

Hard Computing – Artificial Intelligence – Soft Computing

– Vom Computer als Rechensystem
zur von lebendigen Systemen inspirierten „Maschinenintelligenz“

Rudolf Seising

European Centre for Soft Computing,
Mieres, Asturias (Spanien)
rudolf.seising@softcomputing.es

Abstract: Anders als das exakte „Hard Computing“ setzt „Soft Computing“ auf Vagheit, Unschärfe und auf die Nachbildung von Problemlösungsstrategien, die in der Natur erfolgreich sind. Es umfasst die Theorien der Fuzzy Sets and Systems, der künstlichen Neuronalen Netze und der evolutionären bzw. genetischen Algorithmen. Im Text werden historische und philosophische Aspekte seiner Entwicklung diskutiert und insbesondere die Bezüge zum Begriff der Intelligenz.

1 Einleitung

In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts wurden Analog- und Digitalrechner konstruiert, logische Sprachen entwickelt und im Anschluss an Alan M. Turings theoretisches Konzept für die Computertechnologie (universelle Turingmaschine) logisch-mathematische Automatentheorien und informationstheoretische Konzepte für Computer und Gehirnmodelle entworfen. In seinem 1950 erschienenen Artikel *Computing Machinery and Intelligence* beschäftigte sich Turing mit der Frage: „Can machines think?“ [Tu50], nun bezeichnete man Computer als „giant brain“, „electronic brain“, oder „thinking machine“ [Be49, ZA50, Ma93] und 1956 wurde „Künstliche Intelligenz“ (*Artificial Intelligence*, AI) nach dem sechswöchigen *Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence* in Hannover, New Hampshire die Bezeichnung für ein interdisziplinäres Forschungsgebiet mit der Zielsetzung, Aspekte des Lernens oder anderer Eigenschaften von Intelligenz prinzipiell derart exakt zu beschreiben, dass eine entsprechend gebaute Maschine diese Fähigkeiten simulieren könne [Mc55]. In den anschließenden Jahrzehnten war die Frage, ob ein menschliches Gehirn wie eine solche Rechenanlage funktioniere, sowohl in den Computerwissenschaften als auch in der Philosophie Anlass für kontroverse Diskussionen, doch schließlich wurde der Computer zur Metapher der *Artificial Intelligence* und der Intelligenz überhaupt! In der letzten Dekade des 20. Jahrhunderts setzte allerdings eine gegensätzliche Entwicklung ein: Menschliche Fähigkeiten, natürliche Strukturen und Prozesse bilden die Grundlage des *Soft Computing* (SC) – ein schnell wachsendes und inzwischen der *Artificial Intelligence* (AI) zugeordnetes Forschungsfeld, das sich allerdings in der Zielvorstellung einer „Maschinenintelligenz von der „alten“ AI unterscheidet.

1980 führte der Philosoph John Searle die Unterscheidung zwischen „starker“ und „schwacher“ AI ein: In der *schwachen* AI ist der Computer ein Instrument zur *Simulation* einiger Fähigkeiten des *menschlichen* Geistes und somit zu dessen Untersuchung geeignet, in der *starken* AI gesteht man dem entsprechend programmierten Computer auch *eigenen* Geist mit kognitiven Zustände zu. Searle griff dann die *starke* AI mit dem Argument an, dass die Simulation eines Zustands nicht mit dem Zustand selbst identisch ist. Ihre Gleichsetzung sei vielmehr ein Kategorienfehler.¹ Ein Computer habe keinen Geist und könne daher auch nicht denken! [Se80] Die größtenteils und in erster Linie an Lösungen konkreter Probleme interessierten Wissenschaftler des SC trifft diese Kritik zunächst nicht, doch bleibt dennoch zu fragen, wie der von einigen SC-Forschern für künstliche Systeme angestrebte „human level of machine intelligence“ interpretiert werden soll. Neben wissenschaftshistorischen Untersuchungen zum SC stehen auch entsprechende philosophische Reflexionen noch weitgehend aus! [Se05 Se07, Se09]

