

# **WIDERSPRÜCHE UND STABILITÄT**

## **Eine Untersuchung zur Rolle der Logik in technischen Prozessen**

zur Erlangung des akademischen Grades eines

**DOKTORS DER PHILOSOPHIE  
(Dr. phil.)**

von der Fakultät für Geistes- und Sozialwissenschaften  
der  
Universität Karlsruhe (TH)  
angenommene

**D I S S E R T A T I O N**

von

**Dipl.-Ing. Doo-Bong Chang**

aus Seoul, Südkorea

Dekan:

1. Gutachter:

2. Gutachter:

Prof. Dr. Uwe Japp

Prof. Dr. Hans-Peter Schütt

PD Dr. Matthias Maring

Tag der mündlichen Prüfung:

06.April. 2005

## Inhaltsverzeichnis:

	<b>Seite</b>
<b>0 Abkürzungen, Symbole und Syntax .....</b>	<b>5</b>
0.1 Logische Symbole (Junktoren, logische Konstanten, Relationen).....	5
0.2 Quantoren.....	6
0.3 Mengentheoretische Zeichen.....	6
0.4 Syntax der Aussagenlogik.....	6
0.5 Modaloperatoren.....	6
0.6 Syntax der Prädikatenlogik.....	6
0.7 Ausdrücke / Abkürzungen.....	7
<b>1 Abstract.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Einleitung.....</b>	<b>10</b>
2.1 Einführung in die Thematik.....	10
2.2 Aufgabenstellung.....	13
2.2.1 Problemstellung.....	13
2.2.2 Ziele dieser Arbeit.....	14
<b>3 Stand der derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse.....</b>	<b>17</b>
3.1 Theoretische Grundlage in der Philosophie.....	17
3.1.1 Logische Analyse der Sprache.....	17
3.1.2 Einige Besonderheiten der formalen Logik.....	18
3.1.3 Aussagenlogik.....	20
3.1.4 Prädikatenlogik.....	23
3.1.5 Mengenlogik.....	28
3.1.6 Wahrscheinlichkeit.....	29
3.1.7 Relationen.....	30
3.1.8 Abbildungen.....	31
3.1.9 Andere nicht formale Logikkonzepte.....	31
<b>4 Anwendungen logischer Kalküle in technischen Prozessen.....</b>	<b>33</b>
4.1 Problem bei der Erweiterung der logischen Kalküle.....	33
4.2 Der Zusammenhang zwischen Widersprüchen und Systeminstabilität.....	35
4.2.1 Charakteristik der Widersprüche.....	35
4.2.2 Widerspruch im Prinzip der Zweiwertigkeit.....	36
4.2.3 Gleichzeitigkeit und Gegensätzlichkeit.....	37

4.2.4	Mathematische Beschreibung.....	42
4.2.5	Sprachliche Probleme.....	43
4.2.6	Resolutionsverfahren für Widersprüche.....	45
4.2.7	Systeminstabilität.....	46
4.2.7.1	Systeme in widersprüchlichen Zuständen.....	47
4.2.7.2	Differenzen zwischen Absicht und Ausdruck: a) Der Ausdruck ist schwächer als die Absicht.....	47
4.2.7.3	Differenzen zwischen Absicht und Ausdruck: b) Der Ausdruck ist stärker als die Absicht.....	48
4.2.7.4	Missachtung der Adäquatheitsbedingungen für die Anwendung einer Vorschrift, einer Regel oder eines Verfahrens.....	49
4.2.7.5	Anwendung der mathematischen Steuervorschrift.....	50
4.2.7.6	Schnellere Reaktion des Prozesses als Zykluszeit der Modellberechnung.....	51
4.2.8	Widersprüche als Regelgröße.....	53
4.2.9	Logische Widersprüche und reale Widersprüche.....	54
4.3	Logikbasierte Wissensverarbeitung in der technischen Anwendung.....	55
4.3.1	Aussagenlogik.....	56
4.3.1.1	Wenn-dann Logik.....	57
4.3.1.2	Unschärfe Mengen des Wenn -Teils.....	60
4.3.1.3	Funktionsdiagramm als Aussagenlogik.....	63
4.3.1.4	Schutz, Überwachung und Verriegelungslogik als Aussagenlogik.....	63
4.3.2	Prädikatenlogik.....	66
4.3.3	Fuzzy-Logik und logisches Zeichen.....	68
4.3.3.1	Unschärfe Mengen.....	69
4.3.3.2	Grundoperation für <i>Fuzzy</i> -Logik.....	70
4.3.4	Unsicheres Wissen und Wahrscheinlichkeiten.....	71
<b>5</b>	<b>Interpretation der Logik in technischen Prozessen mit Randbedingungen.....</b>	<b>76</b>
5.1	Universum als Basis einer bestimmten Interpretation.....	77
5.2	Abbildungen.....	82
5.3	Neue Interpretation des Wahrheitswertes.....	84
5.4	Bezugssystem.....	88
5.5	Allgemeingültigkeit.....	92
5.6	Wechselwirkung und Interpretation.....	95
5.6.1	Wechselwirkung unbekannter Faktoren.....	97
5.6.2	Wechselwirkung von verschiedenen Bezugspunkten.....	98
5.7	Information.....	99

5.7.1 Ebenenmodell und Informationen .....	100
5.7.2 Unvollständige Information .....	101
5.7.3 Doppel-Bedeutung der Sprachen.....	103
5.7.4 Informationsstruktur .....	104
5.7.5 Informationsabläufe.....	104
5.7.6 Nichtmetrische Information.....	107
5.7.6.1    Erste Stufe der Semantisierung nichtmetrischer Information (Skalierung).	109
5.7.6.2    Zweite Stufe der Semantisierung nichtmetrischer Informationen (semantische Ableitung).....	110
5.8 Syntax und Semantik.....	111
5.8.1 Kodierung zwischen Syntax und Semantik, metrischen und nichtmetrischen Größen .....	113
5.8.1.1    Semantik in logischer Folgerungsebene.....	114
5.8.1.2    Zielorientierte Semantikebene.....	114
5.8.1.3    Prozessorientierte Semantikebene.....	118
5.8.1.4    Objektorientierte Semantikebenen .....	119
5.8.1.5    Dialogorientierte Semantikebene .....	119
5.8.2 Kodierung und Dekodierung .....	120
5.8.2.1    Kodierung durch Abbildung.....	122
5.8.2.2    Zahlentheorie und Logik .....	122
5.9 Modell und Gegenmodell.....	123
5.10 Formalisierte Prozessbeschreibungen .....	126
5.11 Instabile Faktoren der Mensch-Maschine-Schnittstelle .....	128
5.12 Logik, die Überlebens-Strategien ermöglicht .....	132
5.12.1 Beispiel für Strategieschalter.....	135
<b>6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse.....</b>	<b>137</b>
<b>7 Ausblick.....</b>	<b>139</b>
<b>8 Literaturverzeichnis .....</b>	<b>140</b>
<b>A Anhang.....</b>	<b>145</b>
A.1 Index der Definitionen .....	145
A.2 Verzeichnis der Abbildungen .....	146
A.3 Abkürzungen und Glossar .....	147

## 0 Abkürzungen, Symbole und Syntax

### 0.1 Logische Symbole (Junktoren, logische Konstanten, Relationen)

Wid.	Widerspruch
$\vee, \geq, \cup$	‘(entweder) ... oder ...’, Disjunktion: zweistellige Satzoperatoren
$\wedge, \&, \cap$	‘... und ...’, Konjunktion: zweistellige Satzoperatoren
$\rightarrow, \supset$	‘wenn ..., dann ...’, Subjunktion: zweistellige Satzoperatoren (wahrheitsfunktionales Konditional)
$\leftrightarrow$	‘genau dann ... , wenn ...’, Bisubjunktion: zweistelliger Satzoperator (wahrheitsfunktionales Bikonditional); engl. auch ‘iff’ für ‘if and only if’
$\downarrow$	‘weder ... noch ...’, Shafferscher Pfeil: zweistelliger Satzoperator
$ $	Exklusion: zweistelliger Satzoperator
— oder $\neg$ oder $\sim$	‘nicht ...’, Negation: einstelliger Satzoperator
$\top$	wahr ( <i>verum</i> )
$\perp$	falsch ( <i>falsum</i> )
$\vdash$	‘... ist ableitbar aus ...’
$\vDash$	(aus) ... folgt ... (z.B. ‘ $P \vDash c$ ’ für ‘aus P folgt c’ (semantische Folgerung: Allgemeingültigkeit der Subjunktion))
$\equiv$	‘... ist logisch äquivalent mit ...’, logische Äquivalenz (Wechselseitigkeit der semantischen Folgerung: Allgemeingültigkeit der Bisubjunktion)
$\therefore$	also
$\neq$	‘... ist nicht identisch mit ...’ oder ‘... ist verschieden von ...’
$>$	‘... ist größer als ...’
$\mapsto$	Abbildung, $f: x \mapsto y$ : x ist original zu y ( $f$ heißt Funktionsvorschrift)
$\Delta$	Differenz
$\Rightarrow$	Ausführungsvorschriftspfeil
$\Rightarrow$	Kausalpfeil
(a, b) oder $\langle a, b \rangle$	( geordnetes) Paar von a und b

## 0.2 Quantoren

$\forall x$  'für alle  $x$  gilt ...', All -Quantor

$\exists x$  'es existiert (mindestens ein)  $x$ , für das gilt ...', Existenz-Quantor

## 0.3 Mengentheoretische Zeichen

$\in$  '... ist Element von ...'

$\subseteq$  '... ist Teilmenge von ...'

$\{\}$  oder  $\emptyset$  leere Menge

$\{a_1, \dots, a_n\}$  Menge mit den Elementen  $a_1, \dots, a_n$

$\Sigma$  eine abzählbare Menge

$U$  Universum (als Menge von Objekten)

## 0.4 Syntax der Aussagenlogik

$A, B, C$  Abkürzung für bestimmte Aussagen

$p, q, r$  Aussagenvariablen

## 0.5 Modaloperatoren

$\diamond \varphi$  'Es ist möglich, dass  $\varphi$ '

$\square \varphi$  'Es ist notwendig, dass  $\varphi$ '

## 0.6 Syntax der Prädikatenlogik

$x$  Individuen- (Gegenstands-)variablen (nicht-logische Zeichen)

$a$  Individuen- (Gegenstands-)konstanten

$P, Q, R$  Prädikatkonstanten,  $P(x_1, \dots, x_n)$ ,  $n$  – stellig

## 0.7 Ausdrücke / Abkürzungen

Adjektiv	beschreibt Eigenschaften, Merkmale oder das Besondere von Dingen, Zuständen, oder Lebewesen.
AL	Aussagenlogik
Atomare Aussagesätze	Aussagesätze, die keine weiteren Aussagesätze als Teil enthalten
Attribute	beschreiben oder charakterisieren das Bezugswort näher
$B$	Bezugssystem oder Referenz
Beweis	schlüssiges Argument
<i>df.</i>	Definition
$Fix(p)$	Fixpunkt in Abhängigkeit vom Parameter $p$
FL	Formalenlogik
FS	Formalensemantik
$G_j$	Gültigkeit $j$ in Universum $U_j$
$GM$	Gegenmodel
$I$	Interpretation: Die Funktion $I$ spiegelt den Bezug zur realen Welt wieder
Instanz	Alle Objekte, die zu einer Klasse gehören, werden als Instanzen dieser Klasse bezeichnet.
$i$	'Interaction', Wechselwirkung, Wechselbeziehung
$J$	eine ergänzende Interpretation
Klammerregeln	Um deutlich zu machen, welche Teile eines sprachlichen Ausdrucks zusammengehören, kann man runde Klammern (und) verwenden.
Klasse	Zusammenfassung von Individuen. Die in einer Klasse zusammengefassten Individuen sind die Elemente der Klasse.
$L$	Die prädikatenlogische Formelsprache
Metasprache	Sprache, in der die Ausdrücke einer anderen Sprache, der so genannten Objektsprache, beschrieben oder charakterisiert werden
$M$	Modell oder Modell-Abbild der realen Welt, das aus einer bestimmten Sicht angefertigt wird, mit der Reduktion von Informationen bezüglich der realen Welt. Modell als Abbild von etwas und Vorbild für etwas; Repräsentation eines bestimmten natürlichen oder künstlichen Originals. Stachowiak beschreibt das Abbildungsmerkmal, Verkürzungsmerkmal und das pragmatische Merkmal als die drei Hauptmerkmale des allgemeinen Modellbegriffs.

Mengen	Eine spezielle Klasse, die selbst auch Individuum ist.
ML	Modallogik
<i>MM</i>	Merkmal
Molekulare Aussagesätze	, die mindestens einen von ihnen selbst verschiedenen Aussagesatz als Teil enthalten.
Modus Ponens	Setzt, (MP)
Modus Tollens	Hebt auf, (MT)
<i>N</i>	Normalitäts-Bedingung oder Annahme, dass ein System 'normal' arbeitet.
<i>NT</i>	Non Trivialitätsbedingung, die zusätzliche Bedingung zu allgemeingültigen Axiomen hat.
Objektsprache	Mit der wir über Objekte sprechen. Sie ist die formale Logiksprache des betreffenden logischen Systems und hat eine genau festgelegte Syntax.
Oxymoron	Verbindung zweier sich widersprechender Begriffe [Rhetorik]
PL	Prädikatenlogik (Quantorenlogik)
Prädikat	Bezeichnet eine Handlung, einen Vorgang oder Zustand mit Verb und ist sowohl inhaltlich als auch formal eng mit dem Subjekt verbunden.
$R(p)$	Bezugsreferenz in Abhängigkeit von Parameter $p$
$Ref_I(\alpha)$	Der Bezug $I$ von $\alpha$ ; Eine Interpretation weist jeder Individuenkonstant $\alpha$ genau ein Element der Klasse $U$ als das Bezugs-(Referenz)Objekt von $\alpha$ unter $I$ zu.
Semantik	Lehre von den Beziehungen zwischen den Zeichen einerseits und dem Bezeichneten, dem Sinn, der Bedeutung andererseits
Skalierung	Theorie des Messens, die bei der Untersuchung von Gegenständen und ihren Eigenschaften die Werte nach ihrer Vergleichbarkeit unterteilt
Syntax	Lehre oder Regelwerk von der richtigen Zusammensetzung von Zeichen
Terme	Objekte als semantische Werte als Namen dieser Objekt
$v_I$	Bewertungsfunktion, die auf der Basis der Interpretation $I$ eindeutig einen Wahrheitswert zuordnet
$w_i$	Wahrheitswert einer bestimmten Aussage $A_i$
<i>WM</i>	Wertmenge der Wertelemente

## 1 Abstract

This dissertation has the topic „ *contradictions and stability: the research on the application of logic in the technical processes*” to examine contradictory problems and stability of different logic-oriented applications of technical processes, particularly with a formalising of a more extensive world knowledge.

The logic, which is just as old as philosophy, is used nowadays in different specialist areas such as computer science, mathematics, engineering and law. The logic covers more than pure semantics, it also includes information about the act. We need semantics as well as a certain strategy to optimise the technical processes. A situation in this real world has at the same time many conditions however none of them do we regard infinitely and also this ability is limited by our language and sense. The contradictions are only in our head, in which we think and where we design strategies and establish logical causality.

Simply said, everything which humans thought, some thinking products such as society, science, law, moral etc. contained in itself the contradictions, because everything is this human thinking products and the human thinking structure cannot remain conclusive beyond the considered system. That doesn't mean that it is impossible, to form perfect logical structures but very with difficulty. All mosaics we must first work on in our head, in which contradictory and thought process take place dynamically. There the interpretation plays a large role. In order to be able to deliver to some extent well approximated evaluations, we need good sensors, in order to notice the environment and appropriate relation. From the stone-age this was a key role for adjustment and surviving of mankind. In that philosophical history was born new thoughts or beginnings in philosophy and afterwards as independent scientific discipline. In modern world different sciences have developed their own tools. The question is why we don't expand the use of these developments in philosophical logic? With other scientific tools we try to explain philosophical phenomena or in reverse. Philosophy can refer to this border-spreading relation and show substantial relationship. How can we orientate ourselves in modern world? Today's philosophy can extend the integrated consideration, even his new tasks have to show to the other natural science the direction of correcting ability.

A priority goal of this work is to be carried out it a contribution for the improvement of communication between philosophy and technology. Philosophy is to be able to supply new beginnings (background or world outlook) to the world, thus other people can orientate itself without somehow faith dogma to hold. This reciprocal effect with our environment can again take place in philosophy.

## 2 Einleitung

### 2.1 Einführung in die Thematik

Die Logik, die so alt ist wie die Philosophie, wird heutzutage in verschiedenen Fachbereichen wie Informatik, Mathematik, Ingenieurwesen und Jura angewandt. In Zukunft jedoch wird die Rolle der Logik an Bedeutung zunehmen, da unsere Gesellschaft immer mehr auf die Hilfe von modernen Computern angewiesen ist und diese Computer nach dem Wesen der Logik arbeiten.

Das Wort „Logik“ entstammt dem griechischen Wort „Logos“ (λογος), was soviel bedeutet wie „Wort“, „Satz“, „Rede“, „Sprache“, und primär gesehen vor allem „Vernunft“. Weitere Bedeutungen findet man beispielsweise im Evangelium des Johannes. So steht in der Bibel unter anderem geschrieben: „Am Anfang war das Wort“ (Wort: griech. Logos – λογος). Im Vergleich mit einem anderem Bibelzitat aus dem 1.Kapitel des Buches Genesis („Da sprach Gott: „Licht werde!“ Und Licht ward.“) ergibt sich für „Logos“ eine weitere Bedeutung. So wäre es in diesem Fall wohl besser das Wort „Logos“ wie in Goethes Faust mit „Kraft“ und „Tat“ zu übersetzen. Diesem Zusammenhang zwischen Wort und Tat kann man auch im Hinblick auf die moderne Anwendung der Logik einen Sinn geben, da die Verarbeitung von Informationen („Logos“) die Tat zum Ziel und zur Folge hat.

Informationen werden z.B. im zwischenmenschlichen Bereich durch Worte oder Sätze übertragen, will man dies für jegliche Informationsübertragung verallgemeinern so spricht man von „Zeichen“. Da der Erfolg der Tat von der Qualität der Information abhängt und diese wiederum an die Genauigkeit der Wort-Weltbeziehung gebunden ist, muss die Information zutreffend sein! Die Information wird nach wahr oder falsch bewertet in wieweit sie in Bezug auf die reale Welt zutreffend ist. Ein wesentlicher Bestandteil dieser Information, die durch Zeichen übermittelt wird, ist die Syntax und die Semantik, wobei es die Rolle der Semantik ist, die Wort-Weltbeziehung zu modellieren und die Zeichen richtig zu interpretieren. Demnach dient die Semantik zum logischen Verständnis der Situation der realen Welt.

Die Logik an sich kann die Welt nicht direkt verändern. Damit die Logik aber auch nicht zur „Glasperle“ von Hermann Hesse<sup>1</sup> wird, muss sie von einem möglichen Bezug auf die Welt ausgehen. Der Teil der Logik, in dem Modelle des Bezuges zwischen Zeichen, Wort und Welt entwickelt werden, ist die Semantik. In der logischen formalen Semantik werden Schemata der Interpretation für die abstrakten Logikkalküle entwickelt. Der pure Bezug untereinander wird in einer logischen Syntax untersucht. Die syntaktischen Beziehungen zwischen Zeichen

---

<sup>1</sup> In seinem Alterswerk das Glasperlenspiel (1943) legte Hesse den Entwurf einer poetischen Sozialutopie vor, in der die ihn bedrängenden Probleme eine Lösung erfahren.

sind physikalisch realisierbar (z.B. in einem Stromkreis), vorausgesetzt, dass die Zeichen konsistent bleiben. Wenn man weiß, welche Informationen in einem Zeichensystem kodiert sind, so weiß man auch, auf welche Zustände in der Welt außerhalb des Zeichensystems die Zeichen bezogen sind. Hierbei sind vor allem die Gedanken wichtig, die sich nicht nur auf die Wort-Weltbeziehung, sondern auch auf die besondere Welt (Abbild)-Weltbeziehung konzentrieren. Wenn man einen Weltzustand mit den dadurch bezeichneten Weltzuständen vergleicht, dann stellt man fest, dass die Zeichen nie alle Informationen über die bezeichnete Welt enthalten können, da bei dem Prozess der Abbildung immer etwas verloren geht! Die vorausgesetzte Kodierung der Zeichen, die Informationen über das Bezeichnete beinhalten, ist mit einer Einschränkung (Relativierung) verbunden. Deshalb wirkt die Interpretation wie ein Filter. Die Kodierung und die Interpretation wirken auch wie ein Bezugssystem zusammen. Was das Zeichensystem an Informationen übermittelt hängt von den folgenden zwei Kriterien ab, nämlich von der Syntax<sup>2</sup> und zugleich von der Kodierung (Semantik). Entscheidend ist, dass Fehler in einem System, die in Bezug auf Syntax und Kodierung auftreten, unabhängig voneinander sein können. Diese Fehler können sich sogar gegenseitig aufheben und dadurch falsche Informationen weitergeben<sup>3</sup>. Eine Situation in dieser realen Welt hat gleichzeitig nahezu unendlich viele Zustände. Davon kann man nur wenige betrachten und die Fähigkeit zu betrachten ist darüber hinaus durch die Sprache und die Sinne beschränkt. Die Wahrheitsinterpretation hängt von ihrem Bezugssystem ab. Die Einzelwahrheit ist das Resultat von langen Relationsketten im Universum mit einem eigenen Bezug und dem entsprechenden Interpretationssystem, sodass sie schließlich das Resultat einer Reihe von Bezugsketten wie Ort, Zeit, Verbindungen usw. ist. In der Wechselwirkung verschiedener Wahrheitswerte hat die Einzelwahrheit im Hinblick auf die Gesamtinformation jedoch eine andere Gewichtung. Das heißt, die Wahrheit ist dynamisch und daher nur für eine gewisse Zeit gültig. Es könnte einfach sein, den Wahrheitswert eines in sich geschlossenen einfachen axiomatischen (Grundsatz) Systems zu bestimmen, aber im komplexen System<sup>4</sup> ist es nicht einfach über das Ganze eine schlüssige und eine allgemeingültige Wertbeurteilung zu geben. Dieses System muss einwandfrei bzw. widerspruchsfrei sein.

Widersprüchliche Informationen haben jedoch keine nützliche Bedeutung, da sie nichts über zutreffende Zustände aussagen, weil es keine Widersprüche in der Welt gibt. Trotzdem

---

<sup>2</sup> Griech. σύνταξις, sprich: syntaxis bedeutet Zusammenstellung, -ordnung, Aufstellung von Soldaten, korrekte Verbindung der Wörter, Wortfügung.

<sup>3</sup> Beispielsweise kann sich ein Druckabfallsignal bei einem Kurzschluss auslösen und es könnte zufällig ein Loch in der Druckkammer entstehen, sodass man glaubt, dass das Signal richtig funktioniert.

sind widersprüchliche Informationen einfach da! Es kommt darauf an, widersprüchliche Informationen, die genauso realistisch wie nicht-widersprüchliche Informationen sind, zu erkennen, evtl. zu beseitigen und schließlich eine Methode zur Identifikation zu finden. Was uns zum Irrtum führen kann, ist die Beziehung zwischen der Natur und dem Gehirn des Menschen. Die Widersprüche befinden sich nur in unserem Kopf, so z.B. beim Nachdenken, beim Entwerfen von Strategien und Herstellen logischer Kausalität. In der Natur gibt es keine Widersprüche aber in der Praxis gibt es allerdings Widersprüche, da der zweite Hauptsatz<sup>5</sup> der Thermodynamik gilt, d.h. nach dem Entropie-Satz laufen alle Aktivitäten in eine bestimmte Richtung. Diese Richtung ist beliebig. Diese Aussage gilt mittel- bis langfristig. Die Erfüllung der Gauß'schen Verteilungsfunktion muss sichergestellt sein (zentraler Grenzwertsatz), aber unter einer kurzen Zeitbetrachtung können alle beliebigen Zustände und damit auch Widersprüche auftreten. Die Wahrscheinlichkeit für ihr Auftreten geht jedoch gegen Null. Was bedeutet dieser Satz? Einfach gesagt enthalten alle Denkprodukte wie Gesellschaft, Wissenschaft, Gesetze, Moral usw. in sich Widersprüche, weil sie alle den menschlichen Gedanken entstammen und die menschliche Denkstruktur nicht über das gesamte System hinaus schlüssig bleiben kann. Dies bedeutet jedoch nicht, dass es unmöglich ist, vollkommene logische Strukturen zu bilden, sondern lediglich nur sehr schwierig ist. Alle Mosaiken müssen zuerst im Kopf bearbeitet werden, indem widersprüchliche und dynamische Denkprozesse stattfinden. Dabei spielt die Interpretation eine wichtige Rolle. Um eine einigermaßen gut angenäherte Beurteilung abgeben zu können, sind gute Sensoren notwendig, um die Umgebung und die entsprechende Relation wahrzunehmen. Schon in der Steinzeit war diese Fähigkeit eine Schlüsselrolle für Anpassung und Überleben der Menschheit. Die Frage, die sich stellt, ist: Was ist das Original und dessen Eigenschaft und was nimmt man wahr oder was kann man messen? Wie viele Anteile stammen von den ursprünglichen Informationen? Die virtuelle Verbindung hat damit zu tun, wie man diese Verbindungen messen kann. Je nach Messmethode können die Verbindungen wahrgenommen werden oder nicht. Es gibt viele Fragen, um einwandfreie Randbedingungen festzulegen, damit der technische oder menschliche Prozess so gut wie möglich widerspruchsfrei funktionieren kann. Das heißt, einem Menschen ist bewusst, dass alles was er überlegt eine eventuell unvollkommene Struktur haben könnte - diese Wahrscheinlichkeit ist einfach da.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, aus der Philosophie heraus eine wissenschaftliche Basis zur logischen Wissensverarbeitung für andere Fachdisziplinen bereitzustellen, weil die Philosophie eine themenneutrale, fachdisziplinübergreifende Basis anbieten kann. Um die in

---

<sup>4</sup> σύστημα, griech., sprich: systema: aus mehreren Teilen zusammengesetztes Ganzes.

<sup>5</sup> Vgl. [Nickel (1995), S 118f]

diesem Kontext zu diskutierenden Themen zu beschränken, werden überwiegend widersprüchliche Probleme und die Stabilität verschiedener logikorientierter Anwendungen technischer Prozesse behandelt. Einige daraus resultierende Ergebnisse können in der Technik angewandt werden. Momentan ist z.B. geplant, die für die verschiedenen Fachdisziplinen benötigte Prozessbeschreibung als NAMUR (Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen Industrie) / GMA (VDI-VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik) Richtlinie zu definieren, damit man Probleme in einer gemeinsamen Sprache artikulieren kann. Die Grundforschung dieses Bereiches kann auch dazu dienen, neue Erkenntnisse zu erlangen und schließlich die automatische Wissensverarbeitung durch Logik zu ermöglichen. Dies ist momentan in der Anfangsphase. Um fundierte Logik in der Technik anzuwenden, sodass die Logik die Tatkraft zeigen kann, müssen große Anstrengungen und umfangreiche Überlegungen angestellt werden.

## **2.2 Aufgabenstellung**

### 2.2.1 Problemstellung

Die Praxis verlangt die Kommunikation zwischen Verfahren und Prozessleittechnik und darüber hinaus die Kommunikation zwischen technischen Prozessen und den daran beteiligten Menschen (MMI: Man–Machine-Interface). Um den Anforderungen an die Kommunikation zwischen Verfahrens- und Prozessleittechnik oder zwischen dem Prozess und dem Menschen zu genügen, braucht man mehr als die heutigen Fließbilder oder Schaltungstechniken mit metrischen Größen, wobei die nichtmetrischen Größen eine wesentliche Rolle spielen. Mit dem Begriff „nichtmetrisch“ bezeichnet man die Eigenschaften, deren Werte nicht durch Zahlen ausgedrückt werden können, z.B. „größer, kleiner oder ungefähr gleich wie sprachliche Ausdrücke usw.“ [Buchner (1998)]

Um die Mensch-Prozess-Kommunikation weiter zu entwickeln, muss man erkennen, wann und wie eine nichtmetrische Größe an einer metrischen Größe hängt, und wie deren Wechselwirkung funktioniert. Um eine konsistente Kommunikation und ein eigenständiges, intelligentes Verhalten des Systems zu ermöglichen, braucht man möglichst einfache Beschreibungsformen, Identifikationen der logischen Bearbeitung von Signalen und eine sprachliche, begriffliche und formale Präzisierung. Eine Wissensrepräsentation mit umgangssprachlichen Ausdrücken und verschiedenen Interpretationen - auf verschiedene Bezugssysteme - bringt die Schwierigkeit, einwandfreie und schlüssige Konzepte zu realisieren, weil

sie in sich Komplexität, eventuelle Widersprüche und undefinierbarkeit enthalten kann. Zusätzlich kann die unterschiedliche Wissenspräsentation verschiedener Fachdisziplinen mit eigenen Fachsprachen, Abkürzungen und Definitionen in Zusammenarbeit mit diesen verschiedenen Fachdisziplinen zum Missverständnis führen. Um diese Probleme zu vermindern und gleichzeitig eine gemeinsame wissenschaftliche Basis als branchenneutrale Fachdisziplin aufzubauen, ist diese Basis zuerst in der philosophischen Tradition zu suchen.

### 2.2.2 Ziele dieser Arbeit

In dieser Arbeit soll untersucht werden, wie oder in welcher Weise widersprüchliche Konzepte für instabile technische Prozesse verantwortlich sein können, um diese Instabilität korrigieren zu können. Mit einigen Beispielen aus der Technik sollen Fragestellungen angestoßen werden, die sich auf Grundsätze der Problemlösung, deren Verbindlichkeit und Geltungsbereich beziehen. Das Wissen des Menschen ist durch seinen Blickwinkel beschränkt. Man versucht zwar fehlerfreie Systeme zu entwickeln, jedoch muss nicht nur die Maschine, sondern auch der Mensch, der sie steuert, fehlerfrei arbeiten. Der Mensch kann keine Maschine sein und eine Maschine kann kein Mensch sein. Trotzdem wird zu oft erwartet, dass der Mensch mit derselben Perfektion handelt wie eine funktionierende Maschine; *es kann fatal sein*, wenn diese Perfektion nicht nur erwartet, sondern vorausgesetzt wird!

In der Geschichte der Philosophie wurden neue Gedanken oder Ansätze für die Weltanschauung und Umwelt geboren und danach im Rahmen von eigenständigen wissenschaftlichen Disziplinen weiterentwickelt. In der modernen Welt haben die verschiedenen Wissenschaften ihre eigene Wissensbasis und ihre eigenen Werkzeuge entwickelt. Die Überlegung ist nun, ob man durch die Umkehrung dieses Vorgangs, d.h. von der Verallgemeinerung der Werkzeuge der Einzeldisziplinen einen Gewinn erzielen kann? Man würde also versuchen, mit Werkzeugen anderer Wissenschaften philosophische Phänomene zu erklären oder umgekehrt.

Die sprachlichen Ausdrücke der Umgangssprache, die wir in unserem täglichen Leben gebrauchen, sind verglichen mit den technischen Sprachen der verschiedenen Fachdisziplinen vieldeutig und unpräzise. Aber keine der künstlichen Fachsprachen ist auf eine selbstverständliche Weise gegeben. Alle künstlichen Sprachen müssen explizit eingeführt werden (die Ausdrücke müssen definiert werden). Das verlangt den Gebrauch einer anderen Sprache, die von der einzuführenden Sprache verschieden ist. In der Logik sagt man, die einzuführende Sprache sei eine Objektsprache und die Sprache, in der man eine Objektsprache beschreibt,

sei dazu eine Metasprache. Soll eine solche Metasprache selbst explizit eingeführt werden, so geschieht das in einer Meta-Meta-Sprache ... usw. Nun ist es offensichtlich, dass das letzte Glied in einer solchen Folge von Meta-Sprachen immer nur eine selbstverständlich gebrauchte und allen Beteiligten zugängliche Sprache sein kann und das ist in der Regel die Umgangssprache, die eine natürliche und keine künstliche Sprache ist. Also ist man gerade für jeden Versuch der Einführung präziserer technischer Sprachen letztlich auf den Gebrauch der eigentlich unpräzisen natürlichen Sprache angewiesen, damit deren unvermeidliche Vagheiten das Geschäft der Präzisierung nicht gefährden, muss es möglich sein, zumindest Teile der natürlichen Sprache aus sich selbst heraus, durch Reglementierung, zu präzisieren. Genau dieser Aufgabe widmet sich seit zweieinhalbe Jahrtausenden die Logik als methodische Propädeutik der Philosophie und aller anderen wissenschaftlichen Disziplinen. Da die Logik mit ihren Präzisierungen auf dem denkbar allgemeinsten Niveau unseres Sprechens und Denkens (Logos!) ansetzt, ist sie anschlussfähig für alle anderen Disziplinen.

Technische Aufgaben oder Prozessbeschreibungen brauchen eindeutige Begriffe und formal präzise Beschreibungen. Wenn eine verfahrenstechnische Anlage gebaut wird, sind vom Bauingenieur über Chemiker, Verfahreningenieure, Physiker, Biologen bis hin zum Automatisierungs- bzw. Prozessleitenden unterschiedliche Wissenspräsentationen mit eigenen Fachsprachen und Abkürzungen vertreten. Bei der Zusammenarbeit führt dies sehr häufig zu Missverständnissen. Deswegen braucht man eine branchenneutrale Wissensrepräsentationsdisziplin. Deshalb ist es dringend notwendig, dass alle beteiligten Fachdisziplinen miteinander kommunizieren und eine gemeinsame Basis (z.B. in Form von DIN / NAMUR / GMA-Norm oder irgendeiner anderen Norm) schaffen. Viele Techniker benutzen Funktionspläne oder Softwaretechnologien, ohne zu wissen, dass ihre Konzepte nach gewissen logischen Schemata aufgebaut sind. Wenn man mit dieser Umgangssprache sein Wissen über technische Aufgaben beschreibt, gibt es Probleme, da die logischen Sprachen, die für technische Angaben benutzt werden, im Gegensatz zur natürlichen Sprache, künstliche Sprachen sind [Ehrig et al. (2001), S.329]. Diese logischen Sprachen werden je nach Bedarf der unterschiedlichen Fachdisziplin eigenständig definiert bzw. entworfen und benutzt. Nun hat sich die Logik im Laufe der Geschichte, besonders seitdem sie im frühen 20. Jh. zur mathematischen Logik wurde, von dem eben beschriebenen ursprünglichen Ansatz entfernt und ist in Teilen selbst zu einer hochtechnischen Disziplin geworden, die eine Fülle eigener künstlicher und formaler Sprachen entwickelt hat.

Ich möchte in dieser Arbeit eine Brücke zwischen den technischen Begriffen der formalen Logik und ihrer ursprünglichen Aufgabe bauen, um eine allgemeine Verständigungsbasis bereitzustellen, damit die Einsichten der Logik für die an der Bewältigung technischer

Probleme Beteiligten besser zu nutzen sind. In diesem Sinne verfolgt die Arbeit die folgenden Ziele:

1. Eine wissenschaftliche Basis von der Philosophie zur logischen Wissensverarbeitung für andere Fachdisziplinen bereitzustellen.
2. Die unterschiedlichen Normen in den einzelnen Fachdisziplinen der Technik zu untersuchen.
3. Elementare Materialien für eine gemeinsame Basis aus der Philosophie zu sammeln und klar zu definieren (Begriffe und Beschreibung).
4. Widersprüchliche Probleme und die Stabilität verschiedener logikorientierter Anwendungen technischer Prozesse zu untersuchen, besonders bei einer Formalisierung eines umfangreicheren, technischen Wissens.
5. Die resultierenden Ergebnisse auf Beispiele der Technik anzuwenden.
6. Zur Erweiterung der formalen Prozessbeschreibung (z.B. NAMUR/GMA-Richtlinie) beizutragen.
7. Verschiedene Instabilitätsursachen anhand technischer Beispiele zu untersuchen und Basisüberlegungen über die Anwendung der Logik festzulegen, den Faktor Mensch als Teilprozess in den technischen Prozessen mit zu berücksichtigen und schließlich die Ermöglichung automatischer Wissensverarbeitung durch logische Konzepte.

### 3 Stand der derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse

In Kapitel 3.1 werden die Grundbausteine noch einmal klar definiert, da sowohl die Philosophie als auch andere Fachdisziplinen der Technik wie Informatik, Elektrotechnik usw. eigene Begriffe oder logische Systeme benutzen und dadurch unterschiedliche Wissenspräsentationen in dem gemeinsamen Arbeitsbereich zu Missverständnissen führen können. Aufgrund dieser klaren Beschreibung soll die mögliche Anwendung logischer Kalküle und insbesondere die Anwendung des logischen Begriffs eines Widerspruchs klar definiert werden.

#### 3.1 Theoretische Grundlage in der Philosophie

Von der logischen Zielsetzung der Begriffe her, sollen die logischen Begriffe überall, also auch in allen beliebigen technischen Anwendungen, Gültigkeit haben. Die Anwendung allgemeiner Prinzipien ist aber in besonderen Fällen niemals trivial (die Anwendung ergibt sich nicht selbst), sondern erfordert nach Kant eigene Anstrengungen der Urteilskraft!<sup>6</sup>

Um diese Arbeit zu leisten, müssen die Begriffe der philosophischen Logik im Hinblick auf ihre Anwendung in der Technik expliziert werden, was in der reinen Philosophie selten geschieht, da einfach das Verständnis für technische Zusammenhänge fehlt.

##### 3.1.1 Logische Analyse der Sprache

Die menschliche Rede (Sprache) wird erst dann für den Hörer verständlich, wenn sie in Sinnzusammenhänge gegliedert wird. Erfahrungswerte oder Wissen werden in der Regel mit der Sprache mitgeteilt. Um richtig zu denken, zu argumentieren und letztlich schlüssig zu beurteilen, ist die logische Analyse der Sprache von großer Bedeutung. Diese Gliederung wird durch die Einteilung in Sätze vorgenommen [Knaack (2000)]. Die Grammatik zeigt, wie die Ausdrücke einer bestimmten Sprache korrekt zu bilden sind.

In dieser Arbeit wird der theoretische Aspekt der Sprache auf Aussagesätze mit bestimmter Zeitfolge (Präsens) beschränkt, nicht aber bezüglich Befehls-, Frage- oder Aufforderungssätzen. Die Aussagesätze geben eine Feststellung, eine Behauptung, eine Mitteilung oder einen Sachverhalt wieder. In der Regel ist ein Aussagesatz ein Hauptsatz mit Nebensatz und wird mit einem Punkt beendet. Der Mensch hat die Fähigkeit „richtig“ zu sprechen, zu denken, zu argumentieren, Folgerungen zu treffen und zu rechnen. Das tut er täglich, indem er

---

<sup>6</sup> Vgl. Kant „Kritik der reinen Vernunft“, S194 A130 ff. =B168 ff.

überlegt, wie die geläufige Praxis des Sprechens, Denkens, Argumentierens, Treffens von Folgerungen und Rechnens allgemein zu beschreiben ist und zwar unter dem Gesichtspunkt, dass es für diese Praxis einen Unterschied zwischen richtig und nicht richtig, zwischen korrekt und unkorrekt gibt. In den Formen des Sprechens fand man Anhaltspunkte zur systematischen Darstellung dessen, was die Schlüssigkeit eines Arguments ausmacht. Die formale Logik dient zur schlüssigen, systematischen und allgemeingültigen Darstellung von Gedanken und Argumenten. In der formalen Logik unterscheidet man zwischen Sprache als logischer Sprache, Objektsprache, Metasprache und Metametasprache.

### 3.1.2 Einige Besonderheiten der formalen Logik

Logische Sprachen sind, im Gegensatz zur natürlichen Sprache, künstliche Sprachen. Sie wurden entworfen und haben sich nicht entwickelt wie die natürliche Sprache. Als formale Rekonstruktion von Fragmenten der natürlichen Sprache dienen sie vor allem zwei Zwecken: der Erforschung der natürlichen Sprache, deren Rekonstruktion sie sind, und der formalen Beschreibung [Ehrig et al. (2001), S.329]. Die formale Logik teilte man traditionell in die Elementarlehre (Begriffe, Urteil, Schluss) und Methodenlehre (Untersuchung, Beweisverfahren) auf. Die moderne Logik strebt nach der Formalisierung und Mathematisierung, so hat man besonders in der Informatik die Entwicklung auf rein syntaktische Regeln beschränkt. Die moderne formale Logik verwendet Symbole und Kalküle. Wenn man die Entwicklung in der Informatik betrachtet, so ist festzustellen, dass sich die moderne Logik auf rein syntaktische Regeln beschränken will. Rein syntaktische Regeln beziehen sich nur auf Zeichen und ihre Anordnung, ohne Rücksicht auf ihre Bedeutung oder auf andere Umstände. Dies gilt besonders für logische Programmiersprachen wie z. B. PROLOG, LISP usw. Durch die Tatsache, dass viele Informatiker mit der Mathematik vertraut sind, verstärkt sich diese Entwicklung. Diese kann eigenständige Wissenschaftsprinzipien der Logik in der Informatik befestigen und gleichzeitig, unabhängig von der Logik, in der Philosophie eigene Wege weiter beschreiten. Gleichzeitig stoßen die Informatik oder andere Fachdisziplinen schnell an ihre Grenze, weil sie von der Komplexität der menschlichen Denkstruktur weit entfernt bleiben.

Die folgenden Begriffe sind meistens auf [Schütt, H.P. (2001)] und [Schütt, H.P. (2002)] bezogen und werden hier noch einmal erläutert. In meiner Arbeit werden diese Begriffe für die Beschreibungsaufgaben als Basis benutzt:

### Definition 3-1: Argumente

Logik ist das systematische Studium der Schlüssigkeit von Argumenten<sup>7</sup>. Diese Beschreibung hat drei Komponenten, die selbst systematisch ineinander greifen: es geht in der Logik um Argumente und um deren Schlüssigkeit, die es systematisch zu studieren gilt. Argumente sind sozusagen die Grundeinheiten des dialektischen Verkehrs und bestehen aus Prämissen<sup>8</sup> (Vordersätzen) und Konklusion<sup>9</sup> (Nachsätzen). Die Prämissen geben gute Gründe für die Konklusion, d.h. es wäre unvernünftig, die Prämissen für wahr, aber die Konklusion für falsch zu halten. In guten induktiven Argumenten, die von Einzelfällen zu etwas Allgemeineren „hinführen“, ist die Wahrheit der Prämissen aber keine Garantie für die Wahrheit der Konklusion wie bei deduktiven Argumenten, die meist von allgemeineren Prämissen zu einzelnen Fällen „herabführen“. Die Konklusion eines schlüssigen deduktiven Argumentes folgt logisch aus dessen Prämissen, d.h. es wäre nicht nur unvernünftig, sondern ein logischer Widerspruch, die Prämissen zu behaupten (für wahr zu halten), die Konklusion aber zu bestreiten (für falsch zu halten).

### Definition 3-2: Argumentschemata

Ein (deduktives) Argument ist ein Ensemble mehrerer Aussagen, das aus einer oder mehreren Prämissen  $p_1, \dots, p_n$  und genau einer Konklusion  $c$  besteht, schematisch:

$$\begin{array}{l} P_1 \\ M \\ p_n \\ \therefore c, \end{array}$$

wobei ‘ $\therefore$ ’ für den umgangssprachlich durch ‘also’, ‘folglich’ oder ‘ergo’ ausgedrückten Folgerungsanspruch steht. Dieses Schema<sup>10</sup> ist kein Argument. Aus ihm geht ja nicht hervor, welche Aussage aus welchen Aussagen folgern soll.

### Definition 3-3: Deskriptive Zeichen

Deskriptive Zeichen nennt man jene, die Dinge oder Eigenschaften von Dingen beschreiben.

---

<sup>7</sup> lat. arguere: im hellen Lichte zeigen, beweisen. „argumentum“ bezeichnet jede anschauliche Darstellung oder Erzählung, in juristischen Kontexten den Beweisgrund.

<sup>8</sup> lat. praemittere: vorausschicken, praemissa: die vorausschickte Behauptung

<sup>9</sup> lat. concludere: verschließen, abschließen, zusammenfassen einen Schluss ziehen.

<sup>10</sup> Das griech. `σχήμα` (sprich: schema) bedeutet ursprünglich wie Haltung, Gestalt oder Figur.

#### Definition 3-4: Logische Zeichen

Logische Zeichen dienen hauptsächlich zur Verbindung der deskriptiven Zeichen im Aufbau von Sätzen, z.B. „ist“, „nicht“, „und“, „oder“, „wenn - dann“ usw.

#### Definition 3-5: Kalkül

Ein Kalkül ist ein syntaktisches System zur Herstellung (Ableitung) endlicher Folgen, sogenannter Figuren, die aus vorgegebenen Basiselementen bestehen, aus Grundfiguren (Axiomen) nach festen Grundregeln. Logikkalküle sind solche Kalküle, deren Basiselemente und Figuren eine logische Interpretation haben, z.B. als wohlgeformte Formeln einer bestimmten logischen (formalen) Sprache. Zweck der Kalkülisierung der Logik ist die Zurückführung inhaltlich (semantisch) motivierter Folgerungsregeln auf syntaktische Ableitungsregeln.

#### Definition 3-6: Logische Interpretation (Regeln)

Die normale Interpretation des logischen Kalküls, Ausgangskalkül, Prämissen und Konklusion, triviale Ableitung, die aus vielen Schlussschritten besteht (Zwangsbedingung).

#### Definition 3-7: Interpretation der Axiomensysteme

Der logische Grundkalkül besteht aus dem Aussagenkalkül und einem größeren oder kleineren Teil des Prädikatenkalküls. Der spezifische Teilkalkül enthält normalerweise keine zusätzlichen Schlussregeln, sondern nur zusätzliche Grundsätze (Axiome). Wenn alle spezifischen Zeichen als logische Zeichen interpretiert sind, dann ist die Interpretation eine logische und  $L$ -determiniert, sonst ist sie deskriptiv. (Die Umkehrung gilt nicht immer.)

### 3.1.3 Aussagenlogik

In der Aussagenlogik sind die kleinsten berücksichtigten Einheiten des Sprechens einfache (atomare) Sätze, die definitiv entweder als wahr oder falsch angesehen werden. Diese werden in einem Kalkül der Aussagenlogik durch Satzbuchstaben repräsentiert und zwar

„A“, „B“, „C“ als Abkürzungen für bestimmte Aussagesätze

„p“, „q“, „r“ als Aussagevariablen.

Der Grundgedanke der Aussagenlogik ist, dass diese atomaren Einheiten durch so genannte Junktoren zu komplexeren molekularen Einheiten zusammengesetzt werden können. Diese wichtigsten logischen Konstanten der Aussageverknüpfung sind:

„&“ (lies: ‚und‘), „V“ (lies: ‚oder‘), „→“ (lies: ‚wenn dann‘),  
 „↔“ (lies: ‚genau dann wenn‘).

Diese Junktoren<sup>11</sup> verknüpfen je zwei Aussagesätze zu einem neuen Aussagesatz. Deshalb spricht man auch von zweistelligen Satzoperatoren. Eine wichtige Rolle spielt in der AL allerdings auch der einstellige Satzoperator „¬“ (lies: ‚nicht‘), durch dessen Anwendung, auf einen Aussagesatz, dessen Negation gebildet wird. Durch wiederholte Anwendung der genannten Operationen, wobei die Reihenfolge nötigenfalls durch Klammern anzuzeigen ist, können in der AL beliebig komplexe Aussagesätze berücksichtigt werden.

Definition 3-8: Symbole der AL; elementarste Zeichen

A, B, C – Abkürzungen für bestimmte Aussagen

p, q, r - Aussagenvariablen

&, V, ¬, →, ↔, ... - logische Konstanten (Junktoren: themenneutrale Ausdrücke)

Definition 3-9: Aussagevariablen

Aussagevariablen vertreten atomare Aussagesätze, die keine weiteren Aussagesätze als Teile enthalten.

Definition 3-10: Aussageform

Ein Ausdruck, der Variablen enthält und bei der Ersetzung von Variablen durch Konstanten in eine Aussage übergeht. Eine Aussageform, die als ein Platzhalter für molekulare Aussagesätze, die mindestens einen von ihnen selbst verschiedenen Aussagesatz als Teil enthalten, vertritt ist selbst weder wahr noch falsch.

Definition 3-11: Wahrheitsfunktionen (wahrheitsfunktionale Semantik)

Das syntaktisch definierte System aller aussagenlogischen Satzformen kann durch eine wahrheitsfunktionale Semantik ergänzt werden. (Bedeutungsfixierung für aussagenlogische

---

<sup>11</sup> lat.: iungere: verbinden, vereinigen.

Junktoren) Die Wahrheitstafel für ein Verknüpfungszeichen gibt die notwendigen und hinreichenden Bedingungen für die Wahrheit eines Satzes mit diesem Zeichen in Bezug auf die Wahrheitswerte seiner Glieder. Je nach der Anzahl der Argumentstellen spricht man von einstelligen (monadischen), zweistelligen (dyadischen) oder mehrstelligen Wahrheitsfunktionen. Die klassische Aussagenlogik ist eine zweistellige Logik.

Definition 3-12: Logische Folgerung

(Argumentformen, siehe Definition 3-2) In einer Argumentform unterscheiden wir zumindest zwei Positionen: eine für die Prämisse(n) vor der mit ‘ $\therefore$ ’ beginnenden Zeile, die andere für die Konklusion. Elementare schlüssige Argumentformen der Aussagenlogik sind:

*Modus ponens*<sup>12</sup>:

$A \rightarrow B$

$A$

$\therefore B$  (Also B)

*Modus tollens*<sup>13</sup>

$A \rightarrow B$

$\neg B$

$\therefore \neg A$

Definition 3-13: Hypothetische Urteile<sup>14</sup>:

Wenn  $p$ , dann  $q$ . Der wahrheitsfunktionale Subjunktiv ‘ $\rightarrow$ ’ gibt das umgangssprachliche „wenn ... , dann ...“ nicht perfekt, sondern nur in einer gewissen Hinsicht wieder, nämlich der wahrheitsfunktionalen. Dasselbe gilt für die umgangssprachlichen Varianten zu „wenn ... , dann ...“ wie z.B. „falls ... , auch ...“.

Definition 3-14: Tautologie

Eine (aussagenlogische) Tautologie ist eine Aussage, die Instanz einer *allgemeingültigen* aussagenlogischen Satzform ist.

---

<sup>12</sup> modus ponendo ponens von lat. pono = setzen, legen

<sup>13</sup> modus tollendo tollens von lat. tollo = aufheben

<sup>14</sup> Modi Hypothetischer Syllogismen und ist bedingt von einer Hypothese abhängig

Definition 3-15: Kontradiktion (Widersprüche)

Eine (aussagenlogische) Kontradiktion ist eine Aussage, die Instanz einer unerfüllbaren aussagenlogischen Satzform ist.

Definition 3-16: Logische Äquivalenz

Aussageformen  $\varphi$  und  $\psi$  heißen logisch äquivalent im Sinne der AL genau dann, wenn sie unter allen Interpretationen der Aussagenvariablen (Belegungen dieser mit Wahrheitswerten) stets denselben Wahrheitswert haben. Diese Äquivalenzbeziehung ist selbstverständlich reflexiv, symmetrisch und transitiv.

Definition 3-17: Allgemeingültigkeit

Eine Aussageform heißt allgemeingültig im Sinne der AL genau dann, wenn sie unter allen Belegungen (für jede Interpretation  $I$ ) den Wahrheitswert  $\top$  (wahr) erhält.

Man kann die Prüfungsschritte bei Wahrheitswertanalysen mittels Wahrheitstafel erfüllen.

Der hier skizzierte Kalkül der wahrheitsfunktionalen AL entspricht den Grundideen der klassischen Logik, wie sie z.B. auch in der Mathematik vorausgesetzt wird. Es gibt aber auch Kalküle der AL, die mit denselben Symbolen wie den oben unter Definition 3-8 genannten operieren, aber nicht wahrheitsfunktional sind, so z.B. die sogenannte intuitionistische AL, in der das „*Tertium non datur*“ nicht vorausgesetzt wird. Außerdem gibt es Erweiterungen der AL, die mit zusätzlichen Satzoperatoren arbeiten, wie z.B. die modale Aussagenlogik mit nicht-wahrheitsfunktionalen monadischen Aussageoperatoren, die interpretiert werden können durch „*Es ist notwendig, dass ...*“ und „*Es ist möglich, dass ...*“. Ferner gibt es zeitlogische Varianten von Kalkülen der modalen AL, deren Operatoren interpretiert werden können durch wie „*Es ist (jetzt) der Fall, dass ...*“, „*Es war der Fall, dass ...*“ und „*Es wird der Fall sein, dass ...*“.

#### 3.1.4 Prädikatenlogik

Die Prädikatenlogik ist auch eine Erweiterung der Aussagenlogik. Was hinzukommt, sind Quantoren, Funktions- und Prädikat<sup>15</sup>-symbole. Seine atomaren Formeln sind deshalb nicht ausschließlich einfache Gebilde wie die Aussagenvariablen der AL, sondern es kommen auch solche vor, die zusammengesetzt sind aus Individuenvariablen und Prädikat- bzw. Funktionssymbolen. Der Prädikatenkalkül enthält den Aussagenkalkül, sofern man Aussagevariablen als nullstellige Prädikatsymbole deutet. Nicht wahrheitsfunktional deutbare logische Symbole des Prädikatenkalküls sind der Allquantor (Interpretation: für jede  $x$ , ...) und der Existenzquantor (Interpretation: es gibt  $x$  derart, dass ...).

Definition 3-18: Symbole der PL

$a, b, c, d :$	Gegenstandskonstanten (Eigenname)
$x_i$ , oder $y, z :$	Gegenstands(Individuen)variablen
$P(x), P(x,y), P(x_1, \dots, x_n) :$	Prädikate
$f, g :$	Funktionssymbole

Definition 3-19 : offene und abgeschlossene Sätze

Offen heißt ein wohlgeformter prädikatenlogischer Satz, der mindestens eine freie (nicht durch einen Quantor gebundene) Individuenvariable enthält wie z.B. der folgende Satz:  
 $P(x,y)$  – interpretierbar z.B. durch ‘ $x$  kennt  $y$ ’.

Durch Hinzufügung eines Quantors für beide Variablen wird daraus z.B.:

$\forall y \exists x P(x,y)$  – interpretierbar z.B. durch ‘Alle kennen jemand’.

