

Dr.-Ing. Eberhard Liß

Systemkonzept 'Intelligenter Automat' für kognitive Logik

1. Definitionen und Thesen zu lernfähigen Gedächtnissystemen - ein kognitiv-logischer Modellansatz

"Durch bloßes logisches Denken vermögen wir keinerlei Wissen über die Erfahrungswelt zu erlangen; alles Wissen über die Wirklichkeit geht von der Erfahrung aus und mündet in ihr." - Albert Einstein (Zur Methodik der theoretischen Physik, 1930) [11]

Natürliche Organismen (Lebewesen) können in Wechselwirkung mit der Umwelt individuelle Erfahrungen sammeln und haben "kognitive" Fähigkeiten, um sich an Umweltänderungen vorteilhaft anzupassen (Lernen zwecks Überleben). Typisch für 'kognitive Systeme' sind ihre komplexen Wahrnehmungs- und Erkenntnisleistungen, die situationsabhängiges Selbstlernen ermöglichen. [1] *Selbstbezügliche kognitive Systeme* mit "individueller" Selbständigkeit (rationaler Autonomie) agieren in ihrer Umwelt als 'autonome Systeme' (autonome Agenten). Ihr "selbstbestimmtes" Handeln wird bedingt durch "subjektive" Bewertung von Situationen, beeinflusst durch eigene Erinnerungen für Voraussagen und empirische Urteile. Möglich sind auch "rationale" Absichten (Intentionen) beim Lernen durch Einsicht und Modellbildung für "intelligentes" Problemlösen. [10.12]

Lebewesen als *selbstreproduzierende Systeme* können sich vermehren (genetische Replikation, Geburt und Tod). Zum Selbsterhalt 'lebenswichtig' ist ihr Energiehaushalt, auch ihr Stoffwechsel und Wachstum (bzw. Heilung). [5]

Als materielle Basis für individuelles Lernen sind *nicht unbedingt Nervensysteme erforderlich* (vgl. selbstlernende Einzeller), so dass auch lernende KI-Artefakte in Form "kognitiver" Simulationsmodelle oder "intelligenter" Automaten technisch realisiert werden können. [1] [5] [8] [10]

Mein 'kognitiv-logischer' Modellansatz (seit 1978) betrifft die Objektivierung von Zusammenhängen in definierten *lernfähigen Gedächtnissystemen* mit bedingten Logik-Funktionen, deren 'strukturelles Lernen' empirisch erklärbar und technisch simulierbar ist. Neu eingeführt wurde der Begriff "denkendes Gedächtnis" für die 'strukturell lernende' Funktionseinheit von operativem Speicher und Prozessor zur kognitiven Informationsverarbeitung.

Ein kognitiv-logisches Gedächtnissystem nutzt sein veränderliches Erfahrungswissen zur kognitiven Interpretation von symbolischen Mustern und kann situationsangepasstes Verhalten erlernen, um sich auf einem bestmöglichen Niveau zu behaupten (Adaption, Intelligenz). Es funktioniert nach konstruktiven Regeln (Theorien, Modellen) in Bezug auf seine Umwelt und möglicherweise auch auf sich selbst bezogen. Seine *dynamische Stabilität* (Homöostase) dient der Selbsterhaltung unter variablen Bedingungen der objektiven Realität. [10.3]

Ein lernfähiges Gedächtnissystem ist befähigt zur optimalen Entscheidungsfindung für "intelligentes" Handeln auf Grund seiner '*kognitiv-logischen*' *Gedächtnisstruktur*, die eine *dynamische Wissensdarstellung* ermöglicht. Seine formalen Darstellungen betreffen veranlagtes Grundwissen und 'ausbildbares' Erfahrungswissen für modifizierbare Logik-Funktionen (bedingte Verknüpfungen) mit "erlernten" *bedingten Relationen* zwischen Systemvariablen (s. u., Definition 8). [10.2] [10.5] [10.6]

Ein kognitives System, aufgefasst als 'lernendes Gedächtnissystem', ist befähigt zum situationsabhängigen Kenntniserwerb (Kognitionsvermögen) und kann sich dadurch an Umweltveränderungen anpassen, d. h. lernen oder umlernen. Jede *erworbene Kenntnis* (Erkenntnis) entspricht einem kognitiven Wissenszuwachs "im Gedächtnis" und wird als erlernte 'bedingte Relation' in Folge einer situationsbedingten (Funktions-)Änderung der 'kognitiv-logischen' Gedächtnisstruktur "behalten", d. h. einbezogen in mindestens eine bedingte Logik-Funktion *strukturell gespeichert* (vgl. Thesen 1 bis 9 zu meiner Kenntnistheorie und definierte CAND- und COR-Knoten). [10.2] bis [10.7]

Auf gewonnenem Erfahrungswissen beruht die 'assoziative' Kenntnisnutzung, z. B. für empirische Urteile bei der Objekterkennung durch Erinnerung an Bekanntgewordenes. "Aus Erfahrung" werden *hypothetische Voraussagen* assoziiert (Erwartungen, Vorurteile), die *induktive Schlüsse* (Vermutungen) durch 'erfahrungsgemäße Implikation' beeinflussen, - besonders nützlich zur Entscheidungsfindung für adaptives Handeln (Intelligenzleistung, s. 2.). [10.3]

Definition 1: Das 'Assoziieren aus Erfahrung' ist ein kognitiv-logischer Grundprozess der 'Kenntnisnutzung' im assoziativen Gedächtnissystem, das gekennzeichnet ist durch eigene Generierung mindestens einer 'assozierten' Information (dargestellt in Form einer 'assoziativ' *verifizierten Invariante*, s. Definition 11), die erfahrungsgemäß mit einer 'Schlüsselinformation' durch früheren Kenntniserwerb in kausale Verbindung gebracht worden ist. Ausgehend von einem besonderen Schlüsselsignal können mehrere, von diesem verursachte Signalwerte für unterschiedliche 'assozierte' Informationen verifiziert werden (vgl. divergente Assoziationen im Cortex des Gehirns). [8] [10.4]

Beim 'Assoziieren aus Erfahrung' können besondere 'assozierte Informationen' in einen Übertragungskanal für eine allgemeinere begriffliche Information 'assoziativ' eingekoppelt werden, d. h. Disjunktion alternativer Einflüsse.

Die Entstehung 'assoziierter' Informationen ist selektiv steuerbar, wenn eine situationsbedingte Verhinderung (Inhibition, Hemmung) des 'Assoziierens aus Erfahrung' möglich ist. Die Übertragungskanäle für assoziierbare Informationen können gesperrt, d. h. ihre Wirksamkeit logisch negiert, werden (vgl. inhibitorische Synapsen an Neuronen im Gehirn). [10.10]

Definition 2: Durch situationsabhängiges 'Assoziieren aus Erfahrung' entstehen "erinnerte" *assozierte Voraussagen* (Prädiktionen, Vorurteile oder Erwartungen) durch funktionelle Nutzung von bedingten Relationen zur 'assoziativen' Verifikation von begrifflichen Invarianten, z. B. von "hypothetischen" Signalwerten im lernenden System. Beim Assoziieren fungieren die "strukturell gespeicherten" *bedingten Relationen* (in Form konditionierter Assoziationen) als funktionell einbeziehbar *erworbene Kenntnisse* des individuellen Erfahrungswissens (Kenntnisnutzung). [10.2][10.3]

Definition 3: Logische Schlussfolgerungen (Inferenzen) durch Induktion oder Deduktion, d. h. logische Schlüsse von niederen zu höheren bzw. von höheren zu niederen Abstraktionsniveaus, beruhen auf wechselseitigen Beziehungen zwischen hierarchischen Informationsdarstellungen. Solche induktiven bzw. deduktiven Kausalitätsbeziehungen einer "netzartigen" Wissensstruktur entsprechen formalisierbaren Relationen zwischen verifizierbaren Invarianten für Begriffe (Knoten eines semantischen Netzes). Als Beispiele ihrer Ausdrucksformen gelten Verknüpfungsregeln für Implikationen und bedingte logische Funktionen, - definiert für hierarchische *Zuordnungsniveaus* eines 'lernfähigen Zuordnungskomplexes' mit Vorwärts- und Rückkopplungen, wodurch induktives und deduktives *Assoziieren aus Erfahrung* simulierbar ist. (vgl. Definition 5 und 7) [10.5] [10.6]

Die *Selbstbezüglichkeit* eines kognitiven Systems zeigt sich in einer "subjektiven" Interpretation seiner wahrgenommenen Signale für externe und auch interne Situationen (z. B. Bedürfnisse). Das interpretierende System generiert eigene situationsabhängige Erkennungsergebnisse, Urteile und 'assoziierte Voraussagen', die funktionale Bedeutungen für das System haben (Informationen als semantische Inhalte). Besondere Informationen werden vor allem nach ihrer Nützlichkeit (Vorteil, Lustgewinn) und Neuigkeit (Unbekanntes) für das System bewertet. [2] [7] [8]

Definition 4: Eine erfahrungsgemäße Beurteilung und Bewertung aktueller Situationen geschieht nicht nur infolge von wahrgenommenen Signalereignissen, hervorgerufen von "realen" Input-Signalen (sensorischen Afferenzen), sondern auch infolge zusätzlicher 'vorgestellter' Signalereignisse für "aus Erfahrung" assoziierte Voraussagen (synthetisierte Afferenzen). Daraus resultierende individuelle Urteile (Vorurteile) bzw. Bewertungsergebnisse (Motivation, Emotion, Antrieb) entsprechen abstrakten Niveaus für interne Informationsdarstellungen. [10.2] [10.3] [10.7]

Definition 5: Assoziierte Voraussagen erster Art entsprechen "assoziativ" erinnerten (vorgestellten) *Wahrnehmungs- oder Erkennungsergebnissen*, die von sensorischen oder synthetisierten Afferenz-Signalen hervorgerufen werden, - möglicherweise auch *empirischen Urteilen* (Vorurteilen). Solche 'Prädiktionen' täuschen Wahrnehmungen vor, als ob z. B. besondere Objekteigenschaften wirklich beobachtet vorlägen, die früher im Gedächtnissystem mit erkannten Situationseigenschaften in Verbindung gebracht (korreliert) worden sind. Diese *hypothetischen Voraussagen* werden *induktiv oder deduktiv* "aus Erfahrung" assoziiert und dienen zur erfahrungsgemäßen Ergänzung oder Vervollständigung von Signalereignissen (induktive bzw. deduktive Afferenzsynthese, s. 3.). [10.2] [10.4]

Definition 6: Assoziierte Voraussagen zweiter Art sind *hypothetische Erwartungen* für "vermutete" Konsequenzen von abwägbaren Entscheidungen (vgl. Efferenzentwürfe, Efferenzkopien). Sie beruhen auf 'erinnerten' Erfahrungen in Verbindung mit besonderen Handlungen, z. B. beobachteten Tatfolgen, aufgrund früherer Entschlüsse. [10.2] [10.4]

Definition 7: Eine effektorientierte *Voraussage zweiter Art* (nach dem Reafferenzprinzip) entspricht einer assoziierten Hilfsinformation für das "bedingte Erwägen" einer optimalen Entscheidung. Sie wird mit einem ausgewählten Entscheidungsvorschlag (Efferenzentwurf) *deduktiv* assoziiert und gilt als voraussichtliche Handlungskonsequenz "aus Erfahrung" (Erwartung) für den zu untersuchenden Efferenzentwurf (als Alternative). Für abschätzbare Alternativen können mehrere hypothetische Voraussagen vor einer Entscheidung *kritisch bewertet* werden. Eine "intelligente" Entscheidungsfindung erfolgt durch *antizipatorische Handlungsvorwegnahme* (mit Referenzmodell) beim erfahrungsbedingten Abwägen im Rahmen des individuellen Handlungsspielraums. Hierfür gelten zielorientierte Entscheidungskriterien zwecks bedarfsabhängigem Selbsterhalt unter veränderlichen Umweltbedingungen (s. 3.).

Situationsbedingte Bewertungsergebnisse entstehen durch *subjektive Bewertung* im lernfähigen Gedächtnissystem. Ihnen entsprechen individuelle Emotionen, Motivationen oder Antriebe gemäß der 'subjektiven Lage' im Gehirn. Diese beeinflussen (meist unbewusst) die Aufmerksamkeit für Wahrnehmungen oder ein besonderes 'Interesse für das Neue' (vgl. sog. 'limbisches System' im Gehirn). [2] [7] [8] [10.3] [10.9]

"Intelligente" kognitive Systeme können Probleme lösen und situationsbedingt lernen (vgl. Definition 13). Sie sind komplexe, selbstorganisierende 'dynamische Systeme' mit funktioneller und struktureller Entwicklungsfähigkeit (vgl. Plastizität des Gehirns). Mit modellhaft definierten kognitiv-logischen Gedächtnissystemen können Ihre erfahrungsgemäßen Gedächtnisleistungen simuliert werden. [10.1]

Definition 8: Ein 'lernfähiges Gedächtnissystem' ist gekennzeichnet durch seine 'strukturelle Lerndisposition', d. h. die konzeptionelle Veranlagung *induktiver Lernmechanismen* für mehrere 'konditionierbare Assoziationen' (mögliche bedingte Relationen), verteilt in seiner modifizierbaren Gedächtnisstruktur für erweiterbares Wissen (vgl. 'plastische' synaptische Verbindungen als strukturelle Veranlagung im Gehirn). [10.2] [10.10]

Die strukturelle Lerndisposition ermöglicht den situationsbedingten Kenntniserwerb des Gedächtnissystems durch situationsabhängige 'Selbststrukturierung' (strukturelles Lernen). Die empirische Wissensveränderung gemäß einem kognitiven Wissenszuwachs (Erfahrungsgewinn, Kenntniserwerb) entspricht der erfahrungsbedingten Modifikation einer definierten 'kognitiv-logischen Gedächtnisstruktur' mit bedingten Relationen. Diese ist formal beschreibbar und simulierbar als lerntypische Funktions- und Verhaltensänderung eines lernenden Gedächtnissystems. [10.3] [10.6]

These 1: Der kognitive Grundprozess des *Kenntniserwerbs* wird als 'strukturelles Lernen' im Gedächtnissystem erklärt und ist gekennzeichnet durch mindestens einen induktiven Lernmechanismus zur situationsabhängigen Ausbildung und zum temporären 'strukturellen Speichern' einer *bedingten Relation* (als erworbenen Kenntnis), d. h. einer "erfassten" (semantischen) Beziehung für einen "erkannten" Zusammenhang zwischen begrifflichen Invarianten (Symbolen, Variablenwerten) des Erfahrungswissens der Gedächtnisstruktur. [10.2] [10.3] [10.6]

These 2: Unter der Voraussetzung mindestens einer *konditionierbaren Assoziation* der strukturellen Lerndisposition geschieht ein situationsbedingter Kenntniserwerb durch systeminterne Ausbildung einer bedingten Relation der lernfähigen Gedächtnisstruktur nur dann, wenn mindestens einmal die dafür definierte Koinzidenzbedingung situationsabhängig erfüllt wurde, d. h. wenn ein aktuelles Zusammentreffen (Kontiguität in Raum und Zeit) von aufeinander beziehbaren Signalereignissen als ihre notwendige und hinreichende Koinzidenz detektiert wurde. Mit diesem Kriterium der Konnexanalyse für eine erfassbare begriffliche Beziehung (vgl. Prinzip der Vereinbarkeit) erfolgt die versuchsweise Annahme ihrer Regelmäßigkeit entsprechend einem untersuchten Zusammenhang. [10.2] [10.10]

These 3: *Erworbene Kenntnisse* werden als aufgebaute bedingte Relationen in Form konditionierter Assoziationen in der kognitiv-logischen Gedächtnisstruktur dauerhaft oder temporär gespeichert und können wegen Nichtbestätigung (ungenügender Konsolidierung) oder wegen Falsifizierung (Korrektur, Umlernen) abgebaut werden (Vergessen). Wiederholte Erfüllung von Koinzidenzbedingungen für konditionierte Assoziationen (Bewährung durch Bestätigung) haben die Konsolidierung (Festigung) der entsprechenden bedingten Relationen zur Folge. [10.2] [10.3] [10.4] [10.6]

These 4: Die lertypische Struktur- und Funktionsentwicklung eines kognitiv-logischen Gedächtnissystems ist gekennzeichnet durch individuelle Ausbildungsformen seines Erfahrungswissens, ausgehend von vorbestimmten Funktionsprinzipien und Strukturkonzepten als systeminterne Grundvoraussetzungen, d. h. vor allem:

- sein 'A-priori-Wissen' als veranlagtes Basis-Wissen für seine individuellen Grundfunktionen, z. B. seine Wahrnehmungs-, Erkennungs-, Bewertungs- und Verhaltensmuster (prä- und postnatal bei Organismen), und
- seine strukturelle Lerndisposition, d. h. Veranlagung konditionierbarer Assoziationen (s. Definition 8), als Lernbegabung für die situations- und aktivitätsabhängige Ausbildung seines Erfahrungswissens (vgl. Modellbildung).

