

Künstliche Intelligenz – Status und Zukunftsperspektiven eines Forschungsgebietes

Bernd Neumann

Die folgenden Ausführungen beschreiben den derzeitigen Stand und die Zukunftsperspektiven des Forschungsgebietes KI. Sie sind aus dem Bedürfnis entstanden, zur Diskussion um den Standort sowie das wissenschaftliche und wirtschaftliche Potential der KI beizutragen. Dieser Text ist zunächst mit der Absicht verfaßt worden, ein gemeinsames Manifest aktiver KI-Forscher zu publizieren. Nach einigen intensiven Diskussionen, von denen ich besonders Gespräche mit Wolfgang Bibel dankend hervorheben möchte, schien es mir sinnvoller, meine derzeitige Sicht prägnant darzustellen. Natürlich hoffe ich nach wie vor auf einen Konsens in wesentlichen Punkten oder doch zumindest auf eine Entwicklung dorthin. Verständnis für andere Sichten und Disziplinen, Offenheit für Veränderungen und Mäßigung hinsichtlich elitärer Ansprüche scheinen mir dafür wichtige Voraussetzungen zu sein.

KI als akademische Disziplin

Die KI ist ein aktives Forschungsgebiet mit ca. 1 000 Wissenschaftlern in Deutschland und ca. 10 000 Wissenschaftlern weltweit. Die Fachorganisation der KI umfaßt internationale und nationale Fachverbände, regelmäßige Konferenzen und Arbeitstagungen, zahlreiche Fachzeitschriften, davon mehr als 30 mit internationaler Verbreitung, sowie ein Geflecht von formellen und informellen Kooperationen.

Die KI umfaßt zahlreiche Teilgebiete. Sie reflektieren sowohl eine weitgehend konstante Grundstruktur des Faches als auch dynamische Veränderungen, die sich aus dem Fortschritt der Wissenschaft und neuen Anwendungsmöglichkeiten ergeben. Die Dynamik ist beispielsweise an den sich wandelnden Tagungsaufrufen zur IJCAI oder ECAI abzulesen, die die Veränderungen im Selbstverständnis der KI mit einiger Verspätung reflektieren.

Das grundlegende Ziel der KI besteht in der Erforschung von Informationsverarbeitungsprozessen, die zum Lösen komplexer Aufgaben und zum Erzielen intelligenten Verhaltens erforderlich sind. Die KI hat dazu eigene Methoden auf einem höheren Abstraktionsgrad als herkömmliche Datenverarbeitung entwickelt, deren tragende Elemente Wissen und Wissensverarbeitung sind. Formulierungen auf der Wissens Ebene erlauben es häufig, Probleme aus der menschlichen Begriffswelt unmittelbar und verständlich in Rechnerverfahren abzubilden. Durch formale Fundierung können darüberhinaus ggf. wichtige Qualitäten eines Lösungsverfahrens zugesichert werden, z.B. Korrektheit, Vollständigkeit, Traktabilität u.a.

Zu den von der KI verfolgten Zielen tragen auch verschiedene angrenzende und verwandte Disziplinen bei. Dabei lassen

sich zwei grundsätzliche Ausrichtungen unterscheiden. Die *kognitionswissenschaftliche* Ausrichtung hat zum Ziel, intelligentes Verhalten biologischer Systeme, insbesondere des Menschen, zu erklären. Die *ingenieurwissenschaftliche* Ausrichtung dagegen will technische Intelligenz erzielen und letztlich praktische Probleme lösen. Beide Ausrichtungen besitzen gemeinsame Grundlagen, die den methodischen Kern der KI ausmachen. Entsprechend der unterschiedlichen Ziele von kognitiv bzw. ingenieurmäßig ausgerichteter KI ergeben sich jedoch deutlich unterschiedliche Vorgehensweisen, andere interdisziplinäre Verwandtschaften und letztlich auch unterschiedlich zu bewertende Ergebnisse.

