

Kreativität – das immer neue Wunder¹

Prof. Dr. Dr. F. J. Radermacher

Forschungsinstitut für anwendungsorientierte Wissensverarbeitung/n (FAW/n) in Ulm, zugleich Professor für Informatik, Universität Ulm

Lise-Meitner-Str. 9, D-89081 Ulm, Tel. +49 731 50 39100, Fax +49 731 50 39111, E-Mail: radermacher@faw-neu-ulm.de, <http://www.faw-neu-ulm.de>

Die Menschheit erzeugt durch ihr immenses Wachstum und ihren Konsumhunger immer neue Probleme. Kann die menschliche Kreativität in der Lösungsfindung auf Dauer die Oberhand behalten?

I. Vorbemerkung

Kreativität besitzt für Menschen einen besonderen Stellenwert. Für viele hat sie den Charakter eines Wunders oder ist mit der Vorstellung eines göttlichen Funkens verbunden. Auch die Sichten der Wissenschaften auf das Phänomen der Kreativität sind sehr vielgestaltig. Kreativität ist die Fähigkeit, völlig Neues scheinbar aus dem Nichts heraus zu produzieren, der Geistesblitz, der Klarheit schafft, wo zuvor alles dunkel war. Kreativität ist eine Eigenschaft, die Menschen in unterschiedlichem Maße besitzen, und manchmal scheinen wir auch bei der Beobachtung von Tieren auf Kreativität zu stoßen. In einer noch allgemeineren Perspektive kommt uns die Natur selbst ausgesprochen kreativ vor, man denke zum Beispiel an so beeindruckende Erfindungen wie Schmetterlinge oder den Ameisenstaat. Kreativität ist, richtig betrachtet, sogar ein permanentes Erfordernis - etwa dann, wenn wir ein verwirrendes Bild studieren und langsam, mit großer Anstrengung und viel Kreativität, die Rekonstruktion eines Inhaltes oder Sinns gelingt.

Die Frage ist, was allen diesen Prozessen gemeinsam ist. Die hier verfolgte allgemeine Perspektive wird durch die beiden Konzepte „**Erzeuge**“ und „**Wähle aus**“ beschrieben. Sie beziehen sich auf **Systeme**, die jeweils einem großen Raum von Möglichkeiten entstammen und bei denen es darum geht, immer wieder neue Lösungen zu erzeugen und dann geeignete Lösungen auszuwählen. Zur Wechselwirkung von „Erzeuge“ und „Wähle aus“ denke man an einen guten Fotografen, der eine Szene genau beobachtet und das **eine** Foto schießt, während umgekehrt jemand eine Automatikcamera relativ wahllos Bilder schießen läßt und danach aus dem Satz der Bilder ein geeignetes auswählt. Oder man denke an einen guten Schachspieler, der wenige Fortentwicklungen des weiteren Spielverlaufs „auswählt“ und geistig durchdenkt und bewertet, während demgegenüber ein übliches Schachprogramm mehrere Halbzüge tief alle Fortentwicklungen der aktuellen Stellungen betrachtet und

¹ Eine gekürzte Fassung des Textes ist erschienen in *Forschung & Lehre*, Heft 10/1995, S. 545-550.

„bewertet“. Bei der Theoriebildung in den Wissenschaften geht es in analoger Weise oft darum, unter vielen möglichen Definitionen eines neuen, angestrebten Begriffs eine geeignete festzulegen, wobei es manchmal so ist, daß die Menge der bekannten Nebenbedingungen fast zwangsläufig zu genau einer Lösung führt, während in anderen Fällen experimentell mit vielen Möglichkeiten operiert werden muß. In der Regel ist es so, daß die Räume des Möglichen sehr groß sind. Es sei daran erinnert, daß 10^{81} bereits größer als die Anzahl der Atome im Universum ist. Wir wissen, daß beispielsweise die Menge der möglichen Stellungen oder auch der Spielverläufe in einem Schachspiel oder erst recht der Variationsmöglichkeiten von Lebensformen auf der Genebene bzw. in Vererbungsprozessen sehr viel (fast beliebig) größer ist. In den meisten Fällen stellt sich deshalb die Frage der Generierung von absolut vielen, aber relativ zur Gesamtzahl der Möglichkeiten wenigen Lösungen und der Auswahl unter diesen. Ein vollständiges Abarbeiten von Lösungsräumen („Brute Force“-Vorgehen) ist deshalb im allgemeinen ausgeschlossen. Kreativität bedeutet insofern einen ökonomischen, sparsamen, kunstfertigen Prozeß der Generierung von geeigneten Lösungsvorschläge unter Nutzung unterschiedlichster Heuristiken, gekoppelt mit einem leistungsfähigen Bewertungsprozeß, der im richtigen Moment sagt, daß man „zupacken“ muß. Nimmt man dies, also das effiziente Erzeugen und Bewerten von Lösungen, als das Wesen der Kreativität - wozu es sicher ganz unterschiedliche Meinungen geben wird -, dann eröffnet sich ein breites Spektrum des Themas, das weit über die Kreativität des Menschen hinausgeht. Tatsächlich gibt es Kreativität dann schon lange vor der Entstehung von Leben.

