

Dinner Speech bei der Acatech Senatsveranstaltung
Künstliche Intelligenz als Speerspitze der Digitalisierung

Prof. Dr. rer.nat. Dr. h.c. mult. Wolfgang Wahlster

Deutsches Forschungszentrum für Künstlichen Intelligenz

www.dfki.de/~wahlster

München, 8. Juli 2016

20 Minuten, 21.10-21.30

Künstliche Intelligenz realisiert intelligentes Verhalten und die zugrundeliegenden Fähigkeiten auf Computern. Wir arbeiten als Forscher auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (kurz KI) interdisziplinär u.a. mit Linguisten und Psychologen sowie Neuro- und Biowissenschaftlern zusammen. Das Forschungsfeld versteht sich als Avantgarde der Informatik, da mit KI immer die aktuellen Grenzen der Digitalisierbarkeit ausgelotet und überwunden werden sollen.

Künstliche Intelligenz ist heute im Alltag angekommen: ob Sie auf dem SmartPhone Sprachassistenzsysteme wie SIRI nutzen, um ein Restaurant in der Nähe zu finden, mit Google Translate eine koreanische Webseite auf Deutsch übersetzen lassen, in Ihrem Fahrzeug Autopilotfunktionen aktivieren oder ob der Versuch einer betrügerischen Nutzung Ihrer Kreditkartendaten vereitelt wird, immer steckt Künstliche Intelligenz dahinter. Aber für uns in Deutschland ist Künstliche Intelligenz nicht nur als persönlicher digitaler Assistent wichtig, sondern entscheidend, um die nächste Stufe der Digitalisierung unserer Wirtschaft zu erreichen. Zukunftsprojekte der Bundesregierung, wie Industrie 4.0, Smart Service Welt und Autonome Systeme, die ich zusammen mit Kollegen Kagermann in Arbeitskreisen von Acatech vorbereiten durfte, nutzen massiv den Fortschritt auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz aus. So ist in Deutschland

eine neue Generation von kollaborativen Robotern entstanden. Diese müssen nicht mehr in Käfige eingesperrt werden, um die Fabrikarbeiter in der Nähe vor ihnen zu schützen, sondern sie arbeiten im Team mit dem Menschen wie ein hilfreicher Kollege. Solche Leichtbauroboter mit humanoidem Ausweichverhalten beispielsweise von KUKA oder ABB sind heute etwa bei AUDI oder BMW in der Montage bereits erfolgreich im Einsatz. Mit den Fortschritten der KI wird es in den nächsten Jahren möglich, sogar Montageteams von mehreren Werkern und Robotern mit verschiedenen Fähigkeiten zu bilden, die etwa die sehr anstrengende Überkopfarbeit bei der Ausstattung von AIRBUS-Flügeln reduzieren.

Das Timing der heutigen Dinner Speech hat Acatech sehr gut gewählt. Denn am 13. Juli 1956 wurde die erste Konferenz zum Thema Artificial Intelligence in den USA eröffnet, so dass wir heute auf 60 Jahre KI-Forschung zurückblicken können. Wir werden dies am 2. September auf einer Konferenz der Wochenzeitung DIE ZEIT in Berlin dann noch ausführlicher mit internationalen Gästen tun.

Seit 60 Jahren arbeiten also Informatiker im Forschungsgebiet Künstliche Intelligenz (KI) an Computersystemen mit Hand und Fuß, Augen und Ohren sowie mit etwas Verstand. Inzwischen haben Systeme mit Künstlicher Intelligenz als künstliche Spielpartner eine Leistungsstärke erreicht, die selbst die Weltmeister in dem jeweiligen Brettspiel überflügelt: Schon 1980 wurde der Weltmeister im Backgammon von dem KI-System BKG geschlagen, 1997 wurde der Schachweltmeister Kasparow von Deep Blue besiegt, und in diesem Jahr sogar der koreanische Go-Großmeister durch das KI-System Alpha-Go. Die Suchräume für die nächsten Züge wurden bei dieser Serie von Brettspielen immer größer. Aber für welches Spiel kann als nächstes ein KI-System einen amtierenden Weltmeister schlagen? Das werde ich Ihnen aber erst zum Schluss des Vortrages verraten.

