

Natürliche und künstliche Intelligenz

Der Sieg der Maschine Deep Blue über den Schachspieler Garri Kasparow ist im Mai dieses Jahres in den Medien vielfach als ein Ereignis von epochaler Bedeutung wahrgenommen und kommentiert worden. Nun sei eine Maschine mit dem Menschen überlegener Intelligenz geschaffen worden, und dies sei der Anfang einer neuen Zeit, in der der Mensch möglicherweise ins zweite Glied zurücktreten müsse. – Hier nun das Schachspiel des Jahres aus dem Blickwinkel von Informatik und Psychologie.

Computerintelligenz heute – unser Thron wackelt

Von Bernd Neumann

Obwohl menschliche Intelligenz auch in der Künstlichen-Intelligenz-Forschung und Entwicklung (KI) vielfach als Maßstab gilt, hat der Computersieg über Kasparow nur wenige Vertreter derjenigen wissenschaftlichen Disziplin, in der man sich nun seit vier Jahrzehnten mit dem Verstehen menschlicher Intelligenz und dem Erzeugen maschineller Intelligenz befaßt, überrascht und auch keinen besonderen Anlaß zum Feiern geboten. Weshalb? Es gibt dafür mehrere Gründe. Ich werde im ersten Teil dieses Essays einige Entwicklungslinien der KI nachzeichnen, an deren Anfang an prominenter Stelle das Schachspiel stand, an deren Ende aus heutiger Sicht jedoch eine Vielzahl sehr unterschiedlicher Fähigkeiten steht, die intelligentes Handeln ermöglichen. Für viele dieser Fähigkeiten – zum Beispiel Sprachverstehen oder Bildverstehen – ist Schachkompetenz kein relevanter Indikator. Statt dessen bewegen uns scheinbar so leicht zu lösende Probleme wie die technische Repräsentation von Alltagswissen.

Ein zweiter Grund für die eher zurückhaltende Reaktion von KI-Forschern dürfte darin liegen, daß die in den Medien als Spektakel ausgebreitete Rivalität zwischen Mensch und Maschine für die überwiegende Mehrheit der KI-Forscher schon längst zugunsten einer prinzipiellen Überlegenheit der Maschine entschieden ist. Der Mensch setzt zwar in vielen Bereichen Leistungsmarken, die von anderen Kreaturen und von Maschinen bislang nicht überboten werden konnten. Aber es gibt auch immer mehr

Felder, auf denen der Mensch unterlegen ist – etwa bei der Fehlersuche im komplexen technischen Gerät oder, wie allgemein schon akzeptiert, beim Rechnen. Zudem zeichnet sich ab, welche Probleme zu einer maschinellen Eroberung von verbleibenden Hochburgen noch gelöst werden müssen. An die Stelle von Visionen der fünfziger Jahre können heute konkrete Forschungsprogramme treten.

Die jetzt vom Sieg des Computers im Schachspiel erneut angestoßene Diskussion um die Möglichkeiten der KI ist dennoch nicht überflüssig oder unwichtig. Die Erfahrung begrenzter menschlicher Intelligenz, die bei der Niederlage von Kasparow deutlich wurde, muß thematisiert und verarbeitet werden: Wir brauchen ein besseres Verständnis von der Unvollkommenheit maschineller Intelligenz, die uns in den High-Tech-Produkten der nächsten Jahrzehnte begegnen werden. Wir müssen uns schon heute kulturell auf KI einstellen.

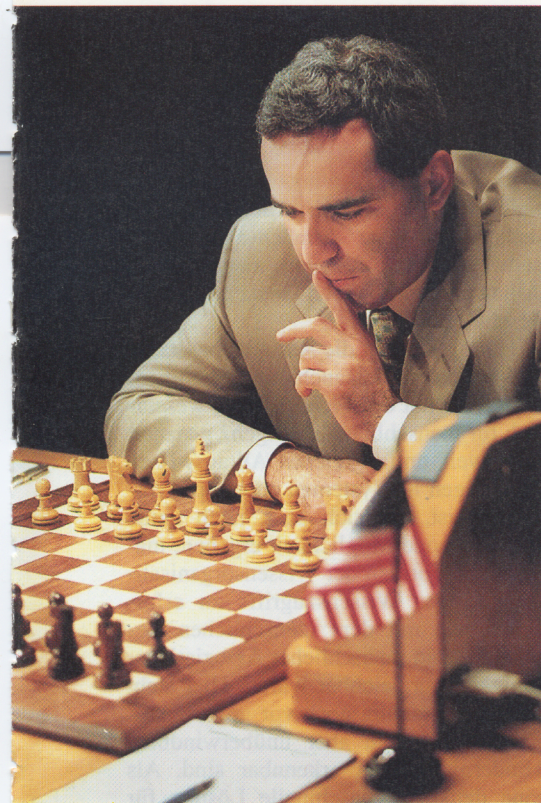
Schach als Maßstab maschineller Intelligenz