II. Kreativität vor dem Auftreten von Nervensystemen

In seinem empfehlenswerten, stark subjektiv geprägten Buch zu dem Thema Kreativität hat Binnig² vor einigen Jahren das Thema in großer Radikalität behandelt und das Spektrum der Generierungs- und Auswahlmöglichkeiten weit zurückverschoben bis hinein in die Entstehung der Welt und die Ausprägung der Naturgesetze, und dann weiter auch hin zu der Auswahl der im Weltall vorherrschenden Atome, Moleküle und komplexen Strukturbildungen unter diesen (z. B. bei Kristallen), die wiederum wichtige Voraussetzungen für das Entstehen von Leben waren.

Ein aus der Sicht der **evolutionären Erkenntnistheorie** besonders wichtiger Schritt in Richtung auf Kreativitätsleistungen war dann vor etwa 3,5 Milliarden Jahren die Entstehung des Lebens, zugleich der Ausgangspunkt für die Evolution der Lebensformen. Dabei wird hier der Standpunkt eingenommen, daß die Evolution einen **Metaprozeß** bildet, der sich von alleine jeder Form der tradierenden Weitergabe von Struktur aufzwingt, sobald die Möglichkeit einer gewissen Variabilität im Tradierungsprozeß gegeben ist sowie eine Konkurrenz um knappe Ressourcen stattfindet. Dies trifft auf die biologische Evolution ebenso zu wie die Evolution von Kultursystemen, inklusive wissenschaftlicher Theorien, Staatsformen usw. und resultiert daraus, daß aufgrund der begrenzenden Randbedingungen unter den tradierten Formen ein Auswahlprozeß in der Konkurrenz um die knappen Ressourcen stattfindet und daß dabei immer wieder auch veränderte Varianten miteinander darum ringen, weiter zu existieren.

Kreativität auf der Ebene der Lebewesen heißt Variation der Formen (Erzeugung von Lösungen) und Konkurrenz um Fortpflanzung und Überleben (und dadurch Auswahl immer leistungsfähigerer Strukturen). Wesentliche Informationen über die jeweilige Struktur sind dabei im Sinne einer Blaupause in der DNS in Form einer Aneinanderreihung von bestimmten Sequenzen von Aminosäuren kodiert, wobei offenbar im Laufe der Evolution höhere Ebenen der Informationskodierung in dieser Sequentialisierung geschaffen wurden (z. B. An- oder Abschalten ganzer Sequenzabschnitte). Auf diesen Ebenen findet die Variation als Folge von Wechselwirkungen mit der Umgebung statt. Die Ausgestaltung und Vielfalt der Formen ist in diesem frühen Stadium, also auf der Ebene der Viren und Einzeller besonders groß. Die eigentliche Informationskodierung erfolgt dabei im wesentlichen auf der Ebene der Geometrie, also in geeigneten **dreidimensionalen Strukturen**; diese dreidimensionalen Strukturen besitzen charakteristische Mechanismen der Vervielfachung wie auch der Identifikation (**dreidimensionale Passung**), man denke etwa an die Identifikation eines Moleküls im Luftstrom durch ein entsprechendes Rezeptorgan als Basis eines Riechorgans. Einen Höhepunkt an „Kreativität“ (zugleich an Intelligenz ohne Nutzung von Nervensystemen) stellen in diesem Umfeld die **Immunsysteme höherer Lebewesen**³ dar, die zum Beispiel in der Lage sind, innerhalb von Tagen Milliarden von Antworten auf einen unbekanntem Eindringling, z. B. ein unbekanntes Virus, zu erzeugen und zwar in einem Wettlauf mit der Zeit. Die erfolgreiche Identifikation des Eindringlings besteht in der Ausbildung einer dreidimensionalen Struktur, die aufgrund der gegebenen chemischen Wechselwirkungen in der Lage ist, den Viruskopf zu besetzen.

Es kann durchaus sein, daß bis heute das größte Kreativitätspotential auf dieser Welt auf dieser Ebene, inklusive des Modifikationspotentials der DNS (mit den ihr eigenen höheren Strukturen der Wissensrepräsentation), gegeben ist. Es ist in diesem Zusammenhang interessant, das weitere „Rennen“ zwischen einer intelligenten Menschheit und den sich rasch verändernden Virenpopulationen als eine dramatische Form der Auseinandersetzung zwischen zwei ganz unterschiedlich organisierten Kreativitätspotentialen zu verfolgen.

