

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich

Institut für Geodäsie  
und Photogrammetrie

Bericht

**161**

**Das semiotische Modellierungsschema  
und Entwurf eines  
Informatikprojekt-Entwicklungssystems**

A. P. Krasznai

Dezember 1989

**Anmerkung des Herausgebers**

Die Beiträge, die in der Schriftenreihe "Berichte des Instituts für Geodäsie und Photogrammetrie" erscheinen, dienen vor allem dem Unterricht und der Dokumentation. Sie sind deshalb in erster Linie für Mitarbeiter des Instituts und für Studenten bestimmt. Einzelne Hefte können auch einem weiteren Kreis von Interessenten zur Verfügung gestellt werden. Die Auflage ist auf den besonderen Zweck des Hefes abgestimmt.



## Vorwort

Der Übergang von der klassischen Vermessung zu den modernen geographischen Informationssystemen stellt die Fachleute vor eine Überzahl von Problemen.

Die Informationen, die auf Tausenden von Plänen gespeichert sind, müssen interpretiert und in die Datenmodelle einer raumbezogenen Datenbank umgewandelt werden. Informationen, die in einem Symbolsystem vorhanden sind, werden dabei in ein anderes Symbolsystem übergeführt.

Das Problem der Definition der Symbolsysteme, ihre Ausgangshypothesen und der Aufbau von Modellen können eine wesentliche Rolle auch bei der Lösung praktischer Probleme spielen.

Herr A.P. Krasznai, Dr. sc. techn., bietet dem Leser mit diesem Bericht die Gelegenheit, sich mit der Bedeutung der Semiotik für die Modellierungsarbeit zu befassen und gibt zahlreiche Anregungen für erfolgsversprechende Entwicklungen auch ausserhalb unseres Fachgebietes.

Als Herausgeber danke ich dem Verfasser für die wertvolle und interessante Arbeit.

Alessandro Carosio

IGP, 28. November 1989

## Zusammenfassung

Im Rahmen einer theoretischen Diskussion einer automatischen Interpretation von Grundbuchplänen wurden Mittel zu einer einheitlichen und verallgemeinerten Repräsentation von Daten und Wissen gesucht, welche gemäss vielen Disziplinen im Laufe der Herstellung und Interpretation eines Grundbuchplanes vorkommen. Ausgehend von den Hypothesen, erstens, dass die Daten und das Wissen Symbolsysteme sind, und zweitens, dass deren computergerechte Darstellung mit Hilfe von algebraischen Strukturen geschehen soll, wurden die infragekommenden Symbole semiotisch betrachtet und daraus wurde das semiotische Modellierungsschema abgeleitet. Das Schema ist allgemein und unabhängig von der Grundbuchplan-Interpretation. Diese Unabhängigkeit ist der Grund dafür, dass das Schema für sich behandelt werden kann und durch die Beispielen aus der Geometrie illustriert wird. Um diese geometrisch domonierende Illustration zu mildern, wurde ein Informatikprojekt-Entwicklungssystem entworfen, dessen Einsatz im Falle einer Realisation des automatischen Grundbuchplan-Interpreters als notwendig erscheint.

Einführend wird die Disziplin 'Künstliche Intelligenz' kurz beschrieben, um eine breitgefächerte Anwendung des semiotischen Modellierungsschemas auf die in dieser Disziplin vorkommenden Probleme anzudeuten. Nach kurzer Diskussion der Semiotik werden Hypothesen über Symbolsysteme in unserem mentalen Bereich aufgestellt. Darauf werden die Räume der Symbolsysteme auf der Basis der Semiotik definiert. Mit Hilfe dieser Räume wird ermöglicht, die Modellkomponenten zu beschreiben und das semiotische Mentalmodell aufzustellen. Das Modell wird bewertet und durch Beispiele aus der Geometrie illustriert. Vorausgesetzt, dass die Probleme in der Entwicklung von Informatikprojekten bekannt sind, wird explizit gezeigt, dass die Software-Entwicklung ein rekursiver Prozess ist. Die Prinzipien in diesem Entwicklungsprozess werden kurz kommentiert und das System selbst kurz bewertet.

Das semiotische Modellierungsschema (S.M.S.) ist noch nicht einwandfrei. Seine charakteristischen Merkmale und seine theoretischen Anwendungen sind im Falle der Grundbuchplan-Interpretation und im Falle des Entwurfs eines Entwicklungssystems positiv zu beurteilen. Der Verfasser ist für alle Kommentare zu S.M.S. interessiert, vorallem, weil das vorliegende Bericht der erste Entwurf des Modells ist und dabei auf die Vollständigkeit und auf eine lückenlose logische Ableitung verzichtet wurde.

## Inhalt

Einführung.....	
Allgemeines	4
Probleme	5
Lösungsvorschlag	6
Dank	7
Das semiotische Modellierungsschema.....	
Vorbereitung	8
Semiotik	9
Hypothesen	10
Bezeichnungen	12
Tabelle S	14
Die Modellkomponenten (Definitionen 1-10)	16
Das semiotische Mentalmodell	23
Bewertung	27
Aussagen	27
Beispiele	28
Projektentwicklungssystem.....	
Ausgangslage	32
Prinzipien	34
Bewertung	36
Literatur.....	38
Bilder.....	44

## Einführung

### Allgemeines

Die Wissenschaften haben unter anderem das Ziel, in allen Sparten unseres Tätigkeitsfeldes Maschinen mit menschenähnlicher Intelligenz auszustatten. Die Forschung und die Entwicklung sind in diesem Bereich recht vielschichtig und können viele theoretische und praktische Ergebnisse aufweisen. Sie sind dem starken Einfluss zu verdanken, welcher einerseits von Linguistik, Psychologie, Philosophie und andererseits vom jeweiligen Anwendungsgebiet auf die Informatik und auch umgekehrt ausgeübt wird. Die Interdisziplinarität dieser Wissenschaften wurde im Forschungsgebiet 'Künstliche Intelligenz'<sup>1</sup> zusammengefasst. Ausgehend von der Verarbeitung von Daten (==> Datenbanken, Informationssysteme)<sup>2</sup> als Trägern von Information interessiert man sich in diesem Forschungsgebiet für die Simulation von kognitiven Vorgängen wie Sehen, Hören, Lernen, Sprechen, Erkennen (==> Mustererkennung), Denken und Entscheiden (==> Expertensysteme, automatische Beweisführung). Damit können intelligente und autonome Robotersysteme entworfen werden (==> Robotik). Das Mass, mit welchem Intelligenz und Eigenständigkeit gemessen werden, beeinflusst die Forschungsrichtung. Einerseits wird nach Modellierungskonzepten

---

<sup>1</sup> Siehe Literature: Genesereth[1987], Grefenstette[1985], Haugeland[1987], Hoare[1972], Jelinek[1985], Kempen[1987], Kohonen[1988], Newell[1979], Nilsson[1982], Nivergelt[1972], Rumelhart[1986], Sloman[1978], Sowa[1984], Webber[1981], Winograd [1976], Winograd[1983]

<sup>2</sup> Die zu den oben in Klammern erwähnten Wörtern gehörenden Begriffe sind zwar gebräuchlich doch noch nicht genau definiert. In ihren Bedeutungen liegt viel Gemeinsames. Ihre Beschreibung würde den Rahmen dieses Berichtes sprengen. Anstelle einer Beschreibung wird auf einige ausgewählte Quellenangaben hingewiesen, welche erlauben sollten, ein Blick auf den aktuellen Stand der Entwicklung zu werfen.

**zu Datenstrukturen und Datenbanken, (Land-)Informationssystemen:** Appelrath[1985], Bédard [1986], Brassel[1987], Chevalier[1983], Corbett[1980], Dalen[1980], Frank[1983], Frank[1987], Gallaire[1984], Kuhn[1989], Kuhn[1989]/1, Nyerges[1980], Saalfeld[1985], Samet[1984], Samet[1988], Studemann[1988], White[1979], White[1980], White[1983], White[1984], Wirth[1983].

**zu Expertensysteme:** Appelrath[1985], Gallant[1988], Blackburn[1989]

**zur Mustererkennung:** Ade[1986], Bunke[1988], Chin[1986], Egeli[1986], Ilg[1986], Klein[1987], Kohonen [1988], Nevatia[1982], Roessel[1984], Rumelhart[1986], Sugihara[1986], Tucker[1988], Wechsler[1988].

(==>semantisch, konnektionistisch, semiotisch)<sup>3</sup> und andererseits nach deren Spezifikationstechniken (==> logik-, prozedur- und objektorientiert, algebraisch) gefragt. Sowohl die Modellierung wie auch die Spezifikation werden vom Computer unterstützt (==> Computer Aided Software Engineering), um anhand eines Prototyps das Modell überprüfen und hierauf realisieren zu können. Diese Konzepte und Techniken führen durch die graphische Darstellung von unseren Abstraktionen (==> Computer Graphik) zur maschinellen Interpretation und Transformation von Bildern (==> Bildanalyse und Bildverarbeitung). Dazu kommt die Entwicklung von effizienten numerischen Algorithmen und die optimale Kombination von paralleler und sequentieller Durchführung. Die Entwicklung der Theorie von Flussgraphen hat es ermöglicht, eine Algebra über diesen Prozessen aufzustellen (==> Prozessalgebra) und mit deren Hilfe Kommunikationsprozesse algebraisch zu beschreiben.

## Probleme

Betrachtet man in der Software-Entwicklung<sup>4</sup>

- die früheren Prinzipien wie klassische, strukturierte und modulare Programmierung,
- die Phasen der Entwicklung wie Vorstudien, Entwurf eines Pflichtenheftes, Realisierung (als Spezifikation, Implementation und Test) und Unterhalt und
- die Qualitätsmerkmale,

dann stellt man häufig fest, dass das Produkt den im Pflichtenheft beschriebenen Anforderungen nur zum Teil genügt. Dafür liegen zwei nennenswerte Gründe vor. Der eine ist die Zeit: Im Zeitpunkt, in welchem das Produkt fertiggestellt worden ist,

---

<sup>3</sup> zu Modellierungskonzepten (A) Semantik, Logik-, Prozedur- und Objektorientiertheit, Algebra: Beech[1987], Blaha[1988], Brägger[1987], Brauer[1980], Brodie[1984], Corbett80], Dalen80], Danforth[1988], Frank[1987], Gallaire[1984], Gallant[1988], Meyer[1988], Peckham[1988], Shriver [1987], Skarra[1987], Webster[1988]; (B) Unscharfe Zusammenhänge: Kacprzyk[1987], Klir[1988], Kuhn[1989], White[1987], White[1988], Zi.mann[1987].

zu Computer Graphics, Bildanalyse und Robotik: Earnshaw[1985], Earnshaw[1987], Eckstein[1988], Foley[1982], Fu[1982], Gmür[1988], Gunzinger[1988], Ilg[1986], Mitchel[1987], Nevatia[1982], Newman[1979], Overmars[1988], Rao[1989], Pavlidis[1988], Sharir[1989], Stucki[1987], Zeevi[1988]

zur Prozessalgebra: Milner[1979], Milner[1980], Bergstra[1984], Glabbeek[1986], Gunzinger[1988].

<sup>4</sup> Birolini[1988], Meyer[1988], Zender[1986]

werden die Anforderungen anders interpretiert, als im Zeitpunkt der Festlegung des Pflichtenheftes. Dieser Grund ist eine natürliche Folge der Entwicklung. Der andere Grund liegt in der Analyse: Die zentrale Zerlegung der Informationsflüsse kann bei den Analytikern, die dezentral arbeiten, zu widersprüchlichen Interpretationen führen, welche mit konventionellen Mitteln nur zum Teil eliminiert werden. Die neuzeitlichen Prinzipien wie die Konzept der Abstrakten Datatypen und des objektorientierten Programmierens führen durch die Algebraisierung und die Vererbung bestimmter Eigenschaften von Objektklassen zu einer wesentlichen Verbesserung der Qualitätsmerkmale. Diese Verbesserung ist eine direkte Folge der gewählten Vorgehensart und hängt von den individuellen Abstraktionsfähigkeiten ab, welche in der Modellierungsphase eine Rolle spielen.

Die im vorangehenden Abschnitt erwähnten Disziplinen bedürfen Methoden,

- welche in den verschiedenen Abstraktionstufen bezüglich Axiomatisierung und Vererbung ein systematisches Vorgehen erlauben, so dass diese Methoden vom Computer unterstützt werden können,<sup>5</sup>
- welche die Messung von Qualitätsmerkmalen in der Entwurfsphase ermöglichen, und
- welche im allgemeinen ohne zusätzliche Heuristiken einsetzbar sind.

## **Lösungsvorschlag**

Das sogenannte semiotische Modellierungsschema, welches noch im Anfangsstadium der Entwicklung steht, sollte erlauben, derartige Methoden auszuarbeiten. Um dies zu zeigen, wird das Schema beschrieben und der Umgang mit ihm im Rahmen eines Projektentwicklungssystems diskutiert. Darunter wird eine Optimierungsaufgabe formuliert, welche die Grössen der Qualitätsmerkmale eines Computerprogramms als Lösung liefern kann.

Das Schema lässt sich auf einem Computer derart implementieren, dass ein modellierender Ingenieur in seiner Arbeit bezüglich Wissenakquisition,-repräsentation und -bereicherung<sup>6</sup> unterstützt und zum Teil geführt wird.

---

<sup>5</sup> Hier denkt man hauptsächlich an die geistigen Aktivitäten und nicht an die physikalischen Hilfsmittel, welche uns in der formalen Ebene der Implementation die Arbeit erledigen.

<sup>6</sup> In der Wissenakquisition sind die Fachleute aus dem betreffenden Gebiet und die Informatiker beteiligt. Dabei wird bewusstes und unbewusstes Wissen in einer informalen Repräsentation als bekannt vorausgesetzt. Unter Wissensbereicherung wird verstanden, dass die Fachleute mittels Formalisierung neues Wissen erwerben (erzeugen) können.



## Dank

- Herrn Professor Dr. A. Carosio, der mir in der Arbeit<sup>7</sup> grösste Freiheit eingeräumt hat,
- Herrn Professor E. Spiess, der mich auf die Schwierigkeiten der Interpretation aufmerksam gemacht hat,
- Herren Dr. Chr. Brandenberger und Dr. M. Ilg, die mir mit einschlägiger Literatur den Einstieg in die Probleme<sup>8</sup> erleichtert haben,
- Herrn Dr. W. Kuhn, mit dem ich über die Semiotik sehr wertvolle Diskussionen führen konnte und
- Herrn G. Sonder, der zur sprachlichen Verbesserung der vorliegenden Arbeit viel beigetragen hat und mit dem ich die Anwendbarkeit des Schemas in einem grundbuchplanfremden Gebiet<sup>9</sup> gemeinsam prüfen konnte.

---

<sup>7</sup> Die Arbeit hatte das Ziel *automatisch "analoge Grundbuchpläne und die davon assoziativ ableitbaren Information zusammen in ein Informationssystem zu übertragen"* In der Anfangsphase der Arbeit (siehe Fussnote 8) hat man feststellen können, dass das zur Interpretation notwendige Wissen computergerecht dargestellt werden muss. Zur Darstellung wurde kein effizientes Mittel gefunden. Deshalb suchte man auf der Basis der Semiotik nach neuen Methoden. Das Ergebnis wurde im semiotischen Modellierungsschema zusammengefasst.

<sup>8</sup> Diese Probleme betreffen erstens die technischen Schwierigkeiten beim Scanning, bei der Extraktion von Liniensegmenten, bei der Zusammenstellung und Erkennung einfachen und komplexen Objekten und zweitens die Effizienz der einzelnen Algorithmen. Nach Prüfung der Lösbarkeit dieser Problemen stellten sich die Fragen: Was bedeutet für den Menschen und für die Maschine das Wort 'Verstehen'? Wie können unsere Mentalprozesse wie Denken, Assoziieren, Kreieren eines neuen Dinges, Interpretieren, usw. simuliert werden? Diese Fragen führten zur Theorie der Zeichen, zur Philosophie und zur Psychologie. Nach Einbezug der Theorie der Kommunikationsprozesse wurden die philosophischen Grundlagen postuliert, worauf das semiotische Modellierungsschema aufgestellt wurde. Die Idee dieses Schemas ist prinzipiell nicht neu. Man findet sie zum Beispiel in Polya[1949] und Kleene[1952]. Was man aber mit Hilfe des Schemas erreichen kann, ist die Erhöhung von Effizienz und Übersichtlichkeit.

<sup>9</sup> Siehe Sonder[1989].