Zunächst gliedere ich den Rest meiner Rede in vier Teile:

1. Wie hat sich die KI entwickelt?
2. Wie funktioniert KI?
3. Wozu nutzt KI?
4. Welche Chancen und Risiken bietet die zukünftige KI?

Wie hat sich die KI entwickelt?

Man kann grob vier Phasen der Entwicklung der Künstlichen Intelligenz unterscheiden: Zunächst versuchte man, mit einem einzigen universellen Verfahren eine Art „Generellen Problemlöser“ auf der ersten Generation von zentralen Digitalrechnern zu realisieren. Obwohl man damit einfache mathematische Aufgaben, Rätsel und simple Brettspiele erstmals mit Softwaresystemen bearbeiten konnte, gilt dieser Ansatz heute als gescheitert. Denn rasch wurde klar, dass menschliche Intelligenz nicht auf eine einzige Denkschablone reduzierbar ist.

Danach folgte eine längere Phase der wissensbasierten Systeme, in denen viele erfolgreiche KI-Systeme dadurch realisiert wurden, dass man den Softwaresystemen computergerecht formalisiertes menschliches Wissen über verschiedene Expertengebiete in einer Wissensbasis zur Verfügung stellte. Umfang und Tiefe der Wissensbasis in Kombination mit der Anwendung spezieller logischer Regeln waren der entscheidende Faktor, um erfolgreiche Beratungs-, Diagnose- und Konfigurationssysteme etwa in der Medizin, der Technik und im Handel zu realisieren. In den 80er Jahren entwickelte sich auf dieser Basis der erste Anwendungsboom der Künstlichen Intelligenz. In Deutschland entstand in dieser ersten Blütephase der Künstlichen Intelligenz 1988 das Deutsche Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz (DFKI) als Public-Private-Partnership zwischen Bundesforschungsministerium und zahl-reichen IT-Firmen. Das DFKI hat sich in der letzten Dekade zum weltweit größten Forschungszentrum auf diesem Gebiet mit Standorten in Kaiserslautern,

Saarbrücken, Bremen und einem Projektbüro in Berlin entwickelt, so dass Deutschland in der Champions League der KI spielt.

Trotz etlicher, auch kommerzieller Erfolge des rein wissensbasierten KI-Ansatzes wurden nach einigen Jahren auch die Beschränkungen deutlich: Der manuelle Aufbau, aber auch die Pflege der Wissensbasen waren der limitierende und kostentreibende Faktor in dieser Phase der Entwicklung der Künstlichen Intelligenz.

Die dritte Ära KI begann, als Massendaten über das Internet verfügbar wurden und KI-Forscher die ersten erfolgreichen Verfahren zum maschinellen Lernen über Trainingsdaten entwickelt hatten. Mit statistischen Lernverfahren konnte man eine viel breitere Abdeckung der Softwaresysteme z.B. für das automatische Sprach- und Bildverstehen, aber auch für die maschinelle Übersetzung erzielen. Man brauchte nur möglichst umfangreiche Trainingsdaten für eine Aufgabenstellung, um durch lernfähige Systeme ohne manuell aufbereitete Wissensbasis komplexe Klassifikations-, Prognose- und Steuerungsaufgaben auf Computern realisieren zu können. Während in der zweiten Phase der KI die Ausdruckstärke der Wissensrepräsentationssprachen und die Mächtigkeit der Inferenzverfahren die Leistungsfähigkeit eines KI-Systems dominierten, waren es in der dritten Phase alleine die Größe und die Güte der Trainingsdaten und die Performanz der statistischen Lernverfahren wie das sogenannte Deep Learning.