Die *kognitiv* ausgerichtete KI besitzt naturgemäß starke interdisziplinäre Bezüge zu allen Wissenschaften, die sich mit den geistigen Fähigkeiten des Menschen und ihren biologischen Grundlagen befassen, insbesondere den Neurowissenschaften, der Psychologie, Linguistik und Philosophie. Der von der KI eingebrachte Ansatz der informationsverarbeitenden Modellierung hat zu einem nachhaltigen Paradigmenwechsel geführt und entscheidend dazu beigetragen, daß sich das übergreifende Forschungsgebiet „Kognitionswissenschaft“ im Grenzbereich der angrenzenden Disziplinen gebildet hat. Gegenstand kognitiver Forschung sind vielfach auch Probleme, deren technische Beherrschung Anwendungsperspektiven eröffnet, z.B. Sprachverstehen, Bildverstehen, Planen, Auswerten von Erfahrungen u.a. Kognitionswissenschaft erhebt jedoch in der Regel nicht den Anspruch, Lösungen für Anwendungsprobleme bereitzustellen.

Die *ingenieurmäßig* ausgerichtete KI hat das Ziel, Methoden und Techniken zum Lösen komplexer Anwendungsprobleme bereitzustellen. Sie bezieht Erkenntnisse und Anregungen vielfach aus dem kognitiven Bereich, z.B. beim maschinellen Sehen oder bei der Realisierung adaptiver Systeme durch künstliche neuronale Netze. Ihr Lösungsrepertoire ist jedoch keineswegs auf naturorientierte Verfahren beschränkt. Die formalen Grundlagen der KI eröffnen vielfältige Anwendungsmöglichkeiten, deren Potential über kognitive Verfahren hinausgehen kann. Beispiele sind modellbasierte Fehlerdiagnose, Deduktionstechniken, Suchverfahren u.a. Im Zusammenhang

Prof. Dr. Bernd Neumann ist Leiter des Arbeitsbereichs Kognitive Systeme sowie des Labors für Künstliche Intelligenz an der Universität Hamburg. Seine Forschungsschwerpunkte sind Bildverstehen und industrielle Anwendungen wissensbasierter Systeme.



mit Anwendungen begegnet die KI auch anderen Disziplinen, die komplementär oder konkurrierend zu denselben Zielen beitragen, z.B. Systemtheorie, Operationsforschung, Entscheidungstheorie u.a.

Wesentliche *formale Grundlagen* der KI liegen in der Informatik, denn die Prozesse der KI unterliegen natürlich allgemeingültigen Gesetzen der Informationsverarbeitung wie andere Berechnungsprozesse auch. Man kann die KI von daher als ein Kind und Teilgebiet der Informatik ansehen. Das Vater-Kind-Verhältnis ist allerdings ungewöhnlich, denn die Liebe war nie sehr groß (zumindest in Deutschland), beide kommen sich nur zögernd näher, und aus dem Kind ist mittlerweile ein selbstbewußter Erwachsener geworden, der in verschiedenen Bereichen die Führung übernommen hat. Trotz dieser Eigenständigkeit kann der Teil der KI, der eine anwendungsübergreifende Methodik für komplexe Informationsverarbeitung anbietet, nur in der Informatik, nicht neben ihr, sinnvoll entwickelt werden.

Die Rolle der KI im Konzert der Disziplinen

Die ausgeprägte Interdisziplinarität der KI sowohl im kognitiven als auch im ingenieurmäßigen Bereich sowie ihre Einbettung in die Informatik haben zu außerordentlich fruchtbaren Wechselwirkungen, aber auch zu einer diffusen Abgrenzung und letztlich zur Gefahr eines Profilverlustes geführt.

Mit Stolz können KI-Forscher feststellen, daß ihre Arbeit nicht nur die KI vorangebracht, sondern auch unübersehbare Spuren im wissenschaftlichen Umfeld der KI hinterlassen hat.

- Das von der KI eingeführte Paradigma von Berechnungsmodellen als Erklärung von Wahrnehmen, Denken und Verhalten ist zum dominierenden Denksatz moderner Psychologie geworden und ist das Fundament der Kognitionswissenschaft.
- Im Bereich der Softwaretechnik hat die KI zahlreiche Entwicklungen eingeleitet, die heute aus der Informatik nicht mehr wegzudenken sind, z.B. Programmieren mit Logik (PROLOG), regelbasierte Programmierung, Prototyping, Fenstertechniken, objektorientierte Datenmodellierung, Beweistechniken zur Programmverifikation u.a.
- Auf der Seite der ingenieurmäßigen Anwendungen schließlich haben sich wissenschaftliche Systeme für Diagnose- und Konfigurierungsaufgaben sowie viele andere komplexe Anwendungen bewährt und werden von verschiedenen Anwendungsdisziplinen in eigener Regie weiterentwickelt, z.B. in den Bereichen Produktionsautomatisierung, Fertigungsplanung, computergestützter Entwurf, Maschinenbau, Regelungstechnik u.a.