III. Eine Vier-Ebenen-Architektur intelligenten Verhaltens⁴

Zum besseren Verständnis von Kognitionsprozessen und als Basis für einen Übergang zu höheren Ebenen der Informationsverarbeitung und damit von Kreativitätsformen als Folge des Evolutionsprozesses skizzieren wir im weiteren kurz eine Vier-Ebenen-Architektur intelligenter Informationsverarbeitung. Diese Architektur zielt darauf ab, den Menschen in seiner gesamten Informationsverarbeitungsfähigkeit zu erfassen, aber darüber hinaus auch die Menschheit und beliebige andere Systeme beschreiben zu können. Kognitive Prozesse - als charakteristische Merkmale bestimmter selbstorganisierter Systeme⁵ - umfassen in dieser Sicht eine integrierte Gesamtheit von Sensorik, Informationsverarbeitung und Motorik und zwar auf verschiedenen Verarbeitungsebenen, die mit Begriffen wie Sensordaten, Merkmalen, Symbolen und Theorien charakterisiert werden. Als ganzheitliche, mehr

² Binnig, G.: *Aus dem Nicht: Über die Kreativität von Natur und Mensch*. Piper-Verlag, München, 1992

³ Stewart, J.: *Cognition without neurons. Adaptation, learning and memory in the immune system*, in: *Kognitionswissenschaft*, Bd. 4, Heft 2, 1994, S.85-94

⁴ Radermacher, F.J.: *Cognition in systems*. Erscheint in: *Cybernetics and Systems* 27, No. 1, 1996

⁵ Maturana, H.R., Varela, F.J.: *Der Baum der Erkenntnis - Die biologischen Wurzeln des menschlichen Erkennens*. Scherz Verlag, Bern-München-Wien, 1987

neuronal ausgerichtete Sicht auf diesen Verarbeitungsprozeß sei an dieser Stelle auf die interessante Konstruktion einer „Gedankenpumpe“ hingewiesen⁶.

Wir unterscheiden im folgenden vier Ebenen. Auf der untersten Ebene betrachten wir **Signale** im Sinne einer unmittelbaren Wechselwirkung physikalisch-chemischer Natur mit der umgebenden Welt. Signale induzieren einerseits unmittelbare Wirkungen, andererseits werden aus ihnen mit Hilfe sogenannter Filter **Merkmale** herausgesondert. Merkmale sind die Eingangsinformation der zweiten betrachteten Ebene der nachfolgenden Informationsverarbeitung. Hier setzen einerseits funktionale Transformationen, z. B. zur Motorik (nachbildbar etwa in der Art künstlicher neuronaler Netze) ein. Andererseits können auf der Basis von Merkmalen mittels Klassifikatoren **Objekte** bzw. **Begriffe** identifiziert werden. Dies führt zu einer begrifflichen bzw. symbolischen Ebene, der dritten Ebene, und damit zu einer ungeheuren Verdichtung von Information, gleichzeitig zu einer ungeheuren Beschleunigung der Neugenerierung von Wissen wegen der auf dieser Ebene verfügbaren, mächtigen Verarbeitungsmechanismen. Hierzu gehören alle typischen Symbolverarbeitungsprozesse, inklusive dessen, was man „logisches Denken“ nennt; dies ist im wissenschaftlichen Bereich der Gegenstand und die klassische Domäne der künstlichen Intelligenz (KI). Von hier aus geht es schließlich gegebenenfalls über zur vierten Ebene der **Theorien und Modelle**, auf der man mit zum Teil aufwendigen mathematischen Modellen und Kalkülen der Optimierung, Statistik, Entscheidungstheorie, Logik und Numerik Realweltgegebenheiten beschreiben und zu Aussagen und Schlüssen kommen kann.

Die hier vorgestellte Architektur ist aus der **Verfolgung des Evolutionsprozesses** in der Biologie abgeleitet. Im Evolutionsprozeß des Lebens wirkten zunächst nur Faktoren auf der untersten Ebene (vgl. hierzu auch Teil II dieses Textes). Als die Lebensformen komplexer wurden, konkret mit der Ausbildung von Nervensystemen und später Gehirnen, kam die zweite Ebene hinzu. Bereits bei manchen Vogelarten ist die dritte Ebene zumindest partiell ausgeprägt, d. h. diese Tiere können bereits Zustände klassifizieren⁷. Natürlich sind Leistungspotentiale auf der dritten Ebene zentral für Primaten und insbesondere Menschen. Nicht zuletzt das sprachliche Vermögen fällt weitgehend in diesen Bereich. Schließlich hat der Mensch bzw. genauer die **Wissenschaft als Gesamtsystem und höhere Strukturform** in den letzten paar tausend Jahren mit ihren Theoriebildungen die vierte Ebene erreicht.

Wir können in der beschriebenen Perspektive das spezifische Potential des Menschen einordnen. **Intelligenz**, wie wir sie beim Menschen beobachten, besteht in der integrativen Beherrschung von Modellierungs- und Auswertungsfähigkeiten auf allen vier beschriebenen Ebenen. Das menschliche **Bewußtsein** kann dabei verstanden werden als ein sequentieller, im wesentlichen auf der Symbolebene angesiedelter Prozeß, der insbesondere bestimmte knappe Ressourcen (wie die Bewegungsrichtung und das Kurzzeitgedächtnis) verwaltet und eingebettet ist in ein massiv-paralleles nicht-bewußtes Umfeld der Informationsverarbeitung.

