EIN BEITRAG ZU DEN NATUR – UND GEISTESWISSENSCHAFTLICHEN GRUNDLAGEN KOGNITIVER SYSTEME

Ronald Römer[1], Günther Wirsching[2] und Matthias Wolff[1]

[1]BTU-Cottbus, [2]KU Eichstätt-Ingolstadt
ronald.roemer@tu-cottbus.de

Kurzfassung: Für die Beschreibung technischer kognitiver Systeme wird naturgemäß auch auf biologisches oder psychologisches Begriffsinventar zurückgegriffen. Eine allgemein akzeptierte Definition für Kognition oder kognitive Systeme findet man in den Ingenieurwissenschaften jedoch nicht in ausreichendem Maße. Im diesjährigen Beitrag wird daher der Versuch unternommen, den Geltungsbereich technischer kognitiver Systeme zu definieren. Dabei gehen zunächst wir auf den historischen Vorgänger der kognitiven Systeme – die Kybernetik – eingegangen. Nach einer Beleuchtung der Gründe für den Niedergang der Kybernetik und deren nachfolgenden Ausdifferenzierungen erfolgt eine Reflexion über die natur- und geisteswissenschaftlichen Säulen der Kybernetik. Diese stellt den Ausgangspunkt einer kritischen Analyse dar und führt uns auf mögliche Brückenkonzepte zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften. Unter Verwendung dieser Brückenkonzepte und der konsequenten Einnahme einer biologischen (evolutionären) Perspektive, hat sich in der Psychologie das Modell eines finalen Systems entwickelt. Die Tragfähigkeit des Modells beruht einerseits auf dessen systemtheoretischen Fundament und zum anderen auf der Eigenschaft, dass die in finalen Systemen ablaufenden Prozesse semantisch beschreibbar sind. In diesem Sinne können kognitive Prozesse als Informationsverarbeitung betrachtet werden. Da außer Organismen auch Automaten in diese Kategorie fallen, können kognitive Modelle entwickelt und simuliert werden, so dass ein Vergleich von organischen- und künstlichen Systemen gerechtfertigt ist. Weitere Anforderungen wie Bewusstsein oder die Fähigkeit zur Reflexion sind auf dieser Entwicklungsstufe nicht notwendig. Der Geltungsbereich kognitiver Systeme kann daher auf die finalen Systeme beschränkt werden.

1 Einführung

In den letzten Jahren werden zunehmend kognitive Aspekte sowohl in technischen Systemen als auch in Systemen zur Sprachverarbeitung berücksichtigt [1], [2]. In technischen Veröffentlichungen werden jeweils aus Sicht der Autoren die wichtigsten Eigenschaften und Anforderungen an technische kognitive Systeme genannt. Die hervorgehobenen Eigenschaften verwenden dabei häufig ein Begriffsinventar, welches sich naturgemäß an biologischen oder psychologischen Begriffen anlehnt. Eine allgemein akzeptierte Definition für Kognition, mit deren Hilfe die Anforderungen an technische kognitive Systeme eingegrenzt werden könnten, oder Hinweise auf den geisteswissenschaftlichen Hintergrund von kognitiven Begriffen, findet man jedoch nicht in ausreichendem Maße. Der vorliegende Beitrag stellt den Versuch dar, die natur- und geisteswissenschaftlichen Grundlagen von kognitiven Systemen herauszuarbeiten und damit deren Geltungsbereich festzulegen.

Zunächst wird auf die historischen Wurzeln kognitiver Systeme eingegangen, die zum großen Teil in der Kybernetik zu finden sind. Die verschiedenen von der Kybernetik aufgegriffenen wissenschaftlichen Disziplinen werden kurz genannt und auf die Gründe für den Niedergang

der Kybernetik verwiesen. Anschließend werden die späteren Ausdifferenzierungen der Kybernetik betrachtet, insbesondere werden die weiteren Entwicklungen auf dem Gebiet der System- und Informationstheorie angerissen.

Im Folgenden werden die natur- und geisteswissenschaftlichen Säulen vorgestellt, auf die sich eine systemtheoretische angelegte Psychologie stützt [3]. Hier steht insbesondere der Gegensatz zwischen der Stimulus-Response-Psychologie und dem Kognitivismus im Mittelpunkt der Betrachtungen. Während die Stimulus-Response-Psychologie einer starken Einengung auf das Reiz-Reaktions-Schema unterliegt, leidet der Kognitivismus unter einer Einengung auf bewusstes rationales Verhalten welches technische Systeme derzeit nicht nachbilden können, weil ihnen das Bewusstsein fehlt.

Nach N. Bischof – einem international ausgewiesenen und systemtheoretisch geschulten Psychologen – kann eine Auflösung des Konflikts jedoch gelingen, wenn man konsequent eine biologische Perspektive einnimmt[4]. Dann stellt sich heraus, dass alle diejenigen Prozesse, die sich adaptiv auf eine veränderte Umgebung einstellen müssen, semantisierbar sind. Systeme, in denen derartige Prozesse ablaufen, und bei denen deren Existenz auf dem Spiel steht, werden finale Systeme genannt. Derartige Systeme sind dadurch charakterisiert, dass neben reflexartigem Verhalten nach dem Reiz-Reaktions-Schema zusätzlich eine weitere – sich später entwickelnde – Ebene existiert, auf der sich nach dem Prinzip von Belohnung und Strafe adaptives Verhalten ausprägt hat. Auf dieser Ebene kann ein finales System durch zielgerichtete Handlungen, welche auf einer Kostenverteilung beruhen, die sich aus der Kommunikation mit der Umgebung entwickelt hat, die eigene Antreffbarkeit oder Existenzwahrscheinlichkeit optimieren.

