

Universität Bielefeld/IMW

**Working Papers
Institute of Mathematical Economics**

**Arbeiten aus dem
Institut für Mathematische Wirtschaftsforschung**

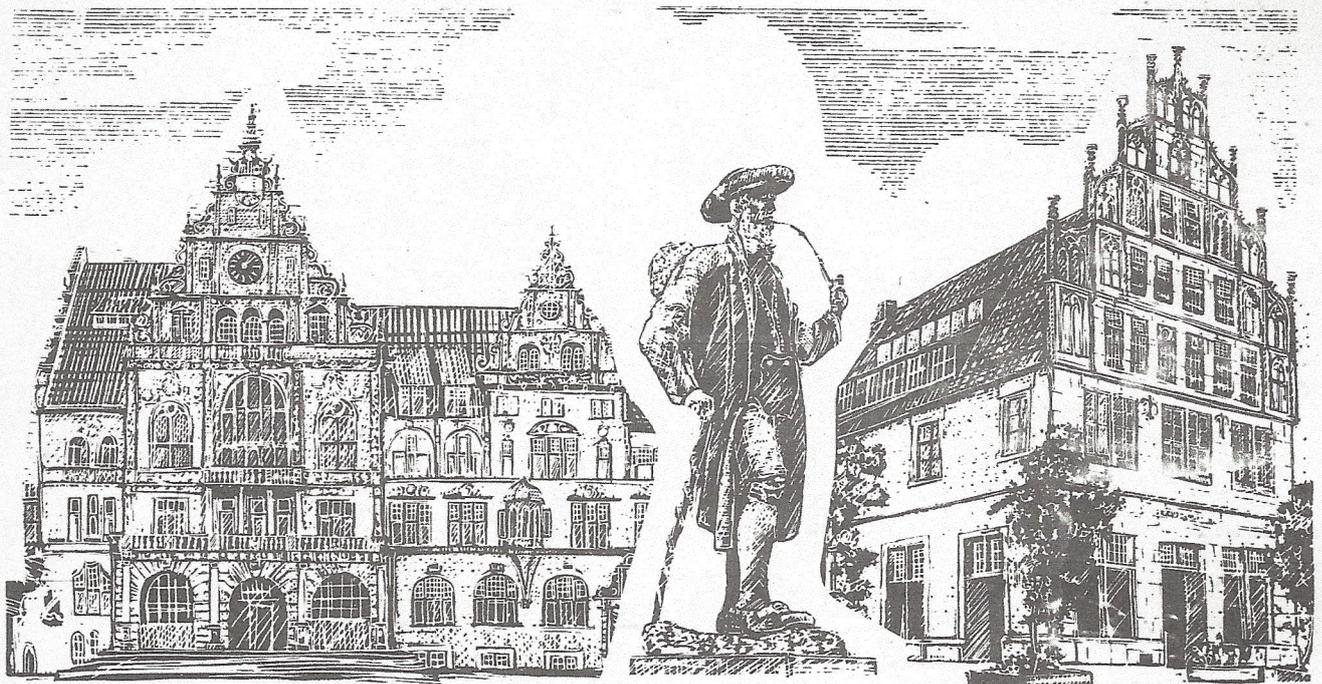
Nr. 201

**Informationsverarbeitungsstrukturen
in begrenzt rationalen
komplexen individuellen Entscheidungen**

von

Andrea Brunwinkel

Februar 1991



H. G. Bergenthal

**Institut für Mathematische Wirtschaftsforschung
an der**

Universität Bielefeld

Adresse / Address:

Universitätsstraße

4800 Bielefeld 1

Bundesrepublik Deutschland

Federal Republic of Germany

0. Einführung

Betrachtet man den Verlauf individueller Entscheidungen von Menschen bei beliebigen Problemstellungen, so stellt man fest, daß es sich bei den Problemlösungsprozessen faktisch um Informationsverarbeitungsprozesse handelt. Dies gilt insbesondere für offene komplexe Probleme, bei denen für den Entscheider die angestrebte Zielsituation zu Beginn des Entscheidungsprozesses im allgemeinen nur unvollständig definiert und auch das zur Problemlösung verwendbare Operatorinventar nur zum Teil bekannt ist. Am speziellen Beispiel der Entscheidung für ein Urlaubsziel zeigt sich sehr gut, daß für die Entscheidungsaufgabe außerdem eine enorme Fülle von Information zur Verfügung stehen kann, die es zu bewältigen gilt. Der in den Wirtschaftswissenschaften gut bekannte "homo oeconomicus" löst diese Probleme spielend, da er in der Lage ist, das Problem vollrational anzugehen. Er hat die vollständige Übersicht über alle relevanten Informationen, denn er hat unbegrenzte Informationsverarbeitungskapazitäten und darüberhinaus eindeutige, konsistente Präferenzen, die ihm eine ebenso eindeutige Zielsetzung ermöglichen. Diese Eigenschaften hat der normale "homo sapiens" nicht oder nur in sehr eingeschränkter Form. Besonders in bestimmten Bereichen sind seine Informationsverarbeitungskapazitäten sehr begrenzt. Dennoch ist er im allgemeinen durchaus in der Lage, die sich ihm stellenden Probleme zufriedenstellend zu lösen, denn er hat geeignete Informationsverarbeitungsstrukturen und Methoden entwickelt, die den menschlichen Kapazitätsbeschränkungen Rechnung tragen.

Die Grundlage dieses Papers bildet die charakteristische Struktur des kognitiven Apparates des Menschen, der 1. eine umfassende vernetzte Datenbank und 2. eine Verfahrensbibliothek für Problemlösungsprozesse beinhaltet. Es zeigt sich, daß der kognitive Apparat charakteristische Engpässe aufweist, die die Struktur kognitiver Prozesse wesentlich determinieren. So ist unter anderem eine Kennzeichnung der jeweils aktuellen Gedächtnisinhalte notwendig. Ergebnisse über die charakteristischen Strukturen elementarer und auch komplexer Operatoren des kognitiven Systems werden dargelegt, des weiteren wird auf das Problem der Koordination verschiedener Informationsverarbeitungsprozesse im Individuum eingegangen.

1. Informationsträger im kognitiven Apparat

Im kognitiven Apparat des Menschen lassen sich drei miteinander verknüpfte Bereiche zur Informationsspeicherung unterscheiden, die verschiedene Aufgaben und Qualitäten haben.

Der **sensorische Speicher** enthält für sehr kurze Zeit das exakte, vollständige Abbild der aktuellen Umwelt, wie es von den Sinnesorganen wahrgenommen wird. Er ist für die vorliegenden Betrachtungen von eher untergeordneter Bedeutung.

