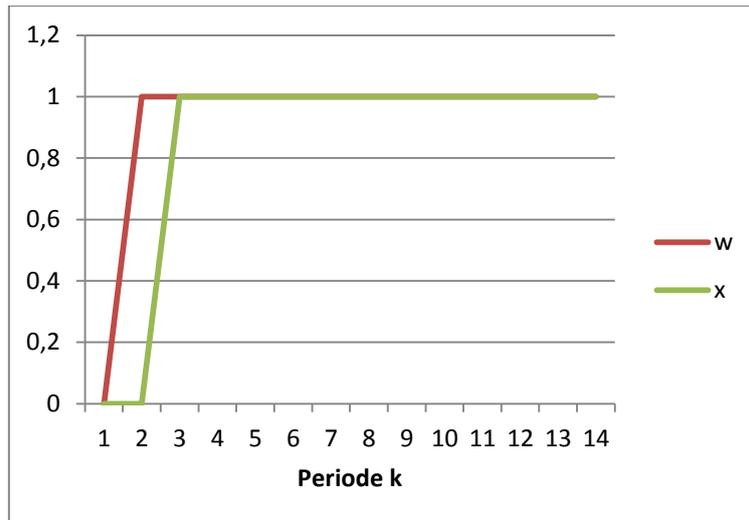


Abbildung 86: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 1$, $T_1 = 2$, $T_t = 1$

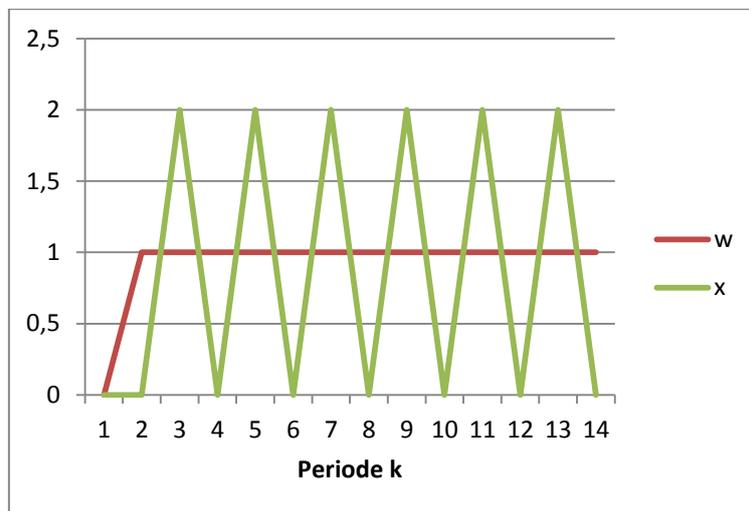


Abbildung 87: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 2$, $T_1 = 2$, $T_t = 1$

Das dritte Paar der graphischen Darstellungen zeigt die Empfindlichkeit des Systemverhaltens in bestimmten Punkten. Kleine Änderungen stellen das Verhalten grundlegend um. So konvergiert der Wert von x_k bei einer Abtastrate von $T = 1,9$ nach einer Einschwingphase gegen 1, bei $T = 2,1$ stellt sich eine aufklingende Schwingung für den Wert von x_k , und somit ein instabiles Systemverhalten ein.

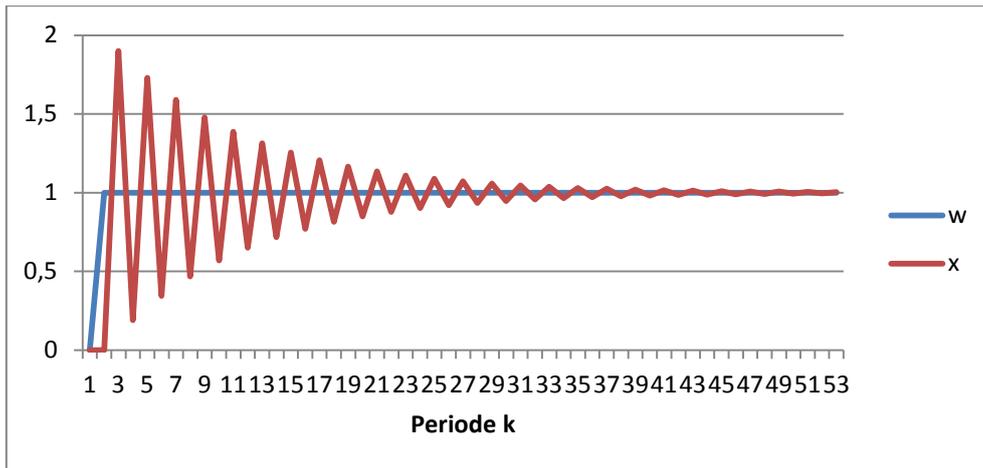


Abbildung 88: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 1,9$, $T_1 = 2$, $T_t = 1$

