

Künstliche Intelligenz und Robotik

Begriffsdifferenzierung und Forschungsperspektiven

Oliver Brock

- › Oft ist das, was wir als künstliche Intelligenz bewundern, nur das Vermögen, große Datenmengen schnell und effektiv zu verarbeiten, etwa wenn Computer Schach oder Go spielen. Derartige Fähigkeiten, die nicht auf einem Verständnis von biologischer Intelligenz beruhen, können wir als *Silicon Intelligence* bezeichnen, da sie eng mit Fähigkeiten siliziumbasierter Informationstechnologie verknüpft sind.
- › Die Differenzierung zwischen *Silicon Intelligence* und „künstlicher Intelligenz“ – also Intelligenz in einem anspruchsvolleren Sinne, die der menschlichen Intelligenz nahekommt – wäre hilfreich, um mehr Klarheit in die Diskussion zu bringen: Wenn es das Ziel künstlicher Intelligenz ist, der menschlichen Intelligenz nahe zu kommen, wo stehen wir dann zurzeit? Was ist in naher Zukunft zu erwarten? Welche Schritte müssen wir gehen?
- › Eine solche differenzierte Betrachtung – in Politik und Gesellschaft, aber auch in der Wissenschaft – könnte dazu beitragen, KI-Forschung noch erfolgreicher zu machen, indem der Blick nicht verengt wird und interessante Optionen nicht außer Acht gelassen werden.

Inhaltsverzeichnis

Was ist eigentlich „Intelligenz“?	2
Moravecs Paradox	3
Einfache und schwierige Herausforderungen für natürliche Intelligenz	4
Forschungsfelder der künstlichen Intelligenz	6
Wissenschaftliche und technologische Trends	7
Anwendungsfelder künstlicher Intelligenz	9
Eine Strategie für künstliche Intelligenz	10
Impressum	11

Seit Tausenden von Jahren ist die Menschheit bestrebt, Fähigkeiten von Lebewesen in Maschinen nachzuahmen und zu übertreffen und sich die daraus resultierenden Artefakte – z. B. Roboter – zu Nutze zu machen. Nie zuvor waren die Menschen ihrem Ziel so nahe, und nie zuvor war die Notwendigkeit des Gelingens dieses Unterfangens größer als heute.

Wir haben bereits Maschinen geschaffen, die stärker und schneller, präziser und ausdauernder sind als der Mensch, die fliegen, schwimmen und tauchen, ja sogar durch das Weltall zu anderen Planeten fliegen. Wir haben Maschinen gebaut, die in Sekundenschnelle Milliarden von Rechenoperationen durchführen oder global verteilte, schier unermessliche Mengen an Daten durchsuchen. Kurzum: In vielen Aspekten übertreffen unsere Erfindungen bereits die Natur.

In einem Aspekt kann jedoch keine Maschine der Natur auch nur annähernd das Wasser reichen: bei der natürlichen Intelligenz. Gemeint ist die wissenschaftlich noch unzulänglich verstandene Fähigkeit vieler Lebewesen, komplexe Probleme zu lösen, sich der Umwelt anzupassen, vor Schwierigkeiten gestellt immer wieder Lösungen zu finden und letztendlich auch das Vermögen, diese Fähigkeiten untereinander weiterzugeben.

Was ist eigentlich „Intelligenz“?

Noch verstehen wir nicht, was genau Intelligenz beinhaltet. Wir wissen nicht, welche Teilfähigkeiten sich auf welche Art und Weise kombinieren, um Menschen und Tiere zu intelligentem Verhalten zu befähigen.

Viele wissenschaftliche Disziplinen befassen sich mit natürlicher Intelligenz: Psychologie, Neurowissenschaften, Verhaltensbiologie, Erziehungswissenschaften, Philosophie. Jede dieser Disziplinen produziert wichtige Erkenntnisse. Und doch ergibt das Zusammenfügen dieser Fragmente noch kein konsistentes Gesamtbild. Es existieren viele Definitionen von Intelligenz, aber keine von ihnen kann als abschließend oder vollständig gelten. Noch wissen wir nicht, was natürliche Intelligenz ausmacht. Aber wir glauben, sie zu erkennen, wenn wir sie sehen.

Trotz unseres mangelnden Verständnisses von Intelligenz lesen wir immer wieder Berichte, die Fortschritte – ja sogar Durchbrüche – in der künstlichen Intelligenz verkünden. Ist es nicht widersprüchlich, über künstliche Intelligenz zu forschen, wenn wir noch nicht einmal genau wissen, was natürliche Intelligenz ist?