Um die natur- und geisteswissenschaftlichen Grundlagen kognitiver System zu legen, ist es nötig, geeignete Brückenkonzepte zu identifizieren, mit deren Hilfe beide Wissenschaftsbereiche ein gemeinsames Fundament entwickeln können. Schließlich geben wir im letzten Abschnitt einen Ausblick auf einen Bauplan für technische kognitive Systeme.

2 Kybernetik, die historische Wurzel technischer kognitiver Systeme

Die Kybernetik wurde in der Mitte des vorigen Jahrhunderts als Wissenschaft der Steuerung und Regelung von Maschinen und lebenden Organismen begründet. Sie erhob als Wissenschaft zwei Ansprüche: Zum einen sollte die Nachrichtentechnik und die Kommunikationstheorie auf der Grundlage biologischer Prinzipien weiterentwickelt werden. Zum anderen wurde eine Universalwissenschaft angestrebt, in der bei der Systembeschreibung von der konkreten materiell-stofflichen Ausprägung abstrahiert werden kann. Inhaltlich standen dabei Themen wie Verhaltensregulation, Nachrichtenübertragung, rückgekoppelte Systeme sowie Entscheidungs- und Spieltheorie im Mittelpunkt der Betrachtungen. Etwa zeitgleich wurde von C.E. Shannon die mathematische Informationstheorie begründet [5].

Als zwei herausragende Vertreter der Kybernetik können N. Wiener [6] als Gründungsvater und W.R. Ashby [7], [8] genannt werden. Während sich N. Wiener in seinen Arbeiten darum bemühte, Ideen aus der Philosophiegeschichte (*Spinoza, Leibniz*) aufzugreifen und mit physikalischen Gesetzen zu verbinden, orientierte sich der Psychologe W.R. Ashby stärker an biologischen Fragestellungen. Besondere Aufmerksamkeit widmete er dem Problem, weshalb sich das Nervensystem sowohl wie eine Maschine mechanistisch, als auch adaptiv verhalten kann. Bei beiden Zugängen spielte der Informationsbegriff bereits eine zentrale Rolle, aber vor allem W.R. Ashby wählte aus heutiger Sicht einen systemischen Ansatz und ist von einer Interaktion zwischen Organismus und Umgebung ausgegangen. Ein solches System wird zwar offen hinsichtlich der Stoff- und Energieflüsse aufgefasst, wird aber als „informationsdicht“ verstanden. An dieser Stelle werden bereits die natur- und geisteswissenschaftlichen Einflüsse deutlich. Um den Einfluss der Psychologie auf die Kybernetik zu verstehen, ist zunächst zu beachten, dass die Stimulus-Response-Psychologie in den 1930er und 1940er

Jahren insbesondere durch Arbeiten von B.F.Skinner eine wesentliche Erweiterung erfahren hat. Skinner konnte zeigen, dass das Verhalten seiner Versuchstiere nicht allein durch konditionierte Reflexe bestimmt ist [20]. So kam er auf die „operante Konditionierung“, d.h., das Verhalten ist wesentlich davon bestimmt, welche Konsequenzen zur „Absicht“ des Versuchstiers passen. In [21] erklärt Skinner die Komplexität menschlichen sprachlichen Verhaltens mit Erfolg unter anderem damit, dass ein großer Teil des menschlichen Verhaltens aus „autoklitischem“, d.h. selbstreflexivem „inneren“, Verhalten besteht, was von außen nur indirekt analysierbar ist – womit sich Skinner ziemlich weit von der Stimulus-Response-Psychologie entfernt hat. Leider erfolgte die Rezeption der Skinnerschen Arbeiten in der Fachwelt zum Teil nur sehr verzerrt [22]. Das ist eine mögliche Erklärung, warum der Einfluss der Psychologie auf die Kybernetik fast ausschließlich von der Stimulus-Response-Psychologie geprägt war. Hinzu kam eine Reduktion auf eine äußere Sichtweise, die dem inneren Erleben (Phänomenologie) keine Beachtung schenkt. Dadurch trat vor allem der biologische Einfluss zunächst etwas in den Hintergrund. Gerade hier sind jedoch die Ursprünge einer semantischen Informationsverarbeitung zu verorten [9]. Darüber hinaus gestaltete sich die Zusammenarbeit zwischen Physikern, Psychologen, Biologen und Ingenieuren schwierig, so dass ein Nichtzustandekommen der erforderlichen Interdisziplinarität schließlich zum vorübergehenden Niedergang der Kybernetik führte.

3 Ausdifferenzierungen der Kybernetik

In der Nachbetrachtung kann man feststellen, dass der Kybernetik seinerzeit das gemeinsame Fundament fehlte. So kam es in der Folge zu einer Ausdifferenzierung, in der sich einige Strömungen zu eigenständigen Wissenschaftsgebieten entwickelt haben. Die im frühen 20. Jahrhundert in der Geisteswissenschaft entwickelte Zeichentheorie bildete sich dort später als Grundlage der Kommunikation heraus, und fand auch in der Sprachverarbeitung ihre Anerkennung. Aus der Sicht der Ingenieurwissenschaften können vor allem die Systemtheorie, die Kommunikationstechnik, die Informatik und die mathematische Informationstheorie genannt werden. Letztere unterlag immer wieder der Kritik, dass die von Shannon verwendete Definition zu kurz greift. Das betrifft vor allem die Ausklammerung der Bedeutung einer Nachricht. Fruchtbare Versuche, die Informationstheorie zu erweitern, können H. Marko, D.M. MacKay und D. Nauta zugesprochen werden.