## Das semiotische Modellierungsschema

### Vorbereitung

Kleene[1952] unterscheidet in der Einführung in die Metamathematik drei Theorien: (a) die informale, (b) die Objekt- und (c) die Meta-Theorie. In der Meta-Theorie wird die Objekt-Theorie (das formale System) beschrieben und studiert. Basierend auf die informale Theorie bildet die Objekt-Theorie eine Formalisierung.<sup>10</sup>

Nach der Church-These<sup>11</sup> (Péter[1976]) leisten die Computer, die prinzipiell alle allgemein-rekursiven Funktionen<sup>12</sup> berechnen können, das meiste, was dem heutigen Stand unseres Wissens entspricht.

Folglich, falls wir vom Computer unseren Vorstellungen entsprechend ein Modell von 'Dingen' simulieren (modellieren) wollen, müssen die informale Theorie und die Meta-Theorie im Prozess der Modellierung nach vorbestimmten Konventionen entsprechend formalisiert werden. Welches sind diese Konventionen und nach

---

<sup>10</sup> "Here (b), which is formal, is not a theory in the common sense, but a system of symbols and of objects built from symbols (described from (c)), which however forms a kind of conventionalized image or model for (a). On the other hand, (a) and (c), which are informal, do not have an exactly determined structure, as does (b)." Zitat aus Kleene[1952].

<sup>11</sup> Diese These besagt, dass jede zahlentheoretische Funktion, deren Werte an jeder Stelle in endlich vielen Schritten irgendwie berechnet werden können, allgemein-rekursiv ist. (Es ist aber Tatsache, dass bis heute keine für jede Stelle in endlich vielen Schritten berechenbare zahlentheoretische Funktion gefunden wurde, die nicht allgemein-rekursiv wäre.) Einige in dieser These verwendeten Begriffe sollen unter Fussnote 12 illustriert werden:

<sup>12</sup> Eine (zahlentheoretische) Funktion  $f(n)$  wird durch **die primitive Rekursion** definiert, falls die Funktion den Definitionsgleichungen genügt:  $f(0) = a$  und  $f(n+1) = g(n, f(n))$ , wobei  $a$  eine gegebene Zahl und  $g(n, w)$  eine bereits bekannte Funktion von  $n$  und  $w$  ist. Das heisst, dass man den Funktionswert an der Stelle 0, und ausserdem die Art angibt, wie aus einer Zahl  $n$  und aus dem für  $n$  angenommenen Funktionswert der für die nächste Zahl  $n+1$  angenommene Wert der Funktion erhalten werden kann.

Zwei Funktionen können - analog zur primitiven Rekursion - **simultan rekursiv** definiert werden:

$$f_1(0) = a_1 \text{ und } f_1(n+1) = g_1(n, f_1(n), f_2(n)),$$

$$f_2(0) = a_2 \text{ und } f_2(n+1) = g_2(n, f_1(n), f_2(n)).$$

Der Aufbau einer durch **allgemeine Rekursion** definierten Funktion kann in der Form eines Definitionsgleichungssystems aufgezeichnet werden, in welchem die Seiten der Gleichungen Ausdrücke sind, die aus natürlichen Zahlen, Zahlenvariablen, ferner aus Zeichen für die zu definierenden Funktionen und für die Hilfsfunktionen aufgebaut werden. An jeder Stelle kann der Wert der zu definierenden Funktion durch endlich häufige Anwendung der folgenden einfachen Schritte eindeutig erhalten werden:

Schritt 1: Das Einsetzen von natürlichen Zahlen für Variablen in einer (ursprünglichen oder durch erlaubte Schritte erhaltenen) Gleichung.

Schritt 2: Das Einsetzen in einer Gleichung eines Teilstückes, das auch als linke Seite einer Gleichung auftritt, durch die rechte Seite dieser letzteren Gleichung.

und Regeln beschrieben werden? Die natürlichen Sprachen sind sehr schwerfällig, enthalten in ihren Konstruktionen viele Unregelmässigkeiten und sind auch sehr unklar. Unser Wissen über die 'Dinge', d.h. über eine informale Theorie, wird unter uns mittels der natürlichen Sprachen vermittelt.

## Semiotik

Um den Fragen dieser Formalisierung näher zu kommen, greift man zur Theorie der Zeichen, d.h. zur Semiotik: In der natürlichen Sprache trifft man die Wörter 'Wort', 'Regeln' und 'Bedeutung' an, welche in Eco[1976] nach verschiedenen Gesichtspunkten diskutiert und analysiert worden sind: Jedes dieser Wörter entspricht, formal gesehen, einem Eckpunkt eines sogenannten semiotischen Dreiecks. Die Wörter sind nach Frege 'Zeichen', 'Bedeutung' und 'Sinn', nach Peirce 'Repräsentant', 'Interpretant' und 'Objekt', nach Ogden und Richards 'Symbol', 'Referent' und 'Referenz' und nach Eco 'Signifikant', 'Gegenstand' und 'Signifikat'. Die Inhalte dieser Wörter hängen von den jeweiligen Gesichtspunkten dieser Theoretiker ab. Ein Zitat aus der Theorie der Codes in Eco[1976] sollte zu einem besseren Verständnis der (im gewöhnlichen Sinn verwendeten) Bedeutung dieser Wörter führen:

"Ein Zeichen steht in der Vorstellung, die es hervorruft oder modifiziert, für etwas[...]. Das, wofür es steht, nennt man seinen Gegenstand; das, was es übermittelt, seine Bedeutung; und die Vorstellung, die es hervorruft, seinen Interpretanten." Diese Definition scheint dem Gegenstand einen wichtigen Platz anzuweisen: doch unmittelbar darauf fügt Peirce hinzu: "Der Gegenstand der Vorstellung kann nichts anderes sein als eine weitere Vorstellung, deren Interpretant die erste Vorstellung ist. Aber eine endlose Reihe von Vorstellungen, deren jede für die hinter ihr liegende steht, kann man auffassen als begrenzt durch einen absoluten Gegenstand." Später nennt Peirce diesen absoluten Gegenstand nicht einen Gegenstand, sondern eine als letzten Interpretanten verstandene Gewohnheit. ... "Die Bedeutung einer Vorstellung kann nichts anderes als eine Vorstellung sein. In der Tat ist sie nichts anderes als die Vorstellung selbst, aufgefasst als befreit von allen überflüssigen Hüllen. Doch kann man diese Hülle nie völlig entkleiden; man kann nur etwas Durchsichtigeres an derer Stelle setzen. Darum kommt es hier zu einer unendlichen Regression. Letztlich ist der Interpretant nichts anderes als eine weitere Vorstellung, der die Fackel der Wahrheit weitergereicht wird; und auch er hat, als Vorstellung, wiederum einen Interpretanten. Und schon wieder stehen wir vor einer unendlichen Reihe."

Die Analyse von endlichen oder unendlichen Vorstellungsreihen, d.h. von Semiosen geht bei Eco weiter: Zur Entstehung semiotischer Einheiten werden kulturelle Aspekte und Konventionen in ein historisches Umfeld eingebettet. Man geht davon aus, "dass ein Ausdruck durch eine Denotation eine kulturelle Einheit übermitteln, sodass nach kulturellen Konventionen dem denotierten Inhalt andere konnotierte Inhalte, welche abstrakte Einheiten sind, hinzugefügt werden".

Diese Anschauungsweise ist im Prinzip bekannt, falls man in den Naturwissenschaften an die Modellierung denkt. Zum Beispiel, in der Physik pflegt man die Räume 'Objektraum', 'Bezugsraum' und 'Anschauungsraum' zu brauchen (Carnap[1922]), in der Formalisierung der Mathematik werden drei Theorien, wie sie oben erwähnt sind, als 'Objekt-Theorie', 'informale Theorie' und 'Meta-Theorie' (Kleene[1952]) bezeichnet und in der objekt-orientierten Software-Entwicklungsumgebung spricht man von den Begriffen 'Objekt', 'Operation' und deren 'Anwendung' (Shriver[1987]).

## Hypothesen

Ausgehend, erstens von dieser semiotischen Betrachtungsweise, zweitens von der axiomatisch-deduktiven Methoden der Mathematik und drittens von der formalen betrachtungsweise der Logik stellt der Verfasser die folgenden Hypothesen auf<sup>13</sup> :

### Hypothese 1:

Alles, was wir durch die Augen<sup>14</sup> wahrnehmen, wird in einem Symbolsystem auf der Basis der semiotischen Verbundenheit<sup>15</sup> analysiert, mit einem zeitabhängigen Symbol<sup>16</sup> und mit einem Grad der semiotischen Verbundenheit versehen und in das für uns existierende Symbolsystem eingebettet.

---

<sup>13</sup> Die Kenntnisse des Modells sind für diese Hypothesen vorausgesetzt, deren Beschreibung deshalb in meisten Fällen rekursiv ist.

<sup>14</sup> Das Auge als Rezeptor soll nicht in einem restriktiven Sinn interpretiert werden. Es sollte darauf hinweisen, dass die Geometrie, als eine Repräsentation unserer geometrischen Abstraktionen, axiomatisiert worden und diese Axiomatisierung vermeintlich der Existenz des Auges zu verdanken ist.

<sup>15</sup> Siehe Modellkomponenten, Definitionen 2 und 10.

<sup>16</sup> Die Symbole (die Zeichen) werden durch Kontrollprozesse miteinander verbunden und in einem Kommunikationsprozess mit ihrer Bedeutungen verknüpft, welche an kulturelle Konventionen gebunden sind. Diese Verbundenheit kann, wie später erklärt wird, mit Hilfe der Theorie der strategischen Spiele (Neumann[1953]) formal gehandhabt werden.

#### Hypothese 2:

Wir sind so ausgestattet, dass die semiotische Verbundenheit erlernbar<sup>17</sup> ist, deren Grad durch das Symbolsystem und dadurch selbst das Symbolsystem verändert werden kann.

#### Hypothese 3:

Das Symbolsystem hat die Eigenschaft, den semiotischen Grad auf seine höchste (Potential-)Stufe zu bringen. Diese Eigenschaft des Symbolsystems wird als Kreativität bezeichnet. Das Symbolsystem mit der höchsten Stufe entspricht dem Begriff "Axioma". Das heisst, dass die aus einem axiomatisierten Symbolsystem ableitbaren Theorien widerspruchsfrei sind.

#### Hypothese 4:

Die Kreativität spielt sich in verschiedenen Stufen der semiotischen Verbundenheit ab und beinhaltet solche Operationen wie Intuition, Imagination, Assoziation, Erkennen, Erlernen, Denken, Analysieren und Synthesieren.

#### Hypothese 5:

Diese Operationen sind - formal gesehen - Bestandteile des Symbolsystems und lassen sich mittels algebraischen Systemen ausdrücken.

#### Hypothese 6:

Falls ein einem wahrgenommenen Ding entsprechendes Symbol in das Symbolsystem eingebettet wird, werden Kontrollsysteme, die sich - formal gesehen - durch Symbolsysteme beschreiben lassen, aktiviert, um das Symbol im Existenzraum des Dinges zu reflektieren und um den semiotischen Grad zu prüfen.

#### Hypothese 7:

Die zu modellierenden Dinge in den informalen Theorien und in den Meta-Theorien sind, nach der Semiotik, Vorstellungen, welche von uns durch unsere Symbolsysteme hervorgerufen (konstruiert) worden sind. Diese Prozesse wurden im Raum der Kommunikationsprozesse historisch entwickelt. Diese Prozesse sind die auf den Hypothesen 1 - 6 beruhenden Symbolsysteme.

---

<sup>17</sup> Vgl. mit der konnektionistischen Betrachtungsweise von Kohonen[1988]

## Bezeichnungen

Bevor die Mental-, Kontroll- und Kommunikationsprozesse zu einer Einheit von semiotischen Netzwerken integriert werden, werden die Symbolen G, B, S und R zur Analogie der Inhalte der Wörter 'Zeichen', 'Bedeutung', 'Interpretant' und 'Gegenstand' gemäss des erwähnten Zitates eingeführt. Ihre Inhalte werden angedeutet, unter dem Abschnitt "Semiotisches Mentalmodell" rekursiv erklärt und im Abschnitt "Beispiele" illustriert.

- Bezeichne  $\Omega_F = \{ \dots F_i \dots \}$  bzw.  $\Omega_P = \{ \dots P_j \dots \}$  eine Menge von numerisch bzw. logisch formulierten Aussagen über einem  $n_i$ -fachen bzw.  $m_j$ -fachen kartesischen Produkt  $R \times R \dots \times R$  einer nicht-leeren Menge R von Dingen, im Sinne der Mengenlehre, wobei  $n_i < n$  bzw.  $m_j < m$  für beliebige i bzw. j und mit gegebenen n bzw. m, dann wird eine Menge **R** der **algebraischen Systeme** (Mal'cev[1973], Dalen[1980], Cohn[1981]) von Gestalt  $\langle R, \Omega_F, \Omega_P \rangle$  im weiteren, ohne das Allgemeine zu beschränken, als **Raum** bezeichnet, d. h.  $R = \{ \langle R, \Omega_F, \Omega_P \rangle \}$ .

Für das semiotische Modell sollen vier Haupt-Räume<sup>18</sup> von algebraischen Systemen unterschieden werden: Der Objektraum  $R_G$ , der Bezugsraum  $R_B$ , der Anschauungsraum  $R_S$  und der modellierte Raum  $R_R$ :

- Das Symbol G ist der Anfangsbuchstabe des Adjektives 'graphisch' oder des Englischen "graph space of symbols"<sup>19</sup>. Das Symbol G  
(a) entspricht einer zeichnerischen, symbolisierten und schematischen Darstellung eines Dinges, welches mit einer Einheit R der realen Welt isomorph ist,  
(b) steht für einen Punkt im Raum  $R_G$ , im sogenannten von uns kreierten Objektraum von Symbolsystemen und  
(c) steht für die Synonyma wie Objekt. Element. Name. Ausdruck und Zeichen, welche Objekte in unserem mentalen Bereich sind, so wie diese Synonyma in verschiedenen Kontexten von Semiotikern verwendet worden sind. (Siehe Tabelle S, Seite 14)

---

<sup>18</sup> Der Raum  $R_R$  beinhaltet die imaginären und reale Welt. Unter imaginärer Welt als ein Unterraum aus  $R_R$  werden Vorstellungen verstanden, die in unserem mentalen Bereich liegen. Dieser Unterraum und die Räume  $R_G$ ,  $R_B$ ,  $R_S$  sind Räume von Symbolsysteme und werden idealerweise als Räume von algebraischen Systemen vorausgesetzt. Siehe Bild 1

<sup>19</sup> siehe die nächste Fussnote

- Das Symbol B ist der Anfangsbuchstabe des Adjektives 'bezüglich' oder des Englischen "basic notions" <sup>20</sup> . Das Symbol B
  - (a) entspricht einer zeichnerischen, symbolisierten und schematischen Einheit im mentalen Bereich,
  - (b) steht für einen Punkt im Raum  $R_B$ , im sogenannten Bezugsraum, der selber aus Symbolsystemen besteht, und
  - (c) steht für Synonyma wie Bezugnahme, Operation, Regel, kulturelle Einheit und Bedeutung, auf welche die Objekte aus  $R_G$  in unserem mentalen Bereich bezogen sind, so wie diese Synonyma in verschiedenen Kontexten von Semiotikern verwendet worden sind. (Siehe Tabelle S, Seite 14)
- Das Symbol S ist der Anfangsbuchstabe des Adjektives 'sinnvoll' oder 'selected' aus dem Englischen "space of intentions selected by rules and by functions" <sup>21</sup> . Das Symbol S
  - (a) entspricht einer zeichnerischen, symbolisierten und abstrakten Einheit im mentalen Bereich,
  - (b) steht für einen Punkt im Raum  $R_S$ , im sogenannten Anschauungsraum, der selber aus Symbolsystemen besteht, und
  - (c) steht für die Synonyma wie Anschauungsrichtung der Bezugnahme, Anwendungsziel der Operationen über die Elemente, Hinweise (in Form von Bedingungen) auf die Bedeutung von  $R_G$ , abstrakte Einheiten nach kulturellen Konventionen und Sinn, welche die konkrete Interpretation eines Objektes aus  $R_G$  im Bezug des mentalen Bereiches  $R_B$  erlauben, so wie diese Synonyma in verschiedenen Kontexten von Semiotikern verwendet worden sind. (Siehe Tabelle S, Seite 14)
- Das Symbol R ist der Anfangsbuchstabe des Adjektives 'real' oder 'real' aus dem Englischen "modelled real world" <sup>22</sup> . Das Symbol R
  - (a) entspricht einer Einheit in der realen Welt, welche auch als ein Teil unseres mentalen Bereiches sein kann und dann eine Einheit der zeichnerischen, symbolisierten und schematischen Darstellungen ist,
  - (b) steht für einen Punkt im Raum  $R_R$ , im sogenannten modellierten Raum und

<sup>20</sup> siehe die nächste Fussnote

<sup>21</sup> siehe die nächste Fussnote

<sup>22</sup> Die Buchstaben **s**, **r**, **b** und **g** sind die Anfangsbuchstaben von Wörtern **Sinn**, **Realität**, **Basis** und **Graph**, welche zur Analogie der semiotischen Begriffe Interpretant, Gegenstand, Bedeutung und Zeichen (nach Eco[1976], [1987]) eingeführt worden sind. Dem Verfasser ist es nicht gelungen, mit zutreffender Bedeutung in deutscher und englischer Sprache diese Wörter auszuwählen, so dass ihre Anfangsbuchstaben je Begriff gleich sind.