⁶ Braitenberg, V.: *Cell assemblies in the cerebral cortex*. In: R. Heim und G. Palm (Hrsg.), „*Theoretical Approaches to Complex Systems*“, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, pp. 171ff., 1978

⁷ Herrnstein, R.J.: *Objects, categories and discriminate stimuli*, in: H.L. Roitblat, T.G. Bever und H.S. Terrace (Hrsg.), „*Animal Cognition*“, Erlbaum, Hillsdale, N.J., 1984, S. 233-261

IV. Kreativität auf verschiedenen Ebenen der Informationsverarbeitung

Eigentliche Informationsverarbeitung beginnt mit dem Auftreten der zweiten betrachteten Ebene, also der Ebene der neuronalen Strukturen im Evolutionsprozeß. Solche **neuronalen Netze** sind netzwerkähnliche Input-Output-Strukturen in Lebewesen (Nervensysteme / Gehirne), die hardwarenah gewonnene Sensorinformation so übersetzen, daß daraus ein insgesamt adäquates Verhalten resultiert. Neuronale Prozesse beinhalten tendenziell einen vergleichsweise geringeren Gehalt an explizit repräsentierter Einsicht gegenüber den höher angesiedelten Ebenen (Ebene 3 und 4). Man kann diese Netze in einem abstrakten Sinn als einen Mechanismus verstehen, der bestimmten Eingaben bestimmte Ausgaben zuordnet, zum Beispiel dem Auftauchen eines Löwen im Gesichtsfeld eines Menschen eine rasche Flucht auf einen nahegelegenen Baum. Neuronale Netze beinhalten - wie wir heute aufgrund mathematischer Theoriebildung (Ebene 4) über solche Strukturen wissen - eine generelle Approximationsfähigkeit in dem Sinne, daß sie unter bestimmten Bedingungen derartige Klassifikations- oder Lernaufgaben im Sinne eines **universellen Algorithmus** zu lernen erlauben, wenn nur genügend viele Beispiele in einer unverzerrten Reihenfolge auftreten. Gleichzeitig vollbringen solche Netze eine **Generalisierungsleistung**, d. h. sie induzieren Verhalten auch für zukünftig veränderte Umgebungssituationen.

Menschen - und wohl alle höheren Säugetiere - haben aufgrund ihrer Evolution gut ausgebildete neuronale Strukturen, die ihnen im Sinne einer Verhaltenssteuerung auf der Ebene 2, das heißt, „aus dem Bauch heraus“, viel an Intuition, Kreativität, Gefühl und Emotionalität für die richtige Auswahl, für die adäquate Richtung vermitteln, in der nach Lösungen zu suchen ist oder gemäß deren Lösungen auszugestalten sind. Diese Ebene beinhaltet beim Menschen auch Hinweise auf Bewertungsmaßstäbe (Emotion, Moral).

Die nächsthöhere Ebene (Ebene 3) betrifft unter anderem Logik und Regelverarbeitung, also Merkgelgen, Vorschriften und den Umgang mit Nebenbedingungen und Einschränkungen. Dies ist ein wichtiges Element intellektueller Betätigung, das wahrscheinlich auch bei höheren Primaten verfügbar ist und für Kreativitätsprozesse eine Vielzahl neuer leistungsfähiger Hilfsmittel - sowohl für die Generierung, als auch für die Auswahl von Lösungen - beinhaltet. Konsistenzprüfungen von Aussagen vor dem Hintergrund mathematischer Theorien sind im abstrakten Bereich von dieser Art. Auf der Modellebene gibt es in der Regel aufwendige Prozesse der Theorieentwicklung. Kreativität besteht hier unter anderem in der Identifikation geeigneter Modelle oder Metamodelle, z. B. durch Aufstellen der entsprechenden Gleichungen, aber zum Beispiel auch in den Kalkülen und Ableitungen, bei denen häufig die richtige Vermutung eines wahren Satzes die Voraussetzung dafür ist, irgendwann einmal auch den entsprechenden Beweis zu finden. In all diesen Bereichen ist übrigens auch die **Automatisierung** von entsprechenden Prozessen fortgeschritten (künstliche neuronale Netze; künstliche Intelligenz / Wissensverarbeitung; Theorembeweiser). Ein interessantes Beispiel für eine leistungsfähige Wechselwirkung zwischen Mensch und Maschine bildete vor einigen Jahren der Beweis des **Vier-Farben-Satzes** in der Mathematik.

Typische Beispiele menschlicher Intuition sind ebenfalls vor diesem Hintergrund einzuordnen, wobei wir meistens dann von Intuition sprechen, wenn es sich um ganzheitliche, teilweise auch emotional geprägte und logisch schwer begründbare Einsichten (Ebene 2) handelt in Abgrenzung zu logisch erschlossenen und entsprechend begründbaren Aussagen (Ebene 3). Bewertungskriterien, die hier gefühlsmäßig, teils auch unbewußt, wirken

können, sind beispielsweise: Qualität von Vorhersagen, Kürze von Beschreibungen, Einfachheit von Lösungen, Formen der Symmetrie oder Harmonie, Stimmigkeit, Generalisierbarkeit, Analogieeigenschaften usw. Als Phänomen besonders interessant sind für Menschen **Geistesblitze**, in abgeschwächter Form auch im Bereich des **Bildverstehens** oder beim **Verstehen von Witzen**. Menschen haben bei solchen Geistesblitzen oft den Eindruck, daß es bei Ihnen plötzlich „klick“ macht, so als käme der Einfall oder die Idee aus dem Nichts - wie ein Wunder. Mancher kennt auch das Phänomen, daß er am nächsten Morgen aufwacht, und eine lange gesuchte Idee plötzlich da ist. Manche Menschen versuchen dies zu systematisieren bzw. zu forcieren; hier haben sich in den letzten Jahren verschiedene Schulen und Formen des Kreativitätstrainings herausgebildet und teilweise auch kommerziell an Bedeutung gewonnen.