Moravecs Paradox

Bereits in den 1980er Jahren gelangten Forscher auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz zu der Erkenntnis, dass es relativ einfach ist, Computern vermeintlich hohe kognitive Leistungen, wie z. B. das Schachspielen, beizubringen. Ungleich schwerer ist es, ihnen Fähigkeiten zu verleihen, die für ein dreijähriges Kind selbstverständlich sind: z. B. Wahrnehmung, Mobilität und manuelle Manipulation der Umwelt. Mit anderen Worten: Das, was Menschen automatisch und ohne bewusste Mühe tun, ist für künstliche Intelligenz die eigentliche Herausforderung. Was Menschen jedoch aneinander bewundern, etwa die Fähigkeit siebenstellige Zahlen im Kopf zu multiplizieren, einen Großmeister im Schach zu schlagen oder sich Hunderte von Begriffen zu merken, ist mit Maschinen einfach zu realisieren. Diese Einsicht bezeichnet man als *Moravecs Paradox*, benannt nach Hans Moravec, einem Pionier der Erforschung der künstlichen Intelligenz.

Intelligenz – und was
wir an Maschinen
bewundern

Moravecs Paradox liefert uns eine intuitive Unterteilung von Fähigkeiten in solche, die wir relativ einfach in Technologie übertragen können, und solche, deren Übertragung uns noch vor erhebliche Rätsel stellt.

Betrachten wir mit dem Wissen um Moravecs Paradox den Stand der Wissenschaft, gilt es festzuhalten: Wir feiern technische Errungenschaften in der künstlichen Intelligenz als Meilensteine, die nach Moravecs Paradox zu den „einfach“ zu erzielenden Fähigkeiten zählen. Als Beispiele seien das Programm AlphaGo (Google) genannt, das den Weltmeister im Brettspiel Go besiegte, oder IBM Watson, ein Computerprogramm, das wohl jeden Menschen im Spiel Jeopardy! besiegt (wobei nicht klar ist, ob Watson auch gegen einen Menschen gewinnen könnte, der Zugang zu großen Datenmengen hat, so wie Watson) und nicht zuletzt Deep Blue, das Programm, das bereits 1997 den Schachweltmeister Gary Kasparow besiegte.

All diese Errungenschaften sind ausgesprochen beeindruckende Fortschritte der Wissenschaft. Aber es ist fraglich, ob auf Grundlage dieser Fortschritte auch Fähigkeiten erzeugt werden können, die laut Moravecs Paradox schwierig und somit exemplarisch für natürliche Intelligenz sind.

Wir können aus Moravecs Paradox folgende Lehre ziehen: Ein Mensch ist dann von einem anderen Menschen beeindruckt, wenn dieser Dinge tut, zu denen ersterer selbst nicht imstande ist. Den Weltmeister in Go zu schlagen, ist für Menschen außergewöhnlich. Wenn dies aber einer Maschine gelingt, spielt sie einen unfairen Vorteil aus: ihre ungeheure Rechenkraft. Sie verfügt jedoch über keine generelle Intelligenz, sondern nur über eine Art Inselbegabung. Ein Mensch hingegen, der sehr gut Go spielt, ist intelligent – vermutlich sogar überdurchschnittlich intelligent. Wir bewundern ihn, weil er wahrscheinlich auch noch viele andere Dinge besser kann als man selbst. Eine Maschine kann aber ausschließlich Go spielen, auch wenn wir versucht sind, ihr weitere Fähigkeiten zuzuschreiben.

Keine Intelligenz
– aber ungeheure
Rechenkraft

Einfache und schwierige Herausforderungen für natürliche Intelligenz

Wenn also die Fähigkeit, Aufgaben wie Schach, Go oder Jeopardy! zu lösen, kein hinreichendes Indiz für Intelligenz ist, wie müssen dann Problemstellungen aussehen, damit man an ihnen Intelligenz entwickeln und testen kann? Diese Frage soll anhand von drei Beispielen aufsteigender Komplexität erläutert werden. Dabei behalten wir Moravecs Paradox im Hinterkopf: nämlich, dass sich die größten Herausforderungen aus der Interaktion mit der echten Welt ergeben (Wahrnehmung, Bewegung, Manipulation usw.).

Schach

Die Welt des Schachs besteht aus 64 Feldern und 32 Figuren. Der Zustand dieser Welt ist durch Zuweisung der Figuren auf die Felder unmissverständlich und vollständig repräsentiert. Dank festgeschriebener Bewegungsmuster der Figuren sind die Handlungsmöglichkeiten klar definiert und führen zu einem eindeutigen Ergebnis. In gewisser Weise verstehen wir die Welt des Schachspiels vollständig. Die Herausforderung besteht also ausschließlich darin, die möglichen Handlungsstränge des Spiels zu durchsuchen: Wir sprechen von einem Suchproblem. Bei solchen Suchproblemen helfen Rechenkraft und Problemverständnis. Genauso verhält es sich bei dem Brettspiel Go.