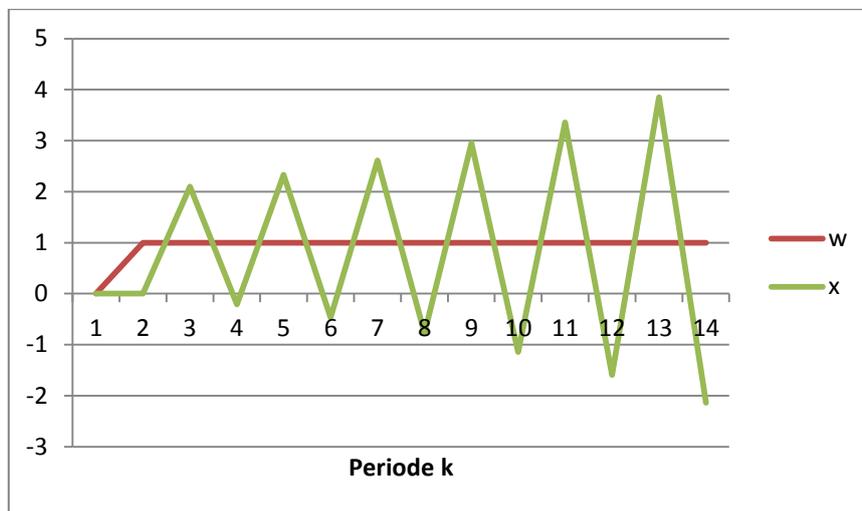


Abbildung 89: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 2,1$, $T_1 = 2$, $T_t = 1$

Die Darstellungen der vorangegangenen Kapitel zeigen, dass das Systemverhalten von verschiedenen Zeitparametern des Systems abhängen. Die Stabilität wird von einzelnen Parametern und deren Kombination beeinflusst. Eine wesentliche Erkenntnis daraus ist, dass die jeweiligen Zeitparameter daher aufeinander abgestimmt sein müssen.

6 Resümee

Ziel dieser Arbeit war die Untersuchung von Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen und gegebenenfalls die Darstellung von Isomorphie. Über die Systemtheorie sowie den kybernetischen Ansatz ist es gelungen, insbesondere hinsichtlich Systemverhalten Analogien zu beschreiben. Es sind bereits umfangreiche Forschungsergebnisse vorhanden, die sich großteils auf strukturelle Analogien beziehen. Der Kern dieser Arbeit war die eingehende Untersuchung, ob sich durch den Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Systemen technische Regelprozesse für die Unternehmensführung anwenden lassen.

Der interdisziplinäre Vergleich wurde über die Systemtheorie ermöglicht. Um nun vergleichbares Systemverhalten zu finden, wurde zuerst von vergleichbaren Strukturen in den jeweiligen Disziplinen ausgegangen und diese auf ihre grundlegenden Verhaltensmuster hin aufbereitet. Für diese Arbeit wurden jene Systeme untersucht und für den Vergleich herangezogen, die einen geschlossenen Wirkungsablauf, also Regelkreise, aufweisen. Deshalb wurde von Regelungstechnik als technische Disziplin für den Vergleich in dieser Arbeit ausgegangen.

Das Systemverhalten spielt bei technischen Systemen, insbesondere in der Regelungstechnik eine wesentliche Rolle. Damit Regelkreise funktionieren, müssen sie stabil arbeiten. Bei der Entwicklung von Regelsystemen ist daher die Stabilitätsuntersuchung eine grundlegende Voraussetzung. Neben theoretischen Untersuchungen gibt es auch praktische Erfahrungen und empirische Werte für Einstellungen von technischen Regelkreisen. Damit Regelsysteme stabil arbeiten, müssen einerseits die einzelnen Komponenten aufeinander abgestimmt sein und die relevanten Parameter bestimmte Kriterien erfüllen. Zu den wesentlichen beeinflussenden Größen gehören u.a. die Eigenschaften der Elemente (z.B. Verstärkungsfaktor oder Integrationszeitkonstante eines I-Elements), Eingangssignal, oder aber auch die Abtastrate bei zeitdiskreten Systemen.

Wie sich in den Untersuchungen gezeigt hat, können oft kleine Änderungen von Parametern das Systemverhalten grundlegend ändern. Das Systemverhalten wechselt beispielsweise von einem stabilen in einen instabilen Zustand. Und genau diese Erfahrungen aus der Technik sind bei wirtschaftlichen Systemen, ob dem Vorhandensein der angesprochenen Isomorphie, auch passend, wenngleich durch die höhere Komplexität in der Wirtschaft oft schwerer darzustellen.

Bei der Steuerung oder Regelung von wirtschaftlichen Systemen muss analog den technischen das Verhalten der Kontrollinstanz auf die dynamischen Eigenschaften des zu beeinflussenden Systems

ebenfalls abgestimmt sein. Selbst die Informationsgewinnung aus dem System, wie beispielweise das Berichtswesen sollte auf die Eigendynamik des zu steuernden Systems abgestimmt sein.

Für die Bildung der Rückkopplungsschleifen muss die richtige Information dem System entnommen werden und der Kontrollinstanz zugeführt werden. Durch die hohe Komplexität wirtschaftlicher Systeme wird es meistens nicht reichen, nach nur wenigen Informationen oder Regelgrößen sich zu orientieren. Es bilden sich Mehrfachregelkreise oder kaskadierte Regelstrukturen. Wird nun über die etablierten Regelungsstrukturen hinweg in ursprünglich nicht vorgesehene Bereiche "hineingeregelt", können sich dort Störgrößen, die von der Kontrollinstanz (vom "zuständigen" Regler) auszuregulieren versucht werden, ergeben. Daher ist zur Vermeidung systeminterner "Störgrößen" die Einrichtung und Einhaltung wohl etablierter Informationsflüsse und Regelungswege unumgänglich.