Hierin kommt keine freie Variable mehr vor, denn alle Vorkommnisse von Individuenvariablen sind durch einen Quantor gebunden. Das ist ein „ordentlicher“ oder abgeschlossener Satz, dem wir einen festen Wahrheitswert zuweisen können.

Definition 3-20: Identitätszeichen

Das Identitätszeichen ‘=’, das syntaktisch ein zweistelliges Prädikatsymbol ist, wird in der PL als eine logische Konstante verwendet, die anders als Prädikatsymbole nicht vor, sondern zwischen die Individuensymbole gesetzt wird, auf die sie sich bezieht (‘ $x = y$ ’, d.h.  $x$  ist identisch mit  $y$ ). Für die Negation dieser Beziehung gibt es ein eigenes Symbol:

---

<sup>15</sup> lat. praedicatum: wörtl. übersetzbar durch „Ausgesagtes“

$$(x \neq^{16} y) =_{df.} \neg (x = y)$$

Definition 3-21: singuläre und generelle Terme

Man unterscheidet zwischen 1. singulären und 2. generellen Terme. Die Unterscheidung ist einerseits semantisch, andererseits syntaktisch motiviert:

- a) Semantischer<sup>17</sup> Aspekt: Singuläre Terme nehmen jeweils auf einzelne Individuen Bezug, während es eine potentielle Vielzahl von Individuen ist, worauf ein genereller Term sich bezieht.
- b) Syntaktischer Aspekt: Singuläre Terme spielen für sich genommen in einem Satz typischerweise eine Rolle, die dem grammatischen Subjekt entspricht, während generelle Terme eine Position innehaben, die der eines grammatischen Prädikats analog ist<sup>18</sup>.

Definition 3-22: Formelsprache  $L$

Jede Vorüberlegung zur Prädikatenlogik führt im systematischen Aufbau zu einer prädikatenlogischen Formelsprache  $L$ , die die Syntax von  $L$  spezifiziert und  $L$  mit Semantik versieht, die es erlaubt, die Begriffe der Allgemeingültigkeit, der Erfüllbarkeit, der logischen Folgerung und der logischen Äquivalenz präzise zu definieren.

Definition 3-23: Atomare prädikatenlogische Formeln

‘ $P(x)$ ’ ist eine prädikatenlogische Formel der einfachst möglichen Gestalt. Durch Junktoren können solche Formeln zu komplexeren verknüpft werden, und durch Quantoren werden sie geschlossen. Die allgemeine Gestalt einer atomaren offenen prädikatenlogischen Formel ist (unter Weglassung der Klammern um die Individuenvariablen, auf die das Prädikatsymbol anzuwenden ist):

$$\Phi \alpha_1 \dots \alpha_n$$

Definition 3-24: Universum  $U$

---

<sup>16</sup>  $\neq$  Nicht –Identität von Individuen lat.: Diversitas (Verschiedenheit)

<sup>17</sup> griech. ‘σημαίνειν’ sprich: semainein, bezeichnen, bedeuten, Lehre von der Bedeutung der Zeichen, besonders sprachlichen Zeichen.

<sup>18</sup> Kant, ‘Begriffe’ beziehen sich als Prädikat möglicher Urteile auf irgendeine Vorstellung von einem noch unbestimmten Gegenstande.

Eine nicht leere Klasse<sup>19</sup> (oder Menge), mit Bezug auf deren Elemente die Formeln einer prädikatenlogischen Sprache interpretiert werden sollen, nennt man ein *Universum*, auch: Gegenstands- oder Individuenbereich.<sup>20</sup>

Definition 3-25: Interpretation und Bezug (engl. *reference*) prädikatenlogischer Formeln

Jede Zuordnung, die allen Individuensymbolen (Konstanten wie Variablen) genau ein Element aus  $U$  zuweist und jedem  $n$ -stelligen Prädikator ein geordnetes  $n$ -Tupel von Elementen aus  $U$ , heißt eine Interpretation der Formelsprache  $L$ .

Man sagt: eine solche Interpretation  $I$  weist jedem Individuensymbol  $\alpha$  und jedem Prädikator  $\Phi$  von  $L$  ein Bezugsobjekt zu, das bezeichnet wird mit

$Ref_I(\alpha)$ ,

kurz für ‘das Bezugsobjekt von  $\alpha$  unter der Interpretation  $I$ ’, bzw. mit

$Ref_I(\Phi)$ ,

kurz für ‘das Bezugsobjekt von  $\Phi$  unter der Interpretation  $I$ ’. Allgemein gilt:

$Ref_I(\alpha) \in U$  und  $Ref_I(\Phi) \subseteq U^n$ ,

wobei  $n$  die Stellenzahl des Prädikators  $\Phi$  ist.

Der Buchstabe ‘ $I$ ’ wird im Folgenden als Variable für solche Interpretationen verwendet, nötigenfalls mit Zahlenindizes, wenn es darauf ankommt, verschiedene Interpretationen zu unterscheiden. Sind  $U$  und  $I$  fixiert, dann gibt es nur eine einzige Bewertungsfunktion  $v_I$ , die allen Formeln von  $L$  genau einen Wahrheitswert zuweist, wenn für alle Prädikatoren  $\Phi$  gilt:

$v_I(\Phi\alpha_1 \dots \alpha_n) = \top$  genau dann, wenn  $(Ref_I(\alpha_1), \dots, Ref_I(\alpha_n)) \in Ref_I(\Phi)$

Die Wahrheitswertzuweisung ist abhängig von der Interpretation  $I$  und damit auch von der vorherigen Wahl des Universums  $U$ . In der Prädikatenlogik beginnt man also nicht mit einer frei gewählten Wahrheitswertverteilung, sondern diese ergibt sich aus dem vorher durch die Interpretation  $I$  fixierten Bezug der Individuensymbole und Prädikatkonstanten. Prädikatenlogische Instanzen allgemeingültiger aussagenlogischer Satzformen erhalten unter jeder beliebigen Interpretation  $I$  den Wahrheitswert  $\top$ .

Definition 3-26:  $L$ -Modell

Sei  $U$  irgendeine nicht leere Klasse von Individuen und  $I$  eine Interpretation von  $L$  auf Basis  $U$ , dann heiße ein  $L$ -Modell, wenn  $\mathcal{M} = \{U, I\}$ .

<sup>19</sup> lat. *classis*: die herbeigerufene oder versammelte Menge von Menschen.

<sup>20</sup> engl. *universe of discourse*.

Definition 3-27: „Baumaterial“ für die technische Terminologie

Baumaterial, das aus logischen und nicht logischen Zeichen besteht oder Vokabular. Das Alphabet der aufzubauenden Formelsprache z.B.:  $A, B$

Definition 3-28:  $\alpha$  – Alternative

Sei  $U$  eine nicht leere Klasse von Individuen,  $I$  eine Interpretation von  $L$  (auf der Basis von  $U$ ),  $P$  eine  $\alpha$  – Alternativ zu  $I$  und  $\mathcal{M} (= \{U, I\})$  eine  $L$ -Modell. Ein  $L$ -Modell  $\mathcal{M}'$  heiße:  $\alpha$  – Alternativ zu  $\mathcal{M}$  genau dann, wenn  $\mathcal{M}' = \{U, P\}$ .

Definition 3-29: Schlüssige Argumentform

i) Prinzip der universellen Spezialisierung:

$$\begin{aligned} &\forall x P(x) \\ \therefore &P(a) \end{aligned}$$

ii) Prinzip der existentiellen Generalisierung:

$$\begin{aligned} &P(a) \\ \therefore &\exists x P(x) \end{aligned}$$

Definition 3-30: Das Prüfen einer Folgerungsbehauptung

Wenn  $\exists x \forall y P(x,y) \models \forall y \exists x P(x,y)$  wahr ist, dann erfüllt jedes Modell, welches das Implikans  $\exists x \forall y P(x,y)$  erfüllt, auch das Implikat  $\forall y \exists x P(x,y)$  oder, dann gleichbedeutend widerlegt jedes Modell, welches das Implikat widerlegt, auch das Implikans. Logische Folgerung ist nichts anderes als die Allgemeingültigkeit der Subjunktion von Implikans und Implikat. Eine Formel ist genau dann unerfüllbar, wenn ihre Negation allgemeingültig ist.

Definition 3-31: Identität

Für beliebige Individuenvariablen  $\xi$ , beliebige einstellige Prädikatkonstanten  $\Phi$  und beliebige Individuenkonstanten  $\alpha_1$  und  $\alpha_2$  sowie beliebige Modelle  $\mathcal{M} (= \langle U, I \rangle)$  gilt:

$\mathcal{M}$  erfüllt  $\forall \xi (\Phi \alpha_1 \equiv \Phi \alpha_2)$  genau dann, wenn  $ref_I(\alpha_1) = ref_I(\alpha_2)$

Dieses Substitutionsprinzip besagt: In einer  $L$ -Formel  $\Phi_{\alpha_1}$  darf man  $\alpha_1$  durch  $\alpha_2$  substituieren, falls die  $L$ -Formel  $\alpha_1 = \alpha_2$  als Voraussetzung zur Verfügung steht. Logisch gesehen ist die Identität durch zweierlei bestimmt: durch Reflexivität und Substitutivität.

### 3.1.5 Mengenlogik

In der *Fuzzy*-Logik werden atomare Aussagen nicht unmittelbar als entweder wahr oder falsch bewertet, sondern auf eine sogenannte *Fuzzy*-Menge bezogen. Das ist der Unterschied zur zweiwertigen Aussagen- oder Prädikatenlogik. Man kann Mengenaussagen logisch verknüpfen und in der klassischen Logik geltende Aussagen auch hier erfüllen.

Unter einer Menge verstehen wir nach Cantor jede Zusammenfassung von bestimmten wohlunterschiedenen Objekten unserer Anschauung oder unseres Denkens zu einem Ganzen.

Begriffe der Elementbeziehung:  $x$  ist Element (Objekte) von  $M$  (alle Mengen):  $x \in M$

Definition 3-32: Unterschied zwischen Element und Menge

Wenn  $x \in M$ , dann ist  $x$  nicht identisch mit  $M$  ( $x \neq M$ )

Definition 3-33: Mengenklammern

{ } die Menge, welche genau die folgenden Objekte als Elemente enthält:

Z.B. {  $x$  |  $x$  ist eine natürliche Zahl, die kleiner als 10 ist }

Definition 3-34: Teilmenge (Untermenge)

Eine Menge  $N$  heißt Teilmenge einer Menge  $M$  genau dann, wenn alle Elemente von  $N$  auch Elemente von  $M$  sind; kurz:  $N \subseteq^{23} M$ , in diesem Fall heißt  $M$  Obermenge zu  $N$ .

Definition 3-35: Extensionalitätsprinzip

Für alle Menge  $M, N$ :  $M = N$  genau dann, wenn  $(N \subseteq M) \& (M \subseteq N)$

Das heißt: Mengen sind identisch, wenn sie nur dieselben Elemente aufweisen, also denselben Umfang (Extension) haben.

---

<sup>23</sup> anderes Symbol z.B.  $\subset$  wird auch benutzt

## Definition 3-36: Die leere Menge

Es gibt (genau) eine Menge, die kein einziges Element enthält:  $\{\}$  oder  $\emptyset$ . Kein Objekt ist Element der leeren Menge, aber die leere Menge existiert und ist Teilmenge jeder Menge.

## Definition 3-37: Potenzmenge

Die Menge aller Teilmengen einer Menge  $M$  wird die Potenzmenge von  $M$  genannt (Sie enthält  $M$  selbst und die leere Menge. Z.B  $M=\{0,1\}$  lautet die Potenzmenge  $\{\{\},\{0\},\{1\},\{0,1\}\}$ ). Ist  $n$  die Anzahl der Elemente von  $M$ , so hat die Potenzmenge  $2^n$  Elemente.

## Definition 3-38: Mengenoperation

i) Durchschnitt:  $\cap$

$$M \cap N = \{x / x \in M \ \& \ x \in N\} \text{ oder } M \cap N = \{0\}$$

ii) Vereinigung:  $\cup$

$$M \cup N = \{x / x \in M \vee x \in N\}$$

Differenz von  $M$  und  $N$  (relative Komplement zu  $N$  in  $M$ ):

$$M / N = \{x / x \in M \ \& \ x \notin N\}$$

## Definition 3-39: Fuzzy Mengen

Sie bilden die charakteristischen Funktionen, die die Zugehörigkeit zu einer Klasse beschreiben (siehe 4.3.3 Fuzzy-Logik)

## Definition 3-40: Komplement

$$\text{Komplement von } A \text{ in } M: \neg A = \{x / x \in M \ \& \ x \notin A\}$$

$$\text{Die Differenz } M \setminus N \text{ (das relative Komplement zu } N \text{ in } M) = \{x / x \in M \ \& \ x \notin N\} = M \cap \neg N$$

## 3.1.6 Wahrscheinlichkeit

Für die Aussagen für unsicheres Wissen oder Betrachtung von Phänomenen, die vom Zufall abhängen, spielt die Wahrscheinlichkeit eine wichtige Rolle.

## Definition 3-41: Symbole der Wahrscheinlichkeit

Ereignisraum (Grundraum):  $\Omega =$  Menge von  $\{X\}$ , endlich und nicht leere Menge

Diskrete Wahrscheinlichkeitsräume, Allgemeine Wahrscheinlichkeitsräume

Deren Element:  $\omega$  mögliche Ausgänge, Ereignis:  $A$

Man interessiert sich in vielen Fällen nicht für den genauen Ausgang  $\omega \in \Omega$  eines Zufallsexperiments, sondern lediglich dafür, ob ein gewisses Ereignis eintritt.  $A \subseteq \Omega$

Potenzmenge von  $\Omega$ :  $P(\Omega) = I$  bedeutet dass das Ereignis  $\Omega$  bei jedem Experiment eintritt (oder 100 %). Ereignisse: sicheres Ereignis =  $P(\Omega) = I$ , unmögliches Ereignis  $P(\Omega) = \{0\}$ ,

Subjektive Maßzahlen: Ausgehend von Erfahrungen schätzt man.

Bedingte Wahrscheinlichkeiten: Sei  $Y$  ein Ereignis mit  $P(Y) > 0$ , dann

$P(X|Y) = P(X \cap Y) / P(Y)$  wobei  $P(Y) \neq 0$  ist.

### 3.1.7 Relationen

Die Produktmenge von  $N_1$  und  $N_2$  ( $N_1 * N_2$ ) ist die Menge aller geordneten Paare  $(x_1, x_2)$ , wobei  $x_1 \in N_1, x_2 \in N_2$  und eine Teilmenge  $R$  der Produktmenge  $N_1 * \dots * N_n$  nennt man n-stellige Relation.  $x R y =$  zwischen  $x$  und  $y$  besteht die Relation  $R \leftrightarrow (x, y) \in R$

Definition 3-42: Inverse Relation

Ist  $R$  eine in  $N_1 * N_2$  definierte zweistellige Relation so ist  $R^{-1} = \{(x_1, x_2) / (x_2, x_1) \in R\}$ ,

Definition 3-43: Ordnungsrelation

Sei  $M$  irgendeine nicht leere Menge,  $N$  eine Teilmenge von  $M$  und  $R$  eine beliebige zweistellige Relation über  $M$ . (Im Folgenden werde ich abweichend von der oben angegebenen Schreibweise Relationssymbole wie 'R' nicht vor, sondern zwischen die Individuensymbole stellen, auf die sie anzuwenden ist).  $R$  ist eine Ordnungsrelation über  $M$  genau dann, wenn für beliebige  $x, y, z \in M$  gilt:

$xRx$  ( $R$  ist reflexiv)

$(xRy \ \& \ yRx) \rightarrow x = y$  (antisymmetrisch)

$(xRy \ \& \ yRz) \rightarrow xRz$  (transitiv).

$M$  ist dann eine durch die Relation  $R$  geordnete Menge.

### 3.1.8 Abbildungen

#### Definition 3-44: Abbildung

Eine Abbildung (Funktion) von  $U$  in  $U'$  ist eine in  $U * U'$  definierte 2-stellige Relation.

$U \rightarrow U'$  ist genau dann gegeben, wenn jedem  $x$  aus einer Definitionsmenge  $U$  eindeutig ein  $y$  einer Menge  $U'$  zugeordnet ist (nach dem Funktionsvorschrift  $f$ ).

- i) Surjektive Abbildung:  $U \rightarrow U'$  bei der jedes  $y \in U'$  Bild mindestens eines Originals  $x \in U$  ist
- ii) Injektive Abbildung:  $U \rightarrow U'$  bei der verschiedene Original  $x_1, x_2 \in U$  auch verschiedene Bilder  $f(x_1), f(x_2) \in U'$  haben
- iii) Bijektive Abbildung:  $U \rightarrow U'$  ist eine zugleich injektive und surjektive Abbildung

### 3.1.9 Andere nicht formale Logikkonzepte

Während die formale Logik die Theorie der extensiven Beziehung zwischen Aussagen, Begriffen usw. ist, untersucht die dialektische Logik die intentionale Beziehung (Intentionale Logik sei fast eine Modalenlogik). Hauptinhalt der dialektischen Logik sind die Beziehungen, Übergänge, dialektischen Widersprüche der Begriffe, wobei diese Begriffe (und ihre Beziehung, Übergänge, Widersprüche) als Widerspiegelungen der objektiven Welt gezeigt sind [Dürr (2001)]. These – Antithese – Synthese: Dieser dialektische Dreischritt wurde schon von Fichte verwendet. Was Hegel lediglich hinzufügt ist unter anderem ein tieferes Verständnis der Synthese; Das Wahre ist das Ganze: die einzelnen Gegenstände sind nur Momente vom Ganzen und für sich allein betrachtet unwahr. Die Antithese wird in der These selbst gefunden, weil beide Begriffe qualitativ auf ein höheres Gemeinsames bezogen sind. In der Hegel'schen Philosophie ist die Dialektik nicht nur die Art, wie sich das Denken vollzieht, sondern die Dialektik<sup>24</sup> ist die Form, in der das ganze Sein sich entwickelt. Die dialektische Selbstbewegung des Denkens und die dialektische Selbstbewegung der Wirklichkeit sind im Grunde ein und derselbe Vorgang. Das Sein ist von Gegensätzen, von Widersprüchen durchzogen. Die Widersprüche sind die Triebkraft der Bewegung und Bewegung ist die Voraussetzung von Existenz. Logik hat nicht nur Gültigkeit für das Denken, sondern für das Sein schlechthin. Logische Begriffe sind nicht nur Denkgesetze, sondern Wesenheiten. Die formale, aristotelische Logik ist nicht das oberste Prinzip. Gegensätze schließen sich nicht aus. Ein Denken, das sich logisch oder wissenschaftlich nennt, aber nicht dazu in der Lage ist, die in der Wirklichkeit vorhandenen Gegensätze, Widersprüche zu verarbeiten, ist wertlos

[www.Phillex.de; Peter Möller]. Nach Georg Friedrich Wilhelm Hegel ist das Wahre das Ganze: die einzelnen Gegenstände sind nur Momente vom Ganzen und für sich allein betrachtet unwahr. Das Einzelne existiert nur, weil auch das Andere existiert und alles zusammen das Ganze bildet. Hegel beschreibt die Entwicklung die sich der Wahrheit nähert mit der von ihm begründeten Dialektik. Des Weiteren beschreibt sie laut Hegel nicht nur die Art, wie sich unser Denken vollzieht, sondern die Dialektik ist die Form, in der das ganze Sein sich entwickelt. In ihr werden These und Antithese „aufgehoben“, wobei dieses Wort drei verschiedenen Sinnesrichtungen folgt:

1. Aufheben im Sinne von „Beseitigen“,
2. Aufheben im Sinne von „Bewahren“,
3. Aufheben im Sinne von „Hinaufheben“, auf eine höhere Stufe bringen.

Jedoch ist noch unklar, wie dieser Vorgang von These und Antithese zur Synthese funktioniert (streng gesagt, sie ist keine Logik, sondern inhaltliche Theorie). Die Synthese wiederum bildet eine neue These, die auf einer höheren Stufe als die vorige zu betrachten ist. Gleichzeitig birgt die neue These in sich, wie schon erwähnt, wieder eine Antithese. Wobei sich diese Entwicklung unendlich fortsetzen müsste. Doch Hegel setzt an das Ende dieser Entwicklung die absolute Wahrheit. Wohl bemerkt stellt dies ein Widerspruch zu der unendlichen Entwicklung dar, die sich damit begründet, dass die These immer eine Antithese beinhaltet. Wahrscheinlich ist die Vorstellung, dass es ein Ende gibt, damit in Verbindung zu bringen, dass Hegel Theologie studiert hat, denn streng logisch genommen ist dies nicht nachvollziehbar. Geht man also davon aus, dass es stimmt, dass die Antithese in der These zu finden ist, so werden wir nach Hegel der Wahrheit zwar näher kommen, aber sie niemals vollständig erreichen. Doch was zeichnet die absolute Wahrheit aus? Im Allgemeinen ist eine absolute Wahrheit die, die sich weder ergänzen lässt noch irgendeinen Widerspruch aufweist. Resultat ist, dass es keine absolute Wahrheit gibt, wenigstens auf dieser Erde. Das hat Hegel indirekt gesagt. Die Hegelsche Wissenschaft der Logik ist nicht dazu gedacht, um die Geschäfte der formalen Logik zu erweitern.

---

<sup>24</sup> griech. ‚διαλεκτική‘: Kunst oder Lehre des Unterredens oder Gesprächs

## 4 Anwendungen logischer Kalküle in technischen Prozessen

### 4.1 Problem bei der Erweiterung der logischen Kalküle

Was ist ein logischer Kalkül? Die Logik ist hier als formale Logik gemeint, weil die Kriterien der Schlüssigkeit z.B. von Argumenten mit Bezug auf bestimmte Ausdrucksformen formuliert sind. Der formale Ausdruck muss definiert werden oder explizit spezifiziert werden. Das geschieht durch eine Fixierung der logischen Konstanten, die Vorläufer in der natürlichen Sprache haben und zwar in der Gestalt von themenneutralen Ausdrücken. Dazu gibt es letztlich beliebig viele. Die AL konzentriert sich auf Satzoperatoren oder Aussageoperatoren, vollkommen unabhängig davon, über welche Themen geredet wird. Für die PL kommt der themenneutrale sprachliche Verknüpfungsmechanismus, nämlich das Prädikat, hinzu. Das entscheidende Stück bei dem Übergang von den AL zum Prädikat und zur Quantifikation sind die Quantoren, die in der natürlichen Sprache neutral sind. In der AL gibt es die modale Logik und sie orientiert sich weiter an klassenthemenneutralen Modaladjektiven, wie z.B. „möglich“, „unmöglich“, „notwendig“, beziehungsweise an Modalenverben, wie: „müssen“, „können“, „dürfen“. Hier werden weitere logische Konstanten in Gestalt von Satzoperatoren eingeführt. Die temporale Logik macht dasselbe wie bei der Modalenlogik für Temporalverben. Außerdem gibt es einige Wörter wie „Dinge“, „Eigenschaften“, „Prozess“, „Ereignis“ oder „Ablauf“. Mit solchen Wörtern versucht man weitere logische Kalküle zu bauen. Man kann viele neue sprachliche Elemente klassischer Logik hinzufügen, indem man immer weitere logische Konstanten einführt. Dieser Vorgang wird in derselben Weise gemacht; Man spezifiziert die Grundformel und inhaltlich motiviert zeichnet man bestimmte Grundformeln als Axiome<sup>25</sup> aus. Man überlegt Schlussregeln und schaut, wie sie sich zur Konsequenz entwickeln, wenn man die Regel fixiert hat. Man bekommt immer weitere Logiksysteme, indem man sich weitere themenneutrale Ausdrücke aus der natürlichen Sprache heraussucht. Man versucht ihre Konsequenz und Standardform in der Semantik im Griff zu halten. Diese Semantik basiert meistens auf die Mengentheorie [Schütt (30.09.04)].

Wir haben mit Satzbuchstaben, Junktoren, Prädikatsymbolen, Individuums-Symbolen, Quantoren, logischen Konstanten, Modaloperatoren und Temporaloperatoren angefangen und nun können wir auch die Zahlen dazu nehmen. Die Zahlen sind auch themenneutral und die entsprechende Logik dazu ist die Zahlentheorie. Sie unterscheidet sich von der reinen Logik dadurch, dass man für bestimmte Ausdrücke keine logische Konstante nimmt. Sie nehmen Prädikatsausdrücke, gewisse Prädikats-Konstanten, gewisse Individuums-Konstanten zur Sprache hin und zeichnen bestimmte Sätze, die von der prädikatslogischen Betrachtung her

nicht allgemein gültig ist (keine Tautologie). Diese erklärt man für wahr, z.B. eins ist eine natürliche Zahl. Sie ist fest und gleichzeitig inhaltlich motiviert zugewiesen. Wir setzen Axiome als wahre Theorie. Alles was sich mit prädikatslogischen Mitteln ableiten lässt, gehört zur Zahlentheorie, die viele interessante Gleichungen ausgibt. Die Mathematik kann man als inhaltlich motivierte Erweiterung des logischen Kalküls ansehen. Wenn man diese inhaltliche Erweiterung auf eine andere Logik, wie z.B. die dialektische Logik, die epistemische Logik usw. ausdehnen will, leiden wir unter einer selbst verursachten, logischen Inkonsistenz. In der angewandten Logik für Technik und Naturwissenschaft versucht man alle möglichen Konstanten als logische Konstanten zu entwickeln und gleichzeitig komplizierte Beschreibungen über technische Konzepte zu machen. Dabei läuft man Gefahr, dass man mit dieser Undurchsichtigkeit der Begriffe die reale Welt falsch beschreibt. Jede Fachdisziplin entwickelt sie selbst, je nach dem wie sie gebraucht werden. Die benutzten Symbole für Formalisierung werden oft zweideutig benutzt und auf verschiedene Weise interpretiert.

Die in Kapitel 3 genannten Begriffe stellen nur einen kleinen Teil aller logischen Begriffe dar. Die Nutzung des Wissens in Form von logischen Zusammenhängen wird immer wichtiger in der Zukunft der Technik. Das Ziel einer formalen Prozessbeschreibung ist eine einfache, branchenneutrale (themenneutrale) und übergreifende Beschreibung technischer Prozesse. Formalisierung heißt eine definierte Menge von Symbolen, Operationen plus Syntax und Semantik. Wir brauchen die definierte Sprache für die Technik. Bei der Anwendung logischer Kalküle im technischen Bereich bleibt die Frage, ob logische Begriffe in der Philosophie auf die Technik oder Naturwissenschaft übertragen werden können. Wenn ja, dann versuchen wir die grundlegenden Erkenntnisse der Philosophie in der Technik zu nutzen. Im Lexikon ist der Begriff der Logik wie folgt beschrieben: „Die Lehre vom schlüssigen und folgerichtigen Denken, v. a. vom richtigen Schließen, welches dadurch gekennzeichnet ist, dass es zu wahren Voraussetzungen wahre Schlüsse liefert.“ Die Entwicklung der Logik hat sich über diese Erklärung hinaus weiterentwickelt. Ihre Umsetzung in der Technik wird unübersehbar für die Informatik und Ingenieurwissenschaft immer wichtiger. Je mehr wir uns mit dem technischen Fortschritt auseinandersetzen, desto mehr denken wir nach, wie wir sichere und zuverlässige Systeme entwerfen oder bauen können. Umgekehrt untersuchen wir was unsichere und instabile Faktoren sind. Was jedoch macht unser Wissen oder unsere Gedanken unsicher? In diesem Aspekt spielt die

---

<sup>25</sup> griech.: ‘ἀξιωμα’: das Geforderte, ein ohne Beweis als wahr angenommener Satz.

Untersuchung der Widersprüche eine große Rolle. So können widersprüchliche Informationen oder fehlerhaftes Denken zur Instabilität eines Systems führen.

## 4.2 Der Zusammenhang zwischen Widersprüchen und Systeminstabilität

Die Untersuchung von Widersprüchen und Instabilitäten verschiedener Axiome kann uns ein besseres Verständnis über die Dynamik und Komplexität des Prozesses geben. Was ist ein Widerspruch? Nach dem Prinzip der Zweiwertigkeit (Bi-Valenz) ist keine Aussage gleichzeitig wahr und falsch, vielmehr ist jede Aussage entweder wahr oder falsch. Wir Menschen können widersprüchliche Situation wahrnehmen. Aber kann das System, das mit menschlicher Logik programmiert ist, automatisch erkennen oder detektieren, wann die Prozesssituation einen bestimmten Zustand erreicht hat und wann nicht? Um dieses Problem zu lösen, brauchen wir Algorithmen für die Identifikation von Situationen, in denen Widersprüche auftreten oder die Widersprüche erzeugen. Es ist nicht einfach, genaue Aussagen zu machen, was die Stabilität der logisch orientierten Systeme verletzen kann und wann dies geschieht. In unserer Welt existiert das Instabilitäten verursachende Element mit dem stabilen Faktor gleichermaßen. Solange die Faktoren, die zur Instabilität gehören, koexistieren, bleibt das System unruhig (quasi instabil oder in schwingendem Zustand). Hier kann man folgende Ansätze bilden: die Realität oder die Prozesse sind neutral. Nur um die Realität zu erfassen, brauchen wir Signale von Sensoren, die ein Abbild der Realität ermöglichen. Dieses Abbild ist gegebenenfalls teilweise vollständig oder verzerrt falsch (Strukturfehler). Bei Abrufen dieses Abbildes spielt das Problem des Widerspruchs eine Rolle. Der Vorgang der Abbildung bringt eine Interpretation oder ein Modell des Zustandes der Realität hervor. In einem anderen Sinne von 'Widerspruch' bezeichnet nun POPPER „eine Theorie als falsifizierbar oder empirisch, wenn sich aus der Gesamtklasse aller zu dieser Theorie überhaupt denkbaren Basissätze (die also auch einander widersprechende Sätze enthält) eine nicht leere Teilklasse solcher Basissätze abgrenzen lässt, die zur Theorie in Widerspruch stehen“ [Stachowiak(1973), S. 29]. Wenn diese Interpretation widerspruchsfrei ist, dann kann das System stabil arbeiten.

### 4.2.1 Charakteristik der Widersprüche

Ein Widerspruch ist eine extreme Form des Gegensatzes, bei dem sich absolute Bejahung und absolute Verneinung oder absoluter Ausschluss gegenüberstehen. Wie schon Aristoteles gesagt hat, bedeutet der Widerspruch in der Logik: „Etwas kann nicht zugleich und in gleicher Hinsicht sein und nicht sein, so sein und anderes sein, so gedacht werden und anderes gedacht

werden“. Hier ist vor allem die gleichzeitige Gültigkeit von Bedeutung. Wenn zwei Gegensätze nicht gleichzeitig auftreten, dann spielt der Widerspruch eine kleinere Rolle. Bei der mehrwertigen Logik sieht es jedoch anders aus. Die Resolutionsregel führt zum Widerspruchsbeweis. Für technische Anwendungen sind eindeutige Begriffe und Prozessbeschreibungen notwendig. In der normalen Sprache stellen sie sich meist im Bereich des Willens ein, so widerspricht man sich oft und das unabhängig von der Wahrheit (Meinungsunterschied, das Prinzip der Verneinung, das Prinzip der Übereinstimmung).

#### 4.2.2 Widerspruch im Prinzip der Zweiwertigkeit

Das Prinzip der Zweiwertigkeit bzw. das Bivalenzprinzip (von lat. bi valeo, sich auf zwei beziehen) nennt sich das semantische Prinzip, wonach jeder Satz entweder wahr oder falsch sein muss, unabhängig von unserer Fähigkeit seinen Wahrheitswert festzustellen. Das schon bei Aristoteles diskutierte Prinzip wird in der klassischen Aussagenlogik durch Bewertungen umgesetzt, die in der Boolesche Algebra zweistellig sind. Aus dem Prinzip der Zweiwertigkeit folgen zwei Prinzipien:

1. Das Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch (auch: Satz vom Widerspruch, Prinzip vom Widerspruch, Kontradiktionsprinzip), das besagt: keine Aussage ist zugleich wahr und falsch.
2. Das Prinzip vom ausgeschlossenen Dritten, welches auch „tertium non datur“ (lat.: ein Drittes gib es nicht) genannt wird, das besagt: Jede Aussage ist wahr oder falsch.

Als erster formulierte Aristoteles die logischen Grundgesetze des Widerspruchs und des ausgeschlossenen Dritten und wendete sie auf Aussageverbindungen an. Das Prinzip der Zweiwertigkeit wird für nicht-klassische Logiken zurückgewiesen oder verändert, indem auf das Prinzip vom ausgeschlossenen Dritten verzichtet und angenommen wird, dass Aussagen mehr als zwei Wahrheitswerte (mehrwertige Logiken) oder keine haben können. Auch die intuitive Logik verzichtet auf das Prinzip vom ausgeschlossenen Dritten. Parakonsistente Logiken verzichten auf das Prinzip vom ausgeschlossenen Widerspruch und akzeptieren, dass Aussagen mehrere Wahrheitswerte haben können. Ähnlich die imaginäre Logik von N. A. Wassiljew. In Dummetts Sprachphilosophie ist die Zustimmung zum Prinzip der Zweiwertigkeit charakteristisch für den bedeutungstheoretischen Realisten [www.phillex.de: Bivalenzprinzip (2002)].

### 4.2.3 Gleichzeitigkeit und Gegensätzlichkeit

In einer Formulierung des Prinzips vom zu vermeidenden Widerspruch, das Aristoteles (z.B. *Met.* IV.3, 1005<sup>b</sup>26 f.) zur Debatte gestellt hat, heißt es:

„Es ist unmöglich, dass demselben (*tōi autōi*) zugleich (*hāma*) Gegensätzliches (*tanantía*) zukommt.“

Die hier unverzichtbaren Begriffe der Gleichzeitigkeit und des Gegensatzes werfen allerdings, wie sich zeigen wird, für die Interpretation im Kontext technischer Systeme Probleme auf. Was ist die Gleichzeitigkeit? So sagt Kant bei der philosophischen Begründung der klassischen Physik: „Die Bestimmung von Ereignissen in der Zeit kann nun nicht von dem Verhältnis der Ereignisse gegen die absolute Zeit entlehnt werden, denn die ist kein Gegenstand der Wahrnehmung, sondern umgekehrt, die Ereignisse müssen einander ihre Stellen in der Zeit selbst bestimmen“ [Schnieder (1992)].

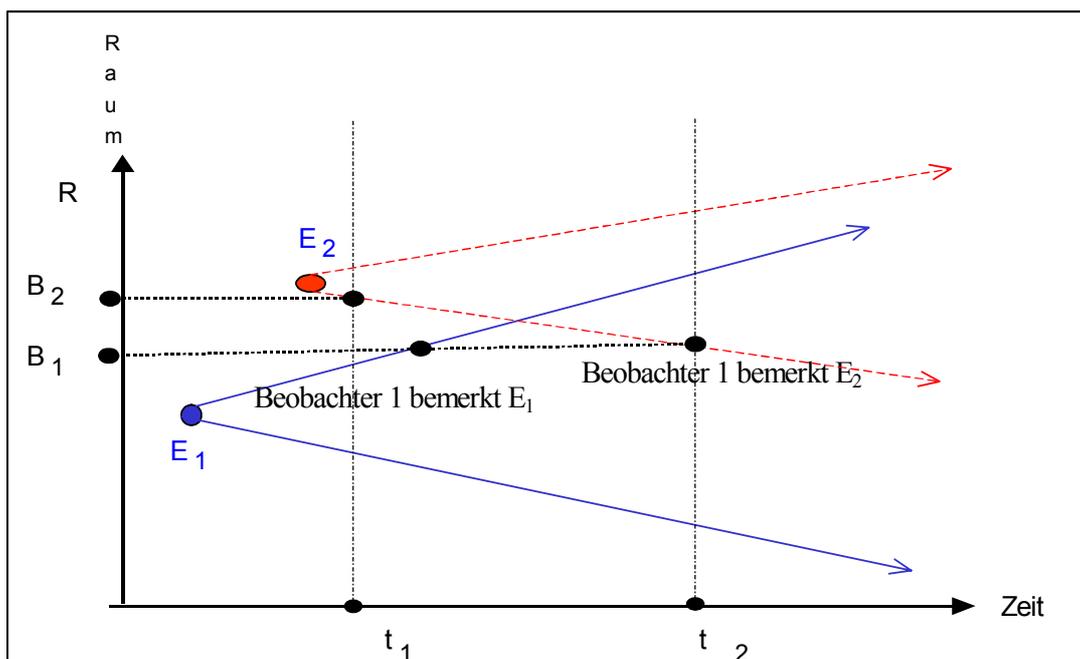


Abbildung 1: Gleichzeitigkeit

Das, was den Ereignissen ihre Stelle in der Zeit zuordnet, ist das Kausalverhältnis: wenn ein Ereignis A ein Ereignis B beeinflusst, dann ist deren zeitliche Reihenfolge festgelegt (nämlich A vor B). Die Gleichzeitigkeit von Ereignissen liegt bei einer wechselseitigen, kausalen Beeinflussung vor. Gleichzeitige Ereignisse an verschiedenen Orten müssen einander ohne Verzögerung (Lichtgeschwindigkeit) beeinflussen können. In der Relativität gilt die Gleichzeitigkeit, wenn mindestens zwei Beobachter unabhängig voneinander das Ereignis erkennen, nur dann, wenn sich beide an gleichen Orten befinden. Aber weder Zeit noch Raum

ist absolut, deshalb irrt sich der Mensch. Hier ist es notwendig einen Bezugspunkt festzulegen. Mit dieser Erkenntnis soll man Ereignisse wahrnehmen.

Der Beobachter  $B_1$  in der Abbildung 1 sieht die Ereigniswelle  $E_1$  zuerst zum Zeitpunkt  $t_1$  und  $E_2$  erst zum Zeitpunkt  $t_2$ . Der Beobachter  $B_2$  sieht zuerst  $E_2$  danach  $E_1$ . Wer hat Recht? Wahrscheinlich haben beide Recht. Diese Interpretation  $I_i$  existiert in der Realität. Objektive Gleichzeitigkeit kann nur stattfinden, wenn sich  $B_1$  und  $B_2$  am gleichen Ort befinden [Penrose (1989)]. Der Begriff „Gleichzeitigkeit“ setzt den gleichen Ort voraus. Den gleichen Ort kann man als gleiche Ebene (siehe Kap. 5.7) betrachten.

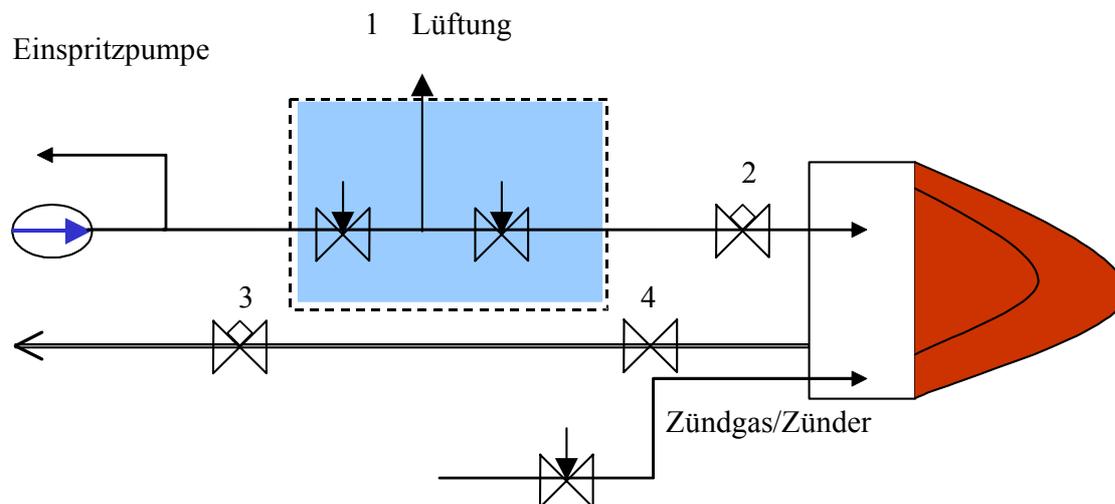


Abbildung 2: Brennkammer

Ventil 1: Doppelabsperrramatur (Schnellschlussventil)

Ventil 2: Schnellschlussventil

Ventil 3: Rücklaufschnellschlussventil

Ventil 4: Rücklaufabsperrrventil

In der Anlagenleittechnik wird diese Gleichzeitigkeit als Synchronisation aller beteiligten Komponenten bezeichnet. Abbildung 2 zeigt den Verbrennungsprozess in einer Anlage. Als Anfangsbedingung sind alle Ventile (1 - 4) geschlossen und die Einspritzpumpe ist eingeschaltet. Das Zündgas-Ventil wird geöffnet und gleichzeitig der Zünder eingeschaltet. Die Ventile 1, 2, 3 und 4 müssen gleichzeitig geöffnet sein. Wenn aber Ventil 3 mit einer längeren Verzögerung wie Ventil 4 aufgemacht wird, dann strömt die volle Menge Brennstoff in die Brennkammer hinein, wodurch diese explodieren könnte, weil der Zünder in Betrieb ist. Diese Maßnahme reicht jedoch zur Gewährleistung der Sicherheit nicht aus. Daher muss die Anlagenhauptuhr den Zeittakt der Prozesse steuern oder der Ventilöffnungsvorgang soll nach

den Ereignissen gesteuert werden. Die Synchronisation gilt auch für die Protokollierung wichtiger Ereignisse in den Anlagen.

Die Definition der Gleichzeitigkeit muss ihrer Benutzbarkeit angepasst werden. Dabei ist von großer Bedeutung, wie sich die Synchronisation des Systems zum sogenannten Synchronabstand verhält. Der *Synchronabstand* zwischen zwei Ereignismengen ist definiert als die positive ganze Zahl, die angibt, wie viele Ereignisse aus einer der Ereignismengen maximal auftreten können, ohne dass ein Ereignis aus der zweiten Ereignismenge zwischen ihnen liegt. Aus dem Synchronabstand ergibt sich die Größe  $\Delta t$ , die den kleinsten im System erfassbaren Abstand zwischen Zeitstellen bezeichnet. Um die Probleme darzustellen, die eine Anwendung der Begriffe der Gleichzeitigkeit und der Gegensätzlichkeit im Hinblick auf technische Systeme bereiten kann, betrachten wir im Folgenden als Beispiel ein einfaches System der Füllstandsmessung. Gegeben sei ein solches System  $x$ , dessen mögliche Zustände beschrieben werden durch eine Zustandsfunktion  $z$ . Das heißt: Der Zustand von  $x$  zu einer bestimmten Zeit  $t$  werde ausgedrückt durch einen Messwert  $m$ , der zwischen 0 und 100 Einheiten liegt. In prädikatenlogischer Notation beschreibt eine Gleichung der folgenden Form einen bestimmten Systemzustand:

$$z(x,t) = m. \quad (4-1)$$

Die Zahlenwerte für die Variable ' $m$ ' sind auf einer metrischen Skala angeordnet. Eine einfache Messkurve beschreibt eine mögliche Abfolge von Systemzuständen:

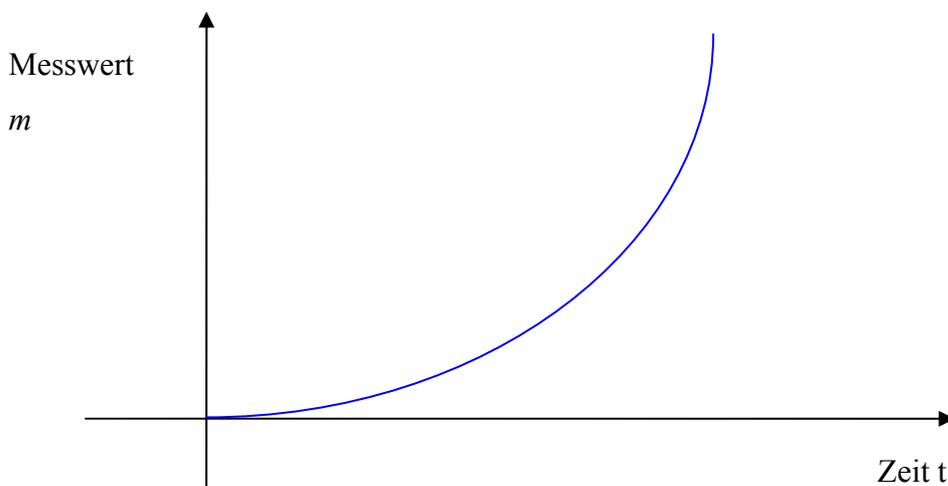


Abbildung 3: Messkurve  $m$

Die metrischen Werte  $m$  sollen nun „übersetzt“ oder codiert werden durch sprachliche Ausdrücke wie ‘niedrig’, ‘zu niedrig’, ‘hoch’ und ‘zu hoch’. Zu diesem Zweck müssen bestimmte zusammenhängende Teilklassen der Messwerte zu entsprechenden „Kategorien“ zusammengefasst werden. ‘Kategorie’ ist griechisch, und bedeutet ursprünglich so viel wie ‘Aussage’. Es geht also um die Übersetzung einer metrischen Skala in eine kategoriale Skala. Technisch entspricht dem, dass Schalter installiert werden, die bei Erreichen bestimmter Messwerte die entsprechende kategoriale Anzeige auslösen. Diese ausgezeichneten Messwerte werden im Prinzip willkürlich bestimmt: dadurch dass man den „Kategorien“ bestimmte sprachliche Ausdrücke wie die genannten zuordnet, ergibt sich jedoch eine gewisse Interpretation der betreffenden Klassen metrischer Werte.

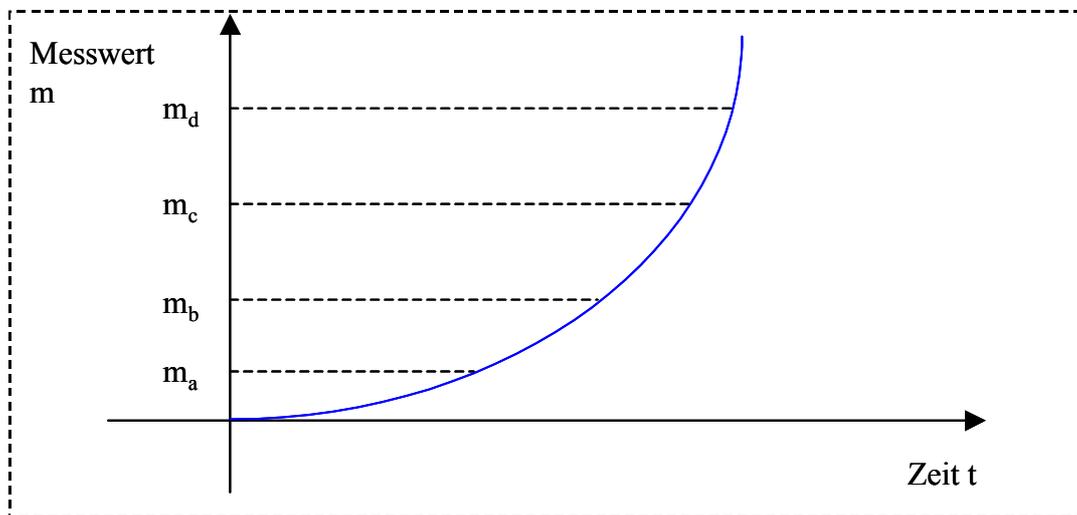


Abbildung 4: Kategorisierung der Messkurve  $m$

Die Zuordnung kann man durch Definitionen wie die folgenden vornehmen:

$$Z(x,t) < m_a \quad =_{Df.} \quad LL(x,t)$$

$$Z(x,t) < m_b \ \& \ \neg LL(x,t) \quad =_{Df.} \quad L(x,t)$$

$$Z(x,t) < m_c \ \& \ \neg LL(x,t) \ \& \ \neg L(x,t) \quad =_{Df.} \quad H(x,t)$$

$$Z(x,t) < m_d \ \& \ \neg LL(x,t) \ \& \ \neg L(x,t) \ \& \ \neg H(x,t) \quad =_{Df.} \quad HH(x,t)$$

Dabei soll ‘L’ (kurz für ‘low’) so viel bedeuten wie ‘niedrig’ und ‘H’ (kurz für ‘high’) so viel wie ‘hoch’; ‘LL’ (kurz für ‘low-low’) und ‘HH’ (kurz für ‘high-high’) stehen dann für ‘zu niedrig’ bzw. ‘zu hoch’. Tritt ein Zustand dieser beiden letzten „Kategorien“ ein, so droht Gefahr; dafür steht im umgangssprachlichen Sinn der Partikel ‘zu’ (hoch/niedrig).

Aufgrund der Definitionen ist trivialerweise ausgeschlossen, dass z.B. der durch die folgende Aussage angezeigte Zustand

$$LL(x,t) \ \& \ HH(x,t),$$

jemals eintreten kann, dass also der Füllstand zur selben Zeit *sowohl* zu hoch *als auch* zu niedrig ist. Vielmehr folgt aus den Definitionen, dass für alle Zeitstellen  $t$  und  $t'$  gilt:

$$(\text{LL}(x,t) \ \& \ \text{HH}(x,t')) \rightarrow t \neq t'.$$

Die vier definierten Zustandskategorien schließen einander, bezogen auf dasselbe System  $x$  und dieselbe Zeit  $t$ , wechselseitig aus und sind insofern zueinander gegensätzlich. Das heißt: jede ist unter dieser Voraussetzung gewissermaßen *ein Gegenteil* der anderen drei.

Da sie aber durch die Zusammenfassung zusammenhängender metrischer Werte gebildet sind, stehen sie auch in einer bestimmten Ordnung:  $\text{LL} < \text{L} < \text{H} < \text{HH}$ . Aufgrund dieser Anordnung kann man sagen, dass 'HH( $x,t$ )' für eine Zustandsart steht, die in einem besonderen Maße *Gegenteil* der Zustandsart ist, für die 'LL( $x,t$ )' steht, nämlich *das extreme Gegenteil*. Auf diesen Punkt werden wir noch zurückkommen. Zunächst soll das Problem der Gleichzeitigkeit im Vordergrund stehen.

Ein möglicher Systemzustand wird beschrieben durch

$$\text{LL}(x,t_1) \ \& \ \text{HH}(x,t_2),$$

sofern  $t_1$  und  $t_2$  nur verschiedene Zeitstellen sind, wobei angenommen sei, dass  $t_1 < t_2$ , d.h. dass  $t_1$  früher ist als  $t_2$ . Folglich bezeichnet ' $t_2 - t_1$ ' unter dieser Annahme stets die Länge eines gewissen Zeitintervalls. In der Realität wird es nun stets einen Mindestabstand zwischen  $t_1$  und  $t_2$  geben, d.h. dieser Abstand kann nur theoretisch, aber nicht wirklich beliebig klein werden. Außerdem gibt es Grenzen für die Erfassbarkeit des Unterschiedes zwischen theoretisch verschiedenen Zeitstellen, nämlich den Synchronabstand  $\Delta t$ , der vom System abhängt. Für den Fall, dass  $(t_2 - t_1) < \Delta t$ , ergibt sich hieraus die praktische Ununterscheidbarkeit von  $t_1$  und  $t_2$ . Für das System ist dann der durch den widerspruchsfreien Ausdruck

$$\text{LL}(x,t_1) \ \& \ \text{HH}(x,t_2)$$

bezeichnete Zustand ununterscheidbar von dem durch den widersprüchlichen Ausdruck

$$\text{LL}(x,t) \ \& \ \text{HH}(x,t) \tag{4-2}$$

bezeichneten Zustand. Denn wenn für das System ununterscheidbar ist, wofür ' $t_1$ ' und ' $t_2$ ' stehen, sind diese Ausdrücke selbst für es ununterscheidbar und deshalb gleichermaßen ersetzbar durch ' $t$ '. Ein eigentlich widerspruchsfreier Ausdruck, der ununterscheidbar ist von einem widersprüchlichen, muss aber auch als widersprüchlich angesehen werden.

Wegen der durch die Rechnerabtastzeit erzeugten Quasi-Gleichzeitigkeit zweier kurz aufeinander folgende Zeitstellen, können daher widersprüchliche Zustände auftauchen.

Um auf die Frage der Gegensätzlichkeit zurückzukommen: zwei Zustände von  $x$  sind zueinander *gegensätzlich* genau dann, wenn ausgeschlossen ist, dass sie zur selben Zeitstelle  $t$  auftreten können. In der traditionellen Logik fasst man diese Gegensätzlichkeit (lat. *oppositio*)

als einen konträren Gegensatz (lat. *oppositio contraria*). Konträre Bestimmungen können auf dasselbe nicht zugleich zutreffen, aber man kann aus der Tatsache, dass die eine nicht zutrifft, nicht darauf schließen, dass die andere zutrifft. Ein nur konträres Gegenteil ist also sehr viel weniger als das, was man in der Umgangssprache als „das genaue Gegenteil“ bezeichnet. Diesem entspricht in der Logik der kontradiktorische Gegensatz (lat. *oppositio contradictoria*). Da wie gezeigt die vier unterschiedenen Zustandskategorien aufgrund ihrer Definition paarweise im Sinne des konträren Gegensatzes zueinander gegensätzlich sind, lässt sich von keiner sagen, sie sei so etwas wie *das genaue Gegenteil* einer anderen. Dessen ungeachtet kann man die Kategorien an den beiden Enden der Skala jeweils als das *äußerste* Gegenteil der anderen bezeichnen. Das liegt daran, dass die vier Kategorien nicht nur disjunkt, woraus sich ihre paarweise Kontrarietät ergibt, sondern auch angeordnet sind. Man spricht in einem solchen Fall auch von einer *polaren Kontrarietät*.

Das genaue oder kontradiktorische Gegenteil lässt sich am besten an Aussagen festmachen. Zu einer gegebenen Aussage, wie z.B.

$$L(x, t_1)$$

über unser Beispielsystem  $x$ , drückt deren formale Negation, nämlich

$$\neg L(x, t_1),$$

das kontradiktorische Gegenteil aus. Dieser letzteren Aussage entspricht aber keine der vier Zustandskategorien, über die das System selbst aufgrund der einfachen Schalterinstallation selbst Auskunft gibt.