Es ist bemerkenswert, daß Schach als intellektuelles Spiel par excellence bereits zu einer Zeit als Prüfstein maschineller Intelligenz diskutiert wurde, als Digitalrechner noch gar nicht zur Verfügung standen. Claude Shannon, damals Professor am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, wo er, ausgehend von Problemen der Nachrichtencodierung, die Informationstheorie mitbegründete, analysierte das Spiel

schon 1949 im Hinblick auf seine Mechanisierbarkeit – so der häufig gebrauchte Ausdruck für Automatisierbarkeit schlechthin. Er formulierte die entscheidenden Verfahrensfragen und schlug erste Antworten vor: Auf die Ausgangsfrage, welche alternativen Züge betrachtet werden sollen, lautete seine Antwort: Alle Alternativen. Dann schlug er vor, alle Fortsetzungszüge bis zu einer festen Tiefe n zu erkunden, die entstehenden Spielpositionen durch eine numerische Summe statisch zu bewerten und anschließend mit dem sogenannten Minimax-Verfahren – bei dem das Minimum der gegnerischen und das Maximum der eigenen Optionen gewählt wird – die statischen Bewertungen in einen einzigen Wert für eine Alternative zu integrieren. Der auszuführende Zug sollte schließlich der mit der höchsten Bewertung sein.

Der britische Mathematiker Alan M. Turing (1912 bis 1954) – ebenfalls einer der Urväter der künstlichen Intelligenz – beschrieb 1950 ein Schachprogramm nach Shannons Vorschlag so detailreich, daß eine Spiel-Simulation möglich wurde – aber das Programm verlor dabei gegen einen schwachen Spieler. Ähnlich erging es anderen Schachprogrammen aus der Computerfrühzeit, die mit heute unvorstellbaren Einschränkungen auskommen mußten. Beispielsweise mußte das von Alex Bernstein, einem Schachspieler und Programmierer bei IBM, 1957 für eine IBM 704-Maschine entwickelte Programm mit 7000 Speicherwörtern und 42 000 Operationen pro Sekunde vorliebnehmen. Ein Zug konnte bei einer Vorausschau von zwei Zügen in rund acht Minuten berechnet werden.

Aber die KI-Forscher blieben optimistisch: Allen Newell und Herbert A. Si-



New York, 3. Mai 1997. Der Zweikampf Mensch gegen Maschine, Garri Kasparow (weiß) gegen Deep Blue (schwarz) geht in die erste Runde. Nach mehr als vier Stunden Spielzeit und 45 Zügen mußte der Computer klein beigeben. Kommentatoren weisen darauf hin, daß die Niederlage von Deep Blue auf einen schwerwiegenden positionellen Fehler in sehr aussichtsreicher Stellung im 36. Zug zurückzuführen ist. Die Partienotation: 1. Sf3 d5 2. g3 Lg4 3. b3 Sd7 4. Lb2 e6 5. Lg2 Sgf6 6. 0-0 c6 7. d3 Ld6 8. Sbd2 0-0 9. h3 Lh5 10. e3 h6 11. De1 Da5 12. a3 Lc7 13. Sh4 g5 14. Shf3 e5 15. e4 Tfe8 16. Sh2 Db6 17. Dc1 a5 18. Te1 Ld6 19. Sdf1 dxe4 20. dxe4 Lc5 21. Se3 Tad8 22. Shf1 g4 23. hxg4 Sxg4 24. f3 Sxe3 25. Sxe3 Le7 26. Kh1 Lg5 27. Te2 a4 28. b4 f5 29. exf5 e4 30. f4 Lxe2 31. fxg5 Se5 32. g6 Lf3 33. Lc3 Db5 34. Df1 Dxf1+ 35. Txf1 h5 36. Kg1 Kf8 37. Lh3 b5 38. Kf2 Kg7 39. g4 Kh6 40. Tg1 hxg4 41. Lxg4 Lxg4 42. Sxg4+ Sxg4+ 43. Txg4 Td5 44. f6 Td1 45. g7 - 1:0.

mon, zwei Pioniere der KI, die zu dieser Zeit in der RAND-Corporation, später als Professoren an der Carnegie-Mellon Universität, Pittsburgh, wirkten, prophezeiten im Jahr 1958, daß ein Schachprogramm in spätestens zehn Jahren Weltmeister würde. – Sie hatten natürlich zu hoch gepokert und lieferten den Brüdern Hubert und Stuart Dreyfus, beide Professoren an der Universität von Kalifornien in Berkeley, nur einen weiteren Angriffspunkt, der von den beiden in ihrer jahrzehntelangen bissigen Auseinandersetzung mit den Visionen der KI und ihrer Verfechter trefflich genutzt werden konnte. Aber auch der Philosoph Hubert

Dreyfus irrte, als er 1965 in seiner Streitschrift „Alchimie und künstliche Intelligenz“ verschiedene menschliche Fähigkeiten, darunter das meisterliche Schachspiel, als von Rechnern grundsätzlich unerreichte Leistungen charakterisierte.

