

# Künstliche Kreativität<sup>1</sup>

Wolfgang Bibel  
Technische Universität Darmstadt

1. September 2007

*Instead of arguing continually over this point, it is usual to have the polite convention that everyone thinks.*

Alan Turing

## Zusammenfassung

Der Aufsatz befaßt sich mit der Frage, inwieweit Kreativität künstlich in Systemen modelliert werden kann. Dazu wird der Begriff der Kreativität aus Sicht der Intellektik (dh. Künstliche Intelligenz und Kognitionswissenschaft) erläutert. Mit einer stattlichen Reihe von teilweise eindrucksvollen Beispielen existierender künstlich-kreativer Systeme wird demonstriert, daß künstliche Kreativität in der Tat bereits heute bis zu einem gewissen Grade möglich ist. Die diesen Experimenten zugrundeliegende Forschungsmethodik, die aus der Intellektik hervorgegangen ist, wird beschrieben. Zugleich wird aber auch deutlich gemacht, daß wesentliche Merkmale des menschlichen Kreativitätsprozesses in heutigen Systemen auch noch nicht ansatzweise vorhanden sind.

## Inhalt

0. Einleitung .....	2
1. Zum Begriff der Kreativität.....	3
2. Erfolgreiche Beispielmodelle von Kreativität.....	5
3. Die wissenschaftliche Disziplin der Intellektik.....	7
4. Forschungsstrategie und ihre Anwendung auf Kreativität.....	11
5. Ergebnisse und Folgerungen .....	14

## 0. Einleitung

*Künstliche Kreativität* – ist dieser Begriff nicht ein Widerspruch in sich selbst? Vieles, was wir in der Natur vorfinden, läßt sich heute künstlich nachbilden. Darunter sind so erstaunliche Kreationen wie etwa eine künstliche Retina im Auge, die Blinde wieder zu einem beschränkten Sehvermögen verhelfen kann, oder eine künstliche Hand, die mit den entsprechenden Nervenbahnen des menschlichen Zentralnervensystemes verknüpft ist und die Funktionen der (beispielsweise durch einen Unfall zerstörten) natürlichen Hand weitestgehend ersetzen kann. Aber künstliche Kreativität?

Wir stellen uns doch unter *Kreativität*<sup>2</sup> eine eher seltene menschliche Fähigkeit vor, mit der neue, überraschende und wertvolle Werke geistiger oder physischer Natur geschaffen werden können.<sup>3</sup> Diese Fähigkeit ist, wenn vorhanden, irgendwie in unserem Intellekt verankert, wobei wir hier den Begriff *Intellekt* so umfassend verstehen, daß Geist, Psyche, Empfinden usw. darin enthalten sind. Eine künstliche Kreativität müßte demnach diese Fähigkeit bis zu einem gewissen Grade simulieren können, was aus heutiger Sicht nur durch ein komputationales System auf der Grundlage der Informationstechnologie (IT) denkbar wäre. Insbesondere müßte nach landläufiger Vorstellung ein solches System auch programmiert werden. Herrscht aber nicht eine weit verbreitete Meinung vor, daß ein programmiertes System nur liefern kann, was vorher hineingesteckt wird? Wäre diese Meinung richtig, könnte ein solches System nur dann etwas Neues kreieren, wenn der Systementwickler dies vorher hineinprogrammiert hätte, das Neue also eigentlich selbst geschaffen hätte. In diesem Sinne wäre der Begriff „künstliche Kreativität“ in der Tat ein Widerspruch in sich selbst, eben weil der kreative Akt selbst nur dem Systementwickler, nicht aber dem System zugeschrieben werden könnte.

Die dieser Argumentation zugrundeliegende landläufige Meinung über das Verhältnis eines Systementwicklers und der Leistungsfähigkeit der resultierenden Systeme kann aber nicht aufrecht erhalten werden. Dieses Verhältnis ist viel komplexer als in einer solchen naiven Vorstellung zum Ausdruck gebracht werden kann. Hierüber werden wir im Verlauf der Arbeit Einiges erfahren. Entsprechend werden wir die Position vertreten, daß Systeme durchaus zu kreativen Leistungen fähig sein können und daß es bereits beeindruckende Beispiele einer derartigen künstlichen Kreativität gibt, von denen einige im Verlauf der Arbeit beschrieben werden.

Andererseits ist unbestritten, daß heutige Systeme wesentliche Aspekte von menschlicher Kreativität vor allem im künstlerischen Bereich (noch) nicht aufweisen. Denn wir bewerten als schaffende Künstler oder als Bewunderer ihrer Werke diese mit all unseren Sinnen und Empfindungen, eine Fähigkeit, die bislang keinem Computersystem zu Gebote steht. Insoweit sind künstliche Kreationen bislang in diesem Sinne durchaus „seelenlos“. Ob dieser Mangel in irgendeiner Zukunft behoben werden kann, bleibt abzuwarten. Grundsätzlich spricht nach dem Stand der Kenntnisse und nach unserer Überzeugung nichts dagegen.

In dieser Arbeit werden wir die so umrissene Position im Einzelnen begründen und an Beispielen demonstrieren. Vor allem werden wir auch die mit dieser Position verbundenen Zielsetzungen erläutern, die kurz gesagt in erster Linie in einem *wissenschaftlichen Verständnis von Kreativität* bestehen. Im Einzelnen gehen wir dabei wie folgt vor.