Das Systemverhalten wird nicht nur von den Eingangsgrößen, wie beispielsweise Führungs- oder Störgrößen beeinflusst (es ist naheliegend, dass beispielsweise der Prozentsatz des einbehaltenen Gewinnes für Investitionen die Anzahl von Produkten beeinflusst), sondern auch von der Charakteristik der Kontrollinstanz ("Reglerparameter"), welche auf das zu beeinflussende System abgestimmt sein müssen. Reagiert ein Regler zu langsam (im Verhältnis zur Regelstrecke), wird das Ziel nicht in entsprechender Zeit erreicht. Ist er zu schnell, droht dem System eine Instabilität, die sich in einer Schwingung auswirken kann. Zu rasche Führungsgrößenänderungen können bei Systemen mit großer eigener Zeitkonstante nicht die erwartete Wirkung zeigen, oder erst zu spät ihre Wirkung entfalten (Trägheit des Systems). Wie in technischen Systemen soll in wirtschaftlichen Systemen ebenfalls die Eigendynamik der Strecke (des zu beeinflussenden Systems) Berücksichtigung finden und danach die Reglerparameter entsprechend gewählt werden.

Die Informationsgewinnung in wirtschaftlichen Systemen, insbesondere im administrativen Bereich, geschieht vielfach zeitdiskret. Es gibt beispielsweise Monats- oder Quartalsberichte, Jour fixes, Jahresbilanzen etc. Dies ist mit der Abtastung oder Taktung in technischen Systemen vergleichbar. Und diese Abtastung Das Systemverhalten hängt neben den oben beschriebenen Aspekten auch von dieser Abtastung ab. Die bloße Veränderung der Abtastung, wie beispielsweise einen Monatsbericht statt einem Quartalsbericht, kann das Systemverhalten grundlegend ändern. Es kann von einem stabilen Zustand in einen instabilen übergehen. Ist beispielsweise das Ergebnis einer Unternehmung eine Regelgröße, so kann sich diese Größe durch bloße Änderung der Berichtsintervalle, über die Zeit ändern. Durch moderne Datenverarbeitungssysteme können die Intervalle für Berichte leicht verändert (verkürzt) werden. Verkürzte Berichtsintervalle können so nicht nur mehr Aufwand für die Erstellung dafür bedeuten, sondern dies beeinflusst auch unerwartet, in dieser Annahme, das

Ergebnis. Wie bei den Reglereinstellwerten soll für die Informationsgewinnung ebenfalls das Systemverhalten berücksichtigt werden. Eine Verkürzung des Intervalls eines Berichtes erfordert mehr Aufwand für die Erstellung und kann sich darüber hinaus noch auf ein Ergebnis auswirken.

Letztendlich müssen die Systemdynamik und Informationsdynamik in der Unternehmung gleichermaßen berücksichtigt und aufeinander abgestimmt sein.

7 Zusammenfassung

Durch die Anwendung der Systemtheorie auf wirtschaftliche Systeme, insbesondere auf Basis der Kybernetik, ist der geschlossene Wirkungskreis, der Regelkreis stets präsent und bildet eine wesentliche Grundlage für die Suche nach Analogien mit anderen Disziplinen, wenngleich jedoch grundlegende Unterschiede zwischen sozialen und sogenannten anderen Systemen bestehen. Die Wahl der Systemabgrenzung sowie die „Position“ des Beobachters spielen dazu eine wichtige Rolle. Sie bildet beispielsweise der Mensch für sich schon ein nicht modellierbares System an natürlichen Regelmechanismen. Umso weniger ist sein Verhalten gar vorher definierbar. In der Gruppe ergeben sich jedoch wiederum andere, auf Basis statistischer bzw. stochastischer Grundsätze und von außen beeinflusste Verhaltensweise. Entsprechend der Kybernetik zweiter Ordnung sind in sozialen Systemen Regler und Strecke nicht wie bei technischen Systemen getrennte Einheiten, sondern bilden entsprechend der systemimmanenten Regelung ein Ganzes

Für die Untersuchung von Analogien von technischen und wirtschaftlichen Systemen gilt es eine Wissenschaft zu finden, die einen interdisziplinären Vergleich ermöglicht bzw. zulässt. Dies bieten die Systemtheorie sowie die Kybernetik. In diesem Sinn wurde diese Arbeit mit einem Überblick über diese Bereiche begonnen. Dann wurde in der Technik nach jenem Bereich gesucht, der als Teil in die Systemwissenschaften passt und in einer Schnittmenge quasi zu finden ist. Diesen Bereich deckt die Steuerungs- und Regelungstechnik ab. Neben den vergleichbaren Strukturen wurde besonderes Augenmerk auf das Systemverhalten gelegt.