Die häufig emotionalen und persönlichen Auseinandersetzungen zwischen KI-Forschern und ihren Kritikern haben die KI-Forschung über Jahrzehnte begleitet und bis heute eine angemessene Beurteilung dieses Forschungsgebietes in der öffentlichen Diskussion nicht gerade verbessert. Vielleicht spielt bei vielen von uns das eine Rolle, was Hubert Dreyfus damals über sich selbst sagte: „Warum ärgere ich mich so über Leute wie Papert, Minsky, Newell und Simon? Ja, ich ärgere mich wirklich... Vielleicht greife ich in ihnen das an, was ich an mir selbst ablehne, nämlich eine exzessive Rationalität“.

Faktisch hatte es das Schachspiel gar nicht verdient, als Maßstab für künstliche Intelligenz oder die Glaubwürdigkeit von Voraussagen über die weitere Entwicklung dieser Disziplin angesehen zu werden. Raymond Kurzweil merkte in seinem 1993 erschienenen Buch „Das Zeitalter der Künstlichen Intelligenz“ treffend an, daß das Shannon'sche Verfahren ohne Hinzufügung weiterer komplexer Programmteile, allein durch schnellere Prozessoren und Speicher, zu immer besseren Ergebnissen kommen werde und schon deshalb von einer prinzipiellen Überlegenheit von Schachprogrammen ausgegangen werden müsse. Der Mensch ist demgegenüber im wesentlichen auf gleichbleibende Gehirnleistungen angewiesen. Dieses Argument ist zwar nicht umfassend gültig, denn auch Rechner haben prinzipielle Leistungsgrenzen – aber es beschreibt schlüssig die jetzige Situation. Wenn auch die Maschine mit so manchem raffinierten Kunstgriff zur Leistungssteigerung bei den auszuführenden Teilaufgaben hochgerüstet wurde: Auch Deep Blue spielt im wesentlichen nach dem Shannon'schen Rezept von 1949 Schach.

Ein Schlüssel für künstliche Intelligenz

Der Beginn der KI-Forschung wird allgemein mit dem Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence im Jahre 1956 verbunden, bei dem auch die Bezeichnung „Artificial Intelligence“ (Künstliche Intelligenz) aufkam. Zu den Teilnehmern gehörten Allen Newell und Herbert A. Simon, die von Anfang an wesentlich allgemeinere maschinelle Fähigkeiten als beispielsweise Schachintelligenz als Forschungsziel

verfolgten. Sie glaubten, durch einen General Problem Solver (GPS), einen „allgemeinen Problemlöser“, den Kern menschlicher Intelligenz nachbilden zu können. Darunter verstanden sie ein Verfahren, das systematisch einen Weg von der Ausgangssituation eines Problems zu einer Zielsituation, der Lösung, suchen und finden würde. Dieser Forschungsansatz führte zwar in eine Sackgasse, aber es ist wichtig, ihn zu erwähnen, weil er die noch heute verbreitete Vorstellung widerspiegelt, intelligentes Handeln sei mit einer Art „Schlüsselkompetenz“ verbunden – mit der sich auch das Phänomen menschlicher Intelligenz erklären ließe und endlich der Intelligenzbegriff definiert werden könne.

Heute akzeptieren KI-Forscher allgemein, daß die Suche nach einer Schlüsselkompetenz für Intelligenz müßig ist. Dafür spricht auch die informelle Natur und Veränderlichkeit des gemeinhin verwendeten Attributes „intelligent“. Wir nennen Leistungen meist nur dann intelligent, wenn ihr Zustandekommen nicht leicht vorhersehbar oder nachvollziehbar ist. Folglich mag man maschinelle Leistungen, bei denen die Abläufe nach präzisen Vorschriften und Vorgaben vonstatten gehen, allein deshalb nicht intelligent nennen, „weil man weiß, wie es geschieht“. Dies gilt um so mehr, je einfacher das maschinelle Verfahren ist. Schon deshalb wird ein Schachprogramm, das die einfache Shannon'sche Struktur hat, nicht als ein überzeugendes Beispiel maschineller Intelligenz gelten können.

Nach heutigem Stand der KI-Forschung zeigt sich intelligentes Verhalten anhand einer Vielzahl von Merkmalen, die dafür als typische Charakteristika, jedoch nicht als definitorische Bedingungen angesehen werden können. Nach einer Aufstellung von Wolfgang Wahlster, dem Leiter des Deutschen Forschungszentrums für künstliche Intelligenz, zum Beispiel: Lernfähigkeit, Autonomie, Fehlertoleranz, Kooperativität, Adaptivität, Robustheit, Selbstoptimierung, Situiertheit, Domänenkompetenz, Deduktionsfähigkeit und Selbsterklärungsfähigkeit. Je nach Aufgabe wird ein intelligentes System einige dieser Merkmale in besonderem Maße, andere weniger ausgeprägt besitzen müssen. Beispielsweise wird man von einem intelligenten Auskunftssystem „Kooperativität“ in dem Sinne erwarten, daß es die Intention der Frage eines auskunftsuchenden Benutzers zu verstehen versucht. Auf die Frage „Gibt es einen ICE von Hamburg nach Berlin?“ sollte das System nicht einfach mit „Ja“ antworten, sondern auch konkrete ICE-Verbindungen benennen. Für