Von D.M. MacKay stammt die Idee, dem von C.E. Shannon geprägten Begriff der „selektiven Information“ auch den Begriff der „deskriptiven Information“ zur Seite zu stellen [11]. Deskriptive Information setzt sich aus einer strukturellen und einer metrischen Komponente zusammen und erweist sich bei der Übermittlung von Sachverhalten als nützlich. Von einem Sachverhalt wird gesprochen, wenn Objekten bestimmte Merkmale oder Werte zugeordnet werden oder wenn zwischen Objekten gewisse Beziehungen bestehen. Sowohl die strukturelle als auch die metrische Komponente wird benötigt, um den Sachverhalt durch Zeichen zu repräsentieren. Der selektive Aspekt von Information kommt schließlich in der Auswahl der Zeichen zum Ausdruck.

Diesen Gedanken baute D. Nauta weiter aus. Im Gegensatz zu Shannons Kommunikationsmodell, in welchem ein Sender verbunden durch einen Kanal einem Empfänger gegenübersteht, fasst er das informationsempfangende, -verarbeitende und -aussendende System (das sogenannte I-System) als Ganzes – als Kommunikationsteilnehmer – auf [12]. Der für dieses Modell grundlegende Begriff des Zeichens, ist dabei durch folgende Eigenschaften gekennzeichnet:

- es hat einen geordneten inneren Aufbau (syntaktische Komponente), sonst könne es nicht als Zeichen erkannt werden
- es hat eine Bedeutung für das I-System (semantische Komponente), andernfalls würde sich der innere Zustand nicht ändern

- es wirkt als zielgerichteter Stimulus, der das I-System zu einer Aktion bzw. Reaktion anregt (pragmatische Komponente)

Informationstheorien, die diese Erkenntnis nicht berücksichtigen, sind nach [13] unvollständig. Schließlich wies H. Marko darauf hin, dass der Signalfluss bei C.E. Shannon nur in einer Richtung verfolgt wird: vom Sender zum Empfänger. Bei einer Kommunikation besteht aber ein Informationsfluss in beiden Richtungen, da Kommunikationssysteme zugleich Sender und Empfänger sind. Diese Grundgedanken konnten erstmalig von Marko in eine mathematische Form gebracht werden [10].

In der Psychologie erfolgte nach dem Niedergang der Kybernetik eine Wende von der Stimulus-Response-Psychologie zum Kognitivismus, um wieder ins „Innere" des Organismus vorzudringen. Die Entwicklung dieser neuen psychologischen Strömung war eng mit dem Ansatz der Informationsverarbeitung (insbesondere der KI) und linguistischen Einflüssen verbunden. Mithilfe der immateriellen Größe Information sollte nun in das Vorfeld des Bewusstseins vorgestoßen werden. Zum einen wurde damit das Verständnis vom „Inneren" stark auf „Rationalität" und damit auf eine menschliche Sicht eingeschränkt, zum anderen war man auf die semantische Dimension des Begriffs Information angewiesen, die in der mathematischen Informationstheorie nach C.E. Shannon jedoch strikt ausgeklammert wurde.

Hier liegt der Ausgangspunkt der Anstrengungen von N. Bischof und D. Dörner, die sich dem weiteren Aufbau einer systemtheoretisch begründeten Psychologie widmeten und sich dabei wieder stärker an einem biologischen Leitbild orientiert haben [4], [14]. Bei der Einbindung der semantischen Dimension des Informationsbegriffs standen vor allem das Selektionsprinzip und die Adaptation an eine sich verändernde Umwelt im Mittelpunkt der Betrachtungen. Schließlich müssen auch neue Erkenntnisse aus der Neurobiologie und -physiologie hervorgehoben werden [15], [16].

4 Natur- und geisteswissenschaftliche Reflexion

Nach kognitivistischer Auffassung, wird Verhalten als Verfolgen von Zielen angesehen, welches an seinen eigenen Effekten kontrolliert wird. Der Organismus handelt demnach aktiv und erhält Rückmeldungen seiner Tätigkeiten über seine Umgebung. Hier erfolgt also ein Übergang von reflexartigen Verhalten zu einem Verhalten, dass durch einen Regelkreis charakterisiert werden kann. Allerdings wurde mit der Zuwendung zu einer inneren Sichtweise fast ausschließlich das *bewusst* Rationale in den Mittelpunkt gerückt. Mit dieser Einengung auf das menschliche Blickfeld wurde zudem die Verarbeitung von Bedeutung ausnahmslos der menschlichen Natur zugebilligt. Das tierische Fundament menschlichen Verhaltens wird dabei jedoch außer Acht gelassen (Triebe, Motive, Gefühle).

In der von der Stimulus-Response-Psychologie eingenommenen äußeren Sichtweise wurde der Organismus als passive Reiz-Reaktionsmaschine verstanden, in der allein die Umgebung Motor des Verhaltens ist. Diese Auffassung hat eine Mechanisierung des Verhaltens zur Folge, was wiederum mit einer Einengung auf das tierische Blickfeld einherging.