Es gibt aber noch einen zweiten Sinn von ‘das genaue Gegenteil von ...’, der nicht direkt etwas mit der Kontradiktorizität zu tun hat. In diesem zweiten Sinne bezeichnen wir z.B. den Zahlenwert  $-3$  als das genaue Gegenteil des Zahlenwerts  $3$ . Das Charakteristische an dieser Beziehung kommt in der folgenden arithmetischen Gleichung zum Ausdruck:

$$-3 + 3 = 0 .$$

Allgemein bezeichnet man bezogen auf ein Objekt  $a$  ein Objekt  $\bar{a}$  (sprich:  $a$ -quer), das die Gleichung

$$\bar{a} + a = 0$$

erfüllt, als das *Inverse* von  $a$ . Diese Inversenbeziehung spielt allerdings nur dort eine Rolle, wo algebraische Operationen wie die Addition und ein neutrales Objekt wie die  $0$  in der Arithmetik definiert sind.

#### 4.2.4 Mathematische Beschreibung

Als Kontraposition einer Aussage der Form

$$A \rightarrow B$$

Bezeichnet man in der klassischen Logik die logisch gleichwertige Umformung

$$\neg B \rightarrow \neg A.$$

So ist z.B. die Aussage

Wenn  $x$  ein Italiener ist, dann ist  $x$  ein Europäer

Logisch gleichwertig oder äquivalent mit ihrer Kontraposition:

Wenn  $x$  nicht Europäer ist, dann ist  $x$  nicht Italiener [Stingl (1996)].

Gestützt auf den Übergang zur äquivalenten Kontraposition lässt sich die Schlussform des *Modus tollens* aus der Schlussform des *Modus ponens* entwickeln:

$$\begin{array}{l} A \rightarrow B \\ \underline{A} \\ \therefore B \end{array} \qquad \begin{array}{l} \neg B \rightarrow \neg A \\ \underline{\neg B} \\ \therefore \neg A \end{array}$$

Die bekannteste Anwendung des *Modus tollens* ist der so genannte indirekte Beweis.

Definition 4-1: indirekter Beweis (Widerspruchsbeweis)

$A$  wird bewiesen, indem man aus der Annahme  $\neg A$  einen Widerspruch herleitet.

$$\neg A \rightarrow \perp$$

$$\therefore A$$

Diesem Muster folgen alle indirekten Beweise in der Mathematik.

#### 4.2.5 Sprachliche Probleme

Die einfachste Form widersprüchlicher Aussagen, die in einer Sprache gebildet werden können, besteht in der Konjunktion einer Aussage  $A$  und ihres kontradiktorischen Gegenteils  $\neg A$ :

$$A \wedge \neg A$$

Das aussagenlogische Prinzip des zu vermeidenden Widerspruchs verlangt, dass solche Konjunktionen nicht auftreten sollen. Es gibt aber auch widersprüchliche Aussagen, die nicht von dieser einfachen Form sind. Ihr widersprüchlicher Charakter hängt nicht allein an der fixierten Bedeutung der logischen Konstanten ‘ $\neg$ ’ und ‘ $\wedge$ ’, sondern er ist von der Bedeutung der in sie eingehenden prädikativen Ausdrücke abhängig. So erscheint uns z.B. das zusammengesetzte Prädikat ‘heißer Schnee’ widersprüchlich, weil wir annehmen, dass nur das mit ‘Schnee’ bezeichnet werden kann, was eine Temperatur hat, die zu niedrig ist, um noch das Prädikat ‘heiß’ verwenden zu können, im Gegenteil: Was immer mit Recht ‘Schnee’ zu nennen ist, hat eine Temperatur (um  $0^\circ$  C), für die ‘kalt’ ein angemessener prädikativer

Ausdruck ist. Die Prädikate ‘heiß’ und ‘kalt’ stehen in einem konträren Gegensatz. In einer formalen Sprache müsste man diese Einschätzung durch gewisse Bedeutungsgesetze zum Ausdruck bringen, z.B. so:

$$\forall x: S(x) \rightarrow K(x)$$

$$\forall x: H(x) \rightarrow \neg K(x)$$

bzw. kontraponiert  $\forall x: K(x) \rightarrow \neg H(x)$

Aus diesen beiden Gesetzen folgt unmittelbar:

$$\forall x: S(x) \rightarrow \neg H(x)$$

$$\forall x: (S(x) \wedge H(x)) \rightarrow (K(x) \wedge \neg K(x))$$

Die erste Zeile besagt, dass als Werte der Variable ‘x’, auf die das Prädikat ‘S’ (d.h. ‘Schnee’) bezogen werden darf, diejenigen ausgeschlossen werden müssen, auf die schon das Prädikat ‘H’ (d.h. ‘heiß’) bezogen worden ist. Die zweite Zeile zeigt, dass sich ein regelrechter logischer Widerspruch ergibt ( $K(x) \wedge \neg K(x)$ ), wenn diese Forderung nicht beachtet wird. Jedes Prädikat einer formalen Sprache, das nach dem Vorbild eines umgangssprachlichen Prädikats eingeführt wird (wie z.B. ‘S’ hier nach dem Vorbild von ‘Schnee’), muss daher flankiert werden durch Bedeutungsgesetze wie die beiden genannten, die etwas von dem natürlichen Verständnis der logisch-semantischen Beziehungen dieses Ausdrucks zu anderen Ausdrücken wie in diesem Falle ‘heiß’ und ‘kalt’ ausdrücklich festhalten, damit semantische Widersprüche wie in dem zusammengesetzten Prädikat ‘heißer Schnee’ im System als formale logische Widersprüche erkennbar werden können. Dabei können die Kriterien für die semantischen Ausschlussverhältnisse sehr unterschiedlich sein: in dem genannten Beispiel betreffen sie Temperaturunterschiede und sind deshalb physikalischer Art. Ersetzt man ‘Schnee’ durch ‘Mord’ und ‘heiß’ bzw. ‘kalt’ durch ‘tapfer’ und ‘feige’, so erhält man ein strukturell vergleichbares Beispiel, hinter dem moralische Kriterien stehen. Offensichtlich widersprüchliche Aussagen der Form ‘ $K(x) \wedge \neg K(x)$ ’ wie auch verdeckt widersprüchliche Aussagen der Form ‘ $S(x) \wedge H(x)$ ’, die durch entsprechende Bedeutungsgesetze flankiert sind, lassen sich nach den Regeln der Standardsemantik nicht auf die Realität beziehen, d.h. sie erhalten unter keiner Interpretation den Wahrheitswert  $\top$ , obwohl sie nach den syntaktischen Bildungsregeln durchaus wohlgeformte Ausdrücke sind. Im poetischen Gebrauch natürlicher Sprachen ist es allerdings so, dass dort auch Ausdrücke, die in dem beschriebenen Sinne verdeckt widersprüchlich sind, nicht nur syntaktisch, sondern auch semantisch zulässig sind. Der Dichter Petrarca z.B. bezieht sich in einem Gedicht auf einen „Eisblock“, der ihn „entzündet“ habe. Das ist nicht weit entfernt von einem „heißen Schnee“. Gemeint ist in diesem Fall allerdings nicht eine Portion gefrorenen Wassers, die zugleich eine Temperatur von mehr als 350° C hat, sondern eine den Dichter „kühl“ abweisende Frau, in die dieser

dennoch „heiß“ verliebt ist. Man spricht in Fällen wie diesen von einem *Oxymoron*<sup>26</sup>, d.i. eine Stilfigur, die durch die Kombination von Bezeichnungen mit gegensätzlicher Bedeutung entsteht. Der Witz eines Oxymorons besteht aber nicht darin, etwas Widersprüchliches, das aus logischen Gründen nicht der Fall sein kann, zu behaupten, sondern vielmehr darin, auf einen spannungsreichen Sachverhalt, den man auch widerspruchsfrei beschreiben könnte, aufmerksam zu machen. Die Verwendung einer widersprüchlichen Ausdrucksform ist hierbei ein Mittel der Dramatisierung, der Betonung, der Übertreibung, das nur deshalb wirkt, weil der Leser oder Hörer von vornherein weiß, dass etwas Widersprüchliches gar nicht wirklich sein kann. Programmen fehlt im Allgemeinen die Fähigkeit, semantische Widersprüche von alleine zu entdecken; und ihnen fehlt erst recht die Fähigkeit, widersprüchliche Darstellungen als ein stilistisches Mittel zur Darstellung widerspruchsfreier, aber spannungsreicher Sachverhalte zu erkennen.

#### 4.2.6 Resolutionsverfahren für Widersprüche

Um Widersprüche aufzudecken und zu beschränken, wird das Resolutions-Verfahren benutzt: Resolution ist ein Beweisverfahren, welches sich für das automatische Beweisen besonders eignet, da es allein auf einer einzigen Inferenzregel<sup>27</sup> aufbaut. Resolution wurde 1965 von J.A. Robinson eingeführt [Menzel et al. (1997)]. Es soll bewiesen werden, dass aus einer gegebenen Formelmengemenge  $\Phi$  eine Behauptung  $\varphi$  folgt.  $\Phi$  stellt das Wissen dar, welches über einen Gegenstands- oder Problembereich bekannt ist. Es soll weiterhin bewiesen werden, dass aus diesem Wissen folgt, dass eine Hypothese wahr ist.

$$\Phi \Vdash \varphi$$

$$\Phi \cap \neg\varphi \rightarrow \text{Wid.}$$

Definition 4-2: widersprüchliche Menge von Literale

$$C_1 \cap \neg C_1 = \{\}$$

Die Unerfüllbarkeit einer Formelmengemenge bedeutet einen Widerspruch.

Die Behauptung  $\varphi = (p \vee \neg r) \wedge (q \vee r) \wedge (\neg p \vee q) \wedge (\neg p \vee \neg q) \wedge \neg q$

---

<sup>26</sup> Griech. Oxymoron bedeutet stumpfe Spitze, eine rhetorische Figur, in der zwei einander widersprechende Begriffe verbunden sind.

<sup>27</sup> Man bezeichnet solche Schlussregeln wie den Modus ponens als Inferenzregel

$$\begin{aligned}
&= (pq \vee pr \vee \neg rq \vee \neg rr) \wedge (\neg p \vee q) \wedge (\neg p \vee \neg q) \wedge \neg q \\
&= (pq \vee pr \vee \neg rq) \wedge (\neg p \neg p \vee \neg p \neg q \vee q \neg p \vee q \neg q) \wedge \neg q \\
&= (pq \vee pr \vee \neg rq) \wedge (\neg p \vee \neg p \neg q \vee q \neg p) \wedge \neg q \\
&= (pq \vee pr \vee \neg rq) \wedge (\neg p \neg q \vee \neg p \neg q \neg q \vee q \neg p \neg q) \\
&= (pq \vee pr \vee \neg rq) \wedge \neg p \neg q \\
&= (pq \neg p \neg q \vee pr \neg p \neg q \vee \neg rq \neg p \neg q) \\
&= \{\}
\end{aligned}$$

$$\therefore \varphi \not\models \perp$$

Die Resolution ist eine Modifikation des *Modus ponens*. Wir interessieren uns für Situationen mit Mengen:  $M \vdash \{\}$

$$C_1 = L_1, \dots, L_n$$

$$C_2 = \neg L_1, k_2, \dots, k_m$$

$$L_1 \in C_1,$$

$$\neg L_1 \in C_2$$

$$L_1 \cup C_1, \neg L_1 \cup C_2 = (\text{Verknüpfte Klauseln})$$

$$\therefore C_1 \cup C_2 = \text{Resolvente von } L_1 \cup C_1, \neg L_1 \cup C_2$$

$$M \vdash \{\}$$

Mit Hilfe dieser Resolution wird ein Widerspruch hergeleitet. Ist die Klauselmenge widersprüchlich, so existiert eine endliche Folge von Resolutionsschritten, die zum Widerspruch führt. Diese Methode wird manchmal zur Datenreduktion angewandt und zeigt die Aussage über den Widerspruch bei unscharfer Menge.

#### 4.2.7 Systeminstabilität

Systeminstabilität durch Widersprüche ist bekannt. Verwirrungen im System werden durch Widersprüche verursacht, weil die vorhandenen Informationen nicht eindeutig sind oder der Geltungsbereich nicht mehr da ist. Widersprüchliche Informationen haben keine Aussagekraft, noch können wir uns durch sie orientieren oder die Situation richtig abschätzen.

Systeminstabilität und Widersprüche haben eine enge Beziehung zueinander. Die folgenden Fälle können Systeminstabilität verursachen:

#### 4.2.7.1 Systeme in widersprüchlichen Zuständen

Eine Beispielsituation: Auf einer Zugreise kommt es zu Unruhen im Nichtraucher-Abteil, weil sich ein paar Passagiere unter Nichtachtung der Regeln eine Zigarette angezündet haben. Diese behaupten, dass der Schaffner dieses Nichtraucher- zum Raucher-Abteil erklärt hätte, weil der Zug mit nur sehr wenigen Raucher-Abteilen ausgestattet sei. Darauf sei der Schaffner wieder verschwunden. Dadurch, dass die Nichtraucher-Passagiere erst nach der Verkündung des Schaffners in den Zug stiegen und somit der Geschichte kaum Glauben schenken, kommt es zur Streiterei. In diesem System gibt es die Zustände „Rauchen“ und „Nicht-Rauchen“ gleichzeitig. Zwar existieren beide Zustände, aber bis zur Endstation herrsche Unruhe. Das System Nicht-Raucher-Waggon befindet sich in einem instabilen Zustand, weil das Nicht-Raucher-Kennzeichen mit der Schaffner-Erklärung gleichzeitig anwesende Raucher und Nicht-Raucher beinhaltet.

#### 4.2.7.2 Differenzen zwischen Absicht und Ausdruck:

##### a) Der Ausdruck ist schwächer als die Absicht

Dies ist eine Sache der elementarsten Logik. Entweder etwas ist der Fall oder es nicht der Fall. Das ist sozusagen die „Existenzfrage“ Hamlets nach „Sein oder Nicht-Sein“. Das ist vor allem dann von Bedeutung, wenn von dem „Sein oder Nicht-Sein“ z.B. eines bestimmten Signals etwas anderes abhängen soll. Die Frage ist allerdings, wie die gemeinte Abhängigkeit angemessen zu formulieren ist. Eine Möglichkeit lautet:

Wenn das blaue Signal aufleuchtet (Binärsignal=1), dann läuft der Motor.

Wenn  $p$ , dann  $q$  bzw.  $p \rightarrow q$ .

Damit ist verträglich, dass das blaue Signal nicht aufleuchtet, der Motor aber trotzdem läuft. Die einfache ‘*Wenn*’-‘*dann*’ Verknüpfung schließt nur aus, dass das blaue Signal aufleuchtet, der Motor aber nicht läuft. Wenn es nun so sein soll, dass der Fall, in dem das blaue Signal nicht aufleuchtet und dennoch der Motor läuft, als ein Fehlerzustand gelten soll, dann muss man die entsprechende Vorschrift so formulieren:

Genau dann, wenn das blaue Signal aufleuchtet (Binärsignal=1), läuft der Motor.

$p$ , genau dann, wenn  $q$  bzw.  $p \leftrightarrow q$ .

Nun fragt das System ständig ab, ob das blaue Signal schon gegeben wurde oder nicht. Gesetzt den Fall, dass es kein blaues Signal gibt und der Motor trotzdem läuft, so resultiert daraus, dass irgendetwas falsch ist. Das lässt sich logisch folgendermaßen formulieren:

Wenn  $p$ , dann  $q$  (wenn das blaue Signal da ist, dann soll der Motor laufen).

$(p \rightarrow q)$  ist eigentlich logisch in Ordnung, das heißt, der Motor kann laufen, obwohl das blaue Signal nicht vorhanden ist. Aber wegen der zeitlichen Sequenzen lässt sich dieser Zustand nicht mit „Wenn – Dann“, sondern nur mit „genau dann wenn“ (hinreichend und notwendige Bedingungen) beschreiben.

$(p \rightarrow q) \ \& \ \neg (\neg p \ \& \ q)$  oder  $(p \rightarrow q) \ \& \ (q \rightarrow p)$

$\therefore p \leftrightarrow q$

#### 4.2.7.3 Differenzen zwischen Absicht und Ausdruck:

##### b) Der Ausdruck ist stärker als die Absicht

Eine einfache logische Aussage ist: Wenn die Vorschriftenbeschreibung geschlossen ist dann muss sie logisch einwandfrei sein.

Eine Vorschrift  $V_1 =$  „Wenn es ein Verkehrsproblem an einer kreuzenden Straße gibt, so muss man eine Verkehrsampel installieren um dies zu beheben“.

Eine Gemeinde hat ein Verkehrsproblem an einer Drei-Wegekreuzung. Also beschließt man, dass eine neue Verkehrsampel an dieser Straße installiert werden soll (als Resultat oder Lösung). Nach  $V_1$  scheint dies die logische Schlussfolgerung zu sein, jedoch sieht dies in der Realität ein bisschen anders aus. Die Verkehrsampel hat immer denselben Zeittakt, der regelmäßig die Ampel umschaltet und aber in der Feierabendzeit einen langen Stau verursacht. Was ist der Sinn der Schlussfolgerung  $V_1$ ? Wieso hätte ein Verkehrsschild oder ein Kreisverkehr für sich alleine nicht gereicht, um den Verkehr zu regeln? Welche Rolle spielt hier die Semantik, wenn die Situation gemäß der logischen Folgerung einwandfrei erscheint? Die Frage ist, ob die Ampel überhaupt notwendig war? Woher kommt die Rechtfertigung dieser Vorschriften?

Dazu ein ganz einfaches Beispiel: Dieses folgende Regelwerk ist folgendermaßen festgelegt;

" Wenn  $A$   $B$  liebt, soll  $A$   $B$  heiraten"

Eines Tages jedoch sagt  $A$  zu  $B$ : „Ich kann Dich nicht heiraten, obwohl ich Dich liebe, weil ich glaube dass eine Ehe dich unglücklich machen würde“.

Das logische daraus Resultat lautet: "Was  $A$  zu  $B$  gesagt hatte, ist falsch". Was ist falsch oder was hat diese Aussage zum falschen Ergebnis gebracht? Wird das vorige Regelwerk ergänzt, ergibt sich:

mit dem Ansatz "Wenn  $A$   $B$  liebt und  $A$   $B$  glücklich machen will, soll  $A$   $B$  heiraten" ist die obig genannte Aussage ‚richtig‘. Wenn sich aber die Situation ändern sollte, sodass das Ereignis ( $E_1$ ) nicht mit der Menge Vorschrift  $V_1$  übereinstimmt,

$$E_1 \notin V_1$$

$V_1$  wird ergänzt nach den neuen  $V_{1i}$ ,

Falls wieder  $E_1 \notin V_{1i}$

Wenn man so weiter verfährt, könnte es sein, dass  $E_i$  widersprüchlich zu  $E_{1j}$  ist, obwohl  $E_{1j}$  nach weiteren Schritten schlüssig erscheinen mag. Wie kann man die gesamten Schritte widerspruchsfrei aufeinander folgen lassen?

Das beste Beispiel dafür ist die Steuergesetzgebung oder Vorschrift des Gesundheitssystems. Diese Vorschriften werden immer komplizierter, weil der Gesetzgeber möglichst gerechte Regelungen treffen will. Jedoch gibt es dennoch eine Menge widersprüchlicher Ansätze, so dass die Kette der Vorschriften nicht mehr überschaubar ist.

#### 4.2.7.4 Missachtung der Adäquatheitsbedingungen für die Anwendung einer Vorschrift, einer Regel oder eines Verfahrens

Jeder kennt die folgende Situation: die Rechenoperation an sich ist richtig ausgeführt, aber das Ergebnis ist falsch. Wer die Fläche eines Rechtecks bestimmen will, sollte Länge und Breite nicht addieren, sondern multiplizieren. Man mag die Größen korrekt addiert haben, aber der resultierende Wert ist als Größe der Fläche falsch. Dieses triviale Beispiel macht auf einen nicht trivialen Sachverhalt aufmerksam: die Anwendung von Vorschriften, Regeln, Gesetzen, Rechenverfahren und ähnlichem liefert nur dann zutreffende Ergebnisse, wenn gewisse Adäquatheitsbedingungen erfüllt sind. Diese mögen trivial sein, wie in dem eben genannten Beispiel, oft sind sie aber auch nicht trivial und werden deshalb missachtet. In der Technik ist die Durchflussmessung von dem Kohlenstaubmassenstrom im Kraftwerk oder im industriellen Schornstein durchgeführt. Man will die Brennstoffmengen im Kraftwerk oder Kohlenpartikelmengen im Schornstein für die Umwelt messen. Man hat versucht mit Differenzdruckprinzip die Durchflussmengen zu bestimmen aber es gelangt nicht. Hier spielen der Tragluftmassenstrom und die Größe der Kohlenstaubteilchen eine wesentliche Rolle, aber nicht wie normal das übrige Druckdifferenz-Durchfluss Verhältnis. Hier muss man eine andere Relation, die mit dem tatsächlichen Massenstrom zu tun hat, herleiten, wie bei der Ladungsabhängigkeit: jeder Kohlenpartikel hat eine eigene elektrische Ladung je nach Größe und der gemessene Strom ist das Resultat von elektrische Ladung durch die Zeit, also soll die Kohlenstaubmasse proportional zum gemessenen Strom sein plus ein Korrekturparameter, den

wir nicht genau kennen. Die adäquate Relationsbedingung wäre eine geladene elektrische Ladung zu Kohlenstaubstrommasse - Verhältnis.

#### 4.2.7.5 Anwendung der mathematischen Steuervorschrift

In der technischen Anwendung begegnen uns häufig Undefinierbarkeiten der Mathematik, so z.B.  $f(x) = \frac{x^1}{x^2}$  oder  $f(x) = \frac{1}{\log \Delta x}$ , die Rechenschaltung (Rechenvorschrift) =  $f(x_i)$  um die

Einheit umzuformen. Hier kommt es durch das Auftreten von nicht definierbaren Zuständen zu einer Betriebsstörung. Z.B. bei der Auswertung des pH-Wert Signals für die Rauchgasentschwefelungsanlage darf der Einfluss des pH-Wertes auf die Kalksteinmenge wirken, wenn die Abweichung ( $\Delta x$ ) vom Sollwert  $>0$  und  $<1$  ist. Ein Ingenieur hat folgende Gleichung berechnet:

$$\Delta k = A(x) = \frac{3500}{\log \Delta x}$$

Die Abweichungsgleichung  $A(x)$  enthält den kritische Nennerteil: wenn der Grenzwert  $\lim_{\Delta x \rightarrow 1} A(x) = \infty$  geht, dann bedeutet  $\Delta k$  in der Realität unendlich viele Kalkmengen für

kurze Zeit. In der Realität bedeutet das eine Katastrophe! Dies wird vom Operator realisiert und so wird auf Handsteuerung umgeschaltet.

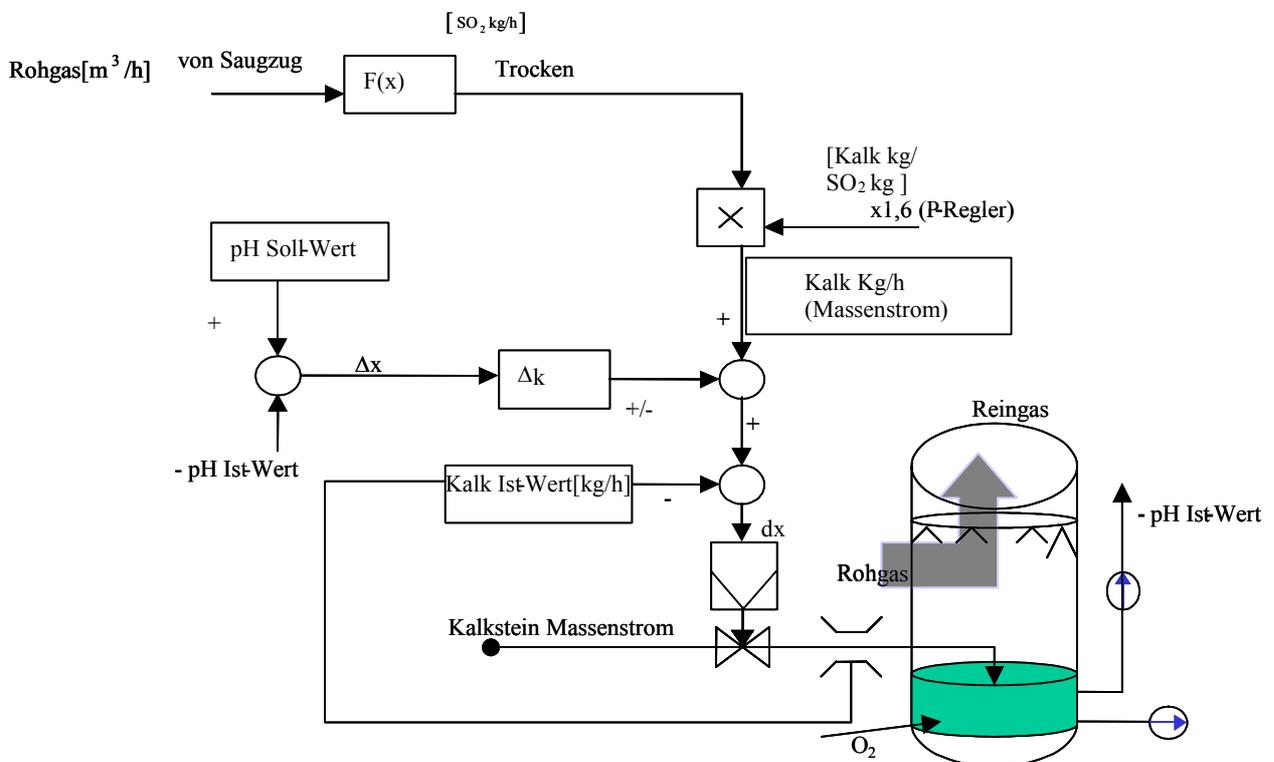


Abbildung 5: pH -Regelung für Kraftwerk Rauchgasentschwefelung

Verfahrenstechnische Erklärung für Abbildung 5:

- Für  $\text{SO}_2$  -Konzentration pro Kg wird 1.6 Kg Kalksteinsuspension benötigt.
- Durch Schaufelstellung des Saugzuges und der Differenzdruckmessung wird die Rauchgasmenge ( $\text{SO}_2$  –Konzentration: ca.  $18 \text{ g/m}^3$ ) ermittelt.
- pH- Sollwert liegt zwischen 4,5 und 5,5.
- $F(x)$  ist  $\text{SO}_2$  –Fracht (Kg) Rechenschaltung
- Die Zahl 3500 von  $\Delta k$  ist eine Vorsteuerung gegen langsame Wirkung des pH-Wertes

Ein ähnlicher Fall passiert öfters bei der Anwendung von  $f(x) = \frac{x1}{x2}$

$\lim_{x2 \rightarrow 0} f(x) = \infty$ , dann gibt es einen fast unendlich hohen Signalimpuls. In der

Regelungstechnik bezeichnet man den Einheitsimpuls  $\delta(t)$ , der auch als Resultat der Signalsprungeneinheit  $\sigma(t)$  (oder Testfunktion  $f(t)$ ) abgeleitet wird:

$$\frac{d\sigma(t)}{dt} = \delta(t)$$

Durch die Beziehung  $\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t - t_1) \times f(t) dt = f(t_1)$  wird die Impulsfunktion definiert.

Die sehr kurze Anstiegszeit ( $t_0 < t < t_1$ ,  $t_0 =$  Anfangszeit) bedeutet ein mehrfach höheres Funktionssignal. In kurzer Zeit wird der betroffene Regler zur Instabilität gebracht und verursacht einen Absturz der Anlage. Ein Beispiel dafür ist das Kraftwerk. Dieser hohe Impuls, dessen Nenner in kurzer Zeit gegen Null geht und dadurch wie eine Impulsantwort wirkt, führt zur Unregelbarkeit der Regelabweichung der Speisewasserpumpe und der Betriebspunkt wird verlassen, dadurch fällt 50 % Leistung (eine Speisewasserpumpe übernimmt 50 % von Gesamtlast) schlagartig ab. Mathematische undefinierbarkeit tritt in der Praxis des Öfteren auf und verursacht Instabilitäten im Prozess.

#### 4.2.7.6 Schnellere Reaktion des Prozesses als Zykluszeit der Modellberechnung

Es gibt Prozesse, bei denen die Antwort des Prozesses schneller ist, als die Zykluszeit des Rechners, der durch Szenario-Logik (Modellwelt) die geeignete Strategie produziert. Heutzutage erscheint dieses Phänomen ab und zu. Ein Beispiel dafür ist die Füllstandsregelung in der Anfahrflasche eines Zwangsdurchlaufdampfzeugers (500MW). Dafür gibt es die Interpretation, dass innerhalb einer kurzen Zeit das niedrigste und höchste Niveau fast gleichzeitig auftreten können. Im normalen Prozess ist dies keine widersprüchliche Erscheinung.

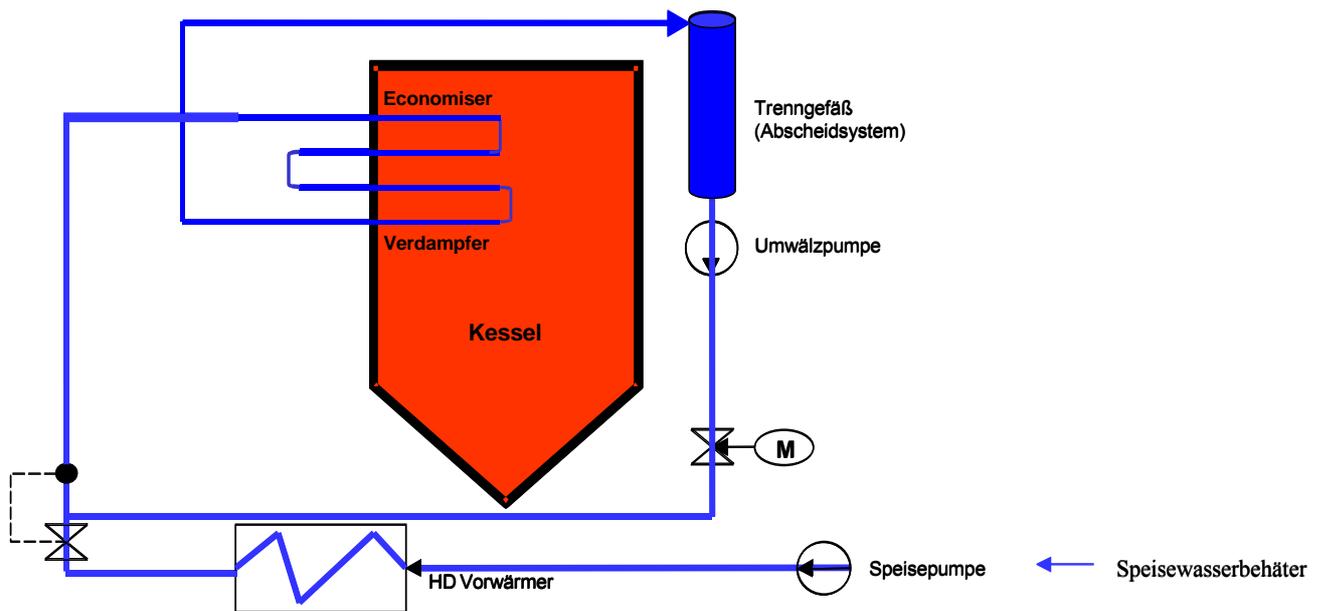


Abbildung 6: Anfahr- und Schwachlastsystem eines Zwangdurchlaufdamperzeugers

Aber wenn innerhalb des Zeitintervalls für den Synchronabstand (Abtastungsabstand) oder Wahrnehmungsabstand der extreme Zustandswechsel stattfindet, dann erscheint die widersprüchliche Erscheinung für die Interpretation des Anlagenfahrers. Bei dem Prozess wechselt die Füllstandmessung von „zu hoch“ nach „zu niedrig“ so schnell, dass sie die praktische Ununterscheidbarkeit mangels Erfassbarkeit oder mangels Wahrnehmungsfähigkeit reflektiert. Daher soll dieses Vorkommnis als Quasi-Gleichzeitigkeit angenommen werden. Das ist keine Systeminstabilität durch Widersprüche, sondern weil die Physik des zu regelnden/steuernden Systems so ist wie sie ist. Aber das kann die Interpretation des Anlagenfahrers beeinflussen, dass das System instabil sei. Es geht hier aber nur um die Physik: Diese Beheizungsstörung zwischen 200-300 MW Leistung beim Anfahrvorgang fängt im Bereich vom Verdampfer an und verstärkt sich immer weiter. Starke Temperatur- und Dichteschwankungen wirken sich auf das Niveau aus, weil das Niveau ziemlich stark von der Dichte des Mediums abhängig ist. Die schnellen Niveau - Änderungen kommen daher, weil die Abmessungen des Abscheidsystems klein sind und das thermodynamische Verhalten instabil ist. Wie könnte momentan unsere Interpretation aussehen? Dieser Vorgang wurde schon in Kapitel 4.2.3. Gleichzeitigkeit und Gegensätzlichkeit beschrieben.

Aus (4-2) ergibt sich:

$$LL(x, t_1) \& HH(x, t_2) = 1$$

Wenn  $t_2$  schneller kommt als Synchronabstand  $\Delta t$ , dann wird quasi  $t_1 = t_2 = t$  ( $t_2 - t_1 < \Delta t$ ).

Da gab es eine Interpretation der Meldungen, dass innerhalb einer gewissen Zeit niedrigstes und höchstes Niveau fast gleichzeitig erreichen wurden. Wegen der Rechnerabtastzeit könnten innerhalb dieser Quasi-Gleichzeit widersprüchliche Zustände auftauchen, weil die Prozesse ereignisse der Rechnerabtastzeit voreilen und sich dieses Vorkommnis im widersprüchlichen Zustand befindet. Dies erlaubt die Interpretation, dass die Zustände des maximalen und minimalen Füllstandes im Trenngefäß gleichzeitig geschehen.

#### 4.2.8 Widersprüche als Regelgröße

Wenn ein Mensch oder ein System widersprüchliche Informationen erhält und deren Widersprüchlichkeit bemerkt, dann ist das wie ein Alarmsignal implizit eine Aufforderung zum Handeln. Denn Widersprüche sind etwas, womit es nicht sein Bewenden haben kann. Diese Umschreibung eines Widerspruchs hätte sogar Hegel akzeptiert, der im Übrigen bekannt dafür ist, dass er die „Produktivität“ und die schöpferische Rolle von Widersprüchen betont hat. Diese besteht gerade darin, dass Widersprüche eine Reaktion verlangen. Aus der Sozialpsychologie ist bekannt, dass Menschen, die über einen längeren Zeitraum widersprüchliche Signale von engen Bezugspersonen erhalten (so genannte *double-bind*-Situatio-nen), Gefahr laufen, an Schizophrenie zu erkranken. Selbst dem Volksmund ist geläufig, dass es kindisch ist, den Kuchen sowohl aufessen als auch behalten zu wollen, und nur Narren versuchen, sich zu waschen, ohne sich nass zu machen. In der Technik kann man Widersprüche, die sich aus der Regelabweichung  $\Delta x$  ergeben, bis zu einem gewissen Maße tolerieren. Aber diese Differenzen müssen, wenn sie nicht zu beseitigen sind (*zero-tolerance*), in dem Sinne harmonisiert werden, dass die Toleranz für Abweichungen nicht zur Instabilität führt.

In allen diesen Fällen wird unter einem Widerspruch ein *logischer* Widerspruch verstanden, und ein solcher ist genau dann gegeben, wenn man es mit mindestens zwei Aussagen, Sätzen, Signalen oder Informationen zu tun hat, die nach der vorausgesetzten Standardinterpretation *nicht* zusammen wahr bzw. zutreffend sein *können*. Jeder derartige Widerspruch konstituiert, sofern nicht offensichtlich ist, welche der einander wider-sprechenden Aussagen usw. zu beseitigen ist, das, was man seit Aristoteles ein *Problem* nennt. Falls auch bei näherer Untersuchung nicht erkennbar wird, welche der widersprechenden Aussagen usw. zu eliminieren ist, kann es eine weitere Option sein, den Widerspruch dadurch zu beseitigen, dass man die vorausgesetzte Standardinterpretation so variiert, dass man eine Interpretation erhält, unter der die betreffenden Aussagen usw. nicht länger widersprüchlich sind. An Prozesse dieser Art hat Hegel wohl gedacht, wenn er davon gesprochen hat, der

Widerspruch zwischen These und Antithese könne eine „Aufhebung“ (in dem oben in Kap. 3.1.9 erläuterten dreifachen Sinne) zur Synthese erfahren. Die höhere Ebene, auf welcher der Widerspruch beseitigt wird, wäre in diesem Falle die neue Interpretation der zunächst einander widersprechenden Aussagen usw.

Es mag sein, dass Widersprüche im hier unterstellten Sinn überhaupt nur deshalb auftreten, weil unser Denken lücken- und fehlerhaft ist. Unbeschadet dessen bleibt die Aufforderung, widersprüchliche Informationen bzw. die sie verursachenden Faktoren zu beseitigen, ohne Alternative. Bezogen auf technische Systeme heißt das: wir sind aufgefordert, ständig die Differenz  $\Delta$  zu korrigieren und einen entsprechenden Korrektur-Faktor mit zu berücksichtigen. Insofern kann man Widersprüche als eine generelle Regelgröße betrachten.

#### 4.2.9 Logische Widersprüche und reale Widersprüche

Nun gibt es zur allgemeinen Verwirrung Philosophen, die (oft unter Berufung auf Hegel oder andere so genannte Dialektiker) neben logischen Widersprüchen auch *reale* Widersprüche annehmen. Die Verwirrung liegt in der Undurchsichtigkeit des Begriffes von realen Widersprüchen. Das *Modell* dafür ist kein logischer Widerspruch zwischen Aussagen, Sätzen, Informationen oder Signalen, sondern ein Konflikt zwischen Personen oder Institutionen. Solche Konflikte können zwar etwas mit logischen Widersprüchen zu tun haben, aber ihr Zusammenhang mit diesen ist sehr indirekt. Wollen z.B. zwei Personen  $A$  und  $B$  das letzte Stück Kuchen  $x$  essen, dann wissen wir – und das ist ein logischer Punkt: Wenn  $A$   $x$  isst, dann ist nicht der Fall, dass  $B$   $x$  isst. Wenn  $B$   $x$  isst, dann ist es nicht der Fall, dass  $A$   $x$  isst. Daraus können wir schließen, dass „ $A$  isst  $x$ “ nur dann gilt, wenn „ $B$  isst  $x$ “ nicht der Fall ist. Das ist der logische Ausdruck der Trivialität, dass nicht beide das letzte Stück Kuchen essen können: Die dem entsprechende Aussage ist nach logisch-semantischen Kriterien unerfüllbar. In dem gedachten Fall *wollen* jedoch beide das letzte Stück Kuchen essen. Das heißt aber nicht, dass sie wollen, die Aussage „ $A$  isst  $x$  und  $B$  isst  $x$ “ möge wahr sein. Vielmehr folgt aus dem, was sie wollen, und der angegebenen logischen Trivialität, dass sie nicht beide erreichen können, was sie wollen. Mit der Logik lässt sich dieses Problem bzw. dieser Konflikt selbstverständlich nicht lösen und es gibt für beide sehr viele Möglichkeiten, ihr Ziel zu erreichen. Beispielsweise so, dass sie anfangen, mit Gewalt um  $x$  zu streiten. Entscheidend ist die reale Beschaffenheit der Intentionen und des Interesses der beiden. Das mag man einen „realen Widerspruch“ nennen, aber diesen mit logischen Begriffen erklären zu wollen passt grundsätzlich nicht. Zu welchem Ende der Konflikt zwischen  $A$  und  $B$  auch immer kommen mag, wir können dieses Ende nicht als Synthese nach den Regeln einer dialektischen Logik hin-

stellen, es sei denn, wir würden uns darauf einlassen, jedes derartige Ende einfach so zu nennen – gleichgültig wie es zu diesem Ende gekommen ist, etwa mit Gewalt oder durch Überredung oder durch eine Intrige oder wie auch immer. Die Auflösungen oder Aufhebungen eines so genannten realen Widerspruchs sind so vielfältig wie das Leben, und dafür irgendwelche Gesetzmäßigkeiten angeben zu wollen, setzt in jedem Fall eine gut bestätigte empirische Theorie über die beteiligten Objekte und/oder Personen voraus. Damit ist das für die Logik typische Feld verlassen.

Dass man derartige Konflikte überhaupt mit einer gewissen Plausibilität als reale Widersprüche bezeichnen kann, liegt daran, dass es um Absichten und Ziele, also um den Realitätsbezug von Personen geht. Realitätsbezug ist aber auch das zentrale Element des logischen Begriffs der Interpretation. Deshalb ist es möglich, das reale Auftreten widersprüchlicher Aussagen, Sätze, Informationen oder Signale in einem und demselben System als einen realen Widerspruch zu bezeichnen. Die Realität solcher Widersprüche ist ein Thema auch für die Natur- oder Ingenieurwissenschaften. Denn die Voraussetzung, mit einer widerspruchsfreien Logik zu arbeiten, schließt ja nicht automatisch aus, dass derartige reale Widersprüche auftreten können. Dass die Realität an sich widersprüchlich ist, das ist zwar im Rahmen einer auf Widerspruchsfreiheit angelegten Logik undenkbar, aber trotzdem können widersprüchliche Aussagen, Sätze, Informationen oder Signale einfach da sein. Zur Identifikation realer Widersprüche dieser Art müssen etwa durch Strategieschalter oder Diagnoseinstrumente für die lokale Konsistenzüberwachung in technischen Systemen Vorkehrungen getroffen werden, die den Status einer autonomen Urteilsinstanz haben.

#### **4.3 Logikbasierte Wissensverarbeitung in der technischen Anwendung**

Die Nutzung des Wissens in Form von logischen Zusammenhängen werden im Bereich der Informatik immer wichtiger. Das technische Ziel ist die automatische Wissensverarbeitung mittels eines Computerprogramms. Man hat bis jetzt versucht, ein System zu entwickeln, das die Automation selbst durchführt, dabei aber flexibel genug reagieren kann. Die Entwicklung der Künstlichen Intelligenz läuft in diese Richtung.

Logikbasierte Systeme erlauben, Variablen für Objekte einzuführen und damit allgemeine Aussagen über Dinge des Gegenstandsbereiches zu formulieren bzw. abzuleiten.

### 4.3.1 Aussagenlogik

Die Aussagenlogik regelt den Wahrheitswert zusammengesetzter Aussagen in Abhängigkeit von den Wahrheitswerten der in sie eingehenden Einzelaussagen. Unter der Voraussetzung, dass jede Aussage genau einen von zwei Wahrheitswerten hat, ist sie eine binäre Logik. Unter einer einfachen (atomaren) Aussage  $A$  wird ein Satz verstanden, der eine Behauptung über gewisse Objekte und deren Beziehungen zueinander ausdrückt. Die in der Logik stets einfach so vorgenommene Wahrheitswertzuweisung für elementare Aussagen ist bei der Anwendung in technischen Systemen nie trivial, weil für die einfachsten Sachverhalte, die dargestellt werden sollen, immer nur Indikatoren bzw. Indizien gegeben sind, nicht die eigentlichen Sachverhalte selbst. Aufgrund eines Indizes (Geräusch) glaubt man, dass der Motor läuft. Es ist aber prinzipiell immer möglich, dass das Indiz gegeben ist, der indizierte Sachverhalt aber nicht besteht.

Jede derartige Aussage  $A$  kann genau einen von zwei Wahrheitswerten annehmen (elementare Wahrheitswerte). Solche elementaren Aussagen können die Basis der Beurteilung oder Diagnose eines gesamten Systems bilden. Sie sind dann die nicht weiter zerlegbaren Bestandteile jeder Systembeschreibung. Solche elementaren Aussagen werden durch Junktoren (Satzoperatoren) miteinander verknüpft. Einfachste Beispiele für Junktoren sind ‘und’, ‘oder’ und ‘nicht’. Auf dieser Basis lassen sich auch solche Verknüpfungen zwischen Aussagen darstellen wie die für das umgangssprachliche ‘wenn ... , dann ...’, soweit dieses wahrheitsfunktional verstanden werden kann. ‘ $A_1 \rightarrow A_2$ ’ bzw. ‘Wenn  $A_1$ , dann  $A_2$ ’ bedeutet dann nichts anderes als ‘ $\neg A_1 \vee A_2$ ’ bzw. ‘Nicht- $A_1$  oder  $A_2$ ’. Solche Konditionalaussagen sind schon dann wahr, wenn die Aussage, für die ‘ $A_1$ ’ steht falsch ist; ist diese jedoch wahr, sind sie nur dann wahr, wenn auch die Aussage, für die ‘ $A_2$ ’ steht, ebenfalls wahr ist.

Aber *nicht alle* Konditionalsätze, die im Alltag, in der Technik, der Wissenschaft und selbst in der Logik gebraucht werden, lassen sich als wahrheitsfunktionale Konditionale verstehen. Das einfachste Gegenbeispiel sind kontrafaktische Konditionalsätze. Die Aussage ‘Wenn die Anlage ordnungsgemäß gewartet worden wäre, dann hätte es kein Leck in der Treibstoffleitung gegeben’ ist entweder wahr (weil es einen kausalen Zusammenhang zwischen der mangelhaften Wartung und dem aufgetretenen Leck gibt) oder falsch (weil dieser Zusammenhang gerade nicht besteht). Bei einem wahrheitsfunktionalen Verständnis müsste man ihn jedoch allein deshalb für wahr erklären, weil der ‘wenn’-Satz etwas beschreibt, was nicht der Fall ist, nämlich die ordnungsgemäße Wartung der Anlage. Will man es vermeiden, pauschal alle ‘wenn ... , dann ...’-Sätze mit einem falschen ‘wenn’-Teil für wahr zu erklären, braucht man ein anderes Verständnis dieser Sätze als das wahrheitsfunktionale.

In technischen Systemen geht es immer auch um Kausalzusammenhänge. Kausalbeziehungen aber sind nicht allein durch subjunktive Aussageverknüpfungen darstellbar. Sie erfordern vielmehr einen Rückgriff auf kontrafaktische Konditionale oder damit gleichwertige Ausdrucksmöglichkeiten. Allein deshalb schon kann man nicht erwarten, dass die Aussagenlogik genügt, um den Anforderungen einer logisch transparenten Darstellung der Steuerung technischer Systeme zu genügen.

#### 4.3.1.1 Wenn-dann Logik

Auch die *Regeln* oder *Vorschriften* für den Aufbau von Logikkalkülen machen Gebrauch von gewissen ‘wenn ..., dann ...’-Zusammenhängen, z.B. wenn es heißt: „Wenn A und B wohlgeformte Formeln sind, dann ist auch ‘ $A \rightarrow B$ ’ eine wohlgeformte Formel“, oder wenn die Wahrheitsbedingungen für Subjunktionen beschrieben werden, wie wir es eben getan haben. Hier ist das metasprachliche ‘wenn ..., dann ...’, das in der Formulierung der Regeln oder der Wahrheitsbedingungen *gebraucht* wird, strikt zu unterscheiden von dem objektsprachlichen ‘wenn ..., dann ...’ bzw. dem Symbol ‘ $\rightarrow$ ’<sup>28</sup>, *über das* man dabei spricht. Da man wegen der unbedingt zu beachtenden *Sprachstufendifferenz* (Objektsprache vs. Metasprache) um verschiedene, wenn auch gleichlautende, Ausdrücke handelt, darf man nicht voraussetzen, dass sich auch das metasprachliche ‘wenn ..., dann ...’ wahrheitsfunktional verstehen lässt, falls das objektsprachliche so verstanden werden soll.

In der Technik hat man es meistens mit ‘wenn ..., dann ...’-Verknüpfungen zu tun, die als *Ausführungsvorschriften* oder *Schrittfolge* zu verstehen sind. Diese ähneln eher den Regeln oder Vorschriften für den Aufbau von Logikkalkülen als gewöhnlichen, wahrheitsfunktional verstehbaren Aussagen. Man stellt solche Ausführungsvorschriften für gewöhnlich schematisch folgendermaßen dar: „Wenn <Vorbedingung>, dann <Folgerung> oder <Aktion>“. Um die ‘wenn ..., dann ...’-Verknüpfung in einer solchen Vorschrift wiederzugeben, wird im Folgenden ein besonderer Pfeil (‘ $\Rightarrow$ ’) verwendet und, um den Vorschriftcharakter zu betonen, am Ende ein Ausrufezeichen gesetzt. Eine Ausführungsvorschrift hat dann die folgende Gestalt:

$$(1) \quad \langle B_1 \wedge \dots \wedge B_n \rangle \Rightarrow \langle A \rangle !$$

Zu lesen: Wenn die (Vor-)Bedingung  $B_1 \wedge \dots \wedge B_n$  gegeben ist, dann soll die Aktion  $A$  folgen! Eine solche Vorschrift gibt zunächst die Absichten und Vorstellungen des Konstrukteurs wieder. Die Ausdrücke ‘ $B_1$ ’, ..., ‘ $B_n$ ’ repräsentieren bestimmte Ereignisse, z.B. dass in einem bestimmten Gebiet eine bestimmte Lufttemperatur erreicht bzw. überschritten wird, kurz kann

man sagen: die Ereignisse  $B_1, \dots, B_n$ . Der Ausdruck ‘ $A$ ’ repräsentiert eine bestimmte Aktion des Systems, die der Konstrukteur als eine angemessene oder für weitere Zwecke notwendige Reaktion auf das Eintreten dieser Ereignisse ansieht. Nun muss diese Vorschrift technisch *installiert* oder *realisiert* werden. Das heißt: die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Systems müssen *bewirken*, dass  $A$  eintritt, sobald die Ereignisse  $B_1, \dots, B_n$  eintreten. Diese angenommene Kausalbeziehung soll wiederum durch einen eigenen Pfeil dargestellt werden, nämlich durch den Kausalpfeil ‘ $\Rightarrow$ ’. Die genannte Vorschrift ist nur dann technisch realisiert, wenn gilt:

$$(2) \quad (B_1 \wedge \dots \wedge B_n) \Rightarrow A$$

Zu lesen: Die Ereignisse  $B_1, \dots, B_n$  bewirken  $A$ . Nun gibt es aber in der Regel keine direkten Kausalbeziehungen zwischen  $B_1, \dots, B_n$  einerseits und der Systemaktion  $A$  andererseits, sondern gewisse Systemzustände  $B^*_1, \dots, B^*_m$ , z.B. bestimmte Signale, lösen die Aktion  $A$  aus. Die eben genannte Bedingung (2) wäre also zu präzisieren durch:

$$(3) \quad (B^*_1 \wedge \dots \wedge B^*_m) \Rightarrow A,$$

wobei vorausgesetzt wird, dass die Systemzustände  $B^*_1, \dots, B^*_m$  verlässliche Indikatoren für die Ereignisse  $B_1, \dots, B_n$ , was wiederum in der Regel nur dann der Fall ist, wenn gilt:

$$(4) \quad (B_1 \wedge \dots \wedge B_n) \Rightarrow (B^*_1 \wedge \dots \wedge B^*_m).$$

Wenn der Kausalpfeil ‘ $\Rightarrow$ ’ für eine transitive Relation zwischen Ereignissen bzw. Aussagen, die das Eintreten dieser Ereignisse feststellen, steht, *dann* ergibt sich aus (3) und (4) durch logische Folgerung die Bedingung (2). Aber steht er auch für eine solche Relation? Das ist jedenfalls nicht ohne weiteres klar. Die anschauliche Vorstellung von Kausalketten legt die Annahme der Transitivität nahe. Wir wissen jedoch, dass ein Signal  $B^*_j$  ausbleiben kann und mit ihm die eigentlich vorgesehene Reaktion des Systems, obwohl das Ereignis  $B^*_i$ , das es anzeigen soll, eingetreten ist. Die Umstände, die dafür verantwortlich sein mögen, z.B. ein Drahtbruch, sind im Allgemeinen unabhängig von jenen Umständen, die das Signal  $B^*_j$  mit den Reaktionen des Systems kausal verknüpfen. Das zeigt noch nicht, dass der Kausalpfeil nicht für eine transitive Relation steht. In dem gedachten Fall sind ja sowohl die Bedingung (4) als auch die Bedingung (2) verletzt. Worauf dieser Fall jedoch aufmerksam macht, ist das folgende allgemeine Problem: jede Kausalannahme, die durch den ‘ $\Rightarrow$ ’ symbolisiert wird, steht unter gewissen Annahmen derart, dass „normale“ Randbedingungen erfüllt sind; und diese *Normalitätsannahmen* lassen sich niemals vollständig erfassen, und sie sind für jeden

---

<sup>28</sup> Dieses Subjunktion- Symbol wird öfter als Verweisungszeichen benutzt.

einzelnen Gebrauch des Kausalitätspfeils jeweils möglicherweise andere. Deshalb ist es aus erkenntnistheoretischen Gründen niemals trivial, dass der Kausalitätspfeil für eine transitive Relation steht. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, diesen Pfeil nicht mit der aussagenlogischen Subjunktion oder gar mit der logischen Folgerung zu verwechseln.

Mit der Subjunktion gibt es allerdings den folgenden trivialen Zusammenhang: wenn der Fall eintritt, dass  $A$  ausbleibt, d.h. die Aussage ' $\neg A$ ' wahr ist, obwohl  $B_1, \dots, B_n$  eingetreten sind, d.h. die Aussage ' $B_1 \wedge \dots \wedge B_n$ ' wahr ist, dann ist die Subjunktion

$$(5) \quad (B_1 \wedge \dots \wedge B_n) \rightarrow A$$

schlicht und einfach falsch. In diesem Fall liegt eine *Fehlfunktion* des Systems vor. Man kann daher sagen: Eine solche Fehlfunktion liegt vor, wenn ein System die Ausführungsvorschrift (1) realisieren soll, aber die korrespondierende Subjunktion (5) falsch ist. Da Fehlfunktionen wirklich vorkommen können, ist dieser Zusammenhang ein weiterer Grund dafür, den Pfeil ' $\Rightarrow$ ' nicht mit ' $\rightarrow$ ', dem Symbol für die Subjunktion, zu verwechseln.

Mit einer über AL hinausgehenden „Wenn-dann-Logik“ versucht man, das Wissen über das Reaktionsverhalten von Prozessen zu erfassen. Sie hat eine eigenständige Stelle in der formalen Logik und kann als *Szenario-Logik* oder als eine Logik der *hypothetischen Urteile* nach Definition 3-13 bezeichnet werden. Ihr Fundament ist zwar die durch ' $\rightarrow$ ' ausgedrückte Subjunktion in AL, aber sie geht nicht nur aus den schon genannten Gründen über diese hinaus, sondern auch noch aus anderen.

