

Kreativität aus Sicht der Intellektik

Verständnis und künstliche Realisierung

Wolfgang Bibel
Technische Universität Darmstadt

30. September 2005

Alle Menschen sind Philosophen

Karl Popper

Zusammenfassung

Der vorliegende Aufsatz gibt einen Überblick über die Forschungen in der Intellektik (dh. Künstliche Intelligenz und Kognitionswissenschaft) im Bereich der Kreativität. Es werden sowohl die dabei zugrundeliegende Forschungsmethodik wie auch die Ergebnisse einzelner Experimente in Gestalt kreativer oder kreativ erscheinender Leistungen von Computersystemen erörtert. Da diese Forschungen bereits ganze Teildisziplinen beschäftigen, kann der Text verständlicherweise keine der entstandenen Theoriefragmente im Detail präsentieren. Ihre Gemeinsamkeit besteht in der Auffassung von kreativen Leistungen als einem Problemlösungsprozeß in komplexen Begriffs- und Wissensräumen. Aus dieser Sicht werden die koevolvierenden Ansätze in den gleichfalls mit Kreativität befaßten Disziplinen, vor allem in der Philosophie kritisch beleuchtet.

Inhalt

0. Vorbemerkung.....	2
1. Vorwissenschaftliches Verständnis der Fragestellung.....	2
2. Beispielerfolge der KI und der kritische Hintergrund.....	3
3. Ziele, Methodik und Teilgebiete der Intellektik.....	6
4. Forschungsstrategie und ihre Anwendung auf Kreativität.....	8
5. Ergebnisse und Folgerungen	12

0. Vorbemerkung

Karl Popper war der Ansicht, daß alle Menschen Philosophen seien, da wir alle über Grundfragen des Lebens reflektierten.¹ Gleichwohl ist diese Abhandlung für einen Wissenschaftler, der sich *nicht* professionell mit Philosophie beschäftigt, mit einer besonderen Herausforderung verbunden. Keiner von uns kann sich jenseits der Disziplin seiner eigentlichen Expertise in weiteren Disziplinen genauso profund auskennen. Die professionellen Philosophen unter den Lesern muß ich daher vorweg um Nachsicht bitten, wenn ich – aus Ihrer Sicht – nicht immer die Ihnen geläufigen prägnanten Worte finde. Die disziplinären Diktionen sind einfach so unterschiedlich, daß es zwischen den Disziplinen schon rein begrifflich oft zu größten Mißverständnissen kommen kann. Andererseits kann der interdisziplinäre Dialog so außerordentlich fruchtbar und *kreativ* sein. In diesem Sinne will ich – auch auf die Gefahr einer gewissen nervtötenden Pedanterie hin – versuchen, meine Gedanken mit besonderer Klarheit zu formulieren. Gleichzeitig will ich bei kritischeren Einschätzungen an Offenheit *sine ira et studio* nichts zu wünschen übrig lassen. Dies betrifft vor allem auch meine Einschätzung des Zugangs der Kollegen der Philosophie zu dem vorliegenden Thema, stehen wir hier doch nicht nur in einer synergetischen, sondern durchaus auch in einer wettbewerblichen Situation zueinander.

Ich möchte in diesem Beitrag die Frage „Können Computer kreativ sein?“ aus der Sicht meines Fachgebietes diskutieren. Mein Fachgebiet heißt seit 25 Jahren *Intellektik* und war bis zu meiner Pensionierung an der TU Darmstadt innerhalb des Fachbereichs Informatik angesiedelt. Ich habe mich gleichwohl nie wirklich als Informatiker gefühlt und will zum Verständnis meiner nachfolgenden Positionen den Unterschied in ein paar Sätzen umreißen.

Die Intellektik² umfaßt das Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI, engl. AI) einerseits und die Kognitionswissenschaft (KW) andererseits und beide konzentrieren das Interesse auf die Erforschung kognitiver Funktionen, die beispielsweise intelligentes Handeln von Menschen oder Tieren bestimmen. Mit dem Bau von Computersystemen werden die Hypothesen und Theorien validiert. In diesem Sinne handelt es sich im Gegensatz zur Informatik um einen Entwicklungsprozess von oben (kognitive Theorie) nach unten (maschinelle Realisierung).

Informatiker bauen Computersysteme, die von Jahr zu Jahr komplexer werden und immer umfangreichere funktionale und bessere komputationale Leistungen erbringen. Es handelt sich damit um einen Entwicklungsprozess umgekehrt von unten nach oben, dh. ausgehend von dem erreichten maschinellen Leistungsniveau werden neue Leistungen Schicht für Schicht darüber gebaut. Während in der Informatik von Jahr zu Jahr – je nach Leistungsfähigkeit der Systeme – andere Funktionen im Zentrum des Interesses stehen, sind es in der Intellektik seit mehr als einem halben Jahrhundert immer die gleichen, nämlich eben vor allem die kognitiven Funktionen von Lebewesen, deren Intellekt/Geist/Psyche. Allerdings ist die Leistungsfähigkeit informatischer Systeme auch in funktionaler Hinsicht inzwischen so angestiegen, daß sich die funktionalen Interessenlagen der Informatik und Intellektik einander angenähert haben, wenn auch die Sichtweise bis heute eine recht unterschiedliche geblieben ist.

1. Vorwissenschaftliches Verständnis der Fragestellung

Die Intellektik versteht sich als eine empirische Wissenschaft, die exakten Methoden verpflichtet ist. Vor allem bedeutet dies, daß Aussagen logisch und experimentell begründet

und daher wie in den Naturwissenschaften jederzeit nachvollziehbar bzw. reproduzierbar sein müssen. Die Voraussetzung hierfür ist unter anderem eine in der Philosophie leider nicht übliche begriffliche Schärfe.³

Für einen Intellektiker macht daher die Frage „Können Computer kreativ sein?“ in dieser Form noch keinerlei wissenschaftlich brauchbaren Sinn. Selbst in einer vorwissenschaftlichen Interpretation ergibt sich noch erheblicher Klärungsbedarf hinsichtlich des Sinns der Frage. Ist beispielsweise unter „Komputer“ eine Turingmaschine, ein handelsübliches Gerät wie mein Laptop, der Typus heutiger Computer, oder gar der Typus der bis zum Ende des 21. Jahrhunderts mutmaßlich entwickelten Computer (zB. ein Quantencomputer) gemeint? Auch der Kreativitätsbegriff ist außerordentlich unscharf, weshalb der Präsident der Deutschen Gesellschaft für Philosophie, Günter Abel, in seinem Geleitwort zu dem diesem Band zugrundeliegenden Kongreß mit Recht von einem „Anlaß für die Philosophie“ spricht, „eine grundbegriffliche Klärung des Themenfeldes >Kreativität< zu liefern.“ (Ob dieser Anlaß allerdings exklusiv die Philosophie betrifft, darüber wird im Folgenden zu reden sein.)

Je nachdem welche der unzähligen möglichen Interpretationen man für „Komputer“ und „kreativ“ heranzieht, wird die Antwort auf unsere Frage daher unterschiedlich ausfallen: manchmal wird sie „ja“, manchmal „nein“ lauten und manchmal wird man sie aus unterschiedlichsten Gründen wissenschaftlich überhaupt nicht oder nicht präzise genug beantworten können. Für alle drei Fälle werde ich im Folgenden Beispiele nennen. Leider werden in öffentlichen Diskussionen über diese und vergleichbare Fragen die solchermaßen inhärenten Mehrdeutigkeiten nicht beachtet, so daß die Dialoge oft völlig aneinander vorbeigehen.

Um dem hier vorzubeugen, soll – wenn der Kontext nichts anderes bestimmt – unter *Komputer* im Folgenden irgendein handelsüblicher Computer verstanden werden. Unter *Kreativität*⁴ verstehen wir mit Margaret Boden (vorwissenschaftlich) die Fähigkeit von intelligenten Lebewesen bzw. Systemen, neue, überraschende und wertvolle Werke geistiger oder physischer Natur zu schaffen.⁵ Für unser Verständnis steckt hinter dem Begriff aus wissenschaftlicher Sicht nichts Mystisches oder gar Göttliches, vielmehr gehen wir von der Hypothese aus, daß es sich beim menschlichen kreativen Schaffen um eine Form des Problemlösens handelt.⁶ So vorläufig gerüstet wollen wir zunächst einige Beispiele von maschineller Kreativität diskutieren.

2. Beispielerfolge der KI und der kritische Hintergrund

Meister im Schachspiel werden allgemein als kreativ eingeschätzt, was auch mit unserer vorwissenschaftlichen Begriffsbestimmung völlig im Einklang steht. Wie bekannt, wurde 1997 der damalige Schachweltmeister Garry Kasparov von dem Computersystem Deep Blue unter Standardturnierbedingungen geschlagen. Der Nobelpreisträger Herbert Simon hat dieses Ereignis Ende der Fünfziger Jahre bereits vorhergesagt, sich bei der Zeitangabe allerdings um den Faktor vier verschätzt. Deep Blue generiert in jedem Spiel die meisten seiner Spielzüge völlig neu; darunter sind immer wieder auch solche, die Schachmeister in Erstaunen versetzen. Ist Deep Blue also kreativ im Sinne unserer Begriffsbestimmung? Logischerweise doch eindeutig *ja* in dem vorwissenschaftlichen Sinne dieser Diskussion!

Was 1997 noch mit großem Rechenaufwand betrieben werden mußte, schaffen heute Schachprogramme, die man für etwa 50 Euro im Kaufhaus erwerben kann, was den rasanten Technologiefortschritt eindrucksvoll demonstriert. Ein solches Programm, genannt Deep Fritz, hat 2002 unter Turnierbedingungen gegen den damaligen Weltmeister Kramnik auf

einem handelsüblichen Rechner (PC) ein Unentschieden erzwungen, ebenso wie 2003 das System Deep Junior gegen Kasparov. Übrigens sind für die meisten der bekannten Spiele neben Schach Computersysteme verfügbar, die die jeweiligen Weltmeister gleichfalls bezwingen.⁷ Unter den wenigen verbliebenen Ausnahmen sind noch das Brettspiel Go sowie Bridge.