Im nachfolgenden ersten Abschnitt vertiefen wir die oben bereits grob umrissene Vorstellung von Kreativität und unterscheiden Kreativität in schwachem und in starkem Sinne. Wir räumen dabei – wie schon erwähnt – ein, daß künstliche Kreativität bislang nur im schwachen Sinne realisiert werden konnte, gehen aber davon aus, daß sie auch im starken Sinne grundsätzlich realisierbar wäre. Was hierzu erforderlich wäre, wird dabei kurz

beschrieben. Alle beschriebenen Beispiele der Arbeit von existierenden kreativen Systemen beschränken sich also auf solche im schwachen Sinne.

Abschnitt~2 bereitet das Verständnis des methodologischen Vorgehens der zugrundeliegenden Disziplin anhand von zwei unterschiedlichen Anwendungssystemtypen vor. Dabei handelt es sich um Schachprogramme einerseits und mathematische Beweisprogramme andererseits. Wir können hier von spektakulären Erfolgen berichten, die Eingang auf den Titelseiten großer internationaler Zeitungen gefunden haben.

Wir bezeichnen die diesen Forschungen zugrundeliegende Disziplin mit dem Namen „Intellektik“ und verstehen darunter grob gesprochen die Vereinigung der Gebiete Künstliche Intelligenz (KI) und Kognitionswissenschaft (KW). Abschnitt~3 enthält eine genaue Charakterisierung dieser Disziplin sowie eine Rechtfertigung ihrer Individualität im Konzert der angrenzenden Disziplinen (Neurowissenschaft, Psychologie usw.), die sich wesentlich auf die komputationale Modellierung und Validierung im Rechner stützt. Auch werden über die im Abschnitt~2 besprochenen Systemklassen hinaus weitere kurz beschrieben, wie beispielsweise diejenige der wichtigen Wissenssysteme.

Die soeben genannte komputationale Modellierung und Komputervalidierung wird dann im Abschnitt~4 für eine breite Palette von Systemen veranschaulicht, die sich spezifisch mit einer Modellierung kreativen Verhaltens befassen. Darunter sind Systeme zur wissenschaftlichen und künstlerischen Kreativität auf vielen unterschiedlichen Gebieten wie etwa Musik, Malerei usw. bezüglich des künstlerischen Sektors.

Abschnitt~5 arbeitet die Bedeutung dieser Ergebnisse für die wissenschaftliche Entwicklung und für das Verständnis kreativen Verhaltens heraus und wirft einen Blick auf zukünftige Forschungen und mögliche Entwicklungen sowie auf die sich daraus für die Gesellschaft ergebenden Konsequenzen. Die Arbeit schließt mit einem Bekenntnis zu der Einstellung, die in der eingangs zitierten Feststellung von Alan Turing zum Ausdruck kommt.

## 1. Zum Begriff der Kreativität

Jeder Versuch, Systeme zu entwickeln, die zu kreativer Leistung fähig sind, muß auf einer klaren Vorstellung vom Begriff der Kreativität beruhen. Dazu ist zunächst nicht notwendigerweise eine formale Definition des Begriffs erforderlich, die wohl erst nach einem vollen Verständnis des Phänomens der Kreativität möglich sein wird. Als allererste Näherung einer solchen Vorstellung haben wir in der Einleitung die Umschreibung des Begriffs von Margaret Boden angegeben. In diesem Abschnitt wollen wir diese Vorstellung vertiefen.

Unschärfe Begriffe wie derjenige der Kreativität werden aufgrund von Beispielen geprägt. Aristoteles, J.S. Bach, Coco Chanel, Marie Curie, Einstein, Goethe, Mozart, Mutter Teresa, van Gogh und viele andere gelten unbestritten als Menschen mit erstaunlicher Kreativität. Die unterschiedlichen Beispiele sollen andeuten, daß Kreativität in jeder menschlichen Tätigkeit beider Geschlechter zum Ausdruck kommen kann, seien es geistige, künstlerische, berufliche oder sportliche Tätigkeiten. So zeichnet einen Spitzenkoch, einen Weltklassesportler (etwa im Tennis), einen großen Staatsmann usw. immer auch ein hoher Kreativitätsanteil aus, der sein Handeln und Schaffen prägt.

Wir schließen auf die Kreativität eines Menschen auf der Grundlage seiner Werke. Das heißt, eigentlich werden mit diesem Begriff menschliche Werke klassifiziert, und es wird aufgrund dieser Klassifikation nur indirekt auf eine besondere Fähigkeit der betreffenden Menschen geschlossen. Weil dies so ist, könnte man im Sinne des Turingschen Zitats am

Beginn des Artikels aus purer Höflichkeit auch einem System Kreativität attestieren, also von künstlicher Kreativität sprechen, wenn denn dessen Kreationen von den Menschen als kreativ eingeschätzt würden. Wie wir in den folgenden Abschnitten noch zeigen werden, gibt es in der Tat eine Reihe von künstlich geschaffenen Werken, die nach menschlichem Urteil eindeutig als kreativ einzuschätzen sind, wobei die spezifische Schaffensleistung nur insoweit auf den Systementwickler zurückgeführt werden kann, als dieser die Prinzipien kreativen Schaffens in der jeweiligen Domäne adäquat im System modelliert hat. Oft wäre er überhaupt nicht in der Lage, die Werke seines Systems selbst und ohne dessen Mitwirkung in ähnlicher Qualität oder Originalität zu vollbringen.