andere Aufgaben, etwa einer automatischen Qualitätsprüfung mittels einer Bildverarbeitungsmethode, wäre das Merkmal Kooperativität weniger bedeutsam, dafür aber wahrscheinlich Adaptivität oder Robustheit, also Anpaßbarkeit des automatischen Prüfungsvorgangs an veränderte Aufgabenstellungen und seine Unempfindlichkeit gegenüber kleinen Abweichungen bei den Vorgaben. Für intelligentes Schachspiel wären wiederum andere Merkmale wichtig, besonders wohl Domänenkompetenz, also entsprechendes Expertenwissen.

Im Rückblick wirkte sich die Einsicht, daß es keine allgemeingültige Methode für das Erzeugen intelligenten Verhaltens gibt, äußerst fruchtbar auf die KI-Forschung aus. Man begann, anspruchsvolle Problembereiche wie etwa das Lösen mathematischer Integrationsaufgaben oder das Deuten chemischer Massenspektrogramme als eigenständige Forschungsprojekte zu bearbeiten und lernte die Bedeutung von Fachwissen als Basis für maschinelle Intelligenz schätzen. Wissensrepräsentation und Wissensverarbeitung wurden zum Rückgrat der KI, und der Begriff „Wissensbasierte Systeme“ wird heute beinahe synonym mit der traditionellen Bezeichnung „Künstliche Intelligenz“ verwendet. Damit eröffnete sich nun auch eine neue Möglichkeit, maschinelle Intelligenz mit menschlicher Intelligenz zu vergleichen. Und von neuem stellte sich die Frage: Können maschinelle Fachexperten, die sogenannten Expertensysteme, vielleicht einmal ihren menschlichen Vorbildern überlegen sein?

Bezieht sich diese bohrende Frage im engeren Sinne auf das Beherrschen von Fachkenntnissen – also beispielsweise auf die Bereitstellung umfangreichen medizinischen Wissens – so lautet die Antwort seit den Erfolgen der ersten Expertensysteme Anfang der achtziger Jahre: Ein Expertensystem kann die Fachkenntnisse vieler menschlicher Experten umfassen und damit über ein breiteres und zuverlässigeres Fachwissen als der beste menschliche Experte verfügen. Aber ganz offensichtlich macht diese Kompetenz allein aus einer Maschine noch keinen guten Arzt. Was fehlt, ist Wissen und Erfahrung über den Zusammenhang medizinischer Phänomene in ihrem Kontext – etwa der Lebensumstände eines Patienten, seiner psychischen Situation, seiner örtlichen Umgebung oder seiner Vorgeschichte.

Ähnliches gilt für andere Anwendungsbereiche, wo menschliche Experten über die eigentliche Fachkompetenz hinaus Allgemeinwissen und Lebenserfahrung in die Waagschale werfen, wel-

che in Expertensystemen nicht ohne weiteres zur Verfügung stehen.

Dies bedeutet nun keinesfalls, daß die Entwicklung von Expertensystemen eine Sackgasse der KI-Forschung darstellt. Vielmehr gilt es, ihnen eine adäquate Funktion in unserem Alltag zuzuweisen, also sie zum Beispiel an der Seite, nicht aber anstelle eines Arztes zu nutzen. Tatsächlich werden Expertensysteme (die jetzt häufig zutreffend Assistenzsysteme genannt werden) in zunehmender Anzahl und mit wirtschaftlichem Erfolg eingesetzt.

Werden KI-Systeme auch in Zukunft bestenfalls Fachidioten sein können, oder sind menschliches Wahrnehmen, Denken, Handeln und daraus erwachsene Kenntnisse und Erfahrungen mechanisierbar? Da der Unterschied zwischen einem Fachidioten und einem Experten vor allem in einem ganzheitlicheren, kontextbezogenen Verständnis einer Aufgabe zu liegen scheint, gilt heute die maschinelle Repräsentation und Auswertung von Lebenserfahrung und Alltagswissen – nicht Fachwissen – als wichtiger Prüfstein für maschinelle Intelligenz. Daß dies in der Tat das größte Hindernis in zahlreichen Teilbereichen der KI ist, wird zum Beispiel bei der automatischen Sprachübersetzung deutlich, wenn etwa die folgenden zwei Sätze ins Englische übersetzt werden sollen: „Gestern Abend habe ich eine Flasche Gin geleert. Jetzt habe ich einen kräftigen Kater“. Es geht um die korrekte Übersetzung von „Kater“ in „hang-over“ und nicht in „tomcat“. Dazu muß unter anderem Alltagswissen über die Wirkung von Alkohol und speziell von Gin, über typische Flaschengrößen oder über Trinkgewohnheiten zur Verfügung stehen. Fehlt entsprechendes Wissen, muß mit Übersetzungsfehlern gerechnet werden. Das Attribut „kräftig“ trägt auch nicht gerade zu einer Disambiguierung, also zu mehr Eindeutigkeit bei, denn es weist eher auf ein Lebewesen hin, wird hier aber metaphorisch gebraucht.