Reine Suchprobleme
– ein Kinderspiel für
Algorithmen

Reine Suchprobleme, wie Schach und Go, sind weit entfernt von Herausforderungen, die natürliche Intelligenz zu bewältigen hat. Inwieweit eine solche künstlicher Intelligenz die Bezeichnung „Intelligenz“ wirklich verdient, ist damit offen.

Autonomes Fahren

Autonomes Fahren findet naturgemäß in der realen Welt statt. Ein autonomes Fahrzeug muss mit der Komplexität der realen Welt verlässlich umgehen können. Somit handelt es sich beim autonomen Fahren um eine grundlegend anders geartete Problemkategorie als beim Schach. Suchprobleme spielen hier zwar auch eine Rolle, aber zusätzlich gibt es große Herausforderungen bei der korrekten Wahrnehmung in der realen Welt.

Auch beim autonomen Fahren hören wir immer wieder von Fortschritten und Durchbrüchen. Dennoch haben sich alle zeitlichen Prognosen bisher nicht erfüllt und autonome Fahrzeuge bleiben auf unseren Straßen eine Seltenheit. Der Umgang mit Ausnahmesituationen stellt für autonome Fahrzeuge immer noch eine große Herausforderung dar: ein Indiz, dass das Wahrnehmungsproblem noch nicht gelöst ist.

Können wir autonomen Fahrzeugen bereits Intelligenz zuschreiben? Eine eindeutige Antwort gibt es nicht. Im Sinne von Moravecs Paradox ist autonomes Fahren aber ein Problem, das fundamental schwerer zu lösen ist als Schach, eben weil es auch Wahrnehmung erfordert.

Escape Rooms

Escape Rooms erfreuen sich als Gesellschaftsspiel großer Beliebtheit: Die Spieler werden in einem realen Raum eingeschlossen, aus dem es zu entkommen gilt. Alles, was man für die Flucht benötigt, ist in diesem Raum vorhanden. Die Flucht gelingt dann, wenn mechanische und logische Rätsel unter Verwendung von Allgemeinwissen gelöst werden. So könnten zum Beispiel in einer in diesem Raum deponierten Zeitschrift Zahlen angestrichen sein, die die Kombination für ein Zahlenschloss liefern, das wiederum eine Kiste öffnet, in der ein Schlüssel liegt, der die Tür des Raums öffnet.

Mechanische und
logische Aufgaben
lösen.

Ein Entkommen aus einem *Escape Room* ist für eine künstliche Intelligenz eine deutlich anspruchsvollere Aufgabe als Schachspielen oder Autofahren. Wir würden jemandem, dem es gelingt, aus einem *Escape Room* zu entkommen, ohne Zweifel für intelligent halten.

Komplizierte
Handlungsoptionen

Wie beim autonomen Fahren muss im *Escape Room* die Umwelt wahrgenommen werden, um daraus Handlungen abzuleiten. Allerdings müssen im *Escape Room* nicht nur Hindernisse und Verkehrszeichen erkannt werden. Darüber hinaus ist es notwendig, die Funktionsweise der Gegenstände zu erkennen und sie in Bezug zu setzen (z. B. Schlüssel und Schloss). Außerdem sind die Handlungen vielfältiger als die Tätigkeiten beim Autofahren: Man muss Türen öffnen, Schlüssel benutzen, Bücher durchblättern oder Gegenstände bewegen.

Hier mag man irritiert sein: Jedes Kind exploriert seine Welt, wie in einem *Escape Room*. Etwa indem es Schubladen öffnet und deren Inhalt auf dem Boden verteilt. Autofahren hingegen muss man beigebracht bekommen, genauso wie Schach. Die meisten Menschen sind in der Lage, ein Auto zu steuern, aber nur wenige vermögen es, auf hohem Niveau Schach zu spielen. Uns erscheint also Schach spielen und Autofahren schwerer als der *Escape Room*. Genau dies ist die Bedeutung von Moravecs Paradox: Unsere Intuition trügt, und es ist eben genau das, was jeder Mensch bereits kann, was natürliche Intelligenz ausmacht.

Nun können wir den skizzierten Widerspruch im Detail auflösen und erklären, warum immer wieder Durchbrüche in der künstlichen Intelligenz gemeldet werden, die sich im Grunde genommen auf Suchprobleme beziehen. Es liegt einfach daran, dass es umgangssprachlich zwei unterschiedliche Intelligenzbegriffe gibt. Zum einen wird als künstliche Intelligenz bezeichnet, wenn Computer Probleme lösen, die *beim Menschen* auf das Vorhandensein von Intelligenz schließen lassen (etwa die Fähigkeit, erfolgreich Schach, Go oder Jeopardy! zu spielen). Dieser Rückschluss ist aber bei einem Computer nicht zulässig. Computer, die Schach oder Go spielen können, sind keineswegs auch intelligent!