In diesem *schwachen Sinne* ist es demnach voll gerechtfertigt, von künstlicher Kreativität zu sprechen. Es ist aber offensichtlich, daß sich menschliche Kreativität in einer engen Verbindung von Schaffendem und Werk manifestiert. Es bleibt also immer noch die Frage, ob Kreativität in einem derart starken Sinne künstlich möglich wäre. Hierzu müssen wir uns zunächst ein genaueres Bild von dieser Verbindung machen.

Ein charakteristisches Merkmal des Menschen sind seine spezifischen Begabungen und Fähigkeiten sowie seine inneren Ziel- und Wertevorstellungen. Diese prägen sich im Laufe der Persönlichkeitsentwicklung durch Erziehung, Lern- und Erfahrungsprozesse. Sie sind mitentscheidend für das, was man als die eigene Identität bezeichnet. Kreatives Schaffen zielt darauf ab, Werke zu schaffen, die mit dieser Identität im Einklang stehen, diese pointieren, „verwirklichen“ und auf diese Weise individuelle Erfahrungen nach außen sichtbar machen. Während des Schaffensprozesses wird das entstehende Werk vom schaffenden Menschen bewußt oder unbewußt ständig darauf hin geprüft, inwieweit es diesen Ansprüchen genügt. Das verzehrende Ringen kreativer Menschen bei der Schaffung von Neuem zeugt von dieser unerbittlichen Prüfung. Dabei spielen die menschlichen Sinnesfähigkeiten und die dadurch hervorgerufenen Empfindungen eine entscheidende Rolle. Je erfolgreicher diese Prüfung und die damit ermöglichte Verwirklichung gelingt, umso überzeugender scheint das geschaffene Werk auch auf andere Menschen zu wirken, was mutmaßlich einerseits mit einer großen Übereinstimmung zwischen Schaffendem und Betrachter in den Fundamenten menschlicher Anlagen und andererseits mit der Übereinstimmung in den jeweiligen sozialen Kontexten zu erklären ist.

So gut wie nichts von dem soeben Beschriebenen ist in heutigen Computersystemen verfügbar. Sie haben weder eine eigene Identität noch einen multifunktionalen Sinnes- und Empfindungsapparat, mit deren Hilfe sie ihr Schaffen in vergleichbarer Weise überprüfen könnten. Zu Kreativität in diesem *starken Sinne* sind sie derzeit daher definitiv nicht fähig. Ob dies in Zukunft einmal möglich sein könnte und, wenn ja, wann es dazu kommen könnte, darüber sei hier nicht konkreter spekuliert. Als Arbeitshypothese wird in dieser Arbeit jedoch die Position vertreten, daß dies *grundsätzlich* realisierbar wäre, weil nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand nichts dafür spricht, daß dem Menschen in dieser Hinsicht Fähigkeiten zur Verfügung stünden, die man künstlich aufgrund unserer derzeitigen wissenschaftlichen Erkenntnisse nicht ebenso realisieren könnte.

Um menschliche Kreativität in einem derart starken Sinne künstlich realisieren zu können, müßte man nach dem Vorgegangenen eben auch die Mechanismen verstehen und entsprechend realisieren, die hinter den genannten Begriffen wie Persönlichkeitsidentität, Sinnes- und Empfindungsfunktionalität beim Menschen wirksam sind. Bis zu einem derart weitreichenden Verständnis des menschlichen Kognitionsapparates ist sicher noch ein sehr weiter Weg zurückzulegen. Wer jedoch wäre nicht fasziniert von der Vorstellung eines solch tiefen Verständnisses von uns selbst! Hierin liegt also die Motivation für die Verfolgung der weitgesteckten Ziele der Intellektik, die uns mit Sicherheit noch lange Zeit in Atem halten

wird. Für die nachfolgend beschriebenen aktuellen Beispiele beschränken wir uns daher natürlicherweise ausschließlich auf den Begriff der Kreativität im schwachen Sinne.

## 2. Erfolgreiche Beispielmodelle von Kreativität

Meister im Schachspiel werden allgemein als kreativ eingeschätzt. In nie dagewesenen Spielsituationen kreieren sie neue Spielzüge oder reagieren mit überraschenden neuen Wendungen und begeistern damit die Schachwelt, schaffen also neue, überraschende und wertvolle Werke im Sinne von Margaret Boden. 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 schwachen Sinne) gemäß der Begriffsbestimmung des letzten Abschnitts? Logischerweise doch eindeutig *ja* aus dem gleichen Grunde wie bei Menschen!

Was 1997 noch mit größtem Aufwand an umfangreicher spezieller Hardware und an Arbeitseinsatz eines großen Entwicklungsteams bewerkstelligt werden mußte, schaffen heute Schachprogramme auf handelsüblichen Rechnern und mit Software, die man für etwa 100€ erwerben kann, was den rasanten Technologiefortschritt eindrucksvoll demonstriert. Ein solches Programm, genannt Deep Fritz, hat 2002 unter Turnierbedingungen gegen den damaligen und noch immer amtierenden Weltmeister Vladimir Kramnik auf einem handelsüblichen Vierprozessorserver ein Unentschieden erzwungen, ebenso wie 2003 ein weiteres Programm mit Namen Deep Junior gegen Garri Kasparov. Deep Fritz hat seither auch gegen die Schachgroßmeister Kasparov und Robert Hübner unentschieden gespielt.