Das bedeutet eine Abkehr vom 'tabula rasa'-Ansatz (ohne A-priori-Wissen) für kognitive Systeme. [2] [3] [8] [10.3]

Die *Lernbereitschaft* (Aufmerksamkeit, Interesse) eines kognitiven Systems ermöglicht den Kenntniserwerb durch Beobachtung von Koinzidenzereignissen korrelierter Invarianten (Variablenwerten), deren Beziehungen als markant für erfassbare Zusammenhänge realer Sachverhalte angenommen werden. Eine systemimmanente Voraussetzung dazu ist funktionell nutzbares Vorwissen einer lernfähigen Gedächtnisstruktur (z. B. für begriffliche Zuordnungen), womit neu erworbene (Er-)Kenntnisse "in Erfahrung gebracht" werden können, die als bedingte Relationen (zwischen verifizierbaren Invarianten) strukturell speicherbar sind, - d. h. *strukturelles Lernen mittels A-priori-Wissen*.

Induktives Lernen durch situationsabhängig "angenommene" Erfahrungen im Gedächtnissystem beruht auf "erlernten" bedingten Relationen der Gedächtnisstruktur, die einer kognitiven Wissenserweiterung entsprechen. Bei der Ausbildung von hypothetischem Erfahrungswissen kann eine erworbene Kenntnis neu gewonnen, konsolidiert oder vergessen/umgelernt werden. (vgl. These 3 und. plastische neuronale Gedächtnisstrukturen). [1] [2] [3] [4] [8]

Definition 9: Ein lernfähiges Gedächtnissystem mit 'kognitiv-logischer' Gedächtnisstruktur kann situationsabhängig ausgebildetes Erfahrungswissen gewinnen, entsprechend seiner "empirischen" Ausbildung und Entwicklung (vgl. ontogenetische Gehirnentwicklung). Seine erworbenen Kenntnisse für "erlernte" oder "umgelernte" Funktionen (vgl. Lernformen) werden als "induktiv erlernte" bedingte Relationen in *erweiterte logische Systemfunktionen* einbezogen.

Erfahrungsgemäß modifizierbare, entwicklungsfähige Logikfunktionen (kognitive Logik) ermöglichen kognitiv-logische Schlussfolgerungen im lernenden Gedächtnissystem, die vorteilhaft nutzbar sind für seine situationsangepasste (adaptive) Handlungssteuerung, womit sein intelligentes Verhalten bestimmbar ist (s. Definition 1 bis 7). [10.1]

Definition 10: Ein lernfähiges Gedächtnissystem hat eine entwicklungsfähige Systemorganisation für komplexe Wechselwirkungen seiner Systemkomponenten (Funktionskomplexe, Module), die durch situationsabhängige Ausbildung *bedingter Relationen* und 'strukturelles Lernen' modifiziert werden. [10.5] [10.6]

Charakteristisch für ein 'selbstorganisierendes' kognitives System sind die dynamisch entwickelbaren Eigenschaften seiner Gesamtheit (Ganzheit). Die situationsabhängige Qualität der Gesamteigenschaften des Systems wird 'integrativ' bestimmt von veränderlichen Eigenschaften einzelner Systemkomponenten (strukturelle Lerndisposition) und von komplexen (nichtlinearen) Wechselwirkungen zwischen Funktionskomplexen/Teilsystemen (Emergenz). [5] [8]. Eine genaue Voraussage seines zukünftigen Systemverhaltens ausgehend von Systemzuständen ist sehr problematisch, weil dazu eine vollständige Beschreibung (Erklärungsmodell) des kognitiven Systems mit bekannten Eigenschaften seiner Teilsysteme und der Entwicklungsgeschichte für aktuelle Organisationsmerkmale benötigt wird. Für einen außen stehenden Beobachter, der die "Erfahrungen" des lernenden Systems nicht vollständig kennt, kann dadurch der Eindruck entstehen, dass das kognitive System "willentlich" handelt (eigene Intentionen, Wille).[10.3]

These 5: Psycho-physiologisch unterscheidbare Lernformen können hierarchisch klassifiziert werden (niedere und höhere Lernformen). Diese entsprechen qualitativen Entwicklungsstufen eines Gedächtnissystems, besonders seiner lernfähigen Teilsysteme (s. 2., These 10). Letztere bestehen aus wechselwirkenden Funktionskomplexen und ihren 'verknüpfenden Gedächtnismodulen' (vgl. kognitiv-logische Verknüpfungseinheiten), konzipiert für situationsabhängig konditionierbare Assoziationen (strukturelle Lerndisposition, vgl. 'Plastizität' vernetzter Neuronengruppen/-Module).

Kognitive Leistungen besonderer Qualität sind beim "rationalen" Problemlösen erforderlich. Wenn eine Aufgabe zur Erreichung eines Ziels mit Kenntnissen des Erfahrungswissens (Regeln, Methoden) nicht lösbar ist, muss ein "neuer" Lösungsansatz (Algorithmus für Lösungsschritte) "heuristisch" erfunden und empirisch erprobt werden. – Eine Methode zum Problemlösen (in kognitiven Systemen und in der Naturwissenschaft) ist die Lernmethode

"Versuch und Irrtum" (trial and error, 'Lernen aus Fehlern'), - analog dem evolutionären Prinzip von Variation und Selektion. [3]

Lösungsansätze entsprechen voraussichtlichen Annahmen (Thesen) für zweckgerichtete Versuche (Probieren, auch folgend auf Suchen und Untersuchen [10.3]), - unterstützt von *theoretischen Hypothesen* des 'unsicheren' Wissens.

Zur Ungewissheit der wissenschaftlichen Erkenntnis durch kognitive Erfassung des Gegebenen schrieb Albert Einstein [11]:
 "Der Glaube an eine vom wahrnehmenden Subjekt unabhängige Außenwelt liegt aller Naturwissenschaft zugrunde." (1931)
 "Sinnen-Erlebnisse finden wir vor. Sie sind das unverrückbar Gegebene. Das Gedankliche aber, was uns zu dessen Erfassung dient, ist Menschenwerk, Ergebnis eines äußerst mühevollen Anpassungsprozesses: hypothetisch, niemals völlig gesichert, stets gefährdet und in Frage gestellt." (Das Fundament der Physik, 1940)

Theoretische Kenntnisse, formalisierbar als Theorien oder Modelle, gehen in das Erfahrungswissen mit einem 'Ungewissheitsgrad' ein und müssen sich durch praktische Erprobung (Experimente) in der Erfahrungswelt bewähren. Nach erfolgreichen Praxistests mit bestätigenden Beweisen für theoretische Voraussagen können sie empirisch gefestigt werden (Konsolidierung), andernfalls bleiben sie wegen Nichtbestätigung ungewiss und fragwürdig. In Folge erneuter Erprobung können Theorien falsifiziert oder möglicherweise mittels neuer Erkenntnisse korrigiert oder verbessert werden (z. B. beim Umlernen durch Kennenlernen von Neuem). [3] [6] [8] [10.4] [12]

Theoretische Erkenntnisse führen zum Lernen durch "rationale" Einsicht in prinzipielle Sinn-Zusammenhänge. Sie entstehen bei individuellen Denkvorgängen mittels Erfahrungswissen und eigenen Vorstellungen (Fantasie), - auch unabhängig von aktuellen Sinneswahrnehmungen (Nachdenken). Gedankliches Operieren mit Begriffssymbolen in logischer Folge geschieht auf sprachlich-abstraktem Begriffsniveau, besonders beim (stummen) Sprechen über Erfahrungen oder Vorstellungen. Die "heuristische" Entstehung einer theoretischen Erkenntnis (Einsicht) wird dem psychologischen Phänomen der *Intuition* zugeschrieben. Die "kreative" kognitive Erfassung einer neuen Verbindung von Gedankengängen (Erkenntnis) kann als "spontane" Denk-Erfahrung bewusst erlebt werden (Aha-Erlebnis).

Konrad Lorenz war der Ansicht: "Fast immer entsteht die neue Erkenntnis daraus, dass zwei bereits existente Gedankengänge zu einer Einheit integriert werden, die neue Systemeigenschaften besitzt." [4, S. 103] (1978)

Die Hirn- und Bewusstseinsforscher Gerald M. Edelman und Giulio Tononi stellten fest:

"Träume und Fantasien sind eine faszinierende phänomenologische Demonstration dessen, dass das erwachsene Gehirn spontan und aus sich heraus, ohne direkten Input aus der Peripherie, zumindest für kurze Zeit Bewusstsein und Bedeutung hervorzubringen vermag. Es ist wohlbekannt, dass das thalamokortikale System - sogar bei einem Fetus im Uterus - spontan physiologisch aktiv sein kann, unabhängig davon, ob es einen Input von außen erhält oder nicht. Und schließlich ist auf anatomischer Ebene hinreichend erwiesen, dass die meisten Neurone im thalamokortikalen System Signale von anderen Neuronen erhalten und nicht direkt durch den Input der Sinnesorgane erregt werden." [7, S. 186]

These 6: Neue 'theoretische Kenntnisse' (Erkenntnisse) eines lernfähigen Gedächtnissystems entsprechen *theoretischen Relationen*, d. h. 'vermuteten' Beziehungen zwischen als korreliert angenommenen Begriffssymbolen einer Wissensstruktur (semantisches Netz). Sie werden definiert als hypothetische bedingte Relationen zwischen Variablenwerten (koinzident verifizierten Invarianten) einer formalen Wissensrepräsentation. (These 7) [10.2] [10.4]

Zur rationalen Erfassung von Beziehungen für abstrakte Begriffe meinte Albert Einstein (in 'Aus meinen späten Jahren', 1952):
 "Die Naturwissenschaft forscht nach Beziehungen, die unabhängig vom Forscher bestehen. Das gilt auch, wenn der Mensch selbst das Objekt ist. Objekte wissenschaftlicher Sätze können aber auch Begriffe sein, die wir selbst geschaffen haben, wie in der Mathematik." (1940) [11, andere Formulierung, 1949]

Die Ungewissheit von mathematisch formulierbaren Erkenntnissen betonte Richard P. Feynman (Physik-Nobelpreisträger):

"Die Regeln, die die Natur beschreiben, scheinen mathematischer Natur zu sein. Das ist nicht etwa auf die Tatsache zurückzuführen, dass Beobachtung die Richtschnur ist, und Wissenschaft muss auch keineswegs notwendigerweise mathematisch sein. Es erweist sich lediglich, dass sich mit Hilfe mathematisch formulierter Gesetzmäßigkeiten zumindest in der Physik überzeugende Vorhersagen treffen lassen." [6, S. 36]

"Jedes wissenschaftliche Gesetz, jedes wissenschaftliche Axiom, jede Feststellung der Ergebnisse einer Beobachtung ist eine Art Zusammenfassung, bei der die Einzelheiten unter den Tisch fallen, da man nichts genau festlegen kann. ... Für alle unsere wissenschaftlichen Aussagen, all unsere Schlussfolgerungen gilt notwendigerweise, dass sie ungewiss sind, denn es handelt sich lediglich um Schlussfolgerungen. Um Schätzungen, was geschehen könnte. Man kann jedoch nicht wissen, was wirklich geschehen wird, weil man die umfassendsten Experimente nicht durchgeführt hat." [6, S. 38] (1963)

Ein "intuitiver" Theorie-Ansatz (Konzeptentwurf) entsteht auf hohem mentalen Abstraktionsniveau durch 'rationale Einsicht' in erfassbare Zusammenhänge des untersuchten Sachverhalts mit Hilfe von Erfahrungs- und Metawissen. Die spontan erlebbare Erkenntnis (Idee, Einfall) wird als "heuristische" *Zusammenhangserfassung* aufgefasst. Verbindungsfördernden Einfluss bei einer 'Selbstkonditionierung' (reflexive Einsicht) können situationsbedingt 'assoziierte' Informationen haben (erinnerte Aussagen), - korrelierbar mit 'passenden' Begriffen oder Vorstellungen, - unabhängig von oder zusätzlich zu Sinneswahrnehmungen. Eine "innovative" theoretische Kenntnis (Erkenntnis) wird als hypothetische bedingte Relation in eine '*assoziativ*' *modifizierte Gedächtnisstruktur* einbezogen und somit für einen 'als neu erfassten' (vermuteten) Zusammenhang versuchsweise 'angenommen' (temporär gespeichert).

These 7: Die Simulation des theoretischen Kenntniserwerbs in einer 'kognitiv-logischen' Gedächtnisstruktur erfolgt durch die '*assoziative*' Konditionierung (These 8) mindestens einer *hypothetischen Assoziation* für eine "heuristisch erfasste", hypothetische bedingte Relation, die einer "neuen" begrifflichen Verbindung entspricht, z. B. für ein 'angenommenes' Merkmal oder für eine 'vermutete' Relation (aufgefasst als innovative 'theoretische Kenntnis'). [10.2]

These 8: Die 'assoziative' Konditionierung beruht auf der hypothetischen Kenntnissnutzung, d. h. der Nutzung von mindestens einer bedingten Relation als "erworbenen Vorkenntnis" (relatives A priori) zur 'assoziativen' Erfüllung der Koinzidenzbedingung (These 2) unter Beteiligung einer 'assoziativ' verifizierten Invariante (z. B. als 'vorgestelltes' Begriffssymbol) für eine 'assoziierte' Information (Definition 1) [10.2]

Die 'reale Konditionierung für eine *empirisch erworbene* Kenntnis unterscheidet sich von der 'assoziativen' Konditionierung (s. o.) dadurch, dass ihre Koinzidenzbedingung beim strukturellen Lernen mit Hilfe von "wirklichkeitsnahen" Signalereignissen aufgrund sensorischer Wahrnehmungen erfüllt wird, unterstützt von möglichst 'gesicherten' Vorkenntnissen (A-priori-Wissen) und konsolidierten empirischen Kenntnissen (Erfahrungen). [10.2]

These 9: Assoziierte Aussagen/Voraussagen beim Denken entstehen mit Hilfe von empirisch erworbenen Kenntnissen und mittels vermuteter theoretischer Kenntnisse. Diese sind "konstruktiv" beteiligt an einer 'kognitiven Analyse' und auch 'assoziativen Synthese' von begrifflichen Informationsdarstellungen (vgl. Afferenzsynthese, s. 3.). Konstruktives Denken ist 'gedankliches' Operieren mit Symbolen für abstrakte Begriffe und semantische Relationen, wobei Vorstellungen aus der Vergangenheit Einfluss haben und auch zukunftsorientiert neue entstehen können.