Unterschiedliche
Intelligenzbegriffe:
die Intuition trügt

Zum anderen gibt es den Begriff der „künstliche Intelligenz“ als Bezeichnung für das Verständnis und die Technologisierung natürlicher Intelligenz. Hier steht die Wissenschaft noch ganz am Anfang, trotz wiederholter, anders lautender Meldungen in der Presse (und auch von einigen Forschern, die eher über das Potential ihrer Forschungsarbeit sprechen als über das bereits Erreichte).

Um im Folgenden zwischen den beiden Bedeutungen des Begriffs künstliche Intelligenz zu unterscheiden, nenne ich die Fähigkeit, Probleme durch effiziente Suche oder mithilfe riesiger Datenmengen zu lösen, *Silicon Intelligence*. Diese Fähigkeit beruht unter anderem darauf, dass Transistoren aus Silizium (engl.: silicon) viel schneller schalten können als biologische Neuronen und dass elektronische Datenspeicher transparente Auslesemechanismen besitzen.

Silicon Intelligence und
künstliche Intelligenz
unterscheiden!

Diejenige künstliche Intelligenz, die natürliche Intelligenz nachzuempfinden versucht, nenne ich dagegen weiterhin „künstliche Intelligenz“. Verwirrenderweise wird „künstliche Intelligenz“ auch als Bezeichnung eines Forschungsfeldes verwendet: das ich im Folgenden mit der Abkürzung „KI“ bezeichne.

Forschungsfelder der künstlichen Intelligenz

Künstliche Intelligenz (KI)

KI ist ein Überbegriff für viele Disziplinen und eine weit gefasste Umschreibung von wissenschaftlicher Beschäftigung mit künstlicher Intelligenz im weitesten Sinne. Maschinelles Lernen und auch große Teile der Robotik sind Untergebiete der KI. Obwohl das Feld sehr vielseitig ist, gibt es eine Reihe von Paradigmen, mit denen Wissenschaftler versucht haben, künstliche Intelligenz zu erschaffen.

Die Anfänge der KI fokussierten sich auf Symbolverarbeitung: Intelligenz wurde als Manipulation von Formeln verstanden. Als sich die gewünschten Erfolge nicht schnell genug einstellten, kamen Zweifel an der Hypothese von Intelligenz als Symbolverarbeitung auf. Es entstand Raum für neue Ideen, wie zum Beispiel den Konnektionismus. Dabei wurde versucht, die vermutete prinzipielle Funktionsweise des menschlichen Gehirns mithilfe von sogenannten neuronalen Netzen im Computer nachzuempfinden. Aber auch hier stagnierte die Forschung, fundamentale Einwände wurden erhoben. Neuronale Netze galten dann jahrzehntelang als Nischentechnologie, bis sie vor wenigen Jahren durch *Deep Learning* wieder ins Scheinwerferlicht gerieten – mehr dazu später. Weitere Paradigmen in der KI sind die Bayesianische Wahrscheinlichkeitsrechnung (benannt nach dem englischen Mathematiker Thomas Bayes) und die Statistik. Beide Methoden sind immer noch weit verbreitet. Es gibt eine Vielzahl weiterer Ansätze, wie die evolutionären Algorithmen, die versuchen, Evolution im Rechner nachzuempfinden.

Von symbolischen
Systemen zum Kon-
nektionismus

Ein zunehmend an Bedeutung gewinnender Zweig der KI wird als „*nouvelle KI*“ bezeichnet. Ihr Ansatz beruht auf der Einsicht, dass Körper und Geist im Kontext intelligenten Verhaltens nicht zu trennen sind: Sie bilden eine Einheit, die intelligentes Verhalten erzeugt. Der Körper muss also in die Untersuchungen des Intelligenzbegriffs einbezogen werden.

Nouvelle KI

Die *nouvelle KI* berücksichtigt darüber hinaus auch die Umwelt als Teil des intelligenten Systems. Denn bei vielen Alltagshandlungen ist die Umwelt maßgeblich an intelligentem Verhalten beteiligt. Man denke nur an die Verwendung von Erinnerungszetteln oder eines Smartphones zur Navigation.

In jedem der genannten Bereiche wird weiterhin geforscht. Aber keiner von ihnen konnte sich bisher nachhaltig als dominierender Ansatz der KI-Forschung durchsetzen. Obwohl es nicht ausgeschlossen ist, dass dies künftig noch geschieht, scheint eine Kombination der verschiedenen Ansätze vielversprechender. Selbstverständlich können auch völlig neue Paradigmen entstehen, etwa durch die Fortschritte von Quantencomputern.