Die neueste Programmversion Deep Fritz 10 hat dann Ende 2006 Kramnik mit 4:2 auf einem Dual Intel Core 2 Duo 5160 Prozessor (zwei Chips mit je zwei Prozessoren, 3 GHz Taktfrequenz, 4 GByte RAM) bezwungen, wobei der Weltmeister – bis auf einen groben Schnitzer im zweiten Spiel – zwar hervorragend gespielt hatte, aber kein einziges Spiel mehr für sich entscheiden konnte. Dabei ist Deep Fritz keineswegs das weltbeste Schachprogramm, vielmehr trug diesen Titel bis Juni 2007 (Computerolympiade in Amsterdam) das bereits genannte System *Deep Junior* und seitdem das System *Rybka*. Insgesamt kann man also sagen, daß Menschen gegen die besten Schachprogramme inzwischen keine Chance mehr haben zu gewinnen.

Übrigens sind für die meisten anderen bekannten Spiele (Dame, Mühle, Backgammon usw.) Computersysteme verfügbar, die die jeweiligen Weltmeister gleichfalls bezwingen.<sup>4</sup> Unter den wenigen verbliebenen Ausnahmen sind noch das Brettspiel Go sowie Bridge, bei denen bis heute Menschen die Oberhand behalten haben.

Spezielle Spiele sind also keine wirkliche Herausforderung mehr für die KI. Weil jeder jedoch mit Spielen bestens vertraut ist, wollte ich dieses Thema hier 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.<sup>5</sup> Das von Professor Thielscher in Dresden entwickelte System ist hier weltführend und hat 2006 den diesbezüglichen internationalen Wettbewerb gewonnen. 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. Ein 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.<sup>6</sup>

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.<sup>7</sup> Konkret besteht leanCoP je nach Version aus etwa 10 bis 30 Programmzeilen in Prolog, während Otter einen Umfang von Hunderttausenden Programmzeilen an C-Kod hat. Diese extreme Reduktion im Kod wird erreicht mit einer besseren Inferenztechnik und einer sprachlich konzentrierteren Programmspezifikation auf höherem Abstraktionsniveau.

In den beiden in diesem Abschnitt beschriebenen Beispielklassen ist klar geworden, daß die in der Einleitung erwähnte naïve, aber verbreitete Vorstellung vom Verhältnis eines Systementwicklers zu den Fähigkeiten des resultierenden Systems falsch ist. Obwohl in der Tat das System vom Entwickler programmiert ist, heißt das noch lange nicht, daß dieser alle Verhaltensweisen des Systems vorhersehen konnte. So sind die Systementwickler von Schachprogrammen selbst oft nur laienhafte Schachspieler, wären also zu den meisterhaften Zügen ihrer Systeme überhaupt nicht imstande. Gleiches gilt für die Entwickler von Beweissystemen. Beide haben nur die ihnen bekannten Prinzipien in diese Systeme gesteckt, die einem derartigen Verhalten zugrundeliegen. Das kreativ geschaffene Neue ist also unmittelbar auf die Systeme zurückzuführen und hat nur sehr indirekt etwas mit dem Systementwickler zu tun.

Zur Einführung in die Thematik der Arbeit 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. Für

Intellektiker ist es daher unbestritten, daß heutige Systeme teilweise auch künstliche Kreativität realisieren, wie ihre erbrachten Leistungen im Vergleich zum Menschen eindrucksvoll demonstrieren. Dabei sind wir uns jedoch der Beschränktheit aller heute existierenden Systeme im Vergleich mit möglichen menschlichen Fähigkeiten mehr als bewußt und haben aus diesem Grunde bislang immer nur von Kreativität im schwachen Sinne gesprochen.

### 3. Die wissenschaftliche Disziplin der Intellektik

In den letzten beiden Abschnitten haben wir einerseits den Begriff der Kreativität grob umschrieben und andererseits an Hand von Beispielen kreativer Systeme illustriert, wie künstliche Kreativität realisiert werden kann. So vorbereitet wollen wir uns jetzt die grundsätzlichere Frage stellen, wie eine wissenschaftliche Disziplin vorgehen müßte, um die so umrissene Problematik fundierter zu erforschen.

Eine jegliche wissenschaftliche Disziplin wird charakterisiert durch den *Gegenstandsbereich* ihrer Forschung, durch die dabei verfolgten *Ziele* sowie die eingesetzten *Methoden* und *Strategien*. Der Gegenstandsbereich unserer Disziplin sind die kognitiven Fähigkeiten intelligenter Wesen wie die des Menschen. Unter diese Fähigkeiten fällt eine Fülle von Phänomenen, die wir beispielsweise an Menschen beobachten können, unter denen Kreativität nur eine von vielen ist. Unsere Sprache assoziiert mit diesen Fähigkeiten Begriffe wie Intellekt, Geist, Psyche, Intelligenz, Kognition usw. Es ist naheliegend, unsere Disziplin nach einem besonders charakteristischen Begriff aus dieser Reihe zu benennen, wofür sich beispielsweise Intelligenz, Intellekt etc. anbietet. Wir nennen unsere Disziplin daher *Intellektik*.<sup>8</sup>

Das Ziel der Intellektik ist *ein tiefgreifendes Verständnis kognitiver Fähigkeiten autonomer Akteure in einer Umwelt*. Dazu gehört dann vor allem ein Verständnis der kognitiven Fähigkeiten des Menschen in unserer gewohnten Umwelt. Die Zielsetzung der Intellektik ist aber bewußt allgemeiner gehalten und umfaßt damit auch mögliche andersartige, beispielsweise künstliche Intelligenzen, ggf. in andersartigen Umwelten. In einem solch umfassenden Verständnis wären dann Erklärungen für alle damit zusammenhängenden Phänomene wie Intelligenz, Wahrnehmung, Gedächtnis, Intentionalität, Bewußtsein, freier Wille, Gefühle, Kreativität usw. möglich, und genau das streben wir in der Intellektik an.