Diese anderen Gründe haben damit zu tun, dass es bei technischen Steuerungsprozessen nicht nur um *binäre Entscheidungen*, wie sie mit einem einfachen Schalter getroffen werden, gehen kann. AL ist aber von der ganzen Anlage her nicht mehr als eine Logik der binären Entscheidungen. In der Technik sind „Entscheidungen“ oft aufgrund gegebener Messdaten für kontinuierliche metrische Größen zu fällen; das sind *mehrwertige* oder *kategorische Entscheidungen*. Für intelligente Sensoren sind außerdem *mengentheoretische Entscheidungen* zu berücksichtigen. Da es meistens um Entscheidungen unter Unsicherheit bzw. bei unsicherem Wissen geht, ist auch die so genannte *Fuzzy-Logik* von Bedeutung, in der es nicht um die pure Zugehörigkeit oder Nichtzugehörigkeit zu einer Menge geht, sondern diese Relation nach Wahrscheinlichkeiten abgestuft ist. Alle diese Komplikationen und Erweiterungen der klassischen Logik und Mengenlehre sind schließlich auch noch auf Sprachregeln für natürliche Sprachen zu beziehen.

Ein Experte beschreibt sein Wissen über ein Prozesssicherheitskonzept aus seiner Erfahrung wie folgt:

*Wenn* die Anlage in Betrieb ist und eine Betriebsstörung sowie ein Schadensfall vorliegt und die Gefährdung der Gewässer und Schädigung der Gewässer und Nicht auf andere Weise vermeidbar sind, *dann* soll man die Anlage unverzüglich außer Betrieb nehmen und entleeren [Lunze (1994a)].

Dieses Wissen aus Erfahrungen hat Hr. Lunze mit *Wenn-dann* umgeschrieben:

**Wenn** (betreib\_Anlage $\wedge$ eine\_Betriebsstörung\_vorliegt $\vee$ Schadensfall\_vorliegt) $\wedge$   
(Gefährdung\_der Gewässer  $\wedge$ Schädigung der Gewässer $\wedge$   
Nicht\_auf\_andere\_Weise\_vermeidbar)  $\rightarrow$  **dann** unverzüglich ausser\_Betrieb\_nehmen\_und\_  
entleeren. [Lunze (1994a)] (4-3)

Diese Ausführungsvorschriften (4-3) beschreiben das Reglerverhalten mitbestimmender Teilstrategien, um Prozesse zu kontrollieren. In der Leittechnik sind diese Regeln als vorausdenkende Szenario-Logiken festgeschrieben. Widersprüche in der Ausführungsvorschrift oder nicht geeignete Vorschriftstrategien können die Systemstabilität stark beeinflussen. Die Frage ist, wie das System selber Widersprüche oder ungeeignete Kontrollstrategien identifizieren kann? Die Wissensdarstellung in Form von Regeln beinhaltet viele Freiheitsgrade. Zum einen können durch die Regeln sowohl Schlussfolgerungen als auch Aktionen beschrieben werden.

*Wenn (Situation)  $\rightarrow$  Dann (Aktion)* (4-4)

Man kann diese Regelung in anderer Weise darstellen. Die Regeln werden in Pfeilrichtung angewendet. Wenn der Bedingungsteil erfüllt ist, wird die Schlussfolgerung gezogen oder die Aktionen ausgeführt. Herr J. Lunze nennt dieses Vorgehen Vorwärtsverkettung (*forward chaining*) [Lunze (1994a)]. Diese Aktionen können wahlweise durchgeführt werden (eine Art von Strategie). Hier ist die Bedingung in Detailfragen eingespeist, danach kann das System eine genauere (vorgefertigte) Strategie auswählen.

#### 4.3.1.2 Unscharfe Mengen des Wenn -Teils

Durch den Gebrauch deskriptiver Zeichen in singulären Sätzen, wird ein Ereignis  $x$  der realen Welt auf eine Klasse oder Menge  $A$  bezogen. Der Satz ist wahr genau dann, wenn  $x$  ein Element von  $A$  ist. Wie oben angedeutet ist diese Zugehörigkeit von realen Ereignissen zu Klassen oder Mengen, die durch sprachliche Ausdrücke repräsentiert werden, nicht immer eindeutig und scharf bestimmt. An die Stelle der strikten Alternative

Entweder ' $x \in A$ ' ist wahr oder ' $x \in A$ ' ist falsch

tritt eine komplexere Alternative mehrerer Möglichkeiten, die Zugehörigkeit von  $x$  zu  $A$  nach Graden abzustufen. Man kann diesen Sachverhalt auch so ausdrücken: *A ist eine unscharfe Menge*. Mit den deskriptiven Ausdrücken eines singulären Satzes, der den *Wenn*-Teil einer Ausführungsvorschrift bildet, können solche unscharfen Mengen verknüpft sein. In einem derartigen Fall sind die sprachlichen Ausdrücke nicht eindeutig, weil die Wahrheitswertzuweisung nicht mehr eindeutig ist. So gelingt es z.B. nicht immer, von der unscharfen Aussage zu einem skalierten Wert überzugehen. Würde man bei der Programmierung eines Haushaltsroboters die Vorschrift formulieren: „*Wenn es regnet, gehe nicht nach draußen!*“, käme sofort die Frage auf: was bedeutet 'regnen' für den Roboter? Man muss sich hier präziser ausdrücken: '*Wenn es regnet*' soll heißen 'Die Niederschlagsmenge<sup>29</sup> überschreitet den Wert von 0,5 l/m<sup>2</sup>·h' oder 'Die Feuchtigkeitsmessung<sup>30</sup> übersteigt den-und-den Grenzwert' (qualitative Bedingung). Das kann einen erheblichen Unterschied für die Ausführung dessen bedeuten, was im *Dann*-Teil formuliert ist (siehe Kap.5.7.6 und 5.8 Nichtmetrische Information für die qualitative Kodierung).

Die Zugehörigkeitsfunktion des *Dann*-Teils für gegebene Werte der im *Wenn*-Teil verarbeiteten Eingangsgrößen wird auf den resultierenden Wahrheitswert des *Wenn*-Teils begrenzt. Aber dieser resultierende Wahrheitswert kann je nach den Wahrheitswertzuweisungsmöglichkeiten unterschiedlich interpretiert werden: binär, mehrwertig oder verschieden skaliert. In einer mehrwertigen Logik kann man die Zugehörigkeit zu einer unscharfen Menge etwa dadurch skalieren, dass man den klassischen Wahrheitswerten „(ganz) wahr“ und „(ganz) falsch“, die bei einer binären Entscheidung genügen, noch als dritten „halb wahr“ hinzufügt. Diese Abstufung kann wie in dem genannten Beispiel ein Abbild der Vagheit eines sprachlichen Ausdrucks wie 'regnen' sein. Sie könnte aber auch dadurch motiviert sein, dass man kein sicheres Wissen darüber hat, ob ein Ereignis zu einer bestimmten Klasse oder Menge gehört.

In jedem Fall lässt sich die Abstufung der „Intensität“ der Wahrheit durch Zahlen kodieren, etwa '1' für 'ganz wahr', '2' für 'halb wahr' und '3' für 'ganz falsch'. Generell kann man eine  $m$ -mehrwertige Logik dieser Art auf eine Werteskala mit Werten zwischen 0 und 1 abbilden. Man berechnet die kodierte Wahrheitsanzahl  $W_{0-1}$  mit der folgenden Umformung:

---

<sup>29</sup> Geräte zur Ermittlung der Niederschlagsmenge auf einer bestimmten Fläche in einer bestimmten Zeit wird als Pluviometer, Ombrometer genannt. 1mm Niederschlagshöhe entspricht l/m<sup>2</sup>.

<sup>30</sup> Der Wasserdampfgehalt wird in absoluter und relativer Feuchte ausgedrückt. g/m<sup>3</sup> ist für absolute und % = (Absolute Feuchte/Maximale Feuchte) × 100 für relative Feuchte.

$$W_{0-1} = \frac{i - (m - 1)}{i} \quad (4-5)$$

wobei  $m = m - \text{mehrwertig}(m = 1, 2, \dots, m)$  und  $i = m - 1$  ist eine feste Zahl

Aus der Gleichung (4-5) resultieren beispielsweise drei verschiedene Wahrheitswerte in Werten von 0 bis 1:  $m$  ist Variable und  $i=3-1=2$ .

*Wahrheitsanzahl = 1 (m=1) ganz wahr,*

*Wahrheitsanzahl = 0.5 (m=2) halb wahr,*

*Wahrheitsanzahl = 0 (m=3) ganz falsch.*

Hier geht es nicht um den Inhalt der Aussagen, sondern um die Werte der Aussagen. Man kann aber alle Aufgaben mit der Logik *Wenn– dann* oder mit verschiedenen, hypothetischen Kombinationen wie *Wenn– dann* lösen. Diese Modell-Überlegung kann anhand des Erfahrungswertes der Experten in verschiedene Stufen verfeinert werden. Wenn ein Prozess sein dynamisches Verhalten in Mittelzustand „halb wahr“ erreicht, dann soll beispielsweise die Pumpe eingeschaltet sein.

Zwar hat die Formallogik damit nichts zu tun, wie sie die Feststellung des Wahrheitswertes erreichen kann, aber in der Technik oder Informationswissenschaft wird die Anwendung der formalen Logik mit der Wahrheitswertzuweisungsmöglichkeit konfrontiert. Die Grundinformation für die Wahrheitsskalierung und die Prozess-Zustände können nicht nur mit verschiedenen Sensoren, z. B. klassischen Sensoren (Temperatur, Druck, Durchfluss und Füllstand), sondern auch von menschlichen Sinneserfahrungen<sup>31</sup> nachgebildeten Sensoren wie Bildüberwachungsgeräte, Gas- oder Geruchsdetektoren usw. erfasst werden. Diese Messungen stehen zur Verfügung, um logische Interpretation zu generieren. Das vorauschaubare Wissen als Schlussfolgerung kann durch ein lernbares System oder durch unzählige Erfahrungswerte (Expertenwert) und deren Verbindung mit einer Datenbank (Wissensspeicherung) gewonnen werden.

Zu jeder Maßnahme gehört eine Ausführungsvorschrift. Jede Maßnahme kann mehrere Betriebsmittel für ihre Ausführung benötigen. Jede Maßnahme kann einen Auftrag selbständig abwickeln. Diese Ausführungsvorschrift kann nur dann aktiv sein, wenn die Situation widerspruchsfrei ist oder alle Prämissen in keinem Widerspruch zu den Vorschrift-Axiomen und ihrer Kausalbeziehung stehen. Die Erweiterung der logischen Verknüpfung im *Wenn* -Teil kann auf einer *modularen* Basis für alle möglichen Bedingungen realisiert werden. Auf dieser Basis kann man komplizierte verschachtelte Verknüpfungstechniken wie neuronale Netze als logische Operation realisieren.

---

<sup>31</sup> Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten usw.

#### 4.3.1.3 Funktionsdiagramm als Aussagenlogik

Im Kraftwerk erstellen Projekt-Ingenieure Funktionsdiagramme, ohne zu wissen, ob ihre Logik aus der Aussagenlogik stammt, wie Abbildung 8 „Freigabe Befehl EIN / Release Command ON in Steuerbaustein für einen Speisepumpenmotor“ zeigt. Wenn  $A$  richtig (1/0) ist,  $B$  richtig ist, dann ist  $A \wedge B = I$ , dann können die Zwischenergebnisse zu einer anderen logischen Operation weiterleiten. Die binäre Logik wird in Ablaufsteuerungen nach ihrer Wirkung in bestimmten Prozessvorgängen benutzt. Verknüpfungen mit einer logischen Operation werden als Bedingungen für den nächsten Schritt, Anzeige oder Meldung bereitgestellt. Die Steuerungen sind als Gruppe zusammengefasst und als Einzel-, Untergruppen oder Gruppensteuerung definiert. Früher wurden diese Aufgaben mit Relais-Technik realisiert, aber mit der rasanten Entwicklung der Computertechnik kann man Speicherprogrammierte Steuerungen (SPS) sparen und die hierarchische Leittechnik direkt vom Feldbus zum Computer wie Abbildung 7 aufbauen. Die Funktionen der Analogsignale werden mit Regelungen oder zu einem speziellen Zweck, wie Berechnungen und Lebensdauerüberwachung gekoppelt. Die industrielle Leittechnik benutzt überwiegend die Funktionspläne, die zumeist auf der Aussagenlogik beruhen.

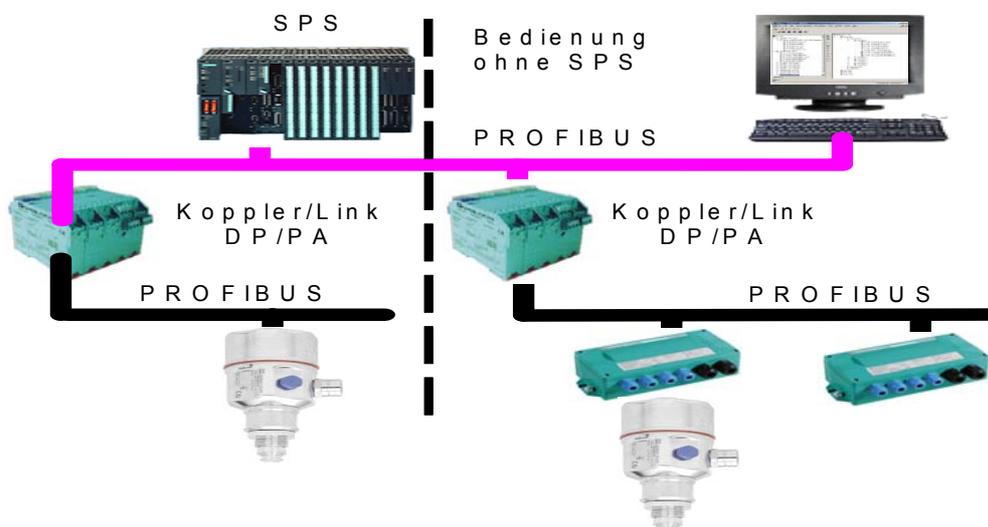


Abbildung 7: Leittechnikstruktur mit Software SPS

#### 4.3.1.4 Schutz, Überwachung und Verriegelungslogik als Aussagenlogik

Anwendungsgebiete der Aussagenlogik sind beispielsweise die „Wenn - dann“ Logik, Funktionsdiagramme, Schutz- und Verriegelungslogik, Resolutionsverfahren usw. Wenn wir die Natur beobachten, stellen wir fest, dass einige Lebewesen mit primitivem Instinkt

lebensnotwendige Aufgaben mit schneller Reaktion erledigen können. Wie reagieren sie und mit welcher logischen Struktur? In technischen Prozessen kann man dieses Prinzip mit wenigen einfachen logischen Operationen anwenden.

Beispiele dafür sind Verriegelungslogiken, wie sie zum Schutz von technischen Anlagen und deren Aggregaten angewandt werden. Diese Verriegelungslogiken kann man mit Hilfe der Aussagenlogik erklären. Schutz ist eine Maßnahme, um Risiko zu verkleinern und bedeutet nicht abschalten, sondern umlenken zur Alternative. In einer Notsituation wird die Schutzlogik die Anlage zur schnellen Reaktion zwingen. Von technischen Anlagen gehen Risiken aus, bzw. sie sind Risiken ausgesetzt. Unter Risiko versteht man eine zusammenfassende Wahrscheinlichkeitsaussage, welche die Summe aller *Schadensausmaße*  $\times$  *Eintrittswahrscheinlichkeit* beinhaltet. Versagt beispielsweise die Schmierölversorgung einer Speisewasserpumpe, Gas- oder Dampfturbine, so wäre das Schadensausmaß, Zerstörung der Welle mit längerem Anlagenstillstand für die Behebung des Schadens, inakzeptabel hoch. Ist gleichzeitig die Eintrittswahrscheinlichkeit dieses Ereignisses (Versagen der Schmierölversorgung) hoch, so ist auch das Risiko hoch. Prozessrechner haben mit Hilfe von Schutzverriegelungen (-logiken) die Aufgabe, zu verhindern, dass Aggregate in unzulässige Betriebszustände gebracht werden können, bzw. während des Betriebes bei Auftreten unerwünschter Ereignisse (kein Schmieröldruck vorhanden) durch Einleiten von Maßnahmen, z.B. Abschalten des Antriebes oder Schließen der Schnellschlussventile, das Aggregat in einen sicheren Betriebszustand zu bringen und vor Schäden zu schützen. Das Einschalten des Motors der Speisewasserpumpe wird dann freigegeben, wenn der (Schmieröldruck  $>$  Mindestwert ist) & (das Speisewasserniveau im Speisewassertank  $>$  als der Mindestwert ist) & (das Absperrventil auf der Saugseite AUF ist) & usw. Das Einschalten des Motors kann nur dann erfolgen, wenn alle Aussagen (Kriterien) wahr sind (Regelvorschrift 1). Damit wird verhindert, dass das Pumpenaggregat aus einem sicheren Zustand in einen Betriebszustand gebracht wird, in dem das Pumpenaggregat gefährdet ist. Tritt während des Betriebes ein unzulässiger Betriebszustand auf, wird das Pumpenaggregat durch Abschalten des Motors in einen sicheren Betriebszustand überführt (Regelvorschrift 2).

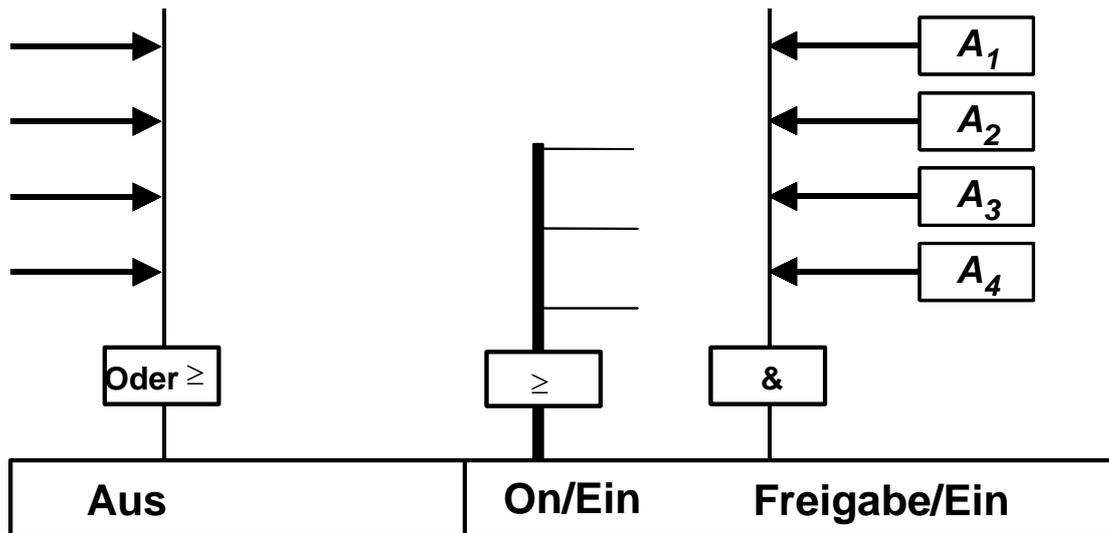


Abbildung 8: Freigabe Befehl EIN / Release Kommando ON in Steuerbaustein für einen Speisepumpenmotor.

Die Freigabebedingung<sup>32</sup>, die Pumpe einzuschalten, soll erfolgen, wenn alle Aussagen (Kriterien) wahr sind (Regelvorschrift 1), die durch Freigabe verriegelt sind.

$A_1$  = Schmieröldruck soll  $>$  Druck min

$A_2$  = Niveau des Speisewassertankes  $>$  min

$A_3$  = Absperrventil soll Auf sein

$A_4$  = Schaltanlage des Motors soll OK sein

Ist das Pumpenaggregat in Betrieb und es tritt ein unzulässiger Betriebszustand auf, (Schmieröldruck Nicht  $>$  Min) ODER (Absperrventil Saugseite Nicht AUF) ODER (Erforderliche Zulaufhöhe, Niveau Speisewassertank Nicht  $>$  Min) usw. wird das Aggregat durch eine Schutzabschaltung in einen sicheren Betriebszustand überführt.

Um die Zuverlässigkeit der Beurteilung in kritischen Anlagen zu erhöhen, werden mehrere Binärentscheidungen in einer Schlussfolgerung zusammengefasst. Die redundanten Signale oder dreifache Signale sind so miteinander zu verknüpfen, dass eine Aussage erreicht wird, die zuverlässiger ist, als die der einzelnen Signale, z. B. '1 von 2' oder '2 von 3'-Wertung, d.h. nur wenn *zwei* Messungen von *drei* ähnlichen Messungen ihre kritische Werte erreichen, dann soll die Anlage abgeschaltet werden. Zur Überwachung kann man auch das Auftreten widersprüchlicher Verknüpfungen als Kriterium benutzen; z. B. „Wenn  $A_4 \& \neg A_4 = 1$  wird, dann

<sup>32</sup> Bedingungsereignis der Synchronisierungsschritt folgt nur dann, wenn die erforderlichen Bedingungen erfüllt werden. Danach geht ein Schritt weiter und die alten Bedingungen werden zurückgesetzt.

soll das System sofort Meldung an Operator senden!“ Diese Überwachung dient der Prüfbarkeit des Schutzsystems. Hierdurch werden Fehler bei der Bedienung durch das Personal vermindert, weil ein unlogisches Verhalten identifiziert wird. In diesem elementaren axiomatischen System ist es möglich, widerspruchsfreie und stabile Prozesse zu steuern, indem man von vornherein widersprüchliche Situation systematisch ausschließt.

In der sicherheitsbezogenen Automatisierungstechnik wird die *Wenn-dann*-Logik angewandt, um das Schadensausmaß zu begrenzen. Wir definieren noch einmal das Risiko der technischen Anlage:

$$\text{Schadensausmaß} \times \text{Eintrittswahrscheinlichkeit} = \text{Risiko} \quad (4-6)$$

Der Schutz darf nicht Teil eines fehlerhaften Systems selbst sein. Das führt zu Situationen wie der, in der Epimenides, der selber Kreter ist, sagt: „Alle Kreter lügen“. Die Schutzaktion ist die Betätigung oder der Betrieb von aktiven Sicherheitseinrichtungen, die zur Beeinflussung von Störfallabläufen und zur Minderung von Schadenauswirkungen erforderlich sind [KTA 3501 (1985)]. Die Verriegelung ist eine logische Verknüpfung, die nichts anderes als eine Verknüpfung von verschiedenen Kriterien ist [DIN 19250]. In der typischen Ausdrucksweise der Wenn-dann-Logik lautet das Schema dieser Vorschrift:

*Nur dann < Aktion >, wenn alle < Bedingungen > erfüllt sind.*

Wegen der Bedeutung von ‘nur dann’ ist sie gleichbedeutend mit:

*Wenn (mindestens) eine < Bedingung > nicht erfüllt ist, dann keine < Aktion > erfüllt.*

Die Verknüpfung „Aus“ in der Abbildung 8 ist sozusagen die Schutzverriegelung.

Antivalenzüberwachung: Sie ist eine Einrichtung, die binäre Signale auf Eindeutigkeit (z. B. Unterbrechung oder Kurzschluss) überwacht.

#### 4.3.2 Prädikatenlogik

Die Erweiterung der Aussagenlogik zur PL hat zum Ziel, Variable für Objekte eines Gegenstandsbereiches einzuführen und damit Qualitätsaussagen zu ermöglichen, die sich

- a) überhaupt auf unterscheidbare Objekte und
- b) auf ganze Klassen solcher Objekte beziehen lassen.

Eine Aussage, die sich über die Objekte des Gegenstandsbereiches und deren Beziehung untereinander bezieht (Definition nach einer Eigenschaft dieses Objekts), ist das Prädikat.

$$\text{Aussageform} : F \text{ (freie Konstante oder Variable)} \quad (4-7)$$

Auf eine  $n$ -stellige Prädikatskonstante oder -variable folgen  $n$  Vorkommnisse irgendwelcher Individuen-Konstanten wie:

*Zustandsübergang (Zustand<sub>1</sub>, Zustand<sub>2</sub>, ...Zustand<sub>n</sub>) ,*

Ohne Zeitangabe lauten Betriebsvorschriften umgangssprachlich wie folgt:

*Wer (a) eine Anlage (b) betreibt, hat diese bei Schadensfällen (c) und Betriebsstörung (d) unverzüglich außer Betrieb zu nehmen und zu entleeren, wenn er eine Gefährdung (e) oder Schädigung (f) der Gewässer nicht auf andere Weise verhindert oder unterbinden kann [Lunze (1994a)].*

Die prädikatenlogische Aussage mit den gewählten Variablen wird in einer Programmiersprache wie Prolog oder RISP benutzt. Hier ein Beispiel für eine Prozessablaufprogrammierung:

Die prädikatenlogische Aussage mit den gewählten Variablen:

*((betreibt\_Anlage (a, b) ∧ eine\_Betriebsstörung\_vorliegt (b, d) ∨ Schadensfall\_vorliegt (b, c)) ∧ (Gefährdung\_der\_Gewässer(e, d, b) ∧ Schädigung\_der\_Gewässer(f, d, b) ∧ Nicht\_auf\_andere Weise\_verhinderbar(e, f, a)) → unverzüglich\_außer\_Betrieb\_nehmen\_und\_entleeren (a, b). [Lunze (1994a)]*

Wie in oben genanntem Beispiel kann man genau so wie in der Aussagenlogik denselben Junktoren benutzen. Man kann auch Quantoren benutzen, um die Zugehörigkeit eines Bauelements oder Sorten zu klassifizieren. Sorten sind syntaktische Einschränkungen an den Aufbau der Terme. Das entspricht Typendeklaration in Programmiersprachen [Bläsius et al. (1987)]:

$\forall x$  (All-Quantor): für alle x gilt,  $\forall x$  (Widerstand (x)  $\rightarrow$  elektrisches Bauelement (x))

oder  $\forall x$  (Cabrio(x)  $\subseteq$  Fahrzeug (x)) oder  $\forall x$  (Tannenbaum(x)  $\subseteq$  Baum (x) > 20 m) oder  $\forall x$  (Menschen (x)  $\rightarrow$ sterblich)

$\exists x$  (Existenz-Quantor): es gibt ein x, für das gilt.

Diese Vorschrift wird zuerst ohne Zeitangaben festgelegt. Ein anderes Beispiel ist eine Logikprogrammierung wie z. B. die Induktive Logikprogrammierung (ILP), die einen ausdrucks-

starken prädikatenlogischen Formalismus verwendet, der die Darstellung von Begriffen ermöglicht.

Zeitliche Unterschiede kann man auf verschiedene Weise explizit zum Ausdruck bringen. Eine Möglichkeit ist die Einführung von zeitspezifischen Aussageoperatoren wie ‘es ist gegenwärtig der Fall, dass ...’, ‘es war der Fall, dass ...’ und ‘Es wird der Fall sein, dass ...’. Damit werden die so genannten *tempora verbi* (engl. *tenses*) der natürlichen Sprache wiedergegeben. Hierzu eine ausgearbeitete Zeit- bzw. *tense*-Logik zu entwickeln, ist nicht ganz einfach. Die für viele Zwecke einfachere Alternative besteht darin, Zeitstellen als eigene Objekte anzusehen, für die man eine eigene Individuenvariable (meistens ‘*t*’) verwendet, und alle prädikatenlogischen Aussagen um einen Parameter für Zeitstellen zu erweitern. Das wird in dieser Arbeit vorausgesetzt, um den Rahmen der klassischen Prädikatenlogik nicht zu überschreiten. Typische Ausdrücke werden die folgenden sein (mit ‘*x*’ als *Zustands*-, ‘*t*’ als *Zeit*- und ‘*d*’ als *Dimensions*-Variable):

*Ereignis* (*x*, *t*, *d*),

*Alarm* (*x*, *t*, *d*).

In der Prädikatenlogik kann man die Bedingungen für die Problemlösung beschreiben, z.B. mit Zeitfaktor oder Raumfaktor als zwei- oder n-stellige Prädikate. In der klassischen Logik arbeitet man mit binären Wahrheitswerten (0 und 1).

#### 4.3.3 Fuzzy-Logik und logisches Zeichen

Ob die Fuzzy-Logik zur Prädikatenlogik gehört, ist umstritten. Die Fuzzy Mengentheorie, die eine Verallgemeinerung sowohl der klassischen Mengenlehre als auch der zweiwertigen (dualen) Logik darstellt, wurde von Lotfi Zadeh begründet und bildet den Ausgangspunkt der heute weit verbreiteten Fuzzy Technologien. Während bei klassischen, „scharfen“ Mengen stets eindeutig entschieden werden kann, ob ein Element zu der betrachteten Menge gehört oder nicht, erfolgt bei der Theorie unscharfer Mengen (*Fuzzy Set Theory*) die Zuordnung zu der Menge über eine reelle Zugehörigkeitsfunktion, die aussagt, zu welchem Grade (Wahrheitswert in einem Intervall von 0 bis 1, unterschiedlich zu (4-5) ) das Element zu der Menge gehört. Diese unscharfe Zuordnung soll der eventuellen Unsicherheit im Umgang mit vermeintlich sicheren Aussagen Rechnung tragen. Die von Zadeh selbst getroffene Unterscheidung zwischen verschiedenen Arten von Unsicherheit, nämlich Wahrscheinlichkeit (*probability*) und Möglichkeit (*possibility*) lässt sich möglicherweise nicht aufrechterhalten, wodurch eine Konvergenz von *Fuzzy*-Mengentheorie und Statistik ermöglicht würde. Im Gegensatz zur Aussagen- und Prädikatenlogik (ob Aussage wahr oder falsch ist) benutzt die

*Fuzzy*-Logik im Wesentlichen die Wahrheitswerte als Zugehörigkeitsgrad. Die charakteristische Funktion der scharfen Menge geht dann in die kontinuierliche Zugehörigkeitsfunktion (*membership function*) der unscharfen Menge über. Eine unscharfe Menge ist durch ihre Zugehörigkeitsfunktion vollständig beschrieben. Man versucht statt konkreter Zahlenwerte die qualitativ beschriebene Eigenschaft über die Prozess zu erfassen. Mit Hilfe dieser Logik kann man Regel oder Steuer-Vorschriften bilden [Siemens AG (1997)].

Die Instabilität der *Fuzzy*-Logik kann auftreten, wenn mehrere Eingänge nur eine Regelvorschrift durchlaufen müssen. Je nach Situationen mit verschiedenen Eingängen müssen die Zugehörigkeitsfunktionen und Regelkonzepte wählbar sein. Wenn die Signale undefinierte Zustände erreichen, dann sollen sie identifiziert werden und auf andere vorbereitete Regelvorschriften (andere Strategie, siehe Abbildung 23: Strategieauswahl durch Entscheidung) schalten. Dieses Konzept unterscheidet sich von dem *Fuzzy*-Zustandsregler.

Mit Zustandsbeschreibungen wie ‘schnell’ oder ‘groß’ (nichtmetrische Größe, siehe Kap.5) kann man diese Wissensrepräsentationsqualität mit der *Fuzzy*-Logik behandeln. Die Zuordnung zu der Menge erfolgt über eine reelle Zugehörigkeitsfunktion. Bei mehreren Eingängen (Messungen) kann der Regler mit einer festen Regelvorschrift eine nicht immer passende Regelgröße vorbereiten. Jede Situation braucht dazu eine passende Regelstrategie. Die starre Regelstrategie regelt dynamische und Mehrgrößensysteme schlecht. Genau so kann man nichtlineare Systeme schlecht mit eindimensionalen linearen Reglern kontrollieren. Daher kann eine Instabilität der *Fuzzy*-Logik auftreten, wenn nur eine Regelvorschrift mehrere Eingänge bewältigen muss oder die *Wenn-dann* Struktur der kausalen Beziehung (4) in Kap. 4.3.1.1 *Wenn-dann-Logik* nicht beachtet wird. Wegen des fließendenden Übergangs von metrischen Größen zu nichtmetrischen Größen könnte auch ein Kodierungsfehler zwischen Fuzzyifizierung und Defuzzyifizierung<sup>33</sup> eintreten und ein Faktor für Unsicherheit sein.

#### 4.3.3.1 Unscharfe Mengen

Bei unscharfen Mengen treten „Unschärfen“ ganz unterschiedlicher Art auf, wie z.B. eine *stochastische* Unschärfe, eine *sprachliche* (Vagheit) oder eine Unschärfe der *Information* aufgrund mangelnden oder unvollkommenen Wissens.

Die sprachliche Unschärfe liegt darin begründet, dass eine Aussage wie z.B. „hoher Druck“ nicht eindeutig auf eine exakte metrische Skala des Druckes in bar, abgebildet werden kann. Der Begriff ‘hoch’ stellt einen Wert einer Nominalskala dar. Dieser Begriff ‘hoch’, der auch

---

<sup>33</sup> die Rücktransformation von einer sprachlichen Variablen in die metrische Basisvariable

als Ausprägung einer linguistischen Variable 'hoher Druck' bezeichnet wird, ist durch eine unscharfe Menge auf einer metrischen Basisvariablen (Druck in bar) definiert. Abbildung 9 zeigt die Zuordnung zwischen den durch eine linguistische Variable gebildeten unscharfen Mengen und der zugehörigen (metrischen) Basisvariablen 'Temperatur' [Neupert (1996)]. Das Erfahrungs-Wissen des Menschen in Fuzzy-Logik wird mit Implikation der unscharfen Logik formuliert und daraus abgeleiteten Güteforderungen widerspricht sich öfter untereinander, wie bei Gebrauch unserer Sprache wir ähnliche Erscheinung erfahren.

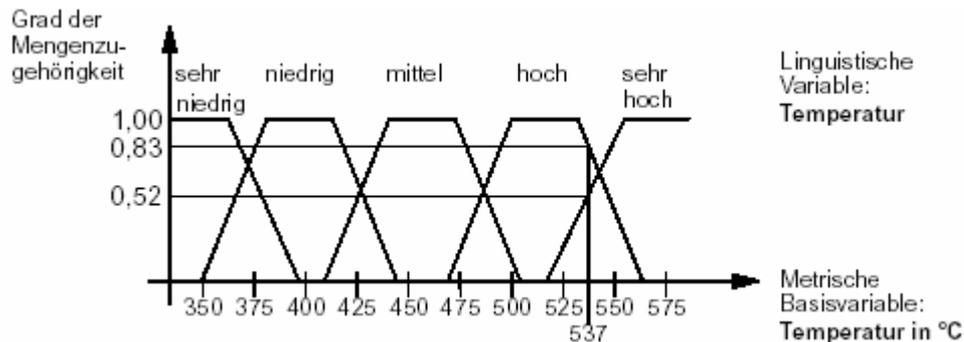


Abbildung 9: Zuordnung zwischen linguistischer und metrischer Variablen [Neupert (1996) ]

In der Umgangssprache benutzen wir Adjektive als Prädikate oder Attribute, um etwas näher zu beschreiben und zu charakterisieren. Das sprachliche Urteilsvermögen ist allerdings individuell sehr unterschiedlich ausgeprägt (stilistische Eigenheiten). Daher ist es schwierig, allgemeingültige Aussagen zu treffen.

#### 4.3.3.2 Grundoperation für *Fuzzy*-Logik

Weil Fuzzy-Logik sich auf Zugehörigkeitsfunktion bezieht, spielt hier Mengentheorie eine wichtige Rolle. Die Grundoperationen sind wie in der Mengentheorie definiert:

- Schnitt (*conjunction*, *intersection*): und  $\cap$
- Vereinigung (*union*, *disjunction*): oder  $\cup$
- Komplement (Nicht, *not*): — oder  $\neg$
- Min / Max oder Summation
- Resolutionsregel: Man beachte, dass durch die Verwendung des Minimums die *Fuzzy*-Funktionen einer Resolvente immer kleiner als die ursprüngliche-*Fuzzy*-Funktionen sind. Die Gefahr besteht, dass bei einer langen Schlusskette der Widerspruch zwar gefunden wird, aber die zugehörige *Fuzzy*-Funktion relativ nahe 0 ist.

Unter Verwendung dieser Grundoperatoren wird mit „unscharfen“ Mengen ebenso gerechnet wie in der üblichen Mengentheorie mit „scharfen“ Mengen. Die Dekodierung oder Defuzzifizierung für Stellgröße ermittelt einen eindeutigen Ausgangswert. Dieser Vorgang ist z.B.

bei der Fuzzy-Regelung durchzuführen, wenn nach der Auswertung einer *Fuzzy*-Regelbasis (deren Regeln unter Verwendung von sprachlichen Variablen formuliert sind, z.B. „*Wenn Eingang = „niedrig“ <Bedingung> dann Stellgröße = „hohe Temperatur einstellen“*“) ein metrischer Wert zurück zu gewinnen ist. Liefern mehrere Regeln der Regelbasis unterschiedliche Ergebnisse, so wird zunächst die Schnittmenge der beiden unscharfen Mengen gebildet. Diese Menge ist Bezugspunkt für die Formulierung von Regeln der *Wenn*-Form, in denen neben prädikatenlogischen Quantoren (z.B. ‘ $\forall$ ’) auch als weiteres zweistelliges Prädikat die Elementschaftsbeziehung (‘ $\in$ ’) auftreten kann. Da man diese Regeln als Güteforderungen bezeichnet, kann man von der Güteforderungsmenge sprechen. Mengentheoretisch betrachtet existiert diese Menge zwar stets, aber sie kann auch leer sein. Die Resolutionsregel nach Definition 4-2 könnte auf widersprüchliche Erscheinungen in der *Fuzzy*-Logik hinweisen, aber noch ist diese Erscheinung nicht bewiesen. Wie schon in Kap. 4.3.1.1 *Wenn-dann*-Logik erwähnt, ist die Wissensbasis im *Wenn*-Teil gewissermaßen eine willkürliche Ausführungsvorschrift eines erfahrenen Menschen. Deshalb sollten die Zusammenhänge der Güterklasse oder die Kausalbeziehungen in der Kodierungs- oder Fuzzifizierungs- Phase intensiv geprüft werden, um über die Stabilität des Systems Aussagen zu ermöglichen.

#### 4.3.4 Unsicheres Wissen und Wahrscheinlichkeiten

Unsicheres Wissen beinhaltet unsichere und unscharfe (vage) Aussagen. Über diese Aussagen kann man nicht einfach eine Entscheidung als wahr oder falsch treffen<sup>34</sup>. Um Unsicherheiten des Wahrheitswertes ausdrücken zu können, wurden mehrwertige Logiken entwickelt. Dazu soll die Wahrscheinlichkeitstheorie zur Beschreibung der Unsicherheiten bezüglich des Wahrheitswertes (als zweistellige Zufallsvariable oder Prozent) von Aussagen eingesetzt werden. Für die Behandlung von Widersprüchen sind Widersprüche bei unsicheren und unscharfen Aussagen nicht so klar definiert wie bei klassischer Logik. Bei der Darstellung der Unsicherheit des Wissens entsprechend der Evidenztheorie können nicht-disjunktiven Mengen  $A$  Wahrscheinlichkeitswerte  $P(A)$  zugeordnet werden, so dass auch hier widersprüchliche Aussagen gleichzeitig gelten können. Insbesondere ist es möglich, nicht modellierte Sachverhalte dadurch zu kennzeichnen, dass der Menge aller möglichen Alternativen, ebenfalls eine bestimmte Basiswahrscheinlichkeit zugeordnet wird. Damit wird ausgedrückt, dass mit dieser Wahrscheinlichkeit jede der möglichen Alternativen als Ergebnis des Experiments in Frage kommt [Lunze (1994b)].

---

<sup>34</sup> Binäre Entscheidung

Die Wahrscheinlichkeit drückt aus, mit welchem Maß man davon ausgehen kann, dass ein Ereignis eintritt: Sicheres Ereignis  $P(A) = 1$ , unmögliches Ereignis  $P(A) = 0$ , wobei der Ereignisraum:  $A =$  Menge, endlich ist. Ausgehend von Erfahrungen schätzt man die Häufigkeit. Die Wahrscheinlichkeit der Aussagen kann nicht nur analytisch, sondern auch empirisch bestimmt werden. In der Technik gibt es solche Aussagen, die mit einer Unsicherheit behaftet sind. Zum gegenwärtigen Zeitpunkt ist es nicht klar, ob die Aussage wahr oder falsch wird. Deshalb kann die klassische zweiwertige Logik nicht angewandt werden. Wie weit sind die Axiome der Wahrscheinlichkeit aussagekräftig? Man kann die Wahrscheinlichkeit direkt an die AL anschließen. Statt Wahrheit und Falschheit benutzen wir die Skalierung und Gewichtung. Aber es gibt keine eindeutige (verbindliche) Interpretation der Wahrscheinlichkeit und Modalität. Man hat sie nur formal einigermaßen im Griff. Es gibt mindestens abzählbar viele formale Systeme der ML. Das liegt daran, dass es unterschiedliche Semantik gibt für Umgang mit der geschachtelten Modalität, wie z.B. „*Es ist notwendig, dass es möglich ist A*“ oder „*Es ist möglich, dass es notwendig ist A, dass es möglich ist B*“. Modallogiksysteme unterscheiden sich vor allem, wie sie damit umgehen und wie weit solche Folge von Modalität zusammen gezogen oder reduziert werden können. Man kann hier Modallogik und Temporallogik „*es ist möglich, dass A*“ und „*es wird möglich, dass A*“ für Voraussagen oder Diagnostik anwenden wie in (4-6) für Risikoabschätzung oder zur Wettervorhersage. Man glaubt mit dieser Aussage, den möglichen treffsicheren Bereich festgelegt zu haben. In der Wahrscheinlichkeit definiert man Axiome wie folgt:

Für die Wahrscheinlichkeit  $P(A)$  eines Ereignisses  $A$  mit Elementarereignis  $e$

$$P(\varphi) = \frac{\text{Anzahl der für } \varphi \text{ günstigen}}{\text{Anzahl aller möglichen}}$$

Diese Skalierung (Prozent-Angabe) kann für Modaloperator denkbar sein wie z.B.

$$P(\diamond \varphi) = 0.4$$

P (Ereignisse, die durch die Aussagensätze bezeichnet sind)

Die Frage ist, wo kriegt man die Wahrscheinlichkeit der einzelne Ereignisse her? Durch Zufallsexperimente (aposteriorisch) oder apriorische Annahme oder durch Erfahrungswerte, wo relative Häufigkeiten auftreten. Die Vergangenheit ist Maßstab für die Aussage der Zukunft. Wir nehmen als Beispiel ein Würfel-Experiment. Man sagt die Wahrscheinlichkeit für  $P(\text{bestimmte Zahl eintritt}) = \frac{1}{6}$ . Diese Aussage kommt von apriorischer Annahme.

Wenn man faktisch einen Würfel nimmt, fängt man an zu experimentieren. Wenn es nicht mit erwarteten  $1/6$  eintritt, sagt man, „das ist kein fairer Würfel“. Wenn man empirischen Würfel nimmt und es werde empirisch gewürfelt, dann stellt man nach endlicher Zeit fest, dass die

Häufigkeit und damit die Wahrscheinlichkeit nicht für jede Augenzahl gleich ist. Man kann daraufhin sagen, es genüge nicht, endlich oft zu würfeln, man müsse vielmehr unendlich viele Würfe betrachten, dann würde sich zeigen, dass die apriorische Wahrscheinlichkeit tatsächlich zutrifft. Das kann wie bei Hegel auf nicht erfüllbare Ganzheit hindeuten.  $A$  tritt ein genau dann, wenn die Augenzahl gleich  $P(A)$  hat. Bei apriorischer Annahme soll man die Implikationsbedingung genau einschränken. Im Gedankenexperiment genau wie in der Mathematik, setzen wir diese als wahr voraus. Um das unsichere Wissen zu formalisieren, braucht man mehr als Wahrscheinlichkeit. Ob  $A$  eintritt oder nicht eintritt, kann man auch im extremen Fall als Wettverhalten bezeichnen. Bei der Voraussage über unsicheres Wissen besteht die Gefahr, dass man die apriorischen Annahmen ohne tautologischen Hintergrund einfach als wahr erklärt und sich dann wundert, warum die erwarteten Ereignisse nicht eintreten.

Um näherungsweise das Problem beschreiben oder vorhersagen zu können, benutzen wir in der Technik die Wahrscheinlichkeitsrechnung oder Mittelwerte. Die Annahmen der Wahrscheinlichkeitstheorie können in verschiedenen faktischen Anwendungsfällen nicht eingehalten werden, weil einzelne Wahrheitswerte schwanken. Die Wahrscheinlichkeit ist die relative Häufigkeit des Auftretens des betrachteten Ereignisses bei unendlich vielen Experimenten. Je häufiger ein Ereignis auftritt, desto größer ist der Wahrheitswert der Aussage, durch das Auftreten des Ereignisses zum Ausdruck gebracht wird. Dies entspricht den Erfahrungen des Menschen, dessen Eindruck von einer Sache umso klarer und sicherer ist, je häufiger er diese Sache beobachtet hat.

Definition 4-3: Mittelwertwahrheit

Der Mensch merkt sich viele Tatbestände nicht durch Einzelfälle, sondern als Mittelwerte.

Durch unsere Erfahrungswerte kann die Wahrheitsintensität des Ereignisses in akzeptablem Wertbandbereich bleiben. Durchschnittliche Werte der Verteilung der Experimente oder Erfahrungen gehören der Gültigkeit der Wahrheit. Hier wird sie als Mittelwertwahrheit bezeichnet:

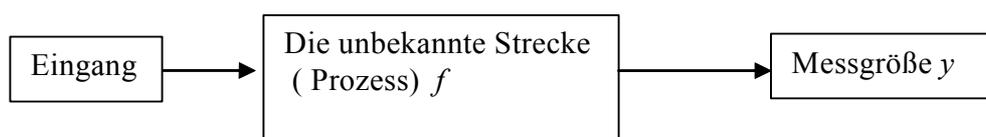


Abbildung 10: Darstellung eines unbekanntes Systems

Wir haben kein vollkommenes Wissen über die Realität oder über die Strecke in der Technik, weil es zu viele unbekannte Faktoren gibt, die wir nicht beschreiben können. Dann versuchen

wir mit Experimenten Erfahrungswerte gegenüber unsicherem Wissen der Strecke zu erhalten. Eine typische Methode ist die Sprungantwort. Bei definiertem Input erhalten wir mit großer Wahrscheinlichkeit ähnliche Antworten. Diese praktisch bewährte Methode hat auch ihre Grenze, weil die Relation von Input zur Antwort meistens keine lineare Beziehung ist. Eine Gleichung der Form  $y = f \times x$  entspricht nicht den Merkmalen der Strecke (wegen unbekannter Parameter). Ein anderes Beispiel zeigt die Sprungantwort eines Differentiators. Die Eingangsgröße ist ein Stoß ( $t$ ). Eine Simulation eines derartigen Verhaltens ist nicht möglich.

Um Regler zu entwerfen, muss man die Strecke kennen, aber in der Praxis gibt es viele Fälle dafür, dass nur die Messgröße der Sprungantwort als sicheres Wissen zur Verfügung steht. Durch Modellbildung kann man dieses unsichere Wissen kompensieren, aber in vielen Fällen geht es schief. Man versucht sehr mit inhaltlich motivierter Intention eine Relation zwischen Eingangsgröße und Ausgangsgröße heraus zu finden.

Zuerst muss die Beschreibbarkeit des Systems überprüft werden. Danach soll Gültigkeit der Definition (oder des Axioms) gerechtfertigt werden. Wenn es geht, soll die Definition selbst ihre eigene Gültigkeit offenbaren. Schließlich soll unsere Aussage genauer sein.

Fassen wir zusammen, was sich für den Umgang mit unsicherem Wissen ergibt:

- Bei der Erweiterung der logischen Konstanten soll man vorsichtig die Zusammenhänge mit mathematischen Ausdrücken und klassische Logik überprüfen.
- Wir können nicht die formale Ausdrücke, die aus der Umgangssprache entlehnt sind, vollständig themenneutral anwenden; etwas bleibt übrig von den Mehrdeutigkeiten der Umgangssprache.
- Durch nicht Schließbarkeit des unsicheren Wissens kann die Menge der Axiome immer weiter durch neue Axiome erweitert werden, solange bis die Interpretation in einem bestimmten Bandbereich des Wahrheitsgrades bleibt oder nicht zu Widersprüchen im System führt.
- Die Aussagen über unsicheres Wissen sind weder schließbar noch berechenbar und eine präzise Interpretation der Sachverhalte ist wegen mangelnder Information (Erkenntnis) oder wegen eines Mangels an Urteilskraft (Dummheit) nicht möglich. Deshalb bleibt die Wahrscheinlichkeitsberechnung in einer gewissen Unsicherheit.

- Das sprachliche Urteilsvermögen ist sehr individuell. Deshalb kann die Dekodierung unsicherer Ausdrücke der natürlichen Sprache nach metrischen Größen oder umgekehrt (Kodierung) nur in einer nicht-allgemeingültigen Weise durchgeführt werden; sie liefert keine tragfähige Basis, sondern gibt gute Absichten wieder.
- Widersprüche sind nicht eindeutig identifizierbar, soweit sie nicht syntaktisch identifizierbar sind. Sobald sie aber (wie in dem Beispiel 'heißer Schnee') nur semantisch erkennbar sind, ist diese Eindeutigkeit nicht mehr gegeben, falls keine zusätzlichen Vorkehrungen getroffen worden sind. Der verschachtelte Geltungsbereich für Vorschriften, muss vereinfacht werden, um die Identifizierung widersprüchlicher Aussagen zu erleichtern. Unsicheres Wissen verursacht unsichere Urteile.

## 5 Interpretation der Logik in technischen Prozessen mit Randbedingungen

Eines der großen „Mitbringsel“ der industriellen Revolution ist die Energieumwandlung, beispielsweise die Thermodynamik durch Feuer in einer Dampfmaschine. Sie sollte dem Menschen die Verrichtung körperlicher Arbeit erleichtern und deren Effizienz erhöhen. Nun versucht man, ähnliche Ziele mit der so genannten Informationsrevolution (inklusive der KI) für verschiedene Bereiche geistiger Arbeit zu erreichen. Der Mensch träumt sogar von einem System, das gegebene Aufgaben ohne menschliche Eingriffe zuverlässig erledigen kann. Um eine derart *autonome* Tätigkeit eines Artefakts technisch zu realisieren, brauchen wir ein komplexes Bewertungssystem<sup>35</sup>. Unser Geist ist jedoch nicht nur auf Denkvorgänge beschränkt, sondern er stellt sich als ein Mysterium dar, das der Mensch mit gesamtem Wissen nicht eindeutig erklären und beschreiben kann.

In Kapitel 4 haben wir untersucht, wie logisches Wissen in der Technik umgesetzt wird. Wir arbeiten mit der Annahme, dass das Kausalgesetz aus der Kausalbeziehung ihre richtige Folgerung oder ihre Abbildung hat. Aber wir wissen, dass jede Kausalannahme unter gewissen Umständen so aufgebaut ist, dass ‘normale’ Randbedingungen erfüllt sind und sich diese Normalitätsannahmen niemals vollständig erfassen lassen. Die Welt, in der wir leben, kann sich nicht repräsentieren. Alle bewegen sich nach dem Kausalgesetz und die Lebewesen, besonders die Menschen als ‘denkende Substanzen’<sup>36</sup> [Schütt, H.P. (1989)], können sich teilweise unabhängig vom Kausalgesetz verhalten, weil wir uns nach unserer Interpretation (meditierendes Ich) über die Welt orientieren. Der Mensch ist ein Lebewesen, das in der Lage ist, die Kausalbeziehung gegenseitig zu beeinflussen. Für sein Interesse<sup>37</sup> oder zu seinen Gunsten wird er einen Teil der Kausalbeziehung durch seine Interpretation, Erkenntnis und sein Wissen nutzen. Die Welt, die wir wahrnehmen, ist unsere Vorstellung, die wir mit unseren Abbildungen aufgebaut haben. Wir verstehen<sup>38</sup> und fühlen die verfügbaren Abbildungen der Welt durch unsere eigenen Abbildungsmuster. Solche Abbildungen oder die von der Kausalbeziehung abgeleiteten Kausalgesetze werden prinzipiell als spezielle Relation zur Welt betrachtet. Dabei spielt das „modellistische“ Erkenntniskonzept eine Rolle. „Das Modellkonzept der Erkenntnis greift den Abbildgedanken der klassischen Erkenntnistheorie auf, relativiert ihn jedoch im Sinne des pragmatischen Entschlusses. Hiernach ist alle Erkenntnis eine Erkenntnis in Modellen oder durch Modelle, und jegliche menschliche Weltbegegnung überhaupt bedarf des Mediums „Modell“: Indem sie auf das – passive oder

---

<sup>35</sup> Das bedeutet mehr als Wahrheitswertzuweisungssystem.

<sup>36</sup> Vgl. Schütt (1989) „Das meditierende Ich hat sich vergewissert, dass es denkt und dass sein Denken eine hinreichende Bedingung für seine Existenz ist.“ S.249

<sup>37</sup> Seine Motivation oder Treibende Kraft könnte Ideal oder Gier oder eigener Vorteil oder verschieden sein.

<sup>38</sup> Lat. ‘intelligere’.

aktive – Erfassen von etwas aus ist, vollzieht sie sich relativ zu bestimmten Subjekten, ferner selektiv – intentional selektierend und zentrierend – und in je zeitlicher Begrenzung ihres Original-Bezuges“ [Stachowiak (1973), S.56] Diese Relation kann ein fest verdrahteter Kanal sein oder ein dynamischer virtueller Kanal, abhängig von beliebigen Variablen und Bedingungen. Dieser Kanal soll die grundlegende Verbindung als Dreh- und Angelpunkt zwischen Welt und Menschen sein. Diese Verbindung zur Welt und die daraus erhaltenen Wertmengen können wir in technischen Prozessen als Messsignale erfassen. In der technischen Welt beruht die logik-basierte Wissensverarbeitung zuerst auf dieser Signalbearbeitung. Um die Fehler oder das Abweichen unseres Denkens zu vermindern, brauchen wir neue Denkansätze über die Interpretation der logischen Vorgänge in der Technik. Bei der Realisierung der Ideen wollen wir wenige Fehler machen und ein zuverlässiges System bauen, das mit der Theorie ausgestattet ist, die logisch einwandfrei, widerspruchsfrei ist und unter korrekter Kausalitätsinterpretation steht. Unser Urteilvermögen und Überlebensfähigkeit hängen davon ab, wie exakt wir Interpretation und Wissen der Welt in unserem Kopf kreieren können. In dieser Arbeit geht es darum, wie wir Denkfehler bei der Realisierung der Technik vermeiden können und was man daraus lernen kann, um stabile System zu bauen.