(c) steht für die Realität, welche wir wahrnehmen können oder für einen beobachteten Objektraum, welchen wir auch als der Realität zugehörend betrachten. Während der Modellierung wird beabsichtigt, diesen Raum zu untersuchen bzw zu beschreiben. Wir wollen bezüglich  $R_B$  im Sinne von  $R_S$  in unserem mentalen Bereich zur Beschreibung der Objekte aus dem Raum  $R_R$  unsere erworbene Kenntnisse aus  $R_M$  anwenden. Dabei gilt  $R_M = R_B \times R_S \times R_G$ .

Wie schon erwähnt wurde, kann die natürliche Sprache nicht hinreichend präzise angewendet werden, um unsere Vorstellungen genau zu formulieren, aber hinreichend gut, um unsere Vorstellungen mitzuteilen. Die Mitteilung basiert auf den gemeinsamen Basissystemen, welche auf der Semiotik beruhende Mental- und Kontrollprozessen des Senders und Empfängers in einem Kommunikationsprozess sind, und hängt von ihrer Empfindlichkeit bezüglich der semiotischen Verbundenheit der Begriffe ab, wodurch die konnotierten Inhalte im Laufe der Kommunikation bestimmt werden<sup>23</sup>.

Die Zusammenstellung in der nachfolgenden Tabelle soll die Uneinheitlichkeit der semiotisch verwendeten Wörter illustrieren:

Carnap <sup>24</sup>	Objektraum	Objektraum**	Bezugsraum	Anschauungsraum
Shriver	Gegenstand**	Objekte	Operationen	Anwendung
Frege	Bedeutung**	Zeichen	Bedeutung	Sinn
Peirce	Objekt**	Repräsentant	Objekt	Interpretant
Odgen	Referent**	Symbol	Referent	Referenz
Eco	Gegenstand	Zeichen	Bedeutung	Interpretant
Eco <sup>25</sup>	Realität** o.	Ausdruck	kulturelle	abstrakte Einheit
	kulturelle Einheit**		Einheit	
Verfasser	Realität	Objektraum	Bezugsraum	Anschauungsraum
Verfasser	Real	Graphisch	Bezüglich	Sinnvoll
Verfasser	<b>X</b> <sup>26</sup>	<b>G</b>	<b>B</b>	<b>S</b>

**Tabelle S**

<sup>23</sup> Siehe Bilder 1, 2, 3, 4

<sup>24</sup> \*\* für eine plausible Ergänzung vom Verfasser

<sup>25</sup> o. steht für 'oder'

<sup>26</sup> X steht für R o. G o. B o. S o. M, wobei  $G \times B \times S \supseteq M$



Um die möglichen Verwendungen dieser Bezeichnungen zu erläutern, werden diese Bezeichnungen auf Basis der Semiotik für ihre Inhalte angedeutet, d.h. für ihren Sinn beschrieben, und gezeigt, wofür sie stehen können: Ein Symbol "G" (als ein konkretes Objekt aus dem Objektraum  $R_G$ ) steht für eine Bedeutung, welche auf ein Ding der "Realität" (als Objekt aus  $R_R$ ) hinweist und durch gegebene Regeln "B" (als Objekte aus dem Bezugsraum  $R_B$ ) erklärt ist, so dass diese Bedeutung im Bereich der gesetzten - in Form von Bedingungen formulierten - Anwendungszielen "S" (als Objekte aus dem Anschauungsraum  $R_S$ ) ihre Gültigkeit haben kann (Siehe Bilder 1, 2, 3 und 4). Das Zeichen für diese rekursiven Beziehungen ist

$$R_S : R_B \times R_G \times R_R \rightarrow R_G \leftrightarrow R_R,$$

welches im weiteren als **semiotische Formel** bezeichnet wird. Diese Formel lässt sich verbal, wie folgt beschreiben: "Werden die aus  $R_S$  herleitbaren Elemente  $\{f\}$  auf die in  $R_B$  befindlichen Elementen  $\{x\}$  und auf die aus der Realität entnommenen Beobachtungen  $\{r\}$  angewendet, dann steht  $R_G$  für die möglichen Ergebnisse  $\{y\}$ , welche durch  $f(x, r)$  realisiert werden können, dh.  $f(x, r)=y \in R_G$ . Dabei sind  $R_G$  und  $R_R$  bis auf die Stabilität der Kontroll- und Kommunikationsprozesse isomorph<sup>24</sup> ." Bezeichne  $(R_G^*, R_R^*)$  die Fixpunkte der Rekursion, dann vereinfacht sich die semiotische Formel:

$$R_S : R_B \rightarrow R_G^* \leftrightarrow_{\varepsilon} R_R^*.$$

In der Modellierung stellen sich zwei Aufgaben. In der einen wird nach der Existenz eines Fixpunktes gefragt, welche bewiesen werden soll. In den anderen Aufgabe wird nach einer Methode gefragt, mit deren Hilfe der kleinste Fixpunkt<sup>25</sup> gefunden werden kann.

---

<sup>24</sup> Das Zeichen für diesen Isomorphismus ist  $\leftrightarrow_{\varepsilon}$  .

<sup>25</sup> Er wird zur Analogie des kleinsten Fixpunktes gemäss der computertheoretischen Rekursionstheorie (Engeler[1988]) verwendet.

## Die Modellkomponenten.

Die Semiotik als eine kulturell abstrakte Einheit, deren Entwicklung noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann, wird durch die Mental-, Kontroll- (Stengel [1986]), und Kommunikationsprozesse (Milner[1980], Bergstra[1984]) zu einer Einheit von semiotischen Netzwerken integriert. Diese Integration erlaubt, Begriffe wie 'semiotische Verbundenheit' und 'deren Mass' einzuführen und ein semiotisches Modell für die Modellierung aufzustellen, dessen Komponenten anschliessend beschrieben werden:

- Räume: Ein Element der endlichen Menge  $X$  steht für einen Raum  $R_X$  als kulturelle und abstrakte Einheit von Symbolsystemen wie Mengen von Dingen aus der realen Welt, verschiedene Algebren, metrische Räume, und so fort. Eine Teilmenge der aus  $X$  gebildeten Potenzmenge  $P(X)$  sei durch  $X^X$  und deren Elemente  $R^{X,j_X}$  mit  $j = 1, 2, \dots, n_X$  bezeichnet.  $X$  kann ein Element aus  $R^{X,j_X}$  bezeichnen. Dabei steht  $x$  bzw  $X$  bzw  $X$  entsprechend den Räumen wie Bezugsraum  $R_B$ , Anschauungsraum  $R_S$ , Objektraum  $R_G$ , modellierten Raum  $R_R$  und Modellraum  $R_M (= R_B \times R_S \times R_G)$  für  $b, s, g, r$  und  $m$  bzw für  $B, S, G, R$  und  $M$  bzw für  $B, S, G, R$  und  $M$ .<sup>26</sup>

- Definition 1: Die Registration (der Empfang) von Signalen  $G^l$  über ein beobachtetes Ding aus einem modellierten Raum  $R_R$  ist die Wahrnehmung:

$$F_{\text{wahr}} : R_M \times R_R \rightarrow G^l.$$

- Der semiotische Kontrollprozess: Ein Objekt, als ein Element  $G^*$  aus  $R^{G,j_G}$  mit  $j = j_G$ , steht für ein Element  $R^*$  aus  $R^{R,j_R}$  mit  $j = j_R$  und kann durch bestimmte Vorschriften (Funktionen)  $F_{nb,ns}$  erzeugt werden:

$$F_{nb,ns} : \prod_j R^{b,j_B} \times \prod_k R^{s,k_S} \rightarrow G^* \leftrightarrow \epsilon \quad R^*$$

<sup>26</sup> Der Raum  $R_M$  fungiert in einem Kommunikationsprozess sowohl als Sender wie auch als Empfänger (siehe Bilder 3 und 4), von welchen die in  $R_M$  statisch vorhandenen Mentalprozesse als Kontrollprozesse durch die Wahrnehmung aktiviert werden.

mit  $j = 1, 2, \dots, n_b$  und  $k = 1, 2, \dots, n_s$ . (Dabei steht  $\Pi_l$  für eine  $(l - 1)$ -fache Wiederholung des kartesischen Produktes.) Diese Erzeugung ist ein Ergebnis eines Kontrollprozesses<sup>27</sup>, welcher in einem semiotischen Kontext verwendet und bewertet wird. Das Bild 3 versucht, diese Bewertung als Prozess zu illustrieren. (Dabei wurden die zusammengesetzten Indices weggelassen.) Über ein beobachtetes Ding  $R^*$ , als ein Objekt des modellierten Raum  $R_R$ , werden Signale nach gegebenen Experimenten<sup>28</sup> registriert und nach bekannten Regeln transformiert. Die resultierten Inputgrößen  $G^l$  für den Regler werden mit den vom Regler simulierten Größen verglichen. Diese Größen sind in einem Symbolsystem  $R^O_G$  enthalten, welches dem Ding  $R^*$  im modellierten Raum  $R_R$  entspricht. Die über den Raum  $G^l \times R^O_G$  definierten Vergleichsoperatoren  $\Gamma^0$  liefern die messbaren Größen  $G^0$ , d.h.  $\Gamma^0 : G^l \times R^O_G \rightarrow G^0$ , welche den Zustandvariablen des Kontrollprozesses entsprechen.

• Definition 2: Falls die Wertbereiche aus  $G^0$  nicht-leere Mengen sind, dann sind  $G^l$  und  $R^O_G$  semiotisch verbunden.

• Definition 3: Diejenigen Vorstellungen heissen Intuition, welche im Kontrollprozess die möglichen Mengen  $F_{elem}, F_{oper}, F_{regel}$  von Vorschriften (Funktionen) mit ihren möglichen Bildmengen  $R^{b,j}_B, R^{s,k}_S, F_{nb,ns}$  und  $\Gamma^0$  mit  $j = 1, 2, \dots, n_b, k = 1, 2, \dots, n_s$  zusammen hervorrufen, sodass die Vorschriften (Funktionen) mit ihren Bildmengen zusammen plausibel werden:

$$F_{elem} : R_M \times G^l \rightarrow R^{b,j}_B, R^{s,k}_S$$

$$F_{oper} : R_M \times G^l \rightarrow F_{nb,ns}$$

$$F_{wend} : R_M \times G^l \rightarrow \Gamma^0.$$

---

<sup>27</sup> siehe Bild 2

<sup>28</sup> Bezieht sich  $R_R$  auf die reale Welt, welche wir zum Beispiel in der Physik betrachten, dann entsprechen die Experimente teils den physikalischen Experimenten und teils den mentalen Denkprozessen. Bezieht sich  $R_R$  auf die mentale Welt, welche wir zum Beispiel in den Denkaufgaben betrachten, dann entsprechen die Ergebnisse der Experimente den mentalen Bildern in den Denkprozessen.

Dementsprechend unterscheidet man

- Intuition  $F_{\text{elem}}$  über Elementen, welche (betreffend das Objekt  $G^*$ ) die Bezugssysteme  $R^{b,j}_B$  und Absichten  $R^{s,k}_S$  widerspiegeln,
- Intuition  $F_{\text{oper}}$  über Operationen, deren Anwendung die Erzeugung vom Objekt  $G^*$  als Ziel hat und
- Intuition  $F_{\text{wend}}$  über Anwendungen von  $F_{\text{elem}}$  und  $F_{\text{oper}}$ , sodass die Vorschriften (Funktionen) aus  $\Gamma^0$ , entsprechend den Absichten geeignete Masse, betreffend das Objekt  $G^*$ , ausdrücken.

- Definition 4: Diejenigen Vorstellungen heissen Imagination, welche
  - (a) die Ergebnisse der Intuition im Kontrollprozess so verwenden,
  - (b) die konkreten Vorschriften (Funktionen)  $F_g$  und  $F_{gO}$  aus Mengen  $F_{n_b, n_s}$  so auswählen und
  - (c) diese, entsprechend einer Auswahl aus  $R^{b,j}_B$  und  $R^{s,k}_S$  mit  $j \in J_b = \{1, 2, \dots, n_b\}$ ,  $k \in J_s = \{1, 2, \dots, n_s\}$ , so aktivieren, dass die Ergebnisse  $G^*$  und  $G^{**}$  gemäss der Vorschriften (Funktionen)

$$F_g : G^I \times \prod_j R^{b,j}_B \times \prod_k R^{s,k}_S \rightarrow G^*$$

$$F_{gO} : G^* \times \prod_j R^{b,j}_B \times \prod_k R^{s,k}_S \rightarrow G^{**} \in R^O_G$$

mittels einer Vorschrift (Funktion)  $g$  aus  $\Gamma^0$  verglichen werden können, d.h.

$$g : G^I \times G^{**} \rightarrow G^0.$$

$G^0$  entspricht den Zustandvariablen des das Objekt  $G^*$  "bearbeitenden" Kontrollprozesses.

- Definition 5: Falls die Änderung, d.h.  $|dG^0/dt|$ , im Laufe der Zeit unter einen vorgegebenen Schwellenwert  $\varepsilon > 0$  zu liegen kommt, bedeutet dies, dass die semiotische Verbundenheit zwischen  $G^I$  und  $R^O_G$  bezüglich  $G^*$   $\varepsilon$ -stabil<sup>29</sup> ist.

- Definition 6: Der Reziprokwert der Wertigkeit einer Vorschrift (Funktion)  $F_g$  aus  $F_{n_b, n_s}$  heisst der Grad der semiotischen Verbundenheit zwischen  $G^I$  und  $R^O_G$  im  $\varepsilon$ -stabilen Kontrollprozess, welcher das Element  $G^*$  erzeugt.

<sup>29</sup> Diese Stabilität entsteht in den Kontrollprozessen.

- Definition 7: Die Vorschriften (Funktionen) aus der Menge  $F_a$  heissen Assoziationen, welche im mentalen Bereich  $R_M$  den bestehenden Räumen oder deren Objekten gemäss  $R_X$  mit  $X = R$  o.  $B$  o.  $S$  o.  $G$  o.  $M$  und  $j \in J_X = \{1, 2, \dots, n_X\}$  einen anderen Raum  $R_Y$  mit  $Y = R, B, S, G$  beziehungsweise eines seiner Objekte zuordnen:

$$F_{aY} : R_M \times \prod_j R^{X,j}_X \rightarrow R_Y.$$

Die eingeführten Mentalprozesse wie Wahrnehmung, Intuition, Imagination und Assoziation sind, ihren Definitionen nach, Kontrollprozesse und lassen sich einzeln semiotisch beschreiben, d.h. als Symbolsysteme, den Räumen  $R_R, R_G, R_B, R_S$  entsprechend, strukturieren. Die entstehenden Strukturen können durch die Ineinanderschachtelung dieser Räume als semiotische Fortsetzung eines Raums (in der Analogie der Bildung von Semiosen bei Eco[1987]) bezeichnet werden. Die Veränderung eines Raums kann durch die semiotische Stabilität kontrolliert werden, welche auch für die Terminierung der semiotischen Fortsetzung geeignet ist. Unabhängig vom Standpunkt "Bottom-Up" oder "Top-Down" aus, können neue Räume aus den als unverändert angesehenen, bestehenden Räumen erzeugt werden oder kann ein bestehender Raum mit Hilfe von anderen bestehenden Räumen ausgedrückt werden. Diejenigen Räume, mit deren Hilfe die Erzeugung von anderen, sogenannten 'Nicht-Terminal'-Räumen, geschieht, bilden die 'Terminal'-Räume. Betrachtet man einen 'Nicht-Terminal'-Raum, in welchem geforscht oder entwickelt wird, dann sei dieser Raum als Senke eines Netzwerkes angesehen, wobei die Quelle des Netzwerkes, als eines fiktiven Raumes, aus den 'Terminal'-Räumen im Sinne der Netzwerkflüsse (Ford[1962], Kacprzyk[1987]) gebildet wird. Werden diese Netzwerke als nicht-gerichtete Graphen betrachtet, dann sind sie - formal gesehen - gleich, d.h. ein Knotenpunkt des Netzwerkes kann wiederum für ein Netzwerk stehen und die Kanten können für Abbildungen von einem Raum in die anderen Räume stehen. Unabhängig davon, dass ein Knotenpunkt für einen 'Terminal'- oder für einen 'Nicht-Terminal'-Raum steht und dass eine Kante fiktiv oder nicht ist, werden diese Netzwerke in allen Kanten und in allen Knoten semiotisch bewertet. Zu einer solchen Bewertung wird die formale Zusammensetzung (Ineinanderschachtelung) dieser Netzwerke durch eine rekursive Zerlegung illustriert, welche man vereinfacht oder auch verallgemeinert präsentieren kann:

Vereinfacht bedeutet, dass jeder Raum  $R_k$  für  $k = B, S$  und  $G$  wieder als ein modellierender Raum  $R_{kM}$  aufgefasst werden kann,

d.h.  $R_k = R_{kM} = R_{kB} \times R_{kS} \times R_{kG}$  gilt, d.h. detaillierter

- $R_G = R_{GG} \times R_{GB} \times R_{GS}$ ,
- $R_B = R_{BG} \times R_{BB} \times R_{BS}$ ,
- $R_S = R_{SG} \times R_{SB} \times R_{SS}$ ,

wobei  $R_{GS}$  über  $R_{GG} \times R_{GB}$  seine Gültigkeit haben kann,  $R_{BS}$  über  $R_{BG} \times R_{BB}$  definiert wird und  $R_{SS}$  über  $R_{SG} \times R_{SB} \times R_G \times R_B$  den die Absichten ausdrückenden Bedingungen entsprechend definiert ist.