Kann man aus der hier vertretenen Sicht mehr zu **Geistesblitzen** sagen? Eine Schlüsselüberlegung scheint zu sein, unseren bewußten, linear-sequentiellen geistigen Kontrollkanal als eine abstrakte höhere Ebene zu sehen, die zwar vieles weiß, aber weniger als sie zu wissen glaubt. Sie ist - zur Vermeidung von Überlastung - gut geschützt vor dem, was sonst noch alles an Informationsverarbeitung in unserem - massiv-parallel und über mehrere Schichten organisierten - Gehirn abläuft. Dabei finden im Unbewußten viele parallel ablaufende Aktivitäten in der Auswertung von Informationen statt. Überspitzt gesagt arbeiten in Einzelfällen - für uns unbewußt - hunderte fleißiger „Recheneinheiten“ gemeinsam an der Vorbereitung eines solchen Geistesblitzes, wobei dort vieles ausprobiert wird, und dies ein wenig auch in „Brute-Force“-Manier. Wenn dann solche zuarbeitenden (Hilfs-)Prozesse jeweils auf ein Ergebnis, eine Erklärung, eine Interpretation oder einen Vorschlag stoßen, die ein bestimmtes Qualitätsniveau erfüllen (unbewußter Teil des Auswahlprozesses), dann - und nur dann - geben sie diesen Vorschlag an den bewußten Kanal ab, sofern die **Aufmerksamkeitssteuerung** dies gerade zuläßt. Das Bewußtsein meint in diesem Augenblick, der Mensch hätte gerade einen genialen Einfall gehabt. Gut zu beobachten sind derartige Abläufe auch in der Bildverarbeitung, z. B. bei den modernen 3D-Bildern. Dort kann man durch bewußte Introspektion versuchen zu errahnen, wie unbewußte Prozesse angestrengt versuchen, zu einer plausiblen 3D-Bildinterpretation zu kommen, welche die Informationen, die über zwei visuelle Kanäle angeliefert werden, so einem möglichen Modell der realen Welt zuzuordnen erlauben, daß die Informationen konsistent sind und eine gewisse Qualität der Plausibilität (unbewußter Teil des Auswahlprozesses) aufweisen. Aus der Psychologie kennt man entsprechende Phänomene auch bei der Interpretation von Hohlbildern⁸ von Gesichtern, bei der das Gehirn, d. h. die dort wirksamen **unbewußten Filter**, sich weigert, Sichten, also Interpretationen, zu akzeptieren, die der üblichen Erfahrung widersprechen (hier: nach innen gewölbte Gesichter). Bestimmte Drogen, Alkohol, Nikotin, extreme Erfahrungen, aber auch bestimmte Gehirnkrankheiten, können die Kraft dieser Filter signifikant mindern. Mehr Lösungen (oft zu viele) geraten dadurch auf die bewußte Ebene, Auswahlprozesse erfolgen dann auf höherer Ebene der Informationsverarbeitung. Gerade im Bereich der Kunst, teilweise auch der Wissenschaft, macht man sich gelegentlich entsprechende Formen der Stimulanz zu Zwecken der Kreativitätssteigerung zunutze.

⁸ Emrich, H.M.: *Wahrnehmung, Mimesis und Bewußtsein*. Erscheint in: *Kognition und Bewußtsein*. Fischer-Verlag, Frankfurt, 1995

V. Kreativität bei Primaten / Menschen

Es ist besonders reizvoll, Kreativität bei Menschen, aber auch bei höheren Primaten im einzelnen zu studieren. Viele würden das Thema sicher ganz auf diesen Bereich konzentrieren wollen, also etwa auf das Studium der Pragmatik einzelner Kreativitätsprozesse bei Menschen. Hier gibt es ja schon bei Kindern, aber erst recht während und nach der Ausbildung in praktisch allen Gebieten, also in Musik, Malerei, Literatur, in Architektur und Handwerk, bei Ingenieuren und in den Wissenschaften im allgemeinen, genauso in Recht, Politik und im sozialen Miteinander viele spektakuläre Beispiele beeindruckender Kreativitätsleistungen. Über Beispiele hinaus gibt es dann auch dazu korrespondierende wissenschaftliche Erkenntnisse zu solchen Prozessen bezogen auf Systemik, Analogiebildung, Herstellen von Relationen, Hypothesengenerierung usw.