Die Erkenntnis dieser Arbeit soll zu den intelligenten Lösungen der technischen Probleme dienen und die philosophische Denkweise soll nicht inhaltlich motivierte Schlussfolgerung, sondern wesentliche Denkstruktur anbieten, um widersprüchliche Beschreibung über die Welt und über die davon abgebildete Technik zu vermeiden.

## 5.1 Universum als Basis einer bestimmten Interpretation

Das Wort ‘Universum’, wie es in der Logik gebraucht wird, sollte man nicht missverstehen: Gemeint ist *nicht* die Gesamtheit der Erde, des Sonnensystems, der Galaxie oder des Kosmos, sondern nur die Gesamtheit dessen, worüber in einem gegebenen Kontext gesprochen, geredet bzw. etwas ausgesagt wird.<sup>39</sup> In der Logik versteht man eine solche Gesamtheit einfach als eine Klasse (oder Menge)  $U$ , deren Elemente irgendwelche Individuen sind, die als Bezug (engl. *reference*) für die Individuensymbole (Konstanten wie Variablen) einer prädikatenlogischen Sprache  $L$  nach Definition 3-24 in Betracht kommen. Als Bezug für einen  $n$ -stelligen Prädikator von  $L$  kommen dann Klassen (oder Mengen) geordneter  $n$ -Tupel dieser Individuen aus  $U$  in Betracht. Diese Teilklassen (oder -mengen) von  $U^n$ , d.h. des  $n$ -fachen kartesischen

---

<sup>39</sup> In [Bläsius et al. (1987)] wurde es als ‘Diskurs(Abhandlungs)bereich’ bezeichnet; im Englischen heißt es oft: *universe of discourse*.

Produkts von  $U$  mit sich, deutet man als  $n$ -stellige Relationen über  $U$ . Die Zuweisung eines Bezugs an alle Individuensymbole und alle Prädikatoren von  $L$  ist das, was man eine Interpretation von  $L$  nennt. Offensichtlich ist die vorherige Wahl bzw. Festlegung eines Universums  $U$  die Basis für eine Interpretation  $I$ . Der Begriff des Universums in der Prädikatenlogik ist wie folgt beschrieben [Schütt, H.P. (2002) Seite 191]: “Man ist in der Logik bestrebt, sich möglichst allgemein auszudrücken und so wenig wie möglich von Annahmen darüber abhängig zu sein, wie die Welt wirklich beschaffen ist. Zur wirklichen Beschaffenheit der Welt, *die nur empirisch zu erkennen ist*, gehört aber auch, welche Individuen wirklich existieren und wie diese gegebenenfalls heißen. Deshalb vermeidet man es in der Logik, sich auf die Existenz bestimmter Individuen (z.B. Sokrates usw.) festzulegen. Stattdessen bezieht man sich auf irgendwelche *Klassen* von Individuen. Die damit einhergehende Unbestimmtheit wird anschließend kompensiert, indem man nicht nur diese oder jene solcher Klassen berücksichtigt, sondern alle. Man betrachtet also nicht nur für eine Klasse irgendwelcher Individuen, wie der Bezug der Individuen- und Prädikatkonstanten *im Hinblick auf diese Klasse* gestaltet werden kann, sondern man stellt diese Betrachtung für jede derartige Klasse an.“

In der formalen Semantik der Prädikatenlogik geht man also davon aus, dass alle nur denkbaren Universen als Klassen oder Mengen irgendwelcher Objekte *schon gegeben* sind; und die Betrachtungen der Logiker beschränken sich darauf, alle möglichen Kombinationen der Zuordnung der Elemente dieser Mengen und der Teilmengen ihrer  $n$ -fachen kartesischen Produkte mit sich als Bezugsobjekte der Symbole von Formelsprachen unter gewissen Gesichtspunkten (wie Allgemeingültigkeit und Erfüllbarkeit) zu untersuchen. In der Technik aber geht es um einen weniger abstrakten und weniger formalen Begriff von Interpretation; und es geht nicht um *irgendwelche* Mengen von Individuen als Universum, sondern um konkrete Ausschnitte der wirklichen Welt, mit Bezug auf die man bestimmte Systemzustände, z.B. Signale, interpretiert. Der Hauptunterschied zur Logik besteht darin, dass man nicht von irgendeiner Zuordnung zwischen irgendeinem Universum und bestimmten Formeln spricht, sondern von ganz bestimmten realen Beziehungen zwischen einem ganz bestimmten Universum und bestimmten Signalen.

So ein ganz bestimmtes Universum kann Teil eines anderen solchen Universums sein. In der Umgangssprache sagen wir oft, jeder habe seine eigene Welt. Aber damit wollen wir in der Regel nicht ausschließen, dass diese eigenen Welten dennoch Teile einer gemeinsamen größeren Welt sind. Ähnlich ist es mit technischen Systemen und ihren spezifischen Umgebungen. Für manche Zwecke kann man diese begrenzten Umgebungen wie eine eigene geschlossene Welt ansehen, für andere Zwecke kann das aber auch ein Fehler mit fatalen

Folgen sein. Im Hinblick auf technische Systeme geht es also nicht um formale Interpretationen wie in der Logik, sondern um *konkrete* Interpretationen.

Gleichwohl setzen auch konkrete Interpretationen, wie die formalen, die vorherige Fixierung eines Universums voraus, das jedoch wie gesagt ein ganz bestimmter Ausschnitt der wirklichen Welt ist. Daraus ergibt sich ein erster Problempunkt: ein derartiges konkretes Universum kann nicht ohne weiteres als eine bloße Klasse oder Menge wohlbestimmter Individuen angesetzt werden. Denn oft ist uns gar nicht bekannt, welche Individuen sich in einem raumzeitlich begrenzten Teil der wirklichen Welt faktisch befinden. Außerdem gibt es eine Unbestimmtheit, was überhaupt als ein Individuum zählen soll: gewöhnliche makroskopische Objekte wie z.B. Bücher, Stühle und Tische oder mikroskopische Objekte wie z.B. Moleküle oder gar Atome. Je nach dem, was man als das relevante Format ansetzt, ergeben sich ganz unterschiedliche Antworten auf die Frage, wie viele Objekte sich in einem Raum-Zeit-Gebiet befinden. Was hier jeweils relevant ist, hängt auch von unseren Erklärungs- und Beschreibungszielen und deshalb von unseren Interessen ab. Generell kann man sagen: Eine bestimmte Portionierung oder Aufteilung eines Stücks der wirklichen Welt und damit die Individuenstruktur eines konkreten Universums hängt ab von einer *als zutreffend vorausgesetzten* empirisch ermittelten *Beschreibung* dieses Stücks Welt. Kurz: Konkrete Universen sind nie einfach „gegeben“; sie setzen eine (empirisch) wahre Theorie voraus.

Unter der Annahme, eine solche Theorie liege vor, kann man freilich eine eindeutige Zuordnung zwischen den Individuen eines konkreten Universums und deren Eigenschaften bzw. Relationen auf der einen Seite und Systemzuständen, die man als Signale verstehen möchte, auf der anderen Seite formulieren, die in ihrer Struktur dem in der Logik verwendeten formalen Interpretationsbegriff entspricht. Dabei ist zu beachten, dass die Erfüllung der Forderung der *eindeutigen* Zuordnung, die dem betreffenden Signal erst eine eindeutige Bedeutung gibt, im Fall der konkreten Interpretation an physische Bedingungen geknüpft ist und nicht, wie in der Logik, einfach aus dem Begriff der Interpretation folgt.

Nach den Definitionen 3-23 bis 25 erhalten wir für ein 1-stelliges  $\Phi$  die Bewertungsfunktion  $v_I$  auf der  $L$ -Ebene:

$$v_I(\Phi\alpha) = \top \leftrightarrow \text{Ref}_I(\alpha) \in \text{Ref}_I(\Phi), \text{ wobei } \text{Ref}_I(\Phi) \subseteq U. \quad 40$$

Für  $n$ -stelliges  $\Phi$  ergibt sich entsprechend:

$$v_I(\Phi\alpha_1 \dots \alpha_n) = \top \leftrightarrow \langle \text{Ref}_I(\alpha_1), \dots, \text{Ref}_I(\alpha_n) \rangle \in \text{Ref}_I(\Phi), \text{ wobei } \text{Ref}_I(\Phi) \subseteq U^n. \quad (5-1)$$

---

<sup>40</sup> Statt „ $\text{Ref}_I(\alpha)$ “ könnte man auch „ $I(\alpha)$ “ sagen, denn die „Referenz“, d.h. den Gegenstandsbezug des Individuensymbols  $\alpha$  kann man ebenso gut als die Interpretation von  $\alpha$  ansprechen. Die Interpretation  $I$  besteht ja in nichts anderem als der Spezifikation des Gegenstandsbezugs (der „Referenz“) der Symbole mit Bezug auf Elemente und Teilmengen von  $U$  bzw. von  $U^n$ .

Gemäß (5-1) überlegen wir, wie eine *konkrete* (reale) Interpretation in einem konkreten Fall des möglichen Zustands einer Anlage aussieht. Wir nehmen an, die Beschreibung der Anlage sei in einer PL-Sprache gegeben. Der Übersetzung dieser PL-Sprache in die Umgangssprache entspricht eine Interpretation dieser PL-Sprache mit Bezug auf ein bestimmtes Universum  $U$ , dessen Elemente in diesem Fall die relevanten Teile der Anlage sind. Der Einfachheit halber seien dies  $n$  rote Lampen auf einer Kontrolltafel und  $n$  Treibstofftanks. Diese seien durch die Individuenkonstanten  $'a_1', \dots, 'a_n'$  und  $'b_1', \dots, 'b_n'$  bezeichnet. Außerdem gibt es zwei einstellige Prädikatoren  $'P'$  und  $'Q'$ , die zum Ausdruck bringen, dass die Lampen brennen und die Tanks fast leer sind. Aufgrund der logischen Semantik gilt für die Standardinterpretation  $I$  trivialerweise:

$$Ref_I('a_1') = a_1, Ref_I('b_1') = b_1, Ref_I('a_2') = a_2, Ref_I('b_2') = b_2 \text{ usw.}$$

Der Gegenstandsbezug der Prädikatoren ist etwas komplizierter, weil eine Lampe (bzw. ein Tank) zu einer Zeit brennt (bzw. fast leer ist), zu einer anderen Zeit aber nicht. Um Zeitunterschiede zu berücksichtigen, müssen daher auch Individuensymbole für Zeitstellen gebraucht werden; dies seien  $'t_1', 't_2', \text{ usw.}$  Aus den einstelligen Prädikatoren  $'P'$  und  $'Q'$  werden durch die Ergänzung eines Zeitparameters zweistellige Prädikatoren, deren Referenz jeweils eine Menge geordneter Paare der folgenden Gestalt ist:

$$Ref_I('P') = \{\langle a_i, t_j \rangle \mid \text{Die Lampe } a_i \text{ brennt zur Zeit } t_j\},$$

$$Ref_I('Q') = \{\langle b_i, t_j \rangle \mid \text{Der Tank } b_i \text{ ist zur Zeit } t_j \text{ fast leer}\}.$$

Für eine ausgewählte Lampe und einen ausgewählten Tank gilt trivialerweise gemäß (5-1)

$$v_I('Pa_it_j') = \top \leftrightarrow \langle Ref_I('a_i'), Ref_I('t_j') \rangle \in Ref_I('P'),$$

$$v_I('Qb_it_j') = \top \leftrightarrow \langle Ref_I('b_i'), Ref_I('t_j') \rangle \in Ref_I('Q').$$

Nun *soll* aber das Brennen einer bestimmten Lampe bedeuten, dass ein ganz bestimmter Treibstofftank nahezu leer ist. Das heißt, es *soll* das Folgende gelten:

$$Pa_it_j \leftrightarrow Qb_it_j, \text{ für alle } i \text{ und alle } j. \quad (5-2)$$

Dies enthält die Annahme, dass Lampen und Tanks entsprechend nummeriert sind: Lampe 1 ist auf Tank 1 bezogen usw. Wir wissen nun aus Erfahrung: es kann vorkommen, dass  $Pa_it_j$ , obwohl  $\neg Qb_it_j$ . Eine „falsche“ Anzeige ist aufgrund technischer Defekte immer möglich. In einem solchen Störfall ist die Anzeige real, obwohl das, wofür sie steht, nicht real ist. Der Normalzustand der Anlage sei ausgedrückt durch eine Konjunktion von Bedingungen, die so genannte Normalitäts-Bedingung, die im Folgenden mit  $'N'$  wiedergegeben sei<sup>41</sup>. Falls die

---

<sup>41</sup> Diese zu  $N$  gehörende Aussage kann man intendierende Interpretation nennen, die in der Technik als 'Problem' erkannt wird.

Normalitätsbedingung  $N$  erfüllt ist, arbeitet die Anlage, wie sie arbeiten *soll*. Faktisch gilt also anstelle von (5-2) nur:

$$N \rightarrow Pa_i t_j \leftrightarrow Qb_i t_j, \text{ für alle } i \text{ und alle } j \quad (5-3)$$

Aus der Logik wissen wir, dass (5-2) trivial wahr wäre, wenn gelten würde:

$$a_i = b_i \text{ und } Ref_I('P') = Ref_I('Q') \quad (5-4)$$

Nur dann also, wenn (5-4) in  $N$  enthalten wäre, würde (5-2) ohne weiteres gelten. Das kann aber nicht so sein, weil eine Anzeige, die mit dem Angezeigten *identisch* ist, natürlich witzlos wäre. In technischen Kontexten ist ein Satz wie (5-2) niemals trivial wahr, weil dort die Anzeige stets verschieden ist vom Angezeigten, also:  $a_i \neq b_i$ . Dass die Lampe  $a_i$  brennt, soll ja nicht anzeigen, dass die Lampe  $a_i$  brennt, sondern dass der Treibstofftank  $b_i$  nahezu leer ist.

Da nicht die Aussage ' $Pa_i t_j$ ', sondern die *Tatsache*, dass  $Pa_i t_j$ , also nicht der Satz 'Die Lampe brennt', sondern das Brennen der Lampe  $a_i$  zur Zeit  $t_j$ . Als Anzeige für einen bestimmten Zustand des Brennstofftanks  $b_i$ , ist diese Tatsache selbst so etwas wie ein Zeichen. Zum Zeichen wird ein Objekt aber stets durch eine Interpretation. Die logische Begrifflichkeit von Interpretation, Bezug und Wahrheitswertzuteilung wird also nicht nur auf die Symbole einer Sprache bezogen, sondern auch auf die Teile von technischen Anlagen und deren Zustände. Wenn wie angenommen  $I$  die übliche Interpretation der Symbole der PL-Sprache ist, mit der wir die Anlage beschreiben, kommt eine ergänzende Interpretation  $J$  ins Spiel, die den Zeichencharakter gewisser Anlagezustände begründet. Wie sieht die passende Interpretation  $J$  im konkreten Fall aus?

Die Lampe  $a_i$  soll gewissermaßen auf den Treibstofftank  $b_i$  Bezug nehmen. Das hieße in der Terminologie der logischen Semantik:  $Ref_J(a_i) = b_i$ , und wohlgemerkt nicht:  $Ref_I('a_i') = b_i$ , woraus sofort folgen würde, dass  $a_i = b_i$ . Das Brennen der Lampe  $a_i$ , also die *Tatsache*, dass  $Pa_i t_j$ , nimmt unter der ergänzenden Interpretation  $J$  Bezug auf den Umstand, dass  $Qb_i t_j$ . Es soll sich ja gemäß (5-2), aber ohne *voraussetzen*, dass  $a_i = b_i$ , dennoch ergeben:

$$v_I('Pa_i t_j') = v_I('Qb_i t_j') \text{ für alle } i \text{ und alle } j \quad (5-5)$$

was nach der Semantik der Prädikatenlogik nichts anderes ist als die Wahrheitsbedingung für (5-2). Ihre Erfüllung kann wie gesagt nicht durch (5-4) gewährleistet sein, sondern nur durch *funktionierende* physische Verknüpfungen (z.B. Kabel u. dgl.) zwischen den korrespondierenden Teilen der Anlage. Die ergänzende Interpretation  $J$  steht deshalb unter konkreten, empirischen, physikalischen und kausalitätsbezogenen Bedingungen, deren Erfüllung niemals trivial ist. Solche Bedingungen möchte ich als Non-Trivialitätsbedingung ( $NT$ ) der Interpretation  $J$  bezeichnen. Sie betrifft vor allem die Klausel 'für alle  $i$  und alle  $j$ ', die zum einen die einzelnen Lampen auf den „richtigen“ Tank bezieht und außerdem die zeitliche Korrespondenz fordert. Ein Element von  $Ref_I('P')$  hat die Gestalt  $\langle a_i, t_j \rangle$ . Die ergänzende Interpretation  $J$

erklärt den entsprechenden Sachverhalt zu einem Anzeichen für den Sachverhalt, der dem Element  $\langle b_i, t_j \rangle$  aus  $Ref_I('Q')$  entspricht. Durch  $J$  wird also die Referenz von 'P' in einer ganz besonderen Weise systematisch auf die Referenz von 'Q' bezogen, nämlich so dass *zur rechten Zeit* und *nur* dann die Lampe mit der Nummer  $i$  brennt, falls der Tank mit derselben Nummer fast leer ist. Man kann dafür sagen:

$$Ref_J\langle a_i, t_j \rangle = \langle b_i, t_j \rangle.$$

Diese Gleichung kann nicht trivial oder automatisch erfüllt sein. Sie ist nur dann erfüllt, wenn (5-5) gilt, was wie gesagt von nicht-trivialen empirischen Tatsachen abhängt. Man muss sich außerdem vor Augen halten, dass ein  $a_i$  und das (der Interpretation  $J$  zufolge) korrespondierende  $b_i$  räumlich sehr weit voneinander entfernt sein oder verschiedene Anlagen miteinander durch Anzeigesysteme (etwa über das Internet) verbunden sein können. Im Hinblick auf derartige Fälle kann es von Vorteil sein, statt nur einen festen Ausschnitt der Welt als Universum  $U$  anzunehmen, mit verschiedenen ähnlichen Ausschnitten zu arbeiten, die man durch Indizierung unterscheidet. Als allgemeine Form der Darstellung des Gegenstandsbezugs eines  $n$ -stelligen Prädikators im  $j$ -ten Ausschnitt der Welt ergibt sich dann:

$$Ref_{I_j}(\Phi) \subseteq U_j^n \quad (5-6)$$

## 5.2 Abbildungen

Abbildungen oder Funktionen sind vom logischen Standpunkt betrachtet nichts anderes als spezielle Relationen. Nach Definition 3-45, ist mit

$$f: U \rightarrow U'$$

genau dann eine Abbildung oder Funktion gegeben, wenn *jedem*  $x$  aus der Menge  $U$  *eindeutig* ein  $y$  aus der Menge  $U'$  durch die Funktionsvorschrift  $f$  als Abbild oder Funktionswert zugeordnet ist.

In der Umgangssprache bedeutet 'Abbildung' eine getreue optische Darstellung eines Bereichs (z.B. einer Landschaft) in einem Medium (z.B. auf einer Landkarte). In der Logik wird abstrahiert vom optischen Charakter der Darstellung, und die „Treue“-Forderung wird ersetzt durch die beiden formalen Merkmale

- a) der „Totalität links“ – *jedes* Element von  $U \dots$ ,
- b) der „Eindeutig rechts“ –  $\dots$  hat *genau ein* Element von  $U'$  als Bild oder Funktionswert.

Ist  $f: U \rightarrow U'$  gegeben, heiße  $U$  der *Argumentbereich* der Funktion  $f$  und  $U'$  ihr *Wertebereich*. Der aus dem Alltag vertraute Umstand, dass eine Abbildung „weniger“ enthält als das Abgebildete, schlgt sich darin nieder, dass verschiedene Elemente des Argumentbereichs ein

und dasselbe Element des Wertebereichs zugewiesen werden können. Im Allgemeinen ist eine Funktion eben nur „rechts eindeutig“. Funktionen, die auch „links eindeutig“, also ein-eindeutig sind, nennt man injektive Funktionen. Ferner sind Funktionen im Allgemeinen nur links, aber *nicht* auch rechts „total“, d.h. es kann Elemente des Wertebereichs geben, die keine „Abbilder“ von Elementen des Argumentbereichs sind. Funktionen aber, die auch „rechts total“ sind, heißen surjektive Funktionen. Ist eine Funktion sowohl injektiv als auch surjektiv spricht man von einer bijektiven (umkehrbar ein-eindeutigen) Funktion.

Messen deutet man im Allgemeinen als die Anwendung einer Messfunktion, wobei Messfunktionen sich dadurch auszeichnen, dass sie eine Zahlenmenge als Wertebereich haben. Das heißt: Wo gemessen wird, unterstellt man, es gebe eine zugrundeliegende Funktion, die Elemente eines Argumentbereichs beliebiger Art auf Zahlen abbildet. Nun haben Zahlen wohlbestimmte Eigenschaften, und sie stehen in wohlbestimmten Relationen zueinander. Aber nicht jede beliebige Menge beliebiger Objekte weist dieselben Merkmale auf. Mit der Unterstellung der Existenz einer Messfunktion nimmt man allerdings beispielsweise an, dass die zu messenden Objekte (z.B. Längen, Massen oder Temperaturen) zumindest einige der Eigenschaften oder Relationen teilen, die die zugeordneten Zahlen aufweisen, z.B. Ordnungseigenschaften. Funktionen, die gewisse strukturelle Merkmale der Elemente des Argumentbereichs durch wohlbestimmte Merkmale der Elemente des Wertebereichs wiedergeben, bezeichnet man als Morphismen: strukturerhaltende Funktionen. Lineare Funktionen erhalten die algebraische Struktur ihres Argumentbereichs, und monotone Funktionen erhalten dessen Ordnungseigenschaften sowie stetige die topologischen. Falls ein Morphismus auch bijektiv ist, spricht man von einer *isomorphen* Funktion.

Für die Anwendung dieser logisch-mathematischen Terminologie auf reale Vorgänge in technischen Zusammenhängen ist das Folgende von herausragender Bedeutung: Mengen oder Klassen denkt man sich *vollständig* als Mannigfaltigkeiten wohlunterschiedener Objekte gegeben. Es ist aber zumindest praktisch, wenn nicht sogar prinzipiell unmöglich, einen bestimmten Ausschnitt der realen Welt vollständig zu erfassen. Schon allein deshalb kann man sich empirisch nicht wirklich vergewissern, dass tatsächlich *jedem* Element eines Ausschnitts der Wirklichkeit genau ein *wohlbestimmter* Wert, z.B. einer Messfunktion, entspricht. Wenn man dies dennoch annimmt, wie es in der Praxis unvermeidlich ist, so ist dies abhängig von einer vereinfachenden bzw. idealisierenden Unterstellung. In vielen Fällen ist diese Unterstellung zweifellos unschädlich. In manchen Fällen dagegen kann es katastrophale Folgen haben, wenn man vergisst, dass die Deutung von Messergebnissen von einer derartigen Unterstellung abhängt. Das gilt insbesondere für Gleichheits- und Äquivalenzunterstellungen.

### 5.3 Neue Interpretation des Wahrheitswertes

In der FL wurde nicht behandelt, wie man die Wahrheit feststellen kann. Aber in der Technik ist es wichtig, wie Wahrheitszuweisungsmöglichkeiten zu realisieren sind. Die Frage, wie man den Wahrheitswert identifiziert, hat mit der Kategorisierung der Wahrheitswerte zu tun. Was ist überhaupt die Wahrheit (lat. *veritas*)? In Philosophie und Logik wird Wahrheit zumeist als prädikative Bestimmung von Urteilen, Aussagen oder Sätzen verstanden und manchmal auch auf mentale Akte oder Zustände wie Überzeugungen (engl. *beliefs*) bezogen. In der Geschichte der Philosophie sind unterschiedliche Konzepte der Wahrheit vorgeschlagen worden, von denen keines unumstritten geblieben ist. Die kontroverse Diskussion darüber hat den Eindruck entstehen lassen, es gebe so etwas wie eine philosophische Spezialdisziplin namens „Wahrheitstheorie“. Das wiederum hat die philosophische These provoziert, die Formulierung einer substantiellen Wahrheitstheorie sei unmöglich. Den entsprechenden Standpunkt bezeichnet man als „wahrheitstheoretischen Deflationismus“ oder – leicht paradox – als deflationistische Wahrheitstheorie. Jedenfalls gibt es keine irgendwie verbindliche philosophische (oder logische) Wahrheitstheorie, an der sich der Ingenieur zu orientieren hätte. Als Resultat der Debatten über die traditionellen Wahrheitskonzepte lässt sich indes das Folgende festhalten. Diese Konzepte gruppieren sich um drei Schlagworte: *Korrespondenz*, *Kohärenz*, *Konsens*. Die zugehörigen Vorschläge lauten:

1. Eine Proposition ist wahr genau dann, wenn sie der Realität *korrespondiert*, d.h. wenn es so ist, wie sie sagt, dass es sei; z.B. ist die Proposition, dass Schnee weiß ist, genau dann wahr, wenn Schnee weiß ist.
2. Eine Proposition ist wahr genau dann, wenn sie Element einer optimal *kohärenten* Menge von Propositionen ist.
3. Eine Proposition ist wahr genau dann, wenn sie Gegenstand eines idealen *Konsenses* ist.

Gegen den ersten Vorschlag ist überhaupt nichts einzuwenden. Aber er erlaubt keine (eliminative) Definition des Prädikats ‘*ist wahr*’; und außerdem gibt er keinen Hinweis darauf, wie man wahre von falschen Propositionen unterscheidet. So gibt er bestenfalls eine akzeptable Umschreibung dessen, was wir mit ‘ist wahr’ meinen, aber weder eine Definition noch ein Kriterium der Wahrheit.

Die beiden anderen Vorschläge enthalten mit den Wörtern ‘optimal’ und ‘ideal’ Bestimmungen, die zumindest zweideutig sind. Entweder wird die gemeinte Optimalität oder Idealität mit Bezug auf Wahrheit als Korrespondenz gedeutet, dann sind sie als Kriterien der Wahrheit unbrauchbar. Oder aber die gemeinte Optimalität bzw. Idealität wird mit Bezug auf

faktisch spezifizierbare Verfahren gedeutet. Dann müssen sie zurückgewiesen werden, weil es stets denkbar ist, dass eine nach den betreffenden Verfahren optimierte Kohärenz bzw. ein dadurch erreichter faktischer Konsens die Wahrheit verfehlt. Als Wahrheitskonzepte liefern Kohärenz und Konsens folglich keine prinzipiell überlegene Alternative zum Korrespondenzkonzept. Das schließt freilich überhaupt nicht aus, dass wir uns faktisch, um zu entscheiden, was wir für wahr *halten*, mangels gangbarer Alternativen immer an einer Mischung aus Kohärenz- und Konsenskriterien orientieren müssen. Im Hinblick auf das Korrespondenzkonzept bleibt gerade für technische Kontexte noch die *Beobachtung* zu ergänzen, dass der Sachverhalt bzw. die Tatsache, mit dem eine gegebene Proposition korrespondieren (oder übereinstimmen) muss, um wahr zu sein, uns niemals anders als in Gestalt einer anderen Proposition (bzw. einer Beschreibung, einer Darstellung, einer Überzeugung, eines oder mehrerer Sätze) „gegeben“ ist. Das gilt auch für Wahrnehmungssituationen, von denen anzunehmen, sie böten einen direkten und verlässlichen Zugang zu „der Realität“, „der Welt“ oder „den Fakten“, nur naiv ist. Alle Beobachtung ist, wie Wissenschaftstheoretiker sagen, entweder „theoriegeladen“ oder „stumm“ im Hinblick auf die Entscheidung über die Wahrheitswerte von Sätzen einer Theorie. Auch und gerade philosophische Wahrheitskonzepte oder –theorien bieten keinen Ausweg aus der wie folgt zu umschreibenden grundsätzlichen Lage:

Was immer Menschen auch nach bestem Wissen und Gewissen *für wahr halten*, kann sich unter anderen Umständen nachträglich als falsch herausstellen.

Alle Wahrheitswertzuweisungen stehen deshalb unter einem *Vorbehalt*, der je nach Lage größer oder kleiner sein kann: Manche Verfahren der Kontrolle und der Vergewisserung haben sich bislang als verlässlicher, stabiler oder störungsfreier erwiesen als andere. In vielen Kontexten kann man diese Unsicherheit auffangen durch den numerisch präzisierbaren Begriff der Wahrscheinlichkeit; und es ist möglich, den rationalen Umgang, den Menschen mit dieser Unsicherheit machen, durch Erweiterungen der klassischen Logik einzufangen, in denen man statt mit nur zwei Wahrheitswerten (für Wahrheit und Falschheit) und der idealisierenden Annahme der Wahrheitswertdefinitheit – eine Proposition ist entweder wahr oder falsch, *tertium non datur* – mit mehreren so genannten Wahrheitswerten operiert oder die Wahrheitswertzuweisung auf andere Weise komplexer gestaltet.

In der Logik benutzen wir allgemein die digitalisierten Werte für die Entscheidung<sup>42</sup>:

- i) binäre Wahrheitswert  $w = \{W, F \text{ oder } \top, \perp \text{ oder } 1, 0\}$
- ii) mehrwertige Wahrheitswerte  $w = \{W, \text{halb } W, \text{Halb } F, F \text{ oder } 0, 1/2, \dots, 1 \text{ siehe (4-5)}\}$
- iii) mengentheoretische Wahrheitswerte

$w_i$  = Wahrheitswert einer bestimmten Aussage  $A_i$  kann ein Resultat einer Konjunktionskette wie (5-7) sein.

$$w_i \approx A_i \& I_i \& B_i \& U_i \quad (5-7)$$

( $i = n$ ; *vektorielle Schreibweise*)

Die Elemente der Wahrheitsketten sind:

$I = \{I_1, ..I_j\}$ : Interpretation

$B = \{B_1, ..B_k\}$ : Bezugssystem

$U = \{U_1, ..U_m\}$ : Universum/ Umgebung, Objekte

Für die daraus resultierende Wahrheit aus Wahrheitskette<sup>43</sup> gilt:

$$\hat{w}_i = A \times I \times B \times U, \quad \text{wobei} \quad \hat{w}_i \neq w_i \text{ ist}$$

$$\hat{w} = \begin{matrix} A_1 & I_1 & B_1 & U_1 \\ A_2 & I_2 & B_2 & U_2 \\ A_3 & I_3 & B_3 & U_3 \\ A_4 & I_4 & B_4 & U_4 \\ A_l & I_m & B_n & U_j \end{matrix} \quad (5-8)$$

Die Spalte  $\hat{w}_i$  ist wahr, wenn alle beteiligten Matrixelemente wahr sind.

Hier kann man schnell diagnostizieren wo  $\hat{w}_i$  in der Matrix nicht wahr (wahrscheinliches Problem) ist. In der Praxis spielt die Kette der Ereignisse eine große Rolle zur Orientierung oder Bewertung der Situation. Jedes ‘&’ (*Und*) bedeutet die Schnittstelle<sup>44</sup>. Ein resultierendes Ergebnis kann auch ein Resultat von komplexer Wechselwirkung zwischen Umwelt, Technik und Menschen sein. Das bedeutet, dass gewisse Wahrheitswerte in verschiedenen Interpretationen  $I_i$  in Abhängigkeit vom Bezug  $B_i$  ist, der wiederum im Bezug auf das Universum  $U_i$  steht. Die Wahrheit kann vom Bezugssystem abhängig sein, z. B.:

$A_1 =$  „Heute ist der 4. Dezember 2002 (Heute ist Montag)“

Die Frage ist, ob Aussage  $A_1$  wahr ist. Nach der o. g. Relation versucht man zu verstehen:

$U_1 =$  Erde,

$B_1 =$  Europäische Zeitzone / Person Ich

$I_1 =$  Ich benutze Sonnenkalender.

Wenn alle Komponenten wahr sind, kann man sagen, dass  $A_1$  wahr ist. Aber wenn ‘ $U_1 =$  Mars’ oder ‘ $B_1 =$  Amerikanische Zeitzone’ oder ‘ $I_1 =$  Ich benutze einen Mondkalender’ ist, dann wird

<sup>42</sup> Für unsicheres Wissen und kategorische Aussagen ist binäre Entscheidung problematisch. Dagegen ist kategorische Entscheidung denkbar.

<sup>43</sup> Man kann auch eine Wahrheitskette in einer Bewertungsfunktion  $V_i$  (*value*) zusammenfassen.

<sup>44</sup> Ausnahme ist MMI, weil der Faktor Mensch nicht eindeutig definierbar (selbst unsicheres Wissen) ist.

$A_1$  nicht mehr wahr sein. Anderes Beispiel:  $A_2 =$  „Hier ist oben“. Ist diese Aussage wahr oder nicht? Auf der Erde ja aber im Weltraum nicht. Im technischen Prozess versucht man dies in ähnlicher Weise zu verstehen. Ein Endschalter kann den logischen Wert wahr/falsch repräsentieren. Aber das Signal ‘1’ bedeutet nur Endschalter ist geschlossen oder nicht. Es gibt viele Verfälschungsmöglichkeiten, bis dieses Signal auf dem Bildschirm im Kontrollraum erscheint. Man weiß nicht, ob das Signal von der Temperaturüberwachung oder Höhenüberwachung kommt. Also definiert man wie folgt:

$U_1 =$  Kraftwerk Block 1,

$B_1 =$  Speisewasserbehälter 1

$I_1 =$  Höhen - Füllstand HH (*High High*) Zustand wurde erreicht und Signal hat keinen Kurzschluss oder Drahtbruch.

Die Gültigkeit dieses Signals zu überprüfen, ist in der Praxis sehr umfangreich. Außerhalb dieses Signalbereichs  $U_1$  &  $B_1$  (z.B. Kabelvertauschen, wie  $U_1 =$  Kraftwerk Block 2) soll das Signal selbst verschiedene  $I_1$  vermeiden. Häufig passiert auch ein Baugruppenfehler durch Drahtbruch (Baugruppen fallen eher dadurch aus, dass ein Bauteil aus dem die Baugruppe besteht versagt/ausfällt) oder irgendeine andere Ursache (Fehler im Interpretationsobjekt selbst!). Je nachdem, wie die Baugruppe ausfällt, ist die Sicherheit oder Verfügbarkeit der Anlage eingeschränkt. Die Wahrscheinlichkeit dafür, dass zwei Fehler gleichzeitig stattfinden, ist sehr gering. Um das gleichzeitige Auftreten systematischer (konstruktiver) Fehler zu vermeiden, benutzt man auch Baugruppen aus verschiedenen Firmenprodukten. Um Signalvortäuschung durch Kurzschluss zu vermeiden, werden Diversität und Antivalenz-Logik (*aktive Low/High*) gegen P/M<sup>45</sup>-Schluss benutzt. Diese Maßnahmen dienen dazu, die Sicherheit der Anlage zu erhöhen, nicht um dem Operator die Interpretation der Anlage zu erleichtern. Das Kontrollsystem der Anlage kann stabiler sein, weil die richtige Interpretation im Anlagenkontrollsystem fixiert ist. Das Signal ist nur dann wahr, wenn alle ‘*Und (&)*’-Bedingungen wahr sind. Durch ein neues Verständnis, kann man in der Lage sein, intelligenter als in der Vergangenheit durch Denkfehler verursachte Prozessfehler besser zu detektieren. In der Praxis benutzt man „*Loop-Checks*“ für die gesamte Informationskette, die von der Messwertaufnahme über den Kabelweg bis zu den Rangierverteilern, Leittechnik-Baugruppen und schließlich bis zum Bildschirm führt. (Das ist eine komplette logische Kette<sup>46</sup>, aber mit vielen Fehlerquellen, siehe (5-10)). Wenn ein Operator ein Signal im Bildschirm gesehen hat, hat dieses Signal einen langen Weg hinter sich, ist eventuell schon

---

<sup>45</sup> P ist der Kurzschluss nach Spannung und M ist der Kurzschluss nach Masse.

mit anderen Signalen verarbeitet. Diesen Weg kann man auch als Informationskanal bezeichnen. Wenn wir (5-8) anschauen, dann ist sie keine homogene Matrixrechnung. Jede Schnittstelle ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Beurteilung oder die Entscheidung über  $B$  oder  $I$  kann in unsicherem Wissen liegen. Wenn wir resultierende Wahrheitswerte als *angenäherte Ja* in der gesamten Intensität betrachten, können wir klassische logische Operationen anwenden, aber wie man hier sieht, ist es sehr empfindlich aufgrund von verschiedenen Faktoren. Wenn wir wie in (5-8) viele verschachtelte und gekoppelte Informationskanäle betrachten, dann fragen wir uns selbst, „Ist, was wir gerade wahrnehmen, auch wirklich wahr?“ (die skeptische Wahrheitstheorie). Unsere Wahrheitswertungsfähigkeit (Bewertungsfunktion) oder das Zutreffende unserer Interpretationen soll ein Element der Welt sein. Die leere Menge zwischen Beiden kann einen Widerspruch bedeuten.

#### 5.4 Bezugssystem

Nach der Definition 3-25 betrifft der mit einer Interpretation  $I$  einhergehende Bezug (bzw. die Referenz) die Zuordnung zwischen den Individuensymbolen  $\alpha$  der jeweiligen Sprache und den Elementen der Klasse  $U$ . Die Idee ist, dass der Wahrheitswert für alle atomaren Sätze, *eindeutig* bestimmt ist, sobald dieser Bezug festliegt.

Bezugssysteme oder so genannte Fixpunkte spielen auch in der Technik eine wesentliche Rolle. Früher hat man Landkarten auf Jerusalem bezogen, das, vom westlichen Mittelmeerraum her gesehen, im Osten, also im Orient liegt. Dadurch war nicht wie heute Norden auf der Karte oben, sondern Osten. Von diesem Sachverhalt kommt unser Wort *'orientieren'* für *'ausrichten'*. Wir nehmen unsere Umgebung wahr und versuchen gleichzeitig, uns zu orientieren. Hier gibt es viele offene Fragen. Wenn ein Bezugssystem festgelegt ist, wie lange hat es dann eigentlich Bestand? Ist es variabel, konstant oder dynamisch? Welche Rolle spielt das Bezugssystem bei der Identifizierung der Wahrheit? Hat das mit einer gewissen Verlässlichkeit zu tun? Ist sie Basis unserer Lebensorientierung, weil sie inneren Halt gibt? Unser Bezugssystem fixiert unsere Interpretationen wie der Anker eines Schiffes. Nur dadurch, dass wir erworbene Meinungen über uns und unsere Umgebung imstande sind zu korrigieren, sind wir in der Lage, uns vom Irrtum zu entfernen. Erkenntnisse zu gewinnen heißt nicht, im Besitz absoluter Wahrheiten zu sein, sondern es heißt, diese Korrekturen vornehmen zu können, wann immer es nötig ist. Da wir keinen Zugang zur absoluten Wahrheit haben [Schütt, (04.06.03)], müssen wir anfangen, uns zu orientieren an dem, was wir an vorläufig gesicherten Überzeugungen haben. Das gilt insbesondere auch für den „Ort“, an dem wir uns

---

<sup>46</sup> Das ist auch ein Teil unserer Wissensform.

befinden, der uns so lange nur vorläufig bekannt ist, wie wir nicht alle anderen möglichen Orte ebenfalls kennen. Allmählich kann man die Orientierung verbessern, indem man über die bisher bekannten Orte hinaus neue kennen lernt.

In der technischen Welt wird, was man wahrnimmt, als ‘messen’ oder ‘detektieren’ bezeichnet. Bevor man messen kann, muss erst einmal ein Bezugssystem fixiert werden. Dazu aber sind als Anhaltspunkte der Orientierung Fixpunkte zu bestimmen. Diese können allgemein dargestellt werden als eine Funktion

$$Fix(p_1, \dots, p_n)$$

Wobei  $p_1, \dots, p_n$  irgendwelche Parameter sind, in Abhängigkeit von denen der Fixpunkt *Fix* definiert ist. Wenn wir keinen Fixpunkt hätten, könnten wir uns nicht orientieren und Messinstrumente könnten nicht geeicht werden. Denn Eichung (Kalibrieren) ist strenggenommen nichts anderes als ein Vergleich mit dem Fixpunkt, der in einem Referenzinstrument gleichsam gespeichert ist. Da Referenzinstrumente selten sind, ist die streng durchgeführte Kalibration entsprechend aufwändig und kostspielig. Könnten wir uns auf diesen Vergleich nicht verlassen, könnten wir mit den uns in Gestalt von Messergebnissen zugänglichen Informationen über unsere Umgebung nichts anfangen. Die Auswertung von Information setzt immer deren Vergleichbarkeit mit anderen Informationen voraus.

Man könnte meinen, die Annahme eines Fixpunktes in diesem Sinne sei lediglich eine Frage der Konvention. Zwar spielen Konventionen sehr wohl eine Rolle, aber die Annahme eines Fixpunktes enthält auch Annahmen, die falsch sein können. So ist es gewiss eine Frage der Konvention, ob man den vierzig Millionstel oder einen anderen Teil des Erdumfangs als die Länge fixiert, die künftig ‘Meter’ heißen soll. Aber ist der Erdumfang immer derselbe? Auch wenn er sich ändert, kann es trotzdem in Ordnung sein, einen bestimmten Stab als „Urmeter“ auszuzeichnen. Was liegt schon daran, wenn dessen Länge im Verhältnis zum tatsächlichen Erdumfang variiert? Doch was ist, wenn die Länge des „Urmeters“ selbst stark variiert? Ohne die Berücksichtigung der unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten verschiedener Materialien, ergäben sich bei unkritischer Verwendung des Fixpunktes offensichtlich viele schwer erklärbare und „paradox“ anmutende Phänomene der Größenveränderung von Körpern bei unterschiedlichen Temperaturen.

Ein allzu starkes Vertrauen in einen einmal festgelegten Fixpunkt kann deshalb verhängnisvoll sein. Das Verhängnis beginnt damit, dass man eine Frage nicht oft genug stellt: „Ist dieses *Fix* wahr?“ Beim Messen nehmen wir *Fix* als Referenz, und Kalibrieren bedeutet nicht anderes, als die Abweichung von diesem Punkt zu reduzieren (wobei ebenfalls Fehler auftreten können). Ist aber schon die Referenz falsch, hilft auch korrektes Kalibrieren nichts mehr. Wir erhalten durch an sich korrekte Messungen falsche Informationen, und das führt zu einer

falschen Auswertung. Durch den Irrtum verlieren wir die Orientierung und möglicherweise die Kontrolle über einen brisanten technischen Prozess.

Bei der Differenzdruckmessung z.B., die meistens zur Höhen- oder Durchflussmessung eingesetzt wird, gibt es Metallmembrane-Zelle *Z1* und *Z2* (II) in Abbildung 11. Die Differenzdruck-Relation zwischen  $P_1$  und  $P_2$  wird zur weiteren Information geleitet. Normalerweise ist dies  $F$  richtig (wahr), aber im Laufe der Zeit kann ein  $H_2O$ -Ion in das Metall eindiffundieren und im  $Fe$  und  $Zink$  Elektrolyte erzeugen; im Zwischen-Membranraum kondensiert es sich (II).

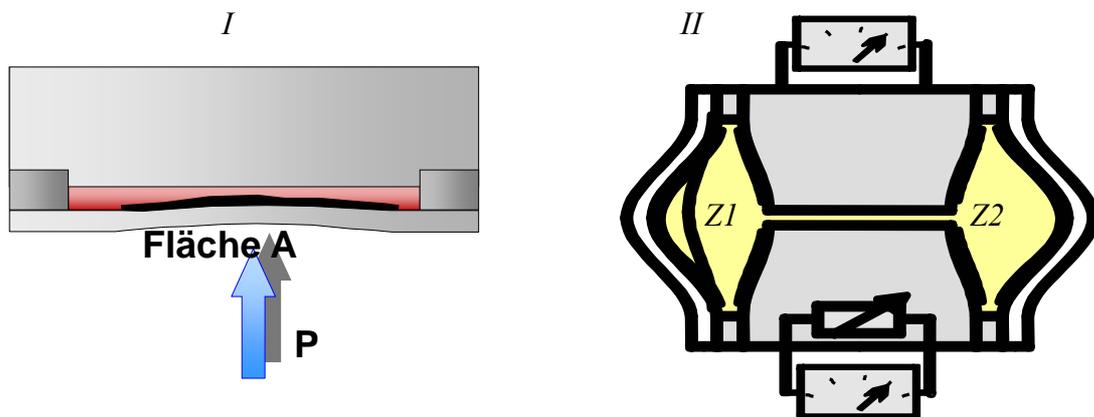


Abbildung 11: Zusätzliche Druckverfälschung bei Diffusion

Dadurch dehnt der Innenraum sein Volumen aus. Der resultierende Druck ergibt sich wie folgt:

$$P(\text{Druck}) = \frac{F(\text{Kraft})}{A(\text{Fläche})} \text{ wie (I) und die Druckarbeit ist}$$

$$dW = F \times dx = P \times A \times dx = P \times dV(\text{Volumenänderung})$$

$$\therefore \Delta V \approx \Delta P$$

$$\Delta P(t = t_1) = P_1 - P_2 \text{ (Normalitätsannahme: N)}$$

$$\Delta P(t = t_2) = P_1 - (P_2 + P_{diff}) \text{ (Non-Trivialitätsbedingung: NT)}$$

*Wegen zusätzlichen Volumenänderung durch Kondensierung im Maßmembran*

Was bedeutet das? Die ursprüngliche Gleichung hat einen Parameter nicht in Betracht gezogen, weil die Referenz auch falsch sein kann. Anders gesagt: *Fix* kann je nach dem Fixparameter variabel sein, was durch die klare Gestalt der Formel eher verschleiert wird. Formeln erwecken den Eindruck, dass alles Relevante fest definiert ist. So kann das Vertrauen in Formeln in der Technik die Gefahr mit sich bringen, Fehler wie den hier genannten unbewusst zu verursachen.

Um eine Aussage, dass der Atmosphäre-Druck zu hoch sei, zu definieren, hat dieser Druck den Bezugspunkt der Meeresoberfläche, die sich ständig ändert. Außerdem hängt der Druck von der Höhe, Dichte, Feuchtigkeit, molekularen Bewegung usw. ab. Es gibt zu viele Parameter, die wir nicht immer in dem Bezug berücksichtigen können oder von denen wir nicht erkennen, welcher Faktor mit welcher Abhängigkeit zu tun hat. Was den Druck in einem Gas betrifft, so ist es z.B. nicht möglich, jede molekulare Bewegung exakt zu berechnen und dadurch den Druck festzustellen. Wir erhalten nur angenäherte Druckwerte. Wie bewegliche Kugeln stoßen die Moleküle sowohl gegen benachbarte Moleküle als auch gegen die Rohrwand und produzieren Impulse, was diese Gleichung zeigt:

$$P = \frac{1}{3} \cdot n \cdot m \cdot v^2$$

$\uparrow$              $\uparrow$              $\uparrow$   
 Anzahl            Masse            Geschwindigkeit

(5-9)

Zwar haben wir die Druckrelation durch die obige Gleichung (5-9) beschrieben, jedoch kann man den Wert von  $n$ ,  $m$ ,  $v^2$  lediglich theoretisch bestimmen. Daher macht man eine robuste Annahme für die Relation zum Druck des Mediums und vergleicht sie mit dem Referenzdruck. Es gibt mehrere Einheiten für den Druck, z. B. *Pascal, Bar, Atmosphäre, inch of water, inch of Quecksilber Kg per Quadrat Meter, Torr*. Der absolute Druck bezieht sich auf das absolute Vakuum. Aber wo gibt es ein absolutes Vakuum auf der Erde ( $0 \text{ Bar} = \text{Vakuum}$ )? Die Schwierigkeiten bei der Fixierung eines Meters haben wir schon erwähnt.

Beim Öl-Tank haben wir gelernt: Volumen  $V$  (in  $\text{m}^3$ ) = Fläche  $A$  (in  $\text{m}^2$ )  $\times$  Höhe  $l$  (in m). Wenn der Techniker die Höhen-Messung so einstellt, dass alles konstant bleibt, dann gibt es aber verzerrte Informationen. Wir beobachten, was zusätzlich außer dem idealisierten Volumen zu berücksichtigen ist.

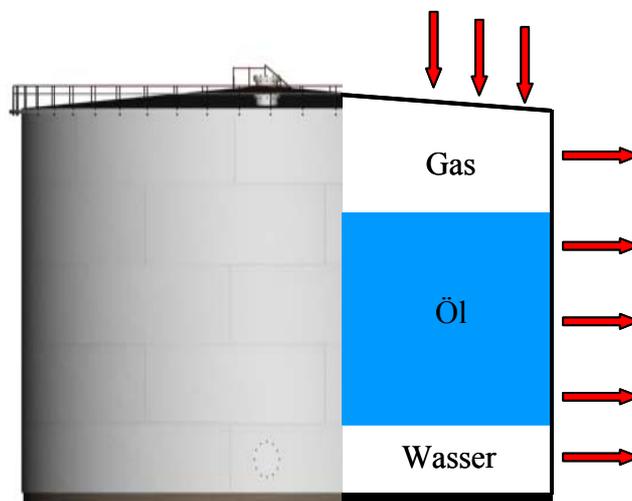


Abbildung 12: Fixpunkt bei der Volumenmessung

1. Bei Tag ist das Volumen größer als bei Nacht.
2. Durch Verdampfung kann sich das Volumen selbst im Tank reduzieren.
3. Die Mischung von Öl mit Wasser kann zu falschen Messergebnissen führen.
4. Der Gas- und Flüssigkeits-Kreislauf wird nicht berücksichtigt.
5. Der Tankboden kann sich ändern.
6. Der Tank kann sich durch Temperatureinflüsse ausdehnen.
7. Der Inhalt (Ölmasse) kann den Tank verformen.
8. Hydrostatischer Druck kann den Tank deformieren.
9. Unbekannte Faktoren.

Wie können wir den Fixpunkt festhalten, wenn der Behälter sich ständig ändert wie ein Lebewesen? Wir fixieren die Temperatur bei 15°C, die Dichte und die Wassermenge, dann können wir einen angenäherten Wert feststellen und gleichzeitig eine Korrekturrechnung durchführen. Der (vorläufige) Bezugspunkt ist dort, wo man anfängt zu arbeiten und worauf man neue Interpretationen bauen will. In der Technik gibt es ungezählte Beispiele von der Art der Durchflussmessung. Allein die einfache Durchflussmessung hätte in der Realität die bekannten Parameter wie Druck, Temperatur, Dichte, Viskosität und Dehnung zu berücksichtigen.

Je nachdem, welche Punkte wir festhalten und welche wir frei lassen, erhalten wir andere Informationen. Ein Beispiel gibt die Anwendung des „*semiconductor tin oxide gas sensors*“<sup>47</sup> für das Detektieren giftiger oder brennbarer Gase. Beim Messen muss man normalerweise die Temperatur *konstant* halten, damit die gewünschten Moleküle detektiert werden, um die Substanz und deren Konzentration zu identifizieren. Bei einer Änderung der Arbeitstemperatur reagieren verschiedene Gase unterschiedlich. Wenn wir diese Merkmale identifiziert haben, können wir nicht nur einen Gastypus, sondern mehrere Gastypen und deren Konzentrationen identifizieren. Die verschiedenen Informationen sind erhältlich je nach Änderung der fixen Parameter innerhalb eines Bezugssystems [Kohlert al. (1999)].

## 5.5 Allgemeingültigkeit

In einer Formelsprache  $L$  wird die logische Folgerung zwischen Formel(menge)n und Formeln zurückgeführt auf die Allgemeingültigkeit bestimmter Formeln. Allgemeingültigkeit wiederum ist eine semantische Eigenschaft von Formeln, die auf die Eigenschaft der Erfüllbarkeit von Formeln zurückgeführt wird. Daher kommt es, dass man das Symbol ‘ $\models$ ’ je nach Kontext für die Erfüllungsbeziehung zwischen Modell und Formel(menge), für die All-

---

<sup>47</sup> Sensor ist Typ von TGS 823, Figaro, Japan

gemeingültigkeit und für die logische Folgerung verwendet. Eine Belegung  $b$  bzw. ein Modell  $\mathcal{M}$  erfüllt eine Formel genau dann, wenn die zu  $b$  bzw.  $\mathcal{M}$  gehörende Bewertungsfunktion der Formel den Wahrheitswert  $\top$  wahr zuweist [Schütt, H.P. (2002)]. Der strittige Punkt zwischen der Logik und der technischen Anwendung ist immer wieder derselbe, der schon in Kap. 5.1 erwähnt ist. In der Logik hat man sich alles so zurechtdefiniert, dass es auf die *wirklichen* Unterschiede zwischen *einzelnen* Belegungen, Modellen und damit Interpretationen gar nicht ankommt, weil die relevanten Eigenschaften der logischen Semantik, für die das Symbol ' $\models$ ' steht, *nur generell* auf Belegungen, Modelle und Interpretationen bezogen sind. Das heißt, vom logischen Standpunkt ist nur von Interesse, ob eine Formel(menge) durch *alle*, überhaupt *keine* oder *nicht alle* oder *nicht keine* Belegungen, Modelle und Interpretationen erfüllt wird. Alle Fragen, die über diese generellen Sachverhalte hinausgehen, bleiben vollkommen ausgeklammert.