Verallgemeinert bedeutet, dass die Ineinanderschachtelung mit Hilfe von Indizes

$$R = \prod_{i_k} \prod_{i_1} \prod_{i_2} \dots \prod_{i_n} R_{i_1, i_2, \dots, i_n}$$

wiedergegeben wird. Dabei weist  $\prod$  auf das Kartesische Produkt hin, welches aus den Gliedern  $R_{i_1, i_2, \dots, i_k}$  für  $i_k = G, B, S$  gebildet wird, d.h. es gilt

$$R_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}} = R_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, G} \times R_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, B} \times R_{i_1, i_2, \dots, i_{n-1}, S}$$

Die Vergleichsoperatoren aus  $\Gamma^0$  existieren in allen Stufe der Zerlegung von  $R_M$ .

Das heisst, dass  $\Gamma_{i_1, i_2, \dots, i_k}^0$  existiert, sodass

$$\Gamma_{i_1, i_2, \dots, i_k}^0 \in R_{i_1, i_2, \dots, i_k}$$

für beliebige  $i_1, i_2, \dots, i_k$  und  $k$  gilt. Die Wertigkeiten der Vorschriften aus

$\Gamma_{i_1, i_2, \dots, i_k}^0$  für alle Indices  $i_1, i_2, \dots, i_k$  und  $k$  werden den Kanten des verschachtelten Netzwerkes zugeordnet. Das Bild 5 illustriert diese Kanten, als Raumübergänge, d.h. die Orte, wo überall die semiotische Verbundenheit vorkommen kann. Dementsprechend wird sie klassiert: Sie ist

- in einem geschlossenen Raum lokal, d.h. sie existiert in einem Punkt eines Raums  $R^i_R \times R^i_M$ , wobei der Punkt selber ein Raum sein kann. In Zeichen:

$$F^i_n : G^I \times R^O_G \times R^i_R \times R^i_M \rightarrow R^i_n, \text{ mit } R^i_R \times R^i_M \supseteq G^I \times R^O_G.$$

Dabei steht  $F_n^i$  für eine Menge von Vergleichsoperatoren ( $\Gamma^0$ ), welche auf die partiellen Isomorphismen zwischen den Elementen aus  $G^i$  und aus  $R_n^i$  in Abhängigkeit von  $R^i \times M^i$  mit  $n = G, B, S$  und für einen beliebigen Wert von  $i$  hinweisen. (Der Index  $i$  steht für einen Knotenpunkt des zu untersuchenden Netzwerkes.)

- in einem geschlossenen Raum global, d.h. sie existiert in einer Relation zwischen zwei Punkten eines Raums  $R^i \times M^i$ , wobei jeder der beiden Punkte selber Raum sein kann. Im Zeichen:

$$F_{n,l}^i: R_n^i \times R^i \times M^i \rightarrow R^i.$$

Dabei steht  $F_{n,l}^i$  für eine Menge von Vergleichsoperatoren ( $\Gamma^0$ ), welche auf die partiellen Isomorphismen zwischen den Elementen aus  $R_n^i$  und aus  $R^i$  in Abhängigkeit von  $R^i \times M^i$  mit  $n, l = G, B, S$  und für einen beliebigen Wert von  $i$  hinweisen. (Der Index  $i$  steht für einen Knotenpunkt des zu untersuchenden Netzwerkes.)

- in der Relation zwischen den Räumen  $R^i \times M^i$  und  $R^j \times M^j$ , mit  $i \neq j$ , offen, d.h. sie existiert in einem den zwei Räumen übergeordneten offenen Raum, wo sie bereichübergreifend im Bereich der Anwendungsziele ihren Sinn bekommt. Im Zeichen:  $F_{n,l}^{i,j}: R^i \times M^i \times R^j \times M^j \rightarrow R_n^i \times R^j$ .

Dabei steht  $F_{n,l}^{i,j}$  für eine Menge von Vergleichsoperatoren ( $\Gamma^0$ ), welche auf die partiellen Isomorphismen zwischen den Elementen aus  $R^i \times M^i$  und aus  $R^j \times M^j$  mit  $n, l = G, B, S$  und für einen beliebigen Wert von  $i$  und  $j$ , mit  $i \neq j$ , hinweisen. (Die Indices  $i$  und  $j$  stehen für Knotenpunkte des zu untersuchenden Netzwerkes.)

Je nach Ort des Vorkommnisses der semiotischen Verbundenheit kann man von lokaler, globaler und offener semiotischer Stabilität sprechen, welche die Grundlage der Abstraktionsstufen bildet. Um diese Stabilitäten als Stoppregel in der semiotischen Fortsetzung verwenden zu können, wird der Begriff des Grades<sup>30</sup> der semiotischen Verbundenheit auf das Netzwerk, d.h. auf den semiotischen Graphen, ausgedehnt:

---

<sup>30</sup> Es besteht eine Analogie zum Grad der Unlösbarkeit bei Kleene[1987].

**Definition 8:** Bezeichne  $c$  (bzw  $c^*$ ) die 'Nach'- bzw 'Vor'-Wertigkeit<sup>34</sup> der Vorschrift (Funktion)  $f$  aus  $\Gamma^0$  bezüglich der Indices  $i_1, i_2, \dots, i_k$  und bezüglich der lokalen semiotischen Stabilität, dann entspricht eine reelle Zahl

- $2 \cdot (c+c^*)^{-1}$  dem Grad(0) der lokalen semiotischen Normal-Verbundenheit  $g^0_{|sV}(p,f)$ ,
- $(c)^{-1}$  dem Grad(+) der lokalen semiotischen 'Nach'-Verbundenheit  $g^+_{|sV}(p,f)$  und
- $(c^*)^{-1}$  dem Grad(-) der lokalen semiotischen 'Vor'-Verbundenheit  $g^-_{|sV}(p,f)$

zwischen den "Dingen" an, welche Dinge im Argument  $p$  der betreffenden Vorschrift (Funktion) vorkommen, wobei eine Vorschrift (Funktion) aus  $\Gamma^0$  auf einen Punkt (Knotenpunkt) desjenigen Raums bezogen worden ist, welcher einer Senke entspricht. Enthält  $\Gamma^0$  mehrere Vorschriften (Funktionen) bezüglich eines Punktes,

dann ist der entsprechende Grad 
$$g^h_{|sV}(p) = \min_f \{g^h_{|sV}(p,f)\}$$

für  $h = -, +, 0$  und für  $f \in \Gamma^0$ . Um es zu illustrieren, liegen drei Beispiele vor:

- Kreis: In der analytischen Darstellung eines Kreises ist die Funktion  $y = f(x)$  zweiwertig, mit Ausnahme von  $x=x_0 \pm r$ .
- Gerade: In der analytischen Darstellung der Gerade mit der Funktion  $x=0$  nimmt die Funktion  $y = f(x)$  unendlich viele Werte an. In der parametrischen Darstellung ist es eindeutig.
- Klotoide: In der analytischen Darstellung der Klotoide ist die Funktion  $y = f(x)$  in ihrem lokalen Koordinatensystem für einen bestimmten Wert  $x^*$  im Bereich  $|x| < x^*$  einwertig und im Bereich  $|x| > x^*$  hat sie eine unendliche Wertigkeit und in den Punkten  $|x| = x^*$  ist sie zweiwertig.

**Definition 9:** Existieren globale semiotische Stabilitäten zwischen zwei Punkten eines Raums, welcher einer Senke entspricht, dann können die Definitionen des Grades der globalen semiotischen Normal-, 'Nach'- und 'Vor'-Verbundenheit  $g^h_{gsV}(p,f)$  und  $g^h_{gsV}(p) = \min_f \{g^h_{gsV}(p,f)\}$  für  $h = -, +, 0$  und für  $f \in \Gamma^0$  analog der Definition 1 formuliert werden. Diese Definition kann durch die gegenseitigen Lagen der Geraden, Kreise und Klotoide illustriert werden, falls man entweder ihre analytischen oder ihre parametrischen Darstellungen nimmt, um die gegenseitigen Lagen herzuleiten.

---

<sup>34</sup> Siehe Bezeichnungen im Abschnitt 'Beispiele'.



### Definition 10:

(1) Die verschiedenen Grade der lokalen und globalen semiotischen Verbundenheit seien in einem Raum  $R^0$ , welcher als Senke im Netzwerk von  $R_M$  gilt, gegeben. Die einzelnen Wertigkeiten werden den entsprechenden Kanten und Knoten zugeordnet.

(2) In allen Räumen  $R^i$ , welche im Netzwerk von  $R_M$  als Senke sind, gelten die Aussagen gemäss (1).

(3) Geht man von einem Raum  $R^i$  in einen anderen Raum  $R^j$  mit  $i \neq j$  über, dann bildet man gemäss Definition 8 den Grad der globalen semiotischen Normal-, 'Nach'- und 'Vor'-Verbundenheit. Der reziproke Wert dieses Grades wird im Netzwerk von  $R_M$  zu den entsprechenden Kanten zwischen  $R^i$  und  $R^j$  zugeordnet. Man ordnet der fiktiven Senke  $S^0$  und den fiktiven Kanten den Wert  $\infty$ , dann wird der Grad der offenen semiotischen Normal-, 'Nach'- und 'Vor'-Verbundenheit durch das Reziproke des maximalen Flusses der Wertigkeiten zwischen  $R^j$  und  $S^0$  definiert. Im weiteren dient diese Definition als die des Grades der semiotischen Verbundenheit.

### **Das semiotische Mentalmodell**

Die statischen Komponenten sind die semiotisch beschriebenen Räume mit ihren Dekompositionen und mit deren Zusammenhängen. Diese Dekompositionen und Zusammenhänge sind Bestandteile der semiotischen Fortsetzung. Die dynamischen Komponenten sind die definierten Mentalprozesse, d.h die Wahrnehmung, die Intuition, die Imagination und die Assoziation. Die Kommunikation zwischen diesen Prozessen geschieht in Form einer allgemeinen Rekursion und wird durch Kontrollprozesse gesteuert, wobei die Steuerparameter, dh die charakteristischen Variablen und die Zustandsvariablen, von den Graden der semiotischen Verbundenheiten gemäss den semiotischen Fortsetzungen abhängen.

untereinander kommunizieren können. So kann das Modell die Rolle sowohl eines Senders wie auch die eines Empfängers übernehmen. Aus diesem Grund lässt sich ein Modell eines strategischen Spieles (Neumann [1953], Zi.mann[1987]) formulieren, um die Entstehung von abstrakten kulturellen Einheiten zu simulieren: Der Sender beschreibt in seinem Modellraum ein Objekt  $G$  aus  $R_G$ . Das beschriebene Objekt wird durch  $G_S$  bezeichnet.  $\xi_S(t_j, G_S)$  steht für die Stabilität und  $g_S(t_j, G_S)$  für den Grad der semiotischen Verbundenheit in einer Zeitspanne  $t_j$ . Der Empfänger interpretiert das Symbolsystem  $G_S$  in seinem Modellraum, stellt eine Stabilität von  $\xi_E(t_j, G_E)$  und einen Grad der semiotischen Verbundenheit von  $g_E(t_j, G_E)$  fest. Die Modelle des Senders und des Empfängers arbeiten so, dass

$$\min_i \max_j \{ g_S(t_j, G_S) - g_E(t_j, G_E) \} = \max_i \min_j \{ g_S(t_j, G_S) - g_E(t_j, G_E) \}$$

erfüllt ist. Dabei gilt die linke Seite des Ausdruckes für den Sender und die rechte für den Empfänger. Ein derartiges strategisches Vorgehen heisst - im weiteren - semiotische Modellierung und derer Beschreibung das semiotische Mentalmodell bzw das semiotische Modellierungsschema welches in Folgenden formal beschrieben wird:

**Mentalmodell:**     $MM$     :     $M \rightarrow M$  mit     $M = B \times S \times G$

Denken:             $D$             :             $M \times \underline{X} \rightarrow \underline{Y}$

Der Prozess 'Denken' drückt aus, welche Bereiche des Mentalmodells aktiv sein können. Diese Bereiche können nach der bisherigen Schreibweise bezeichnet werden:

$X, Y \in \{B, S, G, R, M\}$ ,     $\underline{Q} = Q \mid Q^q \mid Q^{q,j} \mid Q$  mit  $Q = X, Y$  und  $j = 1, 2, \dots, n_q$ .

Einstieg:             $E$             :             $D \times A \times M \times \underline{X} \rightarrow \underline{S}$

Dieser Prozess legt die Absichten fest und zeigt, dass die Richtung der Modellierung initialisiert werden soll.

**Wahrnehmung:**  $W : D \times A \times E \times M \times \underline{S} \rightarrow \underline{G}^I$  (I steht für Input)

Das Symbolsystem  $\underline{G}^I$  entspricht einer Kollektion von Beobachtungen über  $\underline{R}$ , d.h. über dem, was zu modellieren ist.

**Intuition:**  $I_n : D \times E \times W \times A \times M \times \underline{G}^I \rightarrow R^{b,j}_B, R^{s,k}_S, F_{n_b, n_s}, \Gamma^0, \varepsilon_{In}, g_{In}$

**g**  $F_{elem} : M \times \underline{G}^I \rightarrow R^{b,j}_B, R^{s,k}_S$

**b**  $F_{oper} : M \times \underline{G}^I \rightarrow F_{n_b, n_s}$

**s**  $F_{anwend} : M \times \underline{G}^I \rightarrow \Gamma^0$

**c**  $F_{kontr} : M \times \underline{G}^I \rightarrow \varepsilon_{In}, g_{In}$

$j = 1, 2, \dots, n_b$  und  $k = 1, 2, \dots, n_s$

Diese Operationen stellen für die Modellierung das mögliche bzw gewünschte, aus Symbolsystemen bestehende Instrumentarium zusammen.

**Imagination**  $I_m : D \times E \times W \times IN \times M \times \underline{G}^I \rightarrow G^*, G^{**}, G^0, \varepsilon_{Im}, g_{Im}$

**g** Regel :  $\{1, 2, \dots, n_s\} J_s, \{1, 2, \dots, n_b\} J_b, F_g, F_{g0} \in F_{n_b, n_s}$

**b**  $F_g : \underline{G}^I \times \prod_j R^{b,j}_B \times \prod_k R^{s,k}_S \rightarrow G^*$

**b**  $F_{g0} : G^* \times \prod_j R^{b,j}_B \times \prod_k R^{s,k}_S \rightarrow G^{**} \in R^0_G$

wobei  $j \in J_b, k \in J_s$

**s**  $\gamma : G^I \times G^{**} \rightarrow G^0$  wobei  $\gamma \in \Gamma^0$

**c**  $\gamma_{kontr} : \varepsilon_{in} \times \underline{G}^I \times G^* \times G^{**} \times G^0 \rightarrow \varepsilon_{im}, g_{Im}$

(Dabei steht  $\prod_j$  für eine  $(j - 1)$ -fache Wiederholung des kartesischen Produktes.)

Das von der Intuition bereitgestellte Instrumentarium wird aktiviert und seine Wirkung bewertet.