Auf die im **Kurzzeitgedächtnis** (short term memory = STM) gespeicherte Information haben die kognitiven Verarbeitungseinheiten des Gehirns unmittelbaren Zugriff. Dieser Teil des Gedächtnisses dient daher auch als Zwischenspeicher bei der Informationsverarbeitung. Die Menge an Information, die im STM gespeichert werden kann, ist mit insgesamt 5 bis 7 Einheiten sehr gering. Diese geringe Verarbeitungskapazität erweist sich als wesentlicher Engpaß bei der Informationsverarbeitung.

Das **Langzeitgedächtnis** (long term memory = LTM) stellt die umfassende Datenbank des kognitiven Apparates dar, in der eine nahezu unbegrenzte Menge von Information in stark vernetzten Strukturen gespeichert ist beziehungsweise neu abgelegt werden kann. Die dort gespeicherten Daten sind schwerer zugänglich als die des STM, doch liefern die verschiedenartigen Verknüpfungen oft die gewünschte Information, da sie durch mehrfache inhaltliche Beziehungen miteinander verbunden sind, auf die unten noch detaillierter eingegangen wird. Das LTM stellt das Hauptmedium dar, auf dem die kognitiven Prozesse des Menschen stattfinden.

2. Kognitive Strukturen

Im Langzeitgedächtnis müssen nach ihrem Inhalt und ihrer Funktion grundsätzlich zwei Arten von Strukturen unterschieden werden, die Dörner (1987) epistemische Struktur und heuristische Struktur nennt. Diese Terminologie wird hier übernommen.

Die **epistemische Struktur** (von griechisch "episteme" = Wissen) stellt die Datenbank des Individuums dar. Sie beinhaltet sein gesamtes Faktenwissen sowie persönliche Erfahrungen, aber auch die Kontroll- und Steuerungsmechanismen für solche Situationen und Aufgaben, mit denen das Individuum

vertraut ist. Darüberhinaus benötigt das Individuum jedoch für Prozesse, die ihm neu sind, und in denen es daher nicht auf Informationen aus der Datenbasis zurückgreifen kann, eine Verfahrensbibliothek mit Konstruktionsverfahren für Lösungswege bei neuen Problemstellungen, die den sinnvollen Umgang mit derartigen Situationen sicherstellen. Diese Verfahrensbibliothek bezeichnen wir als **heuristische Struktur**. (Von Neisser (1974) wird dieser Teil des Gedächtnisses "Exekutive" genannt.)

2.1 Die epistemische Struktur

Die epistemische Struktur des menschlichen Langzeitgedächtnisses kann man sich als ein immens großes Netzwerk vorstellen. In diesem Netzwerk stellen die Knoten die jeweiligen Komponenten eines Sachverhalts dar, während gerichtete Pfeile verschiedener Art die Relationen wiedergeben, durch die die Komponenten inhaltlich miteinander verknüpft sind, woraus sich der Gesamtzusammenhang des Sachverhalts ergibt. Einen Sachverhalt kann demnach beschrieben werden als "eine Ganzheit, in der verschiedene **Komponenten** durch bestimmte **Relationen** miteinander verknüpft sind" (Dörner (1987), S.17, Herv.i.O.). Angemerkt sei dabei, daß jeder Sachverhalt als "offen" anzusehen ist in dem Sinne, daß die Zahl der Komponenten und Relationen, die einen Sachverhalt beschreiben, nicht begrenzt ist, sondern beliebig steigen kann, wenn entsprechend weiter entfernte Beziehungen ergänzend berücksichtigt werden.

Derartige Netzwerkstrukturen findet man sowohl bei Detailbetrachtungen des menschlichen Gedächtnisapparates als auch bei übergreifenden Analysen. Allein diese Abspeicherung in wechselseitig verbundenen Strukturen auf allen Ebenen und über alle Ebenen hinweg ermöglichen die komplexe Sichtweise der Welt, über die der Mensch verfügt. Ohne derartige Verknüpfungen wäre kein Mensch in der Lage, Zusammenhänge zu verstehen und Probleme zu lösen.

2.1.1 Inhalte der epistemischen Struktur

Entsprechend den unterschiedlichen Arten von Inhalten der epistemischen Struktur scheint es sinnvoll, das episodische Gedächtnis, generische Strukturen sowie das Fertigkeitgedächtnis zu unterscheiden. Wiederum sei betont,

daß die unterschiedlichen Inhalte nicht etwa in getrennten Strukturen zusammenhanglos nebeneinander stehen, sondern daß sie ein Ganzes bilden, das den gesamten "Wissensfundus" des Individuums darstellt. Die Gliederung dient vorrangig dazu, die verschiedenartigen "Merkfähigkeiten" des Menschen und darüberhinaus implizit auch seine Fertigkeiten zu charakterisieren:

Das episodische Gedächtnis beinhaltet persönliche Erlebnisse eines Individuums, die im allgemeinen mit einem spezifischen Ort und Zeitpunkt verknüpft und mit mentalen Bildern der Ereignisse verbunden sind. (Brewer und Pani (1983) bezeichnen diesen Teil des episodischen Gedächtnisses als "persönliches Gedächtnis".)

Aus den Informationen des episodischen Gedächtnisses wird – besonders im Kindesalter – ein Teil der generischen Strukturen des Gedächtnisses abgeleitet und entwickelt (vgl. unten).

Die **generischen Strukturen** umfassen semantische und perzeptuelle Gedächtnisinhalte. Das **semantische Gedächtnis** liefert in erster Linie abstrakte Sachverhalte ohne bildliche Vorstellungen, während das **perzeptuelle Gedächtnis** über generische perzeptuelle Darstellungen – wie es etwa die "Prototypen" für bestimmte Begriffe sind – verfügt. Derartige Darstellungen sind im allgemeinen weniger komplex als im episodischen Gedächtnis gespeicherte Ereignisse, denn die Gedächtnisinhalte der generischen Strukturen abstrahieren charakteristischerweise von konkret erlebten räumlichen und zeitlichen Verknüpfungen. Dies darf jedoch nicht so verstanden werden, daß die generischen Strukturen keinerlei Beziehung zu Inhalten des episodischen Gedächtnisses aufweisen. Vielmehr hat sich ein guter Teil der generischen Informationen, über die ein Individuum verfügt, aus episodischem Wissen entwickelt. So entsteht etwa generisches Wissen über bestimmte mathematische Begriffe häufig anhand der exemplarischen Beispiele anschaulicher, einfachster Fälle. Ein Schüler oder Student wird sich die "Episode" des Beispiels bei Bedarf so lange vergegenwärtigen, bis er die zugrundeliegende generische Struktur selbst verinnerlicht hat. Dann benötigt er den Inhalt des episodischen Gedächtnisses zum eigenen Verständnis nicht mehr und kann ohne ihn mit dem Begriff umgehen. Er kann das Beispiel aber durchaus abrufen, etwa wenn er den fraglichen Sachverhalt einem jüngeren Studenten nahebringen will.