Ergebnisse der KI sind also in hohem Maße vom Umfeld der KI absorbiert worden, umgedreht hat die KI zweifellos auch vieles von anderen Disziplinen übernommen. Dies ist charakteristisch für Interdisziplinarität. Gleichzeitig haben aber auch neue wissenschaftliche Ansätze an Bedeutung gewonnen, insbesondere Künstliche Neuronale Netze. Obwohl das Ziel im wesentlichen dasselbe geblieben ist, nämlich intelligentes Verhalten technisch nachzubilden, wird die Erforschung Künstlicher Neuronaler Netze häufig als eine eigene Disziplin angesehen, unterstrichen auch durch die Namensgebung „Neuroinformatik“. Es ist dringend erforderlich, daß diese und andere neue Ansätze nicht als Alternativen sondern als Weiterent-

wicklung der KI verstanden werden. Das kann aber nur geschehen, wenn sich die KI nicht als ausschließliche, methodisch festgelegte Disziplin versteht, sondern als ein an gemeinsamen Zielen orientiertes, offenes Forschungsgebiet, in dem auch alternative und heterogene Ansätze Raum haben.

Die Integration von KI-Methodik in andere Disziplinen, insbesondere in Kognitionswissenschaft, Informatik und Ingenieurdisziplinen, hat eine Entwicklung eingeleitet, bei der Grenzbeziehungen zu Anwendungsdisziplinen erforderlich werden. Beispielsweise stellt sich die Frage, wie die KI-Ansätze zur technischen Diagnose im Verhältnis zu Diagnoseverfahren der Ingenieurdisziplinen einzuordnen sind. Ähnliches gilt für andere Anwendungen, die außerhalb der KI als eigenständige Bereiche existieren. Die KI sollte nicht den Versuch machen, ihre Beiträge gegen solche Bereiche abzugrenzen. Was sie zu bieten hat, muß mit dem jeweiligen Umfeld integriert werden.

Mit der Abgabe von Anwendungsbereichen an eigenständige Disziplinen wird die KI zunehmend zu einer in der Informatik angesiedelten Grundlagendisziplin. Ihre wesentliche Rolle wird mehr denn je darin bestehen, grundlegende Prinzipien und Methoden der Wissensverarbeitung zu entwickeln. Dies schließt anwendungsorientierte Forschung nicht aus, denn Anwendungen erfordern häufig spezielle Theorien und auf die Anwendungsdomäne zugeschnittene Grundlagen. Bei der Entwicklung konkreter Anwendungssysteme wird die KI dann allerdings häufig eine weniger führende Rolle einnehmen, besonders in etablierten Ingenieurdisziplinen. Daß es in diesen Bereichen zu einer fruchtbaren Zusammenarbeit zwischen der KI und Anwendungsdisziplinen kommt, ist eine wichtige Aufgabe für die Fachentwicklung.

Der Abgabe von Anwendungsbereichen steht die Geburt neuer Anwendungen gegenüber, die innerhalb der KI entwickelt werden, wie z.B. Sprachverstehen, Bildverstehen, intelligente Robotersteuerung, intelligente Hilfesysteme, automatische Informationspräsentation u.a. Dies sind Anwendungen, für die andere Disziplinen bisher kein geeignetes Umfeld vorweisen und die deshalb auf lange Zeit als integraler Bestandteil der KI gelten werden. Innovative Anwendungen werden auch in Zukunft aus der KI entstehen und die Grundlagenforschung flankieren.