**Assoziation:**  $A : D \times E \times W \times I_n \times I_m \times G^I \times \prod_j R^{X,j}_X \rightarrow R_Y, \mathcal{E}_{\text{kontr}}, g_{\text{kontr}}$

**g** Regel :  $\{1, 2, \dots, n_X\} \quad J_X \text{ und } X \in \{R, B, S, G, M\}$

**b** Regel :  $Y = R, B, S, G \text{ und } j \in J_Y$

**s**  $F_{\text{an}Y}$  :  $\underline{X} \times \prod_j R^{X,j}_X \rightarrow R_Y$  (Vereinigung)

**s**  $F_{\text{ac}Y}$  :  $\underline{X} \times \prod_j R^{X,j}_X \rightarrow R_Y$  (Konnotation)

**c**  $f_{\text{kontr}}$  :  $\mathcal{E}_{I_n} \times \mathcal{E}_{I_m} \times \underline{X} \times \prod_j R^{X,j}_X \times R_Y \rightarrow \mathcal{E}_{\text{kontr}}$

**c**  $f_{\text{kontr}}$  :  $g_{I_n} \times g_{I_m} \times \underline{X} \times \prod_j R^{X,j}_X \times R_Y \rightarrow g_{\text{kontr}}$

**Kontrolle:**  $K : G^I \times G^* \times G^{**} \times G^0 \times \mathcal{E} \rightarrow \{\text{wahr, falsch}\}$

Basierend auf dieses vereinfachte Mentalmodell können die Mentalprozesse Erkennen, Erlernen, Analysieren und Synthetisieren definiert werden, welche im wesentlichen Assoziationen sind:

**Erkennen** bedeutet, unter den durch die Assoziation konnotierten algebraischen Systemen partielle Graphisomorphismen<sup>31</sup> festzustellen.

**Erlernen** ist ein Prozess, in welchem der Grad der semiotischen Verbundenheit unter den partiellen Graphisomorphismen bestimmt wird, so dass sie mit einer reduzierten Anzahl von Mentalprozessen reproduziert werden können<sup>32</sup>.

Die Prozesse **Analysieren** und **Synthetisieren** sind Assoziationen, vor deren Aktivierung die Objekte der Räume  $R_G$ ,  $R_B$  und  $R_S$  kombinatorisch geändert werden können, und haben dadurch die Eigenschaft, neue Objekte zu kreieren. Diese kreierten Objekte werden mit den bestehenden Objekten dieser Räume mengentheoretisch vereinigt und die Assoziationen neu aktiviert. Diese Rekursion geht so lange weiter, bis die gezielt ausgewählten Kontrollprozesse aus  $R_S$  stabil werden.

<sup>31</sup> Siehe Lassmann[1987], Lovász[1986].

<sup>32</sup> Dieser Prozess steht mit den Prinzipien des Konnektionismus (Gallant[1988], Kohonen[1988]) im Einklang.

## Bewertung

Das oben eingeführte semiotische Mentalmodell beruht auf algebraischen Systemen von Symbolsystemen und erlaubt, mit Hilfe der vierer bzw. dreier Gliederung der semiotischen Räume nach den im Modell beschriebenen Regeln semantische Zusammenhänge unseres Wissens systematisch<sup>33</sup> zu erarbeiten bzw. zu repräsentieren. Das systematische Vorgehen ermöglicht, unsere natürliche Denkweise zu simulieren und eröffnet dadurch den Weg zu einer Menge von Applikationen.<sup>34</sup> Zur Illustration der vielfältigen Anwendung sei erlaubt,

- einige Aussagen von philosophischer Natur ohne Nachweis der Begründung zu erwähnen (welche Beispiele im Kreise der Künstlichen Intelligenz auf Interesse stossen können),
- einige Beispiele aus der Geometrie zu erwähnen, (welche Beispiele bekannt sein sollten) und
- ein Projektent- und abwicklungssystem zu entwerfen, (wobei das semiotische Modellierungsschema auf sich selbst angewendet wird).

## Aussagen<sup>35</sup> von philosophischer Natur

Das semiotische Modellierungsschema als Modell ist ein brauchbares Hilfsmittel, um zu erklären

- die Änderungen der Syntax einer Sprache,
- die Semantik und die semantische Änderung der imaginären Objekte, welche für irgendetwas stehen,
- die Entstehung neuer imaginären Objekte,
- die Entstehung der Logik und ihrer Entwicklung, wobei die Fähigkeit, nämlich eine natürliche Sprache zu haben, eine der hinreichendsten Faktoren ist,
- die Entstehung neues Wissens und seines Repräsentationsmittels.<sup>36</sup>

---

<sup>33</sup> Hier besteht eine enge Analogie zu den semantischen Netzen (Brauer[1980]). Das semiotische Modellierungsschema ist ein semantisches Netz, mit dessen Hilfe andere semantische Netze systematisch aufgestellt werden können.

<sup>34</sup> Die Grundlage des semiotischen Modellierungsschemas wurde zwecks Wissensakquisition und -repräsentation während der Analyse eines Grundbuchplan-Interpreters erarbeitet und stellte man fest, dass man das Schema sehr vielschichtig verwenden kann.

<sup>35</sup> Diese Aussagen sind heute offene Probleme und stützen sich unter anderem auf die Arbeiten von Dawkins[1976], Eco[1976], Winograd[1976], Winograd[1983] und Kohonen[1988].

<sup>36</sup> Eine Diskussion dieser Aussagen und darauf direkt anschliessbarer Themen würden den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Die Erwähnung dieser Aussagen sollen auf ein breites Spektrum der möglichen Anwendungen hinweisen.

## Beispiele<sup>37</sup> aus der Geometrie

### Aus der elementare Funktionslehre:

- Ein Gegenstand aus  $R_R$  soll der Inhalt irgendeiner Vorschrift (Funktion) f sein.
- Der Ausdruck  $y=f(x)$  als Objekt aus  $R_G$  steht für eine Zuordnung eines Elementes  $x$  aus einer Menge  $X$  zu einem Element  $y$  aus der Menge  $Y$ .
- Der Bezugsraum  $R_B$  enthält Aussagen über die Elemente und über die Elementeigenschaften beider Mengen  $X$  und  $Y$ , welche Elemente in der Zuordnung vorkommen.
- Im Anschauungsraum  $R_S$  werden die Absichten mittels Aussagen beschrieben, wie die Zuordnung erfolgen soll, woraus die verschiedenen Eigenschaften der Vorschrift (Funktion)  $f$  abgeleitet werden können.

### Bezeichnungen:

- Nachbild: Die Teilmenge  $Y'$  von  $Y$ , welche alle, mit einem Element  $x$  aus  $X$  in Relation stehenden, Elemente  $y$  aus  $Y$  enthält, heisst Nachbild von  $x$  aus  $X$  in  $Y$  bezüglich der Vorschrift (Funktion)  $f$ .
- Vorbild: Analog ist das Vorbild von  $y$  aus  $Y$  bezüglich der Vorschrift (Funktion)  $f$ , welches eine Teilmenge  $X'$  von  $X$  ist, sodass die Teilmenge  $X'$  alle, mit einem Element  $y$  aus  $Y$  in Relation stehenden, Elemente  $x$  aus  $X$  enthält.
- Wertigkeit des Nach- bzw Vorbildes: Die maximale Kardinalität der Nach- bzw Vorbilder bezüglich aller  $x$  aus  $X$  heisst 'Nach'- bzw 'Vor'-Wertigkeit der Vorschrift (Funktion) f.

---

<sup>37</sup> Die nachfolgenden Beispiele stammen aus der elementaren Mathematik. Aus diesem Grund wird auf Genauigkeit und Vollständigkeit bei der Beschreibung von Fakten und Bedingungen verzichtet. Die Beispiele für semiotische Räume können von zwei verschiedenen Standpunkten aus, nämlich "Bottom-Up" und "Top-Down", betrachtet werden. In erstem Fall geht man davon aus, dass das Ding, als solches, bekannt ist, und deutet, basierend auf dieser Tatsache, die Begriffe der Semiotik. Im "Top-Down"-Fall geht man davon aus, dass die Semiotik, als solche, bekannt ist und man verwendet sie als Mittel, um das Ding semiotisch zu beschreiben. Dieser Aspekt wird ein Haupteigenschaft der semiotischen Vorgehensweise.

### Aus der Trigonometrie:

- $R_P$  als Raum der Gegenstände enthält ein rechtwinkliges Dreieck, welches von Standpunkt  $R_M$  aus beobachtet wird.
- $R_B$  als Bezugsraum enthält
  - (a) alle planimetrischen Eigenschaften des Dreiecks,
  - (b) die Teile des Dreiecks wie einen Spitzwinkel  $x$ , den  $x$  gegenüber liegenden Schenkel  $a$  und die Hypotenuse  $c$ , welche das Objekt der Beobachtung bilden, und
  - (c) die Tatsachen, dass  $0 < a < c$  und  $0 < x < \pi/2$ .
- $R_S$  als Anschauungsraum enthält eine Absicht, dass der Zusammenhang unter  $x$ ,  $a$  und  $c$  wiedergegeben werden sollte. Diese Absicht sollte mit Hilfe einer Bedingung  $g(x,a,c)=0$  zum Ausdruck gebracht werden.
- $R_G$  als Objektraum enthält die aus  $g(x,a,c)=0$  hergeleitete Funktion  $f$ , sodass  $f(x)=a/c$ . Für  $f$  wurde das Zeichen **sin** eingeführt.

### Aus der numerischen Analysis:

- Der Gegenstand (in  $R_P$ ) der Beobachtung (aus  $R_M$ ) soll die **sin** Funktion sein.
- $R_B$  als Bezugsraum enthält
  - (a) alle trigonometrischen Zusammenhänge,
  - (b) die Definition der Differenzierbarkeit, die auf dieser beruhende Bildung der Ableitung von Funktionen und die Definition der Funktion  $\sin(x)$  über  $-\pi < x < +\pi$ .
- $R_S$  als Anschauungsraum enthält die Absicht, dass der Funktionswert  $\sin(x)$  mittels eines Polynoms von beliebigem Grad mit einer Genauigkeit  $\epsilon$  errechnet werden soll.
- $R_G$  als Objektraum enthält dann, zum Beispiel die Maclaurin'sche Entwicklung der Funktion **sin** bis zu einem von  $\epsilon$  abhängigen Grad.

Aus der elementaren Geometrie:

Betrachten wir die Punkte der Ebene, dann enthält  $R_R$  diese Punkte und die Geraden. Die folgenden Aussagen gelten:

- Der Bezugsraum  $R_B$  entspricht den Axiomen (siehe zum Beispiel Lorenzen [1984]) über die Grundelemente, d.h. die Punkte und die Geraden, der Ebene. Die Distanz zwischen zwei Punkten ist eine Funktion (eine Regel), welche zu zwei Punkten eine reellen Zahl zuordnet, sodass die Regel (Bedingung)  $d(p,q)+d(q,r)=d(p,r)$  erfüllt, falls  $p,q$  und  $r$  auf einer Geraden und die Regel (Bedingung)  $d(p,q)+d(q,r)>d(p,r)$ , falls  $p,q$  und  $r$  nicht auf einer Geraden liegen.
- Der Objektraum  $R_G$  enthält Mengen von geometrischen Elementen, indem die Punkte mit gleichen Eigenschaften in einer Menge als geometrisches Element, zum Beispiel die geometrischen Örter, zusammengefasst sind.
- Der Anschauungsraum  $R_S$  entspricht Bedingungen (Regeln), welche unsere Absichten ausdrücken. Zum Beispiel, falls die Regel " $p^0 \in P \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^0) = \text{const}$ " in  $R_S$  zutrifft, dann bilden die entsprechenden Punkte  $p$  einen Kreis, welcher als ein Objekt in  $R_G$  angesehen werden kann.

Im Zeichen, für den allgemeinen Fall  $R_S : R_B \times R_R \rightarrow R_G \leftrightarrow R_R$  und für den konkreten Fall " $p^0 \in P \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^0) = \text{const}$ "  $\rightarrow$  Kreis.

Analog gelten

- " $p^1, p^2 \in P \quad \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^1) + d(p,p^2) = d(p^1,p^2)$ "  $\rightarrow$  Gerade( $G$ ),
- " $p^1, p^2 \in P \quad \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^1) + d(p,p^2) = \text{const}$ "  $\rightarrow$  Ellipse,
- " $p^1, p^2 \in P \quad \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^1) - d(p,p^2) = \text{const}$ "  $\rightarrow$  Hyperbel,
- " $p^0 \in P$  und  $g \in G \quad \exists p \in P$ , sodass  $d(p,p^0) - d(p,g) = \text{const}$ "  $\rightarrow$  Parabel.



## Aus der analytischen Geometrie:

- Betrachten wir die erwähnte Ebene mit der elementaren Geometrie zusammen als den modellierten Raum  $R_R$  und die oben eingeführten geometrischen Elemente als die Objekte des Raums  $R_R$ .

- $R_B$  enthält ein aus zwei orthogonalen Einheitsvektoren  $e_1$  und  $e_2$  bestehendes, gegen den Uhrzeigersinn drehendes kartesisches

Koordinatensystem, in welchem ein beliebiger Punkt  $p$  der Ebene gemäss  $R_R$  einem Ortsvektor  $r$  im  $R_M$  entsprechen kann. (D.h. der Punkt  $p$  wird durch  $r$  symbolisiert.) Im Bezugsraum  $R_B$  gelten die Gesetze der Vektorrechnung, welche auf der Basis der Grundformel  $r = x \cdot e_1 + y \cdot e_2$  auch numerisch durchgeführt werden kann.  $R_B$  enthält weiterhin die Theorien über die reellen Funktionen.

- $R_S$  enthält diejenige Aussagen, welche unsere Absichten "Suche diejenigen aus reellen Funktionen bestehenden Gleichungen, welche die Eigenschaften der elementaren geometrischen Elemente beschreiben" ausdrücken. Die Aussage, dass die variablen Grössen in den Gleichungen bezüglich eines Punktes das Koordinatenpaar sein soll, ist in der analytischen Geometrie dominierend, und damit wurde das Anwendungsziel implizit zum Ausdruck gebracht.

- Die in  $R_S$  enthaltenen Aussagen führen zu den folgenden Gleichungen, welche als Punkte im Raum  $R_G$  zu betrachten sind:

Gerade  $y = a \cdot x$   $a = (e_2, r) / (e_1, r)$  und  $r = p^1$  oder  $p^2$ ,

Kreis  $y^2 + x^2 = \text{const} > 0$   $\text{const} = \|p\|$ ,

Ellipse  $(y/a)^2 + (x/b)^2 = 1$   $\text{const} = 2 \cdot a$  und  $d(p^1, p^2) = 2 \cdot (a^2 - b^2)^{1/2}$ ,

Hyperbel  $(y/a)^2 - (x/b)^2 = 1$   $\text{const} = 2 \cdot a$  und  $d(p^1, p^2) = 2 \cdot (a^2 + b^2)^{1/2}$ ,

Parabel  $y^2 = 2 \cdot c \cdot x$   $\text{const} = 0$  und  $d(p^0, g) = c$ .

Dabei wurden  $(e_1, r)$  für die Symbolisierung des Skalarproduktes der Vektoren und  $\|p\|$  für jene des Betrags eines Ortsvektors verwendet. D.h.  $R_G$  enthält die analytischen Darstellungen der geometrischen Elemente.

## Aus der Differentialgeometrie:

Hier wird die Absicht in  $\mathbb{R}_S$  gegenüber den Absichten der analytischen Geometrie durch eine Aussage abgeändert: "Das Koordinatenpaar bezüglich eines Elementpunktes soll durch zwei von einer variablen Grösse (d.h. von dem Elementparameter) abhängigen reellen (oder unter Umständen auch komplexen) Funktionen ausgedrückt werden." Die entsprechenden Ergebnissen können durch die Integration der Krümmungsfunktionen<sup>38</sup> hergeleitet werden:

Gerade	$y(t) = y_0 + t \cdot \sin \omega_0$	$x(t) = x_0 + t \cdot \cos \omega_0,$
Kreis	$y(t) = y_0 + r \cdot \sin (t / r + \omega_0)$	$x(t) = x_0 + r \cdot \cos (t / r + \omega_0),$
Ellipse	$y(t) = y_0 + a \cdot \sin (t + \omega_0)$	$x(t) = x_0 + b \cdot \cos (t + \omega_0),$
Hyperbel	$y(t) = y_0 + a \cdot \sin (t + \omega_0)$	$x(t) = x_0 + i \cdot b \cdot \cos (t + \omega_0),$
Parabel	$y(t) = y_0 + (2 \cdot c)^{1/2} \cdot t$	$x(t) = x_0 + t^2.$

## Projektentwicklungssystem basierend auf dem semiotischen Modellierungsschema

### **Ausgangslage**

Ob ein Projekt realisiert wird oder nicht, hängt von vielen Faktoren ab. Sie können in drei Klassen eingeteilt werden: Die erste betrifft die theoretische und technische Realisierbarkeit, die zweite das marktwirtschaftliche Kosten-Nutzen-Verhältnis und die dritte die Finanzierung. Diese Klassen sind voneinander abhängig und diese Abhängigkeiten verursachen dem Management viele Probleme. Wir wollen nicht auf eine Diskussion dieser Probleme eingehen. Bei deren Lösung treten Fragen auf, welche je nach Individuum bewertet werden. Die Fragen bilden meistens einen logischen Zirkel, welcher von einer Produktidee hervorgerufen wird. Für Informatik-Projektvorhaben seien einige dieser Fragen erwähnt:

- Mit welchen vorgegebenen Qualitätsmerkmalen kann das Projekt im Zeitpunkt der Lancierung der Produktidee akzeptiert werden?
- Können diese vorgegebenen Qualitätsmerkmale im Laufe der Entwicklung überhaupt erreicht werden?
- Ist die Schätzung des zeitlichen und materiellen Entwicklungsaufwandes zuverlässig?