Die Zuspitzung dieser beiden Grundhaltungen hat ihre Wurzeln in alten philosophischen und psychologischen Problemstellungen. In der Philosophie findet sich der oben angedeutete Dualismus bspw. in den Erklärungsversuchen für die Wahrnehmung von Objekten wieder. Der Idealismus (*Plato, Kant*) nimmt eine innere Sichtweise an und bewertet wahrgenommene Objekte ausschließlich vor dem Hintergrund angeborener Ideen oder Kategorien.

Der Realismus dagegen nimmt eine äußere Sicht ein, so dass bei der Rekonstruktion des wahrgenommenen Objekts Störungen und Unsicherheiten berücksichtigt werden können (*Heidegger*). Hier liegt der Schwerpunkt auf der sensorischen Verarbeitung. In der Psychologie findet sich dieser Dualismus im psychophysischen Problem wieder. Im Mittelpunkt steht dabei die Frage, wie die immaterielle Seele auf den materiellen Körper einwirken bzw. von ihm beeinflusst werden kann.

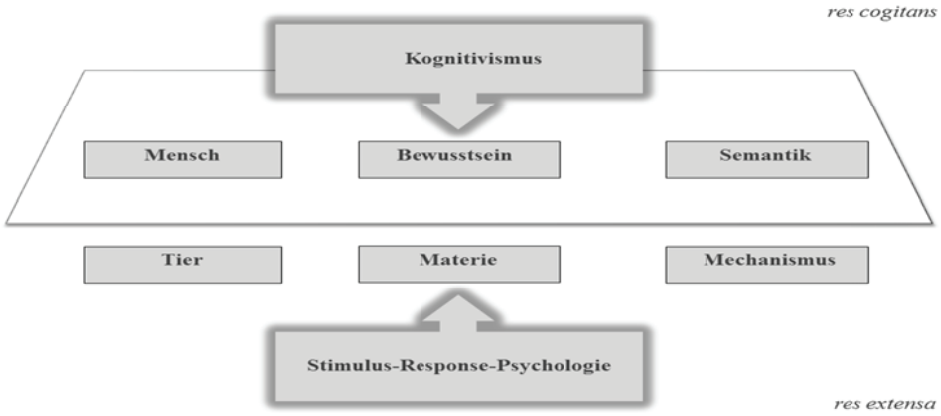

Abbildung 1 – Zugespitzte Darstellung der dualistischen Sichtweise auf die Stimulus Response-Psychologie und den Kognitivismus, nach [4].

Die zwei zueinander konträren Auffassungen werden zum einen durch Wechselwirkung (*Descartes*) und zum anderen durch einen Parallelismus bzw. der Identitätsphilosophie (*Leibniz, Spinoza*) erklärt. Descartes geht also davon aus, dass Leib und Seele zwei unterschiedlichen Substanzen (*res cogitans, res extensa*) angehören und miteinander interagieren. Die Identitätsphilosophie versteht dagegen physische und psychische Prozesse als zwei Seiten derselben Substanz.

Eine Auflösung dieser Dualismen gelingt nach N. Bischof unter Einnahme einer konsequenten biologischen Perspektive. Dabei ist es hilfreich, den Geltungsbereich der unterschiedlichen Erklärungsmodelle zu erkennen. Dazu ist es zweckmäßig, zwischen einem inneren Sinn und einem äußeren Sinn zu unterscheiden. Im Gegensatz zur physikalischen Sichtweise, die von Harmoniebestrebungen und Symmetriebetrachtungen geprägt ist (gipfelt in der gesuchten Weltformel) und damit einem inneren Sinn folgt, sind biologische Betrachtungen von einem äußeren Sinn geprägt. Dieser liegt jedoch außerhalb des Organismus ist vor allem durch Adaptation an eine sich verändernde Umgebung und das Selektionsprinzip gekennzeichnet.

Um den Vorteil der oben angesprochenen biologischen Perspektive zu erkennen, muss hier eine genauere analytische Betrachtung ansetzen: Eine auf den Organismus einwirkende Situation wird mit einer Reaktion beantwortet, die eine neue Situation B nach sich zieht. Dabei kann der Organismus i.d.R. unter mehreren Möglichkeiten wählen und wenn er nicht zufällig agiert, wird er bei seiner Auswahl den Wert einer zunächst nicht weiter bekannten Variablen optimieren. Der Organismus verhält sich demnach so, als ob sich die Herbeiführung der Anpassung lohnen würde. Den Schlüssel zum Verständnis der Adaptation spielt dabei die Struktur eines Organismus. Denn die Art und Weise, wie der Organismus eine Situation A in Situation B überführt, hat Auswirkungen auf seine Existenzwahrscheinlichkeit. Nur diejenige Struktur, die sich in der entsprechenden ökologischen Nische auch vor dem Selektionsprinzip bewährt, kann die Erhaltung des Phänotyps ermöglichen. Die Umgebung prägt also die Struktur des Organismus und diesem *äußeren* Sinn folgend kann die Struktur als Bedeutungsträger verstanden werden. Solche Systeme, bei denen Finalität und Bedeutung die herausragenden Merkmale darstellen, werden als *finale Systeme* bezeichnet. Daraus folgen unmittelbar zwei wichtige Konsequenzen:

- finale Systeme sind gemäß ihrem äußeren Sinn semantisierbar,
- auf die Bedeutung der Struktur eines Organismus kann nur aus dem Verhalten in dessen Umgebung geschlossen werden.