Seit Jahrzehnten versucht eine Reihe von Philosophen Grenzen für die qualitative Leistungsfähigkeit von Computersystemen aufzuzeigen. So hat der Philosoph Hubert Dreyfus schon 1974 in einem Vortrag, dem ich persönlich beiwohnte, vermeintlich logisch präzise argumentiert, daß ein Computersystem aus grundsätzlichen philosophischen Gründen niemals den Schachweltmeister werde schlagen können.⁸ Seine Argumentation war offensichtlich falsch, wie Deep Blue, Fritz und Junior eindrucksvoll demonstrierten. Es ist auch überhaupt nicht vorstellbar, mit welchen Mitteln man eine solche Aussage stichhaltig beweisen sollte. Die hier geschilderte Blamage hat weder Dreyfus noch viele andere Philosophen davor abgehalten, weitere derartige Aussagen und zugehörige „Beweise“ zu veröffentlichen, worauf ich auch im nächsten Beispiel noch zu sprechen kommen werde.

Wie dargestellt sind spezielle Spiele keine wirkliche Herausforderung mehr für die KI. Weil jeder von Ihnen jedoch mit Spielen bestens vertraut ist, wollte ich dieses Thema hier doch kurz zur Sprache bringen. Von aktuellem Interesse ist in diesem speziellen Bereich der KI derzeit die Entwicklung von universalen Spielsystemen, die so allgemein angelegt sind, daß sie wie Menschen auch *jedes beliebige* Spiel nach Mitteilung der Spielregeln möglichst gut spielen können.⁹ Wir wollen uns jetzt aber einem zweiten Beispiel zuwenden.

Die Mathematik steht als „Königin der Wissenschaften“ bis heute in höchstem Ansehen. Auch gilt sie als eine Wissenschaft, die besonders hohe Ansprüche an die Fähigkeiten ihrer Diener stellt. Mathematikern wird deshalb für innovative Leistungen, sei es bei der Aufstellung einer mathematischen Vermutung oder beim Erbringen eines neuen Beweises, in jedem Fall ein höchstes Maß an Kreativität zugebilligt. Die Ansprüche an die kreativen Fähigkeiten steigen besonders dann, wenn mathematische Probleme trotz mannigfacher Lösungsversuche über Jahrzehnte oder gar Jahrhunderte ungelöst bleiben. Eine solches Problem wurde vor über 70 Jahren von dem Australier Robbins aufgestellt: „Sind Robbins Algebren boolesch?“ Weltbeste Mathematiker (wie zB. Alfred Tarski) haben über Jahrzehnte vergeblich versucht, den Beweis für diese Frage zu finden. 1996 wurde ein Beweis für die Vermutung von dem System Otter/EQN vollautomatisch, also ohne jegliche menschliche Interaktion gefunden.¹⁰ Bei dem System handelt es sich um ein reines Logiksystem, das in universaler Weise beliebige Logikprobleme aus den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen lösen kann und schon für unzählige mathematische und logisch formulierbare Probleme Beweise gefunden hat; insbesondere ist es also in keiner Weise auf das Robbins Problem hin spezialisiert. Das Analogon wäre daher ein universales Spielsystem der vorher genannten Art. Wieder stellt sich also die Frage, ob das System Otter/EQN eine kreative Leistung im Sinne unserer Begriffsbestimmung erbracht hat? Hier bei der Königin der exakten Wissenschaften und bei einem derart spektakulär anspruchsvollen Problem ist dies doch ohne jede Frage der Fall, noch eindeutiger als oben beim Schach! Wäre der Erfolg einem Menschen gelungen, würde ihm jedermann fraglos höchste Kreativität zubilligen.

Wie im Bereich der Spiele gilt auch für den Bereich des mathematischen Beweises, daß der Erfolg von Otter/EQN nicht singulär ist, sondern auf einer breiten Technologiebasis für dieses Gebiet gründet, die mannigfache – vor allem auch kreative – Erfolge aufweisen kann. Beispielsweise haben wir in Darmstadt das System leanCoP entwickelt, das nur ein Zigttausendstel des Programmumfangs von Otter aufweist und gleichwohl die Leistungsfähigkeit von Otter in vielen Fällen in den Schatten stellt.¹¹

Auch in diesem Bereich des mathematischen Beweisens mit Computersystemen haben Philosophen vergeblich versucht, grundsätzliche Grenzen der qualitativen Leistungsfähigkeit im Vergleich mit dem Menschen aufzuzeigen. Als prominenteste Wortführer dieser Bemühungen haben sich die beiden Engländer J.R. Lucas¹² und Sir R. Penrose¹³ einen – aus Sicht der Intellektik zweifelhaften – Namen gemacht. In mehreren Variationen haben sie versucht zu beweisen, daß aus dem berühmten (ersten) Gödelsatz folge, ein Mensch habe grundsätzlich mehr mathematische Fähigkeiten als jede denkbare Maschine. Unzählige andere Wissenschaftler geringerer Prominenz haben Ähnliches wie diese beiden versucht. Umgekehrt gibt es unzählige Arbeiten, die Gegenargumente vertreten und die vor allem die gravierenden logischen Fehler in den angeblichen Beweisen bloßstellen.¹⁴ So umfaßt die Literatur zu diesem Thema inzwischen wohl viele Tausende von Arbeiten, die in ihren Anfängen bis zu Descartes zurückreichen. In einem von Anderson herausgegebenen Buch¹⁵ werden eintausend Arbeiten allein für den Zeitraum zwischen 1950 und 1964 genannt. Die Argumente auf beiden Seiten wiederholen sich in vielfacher Variation. Ein Fortschritt dieser Debatte über die Jahrzehnte, ja Jahrhunderte, ist nicht feststellbar, wie ich in einem Vortrag ausführlich dargelegt habe.¹⁶ Für die Philosophie mag eine derartige Situation ein durchaus normaler Zustand sein. Intellektiker erachten eine solche ergebnislose Debatte als völlig fruchtlos, vor allem solange niemand eine ausreichende Präzisierung der behaupteten Aussage und einen Beweis für sie erbringt, der von jedermann nachvollzogen werden kann, was beides definitiv bis heute nicht erfolgt ist.¹⁷ Es spricht bis heute nichts dafür, daß dies allein mit den eingebürgerten Methoden der Philosophie irgendwann einmal erfolgen kann.

Zur Einführung in die Fragestellung des Kolloquiums habe ich bewußt zwei spektakuläre Erfolge der KI-Forschung herausgestellt und die dazu gehörigen Gebiete kurz umrissen. Die jeweils zugrunde liegenden Systeme haben, wie dargestellt, eindrucksvolle kreative Leistungen vollbracht. Tausende weiterer Systeme aus diesen beiden und den vielen weiteren Teilgebieten der KI erbringen täglich beachtliche und darunter auch kreative Leistungen, worauf wir im Folgenden teilweise zu sprechen kommen. Für Intellektiker ist die Frage des Kolloquiums in dem oben umschriebenen Verständnis deswegen keine Frage mehr, da sie in der Realität längst tausendfach positiv beantwortet ist.

Dies bedeutet selbstverständlich keineswegs, daß wir bereits Systeme mit einer so universellen Kreativität wie beim Menschen vorweisen könnten. Ganz im Gegenteil sind wir uns dessen sehr bewußt, wie beschränkt alle existierenden Systeme bis heute noch sind. Deshalb ist die Antwort auf die Frage des Kolloquiums dann ein eindeutiges „nein“, wenn der Umfang der Kreativität des Menschen in der Frage gemeint wäre. Auch bin ich mir der Art von Diskussion bewußt, in der Computersystemen auch dann echte Kreativität abgesprochen würde, wenn sie Nobelpreis-würdige Entdeckungen machen oder Symphonien von der Großartigkeit derer von Mozart komponieren würden; „sie scheinen nur kreativ zu sein, sind es aber nicht wirklich“ ist die Aussage von derartigen Diskutanten, die hierfür eine Reihe von Argumenten anführen, die aus Sicht der Intellektik wenig überzeugen, ein Punkt, auf den ich erst im Abschnitt 5 der Arbeit zu sprechen komme.¹⁸

Statt aber unsere kreativen Kräfte mit der blinden Suche nach möglichen Grenzen und der Beantwortung von vieldeutigen Fragen zu vergeuden, wie es viele Philosophen – vor allem deutsche Philosophen – auf diesem Teilsektor vor allem unter dem Einfluß von Popper¹⁹ bis heute überwiegend getan haben, zielt die Intellektikforschung konstruktiv auf ein tieferes, echt wissenschaftliches Verständnis von Kreativität und anderen kognitiven Funktionen und testet die Einsichten mit konkreten Systemen, die sich zudem dann auch noch als äußerst nützlich für die Praxis erweisen. Es wäre an der Zeit, daß sich die Philosophie an dieser Herausforderung aktiv beteiligen würde, eine äußerst wünschenswerte Perspektive, auf die ich zum Abschluß nochmals zu sprechen kommen werde. Zunächst möchte ich aber einen

weiteren Einblick in die Zielsetzungen und die Forschungsmethodik der Intellektik und ihrer Teilgebiete geben.

3. Ziele, Methodik und Teilgebiete der Intellektik

Anstelle der wissenschaftlich quasi leeren (weil uneindeutigen) und damit uninteressanten Fragestellung des Kolloquiums „Können Computer kreativ sein?“ wollen wir uns nun also mit einer interessanteren, vor allem konstruktiven Fragestellung befassen. Wir fragen stattdessen: „Wie kann man natürliche Kreativität und damit zusammenhängende bzw. andere kognitive Phänomene noch besser verstehen und solch vertieftes Verständnis ggf. in Systemen wiederum nutzbar machen?“

Zur Beantwortung dieser Frage hat die Philosophie über Jahrtausende schon Entscheidendes beigetragen, ein Fundus, der auch heute noch fruchtbar sein kann und ist, so er in die Entwicklungen des letzten Jahrhunderts voll integriert wird, worauf ich, wie bereits gesagt, im Abschnitt 5 nochmals zu sprechen kommen werde. Zu den genannten Entwicklungen gehört auch die Neurowissenschaft, in der tiefe Einsichten in die physiologischen Mechanismen und funktionalen Module des Gehirns auf naturwissenschaftlich präzise Weise erzielt werden konnten. So wissen wir heute dank dieser Forschungen recht genau, woraus die „graue Masse“ in unserem Kopf besteht, kennen viele strukturelle, physiologische, chemische und physikalische Details der Neuronen und ihrer Verbindungen, können die Aktivierungen bestimmter Hirnareale bei der Durchführung kognitiver Funktionen sichtbar machen und vieles andere mehr. Gleichwohl gibt uns das komplexeste System der Natur, eben das Gehirn, auch in entscheidenden Fragen noch viele Rätsel auf. So weiß man bis heute nicht einmal, wo genau und wie das Gedächtnis des Menschen realisiert ist, von komplexeren Funktionalitäten wie Kreativität oder Bewußtsein ganz zu schweigen.