---

<sup>38</sup> siehe algebraische Strukturen geometrischer Objekte

- Wie gross ist das Risiko, dass das entwickelte Produkt während der Entwicklungszeit seine Aktualität verliert?
- Welche Strategie soll in der Managementebene eingeschlagen werden, damit das Unternehmen seine vorgegebene potentielle Lage nicht verschlechtert oder maximal verbessert?

Ausgehend von der Tatsache, dass die in den Fragen vorkommenden Grössen (d.h. die Qualitätsmerkmale des Produktes, Erreichbarkeit, Zuverlässigkeit der Schätzung, die Aktualität und die Auswahlkriterien für eine Strategie) nicht exakt quantifiziert sind, wird in Folgenden gezeigt, dass das semiotische Modellierungsschema ein Mittel sein kann, womit die gestellten Fragen systematisch bearbeitet werden können. Die zu analysierende bzw. zu lösende Aufgabe lässt sich mittels der semiotischen Formel darstellen: Gesucht ist ein Fixpunkt  $(R_G^*, R_R^*)$  der semiotischen Rekursionsformel<sup>40</sup>

$$R_S : R_B \times R_G \times R_R \rightarrow R_G \leftrightarrow R_R,$$

d.h.  $R_S : R_B \rightarrow R_G^* \leftrightarrow_{\epsilon} R_R^*,$

sodass die erwähnten fünf Fragen bezüglich des Produktes  $R_G^*$  quantitativ beantwortet werden. Die Lösung dieser Aufgabe ist die eigentliche Modellierung. Dabei enthält

- $R_R$  ein Ausschnitt der Realität und alle Vorstellungen darüber, welche die Produktidee wiedergeben:
- $R_S$  alle Vorstellungen, welche im Zusammenhang der erwähnten fünf Fragen vorkommen oder vorkommen können.
- $R_B$  alle theoretischen und technischen Mittel, welche im Zusammenhang mit  $R_R$  und  $R_S$  einsetzbar sind oder einsetzbar sein werden.
- $R_G$  das Modell (die Modellvarianten), welches (welche) der Produktidee entspricht (entsprechen).
- $\epsilon$  ein Mass, welcher die Stabilität der Kontrollprozesse bezüglich der semiotischen verbundenheit gemäss Definition 5 beschreibt.

---

<sup>40</sup> Rekursionsablauf mit Worten: Ausgehend von unseren Zielen ( $R_S$ ) stellen wir unser Wissen ( $R_B$ ) über einen Ausschnitt der Welt in einem Graphen ( $R_G$ ) dar und vergleichen diesen mit der Realität ( $R_R$ ). Während der Rekursion tauscht man Objekte unter den Räumen aus, bildet neue Objekte (vgl. Mentalmodell) und idealerweise strebt nach Isomorphismus zwischen den  $R_G$  und  $R_R$  an. Falls das Erreichen eines Isomorphismus nicht gelingt, wird man sich mit partiellem Isomorphismus in einer Stabilitätssufe  $\epsilon$  begnügen.

In der Analyse dieser Aufgabe werden diese Räume gemäss Definition 7 semiotisch fortgesetzt. In der Fortsetzung entstehende Aufgaben sind mittels der semiotischen Rekursionsformel auszudrücken. Dabei gelten die folgenden Prinzipien:

## Prinzipien

### Prinzip 1:

Jeder Aufgabe, welche die Herstellung eines Computerprogrammes bezweckt, geht ein Modell voran, welches

- gemäss unserer Absichtsvorstellung einen Sinn<sup>41</sup> ( $R_S$ ) hat,
- einen Ausschnitt der Realität ( $R_R$ ) simuliert
- auf der Basis unseres Wissens ( $R_B$ ) beruht und
- sich durch ein Netz, dessen Knoten und Linien auf die Modellobjekte bzw. auf deren Relationen hinweisen, schematisch darstellen lässt. Diese Darstellung entspricht dem eigentlichen graphartig zusammengestellten Modell ( $R_G$ ) der Realität ( $R_R$ ), d.h.  $R_G \leftrightarrow_{\varepsilon} R_R$ .

Dabei gilt,

- dass das Modell ( $R_G$ ) ein Resultat der semiotischen Anwendung der Absichtsvorstellung ( $R_S$ ) auf den Ausschnitt der Realität ( $R_R$ ) gemäss unserem Basiswissen ( $R_B$ ) ist, d.h.  $R_S : R_B \rightarrow R_G \leftrightarrow_{\varepsilon} R_R$ , und
- dass die Darstellung des Wissens aus den logischen Aussagen und aus numerischen Formeln besteht und sich algebraisch formulieren lässt.

*Folgerung:* Da die semiotische Zerlegung der Aufgabe erlaubt, die Abstraktionsebenen voneinander systematisch zu trennen, dient diese Zerlegung zur Kristallisierung der Objekte und zur Modularisierung der Probleme.

### Prinzip 2:

Da unser Wissen ( $R_B$ ) als eine Vorstellung über die Realität ( $R_R$ ) nur in seltenen Fällen widerspruchsfrei ist, wird die algebraisch und semiotisch konzipierte Modellierungsmethode eingesetzt, um im Rahmen eines Kommunikationsprozesses zwischen dem Auftraggeber und dem Software-Entwickler den Grad

---

<sup>41</sup> Im Raum S sind die Kontrollprozesse beinhaltet, welche in der Lösung der semiotischen Rekursionsformel als Stoppregel gelten. Daraus folgt, dass ein Grad der semiotischen Verbundenheit, welcher zu einer erzielten Stabilität der Kontrollprozesse gehört, auf die Unschärfe des Wissens hinweist. Dadurch kann das unsichere Wissen unter Kontrolle gehalten werden.

der Widerspruchsfreiheit (**gWF**) zu maximieren:

$$\mathbf{gWF}(R_G, R_R) \longrightarrow \text{maximum.}$$

Die algebraische Modellierungsmethode entspricht der Anwendung der Theorie der abstrakten Datentypen. Die semiotische Modellierungsmethode entspricht gemäss dem Mentalmodell den Mentalprozessen, mit deren Hilfe die semiotische Rekursionsformel gelöst werden kann. Die Mentalprozesse helfen durch die Zerlegung der semiotischen Räume die mögliche Vererbung der Eigenschaften der im Modell vorkommenden Objekte bis auf den Grad der semiotischen Verbundenheit festzulegen und dadurch ein Hilfsmittel zum Entwurf von objektorientierten Programmen zu liefern.

*Folgerung:* Durch Festlegung der Objekte und ihrer Eigenschaften werden die widersprüchlichen Auffassungen des Auftraggebers und des Modellierers reduziert und vielleicht auch eliminiert. Es sei bemerkt, dass der Auftraggeber und der Modellierer eine und dieselbe Person sein können.

#### Prinzip 3:

Jede Art der oben erwähnten zwei Modellierungsmethoden

- ist ebenfalls eine Wissensrepräsentationsmethode und
- erlaubt deshalb, das Wissen in seinem Gültigkeitsbereich einheitlich darzustellen und u.U. universal einzusetzen, und Widersprüchlichkeiten festzulegen bzw. zu beheben und
- trägt darum zur Wiederverwendbarkeit der entwickelten Programme viel bei.

*Folgerung:* Dokumentation und Spezifikation fallen zusammen und dadurch wird der Weg zu einer effizienten Entwicklung eröffnet.

#### Prinzip 4:

(Intelligente) Computerprogramme (d.h. die Tools)

- basieren auf (algebraische) Modellen( $R_G$ ) in unseren Vorstellungen und
- unterstützen bzw. übernehmen unsere geistige und manuelle Arbeit.

Dabei können die üblichen Qualitätsmerkmale wie Benutzerfreundlichkeit, Dokumentation, Effizienz, Fehlerfreiheit, Flexibilität, Integrität, Konsistenz, Korrigierbarkeit, Prüfbarkeit, Robustheit, Portabilität und Vollständigkeit zum grössten Teil quantifiziert werden und in einer Funktion 'ziel' zusammengefasst werden, welche zu optimieren ist:

$$\mathbf{ziel}(G) \longrightarrow \text{optimum.}$$

*Folgerung:* Ein fiktives Mass kann festgelegt werden, mit deren Hilfe die Qualitätsmerkmale einheitlich quantifiziert werden können. Diese Quantifizierung kann auf der Basis der 'Utility Theory' von Neumann[1953] durchgeführt werden.

#### Prinzip 5:

Die Qualität eines Computerprogrammes wird durch die Lösung der Optimierungsaufgabe

$$\text{gWF}(\mathbf{R}_G, \mathbf{R}_R) \rightarrow \text{minimum}$$

$$\text{ziel}(\mathbf{R}_G) \rightarrow \text{optimum}$$

$$\mathbf{R}_S : \mathbf{R}_B \rightarrow \mathbf{R}_G \leftrightarrow_{\epsilon} \mathbf{R}_R$$

beurteilt. Dank der übersichtlichen Darstellung des Modells lässt sich diese Aufgabe algebraisch erfassen und lösen. Dadurch können die Qualitätsmerkmale der jeweiligen Anwendung quantitativ errechnet werden, und zwar in jeden Schritt der semiotischen Fortsetzung.

*Folgerung:* Die verschiedenen Modellvarianten können in einer gemeinsamen Basis beurteilt werden.

Diese auf der semiotischen Rekursionsformel basierenden Prinzipien können in allen Phasen der Projektentwicklung eingesetzt werden, nämlich

- in der Analyse, welche erstens die Festlegung des Projektumfanges und die Erstellung eines globalen Pflichtenheftes zum Ziel hat ( $\rightarrow$  Grobanalyse) und zweitens die Erstellung des eigentlichen Pflichtenheftes bezweckt ( $\rightarrow$  Detailanalyse),
- in der Implementation, welche zum grössten Teil aufgrund des Pflichtenheftes automatisiert werden kann und
- in der Testphase, in der die Qualitätsmerkmale zueinander und dem Bedarf entsprechend abgestimmt werden können.

Dabei ist zu bemerken, dass jede dieser Phasen zur Lösung mindestens einer semiotischen Rekursionsformel führt und die Lösung einer semiotischen Rekursionsformel genau diese drei Phasen hat. Diese Tatsache ist eine direkte Folge der semiotischen Fortsetzung.

**Bewertung.** Die natürliche Eigenschaft der Modellierung, nämlich dass sie rekursiv ist, ist im semiotischen Modellierungsschema wiedergegeben. Seine vielen Teile lassen sich automatisieren. Es ist sogar durchaus zu erhoffen, dass das Schema in der Lage ist, neue Modellvarianten als Vorschlag automatisch zu erzeugen. Die nach der Modellierung entstanden Objekte, die im Raum  $R_G$  liegen, sind mittels Graphen zusammengesetzte Symbolsysteme, welche

- für die Objekte aus dem modellierten Raum  $R_P$  stehen,
- aus dem Raum  $R_S$  den selektierten Intentionen entsprechen, welche auch als Symbolsysteme dargestellt sind, und
- aus den Objekten des Raums  $R_B$  zusammengesetzt sind.

Daraus folgt, dass die im Modell vorkommenden Objekte sich selbst erklären, bis auf die sogenannten Terminalobjekte aus  $R_B$ , welche im Laufe der semiotischen Fortsetzung aus praktischen Effizienzgründen und aus erkenntnistheoretischen Gründen nicht mehr zerlegt werden. Die Intelligenz des Modells (Computerprogramms) wird dann auf die 'Tiefe' der Zerlegung zurückgeführt.

Dementsprechend kann man ableiten, dass sich das Modell eignet

- für die Behandlung von Problemen betreffend Datenakquisition und Wissensrepräsentation<sup>45</sup>, wobei das Wissen und die Daten auch unscharf sein können,
- für die Aufstellung eines Interaktions- und Automationsmodells<sup>46</sup> für Konstruktion, Lernen und Erkennen von Objekten,
- für die Entwicklung einer Shell für Modellierung und Softwareherstellung,
- und vielleicht noch für viel mehr.

---

<sup>45</sup> Siehe die Arbeit Krasznai[1989], welcher die Aufstellung des semiotischen Modellierungsschema zu verdanken ist.

<sup>46</sup> Die folgenden Definitionen können zur Lösung einiger Probleme im Software Engineering angewendet werden:

- Das Interaktionsmodell ist eine formale Sprache (der Symbolsysteme) über Symbolsysteme, sodass diese Sprache über semiotische Zusammenhänge von algebraischen Modellen und deren Komponenten zwischen Mensch und Maschine Aussagen vermittelt.
  - Das Automationsmodell ist ein rekursiv arbeitendes, unser Mentalmodell simulierendes und aus Intuition, Imagination und Assoziation bestehendes Modell, welches
    - sich nach der Metrik des Grades der semiotischen Verbundenheit orientiert,
    - Daten als semiotisch definierte Symbolsysteme verarbeitet,
    - die Form von algebraisch definierten Kommunikationsprozessen wiedergibt und
    - die Fragen wie 'Welche Prozeduren welche andere Prozeduren auslösen?' und 'Wie sie untereinander kommunizieren?' durch die vorgegebenen Regelsysteme beantwortet, die auf der semiotischen Verbundenheit beruhen.

## Literatur

- Ade[1986]:** Ade, F., Gerig G., Ilg, M. und Klein, F.: Verstehen von Landkarten, in: Informatik Fachberichte 125, Springer, Heidelberg, 1986. (Proceedings, 8. DAGM Symposium, Paderborn, 1986)
- Appelrath[1985]:** Appelrath, H.-J.: Von Datenbanken zu Expertensystemen, Informatik Fachberichte 102, Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- Bédard [1986]:** Bédard, Y.: A Study of the Nature of Data using a Communication based Conceptual Framework of Land Information Systems, Diss., The Graduate School University of Maine at Orono, 1986.
- Beech[1987]:** Beech, D.: "Groundwork for an Object Database", in: Shriver[1987].
- Bergstra[1984]:** Bergstra, J.A. and Klop, J.W.: Algebra of communicating processes, Centrum voor Wiskunde en Informatica, Departement of Computer Science, Report CS-R8421, Amsterdam, 1984.
- Birolini[1988]:** Birolini, A.: Qualität und Zuverlässigkeit technischer Systeme, Springer-Verlag, Berlin, 1988.
- Blackburn[1989]:** Blackburn, M.R.: Using Expert Systems to Construct Formal Specifications, in: IEEE Expert, Vol. 4., No. 1, Spring 1989.
- Blaha[1988]:** Blaha, M.R., Premerlani, W.J. and Rumbaugh, J.E.: "Rational database design using an object-oriented Metodology", in: Communications of the ACM, Vol. 31, Number 4, April 1988.
- Brägger[1987]:** Brägger, R. P.: Wissensbasierte Werkzeuge für den Datenbank-Entwurf, Informatik-Dissertationen ETH Zürich, Nr. 2, 1987.
- Brassel[1987]:** Brassel, K.: Geographische Informationssysteme, Swiss Computer Graphik Association, Seminar, Zürich, 26.-27. März 1987.
- Brauer[1980]:** Brauer, W.: Proceedings of the Advanced Course on General Net Theory of Processes and Systems, Hamburg, 1979.  
(Net Theory and Applications. In: Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Berlin, 1980:  
• Genrich, et al.: Introduction to General Net Theory;  
• Jantzen, et al.: Formal Properties of Place/Transition Nets;  
• Best: Atomicity of Activities;  
• Zuse: Petri-Nets Form the Engineer's viewpoint)
- Brodie[1984]:** Brodie, M.L., Mylopoulos, J. and Schmidt, J.W.: On Conceptual Modelling, Springer-Verlag, New York, 1984.
- Bunke[1988]:** Bunke, H., Kübler, O. und Stucki, P.: Mustererkennung 1988, 10. DAGM-Symposium, Zürich September 1988, Proceedings, in: Informatik- Fachberichte 180, Springer-Verlag, 1988.
- Carnap[1922]:** Carnap, R.: Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre, Verlag von Reuther & Reichard, Berlin, 1922.