Das Fertigkeitgedächtnis stellt Handlungsprogramme für die Durchführung verschiedenartiger, bereits bekannter Tätigkeiten bereit, die bei Bedarf abgerufen werden können. Dabei lassen sich motorische und kognitive Fertigkeiten unterscheiden. Die Komplexität der Fertigkeiten kann bei beiden Typen sehr stark variieren. Gemeinsam lassen sich alle Fertigkeiten erstens dadurch charakterisieren, daß sie durch wiederholte Anwendung erlernt und damit zur Routine geworden sind (vgl. unten, Abschnitt 2.2.1). Zweitens sind Fertigkeiten entwicklungsfähig ("generative") in dem Sinne, daß sie auf beliebige verschiedene strukturgleiche Datensätze anwendbar sind. Die im Fertigkeitgedächtnis enthaltenen Handlungsprogramme können allein lediglich der Bewältigung von bekannten Aufgaben, nicht aber von neuen Problemen dienen. Darüberhinaus finden die vorhandenen Fertigkeiten oder Teile davon jedoch in neuen Kombinationen Anwendung als Bausteine neuer Problemlösestrategien, die mit Hilfe der heuristischen Struktur entwickelt werden.

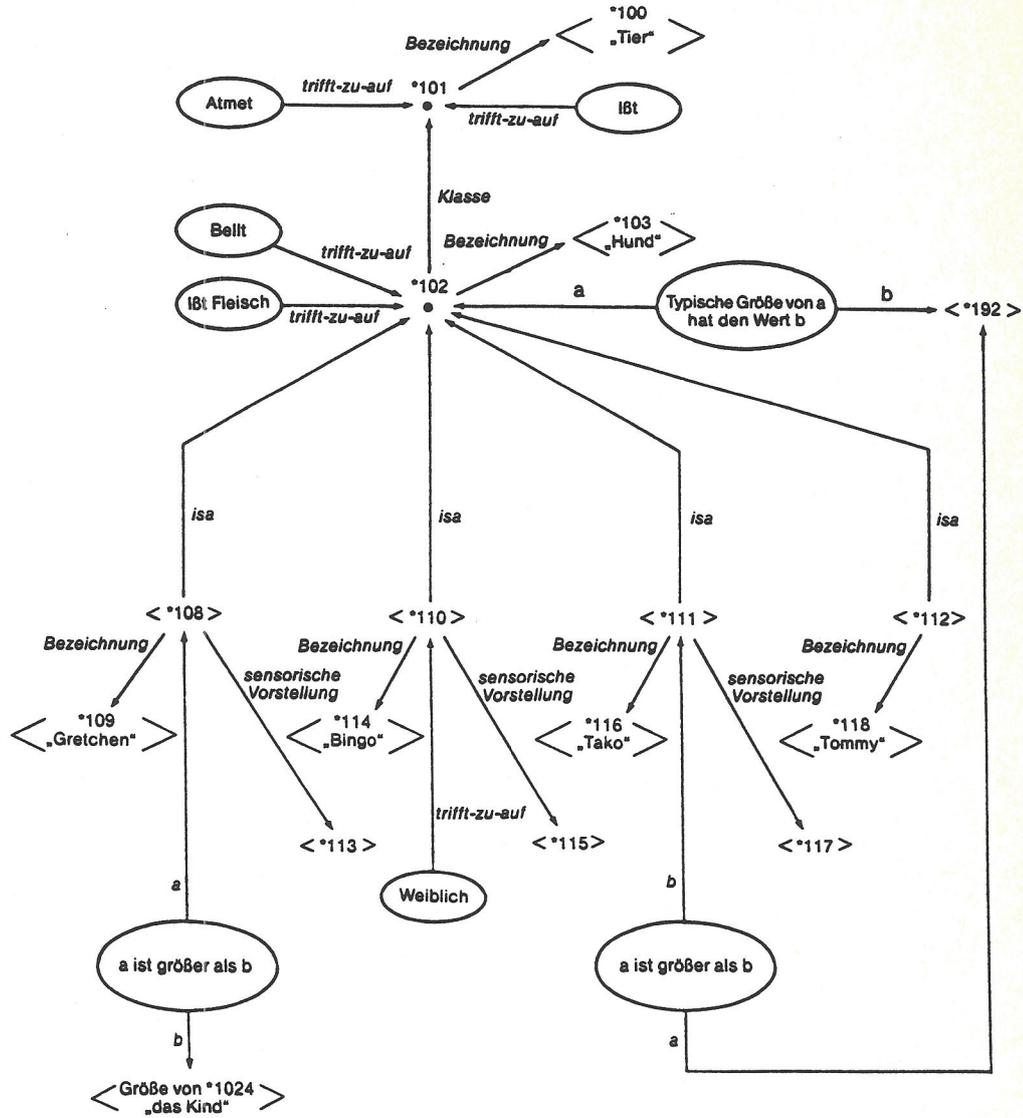
2.1.2 Beispiele

Die folgenden Abbildungen liefern zwei Beispiele für den Netzwerkcharakter der epistemischen Struktur des menschlichen Gedächtnisses. Sie sind (mit leichten Modifikationen) Lindsay/Norman (1981) entnommen.

Die Knoten des Netzwerks sind in Abbildung 1 mit Registernummern und in Abbildung 2 direkt mit ihren Bezeichnungen versehen. Die unterschiedlichen Arten der Darstellung der Knoten (Punkte, Spitzklammern und Ovale) signalisieren, daß es sich bei den verschiedenen Knoten um unterschiedliche Informationstypen handelt. Die einzelnen Knoten sind durch benannte Relationen verschiedener Art miteinander verknüpft.