Auch beim maschinellen Sehen, dem Bildverstehen, stoßen KI-Forscher an die Grenze der Alltagskomplexität, sowohl im Kleinen bei der Erkennung einzelner Objekte angesichts einer Vielzahl möglicher Objekttypen, als auch im Großen bei der Einordnung von Gesehenem in einen übergeordneten Zusammenhang, zum Beispiel beim Erkennen von Fahrerintentionen im Straßenverkehr. Wenn dennoch in diesem Jahr die ersten Assistenzsysteme auf den Markt kommen, die ein Fahrzeug mit Kamerahilfe auf der Autobahn führen und Hindernisse erkennen können, so ist dies das bewundernswerte Ergebnis eines langjährigen, müh-

samen Entwicklungsprozesses, bei dem die wichtigsten zur Bewältigung dieser Aufgaben erforderlichen Alltagsphänomene – das Aussehen von Straßenbegrenzungen verschiedener Art, Schattenphänomene oder unterschiedliche Autoformen – in ein Computersystem eingebracht worden sind. Ein Sehsystem für den allgemeinen Straßenverkehr geschweige denn für den menschlichen Alltag ist damit jedoch längst noch nicht geschaffen.

Häufig werden die Assoziationsstärke und die zweifellos auch darauf beruhende Kreativität des Menschen als wesentlich für menschliche Intelligenz genannt. Und weil umfangreiches Alltagswissen in heutigen KI-Systemen noch nicht vorhanden ist, hat sich auch noch keine überzeugende Möglichkeit ergeben, maschinelle Formen der Wissensorganisation und des Wissenszugriffs zu erforschen, die mit dem menschlichen Gedächtnis und menschlicher Assoziationsfähigkeit vergleichbar wären. Hier steht die KI-Forschung noch vor großen Aufgaben – für die aber unüberwindbare Hindernisse nicht erkennbar sind. Als eine denkbare maschinelle Lösung für die Organisation von Erfahrung und für assoziativen Zugriff auf gespeichertes Wissen erscheinen die Künstlichen Neuronalen Netze (KNN). Ein KNN, das mit einer dem menschlichen Gehirn vergleichbaren Komplexität aufwarten könnte – also etwa 1011 Zellen mit je durchschnittlich 104 Verbindungen umfassen müßte – befindet sich jedoch noch jenseits des überblickbaren Forschungshorizonts.

Einmal angenommen, ein zukünftiges KI-System könnte Alltagswissen sammeln, zum Beispiel als Service-Roboter, der mit uns den Alltag teilt, so muß man vermuten, daß ein solcher Roboter nicht ohne weiteres ähnliche Erfahrungen machen wird wie ein Mensch. Er wird einen anderen Körper haben, andere Wahrnehmungsmöglichkeiten, andere Zielvorgaben, andere Wertmaßstäbe – wenn er überhaupt etwas haben sollte, was mit unseren Wertmaßstäben vergleichbar wäre. Und sicher wird er auch eine andere Emotionalität besitzen – falls man es überhaupt für richtig hielt, ihn mit einer künstlichen Emotionalität auszustatten. Wie sich diese Unterschiede in Wissen und Erfahrung zwischen Mensch und Maschine auf die Bewältigung von Aufgaben auswirken, die Alltagswissen erfordern, ist noch unbekannt. Skeptiker wie auch Hubert Dreyfus sehen in der körperlichen Andersartigkeit von Maschinen ein prinzipielles Hindernis für die Mechanisierung geistiger Fähigkeiten. Ich meine, daß dies nur für bestimm-



New York, 4. Mai 1997. Runde zwei: Deep Blue zieht weiß – und schafft den Ausgleich zum 1:1 Gesamtstand. „Das war kein Computerspiel, das war richtiges Schach“, kommentierte der Schach-Großmeister Joel Benjamin. Die Partienotation: 1.e4 e5 2. Sf3 Sc6 3. Lb5 a6 4. La4 Sf6 5. 0-0 Le7 6. Te1 b5 7. Lb3 d6 8. c3 0-0 9. h3 h6 10. d4 Te8 11. Sbd2 Lf8 12. Sf1 Ld7 13. Sg3 Sa5 14. Lc2 c5 15. b3 Sc6 16. d5 Se7 17. Le3 Sg6 18. Dd2 Sh7 19. a4 Sh4 20. Sxh4 Dxb3 21. De2 Dd8 22. b4 Dc7 23. Tec1 c4 24. Ta3 Tec8 25. Tca1 Dd8 26. f4 Sf6 27. fxe5 dxe5 28. Df1 Se8 29. Df2 Sd6 30. Lb6 De8 31. T3a2 Le7 32. Lc5 Lf8 33. Sf5 Lxf5 34. exf5 f6 35. Lxd6 Lxd6 36. axb5 axb5 37. Le4 Txa2 38. Dxa2 Dd7 39. Da7 Tc7 40. Db6 Tb7 41. Ta8+ Kf7 42. Da6 Dc7 43. Dc6 Db6+ 44. Kf1 Tb8 45. Ta6 – 1:0.