Vielfalt der Ansätze

Maschinelles Lernen (ML)

ML ist eine Teildisziplin von KI und befasst sich vornehmlich mit der Entwicklung von (Lern-) Methoden. Diese Methoden dienen der Lösung verschiedenster Probleme. Zurzeit ist das *Deep Learning* von herausragender Bedeutung, aber auch Methoden des statistischen Lernens (der dem *Deep Learning* vorausgegangene Trend) finden nach wie vor große Beachtung.

Deep Learning

Methoden des maschinellen Lernens finden überall dort Verwendung, wo es Menschen unmöglich oder noch nicht gelungen ist, explizite Lösungsverfahren zu beschreiben. Dies betrifft auch Probleme in der echten Welt – wenn Daten verrauscht und unvollständig sind. Menschen fällt es z. B. nicht schwer, einen bestimmten Gegenstand auch unter wechselnden Beleuchtungssituationen oder bei teilweiser Verdeckung durch einen anderen Gegenstand wiederzuerkennen. Für Computer ist dies weiterhin eine große Herausforderung. ML hilft ihnen dabei, diese Herausforderungen zu meistern.

Problemlösen in der
realen Welt

Robotik

Im Gegensatz zum maschinellen Lernen widmet sich die Robotik nicht vorrangig der Entwicklung von Methoden, sondern der Lösung von spezifischen „robotischen“ Problemen. Dafür wird eine Vielzahl von Methoden (auch aus dem maschinellen Lernen) herangezogen – oder es werden völlig neue Methoden entwickelt.

Fokus auf Probleme
der realen Welt

Der Fokus auf konkrete Probleme ist für die Erforschung der künstlichen Intelligenz unerlässlich. Da es keine universelle Intelligenz geben kann, muss jede Form der Intelligenz auf eine Problemkategorie zugeschnitten sein. In der Evolution bezeichnet man diese Problemkategorie als ökologische Nische. Der Grad an Intelligenz lässt sich daran ablesen, inwieweit ein intelligent handelnder Agent die Eigenschaften der ökologischen Nische ausnutzt, um sein Verhalten vorteilhaft anzupassen. Die Robotik ist aufgrund der Berücksichtigung des Körpers (des Roboters) und ihres Fokus auf spezifische Probleme als Disziplin für die Erforschung der künstlichen Intelligenz prädestiniert.

Robotik: Automati-
sierungstechnik und
künstliche Intelligenz

Derzeit teilt man die Robotik in zwei Untergebiete auf, die sich einander immer weiter annähern. Zum einen die Automatisierungstechnik, die aus vielen Wirtschaftszweigen nicht mehr wegzudenken ist. Sie löst Probleme, die sich aus den Anforderungen der Fertigung von industriellen Produkten oder der Bereitstellung entsprechender Dienste ergeben. Und dann gibt es noch jenen Teil der Robotik, der sich mit künstlicher Intelligenz befasst. Hier gilt es, durch Konstruktion eines Artefakts (z. B. Roboter) ein Verständnis natürlicher Intelligenz zu erlangen, gemäß dem Leitsatz von Richard Feynman „What I cannot create, I do not understand.“ Dieser Teil der Robotik ist eine Teildisziplin der KI.

Moravecs Paradox lehrt uns, dass Wahrnehmung und Handeln wichtige, wenn nicht gar zwingende Aspekte von natürlicher Intelligenz sind: Robotik ist also notwendig, um Intelligenz zu verstehen, da die Interaktion zwischen Agent und Umwelt – als maßgebliches Merkmal natürlicher Intelligenz – das ist, womit sie sich naturgemäß befasst. Die Robotik spielt daher bei der Erforschung der künstlichen Intelligenz eine herausragende Schlüsselrolle.

Wissenschaftliche und technologische Trends

Deep Learning

Deep Learning ist eine Weiterentwicklung des Konnektionismus, des maschinellen Lernens mit (künstlichen) neuronalen Netzen. Seit einigen Jahren liefert die Erforschung der tiefen neuronalen Netze in mehreren Anwendungsdomänen Ergebnisse (Bildererkennung, Spracherkennung, automatische Übersetzung von Texten). Die erheblichen Fortschritte haben in einer Vielzahl von KI-verwandten Forschungsfeldern großen Enthusiasmus ausgelöst. Viele Wissenschaftler glauben, dass *Deep Learning* die Forschung zur künstlichen Intelligenz massiv beschleunigen wird. Einige meinen sogar, dass *Deep Learning* die einzig notwendige Schlüsseltechnologie zum Verständnis künstlicher Intelligenz sei.

Schlüsseltechnologie
zum Verständnis
von KI?