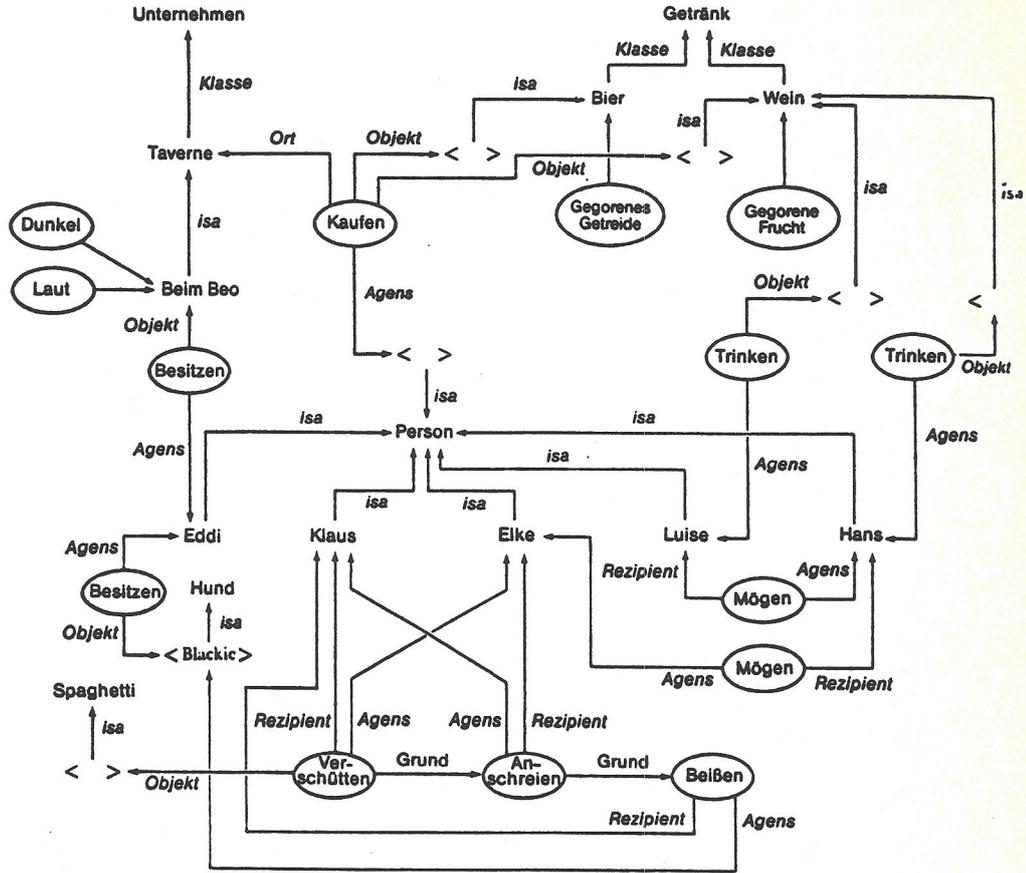
In Abbildung 1 wird das Wissen eines Kindes über Hunde wiedergegeben: "Ein Hund ist ein Tier. Er hat vier Beine, bellt und ißt Fleisch. Er ist ungefähr so (zeigt) groß." (Lindsay / Norman, 1981, S.295, Herv.i.O.) Dies ist eine generische Definition des Begriffs "Hund", die dem generischen Gedächtnis zugeordnet werden kann. Außerdem sind im episodischen Gedächtnis des Kindes aber auch eine Reihe von konkreten Beispielen gespeichert, die durch die Relation "isa" ("ist ein") charakterisiert werden. Es kennt z.B. einen Hund namens "Gretchen", der größer ist als das Kind, einen anderen, weiblichen Hund namens "Bingo" und einen dritten Hund, der "Tako" heißt und kleiner ist als ein (proto-)typischer Hund. Darüberhinaus verfügt das Kind bei jedem der konkreten Beispiele, die es persönlich kennt, über weitere sensorische

Abbildung 1: Teil einer epistemischen Struktur



Quelle: Lindsay/Norman (1981), S.297.

Abbildung 2: Teil einer epistemischen Struktur



Quelle: Lindsay/Norman (1981), S.304.

Vorstellungen, die hier nicht näher spezifiziert werden. Den vierten Hund "Tommy" kennt das Kind nicht persönlich, außer der Bezeichnung hat es keine weiteren Informationen über ihn.

Das zweite Beispiel stellt das Wissen dar, das eine bestimmte Person über die Geschehnisse hat, die an einem bestimmten Tag in einer Taverne namens "Beim Beo" stattfanden: Elke hat Spaghetti auf Klaus verschüttet. Darum hat Klaus Elke angeschrien, und der Hund Blackie hat Klaus deshalb gebissen. Darüberhinaus gibt es noch eine Reihe anderer Zusammenhänge, die die Person über die Ereignisse hinaus außerdem noch kennt, und die mehr oder weniger eng mit einzelnen Komponenten der Ereignisse verknüpft sind. So ist beispielsweise Eddi der Besitzer der Taverne und des Hundes namens Blackie. Hans mag Elke und außerdem eine Person namens Luise. Er und Luise sind Weintrinker, etc.

Es ist naheliegend, daß das verwendete Relationensystem in diesem zweiten Beispiel erheblich umfassender sein muß als im ersten, da hier neben Definitionen und Fakten auch Verlaufsbeschreibungen von Tätigkeiten geliefert werden, in denen unter anderem auch Reihenfolgebeziehungen eine Rolle spielen.

2.1.3 Relationen und Komponenten

Wie bereits die Beispiele illustrieren, lassen sich in der epistemischen Struktur hinsichtlich ihrer Eigenschaften und Funktionen verschiedene Arten von Komponenten und von Relationen unterscheiden.

Betrachtet man die Netzwerkstrukturen auf einer relativ abstrakten Ebene, so kann man die in der epistemischen Struktur gespeicherten Zusammenhänge zwischen einzelnen Komponenten zumindest in folgende **Klassen von Relationen** gliedern:

Ganzes-Teil-Relationen weisen auf Elemente hin, aus denen eine Komponente zusammengesetzt ist (typischer Verknüpfungsbegriff: "hat", in o.g. Beispielen nicht enthalten). Eine besondere Form der Ganzes-Teil-Relationen sind die **Eigenschafts-Relationen**, die zu den verschiedenen Merkmalen führen, die eine Komponente hat. (typischer Verknüpfungsbegriff: "trifft zu auf")

Abstraktheitsrelationen verknüpfen Oberbegriffe und Unterbegriffe miteinander. (typischer Verknüpfungsbegriff: "ist ein" / "isa")

Raum-zeitliche Relationen geben räumliche und zeitliche Anordnungen sowie Kausalzusammenhänge und andere Nachfolgebeziehungen wieder. (typische Verknüpfungsbegriffe: "wenn - dann", "Agens - Rezipient")

Neben verschiedenen Klassen von Relationen können auch verschiedene **Typen von Komponenten** unterschieden werden:

Abstrakte und **konkrete Begriffe** sind durch Abstraktheitsrelationen miteinander verbunden. Diese Arten von Komponenten werden im folgenden auch als **Objekte** bezeichnet.

Eigenschaften sind durch Eigenschaftsrelationen (spezielle Teil-Ganzes-Relationen) mit den zugehörigen Komponenten verknüpft.

Tätigkeiten sind mit anderen Komponenten vor allem durch raum-zeitliche Relationen verknüpft.

Alle Inhalte der epistemischen Struktur sind in dieser Weise in die Struktur eingebunden, so daß sich durch die Verfolgung langer Ketten von Relationen Beziehungen zwischen beliebigen Gedächtnisdaten finden lassen. Es ist nahe liegend, daß Zusammenhänge mit kurzen Relationsketten leichter und sicherer aufgefunden werden können als solche mit längeren Ketten.