2 Soft Computing

Auch der spätere Berkeley-Professor Lotfi A. Zadeh hatte 1950 in den „Thinking Machines“ „A New Field in Electrical Engineering“ gesehen [Za50], doch nachdem er 1965 die Theorie der *Fuzzy Sets and Systems* begründete [Za65], die seit den 1980er Jahren wissenschaftlich-technisch etabliert ist, betonte er den prinzipiellen Unterschied zwischen „Intelligenz“ und „Denken“ bei Rechner und Mensch, und gegen die Computer-Metapher der AI setzte er sein Forschungsziel “Making Computers Think like People” [Za84]. Rechner sollen neben dem von ihnen perfekt beherrschten *Computing with Numbers* auch die bisher nur den Menschen eigene Fähigkeit *Computing with Words* (CW) erhalten [ZA96, Za99]. Inspiriert von der “remarkable human capability to perform a wide variety of physical and mental tasks without any measurements and any computations” schlug Zadeh diese auf der Theorie der Fuzzy Sets and Systems basierende Methodologie in den 90er Jahren als Gegenüber zum *Hard Computing* (HC) vor, und schließlich visierte er wiederum inspiriert von der “bemerkenswerten menschlichen Fähigkeit“ „to operate on, and reason with, perception-based information“ eine auf dem CW basierende „Computational Theory of Perceptions“ (CTP) an [Za01a]. Mit der aufsteigenden Methodologie-Hierarchie von *Fuzzy Sets and Systems*, CW und CTP sieht Zadeh im SC eine neue Dimension der AI – die freilich ganz andere Anforderungen stellt, als die „alte“, dem HC verhaftete AI. Eine auf Wahrnehmungen (perceptions) basierende Informationsverarbeitung wird nicht ohne Wissen aus den Lebens- und Sozialwissenschaften entwickelt werden können, daher werden die Forschungsziele des SC nur durch interdisziplinäre Arbeit, z. B. gemeinsam mit Neurowissenschaftlern, Psychologen, Soziologen und Philosophen, zu erreichen sein: “progress has been, and continues to be, slow in those areas where a methodology is needed in which the objects of computation are perceptions – perceptions of time, distance, form, and other attributes of physical and mental objects.” ([44], p. 73)

¹ Searle illustrierte seine Argumentation mit dem Gedankenexperiment vom „Chinese Room“, das als Replik auf Turings „Imitationsspiel“ als Methode zur Beantwortung der Frage, ob ein Computerprogramm denken kann und auf der Basis des theoretischen Konzepts der Turing Maschine gelesen werden kann.

Zwar wissen wir, dass unser Gehirn jederzeit von Sinnesdaten durchflutet wird, doch weder verstehen wir, wie unser Gehirn die von unseren Sinnen (Sehen, Hören, Riechen, Schmecken, Tasten) kommenden Daten (oder auch jene des Schmerz-, Hitze-, Kälte-, Schwereempfindens) analysiert, noch wissen wir, wie unser Gehirn diese Informationen in Wahrnehmungen wandelt. Es scheint sich dabei um eine aktive und konstruktive Transformation zu handeln, das Gehirn bildet und interpretiert die Inputs der Sinne und liefert Wahrnehmungen als Output. Aus vielen Beispielen ist bekannt, dass identische Sinnes-Inputs zu durchaus unterschiedlichen Wahrnehmungs-Outputs führen können, so dass wirklich Interpretationen geleistet werden. Diese Prozesse sind mit unseren bis heute geschaffenen Methoden exakter Wissenschaft aber nur ansatzweise verstehbar. Ziel der CTP ist es, hier aufgrund ihrer Toleranz gegenüber Unschärfe und Ungewissheiten neue Resultate zu erlangen.

Im Jahre 1991 etablierte Zadeh das Forschungsgebiet des *Soft Computing* (SC), zu dessen theoretischem und methodischem Instrumentarium neben *Fuzzy Sets and Systems* auch die *künstlichen Neuronalen Netzwerke*, die *evolutionären* und *genetischen Algorithmen* zählen [Za94a] – Gebiete die sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts weitgehend unabhängig voneinander entwickelt hatten, denen aber die Imitation von auf natürlichem Wege entwickelten Strukturen oder Verhaltensweisen gemeinsam ist, um Problemlösungsverfahren zu optimieren, die mit Hilfe des auf der klassischen Mathematik beruhenden HC nicht oder nur schwer zu lösen sind.

„The concept of soft computing crystallized in my mind during the waning months of 1990“ schrieb Zadeh später und dass er damals auch den Plan fasste, die *Berkeley Initiative in Soft Computing* (BISC) zu gründen, übrigens auch um nationalistischen Tendenzen im Wissenschaftsbereich entgegenzuwirken. SC sollte kein homogenes Gebilde von Ideen und Techniken sein. Vielmehr sollten sich in diesem Verbund verschiedene Methoden partnerschaftlich einem gemeinsamen und wichtigen Ziel widmen: der wissenschaftlichen Ausschöpfung von Toleranz gegenüber Ungenauigkeit und Ungewissheit um Lenkbarkeit, Robustheit und kleine Lösungskosten zu erreichen [Za01b].