Diese Fortschritte wurden maßgeblich durch die Verfügbarkeit großer Rechenkapazitäten und wachsender Datenmengen ermöglicht. Die neuronalen Netze, auf denen *Deep Learning* basiert, wurden bereits Mitte des vergangenen Jahrhunderts entwickelt. Doch erst die heute existierenden Rechenkapazitäten lassen es zu, sehr viel größere neuronale Netzwerke zu verwenden. Sie bestehen aus vielen Tausenden von Knoten, die vielschichtig angeordnet sind (*deep* = tief, in vielen Schichten). Tiefe neuronale Netze werden unter Zuhilfenahme von sehr großen Datenmengen trainiert. Man trainiert sie, indem sich die Verbindungen zwischen den Knoten, entlang derer Zwischenergebnisse der Berechnung weitergeleitet werden, verstärkt oder abschwächt. Die Vielzahl der Verbindungen in tiefen neuronalen Netzen macht die große Datenmenge erforderlich.

Trainieren statt
Programmieren

Trotz des Enthusiasmus, den *Deep Learning* als vermeintliche Schlüsseltechnologie für künstliche Intelligenz ausgelöst hat, ist Vorsicht geboten. Die Erfolge des *Deep Learning* wurden bisher in Problemdomänen mit bestimmten Eigenschaften erzielt. Künstliche Intelligenz umfasst aber sehr viel mehr als diese Problemdomänen. So ist es ungleich komplizierter, mithilfe des *Deep Learning* Probleme zu lösen, die eine direkte Interaktion mit der Umwelt erfordern oder in denen sich die Umwelt mit der Zeit verändert. Zudem offenbaren sich beim Vergleich von *Deep Learning* und natürlicher Intelligenz große Diskrepanzen. So benötigt natürliche Intelligenz, im Gegensatz zu *Deep Learning*, nur sehr kleine Datenmengen; gleichzeitig spielt bei ihr der Körper eine zentrale Rolle. Beides steht im Gegensatz zum *Deep Learning*.

Den *Deep Learning*-Enthusiasten steht eine Gruppe von Wissenschaftlern gegenüber, die anerkennen, dass *Deep Learning* ein mächtiges Werkzeug bei der Erforschung von künstlicher Intelligenz ist, die allerdings bezweifeln, dass es einen grundlegenden Durchbruch darstellt. Wer recht hat, wird die Zukunft zeigen.

Soft Robotics

Soft Robotics stellt den Körper in den Mittelpunkt. Dem Körper wird die Fähigkeit zu intelligentem Verhalten direkt zugeschrieben. Das mag zunächst seltsam klingen, doch viele Beispiele aus der Biologie belegen, dass komplexe Fähigkeiten allein in der Morphologie des Körpers, also seiner Form und seiner materiellen Beschaffenheit, begründet sind. Und wir wissen, dass die Körper aller Spezies an ihren Lebensraum angepasst sind.

Soft Robotics ist eine fundamentale Abkehr von einem etablierten Prinzip der Robotik. Es war lange Zeit unangefochten, dass ein guter „Körper“ (Roboter) lediglich dazu dient, die berechneten Bewegungen so präzise wie möglich auszuführen. Sein Verhalten ist berechnet und vorbestimmt, es resultiert nicht aus der Morphologie (also Material und Form). Die *Soft Robotics* stellt dieses Konzept auf den Kopf: In *Soft Robotics* ist das Verhalten eines „Körpers“ dann am kompetentesten, wenn Berechnung und Morphologie sich so bedingen, dass jeder den Teil des Problems übernimmt, den er am besten bewältigen kann.

Nehmen wir ein einfaches Beispiel: Ein Roboter greift einen Apfel von einem Teller. In der klassischen, „harten“ Robotik muss der Apfel so präzise wahrgenommen werden, dass eine genaue Greiferstellung ermittelt werden kann, mit der der Apfel nicht beschädigt wird. Verwendet man einen weichen Greifer, so muss er nur ungefähr in die richtige Stellung gebracht werden. Aufgrund seiner materiellen Nachgiebigkeit kann er sich dann beim Greifen sanft um den Apfel schmiegen, ohne ihn zu beschädigen, ähnlich einer menschlichen Hand. Die Verwendung eines weichen Greifers vereinfacht die Wahrnehmung und die Bewegungsausführung grundlegend. Das ist das Prinzip von *Soft Robotics*: der Körper wird Teil der Intelligenz.

Die *Soft Robotics* ist ein fundamentaler Fortschritt und aus der Robotik nicht mehr wegzudenken. In vielen Anwendungsdomänen besitzen weiche Roboter Fähigkeiten, die die von harten Robotern weit übertreffen. *Soft Robotics* gilt als eine Schlüsseltechnologie für die Erforschung der künstlichen Intelligenz. Das ist übrigens weit weniger umstritten als die Rolle des *Deep Learning*. Doch auch *Soft Robotics* sind nur ein Teil der Lösung.