2.2 Die heuristische Struktur

Für die Lösung von bisher unbekanntem Problemen verfügt der Mensch über eine individuelle Verfahrensbibliothek mit Konstruktionsverfahren ("Heurismen"), mit deren Hilfe eine Reihe von flexiblen Bausteinen kombiniert werden kann, die als elementare beziehungsweise komplexe Operatoren bezeichnet werden. Dabei bedienen sich die Heurismen immer der epistemischen Struktur als Datengrundlage. Während die epistemische Struktur bekannte Tätigkeiten eigenständig durchführen kann, und somit über eine relative Autonomie verfügt, ist die heuristische Struktur auf die "Datenbank" der epistemischen Struktur angewiesen, denn sie selbst liefert lediglich die möglichen Konstruktions- und Kombinationsverfahren.

Bei den festen Handlungsprogrammen, die in der epistemischen Struktur gespeichert sind, ist die Abfolge der Operatoren sowie der Zugriff und die Speicherung der verwendeten Daten im Gedächtnis fest installiert. Im

Gegensatz dazu müssen bei der Bewältigung neuer Problemstellungen mittels der Heurismen flexible Bausteine aus dem vorhandenen Repertoire neu kombiniert und gegebenenfalls auch modifiziert werden. Da der weitere Programmablauf nicht a priori feststeht, muß dabei eine vergleichsweise große Menge neuer Daten behalten und zur eventuellen Weiterverarbeitung verfügbar gehalten werden, ohne daß für diese Daten Speicherplätze mit festen Zugriffsmechanismen in der epistemischen Struktur vorgegeben sind. (Diese neuen Daten sind einerseits Inputdaten aus der Umwelt, die mit Hilfe des sensorischen Speichers über die Sinnesorgane aufgenommen wurden, und andererseits (Zwischen-)Ergebnisse interner Operationen und neuer Verknüpfungen von bereits bekannten Daten.) Außerdem müssen die für den flexiblen Informationsverarbeitungsprozeß möglicherweise relevanten Stellen im Netzwerk der epistemischen Struktur festgehalten werden.

In diesem Verarbeitungsprozeß stellt das STM mit seiner Kapazitätsbeschränkung auf 5 bis 7 Speicherplätze für einfache Informationseinheiten den wesentlichen, kritischen Engpaß dar, da es als Zwischenspeicher dient. Flexible Lösungsprozesse müssen daher so strukturiert werden, daß die Speicherplätze des STM zumindest für alle jeweils benötigten Verweise ausreichen, die die Stellen im Gedächtnis kennzeichnen, an denen die notwendigen Daten abgelegt sind, so daß möglichst keine wichtige Information dadurch verloren geht, daß sie nicht wiedergefunden werden kann. Gerade wegen dieses Speicherengpasses ist es für den Informationsverarbeitungsprozeß von ganz entscheidender Bedeutung, daß das gesamte gespeicherte Material sehr gut strukturiert und durch verschiedenartige inhaltliche Relationen miteinander verknüpft ist (vgl. oben, Abschnitt 2.1). Dies hat zur Konsequenz, daß mit dem Auffinden eines Knotens im Netzwerk nicht nur ein einzelnes Datum, sondern vielmehr ein größerer Informationszusammenhang erschlossen wird.

Aufgrund der angeführten kapazitätsbedingten Restriktionen beschränkt sich das kognitive System außerdem darauf, mit sehr wenigen elementaren Operatoren zu arbeiten, die untereinander verwandte, sehr ähnliche Strukturen aufweisen und miteinander kombiniert werden können. Aus diesen elementaren Operatoren setzen sich sowohl die fest gespeicherten Handlungsprogramme als auch die mit Hilfe der Heurismen erstellten komplexeren Operatoren zur Lösung neuartiger Probleme zusammen.

Daß das menschliche Informationsverarbeitungssystem trotz der Beschränkung auf solche einfachen Verarbeitungsstrukturen fähig ist, seine bemerkenswerten

Informationsverarbeitungsleistungen zu erbringen, liegt auch an der hohen Verarbeitungsgeschwindigkeit. Der kognitive Apparat des Menschen ist zwar nicht in der Lage, sehr viele Daten auf einmal zu bearbeiten, doch erfolgen die einzelnen Verarbeitungsschritte mit so hoher Geschwindigkeit, daß häufig die Annahme naheliegt, es handele sich bei einer Abfolge von Operationen um einen einzigen Verarbeitungsschritt.

2.2.1 Kennzeichnungen

Um bei der Beschäftigung mit neuartigen Problemen bestimmte Stellen in der Gedächtnisstruktur gezielt wiederfinden zu können, müssen geeignete Kennzeichnungen verwendet werden. Dabei lassen sich zwei Arten von Kennzeichnungen unterscheiden:

Markierungen von Objekten oder Relationen weisen darauf hin, daß mit diesen Begriffen kürzlich gearbeitet wurde. Solche Markierungen erfolgen automatisch bei der Bearbeitung der betreffenden Stelle in der epistemischen Struktur. Sie ermöglichen es, die zuletzt bearbeiteten Objekte und Sachverhalte leichter wieder aufzufinden als andere unmarkierte Objekte. Die Markierungen verblassen mit der Zeit, wenn auf die betreffenden Objekte nicht wieder zugegriffen wird, wobei die Intensität der Markierung und dementsprechend die Dauer, bis eine Markierung bis zur Unkenntlichkeit verblaßt, abhängig davon ist, wie lange und wie oft sich das kognitive System mit dem betreffenden Objekt beschäftigt. Die Anzahl dieser Markierungen kann variieren und hat keine strikte Obergrenze.

In dieser Weise können nicht nur einzelne Objekte oder Relationen markiert werden, sondern gegebenenfalls auch längere "Wege" durch das Netzwerk der epistemischen Struktur. Kommt es durch wiederholten Zugriff zu einer Verfestigung eines solchen Weges, so kann sich eine Routine, also ein festes Handlungsprogramm entwickeln, dessen Ablaufstrukturen dann Teil der epistemischen Struktur werden.

Zeiger im STM führen zu speziell gekennzeichneten Stellen in der Gedächtnisstruktur, die im Verlauf des Informationsverarbeitungsprozesses exakt und eindeutig wiedergefunden werden sollen bzw. müssen. Die Anzahl derartiger Zeiger ist durch die Kapazitätsgrenze des STM auf maximal 5 bis 7 Zeiger gleichzeitig begrenzt. Ist die Kapazitätsgrenze erreicht, dann wird der älteste, d.h. der am längsten nicht benutzte Zeiger überschrieben.