Die Theorien und Methoden des SC unterscheiden sich von denen des HC in charakteristischer Weise: Während bei Ersterem aus eindeutig definierten Daten vermittels präziser Berechnungsvorschriften Schlussfolgerungen erzielt bzw. Optima berechnet werden, berücksichtigt Letzteres unklar definierte Begriffe, Unexaktheiten, Vagheiten, unscharfes Wissen. Während sich die starr regelbasierten Programme des HC insbesondere zur Programmierung von Rechenverfahren und zur Simulation logischen Denkens, Planens und Entscheidens eignen, zielt SC auf die „präintelligenten“ Fähigkeiten des flexiblen und fehlertoleranten Wahrnehmens und Reagierens, die der Mensch mit seinem Sinnes- und Bewegungsapparat realisiert, die von den technisch realisierten Lösungen aber keineswegs „nur“ imitiert werden.

2.1 Fuzzy Sets and Systems

Die Theorie der Fuzzy Sets war von Zadeh als Basis für eine verallgemeinerte Systemtheorie entwickelt worden [Se07]. In den frühen 1960-er Jahren konstatierte er nach jahrelanger wissenschaftlicher Arbeit in Schaltungs-, Filter- und Systemtheorie eine „fundamentale Unzulänglichkeit der hergebrachten Mathematik“ – „the mathematics of precisely-defined points, functions, sets, probability measures, etc.“ – um biologische oder auch von Menschenhand gefertigte hoch-komplexe Systeme analysieren zu können. Konsequenterweise forderte er daraufhin: „we need a radically different kind of mathematics, the mathematics of fuzzy or cloudy quantities which are not describable in terms of probability distributions.“ [Za62] Im Sommer 1964 entwickelte Zadeh dann eine solche „andere Mathematik“ unscharfer Größen [Za65]. Seine Theorie der Fuzzy Sets and Systems ist inzwischen weltbekannt – vor allem dank der vielen technischen Anwendungssysteme, die seit dem „Fuzzy-Boom“ in den 1980-er Jahren entstanden sind.

2.2 Künstliche Neuronale Netze

Schon 1943 hatten Warren McCulloch und Walter Pitts ein Modell für künstliche Neuronennetze und deren Verknüpfungen vorgestellt, die sie mit einem vollständigen Logikkalkül für Signale in elektrischen Schaltungen identifizierten [Mc43]. John von Neumann verwendete diese Analogie zwischen Neuronen- und Schaltungsnetzen zwei Jahre später zur Darstellung der logischen Prinzipien eines ersten speicherprogrammierten Computers [Ne45], zu Beginn der 1950er-Jahre hatten Marvin Minsky und Dean Edmonds in Princeton den allerdings nie praktisch eingesetzten Neurocomputer *Snark* (*Stochastic Neural-Analog Reinforcement Computer*) entwickelt, und an der Cornell University konstruierte der Psychologe Frank Rosenblatt mit Charles Wightman in den 1950er-Jahren das *Mark I Perceptron*, das Rosenblatt 1958 als eine zu eigenen Gedanken fähige Maschine bezeichnete [Ro58].

1968 zeigten dann Minsky und Seymour Papert, dass Rosenblatts Perceptron mit dem „Entweder-Oder“ (XOR) eine der grundlegenden Operationen der Aussagenlogik nicht darstellen kann [Mi69]. Dieser Rückschlag wurde missverständlich auf die nahezu gesamte auch *Konnektionismus* genannte Erforschung künstlicher neuronaler Netze übertragen, die damit schlagartig als uninteressant galt und nicht mehr gefördert wurde.

In den 1980er-Jahren lebte der AI-Forschungszweig der *künstlichen neuronalen Netze* wieder auf: Eine Gruppe von Forschern um James McClelland konnte zeigen, dass nach Erweiterung des Perceptrons durch Zwischenschichten dessen Unvermögen, alle aussagenlogischen Verknüpfungen darzustellen, behoben werden konnte [Ru86]. Die Multi-Layer-Perceptrons standen nun am Anfang des *Parallel Distributed Processing* (parallele verteilte Verarbeitung) als neuer Richtung der AI-Forschung, die heute ein großes Forschungspotential bietet und bindet.

2.3 Evolutionäre und Genetische Algorithmen

Die *Evolutionären Algorithmen* wurden in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts ebenfalls nach dem Vorbild biologischer Prozesse konstruiert. Sie entwickelten sich aus den so genannten *Genetischen Algorithmen* und *Evolutionstrategien*. Erstere gehen auf die Dissertation von John Daniel Bagley zurück, der Lösungen für spieltheoretische Probleme suchte [Ba67]. In ihrer heute bekannten Form wurden Genetische Algorithmen allerdings von Bagleys Doktorvater John Henry Holland an der University of Michigan entwickelt, der 1975 in dem Buch *Adaptation in natural and artificial systems* zusammenfassend beschrieb, wie diese „naturanalogen“ Suchalgorithmen zur Bearbeitung praktischer Probleme verwendet werden können [Ho75]. Schließlich beschrieb David E. Goldberg 1983 in seiner Dissertation die erste erfolgreiche Anwendung Genetischer Algorithmen zur Optimierung der Steuerung von Gasleitungssystemen [Go83].