Wesentliche Eigenschaften technischer Systeme sind:

- Von Menschenhand geschaffen
- Klare Strukturen
- Exakte Planung und Ausführung
- Mathematische Beschreibbarkeit des Systems
- Keine proaktive Eigeninitiative
- System verändert sich selbst im Normalfall nicht
- Genau messbar
- Messgrößen in SI-Einheiten und exakt definiert
- Keine Softskills bei den Elementen
- Verhalten meistens exakt bestimm- und messbar

Diesbezüglich wurden Maßnahmen und Berechnungsmodelle in technischen Systemen, insbesondere der Regelungstechnik untersucht und dargestellt. Um den Vergleich mit wirtschaftlichen Systemen

dann durchführen zu können, ist die Darstellung wirtschaftlicher Systeme aus Sicht der Systemtheorie ein wesentlicher Punkt. Die in technischen Systemen vorkommenden Regelmechanismen sind in wirtschaftlichen Systemen ebenfalls vorhanden. Es bestehen aber auch klare Unterschiede: wirtschaftliche Systeme als sozioökonomische Systeme sind wesentlich komplexer als technische und unterscheiden sich als lebensfähige Systeme hier ganz deutlich. Die Grenzen bzw. Strukturen sowie Verhaltensmuster sind in wirtschaftlichen Systemen oft unschärfer als in technischen Systemen.

Es lassen sich durchaus Analogien von physikalisch technischen und wirtschaftlichen Systemen erkennen, wie beispielsweise den geschlossenen Wirkungsablauf. Es ist jedoch insofern Vorsicht beim Vergleich der Disziplinen geboten, als in sozialen Systemen die Einheiten eines Regelkreises nicht in der Form erscheinen, wie in technischen Systemen („systemimmanente Regelung“). Darüber hinaus finden sich in sozialen Systemen Selbstkontrolle, die Fähigkeit der Selbststeuerung und Selbstreferenz durch ein eigenes „Bewusstsein“, welches so in physikalisch technischen Systemen nicht vorkommt.

Dennoch sind Analogien und teilweise auch Isomorphie darstell- bzw. nachweisebar. Klare Vergleiche gibt es nicht nur bei den schon angesprochenen Strukturen von Regelmechanismen, sondern ganz speziell auch beim Systemverhalten, der Systemdynamik. Die in der Regeltechnik vorhandenen dynamischen Untersuchungen von Systemen sowie die Stabilitätsuntersuchungen sollen so auch bei wirtschaftlichen Systemen Berücksichtigung finden. Die Vergleiche dazu sind entsprechend dargestellt und bilden ein dynamisches Informationsmanagement bzw. dynamisches Berichtswesen.

Es sind also jene technischen Systeme von Interesse, die einerseits jene mit sozioökonomischen Systemen Strukturen vergleichbar sind und andererseits entsprechende Verhaltensmuster aufweisen. Dazu gehören die oben beschriebenen Systeme mit geschlossenen Wirkungsabläufen mit entsprechenden Speicherelementen.

Durch den geschlossenen Wirkungsablauf entsteht eine Schwingungsfähigkeit. Ein instabiles Regelsystem ist unbrauchbar, weswegen die Stabilitätsuntersuchungen bei technischen Regelsystemen eine wesentliche Rolle spielen. Liegt eine geschlossene Wirkungsstruktur vor, die nicht schwingt, ist sie ausreichend genug gedämpft, um eben stabil zu arbeiten.

Die Untersuchung der Stabilität von technischen Regelsystemen ist ein wesentlicher Faktor für das spätere Funktionieren dieser Systeme. Dazu gibt es unterschiedliche Verfahren zur Bestimmung der Stabilität.

8 **Literaturliste**

ADAM, A., HELTEN, E., SCHOLL, F., *Kybernetische Modelle und Methoden*, 1970, Westdeutscher Verlag GmbH, Köln und Opladen, Verlags-Nr. 025702

ASHBY, R., *An Introduction to Cybernetics*, 1954, Methuen & Co Ltd., London

ASHBY, R., *Design for a Brain*, 1972, Chapman & Hall Ltd and Science Paperbacks, London

BEER, S., *Brain of a firm*, 1972, Allen Lane The Penguin Press, London

BEER, S., *Kybernetik und Management*, 1970, S. Fischer Verlag GmbH, Frankfurt am Main

BEER, S., *Reflections of a Cybernetician on the Practice of Planning*, 2004, *Kybernetes*, Vol. 33 Iss: 3 pp. 767 – 773

BEER, S., *The Viable System Model: Its Provenance, Development, Methodology and Pathology*, 1984, *The Journal of the Operational Research Society*, Vol. 35, No. 1 (Jan., 1984), pp. 7-25
Published by: Palgrave Macmillan Journals on behalf of the Operational Research Society
Stable URL: <http://www.jstor.org/stable/2581927>

BEER, S., „What is cybernetics“, *Kybernetes*, 2002, Vol. 31 Iss: 2 pp. 209 - 219

BERTALANFFY, L.v., *General System Theory*, 2008, George Braziller Inc.