Das reflexive logische Denken (Nachdenken) erfolgt diskursiv, 'bewusst' als stummes Sprechen (auch mit sich selbst, d. h. selbstbezüglich). Ein Phänomen der Selbstbeobachtung beim Sprechen ist, dass die Wortwahl und syntaktische Formulierungen von Satz-Sequenzen meist unbewusst geschehen. In Folge der Selbstwahrnehmung können das Ausgesprochene und seine (unüberlegte) Bedeutung erst beim Sprechen oder später bewusst werden. Begriffe und ihre Beziehungen (Gedankengänge) sind sprachlich formalisierbar, wenn sie mit *symbolischen Zeichen* formal ausgedrückt werden können (z. B. Formulierungen mit Wörtern und/oder Sätzen). [10.3] [10.6]

Sprachliche Ausdrücke dienen zur formalen *Beschreibung* von begrifflichen Zusammenhängen des 'objektivierbaren' Erfahrungswissens. Mit syntaktischen Sprachsequenzen (z. B. Sätzen) lassen sich logisch verknüpfbare Aussagen (Prädikate) für Urteile formulieren. Logische Formen verknüpfter Relationen (Funktionen, Verknüpfungen) ermöglichen Zusammenhangsbeschreibungen. Ein bekannter Sachverhalt wird oft *prozedural* beschrieben. Zu seinem besseren Verständnis kann eine zusätzliche *Erklärung* des "Warum" dienen. Zusätzliche Erklärungen (Belehrungen) sind hilfreich beim analytischen Denken hinsichtlich des "einsichtigen" Auffindens von kausalen und anderen Zusammenhängen. Dazu können *deklarative* Gedächtnisinhalte miteinander in Beziehung gesetzt werden.

Sprachformen für Beschreibungen und Erklärungen ermöglichen nützliche Kommunikationen mit Partnern, wobei für das richtige Verstehen gemeinsame Kenntnisse (des Vorwissens) vorausgesetzt werden. Definierbar sind formale Wissensdarstellungen (Repräsentationen) für gedankliche Konzepte und/oder gebildete Modelle. [12] Explizites Teilwissen eines kognitiven Systems wird repräsentiert mit syntaktischen Ausdrucksformen für deklarative Gedankengänge gemäß ausgewählter Gedächtnisinhalte (Vorstellungen, Urteile und Begriffe). Für Sprechen und Sprachverstehen gelten sprachliche Regeln (Grammatik), die eine verständliche Formalisierung von analytischen oder prozeduralen Gedankengängen vereinbarungsgemäß definieren. Erweiterbares sprachliches Regelwissen kann durch Lernen bei der Kommunikation adaptiv verbessert und vervollständigt werden (vgl. Sprachen lernen).

Definition 11: Formationen (z. B. Sätze, Worte oder Symbole) werden definiert als syntaktische Formen sprachlicher Ausdrücke mit semantischen Inhalten für Aussagen. Aktuelle Formationen entsprechen *verifizierten Invarianten* (Variablenwerten), die in raumzeitlichen Zusammenhängen deutbar sind. Beispiele für 'informelle' Formationen sind begrifflich codierte Muster als *Wertetupel von Variablenkonfigurationen*. Diese sind bestimmt für Interpretieren und/oder Kommunikationspartner, d. h. für kognitive Systeme, die sie erkennen und interpretieren (deuten) können. *Unterschiedliche Interpretationen* einer symbolischen Formation erfolgen dadurch, dass ihr andere Formationen für 'bekannte' Informationsdarstellungen (z. B. Muster) als ihre Entsprechungen zugeordnet werden. [10.4] [10.5] [10.6]

Richtiges *Verstehen* einer sprachlichen Formation ist nur im vereinbarten semantischen Kontext möglich. Dabei entspricht der semantische Inhalt einer Formation ihrer *jeweiligen Bedeutung für den Interpreten*, d. h. der funktionell "entnommenen" Information, allgemein definierbar als subjektive Nachricht für kognitive Systeme. [10.4] [10.6] [10.8]

Formale Darstellungen und sprachliche Ausdrücke (z. B. Zeichen, Worte oder Sätze) für inhaltliche Aussagen können nur dann *richtig* gedeutet und verstanden werden, wenn beim Interpretieren *vorausgesetzte Kenntnisse* über den Kontext und für adäquate Vorstellungen nutzbar sind (Vorwissen zu Entsprechungsrelationen oder Modellen).

Formationen zur Informationsdarstellung zwecks Repräsentation von Wissen sind sprachliche Ausdrücke für logische *Regeln, Fakten oder Relationen*, aber auch *mathematische Sätze* (Formeln, Axiome). Besondere Formalismen der Mathematik beschreiben begriffliche Zusammenhänge (Relationen) zwischen Variablen von theoretischen Modellen, deren begriffliche Abstraktion und Komplexität die Darstellungsmöglichkeiten einer natürlichen Sprache übersteigen.

'Relationale Modelle, die funktionelle Beziehungen zwischen verifizierbaren Invarianten beschreiben, entsprechen formalen Wissensrepräsentationen für *logische Verknüpfungen und Zuordnungen* symbolischer Formationen. Mit formalsprachlichen Relationen und definierten Regeln (für Funktionen) lassen sich erfasste Beziehungen und Zusammenhänge begrifflicher Invarianten formalisiert ausdrücken. Diese kennzeichnen 'erkannte' Sachverhalte, - abstrahiert von konkret-realen (natürlichen oder künstlichen) Objekten, auch von beobachteten oder vorgestellten Vorgängen (Geschnehen, Prozessen oder Handlungen). Damit können *prädiktive Modelle* gebildet werden, die Voraussagen über die Umwelt (Weltmodell), über das kognitive System selbst (Selbstmodell) und über seine dynamischen Interaktionen mit der Umwelt (Verhaltensmodell) ermöglichen. [10.3] [10.4] [10.5] [10.6] [12]

Definition 12: Das Organisationskonzept eines lernfähigen Gedächtnissystems, aufgefasst als interpretierender Automat mit Inputs und Outputs, wird durch folgende kognitiv-logischen Hauptprozesse definiert. Diese sind spezifisch für mehrere wechselwirkende Teilsysteme des lernenden Automaten (hierarchische Netzstruktur mit unterschiedlichen Entwicklungsstufen zur Simulation von 'gekapselt' klassifizierten Lernformen, s. 2. und 3.). [10.2]

1. Wahrnehmung/Klassifikation - zur Identifikation von Input-Objekten durch kategorisierende Unterscheidung des Einzelnen und synthetische Zuordnung des Allgemeinen (Verknüpfung des Konkreten mit dem Abstrakten), z. B. bei der Mustererkennung und begrifflichen Invariantenbildung, gemäß extrahierbaren Merkmalen von Input-Signalen (sensorischen Afferenzen), - führt zu aktuellen *Wahrnehmungsergebnissen* (Input-Begriffen) und empirischen Prädiktionen (assoziierten Voraussagen 1. Art), die andere kognitiv-logische Prozesse und auch den Kenntniserwerb beeinflussen können.
2. Erkennung des Wesentlichen (Abstraktion) der internen und externen Situation durch 'rationale Analyse' von situationsspezifischen Wahrnehmungsergebnissen in Zuordnung zu "wesentlicheren" Situationsdarstellungen auf abstrakterem Begriffsniveau, - führt zu aktuellen *Erkennungsergebnissen* (Situationsbegriffen) und empirischen Prädiktionen (assoziierten Voraussagen 1. Art), die andere kognitiv-logische Prozesse und auch den Kenntniserwerb beeinflussen können.
3. Beurteilung der Erkennungsergebnisse für die abstrahierte interne und externe Situation durch logischen Vergleich des aktuell Erkannten mit Bekanntem gemäß der 'subjektiven Lage', - führt zu *individuellen Urteilen* und assoziierten Vorurteilen oder Erwartungen (Voraussagen "aus Erfahrung"), die andere kognitiv-logische Prozesse und auch den Kenntniserwerb beeinflussen können.
4. Bewertung der internen und externen Situation unter dem Einfluss von assoziierten Voraussagen hinsichtlich der Erreichung vorgegebener Ziele (Bedürfnisse), - führt zu *subjektiven Bewertungsergebnissen* als 'subjektive Lage', besonders zur Bestimmung von Antrieb, Motivation und Emotion, die andere kognitiv-logische Prozesse und auch den Kenntniserwerb beeinflussen können.
5. Entscheidung über Aktionsalternativen durch Handlungsauswahl gemäß den individuellen Beweggründen (Intention) verbunden mit Handlungskontrolle (beim 'bedingten Erwägen' einer optimalen Entscheidung durch Bestätigung oder Änderung eines Efferenzentwurfs), besonders unter antizipatorischer Einbeziehung von empirischen Erwartungen (assoziierten Voraussagen 2. Art) zu möglichen Handlungskonsequenzen, - führt zum aktuellen *Entscheidungsergebnis*: vorläufig als Efferenzentwurf, gültig als Entschluss/Efferenzkopie.
6. Aktionssteuerung (Handlung), d. h. gesteuerte Ausführung eines selektierten Verhaltensprogramms (Routine), - führt zu aktuellen *Output-Signalen* (Efferenzen), spezifisch für Effektoren zur Aktionsdurchführung, wobei Regelmechanismen mittels Rückkopplungen, z. B. für Fertigmeldungen, für Verhaltensprogramme nützlich sind.

Mein systemtheoretischer Ansatz einer neuartigen *Kognitiven Logik* erzielt die formale Modellierung von lernfähigen 'kognitiv-logischen' Gedächtnisstrukturen für 'intelligente' Systeme als KI-Artefakte. Diese werden definiert als *lernfähige Gedächtnissysteme*, die befähigt sind zu rationaler Autonomie und Homöostase (dynamischer Stabilität), - auf Grund empirischer Urteile und 'subjektiver' Bewertungen. Simulierbar sind situationsabhängige Kognitions- und Lernleistungen, besonders für individuelles Problemlösen zwecks Selbsterhalt in einer veränderlichen Umwelt. [10.1]

Charakteristisch für Kognitive Logik sind erlernbare 'bedingte Relationen' zwischen Variablenwerten (verifizierbaren Invarianten) für ausbildbare "bedingte" Logik-Funktionen zur *dynamischen Wissensdarstellung* einer lernfähigen Gedächtnisstruktur. In einem kognitiv-logischen Gedächtnissystem wird 'strukturelles Lernen' mit modifizierbaren logischen Verknüpfungen simuliert. Dabei entsprechen die "erlernten" *bedingten Relationen* den situationsabhängig *erworbenen (empirischen oder theoretischen) Kenntnissen* eines kognitiven Systems, dessen lerntypische Funktionsveränderungen auf bedingte Relationen zurückführbar sind (mein Ansatz einer 'Kenntnistheorie'). [10.4] [10.6]

Erzielt werden prinzipielle Simulationen des situationsabhängigen Kenntniserwerbs (durch real oder assoziativ konditionierte Assoziationen), der kurz oder langzeitigen Kenntnisspeicherung (durch strukturelles Speichern von bedingten Relationen) und der erfahrungsabhängigen Kenntnisnutzung beim 'Assoziieren aus Erfahrung' (Erinnerung, Voraussage) zur Bestimmung von 'bedingten Logik-Funktionen' im lernfähigen Gedächtnissystem.

Bedingte Relationen sind kennzeichnend für 'kognitiv-logisches' Erfahrungswissen, das genutzt wird, um *empirische Aussagen* und *assoziierte Voraussagen* (1. und 2. Art) auszudrücken. Damit ermöglicht werden technische Simulationen von intelligentem Verhalten und höheren (hierarchisch gekapselten) Lernformen (s. 2.). [10.2] [10.11]

Simulierbar sind subjektive Bewertungen von Situationen, - besonders zur 'selbstbezüglichen' Entscheidungsfindung mit Voraussicht (Antizipation), - in lernenden Automaten mit erfahrungsbedingten Erkennungs-, Beurteilungs-, Bewertungs- und Entscheidungsfunktionen (vgl. KI-Modelle »Lernender Homöostat« als Computersimulationen seit 1980). [10.3]

Fazit: Innovative Beschreibungsformen der Kognitiven Logik bestimmen dynamische Wissensdarstellungen mit induktiven Lernmechanismen zur situationsabhängigen Ausbildung bedingter Logik-Funktionen in Gedächtnisstrukturen (mit A-priori-Wissen), - im Unterschied zu festen Regeln der "starrten" formalen Logik oder mathematischen Logik, die orientiert ist auf theoretische Normen des korrekten Folgerns oder (erkenntnistheoretisch aufgefasst) auf definierte Gesetze für abgeleitetes Wissen. Den deduktiven Ableitungen nach theoretischen Regeln entsprechen Schlussfolgerungen (Konklusionen aus Prämissen) von bereits gefolgerten, tatsächlichen oder vorgestellten Situationen. Induktiv definierte Regeln für logische Implikationen sollten nur so lange unverändert bleiben, wie sie empirisch bestätigt werden (Bewährung, sonst: Falsifizierung, Korrektur oder Umlernen, vgl. Unschärfepinzip der relativen Wahrheit und philosophisches Induktionsproblem).