In Berlin dachte der Flugzeugbau-Student Ingo Rechenberg in den 1960er Jahren über „Evolutionstrategien“ für die „Kybernetische Lösungssteuerung einer experimentellen Forschungsaufgabe“ nach [Re66]. 1966 gründete er mit Peter Bienert und Hans-Paul Schwefel die inoffizielle Arbeitsgruppe *Evolutionstechnik* an der TU Berlin, doch ihre Forschungen wurden damals nicht gefördert – erst in den 1970er Jahren wandelte sich das Blatt: 1972 wurde Rechenberg Professor für das Fachgebiet Bionik und Evolutionstechnik an der TU Berlin, 1973 erschien sein Buch *Evolutionstrategie – Optimierung technischer Systeme nach Prinzipien der biologischen Evolution* [Re73] und 1975 promovierte Schwefel bei ihm über *Evolutionstrategie und numerische Optimierung* [Sc75].²

Die Verfahren der Evolutionstrategien und der Genetischen Algorithmen wurden unter verschiedenen Gesichtspunkten und völlig unabhängig voneinander entwickelt. Dabei gehen die Genetischen Algorithmen genauer auf die Gegebenheiten der natürlichen Evolution ein als die *Evolutionstrategien*, die auf eine sinnvolle und zugleich möglichst kompakte Codierungsart ausgerichtet waren.

2.4 Soft Computing – Mixtur verschiedener Technologien

Den hier dem SC zugeschriebenen Theorien und Methoden – zuweilen wird die Liste auch erweitert (z. B. um Probabilistic Reasoning, Belief Networks, Chaos Theory und Quantum Computing) – ist gemeinsam, dass sie abseits des klassisch-logischen Schließens und der klassisch exakten Modellierung stehen, sie basieren also nicht auf Boolescher Logik und analytischen Modellen, und es geht beim SC auch nicht um eindeutige Klassifikation oder deterministische Suchverfahren. Ließen sich die zu lösenden Probleme entsprechend ideal formulieren, so wären die zu modellierenden bzw. zu regelnden Systeme auch vollständig und präzise beschreibbar und ihr Zustand bzw. ihr Verhalten wäre eine Angelegenheit der für die AI typischen Inferenz-Systeme.

² Siehe auch den Beitrag von Hans-Paul Schwefel *eVolution seit dem Beginn der Informatik* in diesem Band.

Es sind aber nicht die ideal formulierten sondern die „real-world problems“, die SC zu lösen angetreten ist: Sie sind schlecht definiert, schwierig (wenn nicht unmöglich) zu modellieren, und sie haben große Lösungsräume. Hier sind exakte Modelle (wenn es sie überhaupt gibt) unpraktisch und zu teuer. Oft liegen nur empirisches Wissen bzw. das Systemverhalten beschreibende Input-Output-Daten vor – ungenaue Information, aus der nur ungenau gefolgert werden kann. „Soft Computing technologies provide us with a set of flexible computing tools to perform these approximate reasoning and search tasks.“ [Bo97]

3 Soft Computing and (Computational) Intelligence

1995 schrieb Hans Jürgen Zimmermann als Herausgeber des Journals *Fuzzy Sets and Systems* in einem Editorial, dass mittlerweile viele Anwendungen bekannt geworden seien, in denen Fuzzy-Konzepte mit künstlichen Neuronen Netzen kombiniert bzw. Genetische und Evolutionäre Algorithmen in Fuzzy-Algorithmen benutzt wurden. Da sich diese Entwicklung sehr wahrscheinlich auch in Zukunft fortsetzen würde, suchte er nach einem Namen für das gemeinsame Forschungsfeld, der dann auch im Untertitel der Zeitschrift erscheinen sollte: „*Soft Computing, Biological Computing or Computational Intelligence* have been suggested so far.“ Diese Begriffe seien verschieden attraktiv aber auch verschieden ausdrucksstark [Zi95].

Computational Intelligence (CI) war von dem Informatiker James C. Bezdek eingeführt worden: “A system is computationally intelligent when it: deals with only numerical (low-level) data, has pattern recognition components, does not use knowledge in the AI sense; and additionally when it (begins to) exhibit 1) computational adaptivity, 2) computational fault tolerance, 3) speed approaching human-like turnaround and 4) error rates that approximate human performance.” [Be94] Das Adjektiv *computational* soll auf die subsymbolische (numerische) Problemrepräsentation und die daraus folgende subsymbolische Wissensaggregation und Informationsverarbeitung hinweisen. Damit wird der rechnerische Aspekt gegenüber dem symbolischen Vorgehen betont.