Mit welcher Forschungsmethodik ließe sich dieses grandiose Ziel verfolgen? Um diese Frage beantworten zu können, genügt es nicht, sich an anderen Disziplinen wie etwa der Physik oder der Biologie zu orientieren. Denn wir sind hier mit einem neuen grundsätzlichen Problem konfrontiert, nämlich der Tatsache, daß der Gegenstand der Forschung mit dem dabei hauptsächlich verwendeten Werkzeug identisch ist: wir wollen den Geist mit unserem Geist erforschen. Keine andere Disziplin hat sich mit einer solchen Problematik herumzuschlagen, die uns vor völlig neue, in der Wissenschaft bislang nicht gekannte Herausforderungen stellt.

Drei unterschiedliche Ansätze bieten sich aber sofort an. Erstens lassen sich die kognitiven Fähigkeiten des Menschen durch Beobachtung von Probanden qualitativ und quantitativ bestimmen und aus diesen experimentell gewonnenen phänomenologischen Daten Hypothesen über die funktionellen Zusammenhänge in der Verarbeitung ableiten. Dieses Vorgehen wird in der kognitiven Psychologie bzw. Kognitionspsychologie verfolgt. Aber auch Gebiete wie die Linguistik und die Anthropologie, aber allgemeiner auch Sozial- und Geisteswissenschaften tragen spezielle phänomenologisch gewonnene Daten hierzu bei.

Wir gehen heute von der Arbeitshypothese aus, daß kognitive Phänomene vom Gehirn und den mit diesem zusammenhängenden Körperteilen (Zentrales und peripheres Nervensystem, Hormonsystem etc.) kreiert werden. Ein zweiter Ansatz zur Erforschung kognitiver Phänomene besteht daher in der Beobachtung der physiologischen Prozesse, die kognitive Phänomene hervorrufen. Dieser Ansatz wird in der Neurologie bzw. Neurowissenschaft verfolgt. Er hat durch neue Technologien in den letzten Jahrzehnten einen ungeahnten Aufschwung erfahren, die es ermöglichen physiologische Prozesse im Gehirn eines Probanden unmittelbar zu beobachten. Dazu gehört aber auch das schon lange betriebene Studium der Struktur des Gehirns, seiner Bereiche und deren Funktionalitäten und Zusammenhänge, seiner funktionellen Einheiten (Neuronen, Synapsen usw.) und Mechanismen.

Die beiden bislang genannten Ansätze studieren die Außenansicht der Kognition. Das besondere an kognitiven Phänomenen besteht aber darin, daß wir sie auch von innen kraft unseres Bewußtseins erleben können. Es liegt daher selbstverständlich nahe, diesen dritten Zugang zur Erforschung auch wissenschaftlich zu nutzen, dessen sich seit Jahrtausenden die Philosophie bedient hatte. Wegen der genannten grundsätzlichen Problematik in unserer Disziplin ist es bis heute unabdingbar, den in allen Ansätzen verwendeten Begriffsapparat ebenso wie die verwendete Methodik und den aus den Ergebnissen gezogenen Folgerungen immer wieder einer kritischen Prüfung zu unterziehen. Zu dieser Aufgabenstellung haben sich Teile der Philosophie eine gewisse Kompetenz erworben, die daher bei diesen Fragestellungen auch heute noch gefragt ist.

Alle drei genannten Ansätze und die damit befaßten Disziplinen können also ihre wohlbegründete Berechtigung für die von ihnen eingesetzte Methodik im Hinblick auf die Zielsetzung der Intellektik vorweisen. Die Rechtfertigung für eine neue Disziplin ergibt sich erst aus der These, daß keiner dieser drei Ansätze allein oder im Verbund mit den anderen imstande sein kann, das Intellektikziel zu erreichen.

Diese neue Disziplin wurde 1956 mit der damaligen Dartmouth Conference ins Leben gerufen, an der viele der Mitbegründer aktiv beteiligt waren. Das Thema der dreimonatigen Konferenz, „Artificial Intelligence“ (oder AI, dt. Künstliche Intelligenz oder KI), hat dann dem Gebiet für eine Zeitlang ihren Namen gegeben. In den Siebziger Jahren des vorigen Jahrhunderts haben die praktischen Erfolge der KI in Anwendungsgebieten, ihre immer stärkere Ausrichtung hin zur Informatik, sowie die spezielle Förderung von kognitionspsychologischen Forschungen in den USA leider zu einer Spaltung der KI in die Stränge KI und Kognitionswissenschaft (KW) geführt. Quasi in arbeitsteiliger Weise studiert seither die KW die Funktionalität kognitiver Phänomene und ihre architekturellen Grundlagen mit naturwissenschaftlichen, vor allem psychologischen Methoden am Menschen bzw. allgemeiner an Lebewesen, während sich die KI auf die Modellierung solcher Phänomene in Computern konzentriert. Um der Spaltung entgegenzuwirken, aber auch um diesem zukunftsreichen Gebiet einen ordentlichen Gebietsnamen zuzuschreiben, nennt der Autor die Vereinigung der beiden Stränge KI und KW seit Anfang der Achtziger Jahre *Intellektik*.