2. Gestuftes Systemkonzept 'Intelligenter Automat' für hierarchische Lernformen - analog Gehirnentwicklung

Folgende Kurzbeschreibung eines Systemkonzepts "Intelligenter Automat" entspricht inhaltlichen Auszügen aus der Patentschrift WP G 06 F/ 2349 488 [10.7] und weiteren Veröffentlichungen des Autors. [10.1] Das seit 1978 aufgezeigte Systemkonzept entspricht meiner Arbeitshypothese für ein schematisches Gehirnmodell (siehe Bild 1, aus [10.2]). Dieser Modellansatz wird von neueren Erkenntnissen der Hirnforschung gestützt. [1] [2] [7] [8] [10.9] Zu simulieren sind kognitive Grundprozesse des situationsabhängigen Selbstlernens, besonders für Erwerb und Nutzung von empirischen oder theoretischen Kenntnissen. Systemtheoretisch definierbar sind 'kognitiv-logische Gedächtnisstrukturen' für dynamische Wissensdarstellungen (siehe 1.). [10.5] [10.6] Zur situationsabhängigen Ausbildung von bedingten Logik-Funktionen einer Kognitiven Logik wird eine *strukturelle Lern disposition* vorausgesetzt, - gekennzeichnet durch 'konditionierbare Assoziationen'. Beim 'strukturellen Lernen' werden semantische 'bedingte Relationen' als erworbene Kenntnisse in bedingte logische Verknüpfungen einbezogen. [10.4] Mit definierten Funktions- und Strukturprinzipien für *lernfähige Gedächtnissysteme* sind 'hierarchisch gekapselte' Lernformen und intelligentes Verhalten simulierbar. Seit 1980 wurden drei Computersimulationen "Lernender Homöostat" mit kognitiver Logik implementiert und getestet. Solche innovativen KI-Modelle für 'lernfähige Gedächtnissysteme' simulieren 'subjektive' Bewertungen (auch Emotionen) für eigene Handlungsintentionen. [10.3]

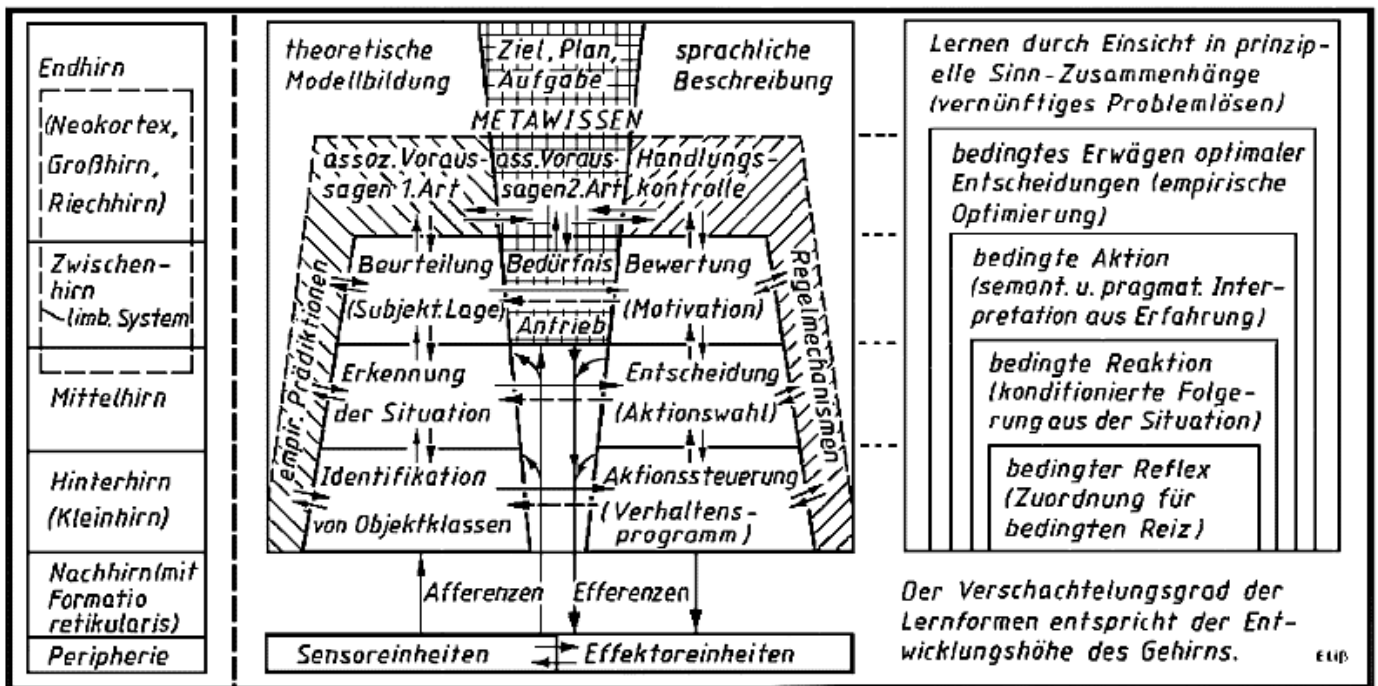


Bild 1 Schematisches Gehirnmodell - Funktionshierarchie für verkapselte Lernformen im Vergleich mit Hirnabschnitten [10.2] aus: S. 414 in msr, Berlin (1986) H. 9: E. Liß, Induktives Lernen kognitiv-logischer Gedächtnisstrukturen für intelligente Automaten

Mein gestuftes Systemkonzept 'Intelligenter Automat' ermöglicht die Simulation hierarchischer Lernformen mittels stufenweise entwickelbaren lernfähigen Gedächtnissystemen. Der vorgeschlagene Modellansatz für kognitiv-logische Gedächtnisstrukturen geht von folgender Definition des Intelligenz-Begriffs aus:

Definition 13: Intelligenz eines Systems ist die *Fähigkeit zum Problemlösen* (mit Handlungsspielraum), verbunden mit Lernen zwecks Selbsterhaltung (auf unterschiedlichen Niveaus der Bedürfnisbefriedigung). Lernen eines Systems bedeutet seine erfahrungsbedingte Verhaltensänderung und seine dadurch erreichbare individuelle Anpassung an Umweltänderungen im Sinne von "intelligentem" Verhalten und Homöostase (dynamische Stabilität). [10.1] [10.3]

Systemtheoretisch betrachtet ist ein "Intelligenter Automat" ein komplexes 'multistabiles' System (im Sinne von Ultrastabilität nach W. R. Ashby). Entwicklungsstufen seiner Stabilisierungsqualitäten entsprechen hierarchisch gekapselten Lernformen (vgl. Definition 15). Für die qualitativen Hierarchiestufen sind lernfähige Gedächtnissysteme mit vernetzten Funktionskomplexen definierbar, die *für sich stabil* sind. Diese können zeitweilig voneinander unabhängig operieren (z. B. für niedere Lernformen), sind aber über Teilfunktionen wechselwirkend verbunden (Vorwärts- und Rückkopplungen zur Stabilisierung). Einzelne Funktionskomplexe für niedere Hierarchiestufen stehen in Verbindung mit 'superponierten' Funktionskomplexen auf höheren Hierarchiestufen. Dadurch sind diese auch Bestandteile (Systemkomponenten) von umfassenderen Teilsystemen, die als Gedächtnissysteme höherer Entwicklungsstufen definiert werden. Superponierte Funktionskomplexe können *kontrollierend oder steuernd* auf untergeordnete Funktionskomplexe einwirken. Relativ autonome Funktionskomplexe auf unteren Hierarchiestufen vollziehen ihre Stabilisierungs- und Anpassungsoperationen normalerweise selbständig. Ihre Funktionsautonomie ist aber von einer höheren Funktionsebene aus "beobachtbar" und erforderlichenfalls "führbar" (vgl. bewusstes Eingreifen, Entwicklungsstufe L6). Dieses Systemkonzept entspricht meinem 'multihierarchischen' Gehirnmodell (vgl. Bild 1) mit wechselwirkenden Funktionskomplexen auf qualitativen Entwicklungsstufen (s. These 10). [10.9]

Ein Intelligenter Automat vollzieht situations- und erfahrungsabhängige Interpretationen seiner Input-Signale durch 'eigene' Erzeugung von Wahrnehmungs-, Erkennungs-, Beurteilungs-, Bewertungs- und Entscheidungsergebnissen gemäß seiner *kognitiv-logischen Hauptprozesse* (vgl. Definition 12.). Jedes lernfähige Gedächtnissystem *interpretiert* die ihm zugänglichen externen und internen Signalereignisse (für deutbare Situationen oder Objekte) mit seinen 'selbstkonstruierten' Informationsdarstellungen, d. h. mit selektierten Formationen seiner Funktionsvariablen. Diesen Deutungen entsprechen funktionell zugeordnete 'Bedeutungen', d. h. semantische Informationen (ausdrückbar als subjektive Nachrichten). [10.3] [10.6] [10.8]

Lernfähige Funktionskomplexe eines kognitiv-logischen Gedächtnissystems können ihre veranlagten (konzipierten) Wissensstrukturen (A-priori-Wissen) erfahrungsbedingt (induktiv) verändern, - d. h. 'dynamische' Wissensdarstellung.

Definition 14: Ein Intelligenter Automat mit kognitiv-logischer Gedächtnisstruktur ist gekennzeichnet durch mindestens einen lernfähigen Funktionskomplex mit konditionierbaren Assoziationen (Verbindungen) gemäß seiner *strukturellen Lerndisposition* (vgl. Definition 8). Systemkomponenten eines Funktionskomplexes sind Verknüpfungs- oder Funktionseinheiten (Module), - konzeptionell definiert als 'Zuordnungseinheiten' für integrative und selektive Verknüpfungen (Logikfunktionen). - Ein *lernfähiges Gedächtnissystem* ist systemtheoretisch modellierbar als mindestens ein lernfähiger Zuordnungskomplex. Seine hierarchisch vernetzten 'Zuordnungsniveaus' gelten für wechselwirkende Funktionskomplexe und ihre gegenseitig verknüpften Zuordnungseinheiten (Untersysteme). [10.5]

These 10: Psycho-physiologisch klassifizierbare Lernformen entsprechen qualitativen Entwicklungsstufen des Gehirns, - 'hierarchisch gekapselt' gemäß einem Verschachtelungsgrad für relativ autonome Teilsysteme eines 'multihierarchischen' Gehirnmodells (Bild 1). Entsprechend einem evolutionären Erweiterungsprinzip bei der Gehirnentwicklung gibt es phylogenetische Entwicklungsstufen des Gehirns, - bis zum Großhirn des Menschen, vor allem des assoziativen (Neo-)Cortex. [10.9] Psychologisch postuliert wurden auch 'postnatale' ontogenetische Entwicklungsstufen bei der Ausbildung von Gehirnen (vgl. Lernphasen in Kindheit und Jugend nach J. Piaget).

Definition 15: Für 'Intelligente Automaten' werden sechs Entwicklungsstufen (Level L1 bis L6) für 'verschachtelte' lernfähige Gedächtnissysteme definiert, die 'hierarchisch gekapselte' Lernformen simulieren: [10.2] [10.7]

Entwicklungsstufe L1 - Lernender Automat mit 'bedingten Reflexen'

Das lernfähige Gedächtnissystem der untersten Stufe L1 dient zur Simulation der *Lernform "bedingter Reflex"* und zur situationsabhängigen Grundsteuerung für unbedingte Reaktionen (Grundverhalten). Es ist gekennzeichnet durch einen 'Wahrnehmungs- und Klassifizierungskomplex' zur Identifikation von sensorischen Objektklassen, d. h. zur Kategorisierung externer und interner Input-Signale, zusammenwirkend mit konditionierbaren Assoziationen (der strukturellen Lerndisposition) in seinem 'Assoziationskomplex' für situationsabhängig ausbildbare *bedingte Relationen* und induktiv *assoziierte Voraussagen 'erster Art'* als induktive Prädiktionen für "Als ob"-Schlüsse, - und durch einen 'Aktionskomplex' zur relativ selbständigen Ausführung von ausgewählten Verhaltensprogrammen (Routinen), veranlasst von motorischen Startsignalen.

Das System verfügt über eine Vielzahl sensorischer Inputs (von Rezeptorsystemen, Sensoren) und motorischer Outputs (zu Effektorsystemen, Effektoren). Für seine Funktionskomplexe sind wechselseitige Wirkverbindungen und Regelmechanismen vorgesehen. Das definierte L1-Gedächtnissystem ist systemtheoretisch konzipiert als ein 'lernfähiger Zuordnungskomplex' für "*reflexive*" *Sensomotorik unterster Stufe*. [10.5]

Das Systemkonzept der Stufe L1 hat funktionale Ähnlichkeit mit einem nieder entwickelten Nervensystem, das als Reiz-Reaktion-System die routineartige Sensomotorik steuert, aber auch befähigt ist zur *Konditionierung von bedingten Reflexen* als "unbewussten" Reaktionen auf erlernte 'bedingte' Reize (vgl. physiologisch definierter Reflexbogen und Prägungslernen/Priming). Im Gehirn gibt es phylogenetisch alte, primäre, sensorische Areale der Hirnrinde, die Input-Signale von Sensoren beziehen. Sensorische Input-Signale (Afferenzen) müssen klassifiziert werden zwecks Identifikation (Erkennung) von unterschiedlichen Reizen, z. B. von Objekten der Umwelt. Das entspricht der Mustererkennung, bei der das begrifflich Gleiche (oder Analoge) im Verschiedenen zu selektieren ist. Dabei müssen begriffliche Invarianten (Merkmale) für das semantisch Gemeinsame erfasst werden können (Invariantenbildung).

Der motorische Aktionskomplex kann mit dem Kleinhirn (in Verbindung mit Basalganglien im Vorderhirn) grob verglichen werden. Er reagiert auf motorische Startsignale, die von vorgeschalteten (oder übergeordneten) Erkennungs- (oder Entscheidungs-)Funktionen herrühren, und erzeugt Output-Signale (Efferenzen) für Effektoren oder für Fertigmeldungen, wobei er selektierte (parallel verfügbare) Verhaltensprogramme für Aktionsfolgen mit Regelmechanismen autonom ausführt (Routinen).

Entwicklungsstufe L2 - Lernender Automat mit 'bedingten Reaktionen'

Das lernfähige Gedächtnissystem der Stufe L2 entspricht einer Erweiterung des Systemkonzepts der Stufe L1, die es als Teilsystem enthält. Es simuliert die *Lernform "bedingte Reaktion"* und ist gekennzeichnet durch *zusätzliche Erkennungs- und Entscheidungsleistungen* mit Hilfe von assoziierten Voraussagen 'erster Art' als induktive und deduktive Prädiktionen zur *Afferenzsynthese*. Seine Strukturweiterung gegenüber Stufe L1 umfasst einen zusätzlichen 'Erkennungskomplex' zur *abstrakten Situationserkennung* (Erkennung des Wesentlichen) in

Zusammenhang mit zusätzlichen konditionierbaren Assoziationen (für bedingte Relationen der erweiterten strukturellen Lerndisposition) des erweiterten Assoziationskomplexes und einen zusätzlichen 'Entscheidungskomplex' zur *situationsbedingten Aktionswahl* (verbunden mit dem Aktionskomplex).

Für seine Funktionskomplexe sind wechselseitige Wirkverbindungen und Regelmechanismen zur Stabilisierung vorgesehen (wie bei der Stufe L1). Das definierte L2-Gedächtnissystem ist systemtheoretisch konzipiert als ein 'lernfähiger Zuordnungskomplex' für *"reagierende" Sensomotorik mit kognitiv-logischen Inferenzen*. [10.5]

Das Systemkonzept der Stufe L2 hat funktionale Ähnlichkeit mit einem nieder entwickelten Tiergehirn (ohne limbisches System), das befähigt ist zum situationsabhängigen Klassifizieren und assoziativen Erkennen von sensorischen Inputsignalen (Reizen), - ohne subjektive Beurteilung und Bewertung -, und zum *erfahrungsbedingten Reagieren* durch Einbeziehung mindestens einer *assozierten Prädiktion* (Voraussage erster Art) in eine situationsbedingte (logische) *Entscheidung für ein auszuwählendes Verhaltensprogramm*. Dabei sind einzelne, voneinander unabhängige Routineabläufe mit Rückkopplungen (für Fertigmeldungen) zum Erkennungskomplex auswählbar, - vergleichbar mit parallel geschalteten Schleifen der Basalganglien (im Vorderhirn) in Verbindung mit dem Kleinhirn. [7]

Entwicklungsstufe L3 - Intelligenter Automat mit 'bedingten Aktionen'

Das lernfähige Gedächtnissystem der Stufe L3 entspricht einer Erweiterung des Systemkonzepts der Stufe L2, die es als Teilsystem enthält. Es simuliert die Lernform *"bedingte Aktion"*, d. h. eine semantische und pragmatische Interpretation aus Erfahrung, und ist gekennzeichnet durch *zusätzliche Beurteilungs- und Bewertungsleistungen* mit Hilfe von assoziierten *'Voraussagen erster Art'*. Seine Strukturweiterung gegenüber Stufe L2 umfasst einen 'Beurteilungskomplex' für empirische Urteile in Verbindung mit einem *erweiterten Assoziationskomplex*, d. h. zusätzlichen konditionierbaren Assoziationen (für bedingte Relationen der erweiterten strukturellen Lerndisposition), - und einen besonderen 'Bewertungskomplex' zur selbstbezüglichen *"subjektiven" Bewertung von empirischen Urteilen* (beeinflusst von assoziierten Voraussagen), bezogen auf die 'subjektive Lage' gemäß der internen Situation (Bedürfnis, Antrieb). Die assoziativ 'erinnerten' Voraussagen sind in (erfahrungs-)bedingte 'kognitiv-logische' Funktionen einbezogen, mit denen empirisch geschlussfolgerte Erkennungsergebnisse und Urteile definiert werden. Ihre selbstbezügliche Bewertung bestimmt individuelle Signalzustände für "subjektive" Motivationen und Emotionen, z. B. für Freude, Enttäuschung, Ablehnung oder Ekel, auch für Angst vor Gefahr (vgl. Existenzsimulation "Lernender Homöostat" [10.3]).