Der Begriff *Computational Intelligence* mag allerdings nur so lange verführerisch sein, wie der Begriff der Intelligenz noch nicht besser als zurzeit definiert werden konnte, gab Bezdek zu bedenken, und hier pflichtete ihm Zimmermann bei, der schließlich als Namen für das Forschungsgebiet – und damit auch als Untertitel der Zeitschrift – *Soft Computing and Intelligence* vorschlug, da die anderen Begriffe ihm zu sehr das „Rechnen (computing)“ betonten, „which is certainly not appropriate at least for certain areas of fuzzy set theory“ [Zi95].

Damals war CI eine Sammlung von Methoden, doch inzwischen versucht man, das Forschungsgebiet griffiger zu charakterisieren. Welchen Problemen widmet sich die CI-Forschung? – Der Informatiker Włodzisław Duch schrieb vor zwei Jahren: „CI studies problems for which there are no effective algorithms, either because it is not possible to formulate them or because they are NP-hard and thus not effective in real life applications!“

Er definierte CI als “branch of science studying problems for which there are no effective computational algorithms. Lebende Gehirne können solche Probleme auf vielerlei Arten lösen, Organismen lösen entsprechende Probleme tagtäglich: „extracting meaning from perception, understanding language, solving ill-defined computational vision problems thanks to evolutionary adaption of the brain to the environment, survival in a hostile environment.“ [Du07] Bei der Untersuchung dieser in der Natur entwickelten Strategien betrachten wir allerdings die Grundlagen der natürlichen Intelligenz, die aufgrund der Flexibilität lebender Organe ihr Ziel auf verschiedenen Wegen erreichen kann. Offenbar rühren wir hier an die wesentlichen Unterscheidungsmerkmale zur künstlichen Intelligenz (AI), die auf Such- und Maschinenlernalgorithmen, symbolischer Wissensrepräsentation, regelbasierten Expertensystemen und Logik beruht. Duch schlägt vor, CI als das umfassendere Gebiet der Computer- und Ingenieurwissenschaften aufzufassen und AI als denjenigen Teil der CI, der auf die Problemlösungen vermittelt höherer kognitiver Funktionen abzielt, während der neuere Teil, die eigentliche CI, mit „low-level cognitive functions“ befasst ist: „perception, object recognition, signal analysis, discovery of structures in data, simple associations and control.“ Die Ziele der CI im engeren Sinne orientieren sich also nicht an „high level cognition processes“, ihr geht es nicht nur um das Studium intelligenter Agenten sondern um das Verständnis nicht algorithmisierbarer Prozesse, in denen Lebewesen (Menschen und auch einige Tiere) mit ihrer jeweiligen Kompetenz Probleme sehr gut lösen, und die nun ingenieurtechnisch in Hard- und Softwaresystemen möglichst ähnlich realisiert werden sollen. [Du07]

Luis Magdalena, der Leiter des *European Centre for Soft Computing* im spanischen Mieres charakterisiert die CI deshalb als diejenigen Anteile wissenschaftlicher Forschung, deren Probleme kein exaktes Modell haben, oder in denen ein Modell existiert, deren Betrachtung aber nicht effektiv ist, d. h. „when we need to reduce the granularity or soften the goal.“ Diese Beschreibung passt wiederum zu seiner zuvor gegebenen Charakterisierung des „SC as the opposite to hard computing or based on its essential properties“, so dass SC und CI weitgehend deckungsgleiche wissenschaftliche Gebiete sind: „So, apparently there is no significant difference in between Soft Computing and Computational Intelligence.“ [Ma08]

Die Bezeichnung *Soft Computing and Intelligence*, mit der Zimmermann 1995 das neue Forschungsfeld charakterisierte, das sich insbesondere auch durch hybride Forschungsansätze aus den einzelnen Disziplinen auszeichnet, war jedenfalls enger gefasst als *Artificial Intelligence*; beiden Namen ist allerdings der Begriff „Intelligence“ gemein, dessen Definition aus dem *Random House Dictionary* Zimmermann damals zitierte: „Capacity for reasoning, understanding and for similar forms of mental activity.“ Er fügte hinzu, dass diese Formulierung, sich mit jener Vorstellung decke, die von den Herausgebern der Zeitschrift *Fuzzy Sets and Systems* schon bei ihrer Gründung (1975) als zentral für die Fuzzy Set Theorie angesehen wurde [Zi95].

Mit SC bzw. CI wird ein Brückenschlag zwischen den von der Natur inspirierten bzw. den „naturalanalogen“ Verfahren einerseits und den auf dem HC beruhenden herkömmlichen Gebieten der Informatik andererseits angeboten. Im HC waren vor allem Werkzeuge entwickelt worden, die auf Symbolmanipulation und Prädikatenlogik basieren. Deren Potenzial zur Lösung realer Probleme ist allerdings sehr begrenzt.