Das Problem mit der Technik ist, dass bei der Anwendung die Begrifflichkeit der Logik unter empirischen und konkreten kausalitätsbezogenen Bedingungen steht, unter denen man die Besonderheiten einzelner Modelle und Interpretationen nicht vernachlässigen darf. Aber dass gerade deren Vernachlässigung leicht zu Instabilität oder Fragilität führen kann, vergisst man gerne. Deshalb darf man den in der Technik benötigten Begriff der Allgemeingültigkeit (oder besser: allgemeine Gültigkeit) nicht nach dem Vorbild des logisch-semantischen Begriffs der Allgemeingültigkeit verstehen. Diese nämlich ist ein Gegenstand von Theoremen, die durch rein *kombinatorische* Überlegungen beweisbar sind. Die von Technikern unvermeidlicherweise anzunehmende allgemeine Gültigkeit gewisser Standards gehört auch zum *unsicheren Wissen*, und die benötigte Interpretation ist nicht die formale Interpretation im Sinne der Logik, sondern eine *konkrete* Interpretation. Daher ist die allgemeine Geltung einer Normalitätsbedingung  $N$  nie trivial. Ja, die Unterstellung der allgemeinen Geltung von  $N$  ist fast immer falsch. Deshalb müssen solche Bedingungen auf den konkreten Anwendungsfall hin mehr beschränkt werden, wofür oben die Non- Trivialitätsbedingung  $NT$  stehen sollte. Die Verallgemeinerungen der Logik im Stile von Feststellungen nach Definition 3-17:

*Unter allen Belegungen für jede Interpretation  $I$  hat die Satzform  $\varphi$  den Wahrheitswert  $\top$ , sind, bezogen auf technische Anwendung, viel zu allgemein im Anspruch. Dem Techniker würden die (endlich vielen) relevanten Belegungen und Interpretationen vollkommen genügen. Das kombinatorische Spiel mit Interpretationen möglicher unendlicher Universen ist, technisch gesehen, irrelevant. Das Problem für den Techniker ist auch nicht die formale Präzisierung des Begriffs der logischen Folgerung, sondern die Geltung gewisser Prämissen, deren allgemeine Geltung er anzunehmen gedrängt ist. Was passiert, wenn der Standard der allgemeinen Geltung verfehlt wird und, logisch gesehen, aus falschen Prämissen gefolgert*

wird, ist aber in der Technik mehr als bloß ein logischer Fehler. Die Logik sagt zum Gebrauch falscher Prämissen nicht mehr, als dass in diesem Fall die Wahrheit der Folgerungen nicht mehr garantiert ist. In der Technik kann dieser Mangel den Übergang in eine Katastrophe bewirken.

Belegungen und Bezug können je nach der Ebene unterschiedlich sein, und in der Realität ist schwer nachzuweisen, ob wirklich alle Möglichkeiten berücksichtigt wurden. Wenn wir mit als allgemein geltend unterstellten Formeln eine konkrete Anlagen oder Maschine bauen, müssen wir wissen, dass diese Geltung zusammenbrechen kann, sobald die Grenzen des zugrunde gelegten Modells überschritten werden. In diesem Sinne ergänzen wir die Feststellung, eine Aussage  $A$  sei gültig, nach der neuen Definition 3-17-1 wie folgt:

*unter allen zugelassenen Belegungen für jede Interpretation  $I$  hat die Satzform  $\varphi$  den Wahrheitswert  $\top$  innerhalb des zugehörigen Modells  $\mathcal{M}$ , das unter der Relation von  $B$  und  $U$  zugeordnet ist.*

Aus der Logik kann man lernen, wie ein und dieselbe Formelgleichung bei Variation von Belegungen oder Interpretationen ihren Wahrheitswert, also ihre Geltung ändern können. Wenn wir sagen „Alle Belegungen erfüllen  $\varphi$ “, bedeutet dies, dass alle theoretisch möglichen Belegungen  $\varphi$  erfüllen. Wissen kann man das nur dann, wenn die Unterschiede zwischen einzelnen Belegungen, Modellen und Interpretationen aufgrund der Form von  $\varphi$  ohnehin keine Rolle spielen. Sobald diese Unterschiede eine Rolle spielen, muss man hinzufügen: soweit wir alle kennen. Das Problem hierbei ist in der Anwendung, dass wir nicht wissen, was wir nicht wissen (*unknown Unknowns*). Wenn wir Allgemeingültigkeit geltend machen wollen, müssen wir strenggenommen *alle möglichen Situationen* berücksichtigen. Erfahrungsgemäß gibt es Widersprüche in der Praxis, wenn man diesen Allgemeingültigkeitsanspruch auf die reale Welt anwenden will. Paradox formuliert: Allgemein gilt etwas nur so lange, bis das Gegenteil (oder ein Widerspruch) auftaucht. In formalen Theorien behilft man sich oft dadurch, dass die allgemeine Geltung relativiert wird auf ein geschlossenes System, in der Mathematik z.B. auf Axiomensysteme, wobei jedes Axiom eine Allgemeingültigkeitsunterstellung repräsentiert. Diese systemrelative „Gültigkeit (engl. *valid*)“ hat ihre Tücken, wenn sie auf die Realwissenschaften und die Technik übertragen wird. An die Stelle der Axiomensysteme treten dann nämlich Modelle (im wissenschaftstheoretischen Sinne), die so etwas wie Idealisierungen von Teilen der wirklichen Welt sind. Wissenschaftler, so kann man sagen, versuchen mit sozusagen allgemeingültigen Sätzen ein Modell der wirklichen Welt zu erschaffen. Dabei können von Anfang an widersprüchliche bzw. widerspruchserzeugende Faktoren unerkannt und unbewusst im Spiel sein. Karl Popper hat darauf aufmerksam gemacht, dass universelle Aussagen empirisch nicht zu beweisen sind. Die positive empirische Begründung bleibt stets

unabgeschlossen. Abschließbar in endlicher Zeit ist jedoch die Widerlegung, die Falsifikation solcher Aussagen durch ein einziges Gegenbeispiel. Damit wollte Popper die Wissenschaftler zur Bescheidenheit und zur Vorsicht ermahnen. Die Relativität der Bezugssysteme, die in diesem Abschnitt erörtert wurde, gibt der Mahnung weiteres Gewicht. Wir können unser Leben und unsere Technik nicht zu 100 % berechenbar machen. Wir leben in einer nicht trivialen Welt, in der wir mit unseren „trivialen“, nämlich fehlbaren Ansätzen zurechtkommen müssen. Das wäre eine widersprüchliche Situation, wenn wir nicht wüssten, wie erkannte Fehler zu korrigieren sind.

## 5.6 Wechselwirkung und Interpretation

Man spricht von einer Wechselwirkung, wenn ein Objekt oder Individuum ein anderes Objekt beeinflusst. Der Wortteil ‘Wechsel’ impliziert, dass die Wirkung beide Objekte, Individuen, Systeme betrifft [<http://de.wikipedia.org/wiki/Wechselwirkung>]. In der Technik bezeichnet man diese Wechselwirkung als Dynamik. Diese Dynamik oder der Austausch von Wechselwirkungen geschieht in offenen Systemen, in geschlossenen Systemen oder in abgeschlossenen Systemen, bei denen ein kleines System dabei Bestandteil eines größeren Systems sein kann. In der Thermodynamik definiert man, dass in offenen Systemen ein Austausch von Masse und Energie mit der Umgebung möglich ist, bei geschlossenen Systemen jedoch nur der Austausch von Energie, bei abgeschlossenen Systemen findet weder das eine noch das andere statt. Die Systeme können homogen oder heterogen sein und eine oder mehrere Komponenten enthalten, die wiederum aus einer oder mehreren Phasen<sup>48</sup> bestehen. Der Zustand eines Systems wird durch bestimmte Größen, die wir kennen, festgelegt [Nickel (1995)]. In der Zeit veränderliche Größen sind Zustandsvariablen. Eine Zustandsfunktion beschreibt einen bestimmten Zustand eines Systems (Zeitaufnahme) oder Teil der Wechselwirkung. Diese zeitliche Änderung der Zustände, die durch gewisse Wechselwirkung verursacht wird, können in kurzen Zeitintervallen oder langen Zeitintervallen beobachtet werden. In der Physik unterscheidet man starke und schwache Wechselwirkung je nach der Intensität und manchmal ist die Wechselwirkung das entscheidende Merkmal der Materie und Form. Wechselwirkungen in der Natur sind das, was das Leben *unberechenbar* macht. Wenn wir uns diese Wirkung in der Mikro-Welt bis in die Quantenwelt anschauen, können wir auch die Mikro-Kausalität als Schicksal bezeichnen, entsprechendes gilt für die Makro-Kausalität in der Astronomie. Der elementare Teil der Wechselwirkung ist (wie schon in Kap. 5.1 beschrieben) nicht eindeutig definierbar, weil unbestimmt bleibt, was überhaupt als ein

---

<sup>48</sup> Ein System, innerhalb dessen keine sprunghafte Änderung einer physikalischen Größe auftritt.

Individuum, Objekt oder System zählen soll, das sich in einem Raum-Zeit-Gebiet befindet. Eine detaillierte Behandlung dieses Themas ist im Rahmen dieser Arbeit leider nicht möglich. Wir können nicht alle möglichen Wechselwirkungen definieren und dadurch das Leben berechenbar machen. Wir werden immer wieder versuchen, die unbekannt Faktoren, die so genannten bekannten Unbekannten (*known Unknowns*) und unbekannt Unbekannten (*unknown Unknowns*) herauszufinden, damit wir uns gegen Irrtümer schützen können. In der Biologie können Modifikationen oder Mutationen als Resultate unbekannter Wechselwirkungen auftreten. In der Technik kann die Wiederholbarkeit durch Wechselwirkungen zwischen unbekannt Faktoren in Frage gestellt werden.

Aus (5-3) gilt  $Pa_i t_j \leftrightarrow Qb_i t_j$  in der Technik, wenn der korrespondierende oder wirkende Teil, nämlich Stromsignale, beide Prädikatoren beeinflussen. In der Logik zeigen die logischen Operatoren wie ' $\leftrightarrow$ ' Wechselbeziehung der beiden Prädikatoren und Individuen. Im Allgemeinen nennen wir die Wechselwirkungslehre zwischen mindestens zwei verschiedenen Bezügen beispielsweise wie folgt:

- Medizinische Psychologie: Wechselwirkung von Körper und Bewusstsein.
- Soziologie: Zwei Personen können sich durch Kommunikation gegenseitig beeinflussen.
- Physik: Alle beobachteten Wechselwirkungen werden auf die Fundamentalkräfte und Kausalgesetzmäßigkeit zurückgeführt.

Die dauerhaften bidirektionalen Beziehungen im menschlichen Leben sind die Verwandtschaft (*Relatives*)-Beziehung, die auch zu einer bestimmten anderen Person gegenseitig zugeordnet ist. Bidirektionale Beziehung für Verwandtschaft- Beziehung kann mit Hilfe der Logikprogrammierung wie folgt dargestellt werden:

$Df: S = \text{Sohn}(x), E = \text{Eltern}(y,z)$ , wobei  $i$  als Wechselbeziehung oder -Wirkung (*Interaction*) bezeichnet wird. Daniel  $S(\text{Daniel})$  ist zugeordnet zum Hintergrundwissen;

$E(\text{Christoph, Stephanie}) \quad S \overset{i}{\longleftrightarrow} E$

Eine hypothetische Frage: Hat  $S(\text{Daniel})$  mit der Zuordnung  $E(\text{Christoph, Maria})$  zu tun ?

Die Beurteilung ist nein: das ist eine falsche Zuordnung von  $E(\text{Christoph, Stephanie})$ .

Solch eine Verbindung ist eine wohlgeordnete Relation für die Wechselwirkung. Wir können bei Atombindungen ähnliche Verbindungen wieder finden. Je fundamentaler die Verbindung ist, desto mehr Kräfte braucht man, um diese Verbindung zu trennen. Die Wechselwirkung zwischen Maschine und Menschen (MMI) ist sehr problematisch. Ingenieure lernen in ihrer Ausbildung kaum etwas über das menschliche Verhalten. Die Wechselwirkung muss in einer gewissen Relation zuordenbar und berechenbar sein, andernfalls kann diese Interpretation nicht zutreffend sein.

### 5.6.1 Wechselwirkung unbekannter Faktoren

Während bei der Höhenbestimmung mit Ultraschall bei kleinen Höhen nur Messfehler auftreten, ergeben sich bei größeren Höhen Messfehler durch Verformung des Schallfeldes durch den Wind. Es treten außerdem unerwünschte Reflexionen auf, wenn der unbekannte Faktor Wind nicht berücksichtigt wird. Ein anderes Beispiel ist die elektromagnetische Verträglichkeit. Man kann ein Gerät gegen die Beeinträchtigung durch fremde elektromagnetische Felder abschirmen, aber in der Praxis ist es schwierig, um diesen Einfluss vollständig zu beseitigen. Hier ist das Problem das Auftreten eines zwar bekannten, aber schwer zu beherrschenden Phänomens. Jedoch geschehen viele Katastrophen weil plötzlich Phänomene auftreten, die man zuvor überhaupt nicht bedacht hatte. Man bezeichnet diesen Effekt als die unbekanntes Unbekanntes (*unknown Unknowns*) [Butsch (2003)]. Der amerikanische Verteidigungsminister Donald Rumsfeld hat einmal zutreffend gesagt „*There are things we know that we know. There are things we know that we do not know, and there are things we do not know that we do not know*“. Dieser Sachverhalt ist in Abbildung 13 veranschaulicht [NASA(2003)].

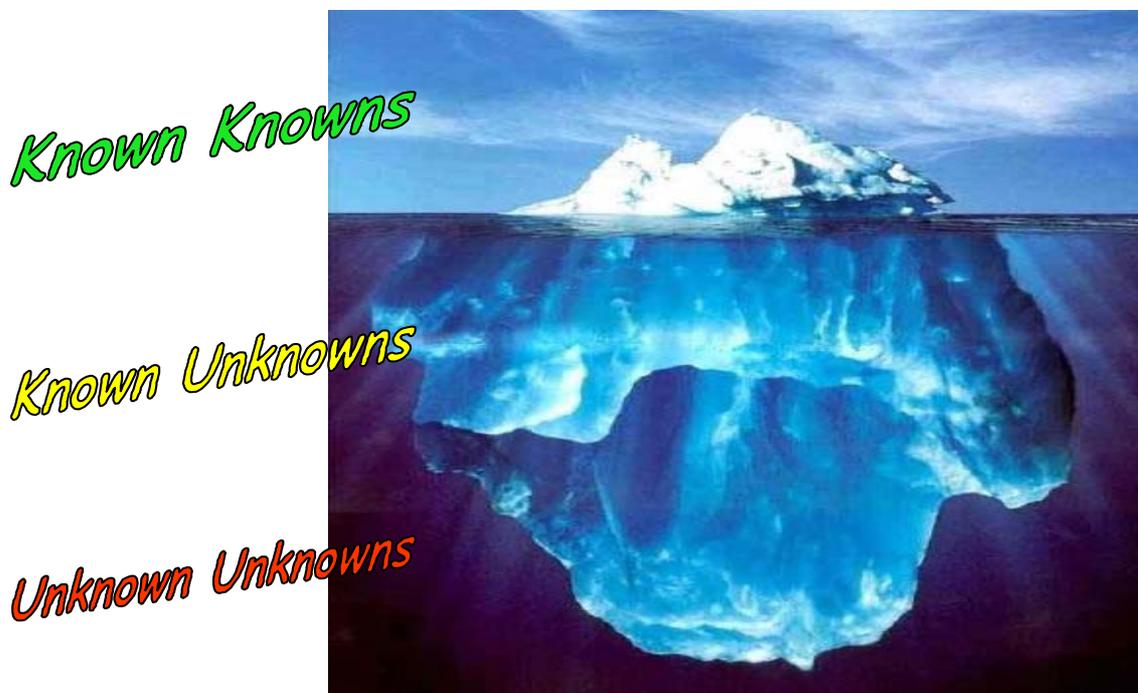


Abbildung 13 : unbekanntes Unbekanntes (*unknown unknowns*) [NASA(2003)]

Bei Systeminstabilität spielen diese unbekanntes Unbekanntes (*unknown Unknowns*) eine große Rolle. Wir können nicht im Voraus die Wechselwirkung dieser Faktoren im System

berücksichtigen. Diese Unsicherheit bleibt immer als Restrisiko. Die Betroffenheit oder direkte Wechselwirkung in der unbekannt Unbekannten ist entscheidender als die allgemeine Information. Wenn die Kometen an der Erde vorbei fliegen, ist die Wechselwirkung nicht so stark, als wenn die Kometen auf die Erde prallen würden.

### 5.6.2 Wechselwirkung von verschiedenen Bezugspunkten

Wenn zwei Bezugspunkte ständig von einer Variablen abhängig sind (z.B. sie sind in Bewegung), dann werden verschiedene Interpretationen eines Ereignisses möglich. Die Relation ist abhängig davon, von welchem Bezugspunkt aus man versucht, dies zu verstehen. Wir betrachten ein Beispiel wie in Abbildung 14, dass eine Katze eine Maus in der rotierenden Scheibe verfolgt. Der Scheibe ist in einem fahrenden Auto montiert, das von der rotierenden Erde angezogen wird. Die Erde wiederum rotiert um die Sonne usw. Der Beobachterblick ist aus der Perspektive I oder II verschieden. Die Frage ist, wie weit geht das homogene System? Wer ist Interpret, Maus, Katze, Beobachter I oder Beobachter II? Diese Überlegung ist bei der Relativitätstheorie von A. Einstein gut erklärt. Wenn Beobachter II auf der Scheibe steht und die Verfolgung zwischen Katze und Maus anschaut, dann kann man in einem gewissen Bezugssystem den Zustand beschreiben. Aber von Beobachter I aus ist die Beschreibung komplizierter. Die Beschreibung innerhalb einer homogenen Ebene kann fixierter und einfacher sein, als die von einer Ebene nach einer anderen Ebene übergreifende Beschreibung. Wechselwirkung und Interpretation ändern sich je nach der Richtung I oder II. Das Objekt Scheibe nimmt Bezug auf den Wagen, der wieder Bezug auf die Erde nimmt usw. Die bestimmte Interpretation eines Ereignisses  $x$  in der Scheibe  $U_{scheibe}$  kann Teilmenge eines anderen Universums  $U_j$  sein. So kann der Bezug Teil verschiedener Bezugsketten sein, die miteinander verbunden sind. In (5-7) kann die Struktur so bleiben, aber  $I$  oder  $U$  kann sich ändern. Die Interpretation, die in starker Wechselwirkung steht, kann man als  $I_w$  bezeichnen.

Bei der Untersuchung von Wechselwirkungen nehmen wir die Homogenität als „umfassende“ Beschaffenheit der Bezugssysteme an, obwohl es in der Natur eine vollkommene Homogenität noch nicht einmal auf der atomaren Ebene<sup>49</sup> gibt. Die Beschaffenheit bei natürlichen Stoffen oder Systemen kann homogen oder heterogen sein. Homogenität<sup>50</sup> bedeutet Einheitlichkeit, Gleichartigkeit oder vollständige Mischbarkeit, im Gegensatz zur Heterogenität. Wenn zwei Bezugssysteme in der realen Welt miteinander operieren, gibt es Probleme

<sup>49</sup> Im Atom ist die Masse- und Ladungsverteilung nicht homogen.

<sup>50</sup> Griech.: *homogenos* von gleicher Art, von griech.: *homos* gleich; *genos* Art bezeichnet die Gleichartigkeit von Gegenständen und Erscheinungen, von Elementen eines Systems im Gegensatz zur Heterogenität (aus hetero: gr. heteros: der andere; der eine von beiden ; von anderer Art), der Unterschiedlichkeit oder Verschiedenartigkeit.

me, weil jedes einzigartig ist. Um Vergleichbarkeit sicher zu stellen, braucht man die Homogenisierung der Vergleichsrandbedingung. Die homogenisierte Verbindung wird zwischen verschiedenen Bezugssystemen angenommen und daraus resultierende Wahrheitswerte oder Wertänderungen (korrespondierender Teil) gelten in beiden Seiten. Man kann diese Verbindung als *Schnittmengenkraft* bezeichnen, die verschiedene Systeme einer gewissen Homogenität miteinander verbindet. In der Technik wird eine solche Austauschbeziehung der Wertänderungsereignisse zwischen verschiedenen Netzsystemen wie Petrinetzen oder Neuronalnetzen als homogene Basis vorausgesetzt. Das Netzsystem benutzt das Kennzeichen einer Instanz als ihre Zuständigkeit für Wertverläufe an Anschlussverbindungen, die alle Beteiligte akzeptieren. Die ganze Kommunikation kann zusammenbrechen, wenn diese einzigartige Instanz doppelte Bedeutungen hat, d.h. in dem Informationsaustausch muss der korrespondierende Teil eindeutig sein. Als Merkmale der Wechselwirkung kann man grob Mengentheorie (Schnittmenge), Energieumwandlung (Intensität) und Eindeutigkeit im korrespondierenden Teil anführen.

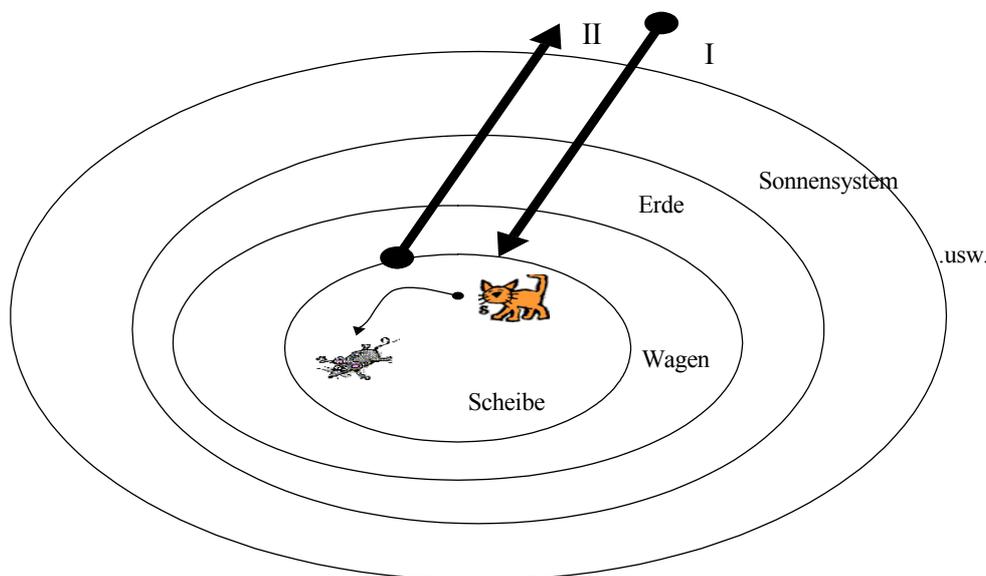


Abbildung 14: Relation zwischen verschiedenen Bezugsebenen

## 5.7 Information

Das Wort 'Information' kommt von lateinisch '*informare*', d.h. wörtlich: ein-formen, eine Form einprägen. Im übertragenen Sinne bezeichnet 'Information' dann *Abbildungen*, *Darstellungen* und *Vorstellungen* aller Art. Information ist die Voraussetzung für Interpretation

eines bestimmten Sachverhalts und trägt die innere Vorstellungskraft der Situation. In der Kommunikation werden isomorphe Übertragung und Informationsgehalt betont. Wenn wir Information aufnehmen, „nehmen“ wir auch die durch Information abgebildete Umwelt „wahr“. Information ist wie ein Rohstoff. Es kommt darauf an, wie man unser Wissen aus Information beschaffen kann. Information kann logisch sein, wenn die logischen Beziehungen die Beziehungen zwischen den Informationen sind. Es ist die Aufgabe der Logik die ‘implizit’ mitgegebenen Informationen ‘explizit’ darzustellen. Logik wandelt Informationen durch Reduktion in syntaktische Beziehungen um. Die Übertragung der syntaktischen Ebene auf die semantische Ebene setzt hierbei eine richtige Kodierung voraus. Die Logik soll alle implizit gegebenen Information explizit machen, in dem man alle Folgerungen mit logischen Mitteln untersucht. Um diese automatisieren zu können, müssen sie also auf syntaktischer Ebene sichtbar gemacht werden. Das aber setzt voraus, dass die Information adäquat kodiert ist und ‘wahr’ ist. Deshalb wird eine Interpretation vorausgesetzt. Erst bei der Kodierung wird ein Teil der Information interpretiert. Die Umkehrbeziehung der Kodierung ist die Interpretation.

Wir können zuerst alle mögliche Wahrnehmung, Darstellung, Modellvorstellung und Baumaterial des Denkens als Informationsklasse zusammenfassen. Gleichzeitig ist Information als ein Prädikat „dynamisch übertragen“ zu verstehen. Diese Übertragung kann ihre unterschiedlichen Eigenschaften in verschiedener Ebene nehmen.

#### 5.7.1 Ebenenmodell und Informationen

Das Wort ‘Ebene’ bezeichnet hier ein Teilsystem oder eine spezielle Klasse, wobei für dessen bzw. deren Elemente eine gewisse funktionale Homogenität vorausgesetzt wird. In der Leittechnik wird die hierarchische Struktur der Informationsbearbeitung als Ebenenmodell dargestellt. Innerhalb einer Ebene findet ein intensiver Datenaustausch statt und eine homogene Kommunikationsstruktur ist erwünscht. Im KKS (Kraftwerk-Kennzeichnungssystem) z.B. spiegelt sich auch die Idee des Ebenenmodells wider. Hierzu werden neben den in DIN 1463 Teil 1 definierten Hierarchierelationen, der Abstraktions- und Bestandsrelation, auch die in der Literatur bekannte Zugehörigkeitsrelation verwandt. Jeder Ebene wird zweckmäßigerweise ein bestimmtes Thema zugeordnet. Dadurch bleibt die Darstellung pro Ebene übersichtlich. In einer Ebene gibt es verschiedene Funktionseinheiten, die eigenständig arbeiten und nur einen Alarm oder wichtige Messsignale zu einer weiteren Ebene leitet. Zwischen hierarchischen Ebenen werden nur definierte Informationen kommuniziert, was die logische Äquivalenz sichert. Je mehr Schnittstellen, desto höher ist die Fehlerwahrscheinlichkeit. Innerhalb eines realen Ebenenmodells gibt es auch Komplexität, nämlich

Inhomogenität, stabile oder instabile Phasen, die sich in einem dynamischen Zustand befinden.

In einer Ebene gibt es auch hierarchische Strukturen wie Einzelebene, Untergruppen, Gruppen, Funktionsebene, Führungsebene. In der modernen Thesaurusforschung ist es nicht unumstritten, hierarchische Konstruktionsprinzipien als Grundlage für die Wissensorganisation zu wählen. Bei den Petri-Netzen haben wir es zwar mit der Über- bzw. Unterordnung zweier Begriffe zu tun, auf eine automatische Vererbung von Begriffsmerkmalen und damit auf eine Konstruktion von hierarchischen semantischen Netzen wird aber verzichtet. Innerhalb einer Ebene soll es eine streng definierte Sprache oder genormte Kommunikationsvorschrift geben und die zeitkritische Information soll in Funktionseinheit zuerst erledigt werden. Diese homogene Kommunikation ist eine der wichtigsten Eigenschaften der Ebenenqualität. Die verschiedenen Ebenen müssen klare Kommunikationsschnittstellen haben, die nur lebenswichtige und zeit-unkritische Information austauschen. Die Instabilität liegt in Information, die selbst nicht vollständig ist.

### 5.7.2 Unvollständige Information

Information dient der Vermittlung von Wissen. Für unvollständige Informationen gibt es verschiedene Ursachen, je nachdem wie diese geschaffen wurden: verzerrte Abbildungen, unvollständige Relationen zwischen Merkmalen, falsche Informationsmodelle oder strukturelle Kodierungsfehler bei Interpretationen und Transformationen. *Ein Mangel an Information kann nicht durch Intelligenz oder Erfahrung ersetzt werden.* Bei unvollständiger Information kann man ein System nicht hinreichend genau modellieren. Das führt dann zu falschen Entscheidungen und kann auch Katastrophen oder zumindest instabile Zustände hervorrufen.

Wenn man einen Zustand beschreibt, versucht man, die Merkmale oder die Kennzahl eines Prozesses zu ermitteln. Man lernt aus dem gemachten Irrtum für zukünftig auftretende, ähnliche Fälle. Man kann die Kette der Kausalität so steuern, dass man denselben Irrtum wenigstens nicht wiederholt. Was bedeutet der Irrtum oder das Missgeschick in der Natur? Das bedeutet Leben und Tod. Unvollständige Information kann ein Versagen unseres Urteilsvermögens verursachen. Die Information muss, wenn es geht, vollständig, genau und zeitgerecht sein für das System, das eine solche Information beurteilt. Die Wechselwirkung eines solchen Informationsaustausches ist das, was man als *Kommunikation*<sup>51</sup> bezeichnet, die heutzutage einen sehr hohen Stellenwert hat. Ohne übergreifende Kommunikation ist es im

---

<sup>51</sup> einfache Form dieser Kommunikation ist Dialog zwischen Menschen, aber die Form hat sich in der Neuzeit geändert.

Allgemeinen nicht bekannt, welche Informationen anderer Fachdisziplinen für einen Informationsaustausch erforderlich sind oder zu Konflikten führen. Um eine Integration zu erreichen, sind Untersuchungen nötig, wie die Informationen gemeinsam zu handhaben sind. Die Handhabung von Informationen erfordert den Informationsaustausch. Informationen werden mit Hilfe von Sprache, Zeichen, Begriffen, Symbolen usw. ausgetauscht. Die Semiotik<sup>52</sup> als Lehre von den Zeichen kennt die drei Teilgebiete der Semantik, der Syntaktik und der Pragmatik. Die Abbildung 15 verdeutlicht deren Zusammenhang. Der Sender wählt für einen Gegenstand ein Zeichen aus seinem Zeichenvorrat. Die Beziehung dieses Zeichens zum bezeichneten Gegenstand ist Gegenstand der Semantik, sie bestimmt die Bedeutung des Zeichens auf Seiten des Senders. Das ausgewählte Zeichen wird mittels der Nachrichtentechnik zum Empfänger übermittelt. Der Empfänger selektiert aus den ihm übermittelten Zeichen diejenigen, die für ihn relevant sind. Die Relevanz drückt ein Bedürfnis des Empfängers aus. Ist das Zeichen von Seiten des Empfängers als relevant beurteilt worden, so beginnt die Deutung des Zeichens. Die Beziehung zwischen dem Zeichen und dem Empfänger des Zeichens ist Gegenstand der Pragmatik. Wenn die Zeichenvorräte von Sender und Empfänger nicht identisch sind, sondern – wie Abb. 15 zeigt – nur eine Schnittmenge des Zeichenvorrates übereinstimmt, können sich Semantik und Pragmatik eines Zeichens unterscheiden. *Übereinstimmende* Zeichenvorräte erhöhen die Chance der erfolgreichen Kommunikation, sie sind aber nicht hinreichend für ihren Erfolg, da

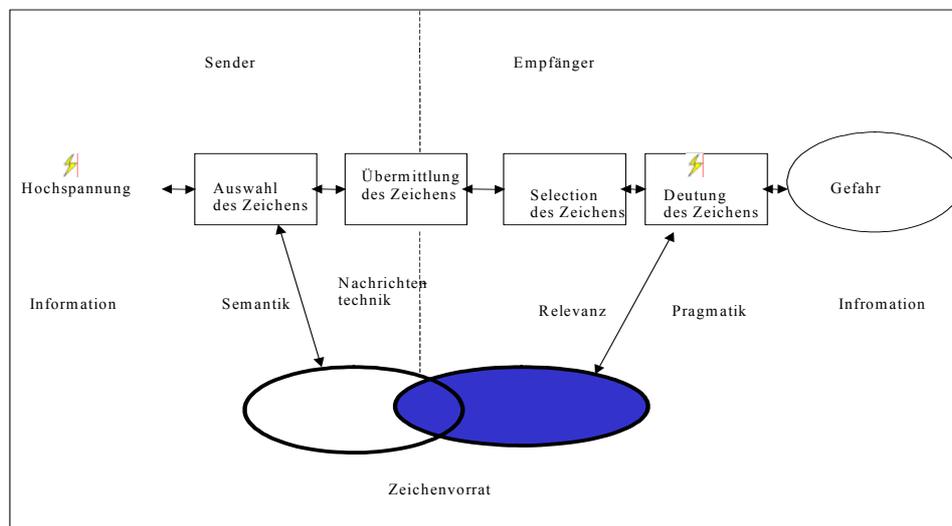


Abbildung 15: Informationsvermittlung [Alznauer (1995)]

Der Empfänger selektiert aus den ihm übermittelten Zeichen diejenigen, die für ihn relevant sind. Die Relevanz drückt ein Bedürfnis des Empfängers aus. Ist das Zeichen von Seiten des Empfängers als relevant beurteilt worden, so beginnt die Deutung des Zeichens. Die Beziehung zwischen dem Zeichen und dem Empfänger des Zeichens ist Gegenstand der Pragmatik. Wenn die Zeichenvorräte von Sender und Empfänger nicht identisch sind, sondern – wie Abb. 15 zeigt – nur eine Schnittmenge des Zeichenvorrates übereinstimmt, können sich Semantik und Pragmatik eines Zeichens unterscheiden. *Übereinstimmende* Zeichenvorräte erhöhen die Chance der erfolgreichen Kommunikation, sie sind aber nicht hinreichend für ihren Erfolg, da

<sup>52</sup> zu griech. sema : Zeichen

bei der Übermittlung des Zeichens Fehler entstehen können oder das Zeichen beim Empfänger nicht selektiert wird. Für eine erfolgreiche Kommunikation ist es also notwendig, die Semantik und Pragmatik eines Zeichens zu weitgehender Übereinstimmung zu führen. Durch Interpretationsfehler im Vergleich der Zeichenbibliothek kann die Information wie folgt verzerrt sein [Alznauer (1995)]: Information<sub>1</sub> (Hochspannung, Symbol ‘⚡’) → transitiv (Fehler, Genauigkeit) → Information<sub>2</sub> (Vergleich, Symbol, ‘⚡’ als Gefahr). Bei der Kommunikation hat dieses Symbol zwei Bedeutungen, nämlich *Gefahr* und *Hochspannung*. Nicht nur die natürliche Sprache (wie in Kap. 5.7.3: Doppel-Bedeutung, oder in Kap. 4.2.5: Oxymoron-Problem), sondern auch Symbole oder Zeichen können mehrere Bedeutungen haben. Das ist auch eine Art von Kodierungsfehler. Die Ursache für unvollständige Information ist vielseitig. Bekannte Unbekannte und unbekannte Unbekannte (*known Unknowns*, *unknown Unknowns*) spielen eine wesentliche Rolle.

### 5.7.3 Doppel-Bedeutung der Sprachen

Dies ist ein Teil der unvollständigen Informationen. In der Umgangssprache unter Abkürzungen und sonstigen Zeichen gibt es sehr viele Beispiele mit Doppelbedeutung (Ambiguität). Das kann zu widersprüchlichen Zuständen in der Informationsverarbeitung führen, selbst wenn es nur verschiedene, aber nicht unbedingt gegensätzliche Interpretationsmöglichkeiten sind, die sich dadurch ergeben. Das deutsche Wort ‘Birne’ z.B. bedeutet in der Agrartechnik eine bestimmte Obstart, aber in der Technik bedeutet es eine Glühlampe. Das Blitzzeichen wird als Zeichen für Hochspannung und auch als Zeichen für Gefahr interpretiert. Deswegen hat man versucht, wenigstens in derselben Branche eindeutige Bedeutungen für die am häufigsten verwendeten Zeichen festzulegen<sup>53</sup> (Grundsatz der prozessformalen Beschreibung). Alle Beteiligten sind gezwungen, diese definierte Sprache zu benutzen. Andernfalls gibt es ungenauere, undefinierbare Information. Unabhängig von der Frage, ob die übermittelte Information wahr bzw. zutreffend ist, führt das bereits zur Handlungsunfähigkeit (Orientierungsschwierigkeit) oder zu falschen Reaktionen. Das gilt auch für die Abkürzungen, die heutzutage in der Technik benutzt werden. In der Praxis gibt es ein zusätzliches Problem, z. B. DIN: Wenn man diese Norm braucht, wird diese Leistung mit Kosten belastet. Das verhindert die Verbreitung dieser allgemeinen Sprache. Die Interpretation  $I_i$  kann sehr große Kodierungsfehler und Strukturfehler haben. Das richtige Verhalten setzt „wahre“ Werte aller an der Informationskette beteiligten Elemente voraus wie in (5-8).

#### 5.7.4 Informationsstruktur

Für die Wissensorganisation der Prozessleittechnik ist die hierarchische Struktur die geeignetste, aber eine begriffliche oder semantische Strukturierung ist in einem begrenzten Bereich möglich. Konsistenz ist ein Maß für die Widerspruchsfreiheit der Information. Auch unbedeutende widersprüchliche Informationen stellen die Zuverlässigkeit der gesamten Informationsbasis in Frage. Zuerst schauen wir die Informationsstrukturen in verschiedenen Ebenen an:

- I. Maschine-Maschine-Ebene: In Programmiersprachen ist die Syntax festzulegen. Diese Regel wird mit Assembler oder Compiler geprüft. Die Interpretation ist fixiert und konsistent.
- II. Maschine-Mensch-Ebene: Man benutzt Syntaxdiagramme. Aus dem Syntaxdiagramm gehen mögliche Reihenfolgen, Verzweigungen, Schleifen und Begrenzungen der Elemente einer Sprache hervor [Charwatt (1992)]. Der Leittechniker als Mensch kann nicht nur traditionell mit Bildschirm, sondern auch mit Bildern, Akustik und seinen Sinnesorganen arbeiten. Siehe Kapitel 5.11 instabile Faktoren in *Man-Machine-Interface* (MMI).
- III. Mensch-Mensch-Ebene: Verschiedene Fachleute sprechen miteinander (siehe dialogorientierte Semantik in Kap. 5.8.1.5 u. Kap. 5.12: Die Logik, die Überlebens-Strategie ermöglicht).

Wesentliche Schwachstelle in der Projektabwicklung (vor allem auf der Mensch-Mensch-Ebene) ist die unvollkommene Informationsstrukturierung, die dafür verantwortlich ist, dass notwendige Management- und Steuerungsfunktionen nicht realisiert worden sind. Das Zerlegungsprinzip, das Abstraktionsprinzip und das Transformationsprinzip sind Architekturprinzipien der Informationsstrukturierung.

#### 5.7.5 Informationsabläufe

Das Problem mit dem Informationsfluss bei großen Projekten ist aus dem deutschen Spiel „stille Post“ bekannt: Am Ziel der Informationsübertragung kommt ein ganz anderer Informationsinhalt heraus, als der, der ursprünglich ausgesendet wurde. Das zeigt, dass die

---

<sup>53</sup> Durch verschiedene Normen wie die DIN, NAMUR, GMA, ANSI, ISO, usw. wird versucht, einheitliche Sprache zu finden. Aber eine branchen-übergreifende Sprache gibt es momentan nicht, sogar innerhalb

Information zwischen Menschen, besonders zwischen Experten aus verschiedenen Industriebranchen zu fundamentalen Missverständnissen und zu Chaos führen kann. Die Ursache dafür ist oft auch die fehlende Harmonie zwischen historisch gewachsenen Wissenspräsentationen, die sich an singulären Sichten einzelner Funktionen orientieren. Überwunden werden kann diese Disharmonie durch ein allgemeingültiges, auf der funktionalen Struktur des Unternehmens basierendes Informationsmodell. Eine Lösung könnte wie folgt aussehen: Transformation zwischen jeder Schnittstelle ist ein potentielle Fehlerquelle. Alle Funktionen, die einen intensiven Datenaustausch erfordern, werden in einer Ebene zusammengefasst. Die einzelnen Ebenen werden weitgehend autark. Der Datenaustausch zwischen den Ebenen wird auf ein Minimum reduziert und ist dadurch zeitunkritisch. Bei der „stillen Post“ funktioniert die Informationsübertragung desto besser, je weniger Teilnehmer am Spiel beteiligt sind und je klarer die Information formuliert wird. Wie wir wissen, sollte die Übertragung eine Relation zwischen gesendeter und empfangener Information sein, die reflexiv, symmetrisch, transitiv und euklidisch ist. Jedoch kann jede Schnittstelle  $S$  diese Bedingung verletzen, wenn Dekodierungsfehler auftreten:

$$\sum_{i=1}^n S_i = \min. \text{ Fehlerquelle} \quad (5-10)$$

wobei  $S$  ein minimaler Fehler der Informationseinheit ist. Die Anzahl der Fehlerquellen zu den Informationswegen ist minimal gleich wie die Anzahl der Informations-Schnittstellen.

Informationsvermittlungsfehler tauchen in allen Ebenen auf. Bei der Abwicklung von Großprojekten treten aufgrund der Informations- und Kommunikationsstruktur häufig Widersprüche auf. Gerade die Bereitstellung von Wissen oder Information durch „Publishing“ in einem Konzern verursacht „Reibung“ in der Kommunikation miteinander. Dagegen hat man versucht, die Kommunikation durch unzähligen Normen, Vorschriften, festgeschriebene Dokumentationen oder Regelungen effektiv und effizient zu kanalisieren. Aber man hat keinen Überblick mehr bei schnell wachsender Informationsmenge und komplizierter werdenden Strukturen. Wie kann man mit einer festen Formalisierung die dynamischen Prozesse bewältigen? Wie beim Internet sprechen wir über die vernetzte Informationsstruktur. Die Informationstechnologie (IT) hat zunehmend in unserer Gesellschaft große Bedeutung. Wenn 6.000 bis 100.000 Leute in einer Firma eine bestimmte Information oder Dokumentation finden oder wissen wollen oder für andere Kollegen bekannt machen, dann verhindern die verschiedenen Faktoren die Kommunikation der Informationen (wie Struktur, menschliche Anlässe der Teilnehmer, Software oder Vernetzstruktur usw.). Diese Faktoren können hier nicht detailliert analysiert werden, weil sie sehr komplex sind. Um die

widersprüchliche und konfliktreiche Formalisierung zu vermeiden, brauchen wir einen intelligenten Vermittler, der in der Lage ist, auf der Basis der Formalisierung jede Schnittstelle abzufragen und der falsche Interpretationen bei der Informationsvermittlung (zum Teil wegen der Heterogenität) korrigiert und sicherstellt, dass der Empfänger sein Wissen korrigiert (d.h. für eine Homogenität in der Informationsstruktur sorgen). Ein Beispiel, das von einer schweizerischen Internet-Seite stammt, zeigt wie dieser intelligente Vermittler aussehen könnte [www.netway-solutions.ch]. Die Mehrheit der zugeflossenen Information kann ein Teilnehmer (Mensch) alleine nicht bewältigen. Er kann keine logischen Schlussfolgerungen mehr ziehen, da er „vor lauter Bäumen keinen Wald mehr sieht“ wie in Abbildung 16. Um diese Überforderungen zu vermeiden, muss man die Information mit Hilfe von verschiedenen Filtern vorfiltern. Dadurch kann die notwendige Information, die zur Kommunikation notwendig ist, herausgefiltert werden. Jedoch ist es schwer, ein logisches und widerspruchsfreies Schema zu erkennen. Im Informationsfluss passieren oft unbewusst Kodierungsfehler, Übertragungsfehler oder alle Arten von Schnittstellenfehlern. Dieses Problem kann man jedoch nicht mit Hilfe der Formalisierung unseres Wissens oder durch starre Industrienormen bewältigen.



Abbildung 16: Informationsweg eines einzelnen Teilnehmers [www.netway-solutions.ch]

Hier braucht man einen intelligenten dynamischen Umsetzer (*dynamic converter*) wie in Abbildung 17, der die Differenz und die Instabilität der Informationsstruktur erkennen und kontrollieren kann. Als Lösungsmöglichkeit bietet sich der Industrie die Benutzung einer *gemeinsameren* Plattform mit Konvertierungsfähigkeit an, die unter dem Begriff „*Single Source Publishing*“ bekannt ist. Die ersten Schritteinheiten bilden die Datenquellen. Der IK (Intelligente Konverter) erkennt die Struktur der heterogenen Information. Er vereinheitlicht das Format der ursprünglich auf heterogene Datenbanken verteilten Informationen und integriert

sie in einer *einzig* Datenbank. Die Dateninhalte bzw. -strukturen werden in Form einer Texttabelle (z.B. im *html*-Format), die mit Hilfe einer relationalen Tabelle zugeordnet ist, strukturiert. Die Wiedergabe der Informationen wird durch *Suchmethoden* und *homogene Beschaffenheit* effektiv realisiert. Dabei gibt es verschiedene Verfahren und Strategien: z.B. parametrisierbare, kategorische Suche oder nach Schlüsselwörtern, nach natürlicher Sprache oder auf intuitive Art erfolgende Suche. Das kann einen gezielten Zugriff auf Programme, Datenbanken und Informationen, die irgendwo auf die Welt gespeichert sind, ermöglichen.

## Stellent Dynamic Converter

**Dynamische Publikation von geschäftskritischem Content**

Stellent™ Dynamic Converter ermöglicht die dynamische Ad-hoc-Publikation nativer Geschäftsdokumente in einem Informationsportal, im Intranet oder Extranet. Mit Dynamic Converter können Sie über 225 Dateiformate in HTML, JPEG und GIF konvertieren, wodurch die Bereitstellung von web-fähigen Unternehmensinformationen auf nie da gewesene Weise vereinfacht und beschleunigt wird. Die Nutzung regelbasierter Templates gewährleistet zudem ein einheitliches Erscheinungsbild der Inhalte. Dieses Stellent-Modul stellt dem Webmaster eine extrem schnelle, effiziente Methode für die Publizierung von Content zur Verfügung.

**Hochwertige Darstellung von über 225 Dateitypen**

Mit dem Dynamic Converter erhalten Konsumenten von Content eine hochwertige WYSIWYG-Ansicht von mehr als 225 unterstützten Dateitypen, die unabhängig von der Verfügbarkeit der Erstellungsanwendung ist. Durch die Unterstützung unterschiedlicher Plattformen wird gewährleistet, dass alle Benutzer auf die gleichen Informationen zugreifen können, unabhängig davon, welche Desktop-Umgebung sie verwenden. Dynamic Converter unterstützt eine Vielzahl von Dokumentformaten und Layoutfunktionen und kann dadurch eine mit dem nativen Dokument übereinstimmende Ansicht bereitstellen. Beispiele für die von Dynamic Converter reproduzierten Attributtypen sind:

- Schriftarten und Schriftattribute
- Fußzeilen und Endzeilen
- Tabellen
- Tabulatoren
- Spalten
- Lesezeichen und Hyperlinks
- Integrierte Grafiken
- Ziffernformate
- OLE-Objekte
- Gradienten
- Aufzählungen und nummerierte Listen
- Kopf- und Fußzeilen
- Rahmen und Schattierungen
- Diagramme
- Seitenränder
- Positionsrahmen
- Papierformat und -ausrichtung
- Transparenter Hintergrund
- Einzüge und Ausrichtung
- Inhalt

**Internationale Sprachunterstützung**

Für Anwendungen, die eine umfassende internationale Sprachunterstützung voraussetzen, interpretiert Dynamic Converter Single-Byte-, Double-Byte und Unicode-Zeichen und ordnet diese den im System verfügbaren Zeichensätzen zu. Durch die leistungsfähige Zuordnung von Unicode-Zeichen und die intelligente Zeichensatzerkennung ermöglicht die Technologie unabhängig vom System, auf dem sie ausgeführt wird, eine exakte Wiedergabe der ursprünglichen Zeichen.

***Diese einzigartige Lösung stellt dem Webmaster eine extrem schnelle, effiziente Methode für die Publizierung von Content zur Verfügung.***

Abbildung 17: Ein System mit Kodierungsfunktion [www.netway-solution.ch]

### 5.7.6 Nichtmetrische Information

Die nichtmetrische Information ist Teil des unsicheren Wissens. Die Kenntnisse über den Prozess wurden traditionell mit metrischen Messgrößen übermittelt. Die metrischen Messgrößen „Zahlen“ werden in der ersten Stufe zur Skalierung bereitgestellt. Die Skalierung

stammt aus der Theorie des Messens, die die Untersuchung von Gegenständen und ihren Eigenschaften in die Werte nach ihrer Vergleichbarkeit unterteilt. Nach DIN 19222 (1985) ist Messen „ein experimenteller Vorgang, durch den ein spezieller Wert einer physikalischen Größe als Vielfaches einer Einheit oder eines Bezugswertes ermittelt wird“. Diese abgebildete Wertmenge<sup>54</sup> repräsentiert die Zustände der Prozesse. Die Wahrnehmung der Objekte und Ereignisse durch den Menschen geschieht über die sogenannte Wahrnehmungs- oder Wahrheitskette. Sie beschreibt den Weg (die Darstellung) eines Signals, von der physikalischen Reizerzeugung über das Nervensystem bis hin zur Verarbeitung im Gehirn. Lässt sich ein Maß für den Abstand zweier Werte in der Intensität angeben, so spricht man von metrischen Skalen, sonst von nichtmetrischen Skalen. Alle anderen Eigenschaften, deren Wert nicht durch Zahlen ausgedrückt werden kann, nennt man nichtmetrisch [Buchner (1998)]. In Tab.1 wurden die Wertmengen nach vier Grundskalen sortiert. Man kann diese Wertmengen aus Messungen noch in weitere Gruppe oder Klassen wie Kardinale, Qualitätskategorie, mengentheoretische Aussage usw. einordnen. Bei der Projektierungsphase wurde die mögliche Wertmenge (Ausprägung) nach der Vergleichsinterpretation fest zugeordnet. Die Eigenschaft der zutreffenden Zustände wird qualitativ nach dem motivierten Bewertungskriterium wie z.B. Sicherheit der Anlage oder verfahrenstechnische Produktion in der Form der nichtmetrischen Information beschrieben. Die binären und analogen Signale können sowohl quantitativ (metrisch) als auch qualitativ (nichtmetrisch) interpretiert werden. Die binären Signale werden 1/0 oder ‘wahr’/ ‘falsch’ wahrgenommen. Die analogen Signale müssen zuerst zur mehrwertigen Bewertung oder mengentheoretischen/kategorischen Bewertung umgeformt werden. Wie in Abbildung 5 wird das analoge Signal nach Einheit (SI) und Normierung homogenisiert, so dass die notwendige Rechenarbeit für die Regelung möglich wird. Die Anwendung der nichtmetrischen Skalierung wurde in der Vergangenheit nicht viel diskutiert aber heutzutage ist zunehmend die sprachliche Ausprägung erforscht. Sie wird immer wichtiger und ein Zukunftsprojekt der Wissenschaft sein. Die Festlegung der nichtmetrischen Skalierung ist zuerst ein Zuordnungsproblem, das je nach dem Zweck der Qualität beliebig reorganisiert werden kann. Die spezielle Klasse der Mengentheorie kann nach Erfahrungswissen eines Spezialisten oder nach einer bestimmten Intension zugeordnet werden. Diese Kategorisierung dient auch zum Verständnis der beteiligten Menschen (Mensch-Maschine) und als Qualitätsaussage der Prozesszustände. Dieser Vorgang wird hier der erste Semantisierungsvorgang genannt.

---

<sup>54</sup> Das hat mit abgebildeter Wahrheit zu tun.

Skalentyp	Nominalskala	Ordinalskala	Intervallskala	Verhältnisskala
definierte Beziehungen	(=, ≠)	< >	(+, -)	x, :
Interpretation	Unterscheidung gleich-ungleich	Unterscheidung kleiner-größer	Differenzen als Maß	Verhältnis als Maß
zulässige Transformationen	umkehrbar eindeutig (bijektive)	monoton steigende (isotone)	Lineare $y=ax+b$ ( $a>0$ )	Ähnlichkeits-T $y=ax$ ( $a>0$ )
Statistische Kennwerte	Modalwert Häufigkeiten	Median Quantile	arithmetischer Mittelwert Standardabweichung	geometrischer Mittelwert Variationskoeffizient
Skalenbeziehung	nichtmetrische,	topologisch	metrisch, kardinal	
Merkmalart	qualitativ		quantitativ	
Anzuwendende statistische Verfahren	nichtparametrisch		parametrisch unter bestimmten Voraussetzung	
Informationsgrad	gering		hoch	
Empfindlichkeit gegenüber "Maßfehlern"	gering		hoch	

Tab. 1: Skalentypen und damit verbundene Aussagen [Buchner (1998)]

### 5.7.6.1 Erste Stufe der Semantisierung nichtmetrischer Information (Skalierung)

Es gibt zwei Richtungen der Skalierung: 1. den Übergang von metrischen Größen zu einer nichtmetrischen Aussage (Kodierung), 2. den Übergang von nichtmetrischen Aussagen zu metrischen Größe (Dekodierung). Um uns die Zustandsinformation des Prozesses mitzuteilen oder abzubilden, werden nicht nur sprachliche Darstellungen, wie z.B. 'größer' oder 'kleiner' sondern auch andere Informationsmittel wie Farbe oder Form der Grafik, blinkender Text, dynamische Bilder, Akustik usw. zur Informations-Mitteilung an Menschen benutzt. Wir ordnen diese weiteren nichtmetrischen Informationen gewissen Bedeutungen (Wertmenge) zu. Zum Beispiel:

der Temperatur-Zustand  $Z(x,t)$  Wertmenge über  $550^{\circ}\text{C}$  aufwärts gehört zur Kategorie „Gefahr“  $G(x,t)$ :

$$\text{ref}^{\Gamma} G(x,t)^{\Gamma} =_{\text{Df.}} \{ \langle x, t, c \rangle \mid \langle x, t, c \rangle \in \text{ref}^{\Gamma} Z(x,t)^{\Gamma} \& c \geq 550^{\circ}\text{C} \}$$

Die Farbe 'Rot' gehört zur Kategorie „Gefahr“.

Ein Hornsignal gehört zur Kategorie „Gefahr“.

Diese alle gültigen Merkmale ‘*MM*’ oder Indizen werden als die zutreffende Informationskategorie oder Bedeutung „Gefahr“ charakterisiert. *Dieser Vorgang wird die erste Stufe der Semantisierung genannt.*

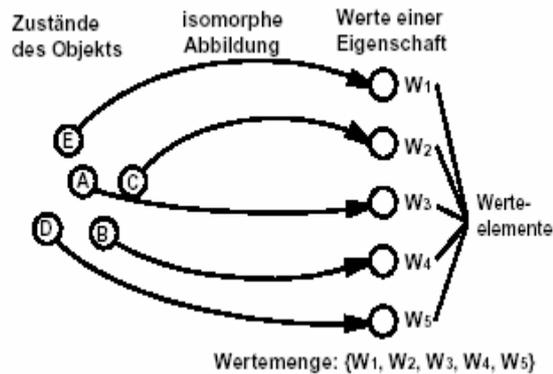


Abbildung 18: Isomorphe Abbildung [Buchner (1998)]

In Abbildung 18 hat Hr. Buchner in seiner Dissertation dargestellt, dass es fünf verschiedene Zustände gibt, in denen sich ein Objekt zu unterschiedlichen Zeitpunkten befinden kann, durch die Kreise A bis E symbolisiert. Ihnen wird jeweils ein Wertelement zugeordnet. Unabhängig davon, ob Zahlen oder Namen als Symbole verwendet werden, sind sie letztlich nur Platzhalter für Zustände des Objektes selbst. Die isomorphe Darstellung findet man aber nur in der Mathematik. Die Zahlen sollen naturgetreu abgebildet sein. Wenn es um wirkliche physische Darstellung<sup>55</sup> geht, gibt es nie absolut getreue Darstellung. Man filtert immer etwas heraus. Deshalb ist der Ausdruck ‘isomorph’ mit Vorsicht zu genießen. Alle Darstellung ist in irgendeiner Hinsicht unvollständig und deshalb ist die Darstellung korrigierbar, weil sie um weitere Details ergänzt werden kann und präzisierbar ist. Falls wir aber annehmen, dass die Wertmengen in dieser Hinsicht nichts zu wünschen übrig lassen, muss außerdem das Wertelement eindeutig sein. Wenn zwei verschiedene  $WM_i \cap WM_j = \{ w / w \in WM_i \wedge w \in WM_j \} \neq \emptyset$  ist, dann handelt es sich um Mehrdeutigkeit. Nach Kap. 5-2 kann diese Abbildung nicht isomorph sein und bedeutet doppelte Instanz, die in Information und Kommunikation eine negative Rolle spielt, und das kann einen widersprüchlichen Informationszustand verursachen.