Wir wollen hier aber eine allgemeinere Betrachtung verfolgen. Aufgrund des Gesagten spielt dabei für alle Kreativitätsleistungen bei Primaten / Menschen als Basis die Wechselwirkung zwischen einer neuronalen und einer symbolischen Ebene der Informationsverarbeitung eine zentrale Rolle. Diese für Kreativitätsprozesse so besonders wichtige Wechselwirkung hat viele Aspekte, die hier nicht alle diskutiert werden können³. Wir erwähnen hier nur Situationen, die sich durch eine **simultane, gleichberechtigte Nutzung** subsymbolischer und symbolischer Beschreibungen auszeichnen. Der Mensch bewertet dabei eine Situation einerseits argumentativ bzw. kalkülhaft (Ebene 3), andererseits aber auch von einer Gefühlsebene (Ebene 2) her. Dabei nutzt er (meist unbewußt) das eine Ergebnis als Probe für das andere und nur dann, wenn die Probe erfolgreich ist, ist er mit dem Ergebnis zufrieden. Dies geht hin bis zur Erfindung neuer Begriffe, entstanden aus der diffusen Wahrnehmung einer fehlenden Stimmigkeit des verfügbaren Vokabulars und einer anschließenden Konkretisierung dieser Wahrnehmung in einem neuen Begriff; also der systematische Übergang von etwas diffus Wahrgenommenem zu etwas präzise Benanntem.

Es spricht auch viel dafür, daß der gesamte wissenschaftliche Prozeß von der Wechselwirkung all dieser Ebenen lebt: Wenn ein Wissenschaftler eine Theorie vorantreibt, dann hat er für sein eigentliches Theorieumfeld häufig ausgefeilte mathematische Kalküle verfügbar. Dies gilt aber nicht für die Modifikation von Theorien. Hinsichtlich der Fortentwicklung von Theorien gibt es keine ausgeprägte mathematische Metatheorie. Was es gibt, sind allenfalls Regelwerke (Vorgehensmodelle, Erfahrungen) und diffus bzw. intuitiv erahnte Zusammenhänge, die in glücklichen Fällen in einer Wechselwirkung miteinander zur Neuformulierung von Theorien führen. Von vielversprechenden ersten Vorschlägen kommt es dabei immer wieder rückgekoppelt und an Beispielmaterial prüfend zu einer Fortschreibung unter wesentlicher Nutzung der Wechselwirkungen zwischen den Ebenen 2 und 3. Tatsächlich weiß man aus dem Studium wesentlicher wissenschaftlicher Fortschritte der vergangenen paar hundert Jahre⁹, z. B. der großen Theorienentwicklungen von Forschern wie Newton und Einstein, daß deren Neuerungen häufig in dem oben beschriebenen Umfeld verstehbar sind, d. h. aus der Verfügbarkeit bestimmter Teile früherer Theorien, die geeignet neu betrachtet und über Abstraktion und Analogiebildung, etwa über neuronale Mechanismen, zur Deckung gebracht, dann das Potential zu einem neuen Schritt beinhalten. Das sind

⁹ vgl. zu diesem und anderen Punkten das empfehlenswerte Standardwerk zum Thema „Kreativität“ von Koestler, A.: *The art of creation*. Arkana, London, 1989

Rekombinationsprozesse, wie man sie in einfacher Form zum Beispiel auch aus Experimenten mit Primaten kennt.

Unsere hohe kognitive Leistungsfähigkeit wie auch unsere Kreativität hat in der hier vertretenen Sicht eben auch entscheidend mit unserem neuronalen In-der-Welt-Sein (**Situiertheit**), der engen Verzahnung der Informationsverarbeitung mit Sinnesorganen und Motorik zu tun und damit, daß all das über Gehirn und Nervensystem gekoppelt ist mit einem internen „Neuro-Rechner“ und einer darin im Laufe der Endphase der Evolution zum Menschen ausgebildeten (emulierten) Symbolverarbeitungsma­schinerie - von allerdings im Verhältnis zu heutigen Computern nur begrenzter Leistungsfähigkeit. (Auf der mathematischen Ebene, d. h. auf einer Metaebene, kann dieses Emulationspotential konkret aufgezeigt werden.) Komplexe kognitive Architekturen der hiermit angedeuteten Art wurden bisher technisch nicht angegangen. Es laufen allerdings mittlerweile an mehreren Stellen, z. B. auch am FAW in Ulm, erste Forschungsprogramme, die versuchen, entsprechende Roboterarchitektur (mit allen hier diskutierten vier Ebenen) zu realisieren.

VI. Großsysteme / Superorganismen

Komplexe reale Systeme lassen sich in der Regel über Schichtungen einfacher Systeme verstehen; dies gilt in ganz unterschiedlichen Umfeldern, vor allem auch im Bereich lebender Strukturen¹⁰. Im Rahmen des biologischen Evolutionsprozesses war der Übergang vom Einzeller zum Mehrzeller einer der spektakulärsten, aber auch schwierigsten Schritte, bei dem ein „freiwilliges“ Miteinander von zunächst unabhängig und einzeln überlebensfähiger Komponenten gesichert werden mußte. Dieser Übergang auf eine höhere Ebene wird zutreffend mit dem Begriff der „**Versklavung**“¹¹ beschrieben. Dieser Schritt ist mehrfach versucht worden, bis schließlich langfristig erfolgreiche Lebensformen dabei entstanden.