In den letzten Jahren hat sich aber gezeigt, dass eine rein auf maschinellem Lernen basierende Künstliche Intelligenz ebenfalls schnell an Grenzen stößt. Das von der Menschheit über Jahrtausende akkumulierte Wissen und das darauf basierende intelligente Verhalten lassen sich kaum durch statistisches Lernen über Beobachtungsdaten maschinell umsetzen. Es macht auch keinen Sinn, den Computer durch eigene physikalische Experimente Daten gewinnen zu lassen, um z.B. die Maxwell'schen Gleichungen mithilfe von Lernverfahren neu abzuleiten, anstatt den KI-Systemen bewährtes Wissen ohne Trainingsaufwand in deren

Wissensbasis bereitzustellen. Aktuell setzt man daher in der vierten Phase der Künstlichen Intelligenz auf hybride Verfahren. Dabei werden Wissensbasen, die man z.B. aus der Informationsextraktion von Textdokumenten erstellt, kombiniert mit dem Lernen über Trainingsdaten – also eine Kombination von Methoden von KI-Systemen der zweiten und dritten Generation.

Wie funktioniert KI?

Zunächst erkläre ich kurz die Funktionsweise des wissensbasierten Ansatzes: Google hat u.a. auch mit der Hilfe des DFKI und des MPI in Saarbrücken einen digitalen Wissenstresor (genannt Knowledge Vault) geschaffen, in dem 271 Millionen Fakten in der Form von Subjekt-Prädikat-Objekt Tripeln, also etwa (Kagermann, ist-Präsident-von, Acatech) gespeichert sind. Diese wurden aus den im Internet frei zugänglichen Texten und Tabellen wie u.a. aus Webportalen, Wikipedia-Texten und sozialen Medien mit der Hilfe von KI-Informationsextraktionsmethoden, insbesondere der Sprachtechnologie vollautomatisch erstellt. Die einfache Semantik solcher Tripel führt dazu, dass KI-Verfahren durch Schlussfolgerungen auch Fragen beantworten können, deren Antwort nicht direkt im Wissenstresor gespeichert ist. Wenn neben (Kagermann, ist-Präsident-von, Acatech) auch das Tripel (Acatech, hat-Büro-in, Berlin) und die Regel „Wenn (X, ist-Präsident-von, Y) & (Y, hat-Büro-in, Z) dann (X, hat-Büro-in, Z)“ im Wissenstresor gespeichert ist, kann ein KI-System die Frage „Hat Kagermann ein Büro in Berlin?“ positiv beantworten. Wichtig bei solchen wissensbasierten Systemen ist die Erklärungskomponente. Wenn man das System fragt, warum es positiv geantwortet hat, dann wird es eine Begründung geben, „Weil Kagermann ein Präsident bei Acatech ist und Acatech ein Büro in Berlin hat“. Wenn man bedenkt, dass im Google Wissenstresor Informationen über 45 Millionen Personen, Orte, Produkte gespeichert sind, die über 4500 Prädikate untereinander in Beziehung stellen, ergibt sich ein gigantisches semantisches Netz als Hintergrundwissen für intelligente Systeme.

Als zweites Beispiel für KI-Methodik wähle ich das Maschinelle Lernen. Lernen mit neuronalen Netzen ist an sich nichts Neues. Selbst auf der ersten KI-Konferenz vor 60 Jahren wurden schon neuronale Netze vorgestellt, z. B. um geschriebene oder gesprochene Ziffern von 0 bis 9 zu erkennen.

Ein neuronales Netz ist ein System miteinander verbundener künstlicher Neuronen, die Nachrichten untereinander austauschen. Die Verbindungen haben eine numerische Gewichtung, die während des Trainingsprozesses angepasst wird, so dass ein korrekt trainiertes Netzwerk bei einem zu erkennenden Muster richtig reagiert. Das Netzwerk besteht aus mehreren Schichten mit Merkmal-erkennenden Neuronen. Jede Schicht verfügt über eine Vielzahl an Neuronen, die auf verschiedene Kombinationen von Eingaben von den vorhergehenden Schichten reagieren.