#### 5.7.6.2 Zweite Stufe der Semantisierung nichtmetrischer Informationen (semantische Ableitung)

Man kann nur mit nichtmetrischer Information allein nicht viel bewirken. Wie in der Logik brauchen wir die Operatoren, um neue Entscheidungen zu treffen. Wenn wir die sprachlichen

Ausdrücke mit semantischem Bewertungssystem<sup>56</sup> haben, ist es möglich, logische Gültigkeitsuntersuchungen zu machen. Durch logische Operation erreicht man die Schlussfolgerung oder eine neue semantisch abgeleitete Erkenntnis. Eine der häufigsten verwendeten Beziehungen hierbei ist die konditionale Beziehung 'Wenn-dann', die zur Formulierung von Bedingungen und daraus resultierenden Schlussfolgerungen benutzt wird. Bei Expertensystemen wird das Zutreffen einer Bedingung als Fakt bezeichnet, in der Automatentheorie als Bedingung und in der Aussagenlogik als logische Variable mit der Bewertung „Wahr“. Durch Verknüpfung der Bedingungen mit einfachen Relationen lassen sich damit Klassifikatoren aufbauen. Hieraus ergibt sich eine *Schlussfolgerung*, die auf den daraus resultierenden Zustand schließen lässt. Buchner nennt das *semantische Ableitung*.

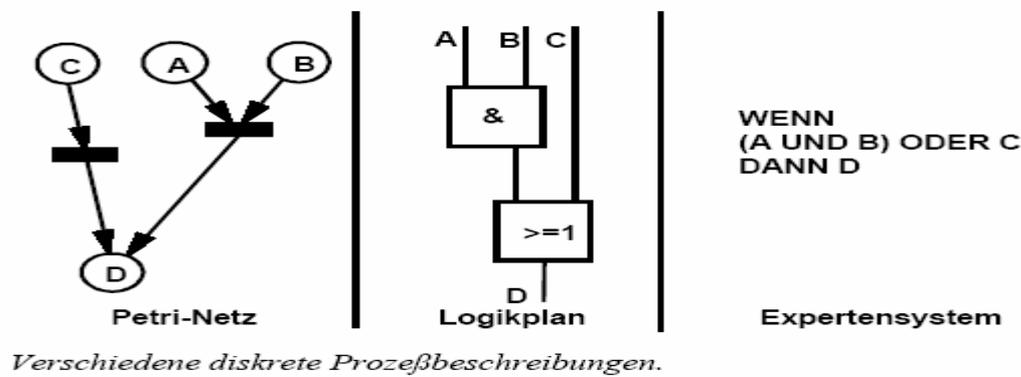


Abbildung 19 : Diskrete Prozessmodelle [Buchner (1998)]

## 5.8 Syntax und Semantik

Hier fangen wir an mit dem Satz von Albert Einstein: „Insofern sich die Sätze der Mathematik auf die Wirklichkeit beziehen, sind sie nicht sicher, und insofern sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Wirklichkeit“<sup>57</sup>. Wie ich schon in Kap. 4 erwähnte, besteht die Mathematik nicht aus PL-Tautologien, sondern setzt mit ihren eigenen Axiomen so etwas wie die Existenz einer eigenen „Welt“ mathematischer Objekte voraus. Die Differenzen zwischen Syntax, Semantik mit Wahrheitsinterpretation und der Wirklichkeit sind immer vorhanden. Wir versuchen, die Wahrheit zu sagen, durch Darstellungen. Syntax legt die Form der Darstellung fest, und die Semantik ordnet jeder Darstellung eine bestimmte Bedeutung zu. Im Vergleich zur Wirklichkeit wird unsere Darstellung mit Syntax und Semantik gleichzeitig beschränkt. Zwar schreibt Stachowiak: „In logisch-formalisierter Gestalt gelangt die Allgemeine Modelltheorie bezüglich des von ihr verwendeten Begriffs der prädikativen Aussage als des

<sup>55</sup> Physische isomorphe Abbildung kann nur vollständiges Duplikat, nämlich parallele Welt sein.

<sup>56</sup> Dieses Bewertungssystem wie binäre, mehrwertige oder mengentheoretische Entscheidung kann wichtige Rolle zur Anwendung der nichtmetrischen Skalierung beitragen.

im Sinne G. FREGES gesättigten Prädikates über die logische Semantik als Semantik im engeren Sinne nicht hinaus.“ [Stachowiak (1973), S. 146] Aber es wird auch Nouetik als Semantik im weiteren Sinne für die Zukunft möglich sein, um den Sinn des jeweiligen Attributs beurteilen zu können.

Wenn wir außerdem keinen Zugang zur absoluten Wahrheit haben, können wir uns nicht auf diese idealisierte Vorstellung berufen. Wie in der Wissenschaft fangen wir damit an, was wir festhalten können und wir verlassen uns auf dessen Wiederholbarkeit. Die Voraussetzung unseres Wissens ist eine zuverlässige Kodierung von Syntax nach Semantik. Die Bedeutung der syntaktischen Ergebnisse wird mit Semantik kontrolliert. Wir versuchen, Modelle zu bilden, um unser Verständnis in einer künstlichen Welt zu überprüfen. Mit dieser Modellsemantik wollen wir die Differenz verkleinern. Wenigstens versuchen wir, die Kodierung zwischen syntaktischer und semantischer Differenz zu kontrollieren. Dabei entstehen jedoch Kodierungsprobleme. Diese Probleme können auch zwischen verschiedenen Übergängen oder Schnittstellen (MMI, von metrischen zu nichtmetrischen Größe, von einer Ebene zu anderen Ebenen<sup>58</sup>) auftauchen. Die Ursache der Probleme könnte teilweise in der mangelnden Genauigkeit des Modells liegen. Wenn wir die optimale Kodierung für syntaktische und semantische Differenzen zu erreichen versuchen, müssen wir immer daran denken, dass *jede Kodierung auf einer widerlegbaren Annahme beruht*. Es ist sehr schwierig, eine widerspruchsfreie Annahme zu bilden. Eine semantische Maschine kann unter Umständen ein paar syntaktische Fehler ignorieren und das System kann trotzdem gut laufen (*Schmiereffekt*). Die umgekehrte Aussage trifft jedoch nicht zu. Zum Beispiel der Mensch ist von seiner Funktion her eine syntaktische Maschine. Syntaktische Signale werden im menschlichen Gehirn semantisiert, d.h. es wird ihnen eine Bedeutung zugewiesen. Dabei geschehen jedoch Wahrnehmungsfehler, d.h. Kodierungsfehler. Die „gewaltsame“ Zuordnung von semantischen Bedeutungen zu syntaktischen Signalen ist jedoch manchmal fehlerhaft, d.h. sie enthält Widersprüche, die aus Strukturfehlern resultieren.

In der formalen Beschreibung eines Prozesses oder Systems sollten auch Kodierungsfehlerprobleme berücksichtigt werden. Die Wirkung der syntaktischen Ereignisse (Phänomene) wird nie eins-zu-eins in der Semantik interpretiert, aber man kann einen Kompromiss finden, in dem man streng eins-zu-eins zuordnet. Vorteil dieser Methode ist die Machbarkeit. Ein Nachteil ist jedoch, dass sie nicht so flexibel wie der menschlicher Verstand ist. D.h. bei komplizierter und wechselhafter Umgebung kann sie versagen. Hierzu ähnlich ist die Bezie-

---

<sup>57</sup> Vgl. Albert Einstein: "Geometrie und Erfahrung" Springer, Berlin 1921, S.140f.

<sup>58</sup> Solche eine Kategorisierung ist willkürlich und evtl. logisch aber keine absoluten Werte.

hung zwischen der metrischen und der nichtmetrischen Informationskodierung. Solche Übertragung (äquivalentweise) zwischen quantitativer Größe und prädikativer (qualitativer) Größe kann immer das Kodierungsproblem haben.

### 5.8.1 Kodierung zwischen Syntax und Semantik, metrischen und nichtmetrischen Größen

Grundsätzlich gibt es Kodierungsfehler zwischen Syntax und Semantik, der viele Wissenschaftler mühsam beseitigen wollen. Das passiert in allen Schnittstellenbereichen wie *B*, *I*, Zuordnung. In dieser Arbeit bleibt die syntaktische Ebene bei *U* oder *B*, während die semantische Ebene *I* oder *A* sich in der Urteilebene bewegt. In der Technik versucht man herauszufinden, wie man den Prozess beschreibt und auf diese Basis vollständiger Information zugreifen kann. Wir sind erst in der Anfangsphase bei der Erforschung, wie man die semantische Ebene zur Wissensautomatisierung strukturieren kann. Mancher Versuch scheitert, weil die Struktur der Semantik sehr komplex sein kann.

In der realen Welt können wir einige Beispiele wiederfinden, z.B. ein leistungsgerechtes Bezahlungssystem: Das Gehalt der Arbeitnehmer wird nicht nur danach bemessen, wie viel er erwirtschaftet, sondern auch nach nichtmetrischen Größen als Bewertungssystem wie Fachkompetenz, zwischenmenschliche Wirksamkeit, Umsetzungs-Kompetenz, Flexibilität, Lernbereitschaft usw. Das Problem ist, wie man die gerechte Kodierung von nichtmetrischer Kompetenz nach skalierbarem Geld schaffen kann. Besonders in einem System, das willkürlich aufgebaut ist, ist es sehr schwierig, eine 100 % geordnete Zuordnung zu machen und gleichzeitig einen gültigen Wert zu haben. Wie bei der *Fuzzy*-Logik kann man irgendeine skalierbare Größe einem gewissen Bandbereich zuordnen und dafür eine entsprechende Semantik schaffen. In Kap. 4 haben wir dieses Problem schon behandelt. Die metrischen Werte *m* sollen nun „übersetzt“ oder kodiert werden durch sprachliche Ausdrücke. Zum Beispiel im Kraftwerk gehört die Temperatur  $T = 600 \text{ }^\circ\text{C}$  nicht zum „guten Temperatur-Bandbereich“ im Prozessdampf für die Rohrleitung. Der entsprechende Alarm ist dem Signal in Textmeldung zugeordnet „Temperatur ist zu hoch“. Mit dieser Semantik wird angedeutet: Wenn dieser Zustand anhält, kann der Prozess außer Kontrolle geraten. Dieses ist motiviert nach *Sicherheitsaspekten*. Bei einfachem Alarmkonzept funktioniert diese Kodierung, weil jeder Störung eine eindeutige Abhilfe Maßnahme zugeordnet ist. Bei intelligenter Prozess Diagnostik funktioniert dies nicht eindeutig, wegen der teilweise fehlenden eins zu eins Zuordnung und deren Zusammenhänge (Komplexität).

Um Wissen zu organisieren, fangen wir an, etwas zu beschreiben. Bei der Beschreibung machen wir zwangsweise Denkfehler. Die Bedeutung und Beziehung zwischen verschiedenen

Beschreibungsebenen (Aussagen-Relationen) wird hier unter verschiedener Interpretation untersucht. Außerdem hat die Kodierung unseres Wissens mit Umgangssprache zwei Probleme, nämlich Umgangssprache und Kodierung selbst. Im folgenden Kapitel behandeln wir in welcher Ebene *verschiedene Motivationen* über die Interpretation denkbar sind. Diese Motivation kann nach verschiedener Intension wie Ergebnis, oder Ziel usw. orientiert sein.

#### 5.8.1.1 Semantik in logischer Folgerungsebene

Eine Beschreibung sagt: *Wenn die rote Lampe leuchtet, dann stoppt der Motor!*

Information der Zustände (detektiert durch Lampe Signal) = 1

Beziehung: 1= die rote Lampe an.

∴ Bedeutung = der Motor stoppt.

Urteil: Der Motor stoppt, weil das rote Licht da ist. Diese Beschreibungsweise kann die Einzelebene der Funktionen gut darstellen, und die Information ist eindeutig, aber bei einem komplexeren Vorgang stößt sie an ihre Grenze. Das rote Licht kann noch leuchten, obwohl der Motor nicht läuft, dann braucht man eine andere logische Struktur. Wir haben dieses Problem schon in Kap.4 ausführlich behandelt.

#### 5.8.1.2 Zielorientierte Semantikebene

In dieser Ebene ist es schwierig, logische Folgerungen anzuwenden, weil alle Wertfeststellungsverfahren nur einem Ziel dienen. Das typische Beispiel ist, wie technische Prozesse beschrieben werden. Abbildung 20 zeigt, wie die mögliche syntaktische Information eine semantische Bedeutung erhält. Manchmal spielt bei Urteilen die logische Folgerung eine Rolle, manchmal jedoch nicht. Das bedeutet, dass es schwierig ist, struktur-bedingte Widersprüche zu identifizieren, weil das Urteil logische Regeln auf vorhandene Eingangsparameter anwendet, jedoch mit dem Ziel vor Augen, andere wichtige Parameter absichtlich zu ignorieren, um die Erreichung des Ziels zu erzwingen. Man müsste nun beweisen, dass das verwendete Modell des Systems – obwohl es logisch schlüssig erscheint – doch wichtige Parameter nicht enthält. Wir können in der realen Welt unzählige Beispiele dafür finden.



Beispiel 2: Als der amerikanische Enron-Konzern begann, Energie zu kaufen und weiterzuverkaufen, war das in jenen Tagen keine ungewöhnliche Idee. Wenn etwa ein Energieversorger in Detroit wegen einer Kältewelle mehr Heizgas brauchte, dann würde Enron es in Boston kaufen und nach Detroit schaffen. Enron würde sich um Pipelines kümmern, Rechnungen schreiben und den Zahlungseingang überprüfen. Im Lauf der Zeit baute Enron eine so genannte „Handelsplattform“ auf. In diesem Netz aus Geschäftsbeziehungen konnte jeder überschüssiges Gas feilbieten, auch Strom, Pipelinekapazitäten oder Lagerflächen. Erst per Telefon, ab 1999 im Internet. Enron lebte von der kleinen Preisspanne der Transaktionen in seinem Netzwerk – und machte als Spinne im Netz eigene Geschäfte. Ideen von der Wall Street kamen nach Houston, *Futures* und *Derivate* zogen ein. Nach ein paar Jahren war Houstons alter Gasversorger nicht wiederzuerkennen. Ein radikales Unternehmen entstand, es hatte nur ein Ziel: schnell groß und reich zu werden. Für die Kundschaft zahlte sich der Zwischenhandel aus. Enrons Kunden kauften im Schnitt billiger Gas oder Strom als zuvor. Sie wurden Überschüsse besser los – und sie kauften Sicherheit: Ein Stahlwerk konnte sich bei Enron garantieren lassen, im folgenden Jahr Erdgas und Strom zum Festpreis zu beziehen. Der größte Teil des Enron-Konzerns war von der *Old Economy* in die *New Economy* gewechselt. Die Handelsware, mit der das Unternehmen Geschäfte machte, existierte für Enron meist bloß in Computern und auf Datenspeichern im Internet. Die Idee war so gut, dass sie bald kopiert wurde. Doch Enron blieb immer vorn. Denn eine dieser neuen Gesetzmäßigkeiten des Internet-Zeitalters lautete: *The winner takes it all*. Dem Pionier kann es gelingen, sich den ganzen Markt zu sichern. Weitgehend rekonstruiert ist bereits, wie Enron zu den Kapitalmengen kam, die es für sein rasantes Wachstum brauchte. Als Mitte der neunziger Jahre die Geldquellen versiegen, weil die Banken wegen Überschuldung weitere Kredite verweigern, kommt einer dieser jungen Finanzjongleure und stellt eine scheinbar brillante Idee vor. Der Mann heißt Andrew Fastow, wird später Finanzchef des Konzerns und gilt heute als der böseste aller Enron-Bösewichte. Er ist der Gefängniszelle näher gerückt als irgendein anderer Manager. Damals jedoch, während jener Konferenz der Enron-Führungskräfte, erntet Fastow bewundernde Blicke. Er stellt sieben ratlosen Managern am 5. November 1997 ein Konzept vor, seine Idee trägt den Namen *Chewco*. Das ist eine Abkürzung von *Chewbacca*, dem Namen des pelzigen Piloten aus dem Kinofilm *Star Wars*. Ein Scherz, es sollte nicht der letzte sein. *Chewco* wird als Partnerunternehmen gegründet, de facto völlig von der Enron kontrolliert, doch auf dem Papier nicht dem Konzern zugeordnet. Dazu bedarf es eines buchhalterischen Tricks: Der Enron-Manager Michael Kopper kauft privat einen Anteil von drei Prozent an *Chewco*, die anderen 97 Prozent bleiben bei Enron.

Das reicht, um *Chewco* aus den Büchern verschwinden zu lassen. So etwas ist nach amerikanischen Buchhaltungsregeln legal. *Chewco* kauft eine weitere Enron-Partnerfirma auf, *Jedi*, die damit ebenfalls in den Büchern getilgt wird. *Chewco* und *Jedi* machen fleißig Schulden, schustern aber der Mutterfirma bloß die Gewinne zu. Wie von Geisterhand verbessert sich die Ertragslage des Konzerns. Die Expansion kann weitergehen. In den Konzernberichten schrumpfen die Partnerfirmen zu Fußnoten. (Thomas Fischermann und Thomas Kleine-Brockhoff ([www.zeit.de/archiv](http://www.zeit.de/archiv))) Der Enron-Konzern hatte eine Scheinwelt geschaffen, nämlich den physikalischen Markt, an dem an der Energiebörse eine Energiemenge von Ort A nach B angeboten wird, aber dabei hat man nicht bedacht, dass direkte Leitungen nicht immer frei sind. Die Firma Enron musste den Umweg finden, der mehr gekostet hat als ursprünglich. Als zweite Scheinwelt schaffte die Firma einen künstlichen Finanzmarkt, um die Buchhaltung zu manipulieren, so dass Aktien auf der Höhe bleiben. Der Enron-Konzern musste schließlich Insolvenz anmelden. Man hatte dabei nur den wirtschaftlichen Erfolg im Auge, ohne dabei an die physikalische Realität zu denken.

Beispiel 3: Man entwickelte zum Beispiel eine neue Industrienorm für die Beschreibung von Prozessen, ohne sie ausreichend mit Praktikern zu diskutieren und sie zu erproben. Man hoffte lediglich, dass bei ihrer Anwendung schon alles gut ginge. In der Praxis führte diese Norm jedoch durch Missverständnisse oder den Mangel an Flexibilität zu Verwirrung und Chaos. Ein nachteiliges Beispiel eines Industriestandards lässt sich am Beispiel DOS illustrieren: DOS war ein Industriestandard für PC-Betriebssysteme; es gab jedoch zeitgleich verschiedene Ausprägungen des Systems (PC-DOS, MS-DOS, DR-DOS), die untereinander nicht vollständig kompatibel waren.

Beispiel 4: Viele Unternehmer oder Unternehmensberater machen Pläne, wie sie ein Unternehmen aus der Verlustzone in die Gewinnzone zurückführen können. Bei der Restrukturierung des Unternehmens berücksichtigen sie jedoch nicht, dass durch die Reduktion von Mitarbeitern wichtige *Know-How*-Träger verloren gehen. Die Unternehmensführung verkündet Personalabbau, wobei die wichtigen *Know-How*-Träger die Firma zuerst verlassen, weil die Zukunft und das Firmenklima sehr rau werden und unproduktive Mitarbeiter bleiben müssen, weil sie es sehr schwer haben, eine andere Stelle zu finden. Statt den Gewinn zu erhöhen, werden durch die eingeleiteten Maßnahmen die Qualität der Produkte und die Produktivität erheblich beeinträchtigt. Im Endeffekt scheitert die Reform des Unternehmens und die finanzielle Situation ist am Ende noch schlechter als zuvor.

Beispiel 5: Man führt z.B. bei einer Agrarpflanze eine Genmanipulation durch, um den Ertrag zu steigern. Betrachtet man lediglich den Anbau und den Verkauf des Agrarprodukts als ein in sich geschlossenes System, so ist die Genmanipulation erfolgreich. Berücksichtigt man jedoch

auch die Auswirkung auf die Umwelt, so kann sich die Genmanipulation als Katastrophe erweisen. Zum Beispiel kann eine Pflanze, die durch die Genmanipulation gegen Insekten resistent gemacht wurde, sich ungebremst ausbreiten und die gesamte Umgebung überwuchern. Immo Lünzer schreibt in *ÖKOLOGIE & LANDBAU* (1/2000 S. 113) wie folgt: „Die Gentechnik passt grundsätzlich nicht zum ökologischen Landbau, da sie mit unkalkulierbaren Risiken für Mensch und Natur verbunden ist. Während Gentechnologen Mikroorganismen, Pflanzen und Tiere unter rein auf den Nutzen für den Menschen bezogenen Gesichtspunkten betrachten und mit einzelnen Funktionen und Teilen des Organismus arbeiten, wird in der ökologischen Agrarkultur eine ganzheitliche Sichtweise angestrebt, um den Einklang von Natur und Mensch zu erhalten. Dem vorsorgenden Umwelt- und Gesundheitsschutz gilt besondere Aufmerksamkeit.“

Oft wird der Mensch zum Umdenken, d.h. zu einer Verbesserung seines Systemmodells durch Berücksichtigung weiterer relevanter Parameter, erst dadurch gezwungen, dass das System an seine physikalische Grenze stößt und es zu einer Katastrophe kommt. Die Natur strebt Gleichgewichtszustände an. Deshalb kann eine extreme Wahrheit nur instabile Zustände verursachen. Die mittlere Wahrheit erweist sich oft eher als tolerierbare und daher als wahrscheinlichste Wahrheit. Die Instabilität ist eine Folge unserer unvollständigen (vergessenen, ignorierten oder unbekanntenen Parameter) Informationen oder der motivierten Gier einer Person wie im Enron-Fall. Die ganzheitliche Überlegung innerhalb  $B$  und entsprechende Welt  $U$  kann die gegenseitige Wechselwirkung mit wenigen Widersprüchen sichern. Unter diesem Gesichtspunkt kann man viele Systeme in Wissenschaft, Industrie und Ethik betrachten.

### 5.8.1.3 Prozessorientierte Semantikebene

In diesem Fall werden aus Prozess (Ablauf, Verlauf, Situation) momentane Ziele abgeleitet. Das Schema ist sehr ähnlich wie bei der zielorientierten Semantik, aber die Prozessvorgänge entscheiden, welche Priorität einige Informationen oder die Wechselwirkung haben muss. In der Technik unterscheidet man verfahrenstechnische Prozesse und fertigungstechnische Prozesse.

Der Prozess hat auch mit dem Ausdruck „etwas fließt“ zu tun. Was fließt überhaupt und wie fließt es? In verfahrenstechnischen Prozessen finden kontinuierliche oder diskontinuierliche Umformungen von Material oder Energie statt. Diese Veredelungsvorgänge bezeichnen wir als industrielle Prozesse. Für die menschliche Wertvorstellung soll das Ausgangsprodukt wertvoller sein als die Eingangsressourcen. Alle Semantik dient zur Veredelung der Eingangsressourcen. Durch die Prozessoperatoren werden die Zustände in neue Produkte oder Energie,

oder andere Zustände umgewandelt. Zwar sind die Prozesse künstlich hergestellte Ablaufvorgänge, aber es gibt immer noch zu viele unbekannt Faktoren, die den Prozess beeinflussen.

#### 5.8.1.4 Objektorientierte Semantikebenen

Objekte sind die Modellbausteine, die durch die gewählte Ontologie eingeführt worden sind. Die Beziehungen zwischen den Objekten werden durch die Kompositionsregeln vorgegeben, nach denen die Modellbausteine miteinander verknüpft werden können. Einige Objekte, die mindestens eine gemeinsame Eigenschaft (Merkmal: *MM*) besitzen, werden zu einer Klasse zusammengefasst, so dass sich die gemeinsamen Eigenschaften der Klasse auf die Elemente durch Vererbung übertragen. In der Informationstechnologie werden Datenstrukturen mit zugehörigen Funktionen in einem Objekt zusammengefasst. Teilweise sind die zusammengefassten Eigenschaften *vererbbar* für weitere Operationen. Unser Wissen oder Information wird durch Zusammensetzen dieser Objekte dargestellt. Diese Semantik wurde für die Normierung der VDI/VDE3682 „Formalisierte Prozessbeschreibung“ angewandt.

#### 5.8.1.5 Dialogorientierte Semantikebene

Die häufigste Anwendungsmethode des Informationsaustauschs zwischen Menschen und Technik ist der Dialog, den schon Sokrates praktiziert hatte. Durch Meinungs austausch kann man sich selbst eigene Klarheit schaffen. Man kann durch Dialog Heterogenität analysieren und entsprechende Grenzen erkennen. Um sich zu orientieren, wird der Dialog als Hilfsmittel zum Gewinn der Information eingesetzt. In modernen Gesellschaften wird dieser Dialog immer wichtiger und als Kommunikationsgrund ist sein Stellenwert gefestigt. Man kann auch durch Dialog eine Strategie entwickeln, wie man eine neue Erkenntnisebene erreichen kann.

Die Semantik dieser Ebene zeigt eine klare Definition der gesprochenen Begriffe. Man kann durch Dialog gesprochene Zusammenhänge und deren Bedeutungen erfassen. Anwendungen dieser dialogorientierten Semantik (Mensch-Mensch-Ebene) findet man an den unterschiedlichsten Stellen: nicht nur im Marketing und in der Kommunikations-Beratung von Unternehmen, sondern auch in technischen Einrichtungen, die Menschen helfen, dynamisch und effektiv Situationen zu erkennen und Lösungsstrategien zu suchen. Bei den Formen kann man konstruktive Dialoge, Streitgespräche und moderierte Gespräche unterscheiden. Beim Streitgespräch braucht man die Moderation durch Dritte. Die qualifizierte Moderation fachlicher Inhalte basiert auf einem breiten Wissen, das sich über die verschiedensten

Indikationsgebiete erstreckt. Die wirksame Kommunikation erreicht man durch professionell moderierte Diskussionen und durch die aktive Teilnahme ihrer Zielgruppe. Die Anwendung dieses auf Moderation basierten Dialogs kann man heutzutage als Kommunikationsberatung bei großen Unternehmen oder Gedankenexperiment (*brain storming*) der neuen Strategie benutzen. Aber bei normalen Gesprächen zwischen zwei Facharbeitern kann auch Wissensaustausch stattfinden.

### 5.8.2 Kodierung und Dekodierung

Die Übertragung von metrischen Größen nach nichtmetrischen Informationen muss durch eine feste Zuordnung realisiert werden. Dies ist allerdings wie gesagt mit einem erheblichen Informationsverlust verbunden. Die angewandten Methoden, metrische Eigenschaften auf nichtmetrische Skalen abzubilden, haben den gravierenden Nachteil, dass sie an den Intervallgrenzen keinen stetigen Charakter besitzen. Bei der Wahrnehmung von Produkt- und Prozesseigenschaften wissen wir jedoch aus Erfahrung, dass die Übergänge zwischen Wertelementen in der Regel fließend sind. Dieser Gegensatz zwischen unserer Erfahrung und der mathematischen Abbildung durch scharfe Fallunterscheidungen war einer der Hauptgründe zur Formulierung der unscharfen Logik. Wie bei der *Fuzzy-Logik* braucht man verschiedene Kodierungsmodelle (Fuzzyfizierung) und bildet die hier gezeigte Überführung (Dekodierung) von ordinal skalierten Eigenschaften in metrische Werte (Defuzzyfizierung). Bei der Kodierung wird *Vergleichbarkeit*, *homogene Transitivität* und *Reflexivität* vorausgesetzt. Wie wir die typische Kodierung von metrischen Größe durch nichtmetrische Größen in der Technik umsetzen, wird im Folgenden gezeigt. Die physikalisch abgebildeten Größen werden in verschiedenen Stufen in die Wertmenge transformiert, wie Messmethode, Festlegung der Merkmale und Zuweisung zu verschiedenen Semantiken.

Bei Verwendung metrischer Prozessmodelle müssen folglich alle beteiligten Eigenschaften durch Zahlen ausgedrückt werden. Nichtmetrische Modelle erfordern die Transformation metrischer Eigenschaften in nichtmetrische Eigenschaften. Mögliche Wege, metrische Eigenschaften in nichtmetrische Eigenschaften zu überführen und umgekehrt, werden an einigen Beispielen diskutiert. Die Kodierung von metrischen Größen nach nichtmetrische oder kategorische Skalierung soll in folgender Weise überlegt werden:

Aus (4-1) benutzen wir das geordnete Paar  $z(x,t) = m$ .

Die Zahlenwerte für die Variable 'm' sind auf einer metrischen Skala angeordnet.

1. Annahme:

Die Aussage eines technischen Systems sieht man als Formeln an, z. B: als prädikatenlogische Formeln.

2. Annahme :

Diese Formeln werden interpretiert mit Bezug auf ein ganz bestimmtes Universum  $U$ . Dieses Universum ist eine Menge verschiedener wohlbestimmter Objekte, zu ihnen gehören

- a) Das System selbst,
- b) Zeitstelle,
- c) Systemzustände in Gestalt von bestimmten Messwerten.

Objekte wie b) und c) können nicht einfach die topologischen Eigenschaften von reellen Zahlen haben, sondern sie haben eine Topologie, die von physischen, empirischen zu gewinnenden Erkenntnissen über das System abhängt. Das heißt die ganze Problematik steckt in der Spezifikation des Universum  $U$ , die – im Unterschied zur reinen Logik – stark abhängig ist von empirischem Wissen. In der reinen Logik interessiert allgemeingültige Interpretation für jedes beliebige Universum. Wenn man dies konkret anwendet und eine konkrete Interpretation spezifiziert, dann muss man ein bestimmtes Universum (einen Ausschnitt der Welt) spezifizieren, wobei immer empirische Annahmen und unser stets unvollständiges Wissen eingehen. Wenn man an dieser Stelle nicht aufpasst, kann hier mit unterschiedlicher Interpretation gearbeitet werden (zweideutige Aussagen können auftreten).

Die metrische Größe, ein geordnete Paar  $Z(x,t) = m$  wird durch ein geordnetes Tripel<sup>59</sup> dargestellt:

$$\langle x, t, c \rangle.$$

Wir formulieren den „guten“ Zustand in Bezug auf die Temperatur in mengentheoretischer Sprechweise:

$$\text{ref}^\Gamma Z(x,t)^\neg =_{\text{Df.}} \{ \langle x, t, 30 \text{ }^\circ\text{C} \rangle \} \text{ zusammengefasst im gesamten Messbereich.}$$

Wir spezifizieren und erweitern das Güterkriterium der Interpretation als „gut“ vom obigen Tripel.

$$\text{ref}^\Gamma G(x,t)^\neg =_{\text{Df.}} \{ \langle x, t, c \rangle \mid \langle x, t, c \rangle \in \text{ref}^\Gamma Z(x,t)^\neg \ \& \ a \leq 100 \text{ }^\circ\text{C} \}$$

Wobei  $a \leq 100 \text{ }^\circ\text{C}$  eine empirisch motivierte Bedingung ist.

„Schlecht“ ist  $\text{ref}^{\Gamma\neg} G(x,t)^\neg =_{\text{Df.}} \{ \langle x, t, c \rangle \mid \langle x, t, c \rangle \in \text{ref}^\Gamma Z(x,t)^\neg \ \& \ a > 100 \text{ }^\circ\text{C} \}$

$$\text{ref}^\Gamma G(x,t)^\neg \in U$$

Diese Erweiterung des Gütebegriffes hängt vom Zweck des Prozesses ab und hat auch Auswahlcharakter.

---

<sup>59</sup> lat. triplex: dreifach

Aufgrund der Erfahrung wissen wir, dass es zusätzlich andere Faktoren für die Interpretation gibt. Die Mess-Erscheinung, z. B. der Anzeiger, als Aussage  $x$  soll eine Referenz haben:

$$\text{ref}^\top Z(x,t,a)^\top = \{ \langle x, 17:30t, 30^\circ\text{C} \rangle \}$$

Die Interpretation der durch '=' ausgedrückten Beziehung hängt ab vom Funktionieren eines Teilsystems, z.B. Kabel, Messgerät usw. Der Bezug der Aussage kann nicht gegeben sein wie in (5-2) (wie der Mensch lügt), wenn der physische und technische Defekt da ist. Intendierte Interpretation sieht einfach aus, aber sie hat reale Bedeutung, wenn Systemzustand da ist. Es gibt die Möglichkeit, dass intendierte (beabsichtigte) Interpretation und reale Interpretation voneinander abhängen, und diese Interpretation ist nicht trivial. Hier spielt die Motivation der Umsetzer eine Rolle, wie metrische Skala nach kategorischer Skala umgesetzt werden kann. Bei der Dekodierung kann man Intention und Maßnahme zu Stellgliedern in der Form von metrischen Befehlen oder Strategien weiterleiten.

#### 5.8.2.1 Kodierung durch Abbildung

Das Modell  $\mathcal{M} = \{U, I, B\}$  muss ein eigenes Universum, Bezug und Interpretation haben. Das bedeutet, dass Modellbildung unterschiedlich je nach dem Blickwinkel des Interpretationszentrums sein kann. Man bildet eine surjektive Abbildung in der Form: reale Welt  $f: U \rightarrow U'$ , bei der jedes  $\alpha \in U'$  Bild mindestens eines Originals  $\alpha \in U$  ist, das heißt dieses Modell ist nicht mehr  $\mathcal{M} = \{U, I\}$  sondern

$$\mathcal{M} = \{U', I, \text{Ref } I(\alpha)\} \quad (5-11)$$

Je schlechter  $U$  abgebildet wird, desto größer wird der Kodierungsfehler  $\Delta$  zwischen  $U$  und  $U'$ . Die Abbildung setzt ein gutes Modell voraus und ein Modell setzt Kodierung voraus. Bei der Kodierung zwischen metrischer und nicht-metrischer Größe passiert im extremen Fall zwischen der Abgebildeten und der Realität:

$$\mathcal{M} \cap G\mathcal{M} = \{\} \quad (5-12)$$

Wenn die Schnittmenge zwischen Modell und Gegenmodell 'G $\mathcal{M}$ ' die leere Menge wird, wird das Modell sich in widersprüchlichem Zustand befinden. Das gilt auch für die Injektive Abbildung:  $U \rightarrow U'$ , bei der verschiedene Originale  $x_1, x_2 \in U$  auch verschiedene Bilder  $f(x_1), f(x_2) \in U'$  haben. Bevor die Abbildungen stattfinden, soll man zuerst die Abbildungsvorschrift für ihre Gültigkeit prüfen. Danach muss man überlegen, wie man die Differenz zwischen Modell und Gegenmodell feststellen kann, falls wir das Gegenmodell wahrnehmen können.

#### 5.8.2.2 Zahlentheorie und Logik

Die PL- Betrachtungsweise in der Logik kann die Mengentheorie einschließen. Die Standardsemantik der PL setzt die Mengentheorie voraus. Sie kann auch Zahlen in gewisser Weise verbinden, solange sie Zahlenindizes verwendet. Wenn wir die Zahlenindizes verwenden, dann setzen wir gleichzeitig die Zahlentheorie voraus. Aber es gibt Probleme, wenn man die Zahlen (siehe Kap. 5.8 Einstein's Aussage) über die Beschreibung der Welt anwenden will. Das Standardproblem kann beispielsweise die Kontinuität sein. Es gibt kein echtes, physisches Korrelat der mathematischen Kontinuität. Dem liegt zugrunde, dass man die Semantik oder syntaktische Beweise mit vollständigen Induktionen durchgeführt hat. Die Basis, die vollständigen Induktionsbeweise durchführt, sind zahlentheoretische Beweise. Das läuft immer darüber, dass man sich die Formel durch Zahlen indiziert denkt. Man kann auch sagen, dass das nur Bequemlichkeit sei und man andere Bezeichnungen wählen könnte. Man müsse dann kompliziert<sup>60</sup> argumentieren. Eigentlich ist *nicht* Zahlentheorie vorausgesetzt, sondern die Wiederholbarkeit der gewissen Operation. Der Gebrauch der arithmetischen Ausdrucksweise ist in dieser Hinsicht nur Bequemlichkeit, um diese Operation leichter darstellen zu können, sonst hätte man sehr viel längere Formeln gebraucht. Im Prinzip könnte man die Zahlentheorie auslassen und man bräuchte nur die Wiederholbarkeit der Operation. Das nennt man die Induktion nach Formelaufbau. Diese Zusammenhänge zwischen Zahlentheorie und Logik kann den Kodierungsvorgang beeinflussen.

## 5.9 Modell und Gegenmodell

In der Technik ist ein System zu modellieren, nichts anderes als die zeitliche Zustandsveränderung mathematisch zu beschreiben. Diese Darstellung besteht aus Gleichungen. Logisch gesehen sind Gleichungen Sätze, genauer gesagt, Beschreibungsformeln, die aus Variablen und Konstanten bestehen. Erst durch Quantifikation (z.B. Hinzufügung von ' $\forall x$ ') bildet man einen Satz und bestimmt einen Bezug: Nur quantifizierte Variablen haben Bezug. Dieser hängt davon ab, welches  $U$  man zugrundelegt. In der Logik ist  $U$  einfach als irgendeine nicht leere Menge vorgegeben. In der Anwendung ist  $U, U_1 \dots U_n$  nur gegeben durch zutreffend vermutete Beschreibungen eines Ausschnitts der Welt. Je nachdem welche Faktoren man nicht berücksichtigt, ist das so, wie wenn man ein  $U_1$  nähme und Referenz der Variablen seien Elemente dieses  $U$ , das auch ein Teil eines größeren  $U_2$  ist. In  $U_2$  aber könnten Werte für diese Variable auftauchen, deren Interpretation  $I$  gar nicht stimmt, aber bezogen auf  $U_1$  stimmt. Wir wollen die All-Quantifizierung haben und dabei müssen wir einschränkende

---

<sup>60</sup> In diesem Fall muss man alle möglichen Haupt- und Rand-Bedingungen im Voraus definieren und vollständig Widerlegbares ausschließen. Aber wegen unbekannter Unbekannte ist es immer möglich zu widerlegen.

Bedingungen hinzunehmen. Wenn wir ergänzende  $J$  nehmen, dann gilt die Gleichung wieder. Die Gleichung mit einschränkender Bedingung hat damit zu tun, dass man eine solche Gleichung modellbezogen aufstellt. Die Modellbezogenheit kann man in der Sprache der Logik nach Definition 3-26 L-Modell abbilden auf bestimmtes  $U$  und bestimmte  $I$ , nämlich  $\mathcal{M} = \{U, I\}$ . Das Modell ist eine konkrete Beschreibung über einen bestimmten Ausschnitt der Welt  $U$  und auf relevante Interpretation aufgebaut. Wie in Definition 3-25 reden wir immer mit über den Bezug, wenn wir über Interpretation reden. Deshalb soll (5-11)  $\mathcal{M} = \{U', I, \text{Ref } I(a)\}$  gelten. Der Logiker und Wissenschaftstheoretiker spricht über Modelle in verschiedener Weise. Ein Wissenschaftstheoretiker sagt z.B., „ideale kleine Billardkugeln“ seien ein Modell für Gasmoleküle, weil diese sich in gewissen Hinsichten ähnlich verhalten wie jene, obwohl natürlich klar ist, dass Gas-Moleküle keine kleinen Billardkugeln sind. Diese Einschränkung, die die Modellvorstellung mit sich bringt, ist für die Logik selbst ein Modell, nämlich kombinatorisches Modell. Die Logik ist immer Kombinatorik. Man simuliert mit beliebigen Objekten, den Elementen des zugrundegelegten Universums, welche Kombinationen der Zuordnung zu den Individuen- und Prädikatsymbolen einer gegebenen Sprache auftreten *können*. Alle möglichen Missverständnisse oder neue Interpretationen simuliert man mit kombinatorischen Modellen. Deshalb sind die Mengen, mit denen man operiert, fast immer Zahlenmengen. Im unendlichen Modell denkt man sich eine Zerlegung in Mengen. Es gibt eine Uminterpretation der Prädikatoren und Relatoren in einem Satzsystem: Sie bildet die Veränderung der Wahrheitswertzuweisung an die atomaren Sätze; aber es gibt einige Verknüpfungen zwischen Sätzen, die invariant bleiben, nämlich die *logischen* Folgerungen, weil diese durch Konditionalsätze repräsentiert werden, die unter jeder Variation der Interpretation den Wahrheitswert „wahr“ erhalten. Das ist die Denkweise in der Logik: Nur die Invarianzen unter beliebigen kombinatorisch möglichen Veränderungen der Interpretation festzuhalten. Auch für Modelle von Modellen interessieren sich die Logiker. In der Logik modelliert man mit den Mitteln der Kombinatorik, was passieren kann, wenn man von einer konkreten Modellvorstellung zu einer anderen übergeht.

Die technische Anlage ist eine künstliche Welt, die wir unter bestimmten Zielvorstellungen beschrieben haben. Sie hat aber gleichzeitig mit der Welt zu tun, in der wir leben. Diese Wechselwirkung werden im Ingenieurstudium jedoch sehr wenig behandelt. In der Logik haben wir Allgemeingültigkeit und Normalitätsbedingung in der Naturwissenschaft vorausgesetzt, aber die Anwendung in der Technik ist manchmal nicht trivial. Wenn wir mit Sprache ein Modell beschreiben, dann könnte die Sprache selbst ein Teil der Unsicherheit sein. Wenn wir mit Mathematik ein Model beschreiben, dann gilt auch Ähnliches. Dem Ingenieur stehen lediglich begrenzte Mittel wie z.B. mathematische Beschreibungsweisen oder chemische For-

meln zur Verfügung, um wesentliche Merkmale zu beschreiben. Er beschreibt bedenkenlos das Problem der Welt mit mathematischer Syntax und Semantik, daher ist das 'Problem' vorprogrammiert. Bei der Ideologie könnte auch Ähnliches passieren. Genau so wie der Kommunismus konnte der Kapitalismus eigene Widersprüche (Probleme) generieren.

Das Modell ist unsere Vorstellung über die Welt oder die Lösungsstrategie. Unsere Information, die wir apriorisch oder aposteriorisch gewonnen haben, dient zur verschiedenen Modellbildung, die sich in unterschiedliche Ebenen der Informationsspeicherung gliedert. Die Ebene der realen Welt gibt die Anwendung wieder, die durch einen Abstraktions- und Formalisierungs-Prozess in ein Modell überführt wird. In [Polke (1992)] hat er die verschiedenen Interpretation bezogene Modelle als Informationsmodell, Datenmodell oder objektorientiertes Modell beschrieben: „Das *Informationsmodell* stellt ein konzeptionelles Schema dar. Das Informationsmodell ist problembezogen und beinhaltet die Beschreibung aller für das zu entwerfende Informationssystem relevanten, statischen Informationen zu den Objekten und Objektbeziehungen. Das konzeptionelle Datenmodell stellt die Schnittstelle zwischen Benutzer und Informatiker dar und beinhaltet typenmäßige Aussagen über einen zu modellierenden Ausschnitt der Realität. Das *Datenmodell* repräsentiert eine Struktursprache, die zur Beschreibung von Datenbeständen geeignet ist. Grundlage der *semantischen Informationsmodellierung* ist eine objektorientierte Strukturierung von Informationen. Im Vordergrund der Betrachtungen stehen Informationsobjekte als Repräsentationen konkreter (Gegenstände, Prozesse) oder abstrakter (Begriffe) Objekte. Die *objektorientierte Modellierungsmethode* unterscheidet nach, die Schritte der Identifikation, Attributierung, Klassifikation und Relationierung. Die Objekte werden durch ihre Eigenschaften (Attribute), bestehend aus Kategorie und Wert, beschrieben. Zwischen den Objekten bestehen Beziehungen (Relationen), die aus einem Eigenschaftsvergleich resultieren (Ordnungsbeziehung), in einer Klassenzugehörigkeit begründet sind (Bestandteilsbeziehung) oder auf einer funktionalen Verknüpfung beruhen (Mitwirkbeziehung)“ [Polke (1992)]. Wir können dieses Objekt als Individuum oder System in der Semantik betrachten. Wenn wir keine gültige Interpretation und Bewertungsfunktion haben, dann könnte dieses Modell nicht zutreffend sein. Außerdem, wie die oben beschriebenen Überlegungen zeigen, gibt es sehr viele Fragen an Modellbildung, Abbildungskette so wie Gegenmodell wegen unbekanntes Unbekanntes. Aber überwiegende Fehler, die in der Technik passieren, haben nicht nur mit dem unbekanntes Unbekanntes sondern auch mit Mangel der Vorsicht zu tun, die einschränkende Randbedingungen ignoriert. Das wird verursacht nicht durch unsere Denkstruktur, sondern durch unseren Hochmut und unsere Dummheit. Die Korrigierbarkeit ist entscheidend. Die bestimmten Rezepte, die bis jetzt immer funktionierten, lassen uns glauben, dass sie die absolute

Wahrheit seien. Das verringert unsere Aufmerksamkeit für störende Faktoren. Deshalb enthält Murphy's Gesetz eine tiefe Wahrheit. Wie bei Murphy's Gesetz (alles was schief geschehen kann, geschieht auch: *If anything can go wrong, it will*) [www.murphys-law.com] hat das Gegenmodell eine überragende Wirkung. Die Wahrheit von Murphy's Gesetz ist Rache der Wirklichkeit an der Instabilität induktiv gewonnener Bestätigung. Das kann man nicht ausschließen und deshalb kommt die Überraschung. Typische logische Fehlschlüsse zeigen Beispiele wie die Rattenplage auf der Insel Hawaii oder die Kaninchen- bzw. Froschplagen in Australien. Man hatte indische Mongoos als eine Maßnahme gegen Ratten auf eine der Hawaii-Inseln eingeführt. Nachdem Mongoos alle Ratten gefressen hatten, stellten sie ihre Nahrung auf Vogeleier um und vermehrten sich ungebremsst. Es gab keine natürlichen Feinde mehr. An diesem Beispiel erkennt man, was passiert, wenn ganzheitliche Lösungsansätze fehlen. Man hatte nicht das ganze Ökosystem berücksichtigt, als die Mongoos eingeführt wurden. Die Realität zeigt die Wirkung des Modells und seine Differenz. Wir bezeichnen diese Realität als das Gegenmodell 'GM'.

### 5.10 Formalisierte Prozessbeschreibungen

In der Zeitschrift 'atp' [Polke et al. (2003)], wird ein neues Konzept der formalen Prozessbeschreibung wie folgt vorgestellt: „Die Prozessbeschreibung muss [...] alle für Planung und bestimmungsgemäßen Betrieb notwendigen Informationen während des gesamten Lebenszyklus eindeutig und strukturiert, vollständig und technisch wie kognitiv, wieder gewinnbar enthalten und das in revisionstechnischer Aktualität, was nur durch Formalisierung der Prozessbeschreibung erreicht werden kann. Formalisiert heißt hierbei die Reduktion auf eine definierte Menge von [1.] Symbolen (Zeichen, Sigmatik), [2.] Regelung für zulässige Kombinationen von Zeichen (Syntax), [3.] Operationen mit Symbol[en] nach Maßgabe der Zeichenbedeutung (formale Semantik).“

Er behauptet, dass die Formalisierung der Information von Symbolik über Syntax nach Semantik eindeutig nachvollziehbar sei. Dieses Transformationsprinzip besteht aus Symbolen für z.B. die Objekte *Produkt* (Kreis), *Energie* (Raute) und *Prozessoperatoren* (Rechteck) sowie für *den diese Objekte verbindenden Fluss* (Pfeil). Durch einen Prozessoperator werden Produkte und Energie in neue Produkte und Energie umgewandelt. Der Prozessoperator realisiert diese Umwandlung mit Hilfe von *technischen Ressourcen* (abgerundetes Rechteck) und *deren Nutzung* (Doppelpfeil). Die Übersicht über technische Ressourcen wird in chemischen Anlagen als AKZ (Anlagen- und Apparate Kennzeichen) und in energiewirtschaftlichen Anlagen als KKS (Kraftwerk-Kennzeichnungssystem) gegeben. [Polke et al.

(2003)]. Das ist ein typisches Beispiel für die Kombination der ziel-, prozess- und objekt-orientierten Semantik für die Prozessbeschreibung<sup>61</sup>.

Dieses Konzept der formalisierten Prozessbeschreibung zeigt die Möglichkeit, verschiedene Modellkonzepte ‘hybrid’ oder nach dem ‘Baukastenprinzip’, d.h. auf modularer Basis, zu bilden. Jedoch enthält dieses Konzept immer noch einige Probleme mit der Semantik, den Bewertungsvorgängen und den Definitionen der *NT*-Bedingungen, ja selbst mit der Entwicklung eigener Fachsprachen, der zutreffenden Kodierung und der Untersuchung des Stabilitätsproblems. Auch ergibt sich wieder ein Mehrdeutigkeitsproblem, weil ähnliche Symbole in Flussdiagrammen der Programmierungssprache schon benutzt werden. Die grafische Prozessbeschreibung kann moderne I&C (*Instrumentation and Control*) Diagramme nicht einfach ersetzen, weil sie sowohl physikalische oder chemische Prozesse als auch Instrument-, Steuer- und Regelkonzepte integrieren muss. Wenn der Anwender seine Motivation (Funktion, Ort, Produkt usw.) ändert, muss man die Modellstruktur umformen. Diesen Aufwand wird wohl keiner in Zukunft zu leisten imstande sein.

Die Prozess-Beschreibung oder Darstellung ist gewissermaßen eine Modellbeschreibung der Welt<sup>62</sup>, die wir künstlich aufgebaut haben. Wir können dieses Modell in unserer Sprache oder mit Zeichen beschreiben. Das Flussdiagramm ist nichts anders als ein *Kontroll*-Konzept. Mit der bloßen *Prozessbeschreibung* allein können wir keine Prozesse *kontrollieren*. Wir können auch nicht auf die mathematische Darstellung, detaillierte Bedingungen und normierte Größen (als korrespondierenden Teil) verzichten. Wenn wir einen einzelnen Motor und ein Messgerät als Objekt oder Individuum betrachten, muss die einzelne Relation wie (5-2) eine schematische Beziehung haben. In diesem Sinn können Zustände und Prozessoperationen nicht zur Klasse von Objekten werden. Man beschreibt mit Prädikatoren *P* Objekte *a* über den Bezug *B* und so wird eine Dynamik formalisiert. Wie bei der Sprache können Prädikatoren als Zustandsbeschreibungen oder Attribute benutzt werden. Sie beschreiben mit der allgemeinen Sprache ihren eigenen Zweck. Bei verschiedenen Automationsstufen (Mensch-Maschine oder volle Automatisierung) brauchen wir schematische Entscheidungen. Dafür ist die FL und ihre syntaktische Beziehung (richtige Kodierungen vorausgesetzt) denkbar um logische Entscheidungen zu ermöglichen.

Man versucht dieses Konzept mit einem vorhandenen speicherprogrammierten Steuerungssystem (SPS) (wie z.B. ABB oder Siemens) zu programmieren. Jedoch kann diese nicht-metrische, funktionsbasierte Beschreibung nur mit Hilfe einer komplizierten Bibliothekstechnik oder mit einer neuen, speziellen und logischen Programmiersprache realisiert werden.

---

<sup>61</sup> In der Philosophie kann man das mit einer Weltanschauung vergleichen.

Ferner ist es nicht einfach, bei solchen Beschreibungsmethoden logische Zusammenhänge zu prüfen. Als ergänzende Darstellungsform für Prozessbeschreibungen könnte die prädikatenlogische Darstellungsform mit nicht-trivialer Bedingung wie z.B. in Kap.5.1 denkbar sein, um konkrete Anwendung zu beschreiben. Diese Form kann uns mitteilen, welche semantische Ableitung von Prozessen möglich ist.

### 5.11 Instabile Faktoren der Mensch-Maschine-Schnittstelle

Der Mensch greift überwachend und steuernd ein. Er kann dies in planender, vorausdenkender Weise tun. Er optimiert technische Prozesse in Struktur und Ablauf. Der Mensch kann gefährliche Situationen in technischen Prozessen frühzeitig erkennen und dann rechtzeitig zu deren Beseitigung eingreifen. Und der Mensch kann, im Gegensatz zur Automatik, improvisieren. Das Handeln des Menschen in einem technischen System kann jedoch immer auch eine Quelle von Fehlern sein. Gerade die Gestaltung moderner Leitsysteme, die trotz eines hohen Automatisierungsgrades dem Menschen als „höchste Instanz“ die Möglichkeit geben, die Maßnahmen des Automatisierungssystems zu übersteuern, „gestattet“ es diesem Menschen natürlich ebenso, fehlerhafte Handlungen auszuführen, welche die Qualität der Prozessführung verschlechtern [Neupert (1996)]. Die Schnittstelle Mensch und Maschine ist ein Problemfaktor. Wie schon in Kap.2.2.2 erwähnt, kann der Mensch keine Maschine sein, und eine Maschine kann kein Mensch sein.