Die folgende einleuchtende Analogie macht sofort verständlich, daß die Neurowissenschaft *allein* mit ihren Methoden diese Rätsel genauso wenig lösen wird, wie es die Philosophie vermochte und vermag. Es ist nämlich unbestritten, daß im Gehirn (auf einer bestimmten Abstraktionsebene) komputationale Prozesse eine zentrale Rolle spielen. Auch in Computern spielen (auf einer bestimmten Ebene) komputationale Prozesse eine fundamentale Rolle. Kein Wissenschaftler von einem anderen Stern könnte aber die Funktionsweise eines Computers allein mit neurowissenschaftlichen Methoden (geschweige denn mit philosophischen Methoden) erforschen, da einem solchen Computer ein informatisches Architekturmodell zugrunde liegt, das weder in der statischen Struktur des Computers noch in einzelnen Prozessen sichtbar wird und deshalb mit diesen Methoden allein nicht erkennbar ist. Um ein solches Modell entdecken zu können, bedarf es der Methodologie der Intellektik.²⁰ Mit dieser Analogie wollen wir unsere These untermauern, daß erst der Verbund von Neurowissenschaft, Intellektik (einschließlich der komputationalen Psychologie) und einer mit logischer und begrifflicher Präzision arbeitenden Philosophie eine Chance haben wird, das Rätsel Gehirn/Geist/Psyche gemeinsam bis zu einem gewissen Grade zu entschlüsseln.²¹

Jede wissenschaftliche Disziplin ist durch ihr Forschungsziel und ihre Forschungsmethodik charakterisiert. Das *Ziel* der Intellektik ist – kurz gesagt – ein wissenschaftliches Verständnis bzw. eine Erklärung des (phänomenalen) Intellekts. Statt vom Intellekt können wir (in diesem Zusammenhang) synonym auch von Geist und Psyche sprechen. Der Gegenstand der wissenschaftlichen Untersuchung in der Intellektik ist also alles, was mit Geist und Psyche in Zusammenhang steht. Dazu gehören dann beispielsweise auch ein Verständnis von

Intelligenz, Wahrnehmung, Gedächtnis, Intentionalität, Bewußtsein, freier Wille, Gefühle, Kreativität usw.

Die grundlegende *Forschungsmethodik* der Intellektik ist durch die Arbeitshypothese des (von Newell und Simon als These formulierten) Komputationalismus charakterisiert. Der *Komputationalismus* besagt, daß alle geistig-psychischen Phänomene auf einer bestimmten Abstraktionsebene als informationsverarbeitende, komputationale Prozesse verstanden werden können. Es ist dabei von untergeordneter Bedeutung, ob diese Prozesse mittels symbolischer, subsymbolischer oder dynamischer Systeme realisiert werden. Mit der Erfindung des universellen Computers steht uns ein Werkzeug zur Verfügung, auf dem wir alle informationsverarbeitenden Prozesse modellieren können. Im Sinne des Komputationalismus erfordert die Theoriebildung in der Intellektik zu ihrer Validierung Experimente mit solchen Computermodellen. Insoweit ist ihre Entwicklung eng mit derjenigen der Informationstechnologie (IT) verknüpft.

Die so gegebene Charakterisierung bedürfte für den Uneingeweihten noch einer Reihe weiterer Erläuterungen der darin verwendeten Begriffe wie „wissenschaftlich“, „Arbeitshypothese“, „Abstraktionsebene“, „informationsverarbeitender Prozeß“, „universeller Computer“, „modellieren“ usw. Aus Platzgründen erlaube ich mir an dieser Stelle mein gegebenes Versprechen, mich in dieser Arbeit weitestgehender begrifflicher Klarheit zu befleißigen, deswegen zu brechen, weil ich in diesem Fall auf das jüngste meiner Bücher verweisen kann.²² Es sei nur nochmals auf den in der Charakterisierung beschriebenen experimentellen Charakter bei der Theoriebildung in der Intellektik hingewiesen, der hier die analoge Funktion wie in den Naturwissenschaften hat: nur eine experimentell bestätigte Theorie ist letztlich akzeptabel.

Infolge bestimmter historischer Entwicklungen und sachlicher Gegebenheiten haben sich in der Intellektik zwei Schwerpunkte der Forschungen herausgebildet, die mit den Teilgebetsbezeichnungen Kognitionswissenschaft (KW) und Künstliche Intelligenz (KI) umrissen werden. Quasi in arbeitsteiliger Weise studiert die KW kognitive Phänomene mit naturwissenschaftlichen Methoden an Lebewesen, während sich die KI auf die Modellierung solcher Phänomene in Computern konzentriert, wobei erst die Ergänzung der beiden Aktivitäten im Hinblick auf das Erreichen des Forschungszieles der Intellektik ein sinnvolles Ganzes ergibt. In einer in Großbritannien erstellten vorausschauenden Studie²³ sowie in einem für die EU Kommission erstellten Bericht²⁴ werden beispielsweise die folgenden Forschungsthemen der KW genannt: Sinneswahrnehmung, Hören, Sehen, Interaktion, Sprache, Sprechen, Gedächtnis, Wissen, Repräsentation, Aufmerksamkeit, Bewußtsein, Schließen, Lernen, Planen, Motivation, Handlung, Entscheidungsfindung, Rationalität, Selbstorganisation, soziale Kognition, Kultur. Wie diese Themen illustrieren, ist die Kognitionspsychologie (auch komputationale Psychologie genannt) integraler Bestandteil der KW. Für die Themen der KI seien die wichtigsten Kapitelüberschriften des Standardlehrbuches von Russell und Norvig²⁵ genannt: Problemlösen; Wissen und Schließen; Planen; Unsicheres Wissen und Schließen; Lernen; Kommunikation, Wahrnehmen und Handeln. Von den Themen her gibt es ersichtlich eine völlige Übereinstimmung zwischen den beiden Teilgebieten KI und KW; die Rechtfertigung für eine Unterscheidung ergibt sich lediglich aufgrund ihrer methodologischen Schwerpunkte.

Wie erwähnt haben sich aus diesen Forschungen nicht nur tiefe Einsichten in das Verständnis der genannten Themen einschließlich von Kreativität, sondern – vor allem im KI-Teil der Intellektik – auch praktisch nutzbare Systeme ergeben. Einige dieser Systeme aus den Bereichen Spiele und Mathematik und deren spektakuläre Erfolge haben wir bereits genannt.

Unzählige weitere könnten wir jetzt besprechen, die für das Thema Kreativität von Relevanz sind. Aus Zeitgründen seien stattdessen nur einige Typen von Systemen kurz angedeutet.

Eine große Systemklasse befaßt sich mit der Repräsentation von Wissen im Komputer in einer Weise, die Schlußweisen über dieses Wissen und dadurch Problemlösen analog dem des Menschen ermöglicht. Erwähnt seien Systeme wie CYC, die „Open mind common sense database“ oder die im Projekt „Halo“ entwickelten Systeme, in denen inzwischen Millionen von Wissensfakten des gesunden Menschenverstandes oder von wissenschaftlichen Gebieten repräsentiert sind. Das letztgenannte Projekt Halo hat sich zum Ziel gesetzt, das gesamte wissenschaftliche Wissen quasi als „digitaler Aristoteles“ unserer Zeit zu repräsentieren. Diese Art von *Wissenssystemen* wird alle Disziplinen weiter revolutionieren.

In der Form von sogenannten Expertensystemen sind Wissenssysteme mit thematisch sehr enger Wissensexpertise schon zig-tausendfach im täglichen Einsatz. Intelligente *Planungssysteme* steuern beispielsweise die optimale Bedienung der Benutzer des komplexen Aufzugsystems im höchsten Haus der Welt in Singapur. Juristische Assistenzsysteme unterstützen beispielsweise in Australien die Beamten in der Beratung der Rechte von Sozialhilfeempfängern. Automatische Akteure (*agent systems*) sind im WorldWideWeb in unterschiedlichsten Rollen tätig, beispielsweise im elektronischen Handel (e-commerce).

Wissenssysteme sind auch Bestandteil von Systemen, die natürliche Sprache in geschriebener oder gesprochener Form verstehen, generieren oder übersetzen können. Auch solche *Sprachsysteme* sind heute – beispielsweise in Anwaltskanzleien zur automatischen Umsetzung von Diktaten in Schriftstücke, in Auskunftssystemen von Versandhäusern oder der Bahn und in unzähligen weiteren Anwendungen – im täglichen Einsatz. *Bildverstehenssysteme* erkennen Objekte und Personen zu vielseitigem Nutzen. Sie kommen zum Einsatz in der Auswertung von Satellitenbildern, in der Steuerung von autonomen Fahrzeugen, bislang vor allem im Weltraum, in Produktionsanlagen, zur Objektüberwachung und unzähligen weiteren Anwendungen, nicht zuletzt auch im RoboCup, in dem Roboter untereinander Fußball spielen. Die hier zugleich angesprochenen Robotiksysteme verwenden teilweise als „Neue KI“ apostrophierte Methoden, die Intelligenz bereits in den physischen Teil der Systeme einbettet (daher auch „eingebettete KI“ oder „embedded AI“).

Mit Recht stellt Präsident Abel in der Präambel zu diesem Kongreß fest: *„Zugleich spielt Kreativität eine grundlegende Rolle in den sozialen, wissenschaftlichen und technischen Fähigkeiten, Kompetenzen und Fertigkeiten des Menschen, so auch in unserem alltäglichen Wahrnehmen, Sprechen, Denken und Handeln sowie in allen Prozessen der Wissensgenerierung.“* Da aber die hier genannten Systeme die Leistungen von Menschen in den jeweiligen Funktionen teilweise erreichen oder sogar übertreffen, gilt seine Aussage nach meinem Verständnis ebenso auch für diese Systeme, beispielsweise in der Kommunikation in natürlicher Sprache. Genau aus diesem Grunde ist ihre Erwähnung im Zusammenhang unseres Themas von Bedeutung.