Die Schichten sind so aufgebaut, dass die erste Schicht verschiedene primitive Muster in der Eingabe entdeckt, die zweite Schicht Muster von Mustern, die dritte Schicht entdeckt Muster jener Muster und so weiter bis dann in der Ausgabeschicht das spezifische Ergebnis der Klassifikation erscheint. Das Training erfolgt mit einem Datensatz, der eine große Zahl von repräsentativen Eingabe-Mustern enthält, die mit der jeweils erwarteten Ausgabe-Antwort erweitert werden. Das Training wird dazu genutzt, die Gewichtung der Neuronen für die Zwischen- und Endmerkmale iterativ zu bestimmen. Neuronale Netze sind zwar biologisch von Gehirnen - insbesondere in den Grundbausteinen und der Terminologie - inspiriert, sind aber eher graphbasierte Berechnungsmodelle als eine Gehirnsimulation, da das Gehirn erheblich komplexer strukturiert ist.

Ein Durchbruch wurde in den letzten Jahren mit dem Deep Learning erreicht, das auf einer Weiterentwicklung mehrschichtiger neuronaler Netze beruht. Umso mehr verdeckte Schichten ein Deep Learning Netz hat, umso mehr kann es abstrahieren und damit auch komplexere Zusammenhänge und subtile Merkmale

in den Daten erkennen. Allerdings wird mit jeder Schicht auch die erforderliche Rechenleistung dramatisch erhöht. Es wird bereits an Netzen mit bis zu 1000 Schichten gearbeitet, um das simultane Dolmetschen, die Gesichtserkennung, das autonome Fahren und die Mensch-Roboter-Kollaboration weiter zu verbessern.

Der Erfolg von Deep Learning hängt auch mit der Möglichkeit zur massiven Parallelisierung und damit auch der Beschleunigung des Trainings zusammen. Computergraphikarten - sogenannte GPUs (Graphics Processing Unit) eignen sich zur Parallelisierung des Trainings neuronaler Netze. GPUs haben massiv-parallele Architekturen, die eine fast 100-fache Beschleunigung der Berechnungen z. B. in Robotern, autonomen Fahrzeugen und Drohnen bei der Sensorauswertung und beim Maschinellen Lernen bewirken. Solche Beschleunigungskarten hat die amerikanische Firma NVIDIA 2007 ursprünglich für den Markt der Computerspiele entwickelt. Das DFKI ist eines der GPU-Forschungszentren, welche über die neueste Hardware von NVIDIA verfügt und damit mit einem Deep-Learning-Supercomputing Server DGX-1 arbeiten kann, der 170 TFLOPS in einem einzigen Gehäuse liefert und etwa 110 K€ kostet.

Wozu nutzt KI?

Auf der Basis der aktuellen hybriden KI-Technologie wird in der neuen Blütephase der Künstlichen Intelligenz z.B. eine neue Generation von Robotern als autonome Systeme möglich, die komplexe Aufgaben auch in für den Menschen gefährlichen (z.B. kontaminierte oder einsturzgefährdete Gebäude) oder nicht zugänglichen Bereichen (z.B. Tiefsee, Weltall) ohne Fernsteuerung selbstständig durchführen können.

Mit Künstlicher Intelligenz lassen sich nicht nur Arbeitsplätze im Bereich der Mobilitätsdienstleistungen wie die von Taxi-Fahrern, Zugführern bis hin zu Co-Piloten in Flugzeugen automatisieren. Auch Aufgaben, die heute eine akademische Qualifikation auf mittlerer Managementebene erfordern, z. B. von

Radiologen, Rechtsanwälten und Versicherungs- und Bankkaufleuten, aber auch Software-Entwicklern, können künftig immer mehr durch KI-Systeme übernommen werden. Ja, sie haben richtig gehört: selbst Programmieraufgaben von Informatikern können in Teilbereichen von KI-Systemen übernommen werden, weil lernende Systeme die Software beispielsweise für eine Bildauswertung in der Medizin in Form eines neuronalen Netzes selbst codieren, wenn man ihnen genügend Trainingsdaten bereitstellt. Mit maschinellem Lernen über Massendaten wird die Software also nicht von einem Programmierer erstellt, sondern von einem KI-System.

Ich will dies an einem konkreten Beispiel aus unserer DFKI Spin-Off Firma Leverton verdeutlichen. Die Software analysiert Verträge mit Künstlicher Intelligenz. Wenn der Portfoliomanager Informationen daraus braucht, muss er nicht mehr die kompletten Verträge lesen. Stattdessen kann er sich von dem KI-System nur die relevanten Stellen im Vertrag zeigen lassen.