Unter Einnahme der biologischen Perspektive gelingt außerdem die Auflösung der Dualität des psychophysischen Problems. Hierzu ist die Unterscheidung zwischen einer funktionalen (mechanistischen) Ebene – in der ein mechanistisches Verursachungsprinzip gilt – und der phänomenalen Ebene notwendig, in der ein semantisches Verursachungsprinzip gilt. Auf diesen beiden Ebenen behält das Wechselwirkungsprinzip durchaus seine Berechtigung. Diese Unterscheidung lässt aber auch Raum für die Identitätsphilosophie. Nach [4] existiert ein sogenanntes psychophysisches Niveau in dem einige Prozesse eine Doppelnatur haben. Für den Innenbetrachter bilden sie Erlebnisinhalte und für den Außenbetrachter sind sie physiologische Prozesse. Dabei kann man nun der Analogie folgen, nach der Zeichen oder Zeichenfolgen beim Empfänger mit einer Semantik verbunden sein können, genauso wie neuronale Aktivitäten Erlebnisinhalte im Bewusstsein auslösen können. Mit einer solchen Sichtweise können die dualistischen Probleme aufgelöst werden und durch eine evolutionäre Betrachtung abgelöst werden (Abbildung 2).

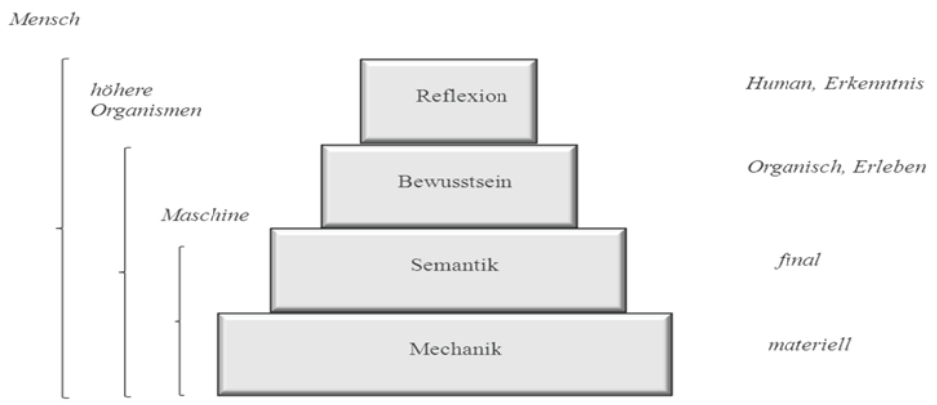

Abbildung 2 – Auflösung des dualistischen Problems unter biologischen Perspektive, nach [4].

Um sich den technischen kognitiven Systemen anzunähern, muss schließlich noch auf die unterschiedlichen Zeitmaßstäbe für finale Systeme hingewiesen werden.

- Phylogenese: Veränderung des Genotyps durch die selektive Umwelt (Stammesgeschichte, Generationen übergreifend), Selektion greift am Genotyp an.
- Ontogenese: Entwicklung des individuellen Phänotyps von der Befruchtung bis zum Tod, (Umweltwirkungen bleiben auf diesen Zeitraum beschränkt).
- Aktualgenese: Umsetzung der stimulativen Umwelt in Verhaltensmuster (situationsbedingte Handlungen führen zur Veränderung des aktuellen Sachverhalts), hier erfolgt die Selektion der Handlung über eine Erfolgsmeldung.

5 Brückenkonzepte zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften

In der Folge der obigen Betrachtungen unterscheidet N. Bischof zwischen den Materiewissenschaften (z.B. Physik, Chemie) – die sich einem inneren Sinn oder einem Ordnungsprinzip unterordnen – und den Strukturwissenschaften (z.B. Biologie, Psychologie), die dem äußeren Sinn oder einem Organisationsprinzip folgen. Um nun technische kognitive Systeme realisieren zu können, sind Kenntnisse aus beiden Wissenschaftsbereichen notwendig, darin liegt die Herausforderung für die Ingenieurwissenschaften. Um dieser Herausforderung gewachsen zu sein, müssen zwischen den Materie- und Strukturwissenschaften im engeren Sinn und den Natur- und Geisteswissenschaften im weiteren Sinn, Brückenkonzepte identifiziert werden,

mit denen eine fruchtbare Zusammenarbeit zwischen den unterschiedlichen Disziplinen ermöglicht wird. Aus unserer Sicht kommen hierbei das Konzept des finalen Systems und eine semiotisch erweiterte Informationstheorie in Frage.

Ein Beispiel für andauernde Auseinandersetzungen, die letztlich auf einer Vermischung von innerem und äußerem Sinn beruhen, findet sich beispielsweise in der Linguistik. So wird von Strukturalisten (Chomsky, Frege) die Meinung vertreten, dass sich die Bedeutung eines Satzes aus der grammatikalischen Struktur, d.h. aus dem Satz selbst ableiten lässt (innerer Sinn). Dagegen halten die Operationalisten (Wittgenstein, Skinner), dass sich die Bedeutung aus dem Gebrauch der Worte ableiten lässt (äußerer Sinn). Eine Synthese beider Auffassungen im Sinne finaler Systeme wurde bereits in [11] vorgeschlagen. Dabei wird eine parallelistische Grundhaltung eingenommen und zwischen innerem und äußerem Sinn unterschieden, dies führt zu dem Schluss, dass der Gebrauch von Worten – *mit denen die gleiche Wirkung erzielt werden kann* – der Bildung von semantischen Einheiten dient. Erst die Verknüpfung oder die Struktur der semantischen Einheiten trägt schließlich die Bedeutung. Dieser Auffassung folgt auch das Konzept der *Utterance Meaning Pairs*, in denen der Gebrauch der Worte durch FSM modelliert wird, und die zugehörige Bedeutung von PNT ermittelt wird [17]. Im Kern handelt es sich dabei um die Übersetzung von Sequenzen in partielle Wörter (Analyse) bzw. von partiellen Wörtern in Sequenzen (Synthese) [23].