4. Forschungsstrategie und ihre Anwendung auf Kreativität

In ihrer neuen Form lautet die dieser Arbeit zugrunde liegende Frage in ihrem ersten Teil: „Wie kann man natürliche Kreativität noch besser verstehen?“ Die Intellektik versucht, auf der Grundlage von Kenntnissen aus der Psychologie und Philosophie – oft auch aufgrund laienhafter psychologischer Einsichten – Modelle zu definieren, innerhalb derer eine solche Fragestellung dann wissenschaftlich präzise untersucht werden kann. In solcher Präzision läßt sich die Frage dann in Komputereperimenten eindeutig beantworten. Mit den Komputereperimenten wird eine weitestgehende Übereinstimmung mit den Beobachtungen

in der natürlichen Welt auf einer bestimmten Abstraktionsebene angestrebt. Solange Diskrepanzen erkennbar sind, müssen die Modelle korrigiert bzw. weiter verfeinert werden. Ist eine Übereinstimmung erreicht, kann man daraus hypothetisch auf eine Übereinstimmung mit den natürlichen Mechanismen auf dieser Abstraktionsebene schließen und erhält so eine hypothetische Erklärung. Neurowissenschaftliche Untersuchungen können dann (auf einer tieferen Abstraktionsebene) derartige Hypothesen erhärten bzw. zur Revision der Modelle beitragen. (Umgekehrt sind diese Modelle auch Inspiration für das Vorgehen in den Neurowissenschaften.²⁶) Diese *Forschungsstrategie* wird in der Intellektik zur Erforschung vieler kognitiver Funktionen angewandt, nicht zuletzt auch zu der von Kreativität. Einige der Ansätze dahingehend seien in diesem Abschnitt kurz umrissen.

Die hier in Frage kommenden komputationalen Modelle der Intellektik gründen auf präzise definierten Begriffs-, Wissens- und Vorstellungsräumen (mittels Ontologien, Wissensbasen und deren Analoga in künstlerischen Bereichen). Was eine neue und überraschende Idee ist, kann man innerhalb dieser Räume präzise definieren. Eine solche Definition kann und wird auch die inhärente Impräzision eines Begriffs wie „kreativ“ berücksichtigen, wobei selbstverständlich auch die Impräzision selbst wiederum mathematisch präzise charakterisiert wird.²⁷ In der Definition lassen sich unterschiedliche Formen von Kreativität präzisieren, beispielsweise *kombinierende*, *explorative* und *transformative* Kreativität.²⁸ Mittels der zugrundegelegten, variierbaren Wertmaßstäbe läßt sich auch das natürliche Phänomen modellieren, nach dem der Kreativitätsbegriff auch von dem gesellschaftlich vorherrschenden Wertesystem abhängig ist (so war beispielsweise J.S. Bach zu seinen Lebzeiten als Komponist nicht wirklich besonders hoch angesehen).

Der Leser möge jetzt nicht von mir erwarten, daß ich eine solche Definition im Einzelnen vorführe. Dieses verbietet sich schon aus dem einfachen Grunde, daß zu einer solchen Einführung eine mathematisch geprägte spezielle Begriffswelt erforderlich ist, die ich unter den Lesern mutmaßlich nicht voraussetzen kann. Zudem würde es mir schwer fallen, aus den vielen vorgeschlagenen Modellen in unterschiedlichsten Anwendungsbereichen ein bestimmtes herauszugreifen, mit dem ich mich mehr als mit anderen identifizieren könnte. Da ich selbst kein ausgewiesener Intellektikexperte für Kreativität bin, habe ich auch kein eigenes Modell anzubieten, das ich Ihnen andernfalls sicher gerne vermittelt hätte. Auch sehe ich mich nicht imstande, aus der Fülle der vorliegenden Modelle quasi die Quintessenz herauszudestillieren. Es sei nur grob zusammengefaßt, daß Intellektiker (zunächst) nicht an den „göttlichen Funken“ beim kreativen Prozeß glauben, sondern diesen Prozeß als eine *Form des Problemlösens* einschätzen. Auf hohem Abstraktionsniveau kann man sagen, daß dieser Problemlösungsprozeß im Finden eines Pfades von einem Ausgangspunkt hin zu einem Endpunkt in einem ggf. hochstrukturierten Raum besteht, dessen Knotenpunkte selbst aus komplexen Strukturen bestehen können, die miteinander in komplexen Beziehungen stehen, aufgrund derer die Pfade ermittelt werden.

Auf der Grundlage eines derartigen präzisen und allgemeinen Begriffsapparates lassen sich nun alle denkbaren menschlichen Bereiche von Kreativität durch Angabe spezifischer Räume studieren und immer besser verstehen. Man beginnt so zu erkennen, welche generellen Mechanismen am Kreativitätsprozeß beteiligt sind und welche Merkmale einen individuellen Wissenschaftler oder Künstler auszeichnen und seinen Stil charakterisieren. Es gibt inzwischen eine Fülle von derartigen Arbeiten und Systemen für eine große Vielfalt von Kreativitätsbereichen, die wir im Folgenden mit der Erwähnung ausgewählter Beispiele kurz andeuten wollen.

Der erste Bereich in unserer nun folgenden Liste betrifft die *wissenschaftliche* Kreativität. Der Nobelpreisträger Herbert Simon und seine Kollegen haben an der Carnegie Mellon

University über Jahrzehnte ausgewählte kognitive Funktionen dieser Form von Kreativität mittels der intellektischen Methode studiert und dabei die Systeme BACON, BLACK, GLAUBER, STAHL und DALTON entwickelt.²⁹ Die Namen verweisen auf die Forscher, deren Entdeckungen Gegenstand des Anwendungsbereichs der Systeme ist. So charakterisierte der englische Philosoph (und Staatsmann) Francis Bacon (1561–1626) die Aufgabe der Wissenschaft als eine Suche nach den Regelmäßigkeiten in den experimentellen Daten. Und genau das ist, was das System BACON im Hinblick auf die Entdeckung funktionaler Zusammenhänge leistet.

Auf der Grundlage von BACON stellten sich Simon und seine Kollegen die Aufgabe, bestimmte Aspekte der wichtigsten chemischen Entdeckungen ua. der berühmten vier Chemiker Joseph Black, Johann Glauber, Georg Stahl und John Dalton in der Zeit des Siebzehnten und Achtzehnten Jahrhunderts (und einige Jahre darüber hinaus) von Systemen nachvollziehen zu lassen, um so die derartigen Entdeckungen zugrundeliegenden Mechanismen wissenschaftlich erklären zu können. Im Einzelnen handelte es sich um die Aufgaben, quantitative Gesetze zu finden, qualitative Gesetze zu generieren, Komponenten von Substanzen zu bestimmen und Strukturmodelle zu formulieren. Als Eingabe in die Systeme verwendeten die Autoren ua. die Daten, die diesen Forschern laut überlieferten Laboraufzeichnungen damals bekannt waren. Neben der Funktionalität von BACON sind in diesen Systemen ua. auch induktive Theoriegenerierungsmechanismen realisiert. Den Systemen gelang es, entscheidende Teilschritte, die zu den seinerzeitigen Entdeckungen (wie beispielsweise des Boyle-Mariotteschen Gesetzes) führten, nachzuvollziehen. Quasi als Ausblick auf die Systemerweiterungen werden die einzelnen Schritte formal analysiert, die zur Entwicklung der Quantenphysik durch die Plancksche Entdeckung des Wirkungsquantums geführt haben.

Diese Pionierarbeit hat inzwischen zu einem eigenen Forschungsgebiet innerhalb der Intellektik geführt, nämlich der Discovery Science (DS), zu der es eine jährlich stattfindende internationale Konferenz gleichen Namens gibt.³⁰ Andere Konferenzserien, Journals oder Communities wie die der Algorithmic Learning Theory (ALT) und der Inductive Logic Programming (ILP) widmen sich speziellen Methoden innerhalb der DS. Gemessen an den Ergebnissen der inzwischen in diesem expandierenden Gebiet vorliegenden weitreichenden theoretischen Erkenntnisse und Systemleistungen, erscheinen diejenigen von Simon und Kollegen aus heutiger Sicht eher bescheiden. Der Boden ist inzwischen dafür bereitet und erste Ansätze sind gemacht, die aktuelle wissenschaftliche Forschung substanziell mit derartigen Systemen zu unterstützen.

Mit dem Begriff menschlicher Kreativität verbindet man gemeinhin vor allem *künstlerische* Kreativität, einem Bereich, dem wir uns nunmehr zuwenden. Alle Kunstrichtungen sind mit der Forschungsstrategie der Intellektik untersucht worden. Beginnen wir mit der Musik, die mir als aktivem Laienmusiker am nächsten liegt.

Vor einigen Jahren hat mein damaliger Mitarbeiter, Holger Hoos, in einem Vortrag über Computermusik in einem vollbesetzten großen Hörsaal der TU Darmstadt einige auf der Grundlage seines Systems (mit dem Namen „Salieri“) generierte Musikstücke vorgespielt.³¹ Die Spannung war die gleiche wie in einem Konzert eines großen Musikers; kein noch so geringer Laut unterbrach die Darbietung aus dem Wiedergabegerät. Am Ende entlud sich die Spannung in einem brausenden Beifall. Welcher Beckmesser möchte in einem solchen Augenblick mit der bedenkenrägerischen Frage kommen, ob wirkliche Kreativität in der vom System erbrachten Leistung stecke!

Komputermusik ist inzwischen ein eigener Zweig wissenschaftlicher und praktischer Aktivität mit eigenen internationalen Konferenzen. Unter den entstandenen Systemen ist eine

Reihe von komponierenden und improvisierenden Systemen. Eines davon ist das Programm Emmy von David Cope³², der selbst ein international bekannter Komponist ist. Das Programm erlaubt die Emulation eines beliebigen Komponisten und unterschiedlichster Stile samt Mischungen. Eine Reihe von Werken von Emmy – ausgewählt von Cope – sind auf CD erhältlich, darunter die Aufnahme einer „neuen Beethoven Sonate“, gespielt von einem (menschlichen) Pianisten, der auch die Interpretation im Bezug auf Ausdruck, Dynamik etc. dazu kreiert hat, die vom System nicht angegeben werden. In Emmy sind wichtige Charakteristika unterschiedlicher Komponisten wie Beethoven und Mozart präziser gefaßt als in irgendeinem musikwissenschaftlichen Werk vorher.

Gerhard Widmer hat sich in seinen Forschungen spezifisch dem Ausdruck von Musik durch unterschiedliche Interpreten gewidmet, also dem Bereich, der von Emmy ausgespart wird. Mit Methoden des maschinellen Lernens in der Intellektik hat er aus einer Fülle von Musikaufnahmen Regeln und Prinzipien extrahiert, die diese Kunst der Interpretation erklären und die in dieser Form auch im Musikunterricht verwendet werden können.³³ Sie betreffen vor allem die entscheidenden Parameter Tempovariation, Dynamik und Artikulation. Umgekehrt kann er mit diesen Methoden Interpreten an deren Charakteristika automatisch wiedererkennen.³⁴ In Kenntnis dieser Einsichten könnten Wiedergaben von Emmy Kompositionen nun auch im Stil von Horowitz von Computern generiert werden.