Für seine Funktionskomplexe sind wechselseitige Wirkverbindungen und Regelmechanismen zur Stabilisierung vorgesehen (wie bei der Stufe L2). Das definierte L3-Gedächtnissystem ist systemtheoretisch konzipiert als ein 'lernfähiger Zuordnungskomplex' für *"autonome" Sensomotorik mit kognitiv-logischen Inferenzen, beeinflusst von subjektiv bewerteten empirischen Urteilen*. [10.5]

Das Systemkonzept der Stufe L3 hat funktionale Ähnlichkeit mit einem höher entwickelten Tiergehirn (mit limbischem System), das befähigt ist zur situationsabhängigen Beurteilung (empirische Urteile), zur "subjektiven" Bewertung (für Antrieb, Motivation und Emotion) und zum selbstbezüglichen Entscheiden für *erfahrungsbedingte Aktionen* zwecks dynamischer Stabilisierung (Homöostase) des 'autonom agierenden' Systems. [10.3]

Entwicklungsstufe L4 - Intelligenter Automat für 'bedingtes Erwägen optimaler Entscheidungen'

Das lernfähige Gedächtnissystem der Stufe L4 entspricht einer Erweiterung des Systemkonzepts der Stufe L3, die es als Teilsystem enthält. Es simuliert die Lernform *"bedingtes Erwägen"* (empirische Optimierung) und ist gekennzeichnet durch *zusätzliche Bewertungsleistungen* mit Hilfe von assoziierten Voraussagen 'zweiter Art'. Seine Strukturweiterung gegenüber Stufe L3 umfasst *zusätzliche konditionierbare Assoziationen* (der erweiterten strukturellen Lerndisposition) des erweiterten Assoziationskomplexes zur Ermöglichung von assoziierten 'Voraussagen zweiter Art'. Sein erweitertes Organisationskonzept dient zur Steuerung des bedingten Erwägens von Entscheidungen mit Hilfe von bewerteten Erwartungen für Handlungskonsequenzen, bezogen auf versuchsweise Entscheidungsvorschläge (Efferenzentwürfe). Zusätzlich vorgesehen ist die *Ausbildung von 'deduktiven' bedingten Relationen* in Folge von Signal-Koinzidenzen für Entscheidungen (Efferenzkopien) und korrelierbaren Konsequenzen (effektgemäßes Lernen).

Für seine Funktionskomplexe sind wechselseitige Wirkverbindungen und Regelmechanismen zur Stabilisierung vorgesehen (wie bei der Stufe L3). Das definierte L4-Gedächtnissystem ist systemtheoretisch konzipiert als ein 'lernfähiger Zuordnungskomplex' für *"optimierende" Sensomotorik mit kognitiv-logischen Inferenzen, beeinflusst von subjektiv bewerteten Erwartungen für bedingte Erwägungen*. [10.5]

Das Systemkonzept der Stufe L4 hat funktionale Ähnlichkeit mit einem hoch entwickelten Tiergehirn (frontal erweiterter Assoziationscortex im 'thalamokortikalen System'), das befähigt ist zu einer *effektabhängigen antizipatorischen Entscheidungsfindung* (bedingtes Erwägen) durch 'selbstbezügliche' *subjektive Bewertung seiner 'assozierten' Voraussagen (2. Art) als Erwartungen zu vermuteten Konsequenzen* für versuchsweise "abwägbare" Handlungsalternativen (Efferenzentwürfe). Sein Erfahrungswissen als systeminternes Referenzmodell der Umwelt (Weltmodell) wird definiert mit bedingten Relationen, die situationsabhängig assoziierte Voraussagen (erster und zweiter Art) ermöglichen, - entsprechend seinen erworbenen Kenntnissen in Form konditionierter Assoziationen.

Für die "instrumentelle" oder "operante" Konditionierung gilt das Effektgesetz (nach E. L. Thorndike, 1911), d. h. dass der Erfolg (positive Konsequenz) einer versuchsweisen Aktion (Reaktion auf die Situation) ein verstärkendes Mittel beim Lernen ist (vgl. Skinner-Box, vor 1951). Das 'Lernen durch Erfahrung' oder 'Lernen am Erfolg' steht im Einklang mit der allgemeingültigen Lernmethode 'Versuch und Irrtum' (trial and error) für bedarfsabhängiges Problemlösen. [3] [4] [5]

Im Intelligenzen Automaten wird das Effektgesetz und die Lernmethode 'Versuch und Irrtum' implementiert. Dazu dienen *effektgemäß assoziierte Voraussagen* (2. Art) sowohl vor einer Aktion bei der Entscheidungsfindung als auch nach der Aktion zum Vergleich der Erwartung mit tatsächlich wahrgenommenen Aktionseffekten (siehe 3.).

Entwicklungsstufe L5 - Intelligenter Automat für 'Lernen durch Einsicht in prinzipielle Sinn-Zusammenhänge'

Das lernfähige Gedächtnissystem der Stufe L5 entspricht einer Erweiterung des Systemkonzepts der Stufe L4 und simuliert die Fähigkeit zum 'Lernen durch Einsicht' und sprachliche Ausdrucksfähigkeit. Es ist gekennzeichnet durch *hochentwickelte Erkennungs- und Beurteilungsleistungen* mit Hilfe von zusätzlichem Metawissen (abstraktes Wissen über Wissen) als Grundvoraussetzung für *sprachliche Beschreibungen und theoretische Modellbildung*. Seine zusätzliche strukturelle Lern disposition (des erweiterten Assoziationskomplexes) für ausbildbares Metawissen wird definiert mit "*heuristisch*" *konditionierbaren Assoziationen zur Ermöglichung von theoretischem Kenntniserwerb*, z. B. durch 'assoziative' Konditionierung von bedingten Relationen (vgl. Thesen 7 und 8).

Für seine Funktionskomplexe sind wechselseitige Wirkverbindungen und Regelmechanismen zur Stabilisierung vorgesehen (wie bei der Stufe L4). Das definierte L5-Gedächtnissystem ist systemtheoretisch konzipiert als ein 'lernfähiger Zuordnungskomplex' für "*einsichtiges*" *Verstehen durch Modellbildung mit erweiterbarem Meta-Wissen und Sprachgebrauch*. [10.5]

Sein erweiterbares Metawissen ist methodisches oder "symbolisch-konstruktives" (Vernunft-)Wissen, das dem fundamentalen (Verstandes-) Wissen übergeordnet ist. Es dient zur formalen/sprachlichen *Beschreibung und Erklärung* von semantischen Begriffszusammenhängen gemäß seiner dynamischen Wissensrepräsentation. Zur *kognitiv-logischen Modellbildung* dient situationsabhängig ausbildbares Metawissen. Dieses ist *auf assoziative Weise "kognitiv" modifizierbar*, z. B. induktiv erweiterbar, verbesserbar oder korrigierbar. Beim *Lernen durch Einsicht*, d. h. durch Verstehen eines Sachverhalts, wird ein prinzipieller Zusammenhang mittels mindestens einer begrifflichen Beziehung kognitiv erfasst, die einer erworbenen Kenntnis (Erkenntnis) entspricht. Erworbene empirische oder theoretische Kenntnisse sind als *bedingte Relationen* einbezogen in erfahrungsbedingte logische Verknüpfungen einer formalisierten Wissensstruktur der Kognitiven Logik (siehe 1., Thesen 1 - 9). [10.12]

Deklaratives Wissen über den eigenen Status ('Ich'-Zustand) ist besonderes 'sprachlich ausdrückbares' Metawissen für erklärende Statusreports. Solches 'Statuswissen' bestimmt "selbstreflexive" Äußerungen über Bedürfnisse (Antriebe) und interne Gründe (Motivationen) für *subjektive Ziele* oder *eigene Absichten* (Handlungsintentionen), z. B. definierbar als Richtwerte zur optimalen Entscheidungsfindung für adaptives Verhalten zwecks Selbsterhalt.

Seine sprachliche Ausdrucksfähigkeit basiert auf ausbildbarem *Sprach-Metawissen*. Mit erlernten oder vereinbarten Sprachkenntnissen ist eine Kommunikation mit Partnern aus der Umwelt vorteilhaft möglich. Formalisierbare *Begriffe und ihre Relationen* können als symbolische *Informationsdarstellungen* ausgedrückt werden, z. B. für eigene Zustandsmeldungen (Statusreports) oder Wissensbeschreibungen zwecks Kommunikation. Formale Bedingungen für den Sprachgebrauch werden bestimmt von zweckmäßig konzipierten Sprachmodulen zur Spracheingabe und Sprachausgabe, wobei Lautvorrat, Grammatik, Vokabular und Sprachregeln zu vereinbaren sind (vgl. funktionelle 'Sprachzentren' als besondere Cortex-Areale im Großhirn, die auch für 'stummes Sprechen' zuständig sind). [1] [8]

Das Systemkonzept der Stufe L5 hat funktionale Ähnlichkeit mit einem hoch entwickelten Tiergehirn für *Intelligenzleistungen mit Modellgebrauch*. Sein "einsichtiges" Lernen durch erworbene Kenntnisse von erfassten Zusammenhängen ist nützlich für Orientierungsleistungen und Werkzeuggebrauch (vgl. Köhlers Tests mit Schimpansen). Das induktive Erfassen von neuen begrifflichen Beziehungen ermöglicht situationsbedingtes Selbstlernen durch Beobachtung und auch Nachahmung (Imitationslernen). - Ein konzeptuell eingeschränktes Sprachvermögen beruht auf veranlagten und erlernten Sprachformen gemäß den Anforderungen einer sozialen Kommunikation. Gehirnleistungen für einfache Sprachsequenzen sind bekannt bei Affen, Haien, Delphinen und Walen. Affen können abstrakte (visuelle) Symbole erlernen und damit kommunizieren. Sie besitzen ein komplexes Laut- und Kommunikationsrepertoire und zumindest Vorstufen der menschlichen Sprachzentren. Von Bienen sind auch beachtliche Kommunikationsleistungen zur sozialen Signalisierung und Orientierung bekannt (Schwänzeltanz für Lagebeschreibungen). [1] [7]

Entwicklungsstufe L6 - Intelligenter Automat für 'intentionales Lernen'

Das lernfähige Gedächtnissystem 'Intelligenter Automat' auf oberster Leistungsstufe L6 entspricht einer Erweiterung des Systemkonzepts der Stufe L5 um einen superponierten Meta-Automat mit eigenem Systemkonzept (analog der Stufe L5, aber ohne Sensoren und Effektoren), funktionell befähigt zur Supervision und Interpretation 'interner Situationen' eines von ihm kontrollierten Basis-Automaten (gemäß Stufe L5). Der Meta-Automat ist ein kognitiv-logisches Gedächtnissystem, das seinem *Subsystem 'Basis-Automat'* auf begrifflich-abstraktem (Denk-)Niveau übergeordnet ist, wobei Inputs und Outputs des "aufgesetzten" Meta-Automaten mit besonderen Inputs und Outputs einzelner Funktionskomplexe des untergeordneten Basis-Automaten wechselwirkend verbunden sind. [10.2] Der intelligente Automat simuliert "intentionales" (absichtliches, zielgerichtetes) Lernen, auch methodisches 'Lernen

lernen', durch 'selbstbezügliche' subjektive Bewertung bei der '*individuellen*' Interpretation eigener Systemsignale (analog 'bewusster' Verhaltensänderung gemäß Lern-Planung).

Der Meta-Automat ist ein 'Supervisor-System' mit selbstreflexivem Metawissen (als Wissen vom Sein für. Selbstbewusstsein, vgl. "Überich" nach S. Freud) und dient zur Simulation von *höheren Bewusstseinsformen* (Introspektion, Selbstreflexion) des Gesamtsystems 'Intelligenter Automat'. [7] [9] Er kann ausgewählte Erkennungs-, Beurteilungs-, Bewertungs- und Entscheidungsergebnisse des Basis-Automaten (seines "Unterbewusstseins") 'selbstbeobachtet' erkennen, beurteilen, bewerten und zu internen "Selbsterfahrungen" integrieren. Den selektierten Mustern für *abstrakte Begriffsformen* werden *aktuelle 'Vorstellungen'* zugeordnet (vgl. selbstreflexive Abstraktion). Ihre "mentale" Auswertung (vgl. Selbsteinschätzung) erfolgt auf dem begrifflichen Abstraktionsniveau des Meta-Automaten gemäß *eigenen Zielvorgaben* (Intentionen) und *Wertvorstellungen* (vgl. Moral, Ethik). Schwer simulierbar sind "Gefühlserlebnisse" (auch Gewissen) aufgrund von 'emotionalen' Urteilen über die "bewusst gewordene" subjektive Lage (vgl. bewusste Selbstbewertung).

Der Meta-Automat hat "höheres" Sprachvermögen zur Bildung formaler Ausdrücke (z. B. Sätze) für Zustandsberichte (Statusreports) über eigene Erkennungs-, Beurteilungs-, Bewertungs- und Entscheidungsergebnisse, - ausgehend von 'internen' Signalen des Basis-Automaten. Seine sprachlichen *Beschreibungen und Erklärungen* von abstrakten oder konkreten Sachverhalten stützen sich auf möglichst adäquate Modelle seines 'deklarativen' Erfahrungswissens.