Ein Beispiel: Ein deutscher Immobilienfonds kauft ein Shoppingcenter in Madrid. Wenig später bricht das Vordach ein und beschädigt die Einkaufswagen. Der deutsche Portfoliomanager will wissen, ob er die Reparaturen selbst bezahlen muss oder ein anderer dafür haftet. Bei Immobiliendeals kommen schnell Verträge von mehreren hundert Seiten zusammen. Statt nun selbst hunderte Seiten auf Spanisch verfasster Verträge zu durchforsten, kann sich der Manager mit der Leverton-Software die Stellen zeigen lassen, an denen die Haftung geregelt ist – und sich die Vertragsinhalte auch gleich auf Deutsch oder in eine andere Sprache übersetzt anzeigen lassen.

Derzeit treiben wir mit KI die vierte industriellen Revolution, die wir unter der Bezeichnung Industrie 4.0 im Jahr 2011 ausgerufen haben, nicht nur mit Großunternehmen wie Siemens und Bosch, sondern auch mit Mittelständlern wie Harting, Wittenstein Festo und Sick als Pioniere voran. Mit cyber-physischen Produktionssystemen und der Digitalisierung von Dienstleistungen nutzen wir die

Chance, den Wohlstand in Deutschland durch die Integration von KI in die Exportschlager unserer Wirtschaft - vom Mähdrescher, über das Auto bis zum Geschirrspüler - nachhaltig zu sichern. Die Mensch-Technik-Interaktion kann durch die Einbettung von KI in unsere technisierte Umwelt so gestaltet werden, dass sich der Mensch nicht länger der Technik anpassen muss, sondern sich die Technik dem Menschen individuell anpassen kann. Dazu hat die Denk- und Ingenieurstradition Deutschlands von Leibniz bis Zuse entscheidend beigetragen.

Der Erfolg von Technologien der KI wirft allerdings auch eine Vielzahl ethischer, philosophischer, juristischer und sozialer Fragen auf, die frühzeitig auch in Bürgerforen diskutiert werden müssen, um das Gefühl eines Kontrollverlustes und damit Akzeptanzprobleme frühzeitig zu vermeiden.

Welche Chancen und Risiken bietet die zukünftige KI?

8,5 Milliarden USD wurden 2015 in neue KI-Firmen investiert: Das ist eine Vervierfachung gegenüber 2010. Neue KI-Forschungszentren entstehen derzeit überall auf der Welt. Toyota hat 1 Milliarden \$ für drei neue KI-Forschungsstandorte in den USA bereitgestellt, Tesla und andere Silicon Valley Firmen ebenfalls 1 Milliarde \$ für ein OpenAI-Institut in San Francisco; auch in Korea und Japan haben die Regierungen im letzten Jahr neue KI-Forschungszentren zusammen mit großen Anwendungsunternehmen gegründet.

Wo stehen wir? Mit dem Deutschen Forschungszentrum für KI mit seinen über 450 Spezialisten haben wir weltweit das größte Kompetenzzentrum hier im Lande. Auch bei Max-Planck und Fraunhofer gibt es neben einzelnen Lehrstühlen an Universitäten Top-Gruppen. In der Industrie haben Automobilunternehmen wie BMW, VW aber auch Softwarehäuser wie SAP und Software AG, sowie deutsche Handelsunternehmen wie OTTO oder GLOBUS die große Bedeutung der KI erkannt und eigene Teams gebildet. Ausländische Unternehmen wie Google und IBM haben in die KI-Forschung in Deutschland investiert und hier

eigene Innovationszentren und –netzwerke aufgebaut. Seit letztem Jahr hat IBM hier in München sein Watson Internet der Dinge Zentrum mit 1000 neuen Arbeitsplätzen im Aufbau.