Worauf gründet nun die These, mit der die Intellektik als Disziplin gerechtfertigt wird? Eine wissenschaftlich nachprüfbar Theorie der Kognition läßt sich nicht allein „aus dem Lehnstuhl“ heraus durch reines Nachdenken entwickeln, also mit der Arbeitsmethodik, die die Philosophie charakterisiert. Zweieinhalbtausend Jahre Philosophiegeschichte zeugen auch nicht unbedingt von einem bemerkenswerten Fortschritt in Richtung auf die Erreichung der Intellektikziele. Von der Philosophie allein würde man daher die Erreichung dieser Ziele am allerwenigsten erwarten.



Viele der ehemals philosophischen Fragestellungen auf diesem Gebiet sind inzwischen auch kompetenter und mit strengeren wissenschaftlichen Methoden von der Kognitionspsychologie (oder auch der KI) behandelt worden. Nur kann es der Kognitionspsychologie mit ihren klassischen Methoden auch nicht gelingen, theoretische Hypothesen mehr als plausibel zu machen. Denn einerseits fehlt ohne die Neurologie diesen Hypothesen die Verankerung in die tatsächlichen Gegebenheiten im menschlichen Gehirn. Andererseits fehlen ohne die Intellektik integrative Testmethoden, die die Stimmigkeit der Gesamtheit der erforschten kognitiven Funktionen im Detail nachweisen können.

Besondere Aktualität im Kontext kognitiver Funktionen hat derzeit 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, topographische, physiologische, chemische und physikalische Details der Neuronen und ihrer Verbindungen sowie der darauf aufbauenden Module im Gehirn, 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 oder die Psychologie jeweils allein vermögen werden. 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 oder psychologischen 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.<sup>9 10</sup>

Ohne also die großen Verdienste der jeweiligen Einzeldisziplinen Philosophie, Psychologie oder Neurologie in irgendeiner Weise schmälern zu wollen, kommen wir damit zu dem Schluß, daß die Forschungsmethoden der drei genannten Disziplinen zur Lösung der Intellektikprobleme nicht ausreichen. Vielmehr hat erst die von der Intellektik (vormals AI) ins Spiel gebracht Forschungsmethodik den Weg dahin frei gemacht. Sie ist durch die Arbeitshypothese des (von Newell und Simon als These formulierten) Komputationalismus charakterisiert. Der *Komputationalismus* besagt, daß alle geistig-psychischen Phänomene wie oben bereits erwähnt auf einer bestimmten Abstraktionsebene als informationsverarbeitende, komputationale Prozesse verstanden werden können.<sup>11</sup> 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. Dadurch wird eine Koevolution von Hypothesen auf verschiedenen Ebenen ermöglicht, nämlich der physikalisch-chemischen, physiologischen, neurologischen, psychologischen und introspektiv-philosophischen Ebene.

Infolge des essenziellen Einsatzes von Computern ist die Entwicklung der Intellektik auch eng mit derjenigen der Informationstechnologie (IT) bzw. der Informatik verknüpft. Andererseits läßt sich die Informatik mit den Zielsetzungen der Intellektik nicht identifizieren. In der Intellektik vollzieht sich der Entwicklungsprozess von oben (kognitive Theorie) nach unten (maschinelle Realisierung). Informatiker dagegen bauen Computersysteme, die von Jahr zu Jahr komplexer werden und immer umfangreichere funktionale und bessere komputationale Leistungen erbringen. Es handelt sich damit also 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 unabhängig vom Entwicklungsstand unserer Computersysteme 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.

Damit haben wir die Intellektik von benachbarten Disziplinen abgegrenzt. Was ihr aber als fruchtbarer Disziplin fehlt, sind die organisatorischen, einheitlichen Rahmenbedingungen. Weil es hieran bis heute weitestgehend mangelt, bleibt intellektische Forschung und Lehre weltweit sehr zersplittert. Zwar ist die Notwendigkeit der Konvergenz disziplinärer Forschungen inzwischen erkannt und anerkannt;<sup>12</sup> ihre Realisierung wird aber jedenfalls noch für geraume Zeit an den zentrifugal wirkenden Egoismen der Einzeldisziplinen scheitern.

Fassen wir die Charakterisierung der Intellektik nochmals kurz zusammen. Ihr Ziel ist ein tiefgreifendes Verständnis der kognitiven Funktionen autonomer Akteure in einer Umwelt. Das naturwissenschaftliche Studium solcher Funktionen und ihrer Realisierung erfolgt mit neurologischen ebenso wie psychologischen Methoden. Die im Rahmen dieser Forschungen sich ergebenden Hypothesen und Theorien werden durch den Bau von Computersystemen validiert, indem entsprechende kognitive Funktionen mittels dieser Systeme simuliert werden. Die Intellektik versteht sich aus diesem Grunde 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 üblich, jederzeit nachvollziehbar bzw. reproduzierbar sein müssen. Die Voraussetzung hierfür ist unter anderem eine begriffliche Schärfe, die sich mathematische Formalismen zunutze macht.

Die fünfzigjährige Entwicklung der Intellektik ist von großen Forschungserfolgen geprägt. Nicht nur hat sie tiefe Einsichten in das Verständnis der genannten Themen einschließlich von Kreativität hervorgebracht, 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 im letzten Abschnitt 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.<sup>13</sup>

Eine große Systemklasse befaßt sich mit der Repräsentation von Wissen im Computer 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 (WWW) in unterschiedlichsten Rollen tätig, beispielsweise im elektronischen Handel (e-commerce, zB. Ebay).

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. Ihre Technologie kommt bei jeder Google Suche im WWW zum 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“).