3. Strukturen elementarer und komplexer Operatoren

Wie bereits geschildert, lassen sich alle komplexen Operationen, die mit mehreren Objekten umgehen, durch Zerlegung auf Kombinationen elementarer Operatoren zurückführen, die mit Hilfe des begrenzten Zwischenspeichers des STM durchführbar sind. Diese elementaren Operatoren werden mittels der heuristischen Struktur als Bausteine für die Konstruktion der individuellen komplexen Operatoren eingesetzt, mit denen dann umfangreiche Probleme bearbeitet werden können.

3.1 Elementare Operatoren

Wegen der angeführten Kapazitätsbeschränkungen des STM erstrecken sich die elementaren Operatoren nach Möglichkeit jeweils nur auf ein Objekt beziehungsweise einen einzigen Sachverhalt. Bei Operatoren, die Aussagen über Beziehungen zwischen Objekten treffen sollen, erfolgt eine Beschränkung auf jeweils zwei Objekte gleichzeitig.

Die folgenden Beispiele illustrieren die genauen Prozeßabläufe einzelner elementarer Operatoren:

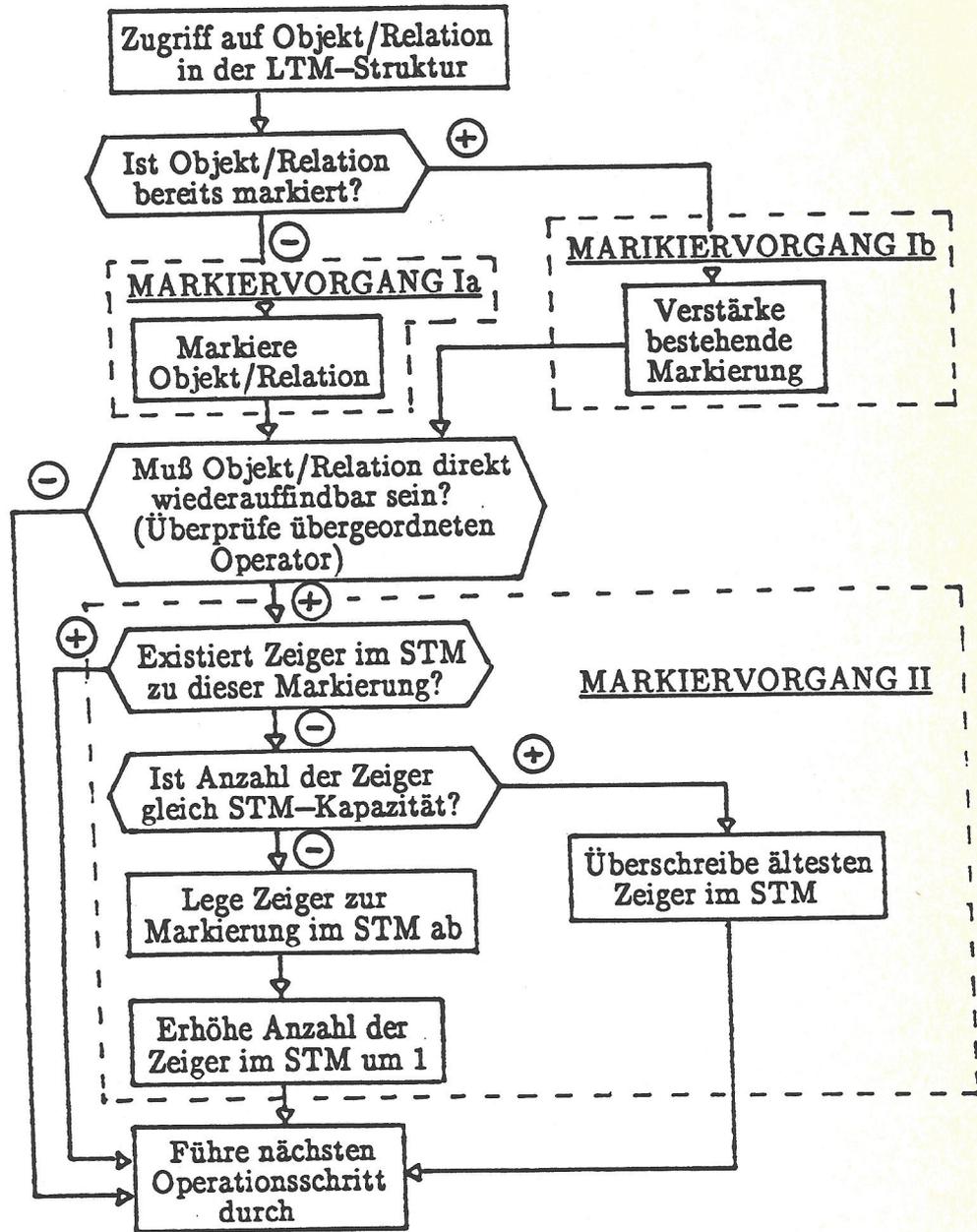
3.1.1 Markieren eines Objektes oder einer Relation in der Gedächtnisstruktur

Wie oben ausgeführt, erhält jedes Objekt und jeder Sachverhalt im Gedächtnis eine Markierung, sobald mit dem Objekt gearbeitet wird (Markiervorgang Ia in Abbildung 3), eine bereits bestehende Markierung wird verstärkt (Markiervorgang Ib). Qualitativ kann zwischen markierten und unmarkierten Objekten unterschieden werden. Stärker markierte Objekte werden leichter gefunden als weniger stark markierte. Ist eine Marke im Zeitverlauf zu weit verblaßt, so wird das betreffende Objekt wieder als unmarkiert wahrgenommen.

Darüber hinaus können Zeiger zu ausgewählten markierten Stellen der Gedächtnisstruktur im STM abgelegt werden. Übersteigt die Anzahl der Zeiger die Kapazitätsgrenze des STM, so wird der älteste Zeiger überschrieben (Markiervorgang II).

In der in Abbildung 3 dargestellten Form tritt der Vorgang des Markierens dann auf, wenn das Individuum im Laufe des Informationsverarbeitungsprozesses ungezielt auf ein Objekt trifft, das im Zusammenhang mit dem bearbeiteten Problem von Interesse ist. Außerdem treten die Markierungsvorgänge als Teile oder Bausteine der Verarbeitungsvorgänge anderer Operatoren auf (vgl. Abbildung 4).