Die analytische Betrachtung der biologischen Perspektive führt uns neben den finalen Systemen zum zweiten Brückenkonzept, der semiotisch erweiterten Informationstheorie. Nach Abbildung 3 bezeichnet man das eingangsseitige Teilsystem eines final interpretierbaren Systems als Empfänger, das Signal *s* als Nachricht und die Bedeutung der Nachricht als kognitiv. Das ausgangsseitige Teilsystem eines final interpretierbaren Systems bezeichnet man als Sender, das Signal *r* als Befehl und die Bedeutung des Befehls als intentional.

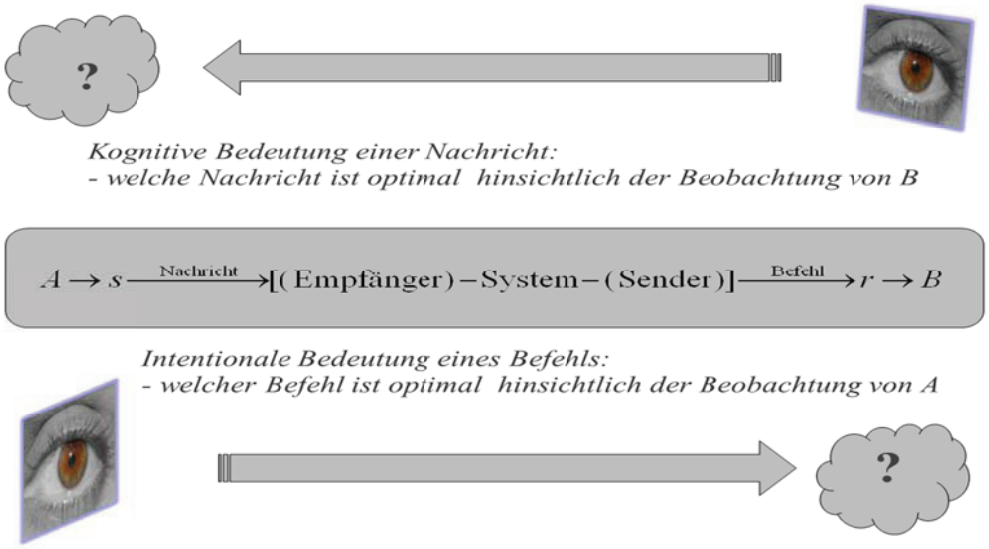

Abbildung 3 – Kognitive und intentionale Bedeutung in finalen Systemen, nach N. Bischof.

Eine finale Interpretation hinsichtlich Anpassung und Optimierung ist nicht nur bei Organismen sondern auch bei Automaten möglich. Dagegen sind physikalische Systeme, deren Verhalten sogenannten Optimalitätsprinzipien gehorcht nicht final, weil Alternativen zum optimalen Verhalten real nicht existieren. Zur Finalität gehört vor allem, dass die optimale Anpassung auch verfehlt werden kann. Um die kognitiven Leistungen zu kontrollieren, ist deshalb eine Rückkopplung notwendig. Fehler bei der kognitiven Interpretation bezeichnet man als Täuschungen, Fehler bei intentionaler Interpretation als Fehlleistungen. Um die Existenzwahrscheinlichkeit des Organismus zu maximieren, ist daher die Lösung

eines Optimierungsproblems notwendig, in dem die Kosten für Täuschungen und Fehlleistungen optimiert werden. Da die Kosten (Belohnung, Strafe) für Aktionen oder Handlungen von der Umgebung (Rückkopplung) bestimmt werden, kann sich auf diese Art und Weise eine Verhaltenskanalisation ausbilden, die nach außen wie der bewusste Akt eines denkenden Objekts (Rationalität) erscheint. Bewusste Rationalität und reflektive Fähigkeiten sind hierzu nicht notwendig.

Es muss darauf verwiesen werden, dass das Optimierungsproblem nach N. Tishby informationstheoretisch gedeutet werden kann [18]. Dabei wird auf Ideen einer späteren Arbeit von C.E. Shannon zurückgegriffen, in der die verlustbehaftete Quellencodierung und eine kostenbeschränkte Kanalcodierung ebenfalls als Anpassungsproblem interpretiert werden. N. Tishby wendet diese Idee auch auf das agierende System (Agent) an und betrachtet das agierende System informationstheoretisch als den inneren Flaschenhals. Bei der in [18] vorgestellten *Information-Bottleneck-Methode* werden jedoch die von C.E. Shannon noch extern definierten Kosten und Verzerrungsmaße durch „systeminhärente" Informationsmaße ersetzt.

In beiden Fällen können eine *Rate-Distortion-Funktion* und/oder eine *Cost-Capacity-Funktion* angegeben werden, mit denen die theoretischen Grenzen für die Informationsverarbeitung im Perzeptions-Aktions-Zyklus angegeben werden können. Somit würde der Perzeptions-Aktions-Zyklus für kognitive Systeme die gleiche Rolle spielen, wie der Carnot-Zyklus für wärmetechnische Systeme [19].