Viele der in diesen Systemklassen entstandenen Systeme erbringen auch Leistungen, die (im schwachen Sinne) als kreativ eingeschätzt werden können, weil sie entsprechende Leistungen von Menschen in den jeweiligen Funktionen teilweise erreichen oder sogar übertreffen.

## **4. Forschungsstrategie und ihre Anwendung auf Kreativität**

Wie wir im letzten Abschnitt beschrieben haben, besteht die generelle *Forschungsstrategie* der Intellektik darin, auf der Grundlage von Kenntnissen ua. aus Psychologie, Neurologie und Philosophie Modelle zu definieren, innerhalb derer eine Fragestellung aus der Kognition dann wissenschaftlich präzise untersucht werden kann. In solcher Präzision läßt sich die Fragestellung 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.<sup>14</sup>) Diese Forschungsstrategie läßt sich nicht zuletzt auch im Hinblick auf ein vertieftes Verständnis von Kreativität anwenden. 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.<sup>15</sup> In der Definition lassen sich unterschiedliche Formen von Kreativität präzisieren, beispielsweise *kombinierende*, *explorative* und *transformative* Kreativität.<sup>16</sup> Mittels der zugrundegelegten, variierbaren Wertmaßstäbe läßt sich auch das in Abschnitt~1 unter dem Stichwort der Kreativität im starken Sinne genannten Phänomen modellieren, nach dem der Kreativitätsbegriff ua. 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 dem Leser 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 oder sonstwie kreativen Menschen 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.<sup>17</sup> 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, nämlich das Finden derartiger Regelmäßigkeiten in Daten.

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 zu der des bekannten Boyle-Mariotteschen Gesetzes) führten, nachzuvollziehen. Quasi als Ausblick auf mögliche 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.<sup>18</sup> 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.<sup>19</sup> 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 Cope<sup>20</sup>, 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 aus 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.<sup>21</sup> Sie betreffen vor allem die entscheidenden Parameter Tempovariation, Dynamik und Artikulation. Umgekehrt kann er mit diesen Methoden Interpreten an deren Charakteristika automatisch wiedererkennen.<sup>22</sup> 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.<sup>23</sup> 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 berühmten italienischen Architekten Andrea Palladio aus dem Sechzehnten Jahrhundert.<sup>24</sup> Es gibt Geschichten erzählende Programme wie MINSTREL,<sup>25</sup> das die KI-Technik des fallbasierten Schließens verwendet. Es gibt Programme, die Witze erfinden, wie beispielsweise JAPE.<sup>26</sup> Im Media Lab des MIT werden Systeme in vielfältiger Weise, beispielsweise zur kreativen Gestaltung sowie vor allem auch zum Erlernen kreativen künstlerischen Schaffens herangezogen.<sup>27</sup>

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.<sup>28</sup> 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 den wenigen im vorangegangenen Abschnitt beschriebenen Beispielen 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.<sup>29</sup> 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.<sup>30</sup>

Besonders spannend für das Verständnis menschlicher Kreativität werden diese Forschungen, wenn sie Erfahrungswissen<sup>31</sup> und experimentell gefundene Kenntnisse über kognitive Verarbeitungsmechanismen<sup>32</sup> 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 Rowe<sup>33</sup> sowie die Arbeiten von Alison Gopnik und Kollegen,<sup>34</sup> 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. Insgesamt ist gerade ein derartiger Themenkomplex wie die Kreativität prädestiniert für eine interdisziplinäre Zusammenarbeit, bei der die Lösungen auf verschiedenen Ebenen koevolvieren. Raschere Erfolge verspricht eine echte Konvergenz von Disziplinen, wofür die Intellektik exemplarisch steht, auch wenn ihr die (anderen Disziplinen zur Verfügung stehenden) organisatorischen Rahmenbedingungen noch weitgehend fehlen.

Was die in den bisherigen Experimenten erzielten Einsichten anbelangt, 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 an dieser Stelle nochmals an die Unterscheidung des Abschnitt 1 von Kreativität im schwachen und im starken Sinne hingewiesen. Danach sind menschliche Kunstwerke 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.<sup>35</sup> 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) beitragen, die für unsere Gesellschaft ja allgemein gewünscht wird.

Kompulersysteme 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, wie bereits mehrfach betont wurde. 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, der am Beginn von Abschnitt 4 kurz umrissen wurde. Nach Abschätzungen besteht dieser Raum größenordnungsmäßig aus Hunderten Millionen von Einheiten.<sup>36</sup> Das größte der in dieser Arbeit 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.<sup>37</sup> Ohne Beurteilung des Produkts eines kreativen Prozesses auch unter den Gesichtspunkten gesellschaftlicher Wertmaßstäbe ist aber umfassendere Kreativität nicht denkbar, worauf im Abschnitt 1 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*.<sup>38</sup> 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“ (m für Maschine) bezeichnet wird, weil dies nach meinem Urteil eine reine Geschmacksfrage ist, die mit Wissenschaft nicht das Geringste zu tun hat. Persönlich würde ich in dieser Frage zu der Haltung neigen, die Turing in dem Motto zum Ausdruck gebracht hat, das dieser Arbeit vorangestellt ist. Allerdings habe ich 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.<sup>39</sup>

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“,<sup>40</sup> 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.<sup>41</sup> 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 innerhalb der Intellektik bzw. in engstem Verbund mit KI, Kognitions- und Neurowissenschaft geführt wird.

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.<sup>42</sup> 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 Freiheit wissenschaftlicher Neugier sollte davon nicht tangiert werden.