New York, 6. Mai 1997. Runde drei: Kasparow (weiß) erreicht nur ein Remis. „Für einen kurzen Augenblick spielte er wie ein Gott“, kommentierte der Weltmeister Deep Blues letzten Zug. Die Partienotation: 1. d3 e5 2. Sf3 Sc6 3. c4 Sf6 4. a3 d6 5. Sc3 Le7 6. g3 0-0 7. Lg2 Le6 8. 0-0 Dd7 9. Sg5 Lf5 10. e4 Lg4 11. f3 Lh5 12. Sh3 Sd4 13. Sf2 h6 14. Le3 c5 15. b4 b6 16. Tb1 Kh8 17. Tb2 a6 18. bxc5 bxc5 19. Lh3 Dc7 20. Lg4 Lg6 21. f4 exf4 22. gxf4 Da5 23. Ld2 Dxa3 24. Ta2 Db3 25. f5 Dxd1 26. Lxd1 Lh7 27. Sh3 Tfb8 28. Sf4 Ld8 29. Sfd5 Sc6 30. Lf4 Se5 31. La4 Sxd5 32. Sxd5 a5 33. Lb5 Ta7 34. Kg2 g5 35. Lxe5+ dxe5 36. f6 Lg6 37. h4 gxh4 38. Kh3 Kg8 39. Kxh4 Kh7 40. Kg4 Lc7 41. Sxc7 Txc7 42. Txa5 Td8 43. Tf3 Kh8 44. Kh4 Kg8 45. Ta3 Kh8 46. Ta6 Kh7 47. Ta3 Kh8 48. Ta6 – 0,5:0,5.

te Lebensbereiche relevant sein wird. Alltagswissen, das nicht entscheidend durch eine menschliche Persönlichkeitsstruktur geprägt ist – und dies ist das meiste unserer banalen Alltagserfahrungen, vom Geschirrabwaschen bis zum Autofahren –, wird auch von Maschinen erlangt und sinnvoll eingesetzt werden können.

Die Gesellschaft mit künstlicher Intelligenz

Wie wollen wir mit Maschinen umgehen, die uns vergleichbare oder überlegene geistige Fähigkeiten besitzen? Ethische Grundbegriffe wie Verantwortung und Menschenwürde müssen wir wohl neu überprüfen, denn schon heute befinden sich Juristen in dem Dilemma, Haftungsfragen bei Schäden klären und regeln zu müssen, die ein Computer „verschuldet“ hat. Behält ein Mensch Verantwortung, wenn er sich des Urteils eines Expertensystems bedient? Wird ein Arzt schuldig, wenn er sich gegen den Rat eines ja möglicherweise überlegenen Expertensystems entscheidet und dabei Schaden anrichtet? Die Entwicklung der KI wird uns selbst mehr als alles bisher dagewesene in Frage stellen und die sich hier abzeichnende Aufgabe der Überprüfung aller grundlegender ethischer wie sozialer Normen kann getrost eine Jahrhundertaufgabe genannt werden.

Das veränderte Selbstverständnis, das die KI provoziert, hat sicher eine ernüchternde aber auch eine hoffnungsvolle Seite: Ernüchternd ist die These der Me-

chanisierbarkeit menschlichen Denkens, weil sie einer Entthronung gleichkommt. Unser Bewußtsein von Freiheit des Denkens, Kreativität und eigenverantwortlichem Handeln wird in dem Maße fragwürdig, wie dasselbe Verhalten in Maschinen simulierbar wird. Noch schlimmer: Maschinen werden uns lehren, daß unsere geistigen Fähigkeiten keineswegs unübertreffbar sind. Menschliche geistige Fähigkeiten sind beschränkt, nur ein Meilenstein der Evolution.

Es steht zu hoffen, daß wir – bei realistischer Einschätzung unserer bescheidenen menschlichen geistigen Fähigkeiten – ein insgesamt realistischeres und besonneneres Gestalten unseres Miteinanders in unserer Umwelt an den Tag legen werden. Wir dürfen uns nicht länger darauf verlassen, daß wir alle Probleme, die wir haben oder uns schaffen, ohne weiteres mit unseren intellektuellen Möglichkeiten auch lösen können. Man denke hier etwa an komplexe wirtschaftliche Verflechtungen von vielen Milliarden Menschen – schon heute vermögen wir sie kaum noch zu beherrschen. Andererseits muß wohl gelten: Nicht alle Probleme, die uns unlösbar erscheinen, sind tatsächlich unlösbar. KI-Systeme werden die Werkzeuge sein, mit denen wir die Grenzen rationaler Problemlösung verschieben können.