Schwierigkeiten bei der Entwicklung der KI

Die Entwicklung der KI war von Anfang an durch einen Mangel an nüchterner Einschätzung gekennzeichnet, sowohl seitens der KI-Forscher als auch seitens der interessierten Öffentlichkeit. Dafür muß man bis zu einem gewissen Grad auch Verständnis haben, denn die KI rührt mit ihrer These von der Mechanisierung geistiger Fähigkeiten an den Fundamenten des traditionellen menschlichen Selbstverständnisses. Die prinzipiellen Konsequenzen aus dieser These sind tiefgehend und von historischer Tragweite. Sie wurden allerdings häufig mit den wesentlich bescheideneren technischen Ergebnissen bisheriger KI-Forschung verwechselt oder vermerkt, sowohl von KI-Forschern als auch ihren Zuhörern. Für eine Schwächung oder Zurücknahme der These, daß menschliche geistige Leistungen durch Rechnerprogramme prinzipiell überbietbar sind, gibt es jedoch bisher keinen Grund. Was Not tut, ist eine bescheidenerere Darstellung erreicher Leistungen und eine realistischere Beurteilung verbleibender Schwierigkeiten.

Aus den Schwierigkeiten mit einer nüchternen Einschätzung der KI ergaben sich eine Reihe von Fehlentwicklungen, die

nicht ohne negative Auswirkungen auf den wirtschaftlichen Nutzen der KI geblieben sind. Die gravierendste Fehlentwicklung war die in Deutschland besonders stark ausgeprägte Isolation des sich formierenden Forschungsgebietes KI. Überzogene Skepsis auf der einen Seite und zuweilen auch elitäre Überheblichkeit auf der anderen Seite führten zu einer Ausgrenzung der KI, die bis heute nicht überwunden ist.

Es kann auch als eine Folge dieser Isolation gedeutet werden, wenn anwendungsträchtige KI-Methoden, insbesondere die Expertensystemtechnik, in der Vergangenheit häufig ohne ausreichende Integration mit konventioneller Datenverarbeitung als Insellösungen zum Einsatz kamen und dadurch zum Mißerfolg wurden. Dieses Manko wurde inzwischen von vielen Entwicklern zum Anlaß genommen, keine KI-Systeme sondern integrierte Lösungen anzubieten.

Eine weitere Fehlentwicklung mit gravierenden Folgen ist die heterogene Ausbildung von KI-Wissenschaftlern an den Hochschulen. Obwohl sich der Fachbereich KI seit mehr als zehn Jahren um die KI-Ausbildung bemüht, gibt es noch kein Curriculum für ein Informatik-Diplom mit Vertiefung KI oder gar eine eigene Studienrichtung KI. Entsprechend unterschiedlich ist der Kenntnisstand von Hochschulabsolventen „mit KI-Ausbildung“. Für viele, die KI-Methoden für praktische Anwendungen einsetzen wollen, gilt deshalb immer noch „learning by doing“. Dies ist wohl auch einer der Gründe für die hohe Zahl von nicht zum erfolgreichen Einsatz gelangten KI-Entwicklungen.

Zum Marktpotential der KI

Das bei einigen potentiellen Anwendern zur Zeit abgeflachte Interesse an der KI ist kein Indiz für ein möglicherweise erschöpftes Marktpotential der KI. Weder die Expertensystemtechnik ist am Ende ihrer Entwicklung noch das viel breitere Konzept einer wissensbasierten Systemarchitektur. Dies belegen die Forschungs- und Entwicklungsergebnisse der letzten Jahre, z.B. die Fortschritte mit modellbasierten oder fallbasierten Expertensystemen. KI bietet durch die wissensbasierte Methodologie Vorteile, die bisher weder von der klassischen Informatik noch von Ingenieurdisziplinen angeboten werden. Diese Vorteile sind, wenn richtig genutzt, unmittelbar relevant für leistungsfähige, durchschaubare, leicht modifizierbare und damit ökonomisch vorteilhafte Lösungen komplexer Probleme in vielen Bereichen der Wirtschaft.

Es ist allerdings ein Fakt, daß die Möglichkeiten der KI vielfach nicht vernünftig genutzt worden sind. Zu den Schwächen bisheriger KI-Anwendungen gehören – wie bereits genannt – fehlende Integration in die EDV-Umgebung, aber auch Undurchschaubarkeit von repräsentiertem Wissen, mangelnde Garantien für Korrektheit oder Optimalität der Lösungen, hohe Entwicklungskosten, sowie mangelnde Modifizierbarkeit und Adaptierbarkeit.