Eine weitere interessante Ausprägung der Bildung noch größerer Einheiten gibt es in Form der Insektenstaaten, die im Miteinander ihrer vielen Einzelkomponenten erneut eine höhere Systemleistung und Intelligenz ermöglichen¹². Wir erwähnen hier nur, daß beispielsweise ein Ameisenstaat, wesentlich basierend auf Formen der Kommunikation über chemische Botschaften (Pheromone), ein gutes kognitives Abbild einer einmal besiedelten Küche behält und als Staat immer genau weiß, wo die Süßigkeiten sind, auch wenn das auf der Ebene einer einzelnen Ameise nicht zutrifft. Ähnlich ist es mit dem Wissen eines Bienenvolkes um das Nahrungspotential in seiner Umgebung. Solche Staaten bilden Systeme einer höheren Entwicklungsstufe mit eigenständigem Potential, das wieder gemäß der beschriebenen Vier-Ebenen-Architektur analysiert werden kann. Ähnliches gilt für Herdenverhalten und Schwarmbildungen im Tierreich (Stichwort: „swarm intelligence“).

¹⁰ Klement, H.-W., Radermacher, F.J.: *Freiheit und Bindung menschlicher Entscheidungen*, in: *Conceptus*, Jahrgang XXIV, Nr. 63, 1990

¹¹ Haken, H.: *Synergetics - An Introduction*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1979

¹² Hölldobler, B., Wilson, E.O.: *The ants*. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York, 1990

In der gewählten Perspektive lohnt es sich, auch die Gruppenbildung beim Menschen als einen Übergang zu einer höheren Systemstufe zu studieren. Die **Menschheit** selbst - zusammen mit den von ihr hervorgebrachten technischen Komponenten - ist heute in dieser Sicht als das leistungsfähigste kognitive oder intelligente System auf der Welt überhaupt anzusehen, zumindest soweit es um knapp kodiertes symbolisches Wissen geht. An Gesamtverfügbarkeit von explizit dargestelltem Wissen, hinsichtlich des Vermögens, kurzfristig und auf Bedarf neues Wissen zu generieren, sowie hinsichtlich der Fähigkeit, Aufgaben zu bewältigen, ist die Menschheit dabei mittlerweile dem einzelnen Menschen soweit überlegen wie ein Ameisenstaat der einzelnen Ameise. Dabei konstituiert sich die Menschheit über eine Vielzahl von Informationsprozessen, die ihrerseits wiederum auf den verschiedenen kognitiven Ebenen angesiedelt sind, die wir eben beschrieben haben. Für das Funktionieren der Menschheit sind dabei Traditionen, Vorschriften, Rechtssysteme, Ethiken usw. von höchster Bedeutung und sind ihrerseits Gegenstand von kreativen Veränderungsprozessen, etwa der Ausgestaltung von Regierungssystemen (teilweise entschieden durch Krieg oder Revolution), der Ausgestaltung von Rechtsordnungen im politischen Kampf usw. Auch lohnt es sich, zu untersuchen, wieviel die Menschheit als intelligentes System bis heute über sich selbst weiß. Es zeigt sich, daß die Menschheit in diesem Sinne heute in der Breite erst bei der zweiten Ebene der beschriebenen kognitiven Hierarchie angekommen ist, wobei gerade mit dem internationalen Ausbau der sogenannten Datenautobahnen der technische Schritt hin zu einer vielgestaltigen Verschaltung der Menschen untereinander („**global nervous system**“) ansteht bzw. erfolgt. Das heißt z. B., daß wir intuitiv als Gesellschaft erahnen, welche Bedrohungen auf uns wirken und wie bestimmte gesellschaftliche Innovationen sich auswirken können. Dies ist aber oft noch sehr unpräzise und entspricht insofern der zweiten Ebene, es handelt sich also eher um neuronale, nichtverbalisierte Vorstellungen und Erwartungen hinsichtlich möglicher Entwicklungen. Langsam bewegen wir uns nun als Menschheit auf die dritte Ebene zu, d. h. wir beginnen als Menschheit, Kalküle darüber zu entwickeln, wie wir funktionieren, d. h. es gibt die ersten begrifflichen Entwicklungen für ein **Design von Gesellschaftsstrukturen.**

Manche gehen heute in der Betrachtung über das System Menschheit noch hinaus und sehen beispielsweise unter dem Stichwort „**Gaia**“¹³ das gesamte System der belebten Natur auf unserer Erde als einen angepaßten Organismus, der sich insbesondere relativ zum Sonnensystem, zum Beispiel zur ankommenden Strahlungsintensität, immer wieder optimal ausgerichtet. Die momentanen massiven Eingriffe der Menschheit mit ihrem explosiven Wachstum in Zahl und Ressourcennutzung pro Kopf in das Ökosystem könnten hier erstmalig eine Gefahr für das Gesamtfunktionieren dieser Struktur beinhalten.