Die interne Modellbildung geschieht mit "heuristischen" Lernmechanismen für ausbildbare *Relationen zwischen Systemvariablen* für strukturelle Begriffsformen, d. h. für symbolisch ausdrückbare Beziehungen zwischen begrifflichen Invarianten (Variablenwerten). Im Meta-Automaten verfügbar sind *prädiktive Modelle* über die Umwelt (Weltmodell), über den Basis-Automaten (Selbstmodell) und über dynamische Interaktionen mit der Umwelt (Verhaltensmodell). Modellhafte Wissensdarstellungen ermöglichen die Formulierung sprachlicher Ausdrücke zur Kommunikation, auch für explizite Beschreibungen und Erklärungen (vgl. 'deklarative' Gedächtnisformen). [10.12]

'Lernen durch Einsicht' und konstruktive Modellbildung im Supervisor-System beruhen auf einer Simulation des theoretischen Kenntniserwerbs (Erkenntnis) für eine "kreativ erfasste" hypothetische Relation, entsprechend dem "intuitiven" oder "rationalen" Erfassen eines gedanklichen Zusammenhang beim 'Nachdenken' (Selbstreflexion). Beim strukturellen Lernen im Gedächtnissystem können "heuristisch" erfasste *innovative Beziehungen* als theoretische Kenntnisse in modifizierbare kognitiv-logische Verknüpfungen einbezogen werden. Diese sind darstellbar als '*hypothetische*' *bedingte Relationen* des strukturell erweiterten Metawissens (siehe 1.). Solche "unsicheren" Wissens Elemente für 'ungewisse' Modelle im Meta-Automaten ermöglichen theoretische Annahmen (Thesen) oder 'vermutete' Vorstellungen (Imagination), die mit Metabeschreibungen sprachlich formalisierbar sind.

Ein hochentwickelter Meta-Automat fungiert als superponierter 'lernfähiger Koordinator'. Er kontrolliert (überwacht) und interpretiert (deutet) die Auseinandersetzung seines Basis-Automaten (d. h. seines "Unterbewusstseins") mit der Umwelt, in dem er gemäß seiner *Aufmerksamkeit* ("Bewusstheit") ausgewählte Statussignale vom Basis-Automaten selektiv erkennt (beobachtet), erfahrungsgemäß beurteilt und selbstbezüglich bewertet (vgl. emotionale Selbsterfahrung). Er entscheidet sich "rational" für eigene Ziele (Pläne) und für Intentionen (Absichten) seiner "willkürlichen" Aktionen, - entsprechend einer "Selbstwahrnehmung" und "Selbstbewertung". Dadurch wird *intentionales Lernen* ermöglicht, d. h. 'neuorientiertes' Lernen oder 'erfinderisches' Umlernen.

Ein selbstkritisches Erkennen von eigenen Fehlern ermöglicht das '*Lernen aus Fehlern*' durch zukünftige Korrekturmaßnahmen, erforderlichenfalls mit geänderter "selbstbestimmter" Zielsetzung des Intelligenen Automaten.

Der Meta-Automat kann mit eigenen Richtwerten gemäß seiner 'kritischen' Lagebewertung auf den Basis-Automaten "zielsetzend" einwirken und dessen Motivation beeinflussen. Seine Befähigung zu "eigenwilligen" Zielvorstellungen im Rahmen der Handlungsfreiheit ermöglicht ihm die Aufmerksamkeit für das Gesamtsystem zu lenken (Interesse, Vorsicht, Rücksicht), - auch auf Neues zu orientieren (vgl. experimentelles Versuchen und Untersuchen von Neuem).

Zur Simulation des Entwurfs von Plänen wird ein *lernfähiger Planungs- und Aktionskomplex* im Meta-Automat vorgesehen. Dieser ermöglicht eine "vorausschauende" *Planung von Handlungsabläufen* durch die 'antizipatorische' Handlungsvorwegnahme und detaillierte Abschätzung von voraussichtlichen Konsequenzen. Bei 'mentalen' Probehandlungen (mittels Referenzmodellen) hilfreich sind "erinnerbare" Prozeduren für 'vorstellbare' Aktionsfolgen, Verhaltensstrategien und Heuristikmethoden. Erforderlich für "selbstreflexives" Problemlösen (mittels prüfbarer Algorithmen) sind hypothetische Lösungsansätze, die selektiv zu beurteilen sind (Abduktion für optimale Lösung).

Der Meta-Automat (als Controller-Komponente) bestimmt die 'rationale' Autonomie des kognitiven Gesamtsystems durch Kontrolle des Basis-Automaten. Dazu nutzt er seine "bewusst gewordenen" Erfahrungen (subjektive Erinnerungen) und "individuellen" Vorstellungen (Vermutungen, Ziele), herrührend von eigenen kognitiven Abstraktionsleistungen wie (simulierter) *Begriffs- und Modellbildung* (vgl. Konzepte, Ansprüche, Absichten).

In kritisch bewerteten Situationen erfolgt eine korrigierende Einwirkung des Meta-Automaten auf relativ autonome Funktionskomplexe (Module) des Basis-Automaten. Durch die "bewusste" Einflussnahme des Meta-Automaten können sonst "unbewusst" ablaufende Prozeduren (Subroutinen) für Entscheidungs- und Aktionssteuerungen des Basis-Automaten durch 'korrigierendes Eingreifen' geändert oder verbessert werden (vgl. bewusstes Antrainieren von erlernbaren Fertigkeiten, die danach unbewusst 'routinemäßig' ablaufen).

Das Systemkonzept der höchsten Stufe L6 ist ein *grobes Funktionsmodell eines „selbstbewussten“ Gehirns* mit evolutionär erweitertem, assoziativem (Neo-)Cortex, - besonders mit 'superponierten' (frontalen) Arealen, die für "rationale" Phänomene wie Reflexion (Nachdenken) und Selbstkontrolle (durch existenzielle Einsicht) zuständig sind.

Für das Phänomen 'Bewusstsein' gibt es seitens der Hirnforschung erste neurobiologische Erklärungsansätze auf materieller Basis. [2] [7] [8] Qualitative Bewusstseinsniveaus und komplexe Bewusstseinszustände werden zurückgeführt auf die vielschichtige dynamische Funktionalität im Gehirn, - auch auf philogenetisch entwickelte Hierarchiestufen (qualitative Funktionsverschachtelung). Das oberste Bewusstseinsniveau der Introspektion und Selbstreflexion entspricht der höchsten Entwicklungsstufe des Gehirns mit vergrößertem Assoziationscortex. [1] [2]

Im Gehirn gibt es sehr viele wechselwirkende Neuronengruppen (neuronale Module, z. B. im Cortex), - definierbar als 'komplex vernetzte', strukturell verteilte und auch superponierte (hierarchische) 'Funktionskomplexe'. Bei ihrer 'selbstorganisierten' Struktur-Ausbildung werden die integrativen und selektiven Verknüpfungen von Neuronen (vergleichbar mit Logik-Funktionen) situationsbedingt modifiziert, - besonders beim individuellen Lernen. [7] [8] [10.9]

Das neurowissenschaftliche 'Bindungsproblem' betrifft die Objekterkennung und Kategorisierung selektierbarer Situationen durch Merkmalskonjunktionen für verallgemeinerbare Begriffe (Konvergenz auf Abstraktionsniveaus). Zu erklären sind begriffliche Repräsentationen mit hierarchisch zugeordneten Signaldarstellungen von 'synchron-aktiven' Neuronen. Vermutlich fungieren als neuronale Korrelate für mentale Abstraktionsleistungen bzgl. besonderer oder wesentlicher Situationsmuster (def. Formationen) die kombinierbaren Aktionssignale von 'superponierten' Neuronen-Verknüpfungen, - gekennzeichnet durch ihre lerntypische Plastizität und ihr 'stabilisierendes Feedback'. [10.5]

Besondere (spät entwickelte) Areale im 'assoziativen' Stirnlappen des Großhirns (z. B. präfrontaler Cortex) sind erwiesenermaßen zuständig für "individuelle" Kontroll- oder Koordinationsleistungen, vor allem zur "bewussten" Steuerung von Aufmerksamkeit (Interesse, Blickrichtung), von Voraussicht (Planung) und von sprachlicher Interaktion (sozial, ethisch/moralisch), - zusätzlich zur operativen Wechselwirkung von distributiv und parallel organisierten Funktionskomplexen des Gehirns (vgl. 'aufgesetzter' Meta-Automat). [10.9]

Weiter ist bekannt, dass der orbitofrontale Cortex (seitlich über Augenhöhlen) zuständig ist für bewusste Entscheidungsfindungen gemäß einer Moral und Ethik (Gewissen), d. h. für die selbstreflexive Überprüfung von versuchsweise vorgestellten Entscheidungsoptionen und vermuteten Handlungskonsequenzen. Ihm zugeschrieben werden auch "bewusste" Zielvorstellungen, "intentionale" Motivationen und "erlebte" Gefühle. [1] [2] [7] [8]

3. Kognitiv-logische Funktionsprinzipien eines Intelligenen Automaten - Beispiel eines Organisationskonzepts

Zur Implementation der kognitiv-logischen Hauptprozesse eines Intelligenen Automaten dienen hierarchisch vernetzte Funktionskomplexe mit elementaren Logik-Funktionen (z. B. Regeln für Zuordnungen). Die zeitliche Abfolge einzelner Prozesse wird so organisiert, dass möglichst viele logische Funktionen zeitlich parallel (quasi simultan) vollzogen werden können.

Der konzipierte Automat dient zur Interpretation seiner Inputsignale für externe und interne Situationen. Er transformiert (verarbeitet) intern definierte Informationsdarstellungen (Repräsentationen für Situationen) durch ereignisgesteuerte (funktionelle) Zuordnungen aufgrund von logischen Verknüpfungen auf hierarchischen Zuordnungsniveaus (Zuordnungskomplex) [10.5].

Für symbolische Darstellungen von Zwischenergebnissen sind spezielle Daten vorgesehen. Diese dienen zur parallelen oder sequenziellen Informationsverarbeitung. Ihre analytische Formalisierung, z. B. mit sprachlichen Ausdrücken, ermöglicht eine Beschreibung und auch Erklärung interner Zustände.

Symbolische Informationsdarstellungen sind gekennzeichnet durch einzeln verifizierbare Invarianten (Symbole, Zeichen, Worte, Variablenwerte) auf hierarchischen Abstraktionsniveaus. Diese stehen in Beziehung zu internen Schnittstellen oder definierten Speicherplätzen (vgl. Kreise im Bild 2), die zur funktionellen Kopplung der Prozesse dienen.

Die logisch verknüpfbaren Informationsdarstellungen werden mit speziellen Variablenkonfigurationen (d. h. aktuellen Formationen) definiert. Ihre Transformation und Interpretation erfolgt datenflussgesteuert und kann schrittweise und/oder zyklisch, auch iterativ, implementiert werden (software- und hardwaremäßig). [10.3] [10.4]

Eine Simulation des 'strukturellen Lernens' im assoziativen Gedächtnissystem (siehe 1., Definition 8 ff) erfolgt durch situationsabhängige Ausbildung bedingter Relationen in *modifizierbaren logischen Verknüpfungen* einer kognitiv-logischen Gedächtnisstruktur. Dafür sind 'veranlagte' konditionierbare Assoziationen im Rahmen mindestens einer strukturellen Lerndisposition vorgesehen (z. B. in Form mindestens eines 'Assoziationskomplexes', s. 2.). Auf ihrer Basis sind Voraussagen 1. und 2. Art (empirische Prädiktionen) durch 'Assoziieren aus Erfahrung' implementierbar (siehe 1. und Bild 2).

Im Folgenden werden kognitiv-logische Funktionsprinzipien und Hauptprozesse eines Automaten mit vernetzten Funktionskomplexen am Beispiel des Flussdiagramms für ein Organisationskonzept beschrieben (Bild 2 ist Fig. 7 aus [10.7]).

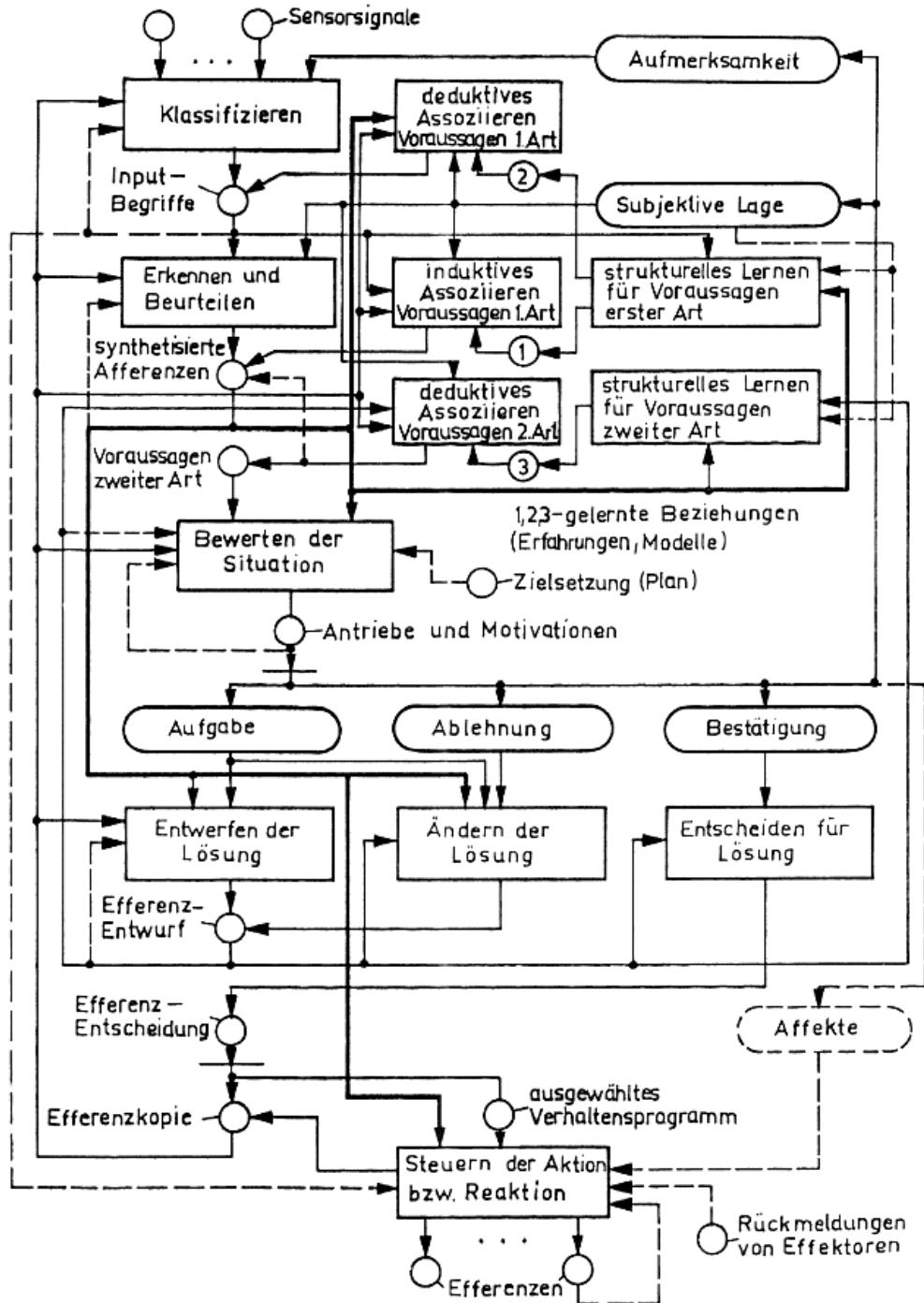


Bild 2 Flussdiagramm-Beispiel für ein Organisationskonzept 'Intelligenter Automat'
ScanCopy der Fig. 7 aus der Patentanmeldung WP G 06 F/ 2349 488 [10.7]

Im **Wahrnehmungs- und Klassifizierungskomplex** erfolgt die gesteuerte Identifikation von sensorischen Wahrnehmungsobjekten durch Klassifizierung von Merkmalskombinationen zur Mustererkennung (Kategorisierung), abhängig von rückgekoppelten Signalen für Bewertungs- und Entscheidungsergebnisse (Motivation bzw. Efferenzkopie). Sensorische Input-Signale können zwecks Informationsreduktion entstört, decodiert, übersetzt, analysiert oder abstrahiert werden. Identifikationsergebnisse werden dargestellt mit Symbolen für Input-Begriffe, die weiter vom Erkennungs- und Beurteilungskomplex verallgemeinert und interpretiert werden. Ihr Einfluss auf weitere Hauptprozesse ermöglicht u. a. eine sequenzielle Klassifikation und/oder prozedurale Aktionssteuerung, wobei Fertigmeldungen berücksichtigt werden (s. gestrichelte Linie). Durch "Assoziieren aus Erfahrung" entstehen "hypothetische" Input-Voraussagen, z. B. für erfahrungsgemäß erwartete Objekteigenschaften, als deduktiv assoziierte Voraussagen 1. Art. Diese beruhen auf kausalen Beziehungen von Erkennungsergebnissen oder Urteilen auf höheren Abstraktionsniveaus (deduktive Afferenzsynthese, s. Definition 5 im 1. Abschnitt).