Abbildung 3: Markieren eines Objektes oder einer Relation

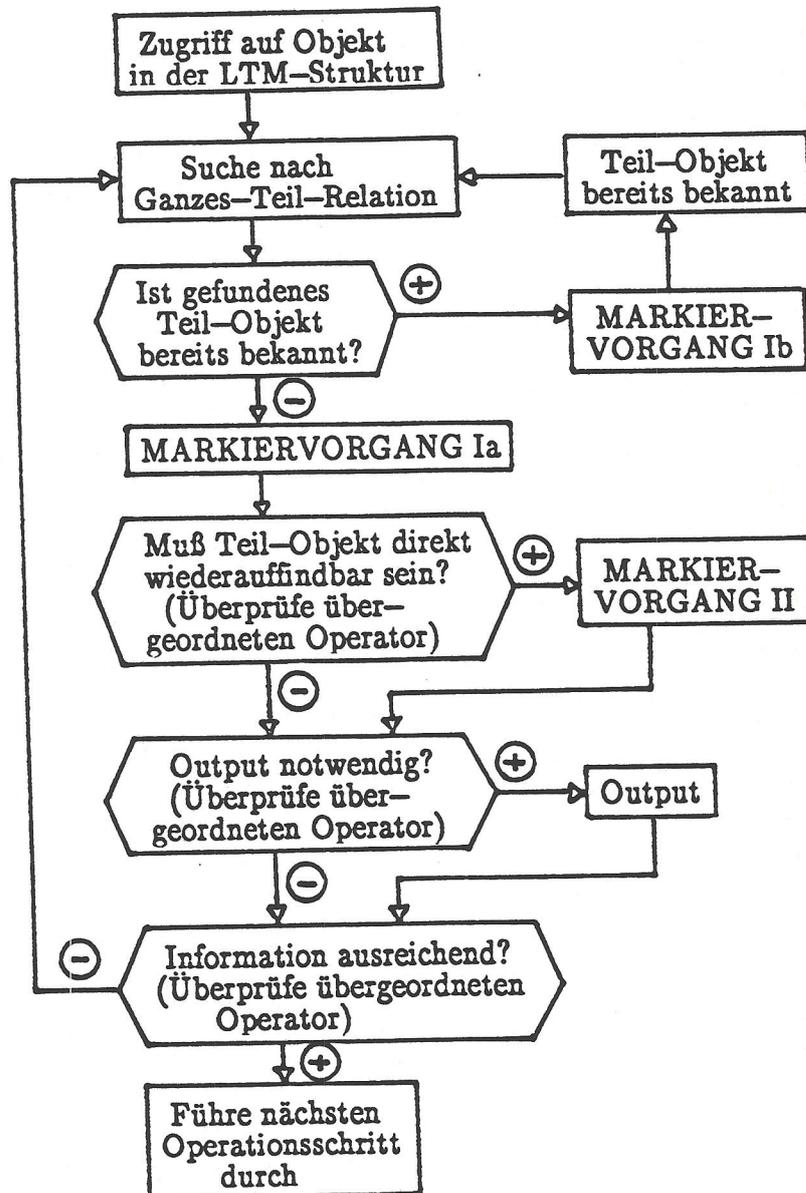


3.1.2 Zergliedern eines Objektes in Teile

Dieser Operator ermittelt, aus welchen Bestandteilen ein Sachverhalt besteht. Die Operation stellt ein Verfolgen von Ganzes-Teil-Relationen in der Gedächtnisstruktur dar. Wie bei allen Operationen werden an den Stellen der Struktur, auf die zugegriffen wird, die in Abbildung 3 dargestellten Markierungsvorgänge durchgeführt.

Es ist anzumerken, daß die dargestellte Operation nicht notwendig alle Ganzes-Teil-Relationen liefert, die im Gedächtnis eines Individuums zu einem bestimmten Sachverhalt gespeichert sind. Das Individuum wird den Suchprozeß dann abbrechen, wenn es für den übergeordneten Operator, dessen Teil der elementare Operator ist, ausreichend Informationen gefunden hat. Ein Abbruch durch einen übergeordneten Operator erfolgt auch dann, wenn durch die wiederholte, gleiche Operation kein Informationszuwachs mehr erzielt werden kann.

Abbildung 4: Zergliedern eines Objekts in Teile



3.1.3 Weitere elementare Operatoren

Erfassen von Eigenschaften eines Objekts

Hierbei werden die Merkmale eines Sachverhalts ermittelt. Strukturell arbeitet dieser Operator exakt genauso wie der Operator "Zergliedern eines Objekts in Teile" (Abbildung 4), wobei in diesem Fall statt der Ganzes-Teil-Relationen die Eigenschafts-Relationen der LTM-Struktur verfolgt werden. Auch die Beendigung des Suchprozesses erfolgt in identischer Weise.

Klassifikation und Konkretisierung

Bei der Klassifikation wird ein Sachverhalt in eine übergeordnete Klasse eingeordnet und ein Oberbegriff bestimmt, indem Abstraktheitsrelationen des LTM aufwärts verfolgt werden. Die entsprechende Umkehroperation ist die Konkretisierung. Durch die Verfolgung der Abstraktheitsrelationen abwärts werden Beispiele und Unterbegriffe gefunden. Diese Operatoren weisen ebenfalls die in Abbildung 4 dargestellten Strukturen auf.

Vergleichen hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden

Dieser Operator hat bereits deutlich komplexeren Charakter als die bisher dargestellten, denn der Vergleichsoperator geht mit zwei Objekten oder Sachverhalten um. Die Vergleichsoperation erfordert, daß jeweils zunächst das "Erfassen von Eigenschaften" für ein Objekt durchgeführt und anschließend festgestellt wird, ob die ermittelte Eigenschaft auf das zweite Objekt ebenfalls zutrifft.

Abstrahieren bedeutet das Erfassen der in einem bestimmten Kontext wesentlichen Merkmale und das Vernachlässigen der unwesentlichen Eigenschaften eines Sachverhaltes. Die Operation ist eine Kombination aus dem "Erfassen von Eigenschaften", die der Kontext-Sachverhalt hat, und dem Vergleichen dieser Eigenschaften mit den Eigenschaften des zu abstrahierenden Sachverhalts hinsichtlich ihrer Gemeinsamkeiten.

Verallgemeinern bedeutet das Erfassen von gemeinsamen, wesentlichen Eigenschaften, die eine Reihe von Sachverhalten hat. Hier liegt die Kombination aus dem "Vergleichen bezüglich Gemeinsamkeiten" und dem "Abstrahieren" vor.

Ordnen einer Reihe von Sachverhalten hinsichtlich einem oder mehrerer Merkmale setzt die Verwendung raum-zeitlicher Relationen voraus. Darüber hinaus muß das Auffinden dieser Relationen kombiniert werden mit dem "Erfassen von Eigenschaften" und dem "Vergleichen hinsichtlich Gemeinsamkeiten und Unterschieden".