Auf dem Gebiet der Malerei hat der Maler Harold Cohen seit Jahrzehnten an der Weiterentwicklung eines außerordentlich erfolgreichen malenden Robotersystems, AARON, gearbeitet.³⁵ Werke von AARON waren ebenso wie solche von Cohen selbst in berühmten Museen wie der Tate Gallery in London oder der Kasseler Kunsthalle ausgestellt. Ursprünglich beschränkte sich AARON auf Zeichnungen, die Cohen dann später selbst kolorierte. Erst seit 1995 gibt es das auch mit Farben hantierende System painting-AARON.

Neben Musik und Malerei sind weitere Kunstbereiche im Sinne der Forschungsstrategie der Intellektik beackert worden, die wir aus Zeitgründen hier nur noch in Kürze auflisten wollen. So gibt es Architekturprogramme, die Häuser in bestimmten Stilen entwerfen, beispielsweise im Stil des italienischen Architekten Andrea Palladio aus dem Sechzehnten Jahrhundert.³⁶ Es gibt Geschichten erzählende Programme wie MINSTREL,³⁷ das die KI-Technik des fallbasierten Schließen verwendet. Es gibt Programme, die Witze erfinden, wie beispielsweise JAPE.³⁸ Im Media Lab des MIT werden Systeme in vielfältiger Weise, beispielsweise zur kreativen Gestaltung sowie vor allem auch zum Erlernen kreativen künstlerischen Schaffens herangezogen.³⁹

Systeme werden auch zur Komposition von Parfüms herangezogen. Seit der Entdeckung der Riechgene von Nagern durch Linda Buck und Richard Axel, für die diese 2004 den Nobelpreis für Medizin erhielten, kennt man nun auch die 350 Riechgene des Menschen. Jedes dieser Gene trägt die Information für ein bestimmtes Rezeptorprotein. Jedes dieser Proteine erkennt spezifisch chemisch nah verwandte Substanzen bzw. kann von bestimmten chemischen Substanzen blockiert werden. Einige davon sind inzwischen entdeckt.⁴⁰ Mit anderen Worten es steht uns mutmaßlich in Bälde das chemische Alphabet zur Verfügung, um Geruchsempfindungen zu beschreiben und gezielt auszulösen. Kreative Geruchskompositionen auf einer derartig präzisen Basis sind also wohl nur noch eine Frage der Zeit. Eine analoge Entwicklung könnte sich in Bezug auf Geschmacksempfindungen ergeben, sodaß in naher Zukunft auch komputergenerierte Menüs und Kochbücher im Bereich des Denkbaren liegen könnten.

5. Ergebnisse und Folgerungen

Mit diesen wenigen aus Tausenden weiterer Beispiele habe ich versucht, einen Eindruck für den Ansatz der Intellektik zur Erforschung des Phänomens der Kreativität zu vermitteln. Ist aber mit diesen Systemen wirklich etwas gewonnen, und wenn ja was, oder sind sie nur Ausdruck des menschliche Spieltriebs? Sie sind sicher *auch* Ausdruck des menschlichen Spieltriebs, vor allem in Inkarnationen wie im RoboCup. Hier interessiert uns aber ausschließlich der wissenschaftliche Gehalt.

Es ist das Ziel wissenschaftlicher Tätigkeit, Erklärungen für natürliche Phänomene hervorzubringen. Erklärungen sind Theorien (im formal-logischen Sinne), aus denen sich die Phänomene – genauer gesagt, deren Repräsentationen – logisch-deduktiv ableiten lassen. Die Tauglichkeit der Theorien wird experimentell überprüft bzw. nachgewiesen. Diese Form der Theoriebildung ist ein evolutionärer Prozeß, dh. keine der Theorien ist als letztgültig anzusehen, jede kann durch neue Einsichten über den Haufen geworfen werden. Allerdings hat sich bislang kein Erkenntnisprozeß als erfolgreicher herausgestellt als der so charakterisierte.

Es ist absolut unbestreitbar, daß die geschilderten intellektischen Forschungen in diesem strengen Sinne Erklärungen für Phänomene aus dem Umkreis des Kreativitätsbegriffs liefern und zwar erstmalig in der Wissenschaftsgeschichte. Denn hinter jedem der geschilderten Experimente steht ein intellektisches Modell, das – oft zusammen mit dem Mechanismus der logischen Ableitung (der Repräsentation) des Phänomens – in einer bestimmten Form, die gleichsam die Theorie repräsentiert, in einem Computersystem präzisiert ist.

Diese Tatsache ist in ihrer wissenschaftsgeschichtlichen Bedeutung nicht hoch genug einzuschätzen. Denn erstmalig werden Phänomene aus dem Bereich der Geisteswissenschaften mit strengen Methoden wie in den Naturwissenschaften erklärt. Die unselige Diltheysche Trennung zwischen Natur- und Geisteswissenschaften könnte mit einem solchen Ansatz endlich überwunden werden.⁴¹ Die in allen Geistes- und Gesellschaftswissenschaften seit Jahren deutlich spürbare Krise erscheint mir nicht zuletzt auch eine unmittelbare Folge der von der Intellektik ausgelösten Erschütterung und des damit zusammenhängenden tiefgreifenden Umbruchs ihrer wissenschaftlichen Methoden zu sein.⁴²

Besonders spannend für das Verständnis menschlicher Kreativität werden diese Forschungen, wenn sie Erfahrungswissen⁴³ und experimentell gefundene Kenntnisse über kognitive Verarbeitungsmechanismen⁴⁴ explizit einbeziehen und daraus Theorien über die menschliche Kreativität und andere kognitive Funktionen hypothetisch extrahieren. Beispiele für diese Art der Intellektikforschung sind – neben dem bereits erwähnten Buch von Simon und Kollegen – das Buch von Partridge und Rowe⁴⁵ sowie die Arbeiten von Alison Gopnik und Kollegen,⁴⁶ in denen Gemeinsamkeiten kindlicher und wissenschaftlicher Kreativität aufgedeckt und mit Bayesschen Netzen (einem KI-Begriff) modelliert werden. Leider ist hier nicht der Platz, eine solche Theorie zum Bereich der Kreativität ausführlicher darzustellen, die dann Fragen der folgenden Art (hypothetisch) zu beantworten vermag und in dem jeweiligen Kontext auch explizit beantwortet, wobei nur einige wenige Beispielfragen genannt werden können:

- ist der Kreativitätsprozeß (immer) ein Problemlösungsprozeß?
- wie verzahnen sich die vier Teilphasen des Kreativitätsprozesses, Datensammlung (oder Vorbereitung), Datenbeschreibung (oder Inkubation), Theoriebildung (oder Eingebung), auch mittels Simulation, Theorievalidierung (Tests bzw. Umsetzung)?
- inwieweit ist der Kreativitätsprozeß daten- bzw. theoriegesteuert?

- kann Kreativität in einem durch ein Regelsystem beschriebenen System überhaupt möglich sein – eine schon von Lady Lovelace im achtzehnten Jahrhundert angesprochene Frage –, und wenn ja, wie?
- spielen hier ggf. quantenmechanische Unbestimmtheitsphänomene bzw. Komplexitätsphänomene der in der Chaostheorie beschriebenen Art eine Rolle?
- wie kann man die oft beobachtbare Koinzidenz von Entdeckungen erklären?
- worin unterscheiden sich wissenschaftliche und künstlerische Kreativität?
- welche neuronalen Grundlagen ermöglichen die in kreativen Prozessen beteiligten Mechanismen?

Mit diesen Fragen sei zugleich angedeutet, daß diese Forschungen zwar bereits erhellende Einsichten zutage gefördert haben, daß aber noch weit mehr Fragen offen geblieben sind oder sich neu gestellt haben, deren Lösung noch erhebliche Forschungsanstrengungen erfordern. Vor allem sind die vielen Einzelexperimente und die daraus resultierenden Modelle bis heute nicht systematisch auf ihren gemeinsamen Gehalt hin analysiert, eine Aufgabe, deren Lösung ich mir durchaus in einem philosophischen Kontext vorstellen könnte. Insgesamt ist gerade ein derartiger Themenkomplex wie die Kreativität prädestiniert für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, bei der die Lösungen auf verschiedenen Ebenen koevolvieren.

Was die in den bisherigen Experimenten erzielten Einsichten anbetrifft, so lassen sie sich leider nicht in wenigen Sätzen zusammenfassen, worauf ich schon hingewiesen habe, müßte man hierzu doch die Ergebnisse ganzer Teildisziplinen (discovery science ua.) präsentieren. Wie das Phänomen kreativen Schaffens selbst sind auch die dazugehörigen Einsichten von komplexer Natur. Grob läßt sich nur pauschal feststellen, daß sich kreatives Schaffen offenbar nahtlos in das alltägliche Problemlösen des Menschen einfügen läßt. In diesem Sinne ist jeder Mensch auch kreativ, wenn auch unser soziales Gefüge und unsere Wertvorstellungen nur ausgewählte Kreativitätsleistungen entsprechend anerkennen.

Weiter sei betont, daß es einen offensichtlichen Unterschied zwischen menschlicher und maschineller Kreativität künstlerischer Natur gibt. Ein menschliches Kunstwerk ist auch geprägt von der komplexen Persönlichkeit des schaffenden Künstlers, in der sich eine lange Lebenserfahrung und die Bedingungen des Menschseins widerspiegeln. Kein heutiges Computersystem hat mehr als einen rudimentären Zugang zu den bewußten und unbewußten Informationen, die eine menschliche Persönlichkeit charakterisieren; ein heutiges Computersystem kann also Kunstwerke von dieser Art allein aus praktischen Gründen nicht schaffen. Erst ein Roboter mit eigener Lebensgeschichte wäre hierzu in der Lage.⁴⁷ Möglich sind bestenfalls rudimentäre Approximationen wie die besprochenen Beispiele.