DOMSCHKE, W., SCHOLL, A., *Grundlagen der Betriebswirtschaftslehre*, 2005, Springer, Berlin, Heidelberg, New York

GÄLWEILER, A., *Strategische Unternehmensführung*, 1990, Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main

GÖLDNER, K., *Mathematische Grundlagen der Systemanalyse Band 1*, 1987, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main

GÖLDNER, K., *Mathematische Grundlagen der Systemanalyse Band 2*, 1983, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main

GÖLDNER, K., Kubik, S., *Mathematische Grundlagen der Systemanalyse Band 3*, 1983, Verlag Harri Deutsch, Thun und Frankfurt am Main

GUMIN, H., Meier, H., (Hrsg.), *Einführung in den Konstruktivismus*, 2006, Piper Verlag GmbH München

HAYEK, F.v., *Freiburger Studien: gesammelte Aufsätze*, 1994, Verlag Mohr, Tübingen

HAYEK, F.v., VANBERG, V.J., *Hayek Lesebuch*, 2011, Verlag Mohr Siebeck, Tübingen

Homburg, Ch., Krohmer, H., *Marketingmanagement*, 2003, Verlag Dr. Th. Gabler GmbH

ISERMANN, R., *Digitale Regelsysteme*, 1987, Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, New York, London, u.a.

- JUNG, H., Controlling, 2007, Oldenbourg Wissenschaftsverlag München
- KLIMECKI, R., GMÜR, M., Personalmanagement : Strategien, Erfolgsbeiträge, Entwicklungsperspektiven, 2005, Verlag Lucius & Lucius Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart
- KOPEL, M., Komplexe Unternehmensdynamik, 1994, Deutscher Universitätsverlag, Wiesbaden
- KRIEGER, D.J., Einführung in die Systemtheorie, 1998, Wilhelm Fink Verlag, München
- Krummenacher, A., Thommen, J.P., Einführung in die Betriebswirtschaft, 2006, Versus Verlag AG, Zürich
- LERNER, A., Kybernetik, 1970, VEB Verlag Technik, Berlin, VLN 201. DG.-Nr. 370/88/70
- LUHMANN, N., Soziale Systeme Grundriss einer allgemeinen Theorie, 1984, Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main
- LUHMANN, N., Gesellschaftsstruktur und Semantik Band 1, 1998, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main
- LUHMANN, N., Gesellschaftsstruktur und Semantik Band 2, 2000, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main
- LUHMANN, N., Gesellschaftsstruktur und Semantik Band 3, 1998, Suhrkamp Taschenbuch Verlag, Frankfurt am Main
- LUTZ, H., WENDT, W., Taschenbuch der Regelungstechnik mit Matlab und Simulink, 2010, Verlag Harri Deutsch, Frankfurt am Main
- MALIK, F., Strategie des Managements komplexer Systeme, 2006, Haupt Verlag, Bern, Stuttgart, Wien
- MALIK, F., Unternehmenspolitik und Corporate Governance, 2008, Campus Verlag GmbH, Frankfurt/Main
- MARKO, H., Methoden der Systemtheorie Band 1, 1986, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- MATURANA, H.R., VARELA, F.J., Autopoiesis and Cognition, 1980, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht
- MATURANA, H.R., VARELA, F.J., Der Baum der Erkenntnis, 1987, Scherz Verlag Bern München Wien
- MEINKE, H., GUNDLACH, F.W., Taschenbuch der Hochfrequenztechnik, 1992, Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York
- MEYERS, R.A., Encyclopedia of Complexity and Systems Science Vol 9, 2009, SpringerScience+Business Media, LLC, New York
- MONTGOMERY, C.A., PORTER, M.E., (Hrsg.), Strategie, 2001, Wirtschaftsverlag Ueberreuter

Onlinequelle:

https://www.onlinesicherheit.gv.at/nationale_sicherheitsinitiativen/koordination_und_strategie/71763.html

ORLOWSKI, P.F., Praktische Regeltechnik, 1985, R. Oldenburg Verlag München Wien

PFÄHLER, W., WIESE, H., Unternehmensstrategien im Wettbewerb: Eine spieltheoretische Analyse, 1998, Springer Verlag Berlin [u.a.]

PROBST, G.J.B., Kybernetische Gesetzhypothesen als Basis für Gestaltungs- und Lenkungsregeln im Management, 1981, Verlag Paul Haupt, Bern und Stuttgart

SCHÜRMAN, M., Marketing: in vier Schritten zum eigenen Marketingkonzept, 2011, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

SCHWANINGER, M., Diskussionsbeitrag: Systemtheorie, Eine Einführung für Führungskräfte, Wirtschafts- und Sozialwissenschaftler, 2004, Universität St. Gallen, Institut für Betriebswirtschaft

SCHWANINGER, M., Intelligent Organizations, Powerful Models for Systemic Management, 2009, Springer-Verlag Berlin Heidelberg

SCHWANINGER, M., Managementsysteme, 1994, Campus Verlag, New York

SENGE, P., The Fifth Discipline, The Art & Practice of the Learning Organization, published by DOUBLEDAY a division of Random House Inc.

SETO, W.W., Mechanical Vibrations, 1964, McGraw-Hill Inc., New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, Sydney

SIMON, F.B., Einführung in Systemtheorie und Konstruktivismus, 2008, Carl-Auer-Systeme Verlag, Heidelberg

STERMAN, J., D., Business Dynamics, Systems Thinking and Modeling for a Complex World, 2000, Irwin McGraw Hill, Boston, ...