Wenn das Marktpotential der KI hinterfragt wird, braucht man nicht nur allgemein auf die vorteilhaften Konzepte der Wissensverarbeitung zu verweisen. Aus der KI-Forschung sind eine Fülle konkreter, innovativer und wirtschaftlich relevanter Anwendungen entstanden, die Probleme gelöst und jungen Unternehmen zum Erfolg verholfen haben. Die Serie „Innovative AI Applications“ gibt Beispiele aus den USA. Auch die Zahl der in Deutschland bereits in Anwendung befindlichen Expertensysteme belegt eine deutliche, wenn auch nicht spektakuläre Zunahme konkreter KI-Anwendungen. Von einem Markteinbruch kann allerdings in dem Sinne gesprochen werden, daß Software zur Entwicklung isolierter KI-Systeme, insbesondere

Expertensystem-Schalen, viel weniger gefragt ist. Auch dies ist ein Hinweis auf den Integrationsbedarf von KI-Methoden und letzten Endes auf ein Selbstverständnis der KI als Teil der Informatik.

Zur KI-Förderung

Die Förderung des BMFT hat in den letzten zehn Jahren entscheidend dazu beigetragen, daß die KI als Grundlagenwissenschaft gestärkt und aus ihrer anfänglichen Isolation herausgeführt wurde. Durch Förderung von Verbundprojekten entstand anwendungsorientierte Forschung und Entwicklung und damit ein Know-how-Transfer zwischen Forschungsinstituten und industriellen Anwendern, der für eine erfolgreiche wirtschaftliche Nutzung der KI unerlässlich ist. Dabei ist die Förderung des DFKI hervorzuheben, die auf wirkungsvolle Weise zu einer Bündelung von KI-Ressourcen und zu eindrucksvollen Fortschritten im Bereich der anwendungsorientierten Grundlagenforschung beitrug.

Diese Förderungsanstrengungen haben auch dazu beigetragen, daß die große Breite potentieller KI-Anwendungen und die dafür noch zu lösenden Probleme klarer als zuvor sichtbar sind. Ein umfangreicher Katalog grundlegender, ungelöster oder erst teilweise geklärter Fragestellungen muß noch bearbeitet werden. Was sind geeignete KI-Software-Bausteine, die eine ökonomische Systementwicklung durch weitgehende Wiederverwendung ermöglichen? Wie kann natürliche Umgangssprache verstanden werden? Wie können große, veränderliche Wissensbasen konsistent gehalten werden? Wie kann Bildauswertung durch Parallelisierung und analoge Hardware beschleunigt werden? Wie können die Vorteile logischer Formalismen auf die Verarbeitung unsicheren, unvollständigen und widersprüchlichen Wissens ausgedehnt werden?

Eine effektive Nutzung der in Deutschland aufgebauten KI-Ressourcen, d.h. insbesondere des beträchtlichen KI-Know-hows, der funktionierenden Forschergemeinschaften, der aktiven Institute und der existierenden Kontakte zwischen Forschung und Anwendung, kann nur erfolgen, wenn die Arbeit kontinuierlich weitergeführt werden kann. Dazu gehört auch eine Fortsetzung der Förderung in Schlüsselbereichen der KI.

Zusammenfassung

KI ist eine rasch gewachsene, heterogene Strömungen umfassende und vielfachen Wandlungen unterworfenen Disziplin. Es ist deshalb nicht verwunderlich, wenn das Selbstverständnis der KI-Forscher von dem, was KI ist, meist unpräzise und zuweilen sogar kontrovers ist. Dieser Beitrag ist ein Versuch, dieses Selbstverständnis mittels einer Art dynamischen Bestandsaufnahme der KI-Entwicklung wieder zu bündeln. Dabei wurden unter anderem die folgenden Aussagen gemacht.

1. KI umfaßt eine kognitionswissenschaftliche und eine ingenieurwissenschaftliche Ausrichtung, deren Ziele deutlich verschieden sind. Diese Ausrichtungen sollten klarer unterschieden werden, ohne die wechselseitige Befruchtung zu beeinträchtigen.
2. KI ist interdisziplinär und keine Monokultur. Neue Strömungen sollten einbezogen, nicht ausgegrenzt werden.
3. KI trägt zu existierenden Anwendungsgebieten bei und schafft neue Anwendungen. Die KI kann keine Anwendungsgebiete usurpieren, sondern muß damit rechnen, daß Anwendungsgebiete ihre eigene Entwicklung nehmen.
4. Der anwendungsübergreifende Kern der KI muß mit der Informatik integriert werden. Die KI muß diese Integration suchen. Sie hat Substanz genug, ihre Identität zu wahren.