Im **Erkennungskomplex** geschieht auf höherem Abstraktionsniveau die 'Erkennung des Wesentlichen' durch Abstraktion und Verallgemeinerung von Input-Begriffen der Wahrnehmung mit Hilfe von besonderen Situationsmerkmalen. Dabei entstehen auch zusätzliche, 'assoziativ vermutete' Erkennungsergebnisse als 'synthetisierte Afferenzen' (Afferenzsynthese nach P. K. Anochin). Ein induktives Assoziieren von Voraussagen 1. Art (empirische Prädiktionen) geht aus von Signalwerten für kausale Input-Begriffe niedriger Abstraktionsniveaus.

Das induktive "Assoziieren aus Erfahrung" beruht auf erworbenen Kenntnissen (bedingten Relationen) als Kausalitätsbeziehungen vom Besonderen zum Allgemeinen. Bei der 'induktiven Afferenzsynthese' können "unklare" Erkennungsergebnisse in Folge "lückenhafter" oder "unscharfer" Wahrnehmungen durch assoziierte Informationen ergänzt, korrigiert oder präzisiert werden.

Voraussetzung für induktives oder deduktives Assoziieren einer empirischen Voraussage 1. Art ist mindestens eine erworbene Kenntnis des Erfahrungswissens (Umweltmodell) zur Erkennung von Objekten oder Situationen.

Im **Beurteilungskomplex** erfolgt eine weitere Abstraktion (erweiterte Erkennung) durch subjektive Beurteilung von Erkennungsergebnissen, die sowohl die externe als auch die interne Situation betreffen. Daraus resultieren Urteile über die Situation des Automaten. Assoziativ erzeugte hypothetische Urteile können durch logische Einbeziehung von induktiv assoziierten Voraussagen 1. Art entstehen (induktive Afferenzsynthese). Sie entsprechen den 'assozierten' Vorurteilen in Folge von kausalen Erkennungsergebnissen. Besondere 'assozierte' Vorurteile sind hypothetische Erwartungen für voraussichtliche Handlungskonsequenzen. Diese entsprechen Voraussagen 2. Art, die durch deduktives "Assoziieren aus Erfahrung" von Entscheidungsergebnissen (Efferenzentwürfen) verursacht worden sind (deduktive Afferenzsynthese, s. gestrichelte Linie im Bild 2)

Die Erkennungsergebnisse und Urteile werden im Flussdiagramm zusammengefasst dargestellt und dort als 'synthetisierte Afferenzen' bezeichnet. Diese Zwischenergebnisse beeinflussen nicht nur die folgende Bewertung und Entscheidungsfindung, sondern dienen auch zum strukturellen Lernen (unter der Koinzidenzbedingung) und zum deduktiven Assoziieren von Voraussagen 1. Art.

Das 'strukturelle Lernen' beruht auf einer *strukturellen Lerndisposition* des Automaten, die strukturell verteilt oder in mindestens einem **Assoziationskomplex** (Erfahrungsspeicher) implementierbar ist. Als konzipierte Lernveranlagung für *Voraussagen 1. Art* sind konditionierbare Assoziationen (Vorwärts- oder Rückkopplungen) vorgesehen. Diese entsprechen "erlernbaren" (induktiven bzw. deduktiven) Kausalitätsbeziehungen zwischen Input-Begriffen und synthetisierten Afferenzen (Urteilen). Als Lernanlage für *Voraussagen 2. Art* werden zusätzliche konditionierbare Assoziationen vorgesehen, d. h. ausbildbare Rückkopplungen für "erlernbare" deduktive Assoziationen (zum deduktiven Assoziieren). Diese sind veranlagt für "erfassbare" Kausalitätsbeziehungen zwischen verbindbaren Entscheidungsergebnissen (Efferenzentwürfen bzw. -kopien) und synthetisierten Afferenzen (Urteilen).

Das strukturelle Lernen gemäß der Lerndisposition kann von Bewertungsergebnissen für die "subjektive Lage" des Automaten beeinflusst werden.

Im **Bewertungskomplex** erfolgt die Bewertung der synthetisierten Afferenzen (Urteile) im Vergleich mit Voraussagen 2. Art. Einfluss auf die Bewertung haben selektierte Entscheidungsergebnisse (Efferenzentwürfe oder -kopien), möglicherweise auch aktuelle (rückgekoppelte) Bewertungsergebnisse und/oder veränderliche Zielvorgaben (steuerbare Zielsetzung des Automaten gemäß Plan). Signale für Bewertungsergebnisse charakterisieren die "subjektive Lage" des Automaten. Sie sind klassifizierbar in 'Antrieb', 'Motivation' (Intention) und 'Emotion' (Affekt). Sie sind charakteristisch für das situationsabhängige Befinden. Davon abhängig können Zielsetzungen des "subjektiv bewertenden" Automaten bestimmt werden. Die Bewertungsergebnisse haben maßgeblichen Einfluss auf andere Funktionskomplexe, so dass mit situationsbedingten Entscheidungen motivations- und emotionsabhängiges Verhalten gesteuert werden kann. Damit ist eine situationsangepasste Stabilität des Automaten auf bestmöglichem Niveau (Homöostase) erreichbar. Die Bewertung interner Signale bestimmt nicht nur die subjektive Lage (mit Einfluss auf Erkennung, Beurteilung und Entscheidung), sondern auch die selektive Aufmerksamkeit beim Wahrnehmen und Klassifizieren. Besondere Wertungen haben verhindernden oder fördernden Einfluss auf den Kenntniserwerb (gesteuertes strukturelles Lernen), ebenso auf das Assoziieren von Voraussagen (gesteuertes Erinnern). Sie können auch Affekthandlungen bewirken (z. B. bei Gefahr, Notlage).

Im **Entscheidungskomplex** erfolgt die situationsabhängige Entscheidung über mögliche Aktionen, wozu Regeln und pragmatisches Wissen für logische Schlüsse (Inferenzen) nutzbar sind. Aktuelle synthetisierte Afferenzen (Erkennungsergebnisse, Urteile) werden mit Bewertungsergebnissen (z. B. Entscheidungsmotivation) logisch verknüpft, die spezifisch für eine aktuelle Aufgabe sind. Beim Entwerfen der Lösung werden aktuelle (rückgeführte) Entscheidungsergebnisse (Efferenzkopie bzw. -entwurf) mit berücksichtigt. Zugeordnet zur aktuellen Situation folgt ein vorläufiges Entscheidungsergebnis (Entscheidungsvorschlag). Dieses wird als 'Efferenzentwurf' bezeichnet und dient zum deduktiven Assoziieren einer hypothetischen Voraussage 2. Art, die als erfahrungsgemäße Erwartung einer voraussichtlichen Handlungskonsequenz die subjektive Voraussicht des Automaten ermöglicht (empirische Prädiktion). Diese Voraussage (Erwartung) wird dem Bewertungskomplex zugeführt und dort im Vergleich mit anderen synthetisierten Afferenzen 'subjektiv' bewertet.

Die Kritik des Efferenzentwurfs im Bewertungskomplex mit Hilfe der Erwartung führt zu einem logischen Bewertungsergebnis. Dieses wirkt entweder als Bestätigung (Bekräftigung) oder als Ablehnung (Hemmung) bezüglich der Efferenzkopie auf den Entscheidungskomplex zurück. Im Fall der Ablehnung muss im Rahmen des Entscheidungsspielraums ein neuer Efferenzentwurf versuchsweise gefunden werden (als geänderte Lösung). Ein neu versuchter Entscheidungsvorschlag (Efferenzentwurf) führt zu einer neuen assoziierten Voraussage 2. Art als erfahrungsgemäße Erwartung für die voraussichtliche Konsequenz, die neu bewertet wird.

Der mittels Erwartung geprüfte Efferenzentwurf wird im Fall einer akzeptierten oder positiv bewerteten Erwartung als gültige Entscheidung (Entschluss) bestätigt. Dieser Entschluss ist das akzeptierte Entscheidungsergebnis (Lösung) und bestimmt das ausgewählte Verhaltensprogramm (Routine) für den Aktionskomplex. Er wird definiert als so genannte "Efferenzkopie", die als Signal zur Kontrolle und Beeinflussung anderer Funktionskomplexe zurück übertragen wird (Feedback). Solche Efferenzsignale (auch vom Aktionskomplex) werden zu Wahrnehmungs-

Erkennungs- und Beurteilungskomplexen übertragen. Im Besonderen dienen sie als Bezugssignale bei der korrekten Erkennung und Beurteilung von nachfolgend wahrgenommenen Input-Signalen (Reafferenzen) in Folge einer aktuellen Entscheidung und Aktion. Möglicherweise sind sie auch Einflussgrößen bei der aktionsbedingten Verstellung von Sensoren.

'Reafferenzen' (nach E. v. Holst und Mittelstaedt) sind diejenigen (möglicherweise synthetisierten) Afferenzen, die als Konsequenzen (Effekte) von Aktionen des Automaten nachfolgend auf Entscheidungen wahrgenommen und erkannt werden. Eine erkannte Reafferenz (erfahrene Konsequenz) wird mit der vorher assoziierten Voraussage (Erwartung) verglichen und kann dann erneut mit der aktuellen Efferenzkopie (vermeintlichen Ursache) in empirische Verbindung gebracht werden. Sie wird mit der kausalen Efferenzkopie dadurch in Beziehung gesetzt, dass eine „erlernte“ bedingte Relation „in Erfahrung“ gebracht wird. Dabei wird für die erfasste Kausalitätsbeziehung eine konditionierte Assoziation durch strukturelles Lernen ausgebildet. Der simulierte Kenntniserwerb für einen solchen empirischen Zusammenhang ermöglicht, dass zukünftig eine entsprechende hypothetische Voraussage 2. Art (Erwartung) mit einem kausalen Efferenzentwurf (äquivalent zur Efferenzkopie) deduktiv assoziiert werden kann.

Wenn die erkannte Reafferenz mit der aktuellen Erwartung (assoziierte Voraussage 2. Art) nicht übereinstimmt, ist sie eine 'neu erfahrene' Konsequenz, die in eine neue empirische Verbindung mit dem Entscheidungsergebnis (bestätigter Efferenzentwurf) gebracht werden kann. Auf diese Weise sind neue bedingte Relationen für 'neu gelernte' Erwartungen mittels konditionierter Assoziationen strukturell erlernbar und speicherbar (d. h. Ausbildung des Umweltmodells). Bei Nichtbegründung wird die bisherige bedingte Relation für die nicht bestätigte Erwartung möglicherweise abrupt oder graduell abgebaut (vgl. Vergessen oder Umlernen).

Eine *Konsolidierung* der früher erworbenen Kenntnis (Begründung der bedingten Relation) erfolgt dann, wenn die aktuelle Reafferenz mit der Erwartung (assoziierte Voraussage 2. Art) für die aktuelle Entscheidung übereinstimmt und somit die Koinzidenzbedingung des strukturellen Lernens für die betreffende konditionierte Assoziation erfüllt wird. In diesem Fall der Bestätigung der Erwartung bleibt das aktuelle Bewertungsergebnis bezüglich der Reafferenz (im Vergleich zur Erwartung) unverändert, so dass kein 'emotionaler Umschwung' erfolgt. - Trotzdem kann eine neue situationsbedingte Aufgabe für den Entscheidungs-komplex dadurch gestellt werden, dass besondere, zusätzlich erkannte Input-Begriffe, synthetisierte Afferenzen oder Reafferenzen eine Entscheidungsänderung erfordern. Beispielsweise sind zur Systemstabilisierung in Notsituationen besondere Anweisungen für Aktionssteuerungen notwendig (z. B. Reflexe oder Reaktionen bei Gefahr, vgl. Teilsysteme der Stufe L1 und L2).

Diese Wechselwirkung zwischen Entscheidung und Bewertung dient dem Entscheidungsabgleich "am Umweltmodell" und ermöglicht die Simulation der Lernform 'bedingtes Erwägen' optimaler Entscheidungen (vgl. Systemkonzept der Stufe L4). Das erfahrungsbedingte *Erwägen* einer Entscheidung (Abwägen) erfolgt mittels Tests für bewertete Alternativen (Efferenzentwürfen). Das Erwägen ist gerichtet auf eine optimale Aktion, d. h. auf einen erwarteten bestmöglichen Effekt (Erfolg) und geschieht durch abschätzende Handlungsvorwegnahme im Rahmen des Entscheidungsspielraums. Dabei wird jeder ausgewählte Entscheidungsvorschlag (mögliche Alternative) erfahrungsgemäß bewertet. Eine Vorbedingung dazu ist, dass vorherige Effekte (Auswirkungen) verschiedener Entscheidungen als deren beobachtete Konsequenzen "in Erfahrung" gebracht werden konnten, d. h. dass mit erworbenen Kenntnissen ein adäquates Modell der Umwelt im Automaten ausgebildet worden ist. Das Umweltmodell ist Bestandteil des entwickelten Erfahrungswissens, das durch aktivitätsabhängigen individuellen Kenntniserwerb (eigene Erfahrungen) weiter ausgebildet werden kann. Der lernende Automat kann mit seinem dynamisch veränderbarem Erfahrungswissen (der modifizierbaren Gedächtnisstruktur) sein Verhalten an veränderliche Umweltbedingungen vorteilhaft anpassen (Adaption für Homöostase).

Das Adaptionsvermögen des Automaten wird durch seine 'Einstellung' beeinträchtigt, d. h. seine allgemeine Bereitschaft, auf bestimmte Situationen in vorbestimmter und zumeist eingeübter Weise zu reagieren. Eine unflexible Einstellung auf Grund ungenügender Lerndisposition (fehlende konditionierbare Assoziationen) und lückenhaftem Vorwissen führen wie beim einseitigen oder ungenügenden Training zu Routineentscheidungen. Charakteristisch dafür ist die Starrheit (Rigidität) gegenüber nicht trainierten Veränderungen der Umwelt.