STERRER, C., Projektmanagement, 2001, Goldegg Verlag, Wien

STUTE, G., Regelung an Werkzeugmaschinen, 1981, Carl Hanser Verlag München Wien

Töpfer, A., Betriebswirtschaftslehre, Anwendung und prozessorientierte Grundlagen, 2005, Springer-Verlag, Berlin Heidelberg New York

ULRICH, H., Die Unternehmung als produktives soziales System, 1970, Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart

ULRICH, H., Unternehmungspolitik, 1978, Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart

ULRICH, H., Zum Praxisbezug der Betriebswirtschaftslehre in wissenschaftstheoretischer Sicht, 1976, Verlag Paul Haupt Bern und Stuttgart

ULRICH, H., PROBST, G. J.B., Anleitung zum ganzheitlichen Denken und Handeln, 1995, Verlag Paul Haupt Bern-Stuttgart-Wien

ULRICH, H., PROBST, G. J.B., Self-Organization and Management of Sozial Systems, 1984, Springer-Verlag New York Heidelberg Berlin Tokyo

UNBEHAUEN, H., Regelungstechnik I, 2008, Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden

UNBEHAUEN, H., Regelungstechnik II, 2009, Vieweg und Teubner Verlag Wiesbaden

UNBEHAUEN, R., Systemtheorie 1, 2002, Oldenburg Wissenschaftsverlag GmbH, München

VORBACH, S., Gegenstand der Betriebswirtschaftslehre Kapitel 1, 2010/11, Vortrag an der Karl-Franzens-Universität Graz

VORBACH, S., Prozessorientiertes Umweltmanagement, Ein Modell zur Integration von Umweltschutz, Qualitätssicherung und Arbeitssicherheit, 2000, Deutscher Universitäts-Verlag Wiesbaden

WELGE, M.K., (Hrsg.), Praxis des strategischen Managements –Konzepte-Erfahrungen-Perspektiven, 2000, Verlag Gabler, Wiesbaden

WATZLAWICK P., BEAVIN J.H., JACKSON D.D., Menschliche Kommunikation Formen Störungen, Paradoxien, 2011, Verlag Hans Huber, Hogefe AG, Bern

WATZLAWICK P., WEAKLAND, J.H., FISCH, R., Lösungen Zur Theorie und Praxis menschlichen Wandels, 1974, Verlag Hans Huber, Bern

9 Bildverzeichnis

Abbildung 1: System und Umwelt [entnommen aus: Lerner, 1970; S 19].....	7
Abbildung 2: Symbol eines Gliedes (Eingrößensystems) [nach Göldner, 1987, S. 15 bzw. H. Unbehauen, 2008, S. 3].....	17
Abbildung 3: Symbolische Darstellung des Systembegriffes eines Mehrgrößensystems [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 3].....	18
Abbildung 4: Mehrstufensystem in hierarchischer Darstellungsform mit Wirkungsrichtungen [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 3].....	18
Abbildung 5: Technologieschema der Steuerung einer Raumheizung [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 21].....	20
Abbildung 6: Prinzip eines Regelkreises [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 11].....	24
Abbildung 7: Ein Beispiel für eine Regelung mit einem ausgeprägten Regler [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 16].....	25
Abbildung 8: Bockschaltung des Regelkreises von Abbildung 7 [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 16].....	25
Abbildung 9: Beispiel für einen Regler mit „systemimmanentem“ Regelmechanismus (kein separater Regler):.....	26
Abbildung 10: Graphische Darstellung der Schwingungsdifferentialgleichung eines Feder-Masse-Schwingers [entnommen aus: H. Unbehauen, 2009, S.2].....	28
Abbildung 11: Signale mit kontinuierlichen Wertebereichen [vgl. Stute, 1981, S. 2].....	31
Abbildung 12: Signalverlauf mit zeitdiskreten (quantisierten) Werten [vgl. Stute, 1981, S. 2].....	31
Abbildung 13: Kontinuierlicher und diskreter Wertebereich eines Zeitdiskreten Signales [vgl. Marko, 1986, S. 132].....	32
Abbildung 14: Schema einer Abtastregelung.....	34
Abbildung 15: Schema der Abtastregelung mit den jeweiligen Signalverläufen [entnommen aus: Isermann, 1987, S. 16].....	34
Abbildung 16: Gewinnung der diskreten Werte durch Abtastung [entnommen aus: Isermann, 1987, S. 21].....	36
Abbildung 17: Generierung der Impulsfolge [entnommen aus: Isermann, 1987, S 26].....	37
Abbildung 18: Zusammenhang von Systemverhalten und Lage der Pole [entnommen aus: Stute, 1981, S. 52].....	39
Abbildung 19: Beispiel für das dynamische Verhalten eines Systems, in diesem Fall ein RC-Glied. [Göldner, 1987, S. 14, bzw. H. Unbehauen, 2008, S. 23 u. S. 92 ff].....	41
Abbildung 20: Beispiele für das dynamische und statische Verhalten eines Systems [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 23].....	42
Abbildung 21: Beispiele für die Annäherung eines Ausgangssignals an einen Sprung am Eingang eines Systems.....	45
Abbildung 22: Sprungantwort einer Strecke [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443].....	47
Abbildung 23: Kenngrößen der Sprungantwort [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 498].....	49
Abbildung 24: Beispiel für eine Pol- Nullstellenverteilung einer gebrochen rationalen Funktion in der s-Ebene (x: Polstelle, o: Nullstelle) [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 73].....	52
Abbildung 25: Beispiel eines analogen Regelkreises mit Totzeitverhalten der Strecke [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 160].....	54