Das Verhalten finaler Systeme, welches von außen betrachtet rational begründet erscheint, kann nach obiger Betrachtung durch die Optimierung der Existenzwahrscheinlichkeit erklärt werden. Dabei ist das finale System jedoch auf eine Informationsverarbeitung angewiesen, die alle Aspekte der Semiotik berücksichtigt: ausgehend von der Signalebene über die Syntax, Semantik und Pragmatik bis hin zur Ebene der Zielvorstellungen. Eine semiotisch begründete Informationstheorie auf der Basis finaler Systeme könnte somit als Brückenkonzept zwischen den Natur- und Geisteswissenschaften betrachtet werden.

6 Ausblick auf einen Bauplan technischer kognitiver Systeme

In diesem Abschnitt wird nun der Versuch unternommen, einen Bauplan für technische kognitive Systeme zu entwerfen, der sich nach den oben entwickelten natur- und geisteswissenschaftlichen Grundlagen richtet.

In einem ersten Schritt wird der entwicklungsgeschichtlich älteste Mechanismus der Verhaltenssteuerung betrachtet. Einen solchen prärationalen Mechanismus, der ohne Einsicht und Erfahrung adaptiv reagiert, nennt die Psychologie Instinkt. Dieser ist mit einem Regelkreis vergleichbar, so dass wir die psychologischen Begriffe in regelungstechnische Begriffe übersetzen können. Dem Antrieb entspricht die Differenz zwischen Regelgröße und Führungsgröße, das Bedürfnis wäre eine variable Führungsgröße und als Anreiz sind sensorische Muster zu verstehen. Die damit verbundene Struktur vermittelt zwischen sensorischen Eingangsmustern und motorischen Ausgangsmustern.

Um den Antrieb zu löschen, müssen Bedürfnis und Anreiz den gleichen Wert annehmen. Für diesen Fall müssen zwei Klassen von Instinkten unterschieden werden. Die erste Klasse zielt auf eine Antriebslöschung bei einer (konsummatorischen) Endhandlung ab, hier fehlt jedoch die Rückmeldung, ob eine Endsituation eingetreten ist, in der das Bedürfnis auch tatsächlich befriedigt worden ist. Die zweite Klasse löscht den Antrieb erst durch das Erreichen einer Endsituation. Mit steigendem Evolutionsniveau verschiebt sich das Ziel der Instinkthandlung hin zur zweiten Klasse. Instinkthandlungen sind erbkoordiniert, ihre adaptive Einpassung in ihre ökologische Nische ist immer *bereichsspezifisch*. Jeder Instinkt hat also seine eigenen Ziele, sie können nicht gleichzeitig angestrebt werden und müssen um die Priorität konkurrieren. Das Entscheidungsprinzip beruht dabei lediglich auf einem Stärkevergleich.

Der nächste Entwicklungsschritt stützt sich darauf, dass die Motorik erst dann entriegelt werden sollte, wenn ein zweiter sensorischer Detektor tatsächlich auch die Zugänglichkeit (Akzess) des Objekts meldet, welches den Anreiz gemeldet hat. Wenn Bedürfnis und Anreiz aktiviert sind, ohne dass der Zugang vorliegt, kann über diesen zweiten Detektor der Antrieb unterbunden werden. Die Überwindung einer Zugangsbarriere wird Bewältigungsverhalten (*engl. Coping*) genannt, hier können verschiedene Strategien zur Anwendung kommen. Ein solcher, zusätzlich mit Bewältigungsverhalten ausgestatteter Regelkreis wird Coping-Apparat genannt. Die wichtigsten Fähigkeiten des Coping-Apparates bestehen in der Simulation der Umwelt, dem Probehandeln und der Abschätzung der Konsequenzen. Die Simulation der Umwelt benötigt ein inneres Modell, als deren Ergebnis die Konsequenzen als Vorhersagen betrachtet werden. Damit wird Wahrnehmung zu einem aktiven Prozess, indem eine Gewichtung von Erwartung und Sensorik oder eine Verknüpfung beider Informationsflüsse zu einer bidirektionalen Informationsverarbeitung führt, welche die weiter oben genannten idealistischen und realistischen Auffassungen in sich vereint.

Im Gegensatz zu Instinkten ist der Coping-Apparat *nicht bereichsspezifisch* angelegt. Deshalb müssen ihm dreierlei Informationen übermittelt werden: um welche Antriebsthematik handelt es sich aktuell, welche Priorität hat die Bewältigungsaufgabe und führt die gewählte Strategie in die richtige Richtung. Hier kommen nun die Emotionen ins Spiel. Diese stellen innere Signale dar, welche die spezifischen Antriebe begleiten, sich aber erst dann melden, wenn ein Antrieb auf eine Barriere stößt. Notwendigerweise benachrichtigen sie den Coping-Apparat aber auch darüber, ob die Bemühungen Erfolg hatten und eine Endhandlung ablaufen konnte. Dies führt schließlich zu einer Deaktivierung des Coping-Apparats. Damit er seine Leistung durch Lernen verbessern kann, benötigt er schließlich noch Rückmeldungen über den Erfolg der einzelnen Handlungsschritte. Dies geschieht über das Prinzip Belohnung und Bestrafung. Emotionen haben also für den Fall – dass ein Antrieb auf eine Barriere trifft – die Aufgabe, den Coping-Apparat zu informieren, dass, wofür und wie lange er sich einzuschalten hat.