Diese Grenzen werden von den SC-Theorien und -methoden und ihren hybriden Zugängen überschritten, und darüber hinaus ist das erklärte Ziel der *Computational theory of perceptions* „the development of an automated capability to reason with perception-based information“. Für die „alte AI“ war dies nicht zielführend, hier folgt man dem Galilei zugeschriebenen Diktum „Man muss messen, was messbar ist, messbar machen, was es nicht ist.“ Aus Sicht des SC ist die Reduktion von nicht Messbarem – z. B. Wahrnehmungen (perceptions) – auf Messgrößen dagegen unrealistisch und kontraproduktiv.

4 Schluß: Intelligenz und Soft Computing

Die Begriffe der Intelligenz und insbesondere des Intelligenzquotienten wurden im 20. Jahrhundert sehr kontrovers diskutiert und die Debatte setzt sich offenbar unvermindert in der Gegenwart fort.³ Neben der Ablehnung des IQ-Begriffs als u.a. sozial bzw. ethnisch diskriminierend [Ja45, Sc78] oder klassistisch [Bo] gibt es auch die grundsätzlichen Bedenken, ob Intelligenz überhaupt messbar sei. So kritisierte Stephen Jay Gould 1981 ganz prinzipiell das Unterfangen, die natürliche Intelligenz als eine einheitliche Größe aufzufassen und zu messen zu versuchen. Diese so genannte Größe „Intelligenz“ sei aber eine wahllose Zusammenstellung kognitiver Fähigkeiten. [Go81]. Howard Gardner wiederum argumentiert, dass viele Fähigkeiten durch den IQ gar nicht erfasst würden. Er identifiziert daraufhin verschiedene Intelligenzen – logisch-mathematische, linguistische, musikalische, räumliche, körperlich-kinästhetische, interpersonale, intrapersonale und ökologische Intelligenz – die der IQ-Test gar nicht alle misst [Ga83, Ga93, Ga99].

1994 führte Zadeh ein Maß für die „Intelligenz“ künstlich hergestellter und mittlerweile „intelligent“ genannter Systeme ein, den Maschinen-Intelligenzquotienten (MIQ): “In retrospect, the year 1990 may well be viewed as the beginning of a new trend in the design of household appliances, consumer electronics, cameras, and other types of widely used consumer products. The trend in question relates to a marked increase in what might be called the Machine Intelligence Quotient (MIQ) of such products compared to what it was before 1990. Today, we have microwave ovens and washing machines that can figure out on their own what settings to use to perform their tasks optimally; cameras that come close to professional photographers in picture-taking ability; and many other products that manifest an impressive capability to reason, make intelligent decisions, and learn from experience.” [Za94b]. Am Ende des 20. Jahrhunderts sah er in die Zukunft, und er sah ein „Zeitalter der künstlichen intelligenten Systeme“ vor uns, die einen weit höheren MIQ haben werden, als die uns heute bekannten.

³ Einiges Aufsehen hat in jüngster Zeit Hans Magnus Enzensberger mit seiner Schrift [En07] erregt.

Selbstverständlich sind der IQ (als Maß für menschliche Intelligenz) und der MIQ (als Maß für künstliche Intelligenz) nicht gleichzusetzen. Zadeh versteht den MIQ spezifisch auf das jeweilige Produkt bezogen, für das System entsprechend konzipiert und dimensioniert und in der Zeit veränderlich. Eine wichtige Dimension sei z. B. die Spracherkennung, die im Falle des IQ dagegen als selbstverständlich angenommen wird. Der MIQ für eine Kamera aus dem Jahre 1990 könne sinnvollerweise nur mit dem anderer Kameras etwa desselben Herstellungsdatums verglichen werden; diese Werte sind dann wohl niedriger als die MIQ's für Kameras aus dem Jahre 2005. IQ-Konzepte, zur Erfassung der menschlichen Intelligenz gehen dagegen von einem mehr oder weniger konstant bleibenden menschlichen Intelligenzniveau aus.

In der Psychologie umfasst der Begriff der (natürlichen) Intelligenz die kognitiven Fähigkeiten des Menschen, Probleme zu lösen, Sprache zu benutzen, Wissen anzuwenden, zu verstehen. Derart hochentwickelte Kognition entzieht sich der Erfassung durch HC-Technologien, denn sie ist keine in Experimenten an Lebewesen zu messende Größe und lässt sich offenbar auch nicht einfach aus mehreren solcher messbaren Größen zusammensetzen. Unter Artificial Intelligence (AI) versteht man in der „schwachen“ Variante die Simulation natürlicher Intelligenz mittels Computertechnologie, während die „starke“ AI sich das Ziel setzt, aufgrund hard- und softwaretechnologischer Entwicklungen in (vielleicht ferner) Zukunft auch Computersystemen diese kognitiven Fähigkeiten zuschreiben zu können.