Abbildung 26: Beispiel eines Regelkreises mit I-Regler und Proportionalstrecke [entnommen aus: Lutz/Wendt, S. 483].....	55
Abbildung 27: Beispiele von Systemisomorphie [abgeleitet von H. Unbehauen, 2008, S. 38].....	59
Abbildung 28: Darstellung einer Unternehmung als Blackbox [vgl. dazu Abbildung 3].....	63
Abbildung 29: Beispiel einer Unternehmensstruktur als Organigramm mit entsprechend gewählten Eingangs- und Ausgangsbereichen und Bezug auf Abbildung 28.....	64
Abbildung 30: Geschlossener Wirkungsablauf im Management [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 20].....	68
Abbildung 31: Erweitertes Schema des Regelkreises [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 22] ...	69
Abbildung 32: Darstellung der Kybernetik erster Ordnung und Kybernetik zweiter Ordnung [entnommen aus: Schwaninger, 1994, S. 24].....	70
Abbildung 33: Betrachtung einer Unternehmung mit ihren Tochtergesellschaften A, B, C, u. D als autonomes System [entnommen aus Beer, 1972, S. 168].....	72
Abbildung 34: Modell einer Struktur von Finanzierungen [entnommen aus: Beer, 1972, S. 234]	73
Abbildung 35: Grundlegende Funktion der Rückkopplung eines wirtschaftlichen Systems [entnommen aus: Beer, 1972, S. 235].....	73
Abbildung 36: Technisches Schema einer Kaskadenregelung abgeleitet von Beer's Modell des autonomen Systems (Abbildung 33) für einen Teil („Subsystem 1A“).....	75
Abbildung 37: Mehrfachregelkreis der Unternehmung [entnommen aus Beer, 1972, S 240].....	76
Abbildung 38: Regelkreis [entnommen aus: Sterman, 2000, S.669] mit Ergänzungen	78
Abbildung 39: Darstellung des Produktions- und Lieferprozesses mit den Regelungsfunktionen [nach Sterman, 2000, S. 710]	80
Abbildung 40: Controllingsystem [abgeleitet von: Jung, 2007, S. 7].....	82
Abbildung 41: Vorgangsweise bei der Erstellung eines Marketingbudgets [entnommen aus: Schürmann, 2011, S. 281].....	85
Abbildung 42: Vergleich des Marketings mit einer Durchflussmengenregelung.....	86
Abbildung 43: Konzept des entwicklungsorganisierten Personalmanagements [entnommen aus: Klimecki /Gmür, 2005 S.118].....	89
Abbildung 44: Regelschleifen im Bereich des Personalwesens [entnommen aus: Klimecki/Gmür, 2005, S. 120].....	90
Abbildung 45: Aufgabenbereiche der Unternehmensführung [teilweise entnommen aus: Gälweiler, 1990, S.34].....	93
Abbildung 46: Schematische Darstellung von Größen verschiedener Zeithorizonte	94
Abbildung 47: "Technisches" Modell eines Regelkreises mit Hilfsregler für die zwei operativen Bereiche von Abbildung 45.....	94
Abbildung 48: Beispiel eines Projektstrukturplans [vgl. Sterrer, 2011, S. 24].....	96
Abbildung 49: Soll-Ist-Vergleich durch Abweichungsanalyse [entnommen aus Sterrer, 2011, S. 44]..	97
Abbildung 50: Darstellung des Projektablaufes als Regelkreis [abgeleitet von: Sterman, 2000, S. 58]	97
Abbildung 51: Einwirkung der Störungen auf einen Regelkreis aus Sicht des Krisenmanagements ..	100
Abbildung 52: Regelkreis des Krisenmanagements	101
Abbildung 53: Organisatorische Zuordnung des Krisenmanagements in einem Unternehmen (vgl. dazu Abbildung 29).....	102
Abbildung 54: Lineare Preis-Absatz-Funktion [entnommen aus: Domschke/Scholl, 2005, S. 189]....	104
Abbildung 55: Übersicht der Wissenschaftszweige [entnommen aus: Töpfer, 2005, S. 6]	119
Abbildung 56: Bildung von Regelkreisen in wirtschaftlichen Systemen (vgl. Abbildung 31)	124