Wie andere echte wissenschaftliche Erkenntnisse lassen sich auch die hier besprochenen auf vielfältige Weise nutzbar machen, was ihre Bedeutung noch weiter unterstreicht. Beispielsweise war Kreativität noch nie so lehrbar wie heute infolge der beschriebenen Erkenntnisse. Auch kann ein Schuß Kreativität in unserer heutigen Technologie sicher nicht schaden, der durch diese Erkenntnisse ermöglicht wird. Vor allem auf dem Gebiet des Designs (im allgemeinsten Sinne des Wortes) lassen sich die besprochenen Erkenntnisse fruchtbar einbringen. Insgesamt kann beides, Lehrbarkeit und Technologieumsetzung, zu einer signifikanten Steigerung von Kreativität (sprich Innovation) in einer Gesellschaft beitragen, die – nicht zuletzt auch von diesem Kongreß, wie im Geleitwort von Herrn Abel herausgestellt – für unsere Gesellschaft ausdrücklich gewünscht wird. Kurz die Antwort auf die Frage, die ich diesem Vortrag zugrunde gelegt habe, nämlich auf die Frage „Wie kann man natürliche Kreativität und andere kognitive Phänomene noch besser verstehen und solch

vertieftes Verständnis ggf. in Systemen wiederum nutzbar machen?“, lautet: *derzeit am besten und fruchtbarsten mittels der intellektischen Forschungsstrategie.*

Trägt dieses Ergebnis in irgendeiner Weise zur Beantwortung der Frage des Kolloquiums – „Können Computer kreativ sein“ – bei? Computersysteme können so kreativ sein, wie unser Verständnis von Kreativität reicht, nicht mehr und nicht weniger. Je tiefer dieses Verständnis reicht, umso kreativer können unsere Systeme werden. Trotz beachtlicher Erfolge ist es um die Kreativität von Computern im Vergleich zu der des Menschen noch recht kläglich bestellt. Beispielsweise gibt es bislang leider noch keine bedeutendere naturwissenschaftliche Entdeckung, die weitgehend von einem System erbracht wurde (wenngleich andererseits ohne die heute verfügbaren Systeme viele Entdeckungen nicht möglich gewesen wären).

Nach der intellektischen Theorie von Kreativität ist auch verständlich, warum dem mutmaßlich so ist. Kreativität entsteht nach ihr auf der Grundlage des kognitiven Begriffs-, Wissens- und Vorstellungsraumes, wie oben bereits erwähnt. Nach Abschätzungen besteht dieser Raum größenordnungsmäßig aus Hunderten Millionen von Einheiten.⁴⁸ Das größte der in diesem Vortrag genannten Systeme hat etwa eineinhalb Millionen von Einheiten. Diese Systeme operieren also alle noch unterhalb des Einprozent-Bereiches im Vergleich zum Menschen. Bis zur Erreichung des menschlichen Kreativitätsniveaus sind also allein in quantitativer Hinsicht mindestens noch zwei Größenordnungen zuzulegen. Angesichts der immer noch explosiven Entwicklung der IT erscheinen zwei Größenordnungen andererseits als auch wieder nicht völlig unerreichbar.

Heutigen Kreativitätstheorien bzw. -systemen mangelt es zudem noch an der kognitiven Funktion der Selbsteinschätzung und -beurteilung sowie an einem adäquaten (dh. dem menschlichen angepaßten) Wertesystem. Erste Ansätze, Selbsteinschätzung in Computersystemen zu realisieren, wurden in den genannten Systemen von Partridge und Rowe und im Kontext von Lernverfahren versucht.⁴⁹ Ohne Beurteilung des Produkts eines kreativen Prozesses auch unter den Gesichtspunkten gesellschaftlicher Wertmaßstäbe ist aber umfassendere Kreativität nicht denkbar, worauf weiter oben schon hingewiesen wurde. Meine eigenen Erfahrungen im Forschungsprozeß deuten zudem auf einen Mechanismus hin, der von Anfang an ein Ziel im Auge hat, das erst völlig verschwommen ist und erst im Laufe der Zeit Konturen annimmt. Demnach müßte der Kreativitätsprozeß Bestandteile eines zielorientierten Verfahrens zur Erfüllung von Einschränkungsbedingungen (constraint satisfaction) beinhalten, wobei diese Bedingungen auch in verschwommener Form – quasi eine vage Theorie – verarbeitbar sein müßten. Von einem derartigen Modell ist mir im Zusammenhang mit der Kreativitätsforschung derzeit nichts bekannt.

Nun weiß ich sehr wohl, daß es Philosophen gibt, die Computern Kreativität auch dann noch absprechen würden, selbst wenn diese eine „10. Symphonie von Beethoven“ schüfen. Im günstigsten Fall würden sie dann akzeptieren, daß ein solches System als kreativ *erscheint*, es aber nicht *wirklich ist*.⁵⁰ Aus intellektischer Sicht ist das eine fruchtlose Scheinproblematik. Ich jedenfalls habe nichts gegen eine Definition des Begriffs „kreativ“, so daß dieser auf eine Eigenschaft ausschließlich beim Menschen eingeschränkt ist und die entsprechende Fähigkeit von Computern beispielsweise mit „m-kreativ“ bezeichnet wird, weil dies nach meinem Urteil eine reine Geschmacksfrage ist, die mit Wissenschaft nicht das Geringste zu tun hat. Ich habe aber etwas gegen die als „Beweise“ vorgetäuschten Meinungsäußerungen, die vorgeben, die Unmöglichkeit von Computerkreativität nachgewiesen zu haben. Ebenso wenig wie im Falle von Dreyfus hinsichtlich Schach und von Lucas und Penrose hinsichtlich des mathematischen Beweisens hält bislang irgendeines der mit einer solchen Zielsetzung vorgetragenen Argumente einer wissenschaftlich profunden Nachprüfung stand.⁵¹

Damit soll nicht die tiefe Problematik verkannt werden, die mit der Frage nach den Qualia auch im Kontext von Kreativität verbunden ist. Unter Qualia versteht man in der Philosophie des Geistes und Kognitionswissenschaft „mentale Zustände, die einen ganz bestimmten phänomenalen Gehalt besitzen“,⁵² wobei der Begriff „phänomenal“ sich hier auf Phänomene des bewußten Erlebens (im Sinne der Phänomenologie) bezieht. Die hiermit gefaßte Innensicht bewußter Lebewesen spielt in kreativen Prozessen möglicherweise eine wichtige Rolle und es ist bis heute unklar, wie diese Innensicht mit empirisch-wissenschaftlichen Außensicht in Einklang gebracht werden kann, eine Problematik, die unter dem Begriff „epistemische Asymmetrie“ in der Philosophie bekannt ist.⁵³ Hier ist in der Tat ein Feld, auf dem die Philosophie eine Jahrtausende alte Erfahrung einbringen kann. Sie kann aber nur dann fruchtbar werden, wenn die Diskussion darüber in engstem Verbund mit Intellektik und Neurowissenschaft geführt wird. Dabei muß sich die Philosophie darüber im Klaren sein, daß sie keinen Alleinanspruch für Fragen der Innensicht hat, weil eben jeder Mensch, also auch jeder Intellektiker oder Neurowissenschaftler Experte auf diesem Gebiet, also Philosoph in diesem Sinne ist, wie Popper zurecht festgestellt hat.

Neben der soeben diskutierten Problematik ist mir auch sehr bewußt, daß die den wissenschaftlichen Prinzipien zugrundeliegende Rationalität nicht überall verbreitet und beliebt ist. Vor allem so typisch menschliche Eigenschaften wie Kreativität hätte man gerne vor dem Zugriff wissenschaftlicher Forschung bewahrt, mit dem typischerweise eine weitere narzistische Kränkung des Menschen verbunden wird.⁵⁴ Auch der mißverständliche und – bei einer naheliegenden Interpretation im Sinne des Vorgegangenen (mit Ausnahme des Qualia-Aspekts) unrichtige – Satz im Geleitwort von Günter Abel zu diesem Kongreß „Sobald es dabei um kreative Prozesse geht, stehen die Forscher vor Schwierigkeiten besonderer Art“ deutet wie viele Äußerungen aus der philosophischen Ecke (nicht zuletzt auch von dem Festredner des diesem Band zugrundeliegenden Kongresses) in diese Richtung.

Soweit es sich hierbei um das natürliche Unbehagen des Menschen vor unkontrollierten Eingriffen in das natürliche Gefüge handelt, habe ich hierfür größtes Verständnis. Für derartige kritische Einstellungen gegenüber bedenklichen Veränderungen in Gesellschaft und Umwelt ist aber nicht eine einzelne Disziplin, sondern die Gesellschaft als Ganzes zuständig.

Die überwiegend negative Einstellung der deutschen Philosophie zu einer komputationalen Sicht kognitiver Funktionen trägt auch zu den Schwächen in der heutigen deutschen Situation bei. Wenn in der deutschen Presse oder im Verlagswesen – Bereiche, die unverhältnismäßig stark von philosophisch Ausgebildeten dominiert werden – über das Thema berichtet wird, dann fast immer mit einem kritischen Tenor. Auch kommen, entgegen anerkannten Spielregeln in derartigen Debatten, in Deutschland immer Kritiker wie Searle oder Weizenbaum und so gut wie nie die führenden Wissenschaftler auf diesem Gebiet selbst zu Wort.⁵⁵ Ist es da ein Wunder, daß unter den vielen Systemen mit kreativen Leistungen nur ganz vereinzelt einmal ein deutsches zu finden ist (und daß in Deutschland Innovation nicht mehr den Stellenwert wie früher hat, ist man geneigt zu generalisieren).

In diesem Sinne wünschte ich mir, daß die Philosophie als ehemals Krone der Wissenschaften die großen Chancen der ua. durch die Intellektik (einschließlich der kognitiven und komputationalen Psychologie), die IT und die Neurowissenschaften eröffneten wissenschaftlichen Methoden im Sinne einer Konvergenz der Wissenschaften ergriffe und sich wieder als eine der führenden und kreativen Wissenschaften positionierte, anstatt sich der Gefahr der Popularisierung im Sinne eines Sprachrohrs der jeweils allgemeinen Gesellschaftsstimmung (wie im Geleitwort des Präsidenten der Gesellschaft zu diesem Kongreß unverhüllt zum Ausdruck gebracht) auszusetzen und damit den Anspruch einer Wissenschaft, die diesen Namen echt verdient, aufzugeben. Dazu gehörte freilich nicht zuletzt

auch eine Neudefinition der Philosophie als Wissenschaft und eine tiefgreifende Umgestaltung philosophischer Studiengänge, ein Hinweis der nur in einer separaten Abhandlung ausgeführt werden könnte. Die Aufgeschlossenheit von Philosophen wie die Herren Mainzer,⁵⁶ Metzinger⁵⁷ oder mein Darmstädter Kollege Nordmann⁵⁸ und vielen anderen – wie beispielsweise den Vortragenden und Teilnehmern des Kolloquiums und hoffentlich auch unter den Lesern – stimmt mich in dieser Hinsicht hoffnungsvoll. Sie repräsentieren einen Typus von Philosoph, der dadurch charakterisiert ist, daß sie sich der Notwendigkeit der Interdisziplinarität philosophischer Fragestellungen bewußt sind, keinen Alleinanspruch hinsichtlich der Kompetenz in diesen Fällen beanspruchen und methodologisch eine gewisse Nähe zu den Methoden der exakten Wissenschaften erkennen lassen.⁵⁹ Realistischerweise muß man aber – auch im Blick auf die Themen und den Festredner des diesem Band zugrundeliegenden Kongresses – feststellen, daß diese aufgeschlossenen Philosophen noch eine sehr kleine Minderheit innerhalb der (deutschen) Philosophie darstellen.