Die Entscheidungsfindung wird von simulierten emotionalen Bewertungen der Erwartungen situationsabhängig beeinflusst. Das Bewerten der aktuellen Situation in Bezug auf die Erwartung führt entweder zur Verstärkung oder zur Dämpfung des emotionalen Zustands (Empfinden). Infolge positiver Bewertung des Effekts einer Entscheidung (Erfolgserlebnis) entstehen verstärkte emotionale Bewertungsergebnisse (Affekte) zur Veranlassung von speziellen Aktionen der Befriedigung (z. B. Freude- oder Lustäußerungen), die vom motorischen Aktionskomplex autonom gesteuert werden. Außerdem führt eine positive Bewertung (Motivation) zur Verbesserung der 'subjektiven Lage' und 'Aufmerksamkeit', z. B. zur Steigerung der Lernbereitschaft.

Ein positives Signal für die verbesserte 'subjektive Lage' (positiver Statusreport) kann das strukturelle Lernen im Assoziationskomplex derartig beeinflussen, dass eine Konsolidierung der bestätigten Kenntnis (für die Erwartung) erfolgt, und dass auch im Zusammenhang stehende neue Kenntnisse über die Umwelt erworben werden (bei erfüllter Koinzidenzbedingung). Besondere Signale für die 'subjektive Lage' haben auch Auswirkungen auf andere Funktionskomplexe, z. B. für motivationsgesteuertes Erkennen, Beurteilen und Assoziieren.

Der **Aktionskomplex** dient zur Steuerung der Aktion oder Reaktion des Automaten durch Ausführung von ausgewählten Verhaltensprogrammen (Routinen), die von seinen Eingangssignalen bestimmt werden. Nicht nur die signalisierte Efferenz-Entscheidung (Entscheidungskopie) zur Auswahl des Verhaltensprogramms, sondern auch Signale für Input-Begriffe, synthetisierte Afferenzen, Affekte, Efferenzen und Rückmeldungen von Effektoren (z. B. Fertigmeldungen) haben Einfluss auf die Aktionssteuerung. Der Aktionskomplex kann mit parallel verfügbaren, autonom durchführbaren Routinen spezielle Prozesse steuern und regeln (Regelmechanismen für

Handlungsroutinen). Er erzeugt die Steuersignale für eine Vielzahl von Effektoren (Stell- und Steuereinrichtungen), abhängig von rückgekoppelten Signalen, z. B. von Effektoren.

Zur Simulation von 'Lernen durch Einsicht' in prinzipielle Sinn-Zusammenhänge (gemäß Entwicklungsstufe L5) kann eine entsprechend erweiterte strukturelle Lerndisposition für den Erkennungs- und Beurteilungskomplex konzeptionell vorgesehen werden, so dass die 'assoziative' Konditionierung für theoretischen Kenntniserwerb implementiert wird (vgl. Thesen 7 und 8). Neue "heuristisch" erworbene theoretische Kenntnisse auf hohem Abstraktionsniveau ermöglichen "selbstorganisierte" Gedächtnisleistungen durch dynamische Ausbildung von "erlerntem" Meta-Wissen, z. B. für eigene Konstrukte und möglichst adäquate Umweltmodelle.

Zusätzlich vorgesehene Funktionskomplexe für eine simulierbare Sprachfähigkeit des Automaten enthalten Sprachmodule zur technisch möglichen Spracheingabe und -ausgabe. Sie haben Verbindung zu internen Signalen, z. B. zu formalen Informationsdarstellungen für Input-Begriffe, synthetisierte Afferenzen, Urteile, Bewertungs- und Entscheidungsergebnisse und auch Efferenzen. Ihre komplexen Sprachfunktionen definieren symbolische Darstellungen und sprachliche Ausdrücke nicht nur für Zustandsmeldungen, z. B. individuelle Statusreports für die 'subjektive Lage', sondern auch für unterschiedliche Informationsdarstellungen zwecks Kommunikation.

4. Resümee und Ausblick

Der aufgezeigte "kognitiv-logische" Modellansatz zu lernfähigen Gedächtnissystemen für 'Intelligente Automaten' entspricht meinen Veröffentlichungen seit dem Jahr 1978. [10.1] Die wissenschaftliche Erarbeitung einer *Kognitiven Logik* stützt sich auf innovative Definitionen und Thesen meiner 'Kenntnistheorie'. Erzielt werden dynamische Wissensdarstellungen in lernenden Inferenzsystemen mit 'assoziativem Gedächtnis', gekennzeichnet durch situationsabhängig ausbildbare *bedingte Relationen in kognitiv-logischen Verknüpfungen*. [10.2] [10.4] Eine Kognitive Logik wurde vorgeschlagen für Modelle selbstlernender Gedächtnissysteme, - im Unterschied zur "starrten" formalen Logik für deduktive Ableitungen in regelgesteuerten Symbolsystemen (gemäß frühen KI-Konzepten), die nicht "selbstorganisierend" wie kognitive Systeme lernen können. [10.1][10.3]

Kognitiv-logische Modelle mit erfahrungsbedingt *modifizierbaren Logik-Funktionen* sind gekennzeichnet durch lernfähige Gedächtnisstrukturen zur situationsabhängigen Speicherung und Nutzung von erworbenen Kenntnissen (def. bedingte Relationen) des situationsbedingt ausgebildeten Erfahrungswissens. Durch "strukturelles Lernen" ist ein selbständiger Kenntniserwerb simulierbar (autonomes Lernen, d. h. ohne Trainer), wozu mindestens ein induktiver Lernmechanismus (für bedingte Relationen) erforderlich ist. Im Rahmen einer *strukturellen Lerndisposition* erfolgt die Ausbildung von (erfahrungs-)bedingten logischen Verknüpfungen für dynamische Wissensdarstellungen, - unterstützt durch konzeptionell veranlagtes Vorwissen (A-priori-Wissen) in Form von logischen Basis-Funktionen. [10.6] Systemtechnische Realisierungsformen sind 'lernfähige Zuordnungskomplexe', definiert mit wechselwirkend vernetzten Zuordnungs- oder Verknüpfungseinheiten, die hierarchischen Zuordnungsniveaus angehören. [10.5]

Als Arbeitshypothese zur groben Modellierung eines kognitiven Systems mit "intelligenter" Entscheidungsfähigkeit durch Selbstlernen diene mein *multihierarchisches Gehirnmodell* (s. 2. [10.7]). Aufgezeigt wurde ein Systemkonzept 'Intelligenter Automat', bestehend aus 'verschachtelten' lernfähigen Gedächtnissystemen gemäß definierten Entwicklungsstufen, die 'hierarchisch gekapselt' klassifizierten Lernformen entsprechen. [10.2]

Simulierbar sind "intelligente" Verhaltensänderungen als *höhere Lernformen* auf hierarchischen Lernniveaus (Entwicklungsstufen), - definiert als 'bedingte Aktion', 'bedingtes Erwägen optimaler Entscheidungen' und 'Lernen durch Einsicht in prinzipielle Sinnzusammenhänge' sowie 'intentionales Lernen'.

Mein Systemkonzept 'Intelligenter Automat' wurde erprobt mit drei Computersimulationen "Lernender Homöostat", - definiert als 'lernfähiger Zuordnungskomplex' mit kognitiv-logischen Verknüpfungen (erste Implementation bereits 1980). [10.3] Dieses prinzipielle Simulationsmodell für Nahrungsaufnahmeverhalten selektiert 'systemeigene' Variablenwerte als "individuelle" Symbole für Antrieb, Motivation und Emotion gemäß seiner *Beurteilung und Bewertung*, ausgehend von der jeweils erkannten Situation. Unter ihrem Einfluss bestimmt es seine *Entscheidungen* für bedarfsgerechte und möglichst vorteilhafte Handlungen. Der lernende Automat simuliert *empirische Urteile* und "subjektive" Bewertungen situationsabhängig, d. h. gemäß seinen Wahrnehmungs- und Erkennungsergebnissen, - beeinflusst von eigenen *assozierten Voraussagen* (erinnerten Vorurteilen oder Erwartungen). Diese "Erinnerungen" entsprechen seinen *erworbenen Kenntnissen*, d. h. gewonnenen Geschmackserfahrungen bezüglich bisher wahrgenommener Objekte. Diese können 'bekannt' sein oder andernfalls versuchsweise 'kennengelernt' werden, wodurch "selbsterhaltendes" *Umlernen* simulierbar ist (Untersuchung und Probieren von Neuem bei großem Bedarf). Symbolisch angezeigt werden erfahrungsbedingte Inferenzen (induktive Schlussfolgerungen) und die jeweilige 'affektgesteuerte' Entscheidung für eine situationsangepasste (adaptive) Handlungsauswahl. Angezeigte Kommentare (sprachliche Ausdrücke) als *erklärende Statusreports* betreffen explizite Situationsbeschreibungen (analog einer Selbstreflexion über 'Ich'-Zustände), empirische Urteile und systemeigene Ansprüche (analog individuellen Einstellungen). Angezeigte Symbole veranschaulichen Gesichtsausdrücke als *emotionale Äußerungen*.

Ausblick: Das aufgezeigte multihierarchische Gehirnmodell ist als Arbeitshypothese geeignet für technische Modellierungen von kognitiv-logischen Gedächtnisstrukturen. Nach dem Systemkonzept "Intelligenter Automat" konstruierte innovative Prototypen für "subjektiv bewertende" lernfähige Gedächtnissysteme eröffnen neue

Entwicklungsperspektiven für KI-Artefakte wie beispielsweise selbstlernende Roboter und autonome Agenten zum Nutzen des Menschen auf unterschiedlichen Anwendungsgebieten. Eine wissenschaftliche Erforschung von kognitiven Prozessen in neuronalen Gedächtnisstrukturen ist schrittweise mit Erklärungs- und Simulationsmodellen möglich. Kognitive Grundprozesse wie 'strukturelles Lernen' und 'Assoziieren aus Erfahrung' sind simulierbar mit erfahrungsbedingt 'ausbildbaren' kognitiv-logischen Verknüpfungen einer Kognitiven Logik im Rahmen von strukturellen Lerndispositionen für dynamische Wissensdarstellungen. [10]

Der Roboter-Experte Hans Moravec verfasste in seinem bekannten Buch futuristische KI-Prognosen und meinte: "Die künstliche Intelligenz hat es geschafft, die bewusste Oberfläche des logischen Denkens nachzuahmen, und hat uns vor Augen geführt, wie unabsehbar und fremd die unbewussten Prozesse unter der Oberfläche sind." [9, S. 44] ... "Die Ingenieure, die die Mechanismen ihrer hochentwickelten Roboter ganz genau kennen, werden auf keinen Fall bereit sein, ihren Maschinen wirklichen Verstand zuzuschreiben. Von innen betrachtet, werden Roboter zweifellos Maschinen sein, die nach mechanischen Prinzipien handeln - wenn auch sehr komplexen Prinzipien. Doch von außen gesehen, wo die Maschinen als Ganzes in Erscheinung treten, werden sie den Eindruck von Intelligenz hinterlassen." [9, S. 110]

5. Literaturquellen

- [1] Gerhard Roth: Das Gehirn und seine Wirklichkeit - Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main 1994, ISBN 3-518-58183-X
- [2] Gerhard Roth: Fühlen, Denken, Handeln – Wie das Gehirn unser Verhalten steuert, Suhrkamp Verlag, Frankfurt am Main 2001, ISBN 3-518-58313-1
- [3] Karl R. Popper: Alles Leben ist Problemlösen – Über Erkenntnis, Geschichte und Politik, R. Piper GmbH & Co. KG München 1994, ISBN 3-492-03726-7
- [4] Konrad Lorenz: Das Wirkungsgefüge der Natur und das Schicksal des Menschen, gesammelte Arbeiten, hrsg. v. Eibl-Eibesfeldt, Piper Verlag, München 1978 – daraus:
Die Vorstellung einer zweckgerichteten Weltordnung, auch enthalten im Lesebuch ‚Lust am Denken‘, hrsg. v. Klaus Piper, R. Piper & Co. Verlag München 1983, ISBN 3-492-00550-0
- [5] Claus Emmeche: Das lebende Spiel – Wie die Natur Formen erzeugt, Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, Reinbek bei Hamburg 1994, ISBN 3-499-19618-2
- [6] Richard P. Feynman: Was soll das alles? – Gedanken eines Physikers, Piper Verlag GmbH, München 1999, ISBN 3-492-04472-7
- [7] Gerald M. Edelman und Giulio Tononi: Gehirn und Geist – Wie aus Materie Bewusstsein entsteht, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München 2004, ISBN 3-423-34074-6
- [8] Wolf Singer: Der Beobachter im Gehirn, Essays zur Hirnforschung, Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main 2002, ISBN 3-518-29171-8
- [9] Hans Moravec: Computer übernehmen die Macht – Vom Siegeszug der künstlichen Intelligenz, Hoffmann und Campe Verlag, Hamburg 1999, ISBN 3-455-08575-X

-
- [10] Eberhard Liß: Systemtheoretische Beiträge zu kognitiv-logischen Gedächtnissystemen und Computersimulationen (seit 1980), - vgl. www.liss-kompndium.de unter 'Kognitive Logik':
 - [10.1] [KI-Konzepte für Kognitive Logik intelligenter Automaten](#) (Liste der Veröffentlichungen),
 - [10.2] [Beiträge zu Definitionen und Konzepten einer Kognitiven Logik](#), - mit Gehirnmodell, Auszügen und Kopien der Veröffentlichung in msr, Berlin (1986) H. 9 u. 10:
[Induktives Lernen kognitiv-logischer Gedächtnisstrukturen für intelligente Automaten](#)
 - [10.3] [Lernender Homöostat mit kognitiver Logik für rationale Autonomie, Simulation 2001](#),
dazu [Kurzbeschreibung: "Lernender Homöostat"](#) - eine interaktive Existenzsimulation
 - [10.4] [Grundbegriffe zur Kognitiven Logik](#), Anhang aus: LISS-KOMPENDIUM, Okt. 2002
 - [10.5] [KI-Konzept 'Lernfähiger Zuordnungskomplex'](#) - Ein Ansatz für Kognitive Logik,
Kopie einer Veröffentlichung in Nachrichtentechnik-Elektronik, Berlin 1984
 - [10.6] [Dynamische Wissensdarstellung in kognitiv-logischen Gedächtnissystemen](#),
Kopie einer Veröffentlichung in Nachrichtentechnik-Elektronik, Berlin 1983
 - [10.7] DDR-Patentanmeldung WP G 06 F/ 2349 488 vom 18.11.1981, mit dem Titel:
Programmierbare Logikanordnung für intelligente Automaten und adaptive Steuerungen mit künstlichem Intellekt, - gedruckt als Patentschrift 201 356 der Klasse G 06 F 15/18
 - [10.8] [Information - subjektive Nachricht für kognitive Systeme](#), hrsg. im Sept. 2002
 - [10.9] [Gehirnstrukturen für Lernen und Gedächtnis](#), neurobiologische Erkenntnisse, Sept. 2003
 - [10.10] [Synaptische Verbindungen im plastischen Neuronennetz](#), hrsg. im Okt. 2003
 - [10.11] [Kognitive Logik für Intelligente Automaten](#), Link-Übersicht im LISS-KOMPENDIUM
 - [11] Eberhard Liß: Albert Einsteins Weisheiten und Ansichten - eine Zitate-Anthologie, - hrsg. im LISS-KOMPENDIUM, - siehe www.liss-kompndium.de/einstein.htm
 - [12] Eberhard Liß: [Kognitiv-logische Modellbildung](#) – Zitate namhafter Autoren, Dez. 2007