- Chevalier[1983]:** Chevalier, J.-J.: Une Approche systémique des Systèmes d'Information du Territoire et de leur Intégrité, Thèse N° 503., École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 1983.
- Chin[1986]:** Chin, R.T. and Dyer, Ch.R.: Model-Based Recognition in Robot Vision, ACM, Computing Surveys, Juni 1986.
- Cohn[1981]:** Cohn, P.M.: Universal Algebra, D.Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1981.
- Corbett[1980]:** Corbett, J.: Topological Models for architectural and engineering Projects, AutoCarto IV, 1980.
- Dalen[1980]:** van Dalen, D.: Logic and Structure, Springer, Berlin, 1980.
- Danforth[1988]:** Danforth, S., and Tomlinson, C.: "Type Theories and Object-Oriented Programming", in: ACM Computing Surveys, Vol.20, Number 1, March 1988.
- Dawkins[1976]:** Dawkins, R.: The selfish gene, Oxford University Press, Oxford, 1976
- Earnshaw[1985]:** Earnshaw, R.A.: Fundamental Algorithms for Computer Graphics, in NATO ASI Series F, Vol. 17., Springer-Verlag, Berlin, 1985.
- Earnshaw[1987]:** Earnshaw, R.A. : Theoretical Foundation of Computer Graphics and CAD, in NATO ASI Series F, Vol. 17., Springer-Verlag, Berlin, 1987.
- Eckstein[1988]:** Eckstein, W.: "Das ganzheitliche Bildverarbeitungssystem HORUS", in: Bunke[1988].
- Eco[1976]:** Eco, U.: A Theory of Semiotics, Indiana University Press, Bloomington, Ind., 1976.
- Eco[1987]:** Eco, U.: Semiotik, Entwurf einer Theorie der Zeichen, Wilhelm Fink Verlag, München, 1987.
- Egeli[1986]:** Egeli-Seiler, E.: Modellgesteuerte Analyse komplexer Strukturen in Graphiken, Dissertation, ETH, Zurich, 1986.
- Engeler[1988]:** Engeler, E. und Läubli, P.: Berechnungstheorie für Informatiker, B. G. Teubner, Stuttgart, 1988.
- Foley[1982]:** Foley and van Dam: Fundamentals of Interactive Computer Graphics, Addison-Wesley, Reading, Mass., 1982.
- Ford[1962]:** Ford, L.R. and Fulkerson, D.R.: Flow in Networks, Princeton University Press, New Jersey, 1962.
- Frank[1983]:** Frank, A.: Datenstrukturen für Landinformationssysteme - semantische, topologische und räumliche Beziehungen in Daten der Geo-Wissenschaften, ETH, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Mitteilungen Nr. 34, Zürich, 1983.
- Frank[1987]:** Frank, A : Computer Assisted Spatial Information Systems, Classnotes of three courses at the University of Maine, Reproduction with permission from the autor, ETH, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Zürich, 1987.

- Fu[1982]:** Fu, King-sun and Kunii, T.L.: Picture Engineering, Springer-Verlag, Berlin, 1982.
- Gallaire[1984]:** Gallaire, H., Minker, J. and Nicolas, J-M.: "Logic and Databases: A Deductive Approach", in: ACM Computing Surveys, Vol.16, Number 2, Juni 1984.
- Gallant[1988]:** Gallant, S.I.: "Connexionist expert systems", in: Communications of the ACM, Vol.31, Number 2, Febr., 1988.
- Genesereth[1987]:** Genesereth, M.R. and Nilsson, N.J.: Logical foundations of artificial Intelligence, Morgan Kaufmann Publishers, Inc. , Los Altos, California, 1987.
- Glabbeek[1986]:** van Glabbeek, R.J.: Notes on the methodology of CCS and CSP, Centrum voor Wiskunde en Informatica, Departement of Computer Science, Report CS-R8624, Amsterdam, 1986.
- Gmür[1988]:** Gmür, E. und Bunke, H.: "PHI-1: Ein CAD-basiertes Robotersichtsystem", in: Bunke[1988].
- Grefenstette[1985]:** Proceedings of an international Conference on genetic algorithms and their applications, John J. Grefenstette, US Navy Center for Applied Research in Artificial Intelligence, 1985.
- Gunzinger[1988]:** Gunzinger, A, Mathis, S. und Guggenbühl, W.: "Datenflussrechner zur Echtzeitbildverarbeitung: Anwendungen", in: Bunke[1988].
- Haugeland[1987]:** Haugeland, J.: Künstliche Intelligenz - Programmierte Vernunft, Hamburg, New York - MacGraw Hill, 1987.
- Hoare[1972]:** Hoare, C.A.R. and Allison, D.C.S.: Incomputability, ACM Computing Surveys, Vol. 4. No. 3., September 1972.
- Ilg[1986]:** Ilg, M.: Digital Processing of Map Data in Raster Format, Dissertation, Geographisches Institut, ETHZ, Zurich, 1986.
- Jelinek[1985]:** Jelinek, F.: The Development of an Experimental Discrete Dictation Recognizer, Proceedings of the IEEE, Vol. 73, No. 11, p. 1616-1624, November 1985.
- Kacprzyk[1987]:** Kacprzyk, J. & Orlovski, S.: Optimization models using fuzzy sets and possibility theory, in: theory and Decision library, Series B: Mathematical and statistical methods, D. Reidel Publishing Company, Dordrecht, 1987.
- Kempen[1987]:** Kempen, G.: Natural Language Generation, in: NATO ASI Series E, Vol. 135., Martinus Nijhoff Publ., Dordrecht, 1987.
- Kleene[1952]:** Kleene, S.: Introduction to Metamathematics, North-Holland Publishing, Amsterdam, 1952.
- Kleene[1987]:** Kleene, S. C.: Logique Mathématique, Éditions Jacques Gabay, Paris, 1987.
- Klein[1987]:** Klein, F.: Vollständige Mittelachsenbeschreibung binärer Bildstrukturen mit euklidischer Metrik und korrekter Topologie. Dissertation, Nr. 8411, ETH, Zurich, 1987.

- Klir[1988]:** Klir, George J. & Folger, Tina A.: Fuzzy sets, uncertainty, and information, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1988..
- Kohonen[1988]:** Kohonen, T.: Self-Organization and Associative Memory, Springer,Berlin, 1988.
- Krasznai[1989]:** Krasznai, A.P.: Theoretische Diskussion eines automatischen Grundbuchplan-Interpreters, ETHZ, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 162, Zürich, 1989.
- Kuhn[1989]:** Kuhn, W.: Interaktion mit raumbezogenen Informationssystemen: Vom Konstruieren zum Editieren geometrischer Modelle, Dissertation, ETH Zurich, 1989.
- Kuhn[1989]/1:** Kuhn, W.: Geometrischer Modellierung in raumbezogenen Informationssystemen: Die Methode der Zellkomplexe, Mitteilungen der geodätischen Institute der Technischen Universität Graz, Folge 64, 1989.
- Lassmann[1987]:** Lassmann, G.: Über Teilgraphenisomorphismen bei gerichteten Graphen, Technische Universität Berlin, Dissertation, 1987.
- Lorenzen[1984]:** Lorenzen, P.: Elementargeometrie, Bibliographisches Institut, Hochschultaschenbücher, Band 400, 1984.
- Lovász[1986]:** Lovász, L. and Plummer, M.D.: Matching Theory, Nort-Holland, Amsterdam, 1986.
- Mal'cev[ 1973]:** Mal'cev, A.I.: Algebraic Systems, Springer-Verlag, Berlin, 1973.
- Meyer[1988]:** Meyer, B.: Object-oriented Software Construction, Prentice Hall, International Series in Comp. Science, New York,1988.
- Milner[1979]:** Milner.R.: Flowgraph and Flow Algebras, Journal of ACM, Vol. 26. No. 4., October 1979.
- Milner[1980]:** Milner, R.: A Calculus of Communicating Systems, In: Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, Berlin, 1980.
- Mitchel[1987]:** Mitchel,W.J., Liggett, R.S. and Kvan, T.: The Art of Computer Graphics Programming, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1987.
- Neumann[1953]:** von Neumann, J. and Morgenstern, O.: Theory of games and economic behavior, Princeton University Press, Princeton, 1953.
- Nevatia[1982]:** Nevatia, R.: Machine perception, Prentice - Hall, Inc.,Englewood Cliffs, New Jersey, 1982.
- Newell[1979]:** Newell: Physical symbol systems, Cognitive Science 4, p.135-183.
- Newman[1979]:** Newman,W.M. and Sproull,R.F.: Principles of Interactive Computer Graphics, McGraw-Hill Book Company, New York, 1979.
- Nilsson[1982]:** Nilsson, N.J.: Principles of Artificial Intelligence, Springer, 1982.
- Nivergelt[1972]:** Nivergelt, J. and Farrar, J.C.: What Machines Can and Cannot Do?, ACM Computing Surveys, Vol. 4. No. 2., June 1972.

- Nyerges[1980]:** Nyerges, T. : Modeling the structure of cartographic information for query processing, Dissertation, The Ohio State University, 1980.
- Overmars[1988]:** Overmars, M.H.: "Geometric data structures for computer graphics: an overview", in: Earnshaw[1988].
- Pavlidis[1988]:** Pavlidis, T.: "Image Analysis and Graphics", in: Earnshaw[1988].
- Peckham[1988]:** Peckham, J., and Maryanski, F.: "Semantic Data Models", in: ACM Computing Surveys, Vol.20, No. 3, September 1988, p. 153-190.
- Péter [1976]:** Péter, R.: Rekursive Funktionen in der Komputer-Theorie, Akadémiai Kiadó, Budapest, 1976.
- Polya[1949]:** Polya, G.: Schule des Denkens, Francke, Bern, 1949/1980.
- Rao[1989]:** Rao, N.S.V.: Algorithmic Framework for Learned Robot Navigation in Unknown Terrains, in: Computer, IEEE Computer Society, June 1989.
- Roessel[1984]:** van Roessel, J.W. and Fosnight, E.A.: A relational Approach to Vector Data Structure Conversion, AutoCarto VII, 1984.
- Rumelhart[1986]:** Rumelhart, D.E, McClelland, J.L. and PDP Research Group: Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition, V.1: Foundations, V.2: Psychological and Biological Models, The MIT Press, Cambridge, 1986.
- Saalfeld[1985]:** Saalfeld, A.: Lattice Structures in Geography, AutoCarto VII, 1985.
- Samet[1984]:** Samet, H.: "The Quadrees and Related Hierarchical Data Structures", in: ACM Computing Surveys, Vol.16, Number 2, Juni 1984.
- Samet[1988]:** Samet, H.: "Hierarchical Representations of Collections of Small rectangles", in: ACM Computing Surveys, Vol.20, Number 4, December 1988.
- Sharir[1989]:** Sharir, M.: Algorithmic Motion Planning in Robotics, in: Computer, IEEE Computer Society, March 1989.
- Shriver [1987]:** Shriver, B. and Wegner, P.: Research Directions in Object- Oriented Programming, MIT Press, Series in Computer Systems, Cambridge, 1987.
- Skarra[1987]:** Skarra, A.H. and Zdonik, S.B.: "Type Evolution in an Object- Oriented Database", in: Shriver[1987], pp. 393-415.
- Sloman[1978]:** Sloman, A.: The Computer Revolution in Philosophy, Redwood Burn Limited, The Harvester Press, London, 1978.
- Sonder[1989]:** Sonder, G.: Konzept für Iconeditor, ETHZ, Abt. IIIc, Semesterarbeit, Zürich, 1989.
- Sowa[1984]:** Sowa, J.F.: Conceptual Structures: Information Processing in Mind and Machine, Addison-Wesley Publishing Company, Reading, Massachusetts, 1984.
- Stengel[1986]:** Stengel, R.F.: Stochastic Optimal Control - Theory and Application, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1986.

- Stucki[1987]:** Stucki, P. und Strasser, W.: Computer Graphik, Swiss Computer Graphik Association, Seminar, Zürich, 2.-3. April 1987.
- Studemann[1988]:** Studemann, B.: Datenstrukturen und Datenbanken, Vermessung, Photogrammetrie, Kulturtechnik, 5/1988.
- Sugihara[1986]:** Sugihara, K.: Machine Interpretation of Line Drawings, The MIT Press Cambridge, Massachusetts, 1986.
- Tucker[1988]:** Tucker, L.W. and Robertson, G.G.: Architecture and Applications of the Connection Machine, in: Computer, IEEE Computer Society, August 1988.
- Webber[1981]:** Webber, B.L. and Nilsson, N.J.: Readings in Artificial Intelligence, Tioga Publishing Company, Palo Alto, California 1981.
- Webster[1988]:** Webster, D.E.: "Mapping the Design Information Representation Terrain", in: Computer, IEEE Computer Society, Dec. 1988, p.8-23.
- Wechsler[1988]:** Wechsler, H. and Zimmerman, G.L.: "2-D Invariant Object Recognition Using Distributed Associative Memory", in: IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 10, Number 6, November 1988.
- White[1979]:** A Geometrical Model for Error Detection and Correction, Auto Carto III, 1979.
- White[1980]:** White, M.: A Survey of the Mathematics of Maps, AutoCarto IV, 1980.
- White[1983]:** White, M.: Tribulations of automated Cartography and how Mathematics helps, AutoCarto VI, 1983.
- White[1984]:** White, M.: Technical Requirements and Standards for a Multipurpose Geographic Data System, The American Cartographer, 1984.
- White[1987]:** White, M.: HILS, Development of a Human Interfaced Least Squares Adjustment, Master Thesis, University of Maine, USA, Reproduktion: ETH, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 131, Zürich, 1987.
- White[1988]:** White, M.: HILS, Human Interface to Least Squares, Benutzer-Anleitung, ETH, Institut für Geodäsie und Photogrammetrie, Bericht Nr. 152, Zürich, 1988.
- Winograd [1976]:** Winograd, T.: Understanding Natural Language, Edinburgh at University Press, 1976.
- Winograd[1983]:** Winograd, T.: Language as a Cognitive Process, Addison-Wesley Publishing Company, London, 1983.
- Wirth[1983]:** Wirth, N.: Algorithmen und Datenstrukturen, B.G. Teubner, Stuttgart, 1983.
- Zeevi[1988]:** Zeevi, Y.Y. and Porat, M.: "Computer image generation using elementary Functions matched to human vision", in: Earnshaw[1988].
- Zehnder[1986]:** Zehnder, C. A.: Informatik- Projektentwicklung, Verlag der Fachvereine, Zürich, 1986.
- Zi.mann[1987]:** Zimmermann, H.J.: Fuzzy sets, Decision Making, and Expert Systems, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 1987.