Heute eine schlüssige Antwort auf die Frage geben zu wollen, was passieren wird, wenn funktionierende KI-Systeme in unserer Gesellschaft ihren Platz einnehmen, wäre vermessen: Die kommenden Jahrzehnte werden vermutlich von

unvollständigen, beschränkten und fehlerhaften KI-Systemen geprägt sein – von ihren Imperfektionen. Unter perfekten KI-Systemen wollen wir hier solche verstehen, die tun, was sie sollen. Imperfekte Systeme sind entsprechend solche, die sich anders verhalten als geplant oder erwartet. Daß technische Systeme – zumal komplexe – häufig fehlerhaft sind, vermuten wir begründet und treffen unsere Vorsichtsmaßnahmen. Daß KI-Systeme wie auch andere komplexe Computersysteme so gut wie nie fehlerfrei sind, überrascht wohl eher, gelten doch Computer landläufig als Inbegriff der Zuverlässigkeit – gewissermaßen als die Schweizer Uhren der Artefakte.

Woher kommen diese Fehler? Es gibt verschiedene Gründe dafür. Zum einen werden KI-Systeme von Menschen entworfen, und Menschen können sich irren. Charakteristisch für KI-Anwendungen ist häufig eine diffuse Aufgabenstellung, zum Beispiel: „Hindernisvermeidung bei einem automatischen Fahrzeug durch Computersehen“. Eine genaue Abgrenzung der noch beherrschbaren Hindernissituationen gegen die nicht mehr beherrschbaren ist häufig sehr schwer. Einem Menschen soll automatisch ausgewichen werden, aber auch einem Hund? Einem schnell laufenden Hund? Bei Gegenlicht? Bei Zigarettenqualm? Eine weitere Fehlerursache ist die schon angesprochene Begrenztheit heutiger Wissensbasen. Weil ihnen irgendeine Facette trivialen Alltagswissens fehlt, machen KI-Systeme häufig für Laien überraschend „dumme“ Fehler. Trotz dieser



New York, 7. Mai 1997. Deep Blue (weiß) erreicht in der vierten Partie ein weiteres Remis gegen Garri Kasparow, obwohl die Maschine nach dem 26. Zug nur sehr knapp einer Niederlage entging. Die Partiennotation: 1. e4 c6 2. d4 d6 3. Sf3 Sf6 4. Sc3 Lg4 5. h3 Lh5 6. Ld3 e6 7. De2 d5 8. Lg5 Le7 9. e5 Sfd7 10. Lxe7 Dxe7 11. g4 Lg6 12. Lxg6 hxg6 13. h4 Sa6 14. 0-0-0 0-0-0 15. Tdg1 Sc7 16. Kb1 f6 17. exf6 Dxf6 18. Tg3 Tde8 19. Te1 Thf8 20. Sd1 e5 21. dxe5 Df4 22. a3 Se6 23. Sc3 Sdc5 24. b4 Sd7 25. Dd3 Df7 26. b5 Sdc5 27. De3 Df4 28. bxc6 bxc6 29. Td1 Kc7 30. Ka1 Dxe3 31. fxe3 Tf7 32. Th3 Tef8 33. Sd4 Tf2 34. Tb1 Tg2 35. Sce2 Txc4 36. Sxe6+ Sxe6 37. Sd4 Sxd4 38. exd4 Txd4 39. Tg1 Te4 40. Txc6 Txc2 41. Txc7+ Kb6 42. Tb3+ Kc5 43. Txa7 Tf1+ 44. Tb1 Tff2 45. Tb4 Tc1+ 46. Tb1 Tcc2 47. Tb4 Tc1+ 48. Tb1 Txb1+ 49. Kxb1 Te2 50. Te7 Th2 51. Th7 Kc4 52. Tc7 c5 53. e6 Txb4 54. e7 Te4 55. a4 Kb3 56. Kc1 - 0,5:0,5.

Unzulänglichkeiten werden imperfekte KI-Systeme aller Voraussicht nach auf den Markt kommen. Wir werden also ler-

nen müssen, mit Systemen umzugehen, deren Intelligenz begrenzt, lückenhaft, grob gerastert und für Menschen teilweise „unberechenbar“ ist. Welche Konsequenzen sollten wir daraus ziehen? Ein offensichtliches Gebot besteht darin, KI-Systeme nicht dort einsetzen zu wollen, wo das zu erwartende Fehlverhalten schwere Schäden verursachen kann, beispielsweise in militärischen Entscheidungssystemen. Es ist geradezu paradox: Wir sollten uns beim Einsatz von KI-Systemen am Menschen orientieren; bei ihm rechnet man mit Irrtümern und Fehlern und schafft deshalb Kontrollinstanzen oder sieht Absicherungen etwa durch pluralistische Entscheidungen vor. Ein dringendes Gebot ist Aufklärung der Öffentlichkeit durch die KI-Forscher und -Entwickler selbst sowie verantwortliches Handeln von Unternehmen bei der Produktwerbung und Markteinführung von KI-Systemen. Angesichts ihrer Komplexität und der verbreiteten Mystifizierung von Intelligenz handelt es sich hierbei um eine *Bringschuld* von Wissenschaft und Industrie.