Wenn also „Maschinenintelligenz“ messbar und der von Zadeh vorgeschlagene MIQ ein dafür stehendes Maß sein soll, dann können die zur Maschinenintelligenz zusammengesetzten Größen nicht mit den kognitiven Fähigkeiten von Lebewesen identisch sein. Es kann sich dabei bestenfalls um deren approximative Abstraktionen handeln. Maschinenintelligenz wäre sozusagen der durch HC-Technologien geschaffene und messbare Kern jener nicht-messbaren Fähigkeiten, die Lebewesen intelligent sein lassen. Eine Frage bleibt freilich offen: Werden künstliche Systeme, Computer, Roboter jemals die nicht-messbaren kognitiven Fähigkeiten haben können, die derzeit nur natürliche Systeme haben und die ihre Intelligenz ausmachen? Wird dieses Ziel – von AI-Vertretern oft prophezeit aber nie erreicht – mit Hilfe der SC-Technologien erreicht? Kaum ein heutiger Vertreter des SC läßt sich darauf ein, diese Frage zu beantworten und so bleibt das letzte Wort bis auf Weiteres ihrem Begründer, der 1987 in seiner Besprechung des Buchs *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer* der Brüder Dreyfuss schrieb: „Machines may never be able to compose like Beethoven, write poetry like Byron, climb trees like monkeys, understand speech like humans, or fly like a bird. But they will be capable of performing many useful and complex tasks which require a high level of intelligence. It is undeniable that our expectations of what machines can accomplish were – and may still be – unrealistic. But we must remember that, as noted by Jules Verne at the turn of the century, scientific progress is driven by exaggerated expectations.“ [Za87]

Literaturverzeichnis

- [Ba67] Bagley, J. D.: *The behavior of adaptive systems which employ genetic and correlation algorithms*. PhD thesis, University of Michigan, 1967.
- [Be49] Berkeley, E. C.: *Giant Brains or Machines that think*. New York: John Wiley & Sons, 1949.
- [Be94] Bezdek, J. C. What is computational intelligence? In: Zurada, J. M., Marks, R. J., Robinson, C. J.(eds.): *Computational Intelligence Imitating Life*, IEEE Press, 1994. S. 1–12.
- [Bo93] Bourdieu, P.: *Soziologische Fragen*, Frankfurt am Main: edition suhrkamp 1993, S. 254f.
- [Bo97] Bonissone, P.: Soft Computing: the convergence of emerging reasoning technologies, *Soft computing*, 1, S. 6-18, 1997.
- [Du07] Włodzisław Duch: What is Computational Intelligence and where is it going? *Studies in Computational Intelligences (SCI)*, 63, S. 1-13, 2007.
- [En07] Enzensberger, H. M.: *Im Irrgarten der Intelligenz. Ein Idiotenführer*. Frankfurt am Main: Suhrkamp 2007.
- [Ga83] Gardner, H.: *Frames of Mind: The Theory of Multiple Intelligences*. New York: Basic Books 1983.
- [Ga93] Gardner, H.: *Multiple Intelligences: The Theory Into Practice*. New York: Basic Books 1993.
- [Ga99] Gardner, H.: *Intelligence Reframed: Multiple Intelligences for the 21st Century*. New York: Basic Books 1999.
- [Go81] Gould S. J.: *The Mismeasure of Man*, New York: Norton 1996.
- [Go83] Goldberg, D. E.: *Computer-aided gas pipeline operation using genetic algorithms and rule learning*, PhD thesis. University of Michigan. Ann Arbor, MI, 1983.
- [Ho92] Holland, J. H.: *Adaptation in Natural and Artificial Systems. An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control, and Artificial Intelligence*, The University of Michigan Press, 1975.
- [Ja45] Janke, L., Havighurst R. J.: *Relations between ability and social status in a midwestern community*. *The Journal of Educational Psychology*, XXXVI, S. 499, 503-504, 507, 509.
- [Ma93] Martin, C. D.: The Myth of the Awesome Thinking Machine. In: *Communications of the ACM*, 36, 4, S. 120-133, 1993.
- [Ma08] Luis Magdalena: *What is Soft Computing? Revisiting Possible Answers*. (Erweitertes unveröffentlichtes Manuskript, plenary lecture), Proc. FLINS'08, World Scientific Proceedings Series on Computer Engineering and Information Science - Vol. 1, S. 3-10.
- [Mc43] McCulloch, W. S.; Pitts, W. H.: A Logical Calculus of the Ideas Immanent in Nervous Activity. *Bulletin of Mathematical Biophysics*, 5, S. 115-133, 1943
- [Mc55] A. J. McCarthy, M. L. Minsky, N. Rochester, C.E. Shannon, *Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence*, August 31, 1955, <http://www-formal.stanford.edu/jmc/history/dartmouth/dartmouth.html> (13.05.2009).
- [Mi69] Minsky, M.; Papert, S.: *Perceptrons*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1969
- [Ne45] Neumann, J. v.: First Draft of a Report on the EDVAC: <http://www.virtualtravelog.net/entries/2003-08-TheFirstDraft.pdf> (13.05.2009).
- [Re73] Rechenberg, I.: *Evolutionsstrategie*; Stuttgart-Bad Cannstatt: Friedrich Frommann 1973.
- [Ro58] Rosenblatt, F.: The Perceptron: A Probabilistic Model for Information Storage and Organization in the Brain. *Psychological Review*, 65, 6, S. 386-408, 1958.
- [Ru86] Rumelhart, D. E.; McClelland, J. L. and the PDP Research Group: *Parallel distributed processing*, Volume 1+2. Cambridge, MA: MIT Press: 1986.
- [Sc75] Schwefel, H.-P.: *Evolutionsstrategie und numerische Optimierung*, Dissertation. Technische Universität Berlin (Druck: B. Ladewick) 1975.
- [Sc78] Schmerl, Chr.: *Sozialisation und Persönlichkeit - Zentrale Beispiele zur Soziogenese menschlichen Verhaltens*. Stuttgart: Ferdinand Enke, S. 76, 1978.