Abbildung 57: Darstellung des Schemas eines erweiterten Regelkreises mit einem Hilfsregelkreis [vgl. H. Unbehauen, 2008, S. 287].....	125
Abbildung 58: Zustandsregler mit Beobachter [vgl. Stute, 1981, S. 110]	127
Abbildung 59: Adaptives Regelsystem [entnommen aus: Stute, 1981, S. 55]	128
Abbildung 60: Gegenüberstellung von Regelkreisen wirtschaftlicher (links) und technischer Systeme (rechts).	129
Abbildung 61: Regeltechnische Darstellung der Regelgrößen einer Bestandsregelung in einem wirtschaftlichen System	129
Abbildung 62: Verhalten der Regeldifferenz und der Regelgröße bei einer Sprungfunktion am Eingang (w) [entnommen aus Sterman, 2000, S. 673]	132
Abbildung 63: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 3 Zeiteinheiten	133
Abbildung 64: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,6 Zeiteinheiten	133
Abbildung 65: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,5 Zeiteinheiten	134
Abbildung 66: Systemverhalten des obigen Beispiels für T_1 gleich 0,48 Zeiteinheiten	134
Abbildung 67: Beispiel eines Regelkreises mit I-Regler und Proportionalstrecke von Kapitel 3.7.2.2	136
Abbildung 68: Verhalten des Systems in Bild 46 mit $T=1$ und $T_I=1$	137
Abbildung 69: Verhalten des Systems von Bild 46 mit $T=1,5$ und $T_I=1$	138
Abbildung 70: Verhalten des Systems von Bild 46 mit $T=2,05$ und $T_I=1$	138
Abbildung 71: Verhalten eines Bestandes über die Zeit nach Aufschaltung eines Sprunges	139
Abbildung 72: Die Produktionsmenge $x(t)$ konvergiert für $e = 0,57$ nach einem Einschwingvorgang gegen einen eindeutigen Wert $x = 4,89$	143
Abbildung 73: Die Produktionsmenge $x(t)$ fluktuiert über die Zeit bei $e = 0,7$ und konvergiert gegen einen Zyklus der Ordnung 4, mit vier Fixwerten	144
Abbildung 74: Die Produktionsmenge $x(t)$ fluktuiert über die Zeit bei $e = 0,79$ chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster mehr erkennbar	145
Abbildung 75: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3$ und konvergiert gegen einen Zyklus der Ordnung 4, mit vier Fixwerten	147
Abbildung 76: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,1$ chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster mehr erkennbar	147
Abbildung 77: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,42$ ebenfalls chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster erkennbar	148
Abbildung 78: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,43$ nicht nur chaotisch, sondern erreicht nach bereits 35 Perioden enorme Werte.....	149
Abbildung 79: Die Produktionsmenge $x(k)$ fluktuiert über die Zeit bei $T = 3,44$ ebenfalls chaotisch, aus der Zeitreihe ist kein Muster erkennbar. Der darstellbare Bereich ist etwas mehr als doppelt so groß wie beim Systemverhalten mit $T = 3,43$	149
Abbildung 80: Produktionsmenge $x(k)$ zeigt bei $T = 2$ einen kurzen Einschwingvorgang und konvergiert dann bei $x_k = 5,71$	150
Abbildung 81: Produktionsmenge $x(k)$ beginnt bei $T = 2$ mit einem vergleichsweise konstanten Wert und geht ab ca. 19 Perioden gegen 0.....	150
Abbildung 82: Produktionsmenge x_k zeigt bei $T = 0,35064$ einen enormen Anstieg	151
Abbildung 83: System mit Totzeitelement und Element mit Integralverhalten	152
Abbildung 84: Systemverhalten (x_k) mit einer Totzeit von $T_t = 1,0$	153
Abbildung 85: Systemverhalten (x_k) mit einer Totzeit von $T_t = 1,1$	153
Abbildung 86: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 1$, $T_1 = 2$, $T_t = 1$	154

Abbildung 87: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 2, T_i = 2, T_t = 1$	154
Abbildung 88: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 1,9, T_i = 2, T_t = 1$	155
Abbildung 89: Systemverhalten (x_k) mit einer Abtastrate von $T = 2,1, T_i = 2, T_t = 1$	155

10 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Unterschied von Steuerung und Regelung [entnommen aus Lutz/Wendt, 2010, S. 22]	22
Tabelle 2: Gesichtspunkte zur Beschreibung der Eigenschaften von Regelsystemen [entnommen aus: H. Unbehauen, 2008, S. 21].....	43
Tabelle 3: Einstellregeln für Ziegler und Nichols [entnommen aus: Unbehauen, Regelungstechnik I, S 206 ff bzw. Lutz/Wendt, Taschenbuch der Regelungstechnik, Seite 441 ff].....	46
Tabelle 4: Experimentelle Ermittlung von Reglereinstellwerten [entnommen aus: Lutz/Wendt, S. 442]	47
Tabelle 5: Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick für die Optimierung des Störungsverhaltens [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443]	48
Tabelle 6: Einstellregeln nach Chien, Hrones und Reswick für die Optimierung des Führungsverhaltens [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 443]	48
Tabelle 7: Ermittlung der Abtastzeit aus den Kenngrößen der Sprungantwort [entnommen aus: Lutz/Wendt, 2010, S. 498].....	50
Tabelle 8: Gegenüberstellung der Begriffe aus den verschiedenen Schnittmengen interdisziplinärer Betrachtungen der Regelkreise	120