Vermutlich sind in dieser Auflistung alle elementaren Operatoren erfaßt, die in menschlichen Problemlösungs- bzw. Informationsverarbeitungsprozessen Verwendung finden. (Eine ähnliche Gliederung nimmt auch Lompscher (1972) vor.) Die geschilderten elementaren Operatoren unterscheiden sich in ihrer Komplexität bereits sehr stark voneinander, auch sind die einzelnen Operatoren zum Teil nicht unabhängig voneinander, sie sind vielmehr ineinander verschachtelt und bauen aufeinander auf. Diese Tatsache legt nahe, daß die hier vorgenommene Aufgliederung nicht die einzig denkbare ist, sondern daß prinzipiell auch andere Zerlegungen der komplexen Operatoren möglich wären.

4. Koordination der Prozesse im kognitiven Apparat

Wie dargestellt setzen sich auch sehr komplexe kognitive Prozesse aus einfachen, elementaren Operatoren zusammen. Die Aggregate können dabei ein beliebig hohes Niveau erreichen, dennoch läßt sich jeder noch so komplexe Gesamtoperator auf eine Kombination überschaubarer elementarer Operatoren zurückführen, die sukzessiv bearbeitet werden können. Für häufig wiederkehrende komplexe Aufgaben können solche komplexen Operatoren fest installiert werden, die dann als feste Handlungsprogramme in der epistemischen Struktur gespeichert sind.

In vielen Fällen ist eine feste Installation jedoch weder sinnvoll noch notwendig, da spezielle komplexe Problemlösungen nur selten mehrfach in identischer Form auftreten. Daher stehen für unbekannte, einmalig oder sehr selten auftretende Probleme die Heuristiken zur Verfügung. Diese schaffen komplexe, zusammengesetzte Informationsverarbeitungsprozeduren, in denen flexible, austauschbare Operatoren der jeweiligen Problemstellung angepaßt werden. Bei der Verwendung dieser Heuristiken muß anhand der übergeordneten Zielsetzung, die das Individuum bezüglich des gegebenen Problems verfolgt, eine entsprechende Auswahl geeigneter Operatoren aus dem flexiblen Operatorinventar erfolgen.

Darüber hinaus müssen die Informationsverarbeitungsprozesse, die im Zusammenhang mit komplexen Problemlösungen durchgeführt werden, auch mit den anderen Prozessen abgestimmt und koordiniert werden, die das Gehirn ebenfalls steuert. Denn es zeigt sich, daß der Mensch zwar bei bestimmten Aktivitäten relativ gut in der Lage ist, sie gleichzeitig auszuführen (z.B. Laufen und Sprechen), bei anderen dagegen nicht (z.B. ein Problem lösen und auf andere Fragen antworten). Grundsätzlich können Tätigkeiten umso schlechter parallel ausgeführt werden, je größer die Interferenz zwischen den Informationen ist, die zu den Tätigkeiten benötigt werden, insbesondere auch, je größer die Informationsverarbeitungs-Belastung bei den einzelnen Tätigkeiten ist.

Die Ablauforganisation der einzelnen Informationsverarbeitungsprozesse, die mit den verschiedenen Tätigkeiten verbunden sind, wird von speziellen Verarbeitungseinheiten des kognitiven Apparates, sogenannten Prozessoren, durchgeführt. Entsprechend den verschiedenartigen Aktivitäten, die das kognitive System steuern muß, gibt es unterschiedliche Prozessoren. Die einfachsten regeln die Durchführung automatischer Handlungen, also den Ablauf der fest gespeicherten Handlungsprogramme. Sie benötigen lediglich einen Startimpuls, um dann eigenständig und sehr schnell das zugehörige feste Programm ablaufen zu lassen. Prozessoren zur Lösung von komplexen Problemen arbeiten dagegen mit den vielfältigen Heurismen aus der Verfahrensbibliothek des LTM (der heuristischen Struktur), wobei gemäß den Zielvorgaben des Problems geeignete Operatorkombinationen aus dem bestehenden Operatorinventar ausgewählt werden.

Prozessoren, die auf verschiedene Teile des Gehirns zugreifen und somit keine Interferenzen aufweisen, können prinzipiell parallel arbeiten, während Prozessoren, die in ähnlicher Weise arbeiten und daher auf gleiche Teile des Gedächtnisses zugreifen müssen, nicht ohne Effizienzverluste gleichzeitig aktiv sein können.

Die Koordination der Aktivierungen und Inaktivierungen von Prozessoren sowie auch die Festlegung der Zielvorgaben insbesondere für die Prozessoren, die mit flexiblen Heurismen arbeiten, erfolgt durch einen übergeordneten Prozessor, der als Supervisor bezeichnet wird. Die Bedeutung des Supervisors geht besonders im Bereich des expliziten Problemlösens bei weitem über die reine Koordinatorfunktion hinaus, vielmehr organisiert der Supervisor von der Zielbildung über die Koordination und Modifikation der Operatoren bis hin zur Kontrolle der Ergebnisse den gesamten Informationsverarbeitungs- und Entscheidungsprozeß.

Literatur

- Albers, W.: Beiträge zum begrenzt rationalen Verhalten: Größenvergleiche von Objekten im gleichen Bildraum, Working Paper Nr.158, Institut für mathematische Wirtschaftsforschung, September 1987.
- Brewer, W.F.; Pani, J.R.: The Structure of Human Memory. In: G.H. Bower (Hg.): The Psychology of Learning and Motivation. Advances in Research and Theory (Vol.17), New York 1983, S.1-38.
- Dörner, D.: Problemlösen als Informationsverarbeitung, 3.Auflage, Stuttgart 1987.
- Dörner, D.: Die kognitive Organisation beim Problemlösen. Versuche zu einer kybernetischen Theorie der elementaren Informationsverarbeitungsprozesse beim Denken, Bern 1974.
- Huber, O.: Entscheiden als Problemlösen, Bern 1982.
- Hussy, W.: Denkpsychologie, Ein Lehrbuch. 2 Bände, Stuttgart 1984 und 1986.
- Krech, D.; Crutchfield, R.S. et.al.: Grundlagen der Psychologie. Band 2: Wahrnehmungspsychologie, Band 3: Lern- und Gedächtnispsychologie, Weinheim 1985.
- Lindsay, P.H.; Norman, D.A.: Einführung in die Psychologie. Informationsaufnahme und -verarbeitung beim Menschen. Übersetzt von D.-H. Dumpert et.al., Berlin 1981.
- Lompscher, H.J. (Hg.): Theoretische und experimentelle Untersuchungen zur Entwicklung geistiger Fähigkeiten. Volk und Wissen. Berlin 1972.
- Kroeber-Riel, W.: Konsumentenverhalten, 3. wesentliche erneuerte und erweiterte Auflage, München 1984.
- Neisser, U.: Kognitive Psychologie, Stuttgart 1974.
- Tulving, E.: Elements of Episodic Memory, Oxford 1983.