Dr. Bernd Neumann studierte Elektrotechnik in Darmstadt und Informationstheorie am Massachusetts Institute of Technology (MIT) in Cambridge, wo er auch promovierte. Seit 1982 ist er Professor für Informatik an der Universität Hamburg, seit 1986 Leiter der Forschungsgruppe Kognitive Systeme, seit 1988 Leiter des Labors für Künstliche Intelligenz, das sich mit Technologietransfer und Anwendungsentwicklungen befaßt. Seine Forschungsschwerpunkte sind Bildverstehen, Robotik und Expertensysteme.

dem Schwimmsport auch nichts an Spannung genommen. Und: Obwohl „computer“ einst ein seriöser Beruf war – als Kind kannte ich einen solchen, der für optische Instrumente die geeignete Auslegung der Objektive berechnete – und die Rechenkünstler früherer Jahrhunderte in höchstem Ansehen standen, finden wir gar nichts dabei, daß selbst der billigste Taschenrechner uns in der Arithmetik haushoch überlegen ist. Nein, Aufregung ist nicht am Platze. Auch das Schachspiel wird nicht aussterben, solange es für uns Menschen schwierig und dadurch interessant ist. Eine Maschine kann etwas schneller, besser, ausdauernder als ein Mensch? Nichts Neues, wir begegnen dem ständig. I couldn't care less: Es kümmert mich überhaupt nicht.

Intelligenz und Menschenbild

Weshalb dann Kommentare in fast jeder Zeitschrift, und kaum ein Sender, der „Deep Blue besiegt Kasparow“ nicht kommentiert hätte? Ganz einfach: Weil durch Maschinen, die besser Schach spielen können als wir, unser Selbstbild als „Krone der Schöpfung“ anders und ernster in Frage gestellt wird als durch Maschinen, die lediglich mehr Kraft haben, als unsere Muskeln hergeben.

Die Evolutionstheorie Darwins beraubte den Menschen seiner Sonderstellung als Ebenbild Gottes mit der Lizenz, sich die Erde untertan zu machen (1. Mose 1, 26-28). Aber zugleich konnte der Mensch seine Sonderstellung behaupten, indem er sich nunmehr als Spitze einer Jahrtausenden langen Entwicklung verstand, als das einzige Wesen, das sogar den Anpassungsdruck der Evolution besiegt hatte durch Anpassung der natürlichen Umwelt an sich selbst: Wohnungen statt Bäume oder Höhlen, Heizungen und Klimaanlage gegen die Unbill des Wetters – eine Emanzipation in Grenzen wohl und, wie wir heute wissen, mit manchen unbedachten Folgen, aber spektakulär genug. Denken und Sprechen, Schreiben und Rechnen halfen als „Alleinstellungsmerkmale“ dem Menschen, sich in der Konkurrenz der Arten weiterhin als überlegen betrachten zu können.

Doch gerade diese Kulturtechniken sind in der Moderne zu Allgemeintut und Routine geworden. Waren Schreiben und Rechnen noch im Mittelalter seltene und hoch angesehene Künste, so werden sie heute im Elementarunterricht vermittelt: dröger Drill, nicht länger Zeichen höherer Bildung und überragender Intelligenz. Eben dieses Schicksal, das Herabsinken zur allseits beherrschten Routine, hat uns den massenhaften Ansturm

Künstliche Intelligenz und Computer für Menschen

Von Gerhard Strube

Nun, da ein Computerprogramm der neuesten Generation den amtierenden Schachweltmeister geschlagen hat, ist sie wieder in aller Munde: die künstliche Intelligenz. Zwischendurch war sie ziemlich aus der öffentlichen Diskussion verschwunden, hatte sich hinter Produkten versteckt als „Add-on“, „Add-in“, oder „intelligenter Assistent“ für Tabellenkalkulations- und andere Programme. Was ist eigentlich passiert?

Die geballte Rechenkraft eines modernen Computers, unterstützt durch eine Programmierung, die auch manche

Tricks und Kniffe menschlicher Schachspieler aufgreift (ohne daß der Computer deshalb das Schachspielen nach Art von Menschen betreibt), hat über den – menschlichen – Schachweltmeister obsiegt. Na und?

Werden deshalb Schachweltmeisterschaften (unter Menschen, versteht sich) obsolet? Das wäre ja, als ob man nach Erfindung des Baukrans das Gewichtheben als Disziplin abgeschafft hätte! Schließlich geht es um den Wettstreit unter Menschen. Daß jeder Delphin Franziska van Almsick davonschwimmt, hat