Höherentwicklungen setzen daher an einem lernfähigen Coping-Apparat an, überschreiten aber den Geltungsbereich technischer kognitiver Systeme. Trotzdem können drei wichtige Triebkräfte hervorgehoben werden, die auch für die Entwicklung finaler Systeme eine Rolle spielen. Eine Triebkraft wirkt auf den motorischen Engpass und dient der Vergrößerung des Handlungsrepertoires. Eine weitere wirkt auf den sensorischen Engpass, so dass die Umwelt feiner aufgelöst werden kann und die prädiktiven Fähigkeiten verbessert werden können. Und schließlich ist eine dritte Triebkraft zu nennen, die auf das Erlernen effizienter Strategien zur Erreichung von Endsituationen abzielt. Die informationstheoretischen Grenzen für den hier vorliegenden Perzeptions-Aktions-Zyklus können nach N. Tishby auf der Grundlage der *Information-Bottleneck-Methode* bestimmt werden.

7 Schlussbemerkung

Unter Einnahme einer biologischen Perspektive und ausgehend von einer semiotisch fundierten Informationsverarbeitung können technische kognitive Systeme als finale Systeme betrachtet werden, welche durch eine optimale Anpassung an ihre Umgebung gekennzeichnet sind und im Gegensatz zur eingeengten Sichtweise des Kognitivismus auch die Integration emotionale Signale berücksichtigen. Evolutionär sich später entwickelnde Ebenen, auf denen Bewusstsein und reflektive Fähigkeiten angesiedelt sind, gehören demnach nicht mehr zum Geltungsbereich technischer kognitiver Systeme. In dieser Erkenntnis liegt die große Bedeutung der von N. Bischof vorgelegten systemtheoretisch konzipierten Psychologie. Damit können wir nun auf ein solides natur- und geisteswissenschaftliches Fundament zurückgreifen, welches schließlich auch den Ausgangspunkt für die ingenieurwissenschaftliche Entwicklung technischer kognitiver Systeme bildet. Die Beschreibung der technischen Umsetzung kognitiver Systeme im Rahmen des Perzeptions-Aktions-Zyklus unter Verwendung des Kon-

zepts finaler Systeme und einer semiotisch erweiterten Informationsverarbeitung ist für spätere Veröffentlichungen geplant.

Literatur

[1] Haykin, S.: *Cognitive Dynamic Systems*, Perception-Action Cycle, Radar and Radio, Cambridge University Press 2012.

[2] Young, S.: *Cognitive User Interfaces*, IEEE Signal Processing Magazine, (27) 3, 2010.

[3] Bischof, N.: *Struktur und Bedeutung*, Verlag Hans Huber, 2. Auflage, Bern 1998

[4] Bischof, N.: *Psychologie, ein Grundkurs für Anspruchsvolle*, Verlag Kohlhammer, 2. Auflage, 2009.

[5] Shannon, C.E.: *A Mathematical Theory of Communication*, Bell System Technical Journal, July and October 1948.

[6] Wiener, N.: *Cybernetics, or control and communication in the animal and machine*, Wiley 1948, 2. Auflage, MIT Press 1961

[7] Ashby, W.R.: *Introduction to Cybernetics*, Chapman & Hall, 1956

[8] Ashby, W.R.: *Design for a Brain*, Chapman & Hall, second edition 1966.

[9] Uexküll, J. von: *Bedeutungslehre*, Abhandlungen zur theoretischen Biologie und ihrer Geschichte sowie zur Philosophie der organischen Naturwissenschaft, Leipzig Verlag von J.A. Barth 1940.

[10] Marko, H.: *Die Theorie der bidirektionalen Kommunikation und ihre Anwendung auf die Informationsübermittlung zwischen Menschen*, Kybernetik 3 1966, pp. 128-136.

[11] MacKay, D.M.: *Information, Mechanism and Meaning*, M.I.T. Press 1969, Second printing June 1972

[12] Nauta, D.: *The Meaning of Information*, Mouton, The Hague, Paris 1970.

[13] Flückiger, D.F.: *Beiträge zur Entwicklung eines vereinheitlichten Informationsbegriffs*, Inauguraldissertation der Philosophisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät an der Universität Bern, 1995.

[14] Dörner, D.: *Bauplan für eine Seele*, rororo Verlag, 2. Auflafe, 2001.

[15] Fuster, J.: *Cortex and Mind*, Unifying Cognition, Oxford Press 2003.

[16] Mountcastle, V.: *An Organizing Principle for Cerebral Function: The Unit Model and the Distributed System*, The Mindful Brain (Gerald M. Edelman and Vernon B. Mountcastle, eds.) Cambridge, MA: MIT Press, 1978.

[17] Wirsching, G.; Kölbl, Ch.: *Language Modeling with Utterance-Meaning-Pairs*, Technical Report, Universität Augsburg 2011.

[18] Tishby, N.; Pereira, F.C. and Bialek,W.: *The Information Bottleneck method*, The 37th annual Allerton Conference on CommunicationControl and Computing, Sep. 1999.

[19] Tishby, N.; Polani, D.: *Information Theory of Decision and Action*, Perception-Action Cycle, Springer New York, pp. 601–636, 2011.

[20] Skinner, B.F.: *The Behavior of Organisms*: An Experimental Analysis, 1938.

[21] Skinner, B.F.: *Verbal Behavior*. Copley Publishing Group, Acton 1957.

[22] Ickler, Th.; *Skinner und „Skinner“ -- Ein Theorien-Vergleich*. In *Sprache und Kognition*. Göttingen 13, S. 221–229, 1994.

[23] Huber, M.; Kölbl, Ch.; Lorenz, R.; Wirsching, G.: *Constructing UMP-Transducers from Wizard-of-Oz Data,* ESSV 2013 (eingereicht).