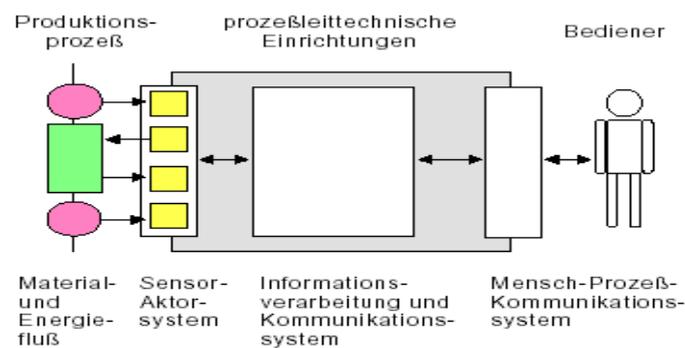


Abbildung 21: Informationsfluss bei MMI [Neupert (1996)]

Trotzdem wird zu oft erwartet, dass Menschen mit derselben Perfektion handeln wie eine funktionierende Maschine. Es kann fatal sein, wenn diese Perfektion nicht nur erwartet, sondern vorausgesetzt wird. Selbst ein zuverlässiger und überdurchschnittlich qualifizierter, Facharbeiter könnte je nach seinem Befinden (z. B. Müdigkeit, Krankheit, private Probleme, Ablenkung, Fehlinterpretation oder -annahmen, Vergessen oder unzählige andere Faktoren)

<sup>62</sup> Das ist nicht Natur aber diese künstliche Welt steht in Wechselwirkung mit Natur.

falsch und unberechenbar reagieren, weil ein Mensch eben keine Maschine ist. Natürlich kann die eins-zu-eins Kodierung hier nicht funktionieren. Alle menschlichen Eigenschaften wie falsche Wahrnehmung, Täuschung, Ahnungslosigkeit, können die Kontrolle der Maschine oder den Prozess beeinflussen, weil Menschen immer noch in vielen Bereichen das höchste priorisierte Kontrollkonzept repräsentieren. Deshalb ist der *Mensch* bei technischen Prozessen ein sehr wichtiger Faktor.

Beispiel 1: Am 20. März 2001 verlor die brasilianische Firma Petrobras die größte Erdölgewinnungsanlage „Plattform Typ P-36“ der Welt, nachdem man fünf Tage lang vergeblich versucht hatte, den Brand unter Kontrolle zu bringen. Dabei kamen elf Menschen um und es liefen schätzungsweise ca. 316.000 Gallonen Diesel aus. Obwohl es vor der Katastrophe eine kleine Explosion gab, sind die Ursachen des verheerenden Feuers bislang unklar. (<http://www.fe.doe.gov/international/Wester../brazover.html> oder [www.marinergroup.com/oil-spill-history.htm](http://www.marinergroup.com/oil-spill-history.htm)) Durch das Auftreten eines technischen Fehlers entstand eine Kettenreaktion, die innerhalb von ein paar Sekunden ca. 11800 Warnsignale auslöste. Der Operator der Anlage war dadurch massiv überfordert und sein Urteilsvermögen getrübt. Durch seine falschen Maßnahmen entstand eine noch größere Katastrophe, und die Bohrplattform versank im Meer (falsches Alarm-Konzept und falsche Reaktion des Menschen). Die Summe der Fehler hat den Toleranzfehlerbereich überschritten.

Beispiel 2: Bei der Flugzeugkollision in der Nähe von Überlingen am Bodensee im Frühjahr 2003 kam es zu einem Widerspruch der Anweisungen des automatischen *Traffic Collision Avoidance Systems* (TCAS) und des Fluglotsen. Das TCAS benutzt die gleichen Funksignale, die seit vielen Jahren zwischen den Radarantennen der Flugsicherung und dem sogenannten „Transponder“ an Bord der Flugzeuge ausgetauscht werden. Solche Transponder müssen heute in Deutschland von allen Motorflugzeugen betrieben werden, die über 1500 m steigen wollen. Die ausgestrahlten Antwortsignale beinhalten eine Höheninformation, die vom Flugzeug-Höhenmesser geliefert wird. Das TCAS verwendet die Funksignale als solche, um die Annäherung an ein anderes Flugzeug zu erkennen und die kodierte Höheninformation, um bei einer gefährlichen Annäherung ein vertikales Ausweichmanöver zu kommandieren.

TCAS Ausweichkommandos (ausschließlich in vertikaler, nicht in horizontaler Richtung) werden im Allgemeinen nur generiert, wenn eine direkte Kollisionsgefahr gegeben ist. Dabei sind die Warnzeiten so kurz, dass ein Abstimmen des Manövers über Funksprechverkehr nicht möglich ist. Damit die vom TCAS-System berechnete Ausweichbewegung wirksam sein kann, muss der Pilot dem Kommando so präzise wie möglich folgen. Die internationalen Vorschriften erlauben daher ein Abweichen von den Kontrollvorgaben der Flugsicherung im notwendigen Umfang. Gleichzeitig ist der Pilot verpflichtet, das Ausweichmanöver knapp

über Funk zu melden (zum Beispiel: „TCAS DESCENT“); die Flugsicherung soll diese Meldung bestätigen, aber nicht weiter in den Flugverlauf eingreifen, bis das Manöver vom Piloten als beendet gemeldet wird („CLEAR OF CONFLICT“): ( Bericht von Vereinigung Cockpit e.V. 2003)

Während das TCAS dem russischen Piloten die Anweisung gab zu steigen, um die Kollision zu vermeiden, gab der Fluglotse die gegenteilige Anweisung. Der russische Pilot hörte anders als sein westlicher Kollege auf den Fluglotsen, was in Deutschland bei einem Widerspruch der Lotsenanweisung mit der TCAS- Meldung nicht üblich ist, da man hier der Technik mehr als dem Menschen vertraut. Es kam schließlich zum Zusammenprall und Absturz, da beide Piloten den Sinkflug eingeleitet hatten. Durch eine weltweit einheitliche Vorschrift, die besagt, dass man in solch einem Fall nur der Anweisung des TCAS oder nur der Anweisung des Fluglotsen Folge zu leisten hat, wäre der Unfall zu verhindern gewesen [Butsch, 2003] [www.bfu-web.de].

Beispiel 3: *Absturz einer Boeing B 757 bei Puerto Plata, Dominikanische Republik am 06.02.96, (Birgenair-Unfall)*: Eine Boeing B757 stürzt wenige Minuten nach dem Start vom Flughafen Puerto Plata ins Meer. 176 Passagiere und 13 Besatzungsmitglieder sterben bei dem Unfall. Dieser Flug nach Frankfurt am Main beginnt um 23:42 Uhr Ortszeit auf dem Flughafen der Stadt Puerto Plata in der Dominikanischen Republik. Die Boeing B757 gehört einer türkischen Fluggesellschaft und wurde von einer dominikanischen Fluggesellschaft kurzfristig als Ersatz für ein anderes Flugzeug gechartert, das wegen technischer Probleme nicht eingesetzt werden kann. Der Start wird vom Kapitän eingeleitet. Als während der Beschleunigung der Kopilot die Entscheidungsgeschwindigkeit ‚80 Knoten‘ ansagt, erkennt der Kapitän, dass sein Fahrtmesser nichts anzeigt. Er teilt dies seinem Kollegen mit und setzt den Start fort. Während des Steigens hat der Kapitän den Eindruck, dass seine Geschwindigkeitsanzeige wieder zu arbeiten beginnt. Für den weiteren Steigflug wird routinemäßig der Autopilot eingeschaltet. Die automatische Schubregelung ist seit dem Startbeginn aktiv. Etwa zwei Minuten nach dem Start erscheint die Warnmeldung ‚Rudder Ratio/ Mach Speed Trim‘. Daraufhin äußert der Kapitän die Vermutung, dass ‚irgendetwas‘ nicht stimmt. Sein Kopilot teilt ihm mit, dass auf seiner Seite die Geschwindigkeit 200 Knoten fallend angezeigt wird. Das Flugzeug befindet sich jetzt in 5344 Fuß Höhe und mit einem Neigungswinkel von 15 Grad nach oben. Der Kapitän äußert die Vermutung, dass beide Geschwindigkeitsanzeigen keine korrekten Werte anzeigen und lässt die Sicherungen überprüfen. Als sie eine Höhe von 6688 Fuß erreichen, signalisiert eine akustische Warnung das Erreichen der zulässigen Maximalgeschwindigkeit. Auf der Anzeige des Kapitäns nähert sich der Zeiger dieser Geschwindigkeit. Der aktivierte Autopilot, der mit den gleichen Daten

wie die Geschwindigkeitsanzeige des Kapitäns arbeitet, reagiert auf die scheinbar zu hohe Geschwindigkeit mit einer Erhöhung der Längsneigung. Der Kapitän geht zwar davon aus, dass der Alarm durch falsche Geschwindigkeitsdaten ausgelöst wurde, versucht seinerseits aber trotzdem Geschwindigkeit abzubauen, indem er die automatische Schubregelung abschaltet und die Leistung von Hand auf Leerlauf reduziert. Trotz dieser Maßnahme steigt der Geschwindigkeit auf der Anzeige des Kapitäns weiter. Im Gegensatz dazu zeigen die vier übrigen Geschwindigkeitsanzeigen, einschließlich des *Stand-by*-Instruments, eine zu niedrige Fluggeschwindigkeit an, mit fallender Tendenz. Als auf diesen Anzeigen der Wert die zulässige Mindestgeschwindigkeit unterschreitet, setzt der Steuersäulenrüttler als Warnung vor einem drohenden Strömungsabriss ein. Die Piloten sind dadurch mit zwei widersprüchlichen Warnungen konfrontiert: vor zu hoher und gleichzeitig zu niedriger Fluggeschwindigkeit. Tatsächlich fliegt das Flugzeug jetzt mit hohem Neigungswinkel und einer Geschwindigkeit nahe der Grenze zu Strömungsabriss. Als die Strömung schließlich abreißt und das Flugzeug schnell an Höhe verliert, scheinen die Piloten diesen Sachverhalt zu erkennen. Die Gegenmaßnahme des Kopiloten, am Autopilot den Modus ‚Höhe halten‘ einzustellen, hat keinen Erfolg, da sich der Autopilot wegen unlogischer Flugparameter selbst abgeschaltet hat. Gleichzeitig werden die Schubhebel auf Maximalschub gebracht. Die Triebwerke laufen hoch, allerdings mit asymmetrischer Schubverteilung. Dadurch beginnt das Flugzeug zu rollen und verliert weiter an Höhe. Im Cockpit ertönt die Bodenannäherungswarnung. Der Besatzung kann nicht mehr die Kontrolle über den Flug zu erlangen. Das Flugzeug stürzt fünf Minuten nach dem Start circa 20 km vor der Küste ins Meer. Die späteren Untersuchungen lassen den Schluss zu, dass das Staurohr auf der Seite des Kapitäns verstopft war, somit im Prinzip wie ein Höhenmesser arbeitete und falsche Druckdaten an die Geschwindigkeitsanzeige des Kapitäns und an den aktiven Autopiloten lieferte. Die Geschwindigkeitsmessung bei einem Flugzeug erfolgt mit Hilfe eines Staurohrs (Pitot-Rohr). Dabei ist die Differenz zwischen dem an der vorderen Öffnung des Pitot-Rohrs auftretenden Staudrucks und des an einer seitlichen Öffnung auftretenden statischen Drucks ein Maß für die Fluggeschwindigkeit. Wenn nun ein Pilot es versäumt, vor dem Start des Flugzeugs zu prüfen, ob die Öffnungen des Pitot-Rohr frei von Schmutz sind, so kann es während des Fluges zu einer falschen Anzeige der Fluggeschwindigkeit kommen. Nach der Verstopfung eines Pitot-Rohrs durch Insekten, war die mit Hilfe dieses Sensors ermittelte Geschwindigkeit zu niedrig, während die mit Hilfe von vier anderen Sensoren (u.a. eines Laser-Kreisels) gemessene Geschwindigkeit richtig angezeigt wurde. [Birgen Air (1996)].

## 5.12 Logik, die Überlebens-Strategien ermöglicht

Was die Menschen haben wollen, ist immer ein Interventionswissen. Das Wissen über die Natur, das Menschen anstreben ist nicht nur ein beruhigendes Wissen, sondern man will wissen, ob man sie so gut versteht, dass man intervenieren kann. Ob wir das Wetter verstehen oder nicht, ist der Natur egal. Deshalb ist Wissenschaft eine Interventionswissenschaft. Eine einfache Frage für das alltägliche Leben ist, wie komme ich aus einer Misere heraus? Dieses „wie“ ist nichts anders als eine Frage nach Interventionswissen, um die Situation zu steuern. Solche Fragestellungen zeigen die Fähigkeit, intelligent zu sein und die entsprechenden Lösungsstrategien zu bilden. Eigentlich ist die Strategie ein Steuermodell, das zwangsweise ein Gegenmodell voraussetzt. Die Steuerbarkeit eines Prozesses setzt die genaue Information des Prozesswissens voraus. Eine falsche Informationskette könnte unsere Orientierung und auch die dadurch verursachte Steuerbarkeit in Frage stellen. Der Mensch macht sich Vorwürfe über sich selbst, falls die Situation durch nicht geeignete Maßnahmen außer Kontrolle (nicht in die Richtung, die man gern hätte) gerät. Das kann auch unser Überleben beeinflussen. Die Wale können an die Küste getrieben werden, wenn sie ihre Orientierung verlieren. Die Pflanzenfresser unter den Tieren müssen ständig ihre Umgebung wahrnehmen und entsprechend reagieren, wenn Raubtiere auftauchen. In der Steinzeit konnten die Menschen nicht überleben, wenn sie keine Orientierung hatten, wo sich die Nahrung befindet. Wenn wir die Verkehrssituation nicht richtig einschätzen können oder einen Baum übersehen, können wir schnell in Verkehrsunfälle verwickelt werden und dabei sogar unser Leben verlieren. Wir wollen nicht die „Wahrheit an sich“ finden, sondern uns orientieren, uns vor Irrtümern bewahren und schließlich überleben.

Der Prozess soll überschaubar, berechenbar und schließlich kontrollierbar sein. Wir wollen Wirksamkeit oder unseren Nutzen zu Gunsten unserer Interessen erreichen. Das ist das Ziel der Strategie. Wie schon gesagt, da wir keine 100%-Abbildung erreichen können, müssen wir uns auf (vermeintlich) wesentliche Merkmale beschränken, um die Eigenschaften des Objektes zu rekonstruieren. Von uns aus bauen wir unser Verständnis, Bezugspunkte und Verlässlichkeit als geistigen Halt auf. Andernfalls schweben wir orientierungslos im Chaos. Mit diesem Halt wollen wir uns in unserer Welt zurechtfinden. Nichts wäre wichtiger im Leben, als dass sich jeder auf jeden in allen Dingen verlassen kann, überall und unter allen Umständen [Change (2003)]. Bei Menschen ist die Situationsanalyse die erste Stufe, um eine geeignete Strategie gegenüber der Umwelt zu entwickeln. Dieses Konzept ist ein Lösungsmodell, das die logische Struktur unseres Denkens widerspiegelt. Die idealisierten Lösungsansätze

können Probleme schnell lösen, aber sie können auch schnell in einen Widerspruch führen oder das Gegenmodell treffen. Das intelligente System benötigt eine Geschwindigkeit, um seine neue Strategie zu erproben. Das bedeutet, dass die Zeit für die Abarbeitung des Strategiemodells schneller ablaufen muss, als die Prozess-Zykluszeit. Die intelligente Strategie soll die veränderliche Umgebung identifizieren und passende<sup>63</sup> Steuer- oder Regel-Muster wählen. Um diese autonome Entscheidung zu ermöglichen, brauchen wir logische Identifikation und dessen Entscheidungskriterium als FL.

Auf der Mensch-Mensch-Ebene sieht dieses Interventionswissen etwas anders aus: Nehmen wir an, zwei Menschen wollen sich gegenseitig ausnutzen. Sie versuchen, sich gegenseitig einzuschätzen. Die Einschätzung (Identifikation) durch den jeweils anderen versucht man durch eine Vernebelungs-Strategie zu verhindern (Menschen belügen einander). Je mehr und je genauere Informationen einer von seinem Gegenüber hat, desto besser kann er diesen kontrollieren. Information über den Anderen ist eine Voraussetzung, um eine notwendige Beziehung zu nutzen. Je weniger und je ungenauer die Informationen sind, die andere über einen haben, desto besser kann man sich verteidigen. Man versucht, jemanden in der Absicht zu täuschen, indem man den anderen gewisse Aussagen für wahr halten lässt (Strategie der Lüge oder Übertreibung, gegenseitige Spiele, Intrige). Dies ist ein typisches strategisches Verhaltens-Muster, das der Mensch aus seinen Irrtümern gelernt hat. Um jemanden zu täuschen, muss man erreichen, dass der Andere berechenbar bzw. naiv bleibt. Man benutzt seine Erfahrung bzw. Erinnerung an frühere Vorkommnisse (Irrtumssammeldatenbank), um diese Situation zu identifizieren und zu analysieren. Ein Mensch muss die Stückinformationen schrittweise sammeln und analysieren, assoziieren und daraus logische Urteile gegenüber der Umwelt bzw. dem Gegner bilden. Wie kann man mit dieser Erkenntnis (Urteil) die Lösung finden? Man versucht alle möglichen Lösungsmengen im Kopf mit einem kurzen Modelltest durchlaufen zu lassen. Wenn man gute Lösungen aus allen möglichen Lösungsmengen findet, dann kommt die Entscheidungsphase, die sich nicht immer in einer Aktion verwirklicht. Dieses Suchverfahren und die Simulation spielen in der künstlichen Intelligenz eine sehr wichtige Rolle [Lunze (1994a)]. Aber in der Technik soll alles logisch, klar und genau sein. Die Situation soll eindeutig identifizierbar für den Kontrollzweck sein, weil es nicht mehr nur um Wahrheit, sondern um Wirksamkeit geht. Wenn sich die Situation schneller ändert, als wir in der Lage sind, die Strategie, die wir erproben, anzupassen, dann wird die Strategie versagen. Bei fehlenden Informationen ergeht es uns ähnlich. Ein System muss in der Lage sein, mit fehlender Information assoziieren zu können. D.h. selbst dann soll unsere Strategie noch

---

<sup>63</sup> In der Regelungstechnik werden auf ähnliche Weise so genannte adaptive Regelungsalgorithmen (aktuelle Anpassung von Parametern) realisiert.

ein schlüssiges oder verlässliches Resultat liefern (intelligente Diagnostik). Unsere Strategie dient zum Nutzen und Orientieren aber selten zum Finden der Wahrheit. In der Messtechnik kann man auch folgende Beispiele wie Abbildung 22 finden:

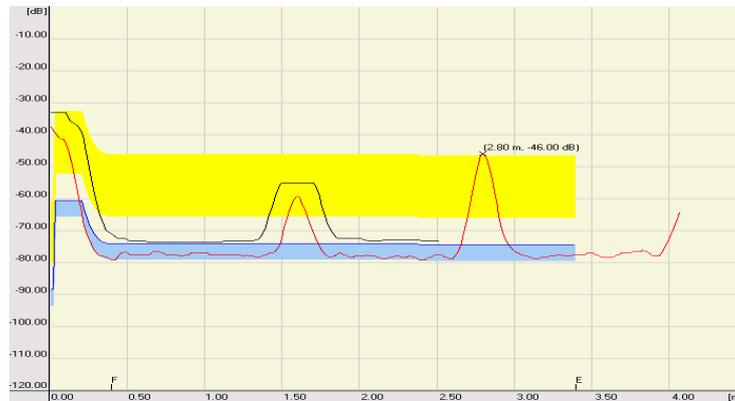


Abbildung 22: Bewusste Filterung der Information

Eine Radar-Messung liefert z.B. als Messergebnis sehr viele Kurven, die von überlagerten Echos (Reflektionen) stammen. Mit diesen Ergebnissen (rote Kurve) könnte man sich überhaupt nicht orientieren. Die Messsonde registriert alle reflektierten Wellenintensitäten, aber was ist die nützliche Information für uns? Wir verhüllen alle störenden Signale mit einer Hüllkurve (schwarze Kurve) aus Erfahrung und ignorieren die Kurve, die verhüllt ist (Ausblendung<sup>64</sup> oder *Mapping*). Das Resultat ist, dass wir haben, was wir wollen (eine Höhenmessung in Abhängigkeit der Radarlaufzeit). Die Strategie ist, hier gewisse Fakten zu ignorieren und sich nur auf nützliche Fakten zu fokussieren.

$$S = \frac{1}{2} \cdot c \cdot t$$

Mit:  $c$ : Lichtgeschwindigkeit,  
 $t$ : Laufzeit,  
 $S$ : Strecke, bzw. Entfernung

Bei Durchflussmessungen: Eine induktive magnetische Messung für leitfähige Flüssigkeiten zeigt eine falsche Relation. Dieses falsche, aber proportionale Verhalten manipulieren wir mit einer Kalibration<sup>65</sup>. Das Resultat ist, dass wir ein Ergebnis erreichen, das als Messung immer gewünschte Werte zeigt. Aber die tatsächliche Messung zeigt etwas ganz anderes an. Die Strategie ist es, mit gewissen Faktoren das Messsignal zu vergrößern oder zu verkleinern. Bei der Rauschfrequenz wenden wir künstliche Filter an und erhalten eine glatte Kurve.

Wir wissen, dass durch die von der Erddrehung herrührende Coriolis-Kraft, Eisenbahnschienen auf der westlichen Seite stärker abgenutzt werden als auf der Ostseite. Wir sind in diesem Fall in der Lage, die Annahme über gleiche parallele Schienen zu einem gewissen Grad für

<sup>64</sup> Dafür gibt es dynamische und statische Ausblendung.

unsere Zwecke zu korrigieren. Das ist die menschliche Strategie, mit ungenauen Wahrheiten umzugehen. Wo gibt es denn Verbindlichkeit oder Verlässlichkeit, um Berechenbarkeit und schließlich Steuerbarkeit zu erreichen. In der Wissenschaft sagt man „Alles ist berechenbar“. Diese Behauptung ist eine pragmatische und methodische Annahme. Man kann nicht beweisen, dass etwas berechenbar ist. Es gibt keinen formalen, präzisierten Begriff der Berechenbarkeit, sondern einen intuitiven Berechenbarkeitsbegriff. Das sind methodische Annahmen. Man geht davon aus, dass etwas bis jetzt nicht berechenbar war, weil wir die Methode der Berechenbarkeit noch nicht kennen, also sucht man weiter. Jeder braucht etwas Festes. Man begnügt sich mit Zuverlässigkeit, die sich erwiesen hat. Das ist ein Kochrezept für den Umgang mit *vermuteter* Wahrheit. Wenn man warten muss, bis man absolute Gewissheit hat, kann man sehr lange warten. Mit einer traditionellen Phrase kann man dies ein Argument der „faulen Vernunft“ (*ignava ratio*; vgl. Kant, Kritik der reinen Vernunft [1787], S. 717 u. 801). Im Wort ‘Wahrheit’ steckt ein *Anspruch*: nämlich darauf, dass es so *ist*, wie ein als ‘wahr’ deklarerter Satz sagt, dass es *sei*. Ob das Ziel erreicht ist, darüber gibt es keine absolute Gewissheit. Die Wahrheit ist stets vermittelt mit ihrer Darstellung. Der Gedanke der Korrigierbarkeit ist in der Wissenschaft viel wichtiger als der der Wahrheit. Um die Umgebung, in der wir uns befinden, steuerbar zu machen (wenigstens in der Technik), muss die Informationsflusskette eindeutig sein. Durch eine korrekte Kodierung der Information können wir im Rahmen einer vorgegebenen Semantik in der Lage sein, die richtige Strategie anzuwenden, so dass eine optimale und verlässliche Prozess-Steuerung möglich wird. Wenn wir in der Lage sind, solche Maschinen zu bauen, die selbst die Umgebung abtasten, analysieren und eine dazu passende Strategie (große Auswahlmöglichkeit) auswählen können, dann sind wir auf dem besten Wege, um künstliche intelligente Wesen nach Vorbild des Menschen zu schaffen. Aber wir wissen nicht, wohin solche Entwicklungen uns in der Zukunft führen können. Das Ziel meiner Arbeit ist es, durch Beispiele allgemeine, abstrakte Theorien zu ergänzen und daraus eine neue Randbedingung zu erforschen. Dies soll nicht nur in der Philosophie, sondern auch in der Technik ihren Geltungsbereich haben. Die Logik, die unser Leben bestimmt oder stark beeinflusst, soll man sichtbar und nutzbar machen.

### 5.12.1 Beispiel für Strategieschalter

Wenn wir Interpretations- oder Urteilsvermögen, die ursprünglich dem Menschen zugehören, an technische Prozesse oder Maschinen weitergeben, schaffen wir eine primitive künstliche

---

<sup>65</sup> Das bedeutet Vergleichen. Wir vergleichen einen Bezugspunkt mit gewünschter Eigenschaft. Die Kennlinie wird solange verschoben, bis man der Relation zum gewünschten Fixpunkt nahe kommt.

Intelligenz, die selbst intervenieren kann. Hier ein Beispiel: Wie in Abbildung 23 im Vergleich mit dem bisherigen Regler, der nicht in der Lage war, strategische Entscheidungen zu treffen, ist dieser Regler je nach Situation und Zuständen in der Lage, Informationen im Logikblock zu verknüpfen und ein entsprechendes Resultat an verschiedene Schalter (Entscheidungswerkzeuge) weiterzugeben. Bei mehreren Eingängen (Messungen) kann ein Regler mit festen Regelvorschriften ab und zu die nicht passende Stellgröße abgeben. Dadurch kann die Strecke instabiles Verhalten zeigen. Der logische Block ist als Überwachungskasten parallel zur Führungsgröße installiert, und hieraus resultierende Ergebnisse sollen verschiedene Strategieschalter betätigen wie in Abbildung 23. Der Regler kann zwar primitiv, aber flexibel seine Strategie nach der logischen Folgerung auswählen. Wenn das Prozesskontrollsystem oder die Maschine unseren Entscheidungsprozeß teilweise übernehmen kann, haben wir es mit einem intelligenten System zu tun. Wenn ein System viele Signale verwalten muss, dann kann dies mit folgendem Schema dargestellt werden: Ein System verwaltet die Abhängigkeit zwischen den Wahrheitswerten von Aussagenverknüpfungen. Die gegebenen Aussagen werden in Fakten und Annahmen unterschieden, wobei Fakten Aussagen mit bekannten 'wahr' und Annahmen Aussagen mit einem zunächst unbekanntem Wahrheitswert darstellen. Welche Schlussfolgerung aus den Fakten und Annahmen gezogen werden können, hängt davon ab, welche Annahmen der Wahrheitswert 'wahr' und welchen der Wahrheitswert 'falsch' letztendlich zugeordnet wird. Diese Zuordnung ist auch Teilstruktur der Interpretation.

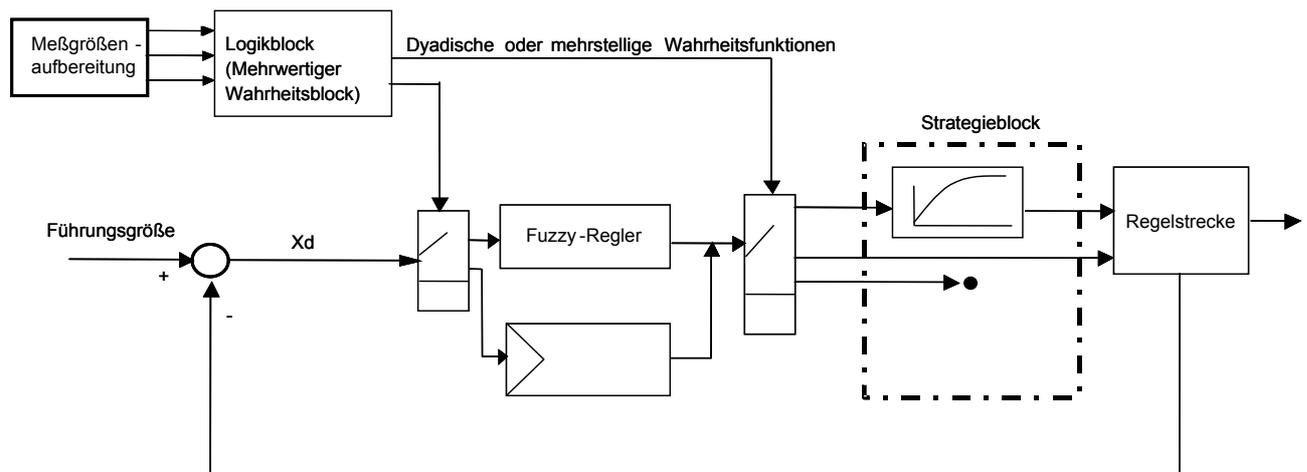


Abbildung 23: Strategiewahl durch Entscheidung

## 6 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Die vorliegende Arbeit untergliedert sich in vier Teile: Aufgabenstellung zwischen Logik und Technik, Grundlage der philosophischen Logik, technische Anwendungen der FL, verschiedene Randbedingungen mit neuen Ansätzen für Semantik. Das Interesse an formaler Logik wird immer größer, weil die formale Logik auch in syntaktischer Ebene wie bei Computer- und Informationstechnik arbeitet. AL und PL bieten die Möglichkeit an, um Wissen zu verarbeiten. Die logischen Ansätze tragen zur Beschaffung des Interventionswissens bei. Dieses Wissen muss zutreffend sein. Systeme, die wir mit unserem Wissen bauen, sollen zuverlässig und stabil sein, damit wir uns erfolgreich orientieren können. Erfolgreiches Orientieren bedeutet Überleben – und zwar intelligentes Überleben. Wahrheit ist nicht selbst der Zweck, sondern ein Hilfsbegriff, um uns erfolgreich zu orientieren. Wahrheit steht für einen Anspruch, der davon abhängt, was wir glauben. Sie ist vermittelt durch eine Darstellung, die selbst unsicher ist. In der Wissenschaft ist der Gedanke der Korrektur viel wichtiger als die Wahrheit. Alles was unser Leben unsicher oder orientierungslos macht, sind Widersprüche, Nicht-Eindeutigkeit, Unwissen über unbekannte Kausalität, Unaufmerksamkeit usw. Deshalb wurden hier Widersprüche und verschiedene Faktoren untersucht, die unser System und die Technik instabiler machen. Die Widersprüche und Instabilität sind auch einige von unseren Denkprodukten. Wir haben keinen Nutzen von widersprüchlichen Aussagen, Sätzen, Signalen oder Informationen oder nicht eindeutigen Ausdrücken. Bei Nutzung der Sprache selbst gibt es Unsicherheiten (wie verschiedene Interpretationsmöglichkeiten mit einem Symbol), *Oxymora* oder gemischte Anwendungen zwischen Objekt- und Metasprache. Bei der Anwendung der *Wenn-dann*-Logik soll man die Sprachstufendifferenzen (Objekt-, Meta-, logische oder reale Sprache) und Kausalbeziehungen beachten. Bei der Technik ist die *Wenn-dann*-Logik mehr als Ausführungsvorschriften oder Schrittfolge zu verstehen.

Wenn wir solche Beziehungen in eine syntaktische Beziehung umwandeln, haben wir einen Schritt der Formalisierung geschafft. Für die umfangreiche Bearbeitung der Informationen, die in syntaktische Beziehungen umgewandelt sind, versucht man die inhaltlich motivierte Erweiterung der logischen Konstanten und Satzoperatoren über FL-Grenzen hinaus zu machen. Dabei können Probleme vorausprogrammiert sein. Wenn wir über Interventionswissen reden, kommt es darauf an, wie man unser Wissen aus Informationen beschaffen kann. Information ist die Voraussetzung für Interpretation eines bestimmten Sachverhalts. Logik wandelt Informationen durch Reduktion in syntaktische Beziehungen um. Die Übertragung der syntaktischen Ebene auf die semantische Ebene setzt hierbei eine richtige Kodierung voraus. Diese Kodierung ist manchmal willkürlich und motiviert nach eigenen Intentionen.

Was wir verstehen hat mit Interpretation zu tun. Wie schon erwähnt, haben wir keinen Zugang zur absoluten Wahrheit. Deshalb legen wir von unserem Standpunkt aus unsere Bezugssysteme fest. Festlegung eines Universums und des Bezuges der Symbole im Hinblick auf dieses Universum ist die Basis jeder Interpretation. Im Hinblick auf technische Systeme geht es aber nicht um *formale* Interpretationen wie in der Logik, sondern um *konkrete* Interpretationen. Bei dieser konkreten Interpretation wird die Normalitätsbedingung mit ergänzender Interpretation, nämlich die Non-Trivialitätsbedingung (*NT*) ergänzt, weil die Unterstellung der allgemeinen Geltung von *N* fast immer falsch ist. Wenn der Standard der allgemeinen Geltung verfehlt wird und, logisch gesehen, aus falschen Prämissen gefolgert wird, ist es aber in der Technik mehr als bloß ein logischer Fehler, sondern ein Unfall oder gar eine Katastrophe. Sobald unsere Modellvorstellung mit dem Gegenmodell zusammenstößt, Wechselwirkung der unbekannt Unbekannten auftaucht oder unsichere menschliche Reaktion an eine Maschine weitergegeben wird, kann Technik versagen und Unfälle passieren. Das Ziel der zur Vermeidung von Unfällen in der Luftfahrt durchgeführten so genannten „*Failure Hazard Analysis*“ ist es, das Auftreten von „*unknown Unknowns*“ (den unbekannt Unbekannt) zu vermeiden. Um bekannte Unbekannte (*known Unknnows*) zu minimieren, wird das ALARP-Prinzip „*As Low As Reasonably Possible*“ angewandt. Es hat sich nämlich gezeigt, dass viele Unfälle dadurch verursacht werden, dass entscheidende Parameter nicht nur falsch bestimmt, sondern bei der Entwicklung eines Systems erst gar nicht berücksichtigt wurden. Es hatte nämlich niemand „daran gedacht“, dass ein bestimmter Parameter überhaupt eine Rolle spielt. Durch das Hinzuziehen von Experten aus ganz unterschiedlichen Arbeitsgebieten kann jedoch versucht werden, alle Parameter, die zu einem Unfall beitragen könnten, zu erfassen. Kernaussage dieser Arbeit ist die *Korrigierbarkeit*, mit der sowohl die Wissenschaft als auch Systeme stabiler werden können.

Die Philosophie kann auf diese grenzübergreifenden Relationen hinweisen und wesentliche Beziehungen aufzeigen. Wie können wir uns in der modernen Welt orientieren? Die heutige Philosophie kann die ganzheitliche Überlegung erweitern, sogar die neue Aufgabe haben, anderen Naturwissenschaften die Richtung der Korrigierbarkeit zu zeigen. Vorrangiges Ziel dieser Arbeit ist es, einen Beitrag zur Verbesserung der Kommunikation zwischen Philosophie und Technik zu leisten. Die Philosophie soll neue Ansätze an die Welt liefern können, damit Andere sich orientieren können, ohne an irgendeinem Glaubensdogma festzuhalten. Diese Wechselwirkung mit unserer Umwelt kann in der Philosophie neu stattfinden. Während Sokrates sagte „Ich weiß dass ich *nicht* weiß“, geht es hier eher darum, auf den Sachverhalt hinzuweisen, der mit dem Satz „Ich weiß, dass ich *nicht alles* weiß“ zusammengefasst werden kann.

## 7 Ausblick

Diese Arbeit möge bei den Informatikern und Ingenieuren Gehör finden. Es wäre auch nicht schlecht, wenn Philosophen Interesse an diesen Themen finden könnten. In der Logik und Technik gibt es grundsätzlich Unterschiede. Aber Logik kann sehr hilfreich sein, um Wissen darzustellen und intelligente Entscheidungen zu automatisieren. Die in dieser Arbeit angesprochenen Themen können weiter erforscht werden.

Informatiker und Ingenieure brauchen formale Ausdrücke, um syntaktische Strukturen in der Automatisierung anzuwenden. Die weiteren formalen Ausdrücke sollen durch Fixierung der logischen Konstanten definiert werden. Wenn jeder neue Symbole definiert, dann wird diese Entwicklung unübersichtlich sein. Deshalb sollen verschiedene Fachdisziplinen gemeinsam arbeiten, um sich auf themenneutrale Ausdrücke und semantische Symbole zu einigen. Diese Ergebnisse sollen z.B. in DIN festgehalten werden. Die Erweiterung der logischen Konstanten, Kodierung zwischen Syntax und Semantik werden nicht nur die Aufgabe der Logik sondern auch der Informatik oder Ingenieurwissenschaften sein. Integration der Mathematik in der Logik kann nur bedingt geschehen. In der Technik sollen die Anwendungen der *Wenn-Dann-Logik* oder *Fuzzy-Logik* in Hinblick auf Sprache und Kausalität neu betrachtet werden. Logische Formalisierung kann man in der Prozessleittechnik anwenden, wenn konkrete Interpretation und Kausalbeziehung berücksichtigt werden können. Die Kodierungsprobleme bei Informationsgewinn und sprachliche Darstellungen wie beispielsweise bei nichtmetrischen Größen sollen richtig definiert werden. In der Technik im Gegensatz zu Logik sind die Wahrheitswertzuweisungsmöglichkeiten wichtiger. Deshalb ist es nicht vermeidlich, die binären, mehrwertigen, mengentheoretischen logischen Entscheidungen und deren Realisierung weiter zu erforschen.

Die Interpretationsmethode wie in Kap.5 kann als Diagnostiksystem oder für autonome Entscheidungen angewandt werden. Ein wichtiger Beitrag dieser Arbeit zeigt die Korrigierbarkeit der Wissenschaften und das Bewusstsein, dass etwas immer schief gehen kann. Diese Arbeit zeigt, wie wichtig es ist, dass die Schnittstellen von Mensch-Maschine und Mensch-Mensch Ebene richtig codiert sein müssen. Der Mensch soll nicht wie eine Maschine arbeiten, sondern sein möglicher Fehler soll minimiert werden. Die Gedanken der Semantik über Universum, Bezug, Interpretation, Abbildung, Information, Modell, Gegenmodell sind nicht nur in der Technik interessant, sondern auch in der Philosophie. In diesem Fall kann die Philosophie eine wissenschaftsübergreifende Rolle übernehmen. Die Ansätze, die in dieser Arbeit behandelt sind, können unter philosophischem Aspekt neu diskutiert werden.

## 8 Literaturverzeichnis

- [Ahren et al. (1996)] W. Ahren: Scheurlen: Spohr:  
Informations-orientierte Leittechnik  
Oldenbourg Verlag Jahr 1996
- [Alznauer (1995)] Richard Alznauer: Semantisches Informationsmodell  
Dissertation, 1995, Lehrstuhl für Prozessleittechnik der  
RWTH-Aachen.
- [Butsch, F., (2003)] Privatgespräch mit F. Butsch, DFS Deutsche  
Flugsicherung, Langen, 15.11.2003
- [Birgen Air (1996)] Bericht über Absturz einer BOEING 757 in der türkischen  
Airline Birgen Air in der Dominikanischen Republik am  
6.2.1996, <http://www.linsenmaier.com/birgenair.htm>
- [Bläsius et al. (1987)] K.H. Bläsius: H.J. Bürckert:  
Deduktions-Systeme, Automatisierung des logischen  
Denkens.  
Oldenbourg Verlag, München Wien (1987)
- [Buchner (1998)] Holger Buchner: Grundlagen der nichtmetrischen Prozess-  
beschreibung als Basis der informationsorientierten leit-  
technischen Modellbildung.  
Dissertation, 1998, Lehrstuhl für Prozessleittechnik der  
RWTH-Aachen.
- [Carnap (1973)] Carnap: Grundlage der Logik und Mathematik,  
Nymphenburger Verlagshandlung (1973)
- [Change (2003)] Das Endress+Hauser Magazin : Change 2003  
Seite 8
- [Charwart (1992)] Hans Jürgen Charwat: Lexikon der Mensch-Maschine-  
Kommunikation.  
Oldenbourg Verlag, München Wien (1992)

- [Dürr (2001)] Wolfgang Breidert: Dürr, R.: Einführung in die formale Logik  
Vorlesungsskript 2001/02, Universität Karlsruhe
- [Ehrig et al. (2001)] Ehrig: Mahr: Cornelius: Große-Rhode: Zeitz:  
Mathematische-strukturelle Grundlagen der Informatik  
Springer Verlag (2001)
- [Felleisen et al. (2001)] Felleisen M.: Formale Prozessbeschreibungen gestern,  
heute und morgen 2000 atp- Automatisierungstechnische  
Praxis 9(2002) Heft 9, S. 24-33
- [Ferber (2003)] Ferber Rafael : Philosophische Grundbegriffe  
C.H.Beck Verlag, München (2003)
- [Große-Rhode (2001)] Große-Rhode, M: Grundlage der Informatik  
Springer Verlag (2001)
- [Knaack (2000)] Wolfgang Knaack: Ich kann Grammatik  
Merit Verlag Hamburg (2000)
- [Kohler et al. (1999)] Heinz Kohler, Jörg Röber, Norbert Link; Iwan Bouzid :  
New application of tin oxide gas sensor.  
Zeitschrift Sensors and Actuators B61 (1999) 163-169
- [KTA 3501 (1985)] Kerntechnischen Ausschusses: Sicherheitstechnische Regel,  
Fassung Juni 1985
- [Lämmel et al. (2001)] Uwe Lämmel: Jürgen Cleve: Künstliche Intelligenz .  
Fachbuchverlag Leipzig, München Wien (2001)
- [Lavrac et al. (1996)] Nada Lavrac, Stefan Wrobel : Induktive  
Logikprogrammierung- Grundlagen und Technik.  
KI-Künstliche Intelligenz Heft 3/1996 Seite 46-54  
Gesellschaft für Informatik

- [Lunze (1994a) ] Lunze, J.: Künstliche Intelligenz für Ingenieure  
Band 1, Oldenbourg Verlag, München Wien (1994)
- [Lunze (1994b)] Lunze, J.: Künstliche Intelligenz für Ingenieure  
Band 2, Oldenbourg Verlag, München Wien (1994)
- [Menzel et al. (1997)] Menzel: Schmitt, P.: Formale Systeme.  
Vorlesungsskriptum im Wintersemester 96/97, Informatik  
Universität Karlsruhe
- [NASA(2003)] NASA, NASA Safety Officer: Shuttle Service Life  
Extension. Teil von Vortrag , 20 März 2003 U.S.A.
- [Neupert (1996)] Dirk Neupert: Mensch-Prozess-Kommunikation und der  
Beitrag der Datenreduktion. Dissertation, 1996, Lehrstuhl  
für Prozessleittechnik der RWTH-Aachen.
- [Nickel (1995)] Ulrich Nickel: Thermodynamik.  
Carl Hanser Verlag, München Wien 1995
- [Penrose (1989)] Roger Penrose: The emperor's new mind, concerning  
computers, minds, and the laws of physics. Oxford  
University Press, New York Seite 129-192
- [Peters (1996)] R.-W. Peters :Informationsstrukturen für das Gebiet der  
Prozessleittechnik und ihre Präsentation in einem  
Hypermediasystem.  
Dissertation, 1996, Lehrstuhl für Prozessleittechnik der  
RWTH-Aachen.
- [Polke, M. (1992)] Polke, M.: CAE zwischen Anlagenbetreibern und Planung.  
Vortrag, Haus der Technik, Essen 1992.
- [Polke et al. (2003)] Burkard Polke, Eckehard Schieder : Formalisierte  
Prozessbeschreibungen Entwurf der Richtlinie VDI/VDE  
3682 und deren Anwendung. atp- Automatisierungs-  
technische Praxis 43(2003) Heft 8, S. 26-33

- [Schnieder (1992)] Schnieder, E.: Petrinetze in der Automatisierungstechnik.  
Oldenbourg Verlag, München Wien 1992
- [Schöning (1991)] Schöning: Logik für Informatiker  
Wissenschaftsverlag (1991)
- [Schopenhauer, A., (1988)] Schopenhauer, A.: Die Welt als Wille und Vorstellung,  
herausgegeben von L. Lütkehaus, Zürich, 1988
- [Schütt, H.P. (1989)] Schütt, H.P.: Substanzen, Subjekte und Personen  
Eine Studie zum Cartesischen Dualismus  
Manutius Verlag, Heidelberg 1989
- [Schütt, H.P. (04.06.03)] Privatgespräch, mit Prof. H. P. Schütt am 04.06.03
- [Schütt, H.P. (2001)] Schütt, H.P.: Propaedeuticum logico-philosophicum,  
Vorlesungsskriptum Logik I, im Wintersemester 2000/01,  
Universität Karlsruhe
- [Schütt, H.P. (2002)] Schütt, H.P.: Logik II  
Vorlesungsskriptum 2001/02, Universität Karlsruhe
- [Schütt, H.P. (29.11.03)] Privatgespräch, mit Prof. H. P. Schütt am 29.11.03
- [Siemens AG (1997)] Fuzzy - Systeme in Theorie und Anwendungen  
Siemens AG 1997
- [Stachowiak (1973)] Stachowiak, Herbert: Allgemeine Modelltheorie  
Springer Verlag, Wien New York 1973
- [Stingl (1996)] Stingl: Mathematik für Fachhochschule.  
Carl Hanser Verlag, München 1996

- [Störing (1961)] H.J. Störing: Kleine Weltgeschichte der Philosophie 1.  
Fischer Verlag, Frankfurt am Main 1961
- [Suckut, T. (1995)] T. Suckut:  
Informationsmodell für das Mehrprojektmanagement  
Dissertation, 1995, Lehrstuhl für Prozessleittechnik der  
RWTH-Aachen.
- [www.bfu-web.de] Web-Seite von Bundesanstalt für Flugunfalluntersuchung  
BFU
- [www.netway-solutions.ch] Web-Seite von Netway-Solution AG , Schweiz
- [www.philex.de] Web-Seite von Lexikon der Philosophie
- [www.wias-berlin.de] Das Weierstraß-Institut für Angewandte Analysis und  
Stochastik (WIAS), Berlin.
- [www.murphys-law.com] Web-Seite von Murphys-law
- [DIN 5473] Deutsches Institut für Normierung e.V. :  
Deutsche Industrie Normen , Logik und Mengenlehre  
DIN 5473 wurde mit DIN 5474 zusammengefasst.

## A Anhang

### A.1 Index der Definitionen

<i>Definition 3-1: Argumente</i> .....	19
<i>Definition 3-2: Argumentschemata</i> .....	19
<i>Definition 3-3: Deskriptive Zeichen</i> .....	19
<i>Definition 3-4: Logische Zeichen</i> .....	20
<i>Definition 3-5: Kalkül</i> .....	20
<i>Definition 3-6: Logische Interpretation (Regeln)</i> .....	20
<i>Definition 3-7: Interpretation der Axiomensysteme</i> .....	20
<i>Definition 3-8: Symbole der AL; elementarste Zeichen</i> .....	21
<i>Definition 3-9: Aussagevariablen</i> .....	21
<i>Definition 3-10: Aussageform</i> .....	21
<i>Definition 3-11: Wahrheitsfunktionen (wahrheitsfunktionale Semantik)</i> .....	21
<i>Definition 3-12: Logische Folgerung</i> .....	22
<i>Definition 3-13: Hypothetische Urteile:</i> .....	22
<i>Definition 3-14: Tautologie</i> .....	22
<i>Definition 3-15: Kontradiktion (Widersprüche)</i> .....	23
<i>Definition 3-16: Logische Äquivalenz</i> .....	23
<i>Definition 3-17: Allgemeingültigkeit</i> .....	23
<i>Definition 3-18: Symbole der PL</i> .....	24
<i>Definition 3-19 : offene und abgeschlossene Sätze</i> .....	24
<i>Definition 3-20: Identitätszeichen</i> .....	24
<i>Definition 3-21: singuläre und generelle Terme</i> .....	25
<i>Definition 3-22: Formelsprache L</i> .....	25
<i>Definition 3-23: Atomare prädikatenlogische Formeln</i> .....	25
<i>Definition 3-24: Universum U</i> .....	25
<i>Definition 3-25: Interpretation und Bezug (engl. reference) prädikatenlogischer Formeln</i> ....	26
<i>Definition 3-26: L-Model</i> .....	26
<i>Definition 3-27: „Baumaterial“ für die technische Terminologie</i> .....	27
<i>Definition 3-28: <math>\alpha</math> – Alternative</i> .....	27
<i>Definition 3-29: Schlüssige Argumentform</i> .....	27
<i>Definition 3-30: Das Prüfen einer Folgerungsbehauptung</i> .....	27
<i>Definition 3-31: Identität</i> .....	27

<i>Definition 3-32: Unterschied zwischen Element und Menge</i> .....	28
<i>Definition 3-33: Mengenklammern</i> .....	28
<i>Definition 3-34: Teilmenge (Untermenge)</i> .....	28
<i>Definition 3-35: Extensionalitätsprinzip</i> .....	28
<i>Definition 3-36: Die leere Menge</i> .....	29
<i>Definition 3-37: Potenzmenge</i> .....	29
<i>Definition 3-38: Mengenoperation</i> .....	29
<i>Definition 3-39: Fuzzy Mengen</i> .....	29
<i>Definition 3-40: Komplement</i> .....	29
<i>Definition 3-41: Symbole der Wahrscheinlichkeit</i> .....	29
<i>Definition 3-42: Inverse Relation</i> .....	30
<i>Definition 3-43: Ordnungsrelation</i> .....	30
<i>Definition 3-44: Abbildung</i> .....	31
<i>Definition 4-1: indirekter Beweis (Widerspruchsbeweis)</i> .....	43
<i>Definition 4-2: widersprüchliche Menge von Literale</i> .....	45
<i>Definition 4-3: Mittelwertwahrheit</i> .....	73

## **A.2 Verzeichnis der Abbildungen**

### **Abbildungen**

<i>Abbildung 1: Gleichzeitigkeit</i> .....	37
<i>Abbildung 2: Brennkammer</i> .....	38
<i>Abbildung 3: Messkurve m</i> .....	39
<i>Abbildung 4: Kategorisierung der Messkurve m</i> .....	40
<i>Abbildung 5: pH -Regelung für Kraftwerk Rauchgasentschwefelung</i> .....	50
<i>Abbildung 6: Anfahr- und Schwachlastsystem eines Zwangdurchlaufdampferzeugers</i> .....	52
<i>Abbildung 7: Leittechnikstruktur mit Software SPS</i> .....	63
<i>Abbildung 8: Freigabe Befehl EIN / Release Kommando ON in Steuerbaustein für einen Speisepumpenmotor</i> .....	65
<i>Abbildung 9: Zuordnung zwischen linguistischer und metrischer Variablen [Neupert (1996)]</i> .....	70
<i>Abbildung 10: Darstellung eines unbekanntes Systems</i> .....	73
<i>Abbildung 11: Zusätzliche Druckverfälschung bei Diffusion</i> .....	90
<i>Abbildung 12: Fixpunkt bei der Volumenmessung</i> .....	91

<i>Abbildung 13 : unbekanntes Unbekanntes (unknown unknowns) [NASA(2003)]</i> .....	97
<i>Abbildung 14: Relation zwischen verschiedenen Bezugsebenen</i> .....	99
<i>Abbildung 15: Informationsvermittlung [Alznauer (1995)]</i> .....	102
<i>Abbildung 16: Informationsweg eines einzelnen Teilnehmers [www.netway-solutions.ch] ..</i>	106
<i>Abbildung 17: Ein System mit Kodierungsfunktion [www.netway-solution.ch]</i> .....	107
<i>Abbildung 18: Isomorphe Abbildung [Buchner (1998)]</i> .....	110
<i>Abbildung 19 : Diskrete Prozessmodelle [Buchner (1998)]</i> .....	111
<i>Abbildung 20: Zielorientierte Semantik</i> .....	115
<i>Abbildung 21: Informationsfluss bei MMI [Neupert (1996)]</i> .....	128
<i>Abbildung 22: Bewusste Filterung der Information</i> .....	134
<i>Abbildung 23: Strategieauswahl durch Entscheidung</i> .....	136

### **A.3 Abkürzungen und Glossar**

A/D: Analog/Digital

ALARP : As Low As Reasonably Possible

AKZ : Anlagen- und Apparate Kennzeichen

GMA :VDI-VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik

Html : *Hypertext Markup Language*

IK : Intelligent Konverter

ILP : Induktive Logikprogrammierung

KI: Künstliche Intelligenz

KKS : **K**raftwerk-**K**ennzeichnungssystem

Mapping : Ausblendung, Auswahl

MMI: Man-Machine Interface

NAMUR: Normenarbeitsgemeinschaft für Mess- und Regeltechnik in der chemischen  
Industrie

Prolog: Programming in Logic

SI: Système Internationale d' Unités (Einheiten im Messwesen ist in DIN1301 niedergelegt.)

SPS : Speicherprogrammierte Steuerung

Die NT-Bedingung von (5-3) in Kap. 5.1 kann man in anderer Weise darstellen:

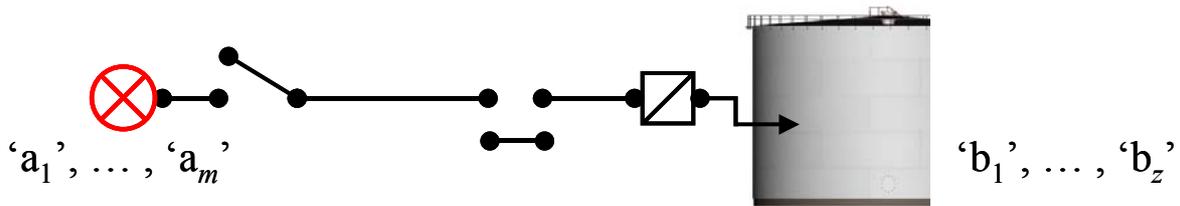


Bild (5-3) : Interpretation einer roten Lampe

Aussage :  $Pa_m t_g \rightarrow Qb_z t_h$

„Rote Lampen sollen brennen, wenn die Treibstofftanks fast leer sind“

$N \rightarrow Pa_m t_g \leftrightarrow Qb_z t_h$ , für alle  $h, g, m$  und alle  $z$

$a_m = b_z, t_g = t_h, Ref_I('P') = Ref_I('Q')$

NT: Die Darstellung von (5-3) als reale Interpretation:

Umgebung : (Breiten-, und Längengrad Koordinaten der Erde: Fläche) = z.B. ( 38, 128:  $f(x)$ )

Universum :  $U = U_I^2$

$n = 2$  Tupel, (Objekte, Zeitstelle  $t$ )

$Q =$  „Rote Lampe brennt“

$P =$  „ Treibstofftank ist fast leer“

$a_m =$  rote Lampen

$b_z = z$  Treibstofftank

dann gilt:

$Ref_J \langle a_m, t_g \rangle = \langle b_z, t_h \rangle$

$t_g = t_h, m = z$

*J(ergänzende Interpretation) :*

Aussage :  $Pa_m t_g \leftrightarrow Qb_z t_h$

$v_I('Pa_m t_g') \& v_I('Qb_z t_h') = \top$  für  $t_g = t_h, m = z$

$(Ref_I('P') \rightarrow Ref_I('Q')) \& (\neg Ref_I('P') \& Ref_I('Q')) \&$

$( Ref_I('P') \& \neg Ref_I('Q'))$

Kabelbruch :  $i(\text{Signal}) \& \neg i = 1$