Industrie 4.0

Industrie 4.0 zielt darauf ab, Fertigungsprozesse flexibler, zeit- und kosteneffizienter zu gestalten. Die technische Notwendigkeit liegt in der Tatsache begründet, dass die heutige Automatisierungstechnik nur deshalb so gut funktioniert, weil der Aufwand für die Spezifikation und die Installation der Fertigungsstraßen beträchtlich ist. Die Kosten für die Erstellung der Fertigungsstraßen liegen daher auch um mindestens eine Größenordnung höher als die

Sensitivität und
Sensibilität

Fortschritte in der
Robotik

für die Roboter selbst. Daran wird sich nichts ändern, solange Industrieroboter über sehr beschränkte Wahrnehmungs-, Bewegungs- und Manipulationsfähigkeiten verfügen (wie von Moravecs Paradox vorhergesagt).

Wenn Industrie 4.0 ihre Versprechen erfüllen soll, müssen die Beschränkungen heutiger Automatisierungstechniken aufgehoben oder zumindest abgeschwächt werden. Die Systeme müssen mit flexiblen Wahrnehmungs- und Handlungsfähigkeiten ausgestattet werden. Zugleich wird die Entwicklung von Industrie 4.0 zu Fortschritten in der künstlichen Intelligenz führen. Von diesen Synergien werden beide Seiten profitieren.

Anwendungsfelder künstlicher Intelligenz

Sprechen wir über Anwendungsfelder, in denen die künstliche Intelligenz in naher Zukunft von Bedeutung sein könnte.

Dort, wo bereits heute große Datenmengen vorliegen, die auch für Menschen interpretierbar sind, werden die *Silicon Intelligence* und das maschinelle Lernen große Veränderungen mit sich bringen. Denn in diesen Anwendungsfeldern übertreffen Computer bereits heute die Fähigkeiten von Menschen. Neben den bereits erwähnten Bereichen (Bildererkennung, Spracherkennung und Übersetzung), sind Anwendungen im Rechtswesen oder die medizinische Bildanalyse zu nennen. Schon bald werden Computer routinemäßig Tumore mittels bildgebender Verfahren verlässlicher identifizieren als es Menschen möglich ist. Gleiches gilt für komplexe juristische Verträge, die von Computern schlüssiger und schneller erstellt werden können als von Anwälten.

Tumordiagnostik

Beispiele für weitere Anwendungsfelder sind industrielle Fertigung und Logistik. In der Fertigung ist es bereits üblich, Fertigungsstraßen auf die Fähigkeiten von Robotern hin auszurichten. Es besteht ein wirtschaftlich sinnvoller, inkrementeller Pfad, um zielgerichtete Innovation aus der künstlichen Intelligenz der Anwendung zuzuführen. Gleiches gilt für die Logistik. Mit zunehmendem Internethandel wird die Verteilung von Waren in großen Logistikzentren zentralisiert. Diese können den steigenden Bedarf aber nur dann decken, wenn die heute noch zum großen Teil von Menschen durchgeführten Arbeiten (insbesondere das sogenannte Picking, also das Zusammenstellen einer individuellen Bestellung aus den Lagerbeständen) automatisiert werden. Diese Automatisierung kann, wie in der Fertigung, graduell erfolgen.

Fertigung und
Logistik

Die Fertigung und die Logistik sind also Bereiche, in denen frühe Anwendungen künstlicher Intelligenz wahrscheinlich sind. Darüber hinausgehende Prognose erscheinen schwierig. Oft genannte Beispiele für mögliche Anwendungen künstlicher Intelligenz sind Haushaltshilfen, der Einsatz von Robotern zur Unterstützung alter oder kranker Menschen, bei der Bewältigung von Naturkatastrophen oder anderen Notfällen (z. B. Fukushima), bei der Erkundung der Meere oder anderer Planeten und das automatisierte Erschließen von Bodenschätzen. Noch fehlen viele der Technologien oder sind nicht ausgereift genug, um solche Anwendungen auch tatsächlich zu ermöglichen.

Zudem gilt es noch, die rechtlichen Voraussetzungen für den Einsatz künstlicher Intelligenzen in Alltagsumgebungen zu schaffen. Hier stehen wichtige ethische Fragen von weitreichender gesellschaftlicher Bedeutung an, die einen breiten Dialog aller Interessensgruppen erfordern.

Eine Strategie für künstliche Intelligenz

Künstliche Intelligenz und auch *Silicon Intelligence* werden mit großer Wahrscheinlichkeit disruptiver sein, als alle bisher bekannten Technologien. Wer bei der Entwicklung künstlicher Intelligenz führend ist, verschafft sich nicht nur massive wirtschaftliche Vorteile, sondern wird vermutlich auch die globalen Machtverhältnisse bestimmen. Folglich investieren Industrieländer massiv in die Erforschung der künstlichen Intelligenz. Als Beispiel sei hier nur Frankreich genannt, dass innerhalb von fünf Jahren 1,5 Milliarden Euro bereitstellen will, wie Präsident Macron im März 2018 angekündigt hat.