Die menschliche Intelligenz hat viele Dimensionen: die sensormotorische, die kognitive, die emotionale und die soziale Intelligenz. Wenn man entlang dieser Dimensionen den heutigen Stand der Künstlichen Intelligenz und der menschlichen Intelligenz vergleicht, ergibt sich folgendes Resultat: in der sensormotorischen Intelligenz gibt es eine klare Überlegenheit des Menschen sowohl in der Sensorfusion als auch in der Feinmotorik – unsere heutigen Fußballroboter kommen einfach an die Ballkünste unserer Nationalspieler nicht heran. Bei der kognitiven Intelligenz gibt es in einigen Teilbereichen eine Überlegenheit der maschinellen Intelligenz, wenn extrem viele Daten und Handlungsoptionen schnell analysiert werden müssen - wie das Beispiel AlphaGo zeigt. Bei der emotionalen und sozialen Intelligenz gibt es bei KI-Systemen noch große Schwächen und erst einfache Modelle für die Erkennung von Emotionen und soziales Verhalten. Unsere Fußball-Roboter des DFKI, die in dieser Woche gerade wieder Weltmeister wurden, geben viel zu wenig ab und wollen lieber selbst die Tore schießen – die für ein wirkliches Teamplay notwendige soziale Intelligenz ist nur rudimentär realisiert. Nun komme ich zur Antwort auf meine eingangs gestellte Frage: Für welches Spiel ist es eine besondere Herausforderung den amtierenden Weltmeister zu schlagen: Es ist Poker, wobei bei der letzten Weltmeisterschaft in Las Vegas der Sieger immerhin 7,6 Millionen Dollar Preisgeld erhielt. Dabei ist die subtile Erkennung von Emotionen anhand von Gestik, Mimik und Sprache bei dem Gegner ein entscheidender Vorteil der Poker-Profis zusammen mit der gezielten Unterdrückung von eigenen Emotionen beim Bluffen mit dem sogenannten Pokerface. Zum Training von Poker-Profis werden schon KI-Systeme genutzt. Es gibt schon recht gute KI-Pokersysteme etwa von der CMU und dem DFKI, die aber im letzten Jahr noch von menschlichen Poker-Spielern bei einem Turnier in Pittsburgh besiegt wurden.

Ich halte nichts von Singularitäts-Propheten und anderen Transhumanismus-Jüngern, die eine dem Menschen überlegene Superintelligenz als Vision propagieren und damit die Angst vor der Unterwerfung der Menschheit durch superintelligente Roboter schüren, wie sie in trivialen Science Fiction Romanen immer wieder thematisiert wird. Dagegen ist es unser Ziel, eine unsere menschlichen Intelligenz unterstützende, ergänzende oder auch komplementäre maschinelle Intelligenz zu entwickeln, so dass menschlicher und maschineller Intellekt zusammen Probleme lösen, die uns Menschen beschäftigen. Es sollen dabei auch bekannte Defizite menschlicher Intelligenz durch künstliche Intelligenz kompensiert werden. Das bringt uns im gesellschaftlichen Diskurs besser voran als die Diskussionen um eine Superintelligenz. Wir arbeiten als KI-Wissenschaftler also auf keinen Fall an einem Super-Homunkulus, sondern an Assistenzfunktionen für den Menschen, der im Mittelpunkt unserer Arbeit steht. Wie bei jeder Hochtechnologie besteht die Hauptgefahr darin, dass KI-Systeme von der organisierten Kriminalität, dem Terrorismus und totalitären Staaten genutzt werden, um ihre menschenfeindlichen Ziele zu verfolgen. Umgekehrt können wir aber mit KI auch Kriminelle bekämpfen: Unser am DFKI entwickeltes KI-System iCOP wird bereits vom BKA zur Strafverfolgung eingesetzt: Wir erkennen automatisch Kinderpornographie - mit 8% Fehlerrate für Videos mit multimodaler Analyse von Bildfolgen und Ton in kriminellen P2P-Tauschbörsen. Wir ermitteln auch den Tatort und leisten mit Deep Learning eine Tattoo-Wiedererkennung der Täter.

Wenn ich heute gefragt werde: Ist die KI besser als unser Gehirn? Dann ist die klare Antwort: Noch lange nicht. Aber andererseits ist klar: Künstliche Intelligenz ist besser als natürliche Dummheit!

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!