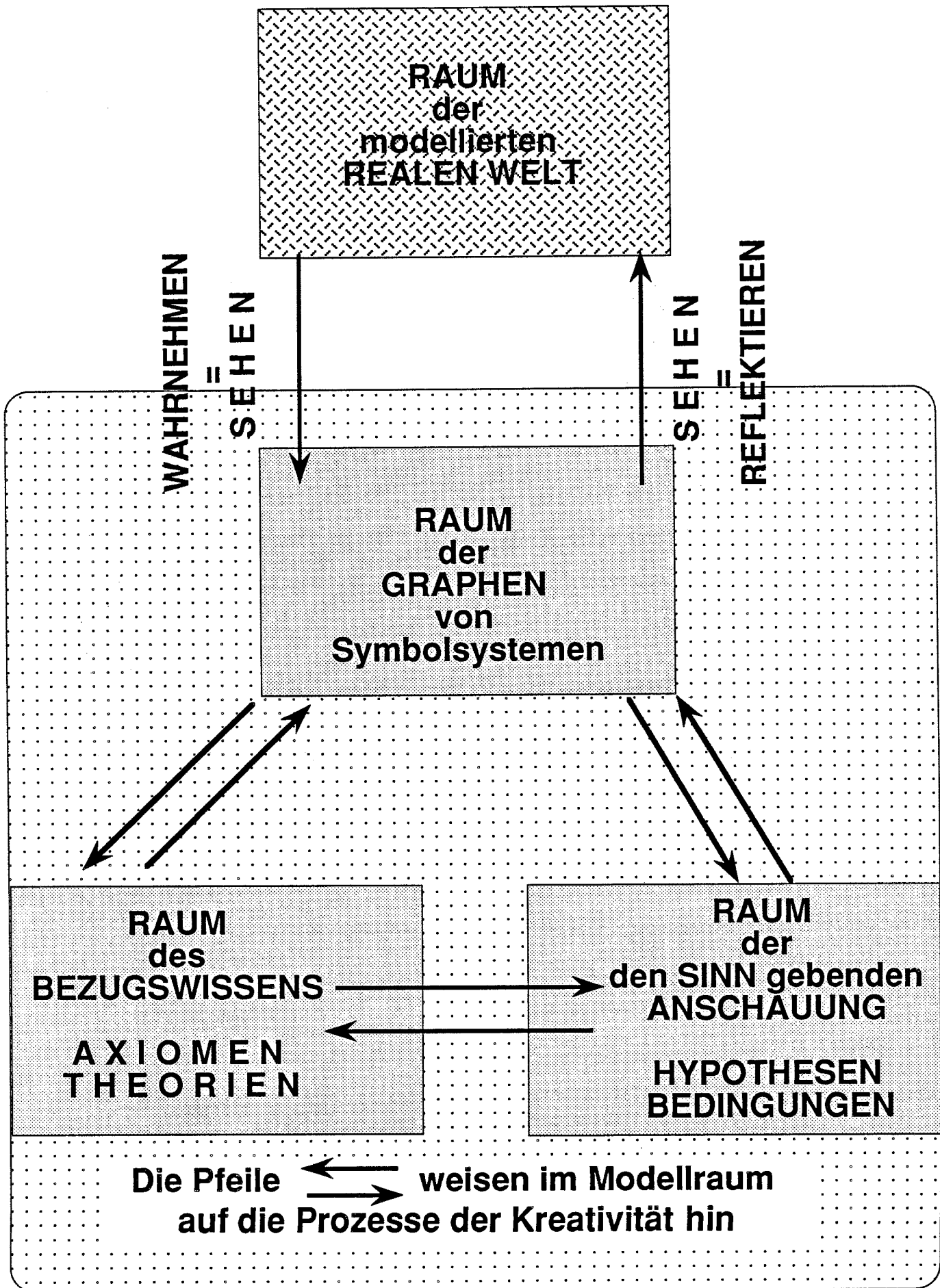


BILD 1: SYMBOLSYSTEME UNSERER DENKVORGÄNGE

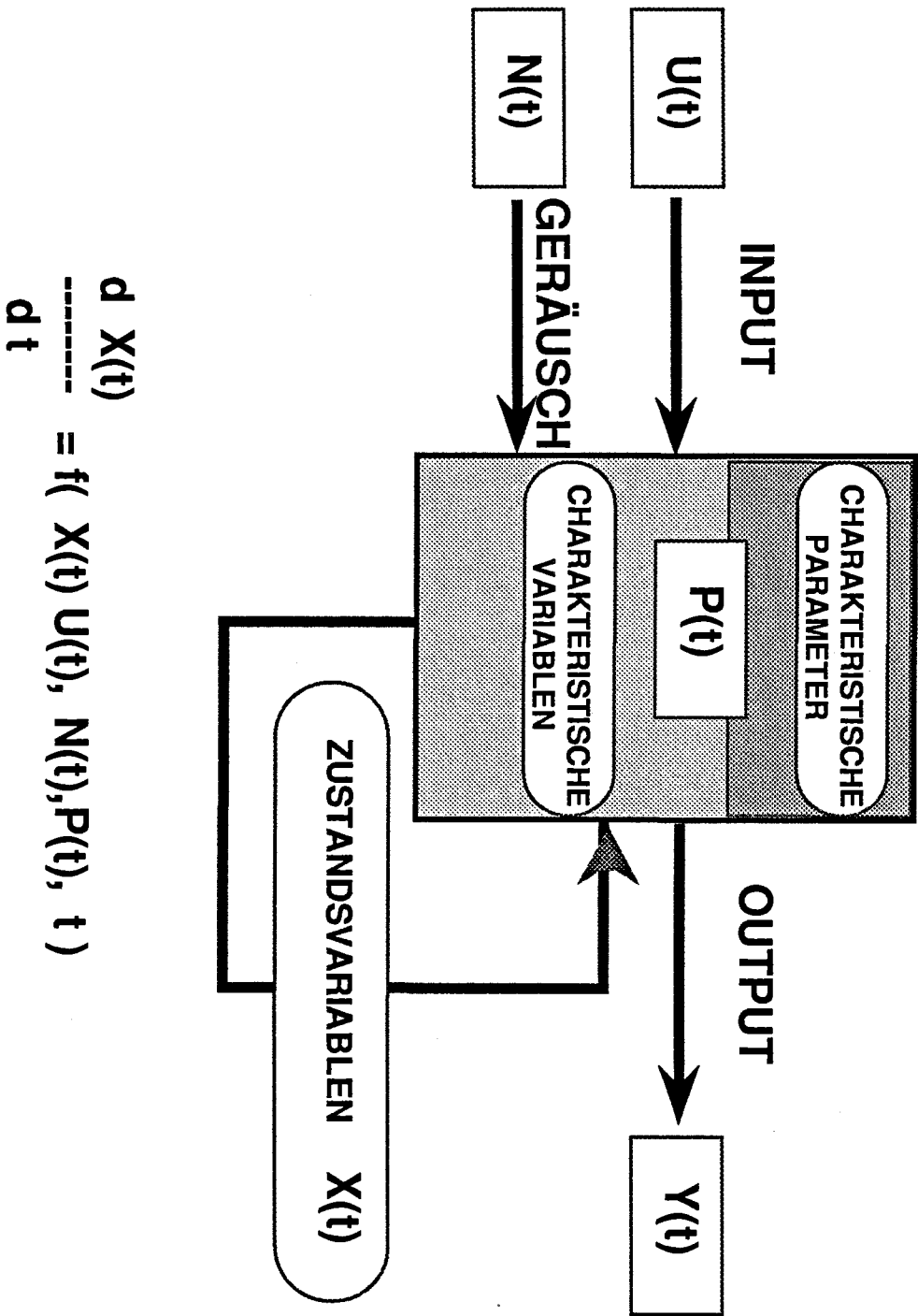


BILD 2: KONTROLLPROZESS

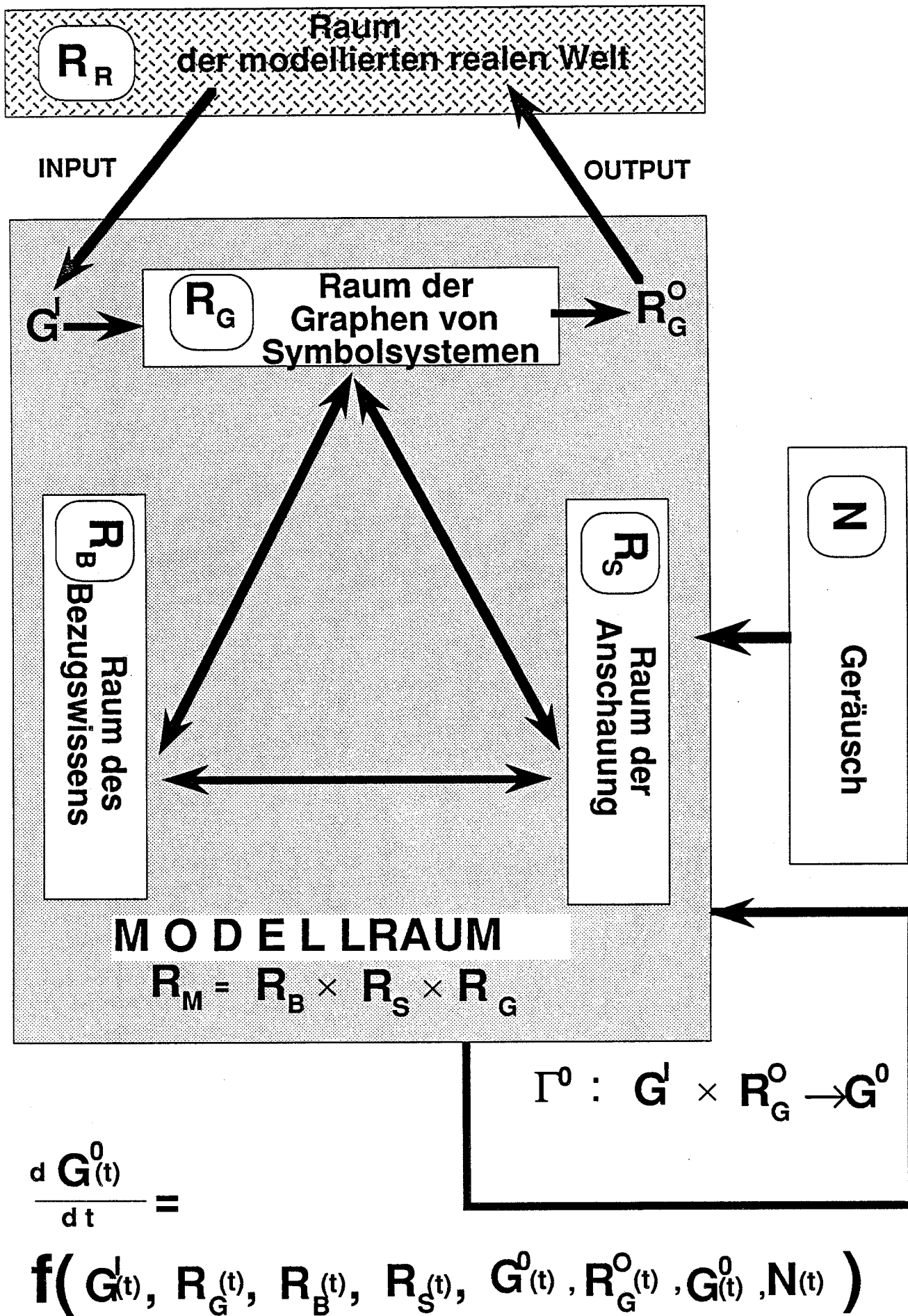


Bild 3: SEMIOTIK und KONTROLLPROZESS



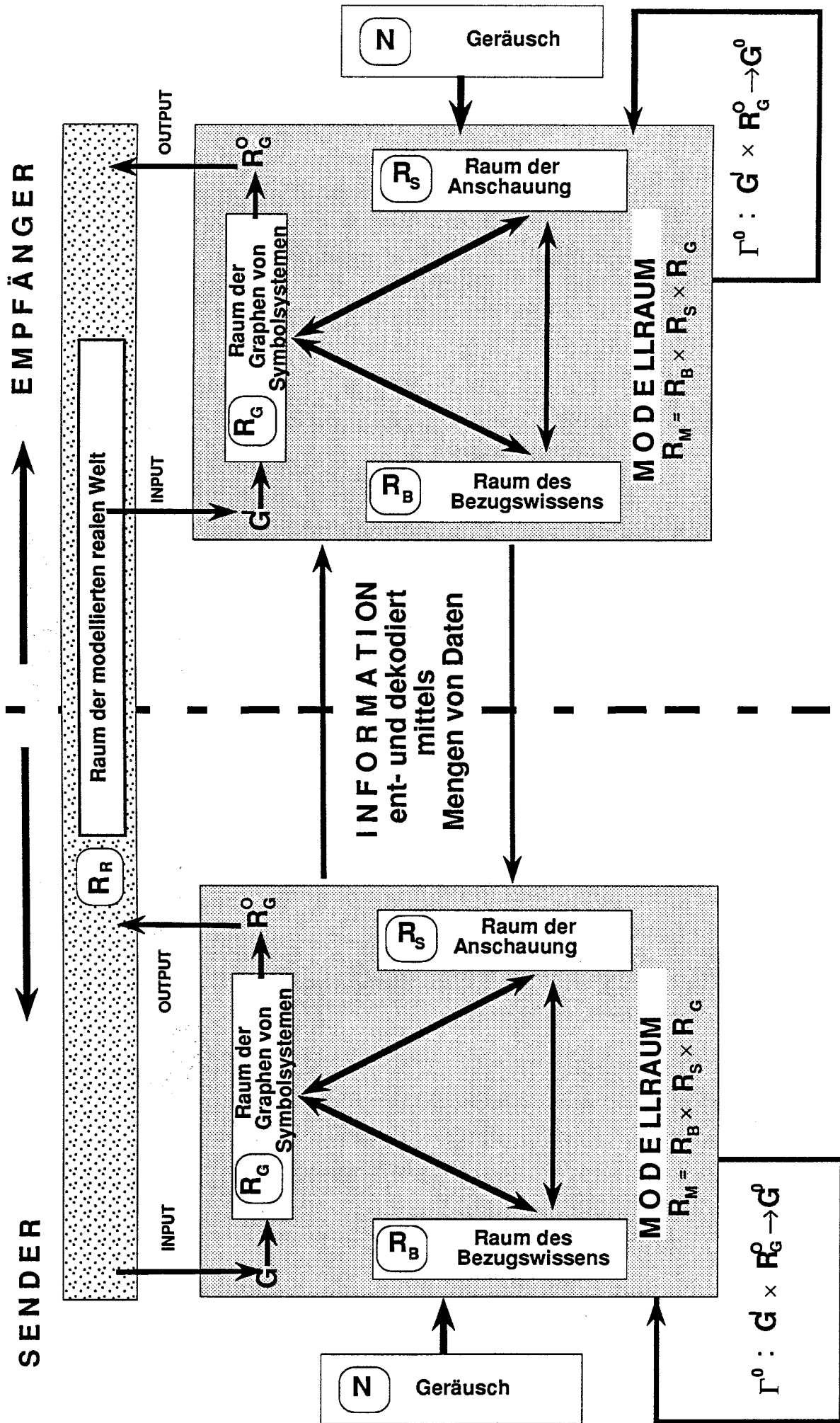


Bild 4: SEMIOTIK und KONTROLLPROZESS und KOMMUNIKATIONSPROZESS

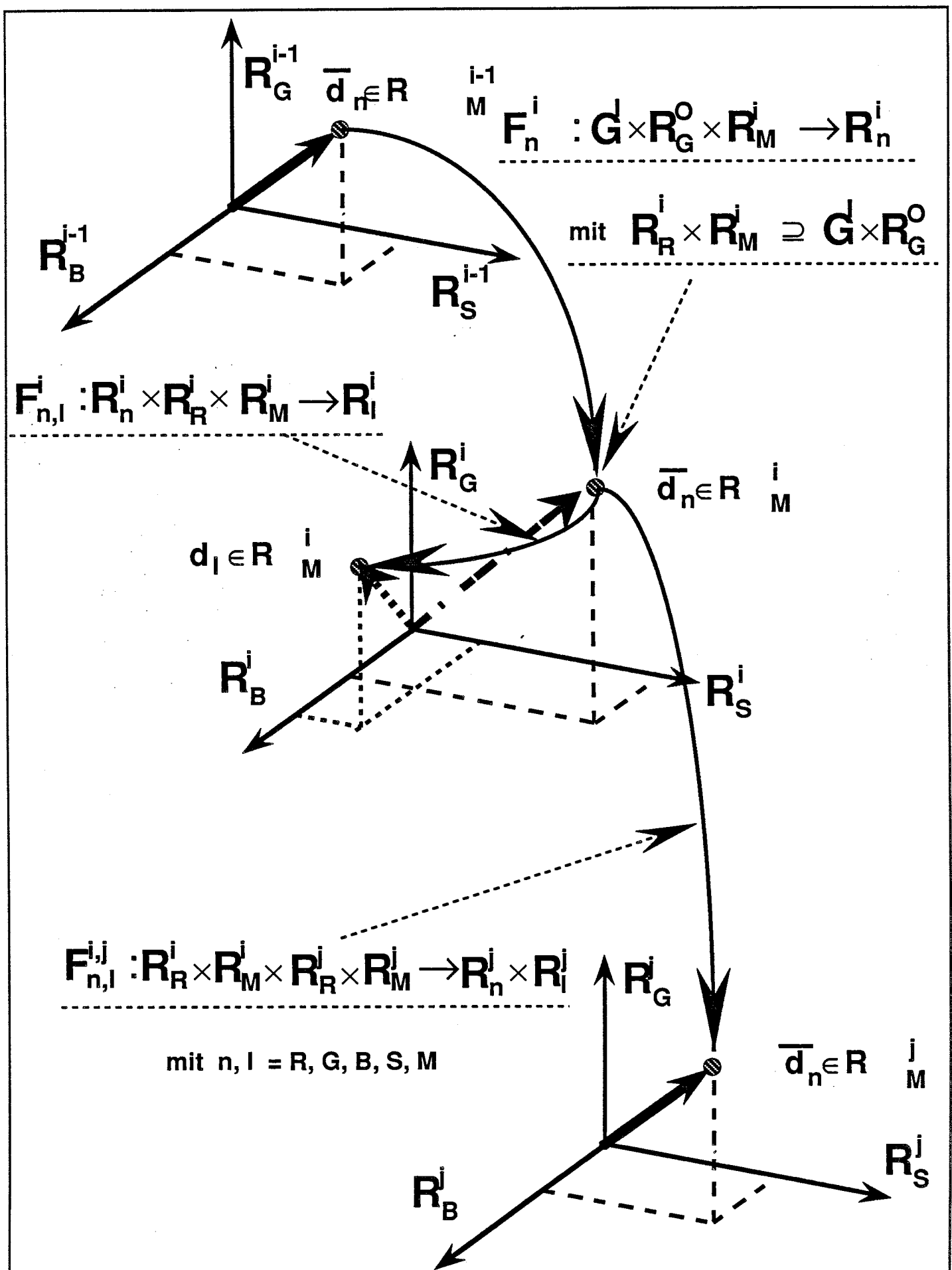


BILD 5: ABSTRAKTIONSSTUFEN als Orte der SEMIOTISCHEN STABILITÄT