Dank. Als Wissenschaftler, der sich nicht professionell mit Philosophie beschäftigt, möchte mich bei Herrn Professor Mainzer und der Kongreßleitung besonders herzlich für diese ehrenvolle Einladung zum Vortrag und zu diesem Beitrag bedanken. Herrn Professor Alfred Nordmann bin ich für seine ausführlichen Kommentare zu diesem Text außerordentlich dankbar, die zu einer Reihe von Verbesserungen geführt haben. Selbstverständlich trage ich für den Text samt aller verbliebenen Schwächen die alleinige und volle Verantwortung.

¹ Karl R. Popper, *Alle Menschen sind Philosophen*. Piper, München (2002).

² W. Bibel, *Intellectics*. In: *Encyclopedia of Artificial Intelligence*, 2. Aufl. (S.C. Shapiro, Hrsg.), John Wiley, New York, 705f (1992).

³ Der Philosoph Thomas Metzinger formuliert das so: „In Westdeutschland ... haben nach dem Zweiten Weltkrieg viele verschiedene Formen des Philosophierens, bei denen die Standards der begrifflichen Klarheit und der rationalen Argumentation nicht mehr im Mittelpunkt stehen, einen ungeahnten Aufschwung erlebt.“ Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.9 (2005).

Wie alle derartigen pauschalen Aussagen sind auch jene von mir und die von Herrn Metzinger angreifbar. Gemeint ist hier jeweils die vorherrschende disziplinäre Kultur. Daß diejenige in der Disziplin Philosophie gegenüber den disziplinären Kulturen in den empirischen Wissenschaften wie Naturwissenschaften, Technik und Intellektik, aber auch in der Mathematik an begrifflicher Schärfe überwiegend weit hinten ansteht, wird wohl kaum ernsthaft bestritten werden. Beispiele hierfür ließen sich aus der philosophischen Literatur unzählige anführen wie etwa die folgenden beiden, die für sich selbst sprechen.

Bei Max Scheler (1874–1928) findet sich die folgende „Definition“ von Wissen (aus Körners Lexikon der Philosophie): *Wissen ist die Teilhabe am Sosein eines Seienden*. Und Georg Wilhelm Friedrich Hegel (1770–1831) „definiert“ Elektrizität wie folgt (aus <http://schillermedien.de/forum/>): *Die Elektrizität ist der reine Zweck der Gestalt, die sich von ihr befreit; die Gestalt, die ihre Gleichgültigkeit aufzuheben anfängt, denn die Elektrizität ist das unmittelbare Hervortreten oder das noch nicht von der Gestalt hervorkommende, noch durch sie bedingte Dasein, oder noch nicht die Auflösung der Gestalt selbst, sondern der oberflächliche Prozeß, worin die Differenzen ihre Gestalt verlassen, aber sie zu ihrer Bedingung haben und noch nicht an ihr selbständig sind*. Solange die Philosophie als Disziplin sich mit derartigem Unsinn ihrer prominenten Vertreter identifiziert, derartige Lehren in Vorlesungen unter gutgläubigen Studenten verbreitet und Schriften mit solchem Inhalt in Seminaren ernsthaft studiert, wird sie den Makel des Unpräzisen nicht los werden und als solide Wissenschaft unter den Vertretern der „harten“ Wissenschaften nicht wirklich Anerkennung finden können. Natürlich wird auch in anderen Disziplinen ausreichend Unsinn produziert, der aber als solcher anhand harter methodischer Kriterien jederzeit aufgedeckt werden kann und in der Regel auch aufgedeckt und geächtet wird. Es ist also das Fehlen derartiger harter Qualitätskriterien (und klarer wissenschaftlicher Zielsetzungen für die Gesamtdisziplin), die die Schwäche der Philosophie als vermeintlich wissenschaftliche Disziplin ausmachen. Wie im letzten Abschnitt betont, ist aber innerhalb der Philosophie ein erfreuliches Bemühen erkennbar, eine neue und von allen erwünschte Rolle im Verein mit den exakten Wissenschaften zu übernehmen.

⁴ von lat. *creatio* – Schöpfung

⁵ Margaret A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. Routledge, London (2004). Vgl. auch Wikipedia: <http://de.wikipedia.org/wiki/Kreativität>. Es sei betont, daß es sich bei diesem Aufsatz insgesamt um eine vorwissenschaftliche Abhandlung handelt. Wissenschaftlich müßte man ja die hier verwendeten Begriffe „neu“, „überraschend“ und „wertvoll“ genau definieren, wie es in den nachfolgend beschriebenen Systemen immer auch erfolgt ist.

⁶ In: Pat Langley, Herbert A. Simon, Gary L. Bradshaw and Jan M. Zytkow, *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes*. MIT Press, Cambridge MA (1987) wird ausführlich und überzeugend dargestellt, was für diese Hypothese spricht.

⁷ Beispielsweise ist man beim Damespiel dabei, das Spiel in dem Sinne zu *lösen*, daß man für eine relativ kleine Zahl von möglichen Eröffnungen jeweils eine Strategie mit einer genau definierten schlechtest-möglichen Endsituation angibt. Siehe dazu: Jonathan Schaeffer et al., *Solving Checkers*. Proceedings IJCAI-05, S.292–297 (2005).

⁸ Vgl. Hubert Dreyfus, *Die Grenzen der künstlichen Intelligenz – Was Computer nicht können*. Athenäum Verlag, Königstein/Ts (1985).

⁹ M. Genesereth, N. Love, and B. Pell, *General Game Playing: Overview of the AAAI Competition*. AI magazine, Bd. 26(2), 63–72 (2005). Siehe auch <http://games.stanford.edu>.

¹⁰ William McCune, *Solution of the Robbins problem*. Journal of Automated Reasoning, Bd. 19(3), 263–276 (1997). Das System Otter/EQN ist ausschließlich auf die logische Beweisstruktur bzw. auf Gleichheitsbeweise hin getrimmt. Beweisaspekte wie Anschaulichkeit, Verständnis oder Nachvollziehbarkeit stehen bei ihm nicht im Vordergrund. In der Intellektik sind hierzu komplementäre Systeme entwickelt worden, die die Ausgabe eines Systems wie Otter/EQN beispielsweise in einen üblichen mathematischen Text unter Verwendung natürlicher Sprache übersetzen, der dann von jedem Mathematiker wie jeder von Menschen geschaffene Beweis gelesen werden kann. Siehe hierzu: Bernd I. Dahn, *Robbins Algebras Are Boolean: A Revision of McCune's Computer-Generated Solution of Robbins Problem*. Journal of Algebra Bd. 208, 526–532 (1998).

¹¹ Jens Otten and Wolfgang Bibel, *leanCoP: Lean Connection-Based Theorem Proving*. Journal of Symbolic Computation, Bd. 36, 139–161 (2003).

¹² A. R. Anderson (Hg.), *Minds and Machines. Contemporary Perspectives in Philosophy*. Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ, 43–49 (1964).

¹³ Roger Penrose, *Shadows of the Mind*. Oxford University Press, New York, 1994. Penrose ist ein erfolgreicher Physiker, der sich aber inzwischen der Philosophie verschrieben und dort großen Widerhall gefunden hat.

¹⁴ Eine allerneueste Arbeit dieser Art ist: „Manfred Kerber, *Why is the Lucas-Penrose Argument Invalid?* Proceedings Künstliche Intelligenz Jahrestagung, Springer (2005)“. Sie zeigt auf besonders einsichtige Art, warum das Argument nicht stimmen kann.

¹⁵ A. R. Anderson (Hg.), *Minds and Machines. Contemporary Perspectives in Philosophy*. Prentice Hall, Englewood Cliffs NJ, S. 1 (1964).

¹⁶ Wolfgang Bibel, *Mosaiksteine einer Wissenschaft vom Geiste*. Konferenz „Gödel und Künstliche Intelligenz“ der Ev. Akademie Arnoldsheim, 5.4.03, Vortragsmanuskript 16 Seiten (2003). (Vom Autor erhältlich)

¹⁷ Es gibt leider zu viele Beispiele von philosophischen Schriften, die naturwissenschaftliche und intellektische Fragen betreffen und erst von geschulten Wissenschaftlern der exakten Wissenschaften präzisiert werden mußten, um verstanden werden zu können. In dem vorgenannten Manuskript werden einige genannt, beispielsweise die Analyse Fefermans des Lucas-Penrose Arguments zur angeblichen prinzipiellen Überlegenheit des Menschen gegenüber Computern. In der ersten Auflage des Lehrbuchs „Stuart J. Russell und Peter Norvig, *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. 2. Aufl. Prentice Hall Series“ findet sich eine vergleichbare Analyse des leider allzu bekannten Arguments von Searle zum Sprachverstehen durch Computer. In „Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.221ff (2005)“ geschieht das Gleiche mit Penrose' Argumentation zur Bedeutung quantenmechanischer Effekte für das Bewußtsein. In diesen und in unzähligen weiteren Fällen stellt sich nach der Präzisierung der logischen Argumentationsketten immer deren Fehlerhaftigkeit heraus. Offenbar mangelt es der Philosophie als Disziplin an einem allgemein anerkannten Präzisionsstandard wie dem in exakten Wissenschaften. Vielmehr werden derartige Arbeiten auch nach solchen Bloßstellungen munter weiter zitiert.

¹⁸ In dem Buch „A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. 2. Aufl. Routledge, London (2004)“ werden auf S.286ff diese Argumente in vier Gruppen klassifiziert und jede Gruppe einzeln analysiert, worauf ich aus Platzgründen hier nicht näher eingehen kann.

¹⁹ Siehe Karl R. Popper, *The Logic of Scientific Discovery*. Science Editions, New York NY (1961), zB. S.31f.

²⁰ In der Neurowissenschaft spricht man entsprechend auch vom „reverse engineering“, einem der Informatik entlehnten Begriff, dessen formale Behandlung in der Künstlichen Intelligenz ausgearbeitet wurde. Siehe zB. Patricia Smith Churchland and Terrence J. Sejnowski, *Das Neurohirn*. Vieweg Verlag (1995).