Wer das Rennen gewinnen wird, ist noch offen. Die großen Internetfirmen in den USA (Amazon, Apple, Google, Facebook, Microsoft) setzen vorrangig auf *Silicon Intelligence*. Sicher auch weil sich hier Ergebnisse direkt in Anwendungen niederschlagen. Dabei bleiben die großen Möglichkeiten der Erforschung „wahrer“ künstlicher Intelligenz weitestgehend unbeachtet – eine große Gelegenheit für andere Player hier die Führung zu übernehmen.

Die fehlende Unterscheidung von *Silicon Intelligence* und künstlicher Intelligenz im öffentlichen und zum Teil auch im wissenschaftlichen Diskurs hat dazu geführt, dass sich die Aufmerksamkeit vornehmlich auf die *Silicon Intelligence* richtet. Eine übergreifende Strategie für die Erforschung und den Einsatz der künstlichen Intelligenz wäre ein erheblicher Wettbewerbsvorteil.

Wie sollte eine solche Strategie aussehen? Die Geschichte der künstlichen Intelligenz hat noch keinen klar dominierenden wissenschaftlichen Ansatz zur Erforschung von Intelligenz geliefert. Derzeit setzen viele Wissenschaftler und Unternehmen in der Welt auf *Deep Learning*. Doch bei genauer Betrachtung gibt es wenig überzeugende Argumente, warum *Deep Learning* die heilsbringende Schlüsseltechnologie sein sollte. Der Enthusiasmus beruht auf wissenschaftlichen Ergebnissen, die zweifelsohne wichtige Errungenschaften darstellen, aber nicht beantworten können, welche Grenzen *Deep Learning* gesetzt sind. Auch andere Konzepte in der künstlichen Intelligenz haben in der Vergangenheit sehr gute Ergebnisse geliefert und sich dann doch nicht als Kandidat für einen beherrschenden Lösungsansatz erwiesen.

Eine zielführende Strategie für künstliche Intelligenz sollte mehrere Ansätze parallel verfolgen. Nur so kann sichergestellt werden, dass Deutschland an wegweisenden Entwicklungen beteiligt ist. Eine solche Strategie sollte auch – neben der Grundlagenforschung – von Beginn an relevante Industrieunternehmen involvieren, da diese sinnvolle „ökologische Nischen“ definieren, innerhalb derer künstliche Intelligenz untersucht werden kann. Zudem sollte eine solche Strategie klar zwischen künstlicher Intelligenz und *Silicon Intelligence* unterscheiden. Nur so wird die mittel- und langfristige Erforschung der künstlichen Intelligenz nicht von kurzfristigen Entwicklungen und Hypes bestimmt. Schließlich sollte eine solche Strategie inhärent multidisziplinär sein und die analytischen Wissenschaften der Intelligenzforschung (Psychologie, Verhaltensbiologie, Neurowissenschaften usw.) mit den synthetischen (Robotik, maschinelles Lernen, KI, Computer Vision usw.) eng verknüpfen. Das ist der plausibelste Weg, dieser wohl größten wissenschaftlichen Herausforderung der Menschheitsgeschichte fundamentale Erkenntnisse abzuringen.

Finanzierung

Inhaltliche
Orientierung

Offener Forschungs-
ansatz als Strategie

Impressum

Der Autor

Prof. Dr. Oliver Brock
Robotics and Biology Laboratory; Technische Universität Berlin

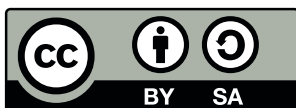
Konrad-Adenauer-Stiftung e. V.

Dr. Norbert Arnold
Leiter des Teams Bildungs- und Wissenschaftspolitik
Hauptabteilung Politik und Beratung
T: +49(0)30 / 26 996-3504
norbert.arnold@kas.de

Postanschrift: Konrad-Adenauer-Stiftung, 10907 Berlin

Herausgeberin: Konrad-Adenauer-Stiftung e. V. 2018, Sankt Augustin/Berlin
Gestaltung: yellow too Pasiek Horntrich GbR
Satz: Janine Höhle, Konrad-Adenauer-Stiftung e.V.
Lektorat: Jenny Kahlert, Konrad-Adenauer-Stiftung e.V.
Druck: copy print Kopie & Druck GmbH, Berlin
Printed in Germany.
Gedruckt mit finanzieller Unterstützung der Bundesrepublik Deutschland.

ISBN 978-3-95721-495-9



Der Text dieses Werkes ist lizenziert unter den Bedingungen von „Creative Commons Namensnennung-Weitergabe unter gleichen Bedingungen 4.0 international“, CC BY-SA 4.0 (abrufbar unter: <https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/legalcode.de>)

Bildvermerk Titelseite
© liuzishan, fotolia