---

<sup>1</sup> Teile des vorliegenden Textes sind von der folgenden Arbeit adaptiert worden: W. Bibel, Kreativität aus Sicht der Intellektik – Verständnis und künstliche Realisierung. In: Kreativität, XX. Deutscher Kongreß für Philosophie, Kolloquienbeiträge (Günter Abel, Hrsg.), Berlin 26.–30.9.05, Felix Meiner Verlag, Hamburg, 885–909 (2006).

<sup>2</sup> von lat. *creatio* – Schöpfung

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> 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).

<sup>5</sup> 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>.

<sup>6</sup> 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).

<sup>7</sup> Jens Otten and Wolfgang Bibel, *leanCoP: Lean Connection-Based Theorem Proving*. Journal of Symbolic Computation, Bd. 36, 139–161 (2003). Jährlich findet im Rahmen der internationalen Conference on Automated Deduction unter dem Namen CASC ein internationaler Wettbewerb unter den weltweit besten Beweissystemen statt. In diesem Jahr 2007 landete in der Gesamtbewertung leanCoP sogar vor Otter.

<sup>8</sup> W. Bibel, *Intellectics*. In: Encyclopedia of Artificial Intelligence, 2. Aufl. (S.C. Shapiro, Hrsg.), John Wiley, New York, 705f (1992).

<sup>9</sup> 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).

<sup>10</sup> 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 *koevolvieren*, indem sie sich gegenseitig korrigieren und befruchten.“ Siehe Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.465f (2005).

<sup>11</sup> 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, auf das jüngste meiner Bücher verweisen zu verweisen: Wolfgang Bibel, *Lehren vom Leben – Essays über Mensch und Gesellschaft*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden (2003).

<sup>12</sup> Alfred Nordmann et al. *Converging Technologies*. Report EUR 21357, European Commission (2004).

[http://www.ntnu.no/2020/pdf/final\\_report\\_en.pdf](http://www.ntnu.no/2020/pdf/final_report_en.pdf)

<sup>13</sup> Ausführliches Material hierzu findet man in dem Standardlehrbuch: Stuart J. Russell und Peter Norvig, *Künstliche Intelligenz: Ein moderner Ansatz*. 2. Aufl. Prentice Hall Series.

<sup>14</sup> 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).

<sup>15</sup> Die formale Repräsentation und Verarbeitung impräziser 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).

<sup>16</sup> Margaret A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. 2. Aufl. Routledge, London (2004), S.3ff.

<sup>17</sup> 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).

<sup>18</sup> 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).

<sup>19</sup> 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>.

<sup>20</sup> David Cope, *Virtual Music: Computer Synthesis of Musical Style*. MIT Press, Cambridge MA (2001).

<sup>21</sup> 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).

<sup>22</sup> Efsthios Stamatatos und Gerhard Widmer, *Automatic identification of music performers with learning ensembles*. *Artificial Intelligence Journal* 165(1), 37–56 (2005).

<sup>23</sup> Harold Cohen, *A Million Millennial Medicis*. In: *Intersection and Correspondence: Explorations in Art and Technology*, Springer, London, 91–104 (2002).

<sup>24</sup> G. Hersey and R. Freedman, *Possible Palladian Villas (Plus a Few Instructively Impossible Ones)*. MIT Press, Cambridge MA (1992).

<sup>25</sup> Scott R. Turner, *The Creative Process: A Computer Modell of Storytelling and Creativity*. Lawrence Erlbaum, Hillsday NJ (1994).

<sup>26</sup> Kim Binsted, H. Pain and G.D. Ritchie, *Children's Evaluation of Computer-Generated Punning Riddles*. *Pragmatics and Cognition* 5(2) (1997).

<sup>27</sup> John Maeda, *Creative Code*. Thames & Hudson (2004). Auch auf Deutsch verfügbar.

<sup>28</sup> Hanns Hatt von der Ruhr-Universität Bochum hat für diese Forschungen 2005 den Philip Morris Forschungspreis 2005 erhalten.

<sup>29</sup> 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).

<sup>30</sup> Siehe Wolfgang Bibel, *Lehren vom Leben – Essays über Mensch und Gesellschaft*, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden (2003), Abschnitt 5.4.

<sup>31</sup> Siehe zB. Daniel Goleman, Paul Kaufman und Michael Ray, *Kreativität entdecken*. Hanser, München (1997).

<sup>32</sup> 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).

<sup>33</sup> Derek Partridge and Jon Rowe, *Computers and Creativity*. Intellect, Oxford (1994).

<sup>34</sup> Siehe zB. Alison Gopnik & Laura Schulz, *Mechanisms of theory formation in young children*. *Trends in Cognitive Science*, 8(8), 371–377 (2004).

<sup>35</sup> 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).

<sup>36</sup> 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.

---

<sup>37</sup> Gunter Grieser, *Selbsteinschätzende Lernverfahren: Möglichkeiten und Grenzen*. Akademische Verlagsgesellschaft AKA, Berlin (2002).

<sup>38</sup> Margaret A. Boden, *The Creative Mind: Myths and Mechanisms*. 2. Aufl. Routledge, London (2004), S.286ff.

<sup>39</sup> 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.

<sup>40</sup> Thomas Metzinger (Hrsg.), *Bewußtsein: Beiträge aus der Gegenwartsphilosophie*. 5. Aufl. Mentis Verlag, Paderborn, S.43f (2005).

<sup>41</sup> aaO. S.40ff.

<sup>42</sup> 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).