VII. Kreativität und Innovation

Es lohnt sich, das bisher Gesagte auf unsere heutige geistige und auch wirtschaftliche Situation zu projizieren. Dabei empfiehlt es sich, Gruppen, Wissenschaftsdisziplinen, Universitäten, Unternehmen, Staaten usw. als Organismen, d. h. als Körper, zu sehen, die ihrerseits in unterschiedlich starker Ausprägung über die verschiedenen kognitiven Ebenen verfügen und in der Nutzung dieser Ebenen versuchen, im Wechselspiel mit ihrer Umgebung

¹³ Capra, F.: *Wendezeit*. Scherz Verlag, Bern-München-Wien, 1984

und der Konkurrenz zu überleben. Wir haben dabei noch vor 30-40 Jahren den Zustand gehabt, daß viele Unternehmen aufgrund von Erfolgsfaktoren, d. h. „Geheimnissen“ ihrer Struktur, überlebten, die ihnen selbst in vielen Fällen nicht bekannt waren.

In den letzten Jahren haben wir demgegenüber einen verstärkten Übergang zur Ebene 3, also zum Beispiel zur Formalisierung von Abläufen / Prozessen mittels Regelwerken beobachten können. An sich ist dies zunächst einmal ein neuer kreativer Schritt. Umgekehrt ist damit natürlich auch eine Erstarrung verbunden. Diese Prozesse laufen dann zukünftig entsprechend der definierten Regelwerke, verlieren damit an Spontaneität und Anpassungsfähigkeit, werden zugleich kopierbar. Wir beobachten heute konsequenterweise unter Stichworten wie der „**fraktalen Fabrik**“ oder der „**lernenden Organisation**“ Anforderungsmerkmale, die darauf zielen, wieder zurückzugehen zu einer mehr ganzheitlichen, neuronalen Ebene, einer Ebene der indirekten Beschreibung, in der Abläufe und Vorgehensweisen nicht festgeklopft sind, sondern variabel bleiben und konsequenterweise auch nicht einfach kopiert werden können. Zwischen beiden Gestaltungsformen sind dabei vielfältige Trade-offs gegeben.

Auch als Gesellschaft merken wir in Deutschland übrigens zunehmend, daß wir im Verhältnis zur Dynamik des Weltmarktes teilweise zu langsam reagieren. Wir haben uns hinter komplizierten organisatorischen und bürokratischen Strukturen verschachtelt, die das eigentliche Machtzentrum bilden. Wenn wir also heute von Kreativität unserer Organisationen bzw. der Gesellschaft als Ganzes reden, dann wollen wir die Gesamtstrukturen dieser Organismen dahingehend verändern, daß sie flexibler, leichter auf Anforderungen von außen reagieren, um dadurch letztlich überlebensfähiger zu werden. Dies ist angesichts der Schwierigkeiten unserer gesamten gesellschaftlichen Lage auch dringend notwendig, denn wir sind an einem kritischen Punkt der Entwicklung angelangt.

Schlußbemerkung

In der Ausbildung der Wissenschaften als Teil des Gesamtsystems Menschheit kumulierte eine viele hundert Millionen Jahre andauernde Entwicklung. Die Kreativität einzelner (großer) Wissenschaftler - und dazu korrespondierend die Kreativität unserer gesellschaftlichen Systeme - eröffnete den Weg zur Entwicklung der großen mathematischen, naturwissenschaftlich-technischen, sowie sozialen Theorien, die den heutigen Status quo unseres Verständnisses der Welt ausmachen. Diese Theorien erlauben uns, alle biologischen, aber auch unsere sozialen Strukturen bis hin zur gesamten Ökosphäre, als eigenständige komplexe Systeme und Organismen zu sehen, die wir ihrerseits hinsichtlich ihres Funktionierens auf verschiedenen Ebenen der Kognition studieren können. Dabei bilden alle Primaten, natürlich im besonderen der Mensch sowie mittlerweile die Menschheit besonders interessante und leistungsfähige kognitive Systeme. Vor allem die Menschheit bildet heute so etwas wie einen explosiven „Brüter“ bzw. Generator von Kreativitätsleistungen und Innovationspotential in einer Dichte und einer Schnelligkeit, die so bisher auf dieser Welt einmalig ist. Die Menschheit erzeugt dabei allerdings durch ihre explosionshaft zunehmende Größe und ihren gigantischen Konsumhunger immer neue Probleme, und es ist

alles andere als sicher, ob unsere Kreativität in der Lösungsfindung oder die Probleme auf Dauer die Oberhand behalten werden^{14,15}.

¹⁴ Neiryck, J.: *Der göttliche Ingenieur*. expert-Verlag, Renningen, 1994

¹⁵ Pestel, R., Radermacher, F.J.: *Robuste Pfade zur globalen Stabilität*. Themenpapier zur Veranstaltung „Welt im Wandel - Herausforderungen an Wissenschaft, Wirtschaft und Politik“, Frankfurt, 25./26. Juli 1995