- [Se80] Searle, J.: Minds, Brains and Programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3, S. 417-457, 1980.
- [Se05] Seising, R.: *Die Fuzzifizierung der Systeme. Die Entstehung der Fuzzy Set Theorie und ihrer ersten Anwendungen - Ihre Entwicklung bis in die 70er Jahre des 20. Jahrhunderts*. Stuttgart: Franz Steiner 2005.
- [Se07] Seising, R.: *The Fuzzification of Systems. The Genesis of Fuzzy Set Theory and Its Initial Applications – Developments up to the 1970s* (Studies in Fuzziness and Soft Computing Vol. 216) Berlin, New York, [u.a.]: Springer 2007.
- [Se09] Seising, R. (ed.): *Views on Fuzzy Sets and Systems from Different Perspectives. Philosophy and Logic, Criticisms and Applications*. (Studies in Fuzziness and Soft Computing Vol. 243) Berlin [u.a.]: Springer 2009.
- [Tu50] Turing, A. M.: Computing Machinery and Intelligence. *Mind*, 49, 236, S. 433-460, 1950.
- [Za50] Zadeh, L. A.: Thinking machines – a new field in electrical engineering, *Columbia Engineering Quarterly*, January 1950, S. 12-13, 30-31.
- [Za62] Zadeh, L. A.: From Circuit Theory to System Theory, *Proceedings of the IRE*, 50, 1962, S. 856-865.
- [Za65] Zadeh, L. A.: Fuzzy Sets, *Information and Control*, 8, 1965, S. 338-353.
- [Za84] Zadeh, L. A.: Making Computers Think like People, *IEEE Spectrum*, 8, 1984, S. 26-32.
- [Za87] Zadeh, L.A.: Book Review: Hubert L Dreyfus, Stuart E. Dreyfus: *Mind over Machine: The Power of Human Intuition and Expertise in the Era of the Computer*, *IEEE Expert* 2, 2, S. 110-111, 1987.
- [Za94a] Zadeh, L.A.: Soft Computing and Fuzzy Logic, *IEEE Software* 11, 6, S. 48-56, 1994.
- [Za94b] Zadeh, Lotfi A.: Fuzzy Logic, Neural Networks, and Soft Computing. *Communications of the ACM*, 37, 3, S. 77-84, 1994.
- [Za96] Zadeh, L. A.: Fuzzy Logic = Computing with Words, *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 4, 2, 1996, S. 103-111.
- [Za99] Zadeh, L. A. From Computing with Numbers to Computing with Words – From Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions”, *IEEE Transactions on Circuits and Systems-I: Fundamental Theory and Applications*, 45, 1, 1999, S. 105-119.
- [Za01a] Zadeh, L. A.: A New Direction in AI. Toward a Computational Theory of Perceptions. *AI-Magazine*, 22, 1, 2001, S. 73-84.
- [Za01b] Zadeh, L. A.: Applied Soft Computing – Foreword. *Applied Soft Computing*, 1, 1, 2001, S. 1-2.
- [Zi95] Zimmermann, H. J.: Editorial, *Fuzzy Sets and Systems*, 69, 1, 1995, S. 1-2.