-
- ²¹ In der Neurowissenschaft wird diese These genauso vertreten. So schreibt Patricia Smith Churchland, daß man am besten beraten sei, „auf vielen Ebenen gleichzeitig zu forschen, von der molekularen Ebene über Netzwerke, Systeme, Hirnareale, bis selbstverständlich hin zum Verhalten. Hier wie überall in der Wissenschaft können Hypothesen auf verschiedenen Ebenen miteinander *koevolvierten*, indem sie sich gegenseitig korrigieren und befruchten.“ Siehe Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.465f (2005).
- ²² Wolfgang Bibel, *Lehren vom Leben – Essays über Mensch und Gesellschaft*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden (2003), S.48ff.
- ²³ Foresight Cognitive Systems Project, <http://www.foresight.gov.uk>.
- ²⁴ Daniel Andler, *Cognitive Science*. EU Kommission, DG Research, *Key Technologies for Europe* (2005).
- ²⁵ Stuart J. Russell und Peter Norvig, *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. 2. Aufl. Prentice Hall Series in Artificial Intelligence, Pearson Education, Upper Saddle River, N.J. (2004).
- ²⁶ Beispielsweise sieht Patricia Smith Churchland in der Aufgabe, einen Einstieg in die neurowissenschaftliche Bewußtseinsforschung zu finden, ein Problem der Erfüllung von Einschränkungsbedingungen (engl. constraint satisfaction problem), das in der KI entwickelt und ausführlichst untersucht wurde. Siehe Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.480 (2005).
- ²⁷ Die formale Repräsentation und Verarbeitung unpräziser Begriffe und Aussagen ist selbst ein umfangreiches Forschungsgebiet der Intellektik. Ein logikbasierter und vom Autor präferierter Ansatz stammt von David Poole; Siehe dazu eine Weiterentwicklung in: Rodrigo de Salvo Braz, Eyal Amir and Dan Roth, *Lifted First-Order Probabilistic Inference*. Proceedings IJCAI-05, 1319–1325 (2005).
- ²⁸ Margaret A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. 2. Aufl. Routledge, London (2004), S.3ff.
- ²⁹ Pat Langley, Herbert A. Simon, Gary L. Bradshaw and Jan M. Zytkow, *Scientific Discovery: Computational Explorations of the Creative Processes*. MIT Press, Cambridge MA (1987).
- ³⁰ Siehe beispielsweise: Gunter Grieser, Yuzuru Tanaka and Akihiro Yamamoto, *Discovery Science: 6th International Conference, DS 2003*, Sapporo, Japan, October 2003. *Lecture Notes in Artificial Intelligence*, Bd. 2843, Springer, Berlin (2003).
- ³¹ Holger H. Hoos, Jürgen Kilian, Kai Renz, Thomas Helbich: SALIERI – A General, Interactive Computer Music System. Proceedings of the International Computer Music Congress, ICMC'98, 385–392, ICMA, San Francisco (1998). Siehe auch <http://www.cs.ubc.ca/~hoos/composition.html>.
- ³² David Cope, *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. MIT Press, Cambridge MA (2001).
- ³³ Gerhard Widmer, *Discovering simple rules in complex data: a meta-learning algorithm and some surprising musical discoveries*. *Artificial Intelligence Journal* 146(2), 129–148 (2003).
- ³⁴ Efstathios Stamatatos und Gerhard Widmer, *Automatic identification of music performers with learning ensembles*. *Artificial Intelligence Journal* 165(1), 37–56 (2005).
- ³⁵ Harold Cohen, *A Million Millennial Medicis*. In: *Intersection and Correspondence: Explorations in Art and Technology*, Springer, London, 91–104 (2002).
- ³⁶ G. Hersey and R. Freedman, *Possible Palladian Villas (Plus a Few Instructively Impossible Ones)*. MIT Press, Cambridge MA (1992).
- ³⁷ Scott R. Turner, *The Creative Process: A Computer Modell of Storytelling and Creativity*. Lawrence Erlbaum, Hillsday NJ (1994).
- ³⁸ Kim Binsted, H. Pain and G.D. Ritchie, *Children's Evaluation of Computer-Generated Punning Riddles*. *Pragmatics and Cognition* 5(2) (1997).
- ³⁹ John Maeda, *Creative Code*. Thames & Hudson (2004). Auch auf Deutsch verfügbar.
- ⁴⁰ Hanns Hatt von der Ruhr-Universität Bochum hat für diese Forschungen 2005 den Philip Morris Forschungspreis 2005 erhalten.
- ⁴¹ Wilhelm Dilthey (1833–1911) versuchte die Selbständigkeit der Geisteswissenschaften nach Gegenstand und Methode gegenüber den Naturwissenschaften nachzuweisen, ein aus der Sicht der Intellektik zum Scheitern verurteiltes Unterfangen. Siehe Diltheys *Gesammelte Schriften*, 9 Bde., 1921–1934, vor allem Bände 1 und 5, zitiert nach *Philosophisches Wörterbuch*, Alfred Kröner Verlag, Stuttgart, 13. Aufl., S.109f (1955).
- ⁴² Siehe Wolfgang Bibel, *Lehren vom Leben – Essays über Mensch und Gesellschaft*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden (2003), Abschnitt 5.4.
- ⁴³ Siehe zB. Daniel Goleman, Paul Kaufman und Michael Ray, *Kreativität entdecken*. Hanser, München (1997).
- ⁴⁴ Die kognitionswissenschaftliche Literatur zu dem Thema Kreativität und Eingebung umfaßt bereits eine Unzahl von Arbeiten. Eine Auswahl von Referenzen findet sich beispielsweise in der folgenden einschlägigen Arbeit neuesten Datums: Edward M. Bowden, Mark Jung-Beeman, Jessica Fleck und John Kounios, *New approaches to demystifying insight*. *Trends in Cognitive Sciences* 9(7), S.322–328 (2005).
- ⁴⁵ Derek Partridge and Jon Rowe, *Computers and Creativity*. Intellect, Oxford (1994).
- ⁴⁶ Siehe zB. Alison Gopnik & Laura Schulz. *Mechanisms of theory formation in young children*. *Trends in Cognitive Science*, 8(8), 371–377 (2004).

⁴⁷ Das System COG ist einer der allerersten Versuche in diese Richtung. Siehe Daniel C. Dennett, COG: Schritte in Richtung auf Bewußtsein in Robotern. In: Thomas Metzinger (Hrsg.), Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.691ff (2005).

⁴⁸ H. Simon und Kollegen sind in ihrem aaO. genannten Buch von 50.000 Einheiten ausgegangen, bezogen sich dabei aber ausschließlich auf das spezifische Expertenwissen, nicht das zugrundeliegende Allgemeinwissen.

⁴⁹ Gunter Grieser, Selbsteinschätzende Lernverfahren: Möglichkeiten und Grenzen. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Berlin (2002).

⁵⁰ Siehe Fußnote 18.

⁵¹ Margaret Boden unterscheidet und diskutiert vier Klassen derartiger Argumente: Gehirn–Stoff, inhaltsloses Programm, Bewußtsein und nicht-menschlich. Siehe Margaret A. Boden, The Creative Mind: Myths and Mechanisms. 2. Aufl. Routledge, London (2004), S.287ff, und die dort erwähnte Literatur.

⁵² Thomas Metzinger (Hrsg.), Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.43f (2005).

⁵³ aaO. S.40ff.

⁵⁴ Auch D.C. Dennett weist auf „einen starken untergründigen Wunsch [hin], den Geist vor der Wissenschaft zu schützen“. Siehe Daniel C. Dennett, COG: Schritte in Richtung auf Bewußtsein in Robotern. In: Thomas Metzinger (Hrsg.), Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.692 (2005). – Man kann diese Haltung innerhalb der Philosophie auch im Sinne von August Comtes’ „Dreistadiengesetz“ verstehen, nachdem die Philosophie das Gebiet der Kognition noch immer aus der Sichtweise des „metaphysischen“ oder „abstrakten“ Stadiums betrachtet, obwohl dieses durch die Neurowissenschaft und Intellektik längst in das „wissenschaftliche“ oder „positive“ Stadium überführt wurde. Siehe dazu A. Comte, Abhandlung über die positive Philosophie bzw. dtv-Atlas zur Philosophie, S.165 (1991).

⁵⁵ J. Searle ist der Festredner zu dem diesem Band zugrundeliegenden Kongreß. In den USA gilt er als Exponent einer extrem kritischen Position zum Artificial Intelligence Teil der Intellektik. Einer seiner Gegenspieler ist beispielsweise Daniel C. Dennett, der an AI Projekten wie COG sogar aktiv beteiligt ist. Zwischen diesen beiden gäbe es viele ausgewogenere Meinungen. Die Einladung von Searle – und von ihm allein – kann daher nur als gezielte Strategie zur Meinungsmache verstanden werden. Mit Joseph Weizenbaum ist es die gleiche Geschichte. Außer am Beginn seiner Karriere (als er beispielsweise ELISA entwickelte) konnte er sich unter seinen AI Kollegen in den USA seit Jahrzehnten nicht mehr eines sehr hohen wissenschaftlichen Ansehens erfreuen und wurde infolgedessen so gut wie nie mehr zu wichtigeren Tagungen in seinem eigentlichen Fachgebiet eingeladen. Die Deutschen dagegen haben ihn mit Einladungen zu allen denkbaren Gelegenheiten überhäuft, während die wirklich führenden, aktiven und produktiven AI Wissenschaftler in den USA wie beispielsweise John McCarthy, Marvin Minsky, Allen Newell oder Herbert Simon so gut wie nie zu irgendeiner größeren Veranstaltung in Deutschland eingeladen wurden. Diese Fakten spiegeln die Tendenz der deutschen Denkpositionen eindeutig wider.

⁵⁶ Klaus Mainzer, Computer Philosophie zur Einführung. Junius Verlag, Hamburg (2003).

⁵⁷ Thomas Metzinger (Hrsg.), Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn (2005).

⁵⁸ Alfred Nordmann, Converging Technologies – Shaping the Future of European Societies. European Communities, Luxembourg (2004).

⁵⁹ Aus intellektischer Sicht wäre es beispielsweise an der Zeit, daß sich auch die Philosophie einer präzise definierten und strukturierten Begriffsontologie befleißigte und ihre Aussagen auf der Basis einer klaren Theoriebildung und Deduktion im Sinne der Logik fundierte. Der Einwand, daß sich dies in hermeneutischen Problemstellungen nicht realisieren ließe, überzeugt aus intellektischer Sicht nicht. Das folgende Buch erscheint mir als Musterbeispiel für eine wissenschaftliche Philosophie, die sich auch exakter Definitionen befleißigt: Paul Humphreys, Extending Ourselves – Computational Science, Empiricism, and Scientific Method. Oxford University Press (2004).