

Über Intelligenz und Superintelligenz

Der Zukunftsforscher Ray Kurzweil analysiert in seinem 2005 erschienen und viel beachteten Buch die technologische Entwicklung von Computern. Er zeigt überzeugend, dass die Entwicklung an allen Fronten exponentiell verläuft. Die Anzahl der Transistoren in Chips verdoppelt sich alle zwei Jahre, die Taktung der Prozessoren alle drei Jahre, die Rechenleistung alle 1,8 Jahre und der Arbeitsspeicher pro Dollar alle 1,5 Jahre. Auf Grundlage einer außerordentlich groben (ich meine sogar hanebüchenen) Abschätzung der Rechenleistung des menschlichen Gehirns sagt Kurzweil voraus, dass Computer uns schon in den frühen 2030er Jahren überflügeln werden. Sobald die technologische Entwicklung nicht mehr durch unsere Intelligenz beschränkt ist, so glaubt er, wird es zu einer wahren Intelligenzexplosion kommen: KI-Programme, die intelligenter sind als wir, werden uns helfen, immer noch schlauere KI-Programme zu entwickeln. Irgendwann entwickeln KI-Programme KI-Programme. Diese Entwicklung wird sich zunehmend beschleunigen und dadurch wird die Menschheit bis zum Jahr 2045 ihre technologischen Fähigkeiten in einem ungeahnten Ausmaß verbessern. Dieser technologische Fortschritt wird unsere gesamte Zivilisation so tiefgreifend verändern wie kein anderer jemals zuvor. Publikumswirksam nennt Kurzweil diesen Zeitpunkt, an dem sich durch KI alles ändern wird, die Singularität.¹

Im Jahr 2016 gab es eine Umfrage auf zwei einschlägigen KI-Konferenzen.² Dort wurden die Expertinnen und Experten gefragt, wann sie glauben, dass bestimmte Aufgaben in der Zukunft von KI-Pro-

¹ Siehe Kapitel 2 und 3 in dem Buch von Kurzweil (2005). Bostrom (2014) bevorzugt statt Singularität den Begriff der Intelligenzexplosion.

² Für die Umfrage siehe Grace, Salvatier, Dafoe & Evans (2018) (insbesondere den Anhang). Diese Arbeit ist stark von Bostrom (2014) beeinflusst.

grammen genauso gut oder besser erledigt werden als von Menschen. Obwohl die Meinungen teilweise extrem stark auseinander gingen, wurden dennoch im Mittel einige Aufgaben als leichter eingeschätzt als andere. So sollte es bis 2024 dauern, bis Telefonbanking nicht mehr nervt. Ab diesem Zeitpunkt sollte auch gesprochene Sprache verlässlich in Text umgewandelt werden oder ein Roboter beliebige Lego-Modelle zusammenbauen können. Es ist jetzt 2025, während ich dieses Buch fertig schreibe, und die ersten zwei Vorhersagen sind zumindest teilweise eingetreten. Nur nutzt niemand mehr Telefonbanking. Erst zwischen 2040 und 2090 wird den Experten zufolge ein KI-Programm einen Bestseller schreiben, interessante mathematische Theoreme beweisen oder wie ein Chirurg operieren.

Wann werden KI-Programme auch die Aufgaben von KI-Forschern übernehmen und selbständig KI-Programme entwickeln? Wenn die Singularität, so wie Kurzweil vorhersagt, 2045 wirklich eintritt, muss das vorher möglich werden. In einer neueren Umfrage aus dem Jahr 2024 – also, nachdem ChatGPT 2022 erschienen ist – glaubt die eine Hälfte der Experten, dass das vor 2060 so sein wird, und die andere Hälfte erst irgendwann danach.³ Vielleicht wollten die pessimistischen Kolleginnen und Kollegen nur nicht wahrhaben, dass sie selber bald überflüssig werden könnten. Sie liegen aber auch laut der neueren Umfrage falsch, da sie nun glauben, dass ein KI-Programm vor 2030 einen Bestseller schreiben könnte. Ich persönlich halte es für viel schwieriger, ein Buch zu schreiben als KI-Forschung zu betreiben.

Maschinen können viele Dinge besser

So oder so: Wir erleben gerade einen Fortschritt in der KI-Forschung, der zeigt, dass Computerprogramme tatsächlich immer mehr Aufgaben genauso gut oder besser erledigen können als Menschen. Descartes hat mit dieser Vorhersage recht behalten. Wann immer eine Maschine eine Aufgabe besser als der Mensch erledigt, ist das eine Pressemitteilung wert: Der Schachweltmeister verliert gegen Deep Blue von IBM, die besten Jeopardy-Spieler gegen Watson von IBM, die besten Go-Spieler verlieren gegen AlphaGo von Google DeepMind, die besten Pokerspieler verlieren gegen Libratus von der Carnegie Mellon University

³ Für diese neuere Umfrage siehe Grace et al. (2024).

und ein Programm der Stanford University zieht bei der Diagnose von Hautkrebs mit Hautärzten gleich.⁴

Heißt das nun, dass die Maschinen intelligenter sind als wir? Zur Erinnerung: Wir sprechen von Künstlicher Intelligenz, wenn Computerprogramme Aufgaben übernehmen, für die Menschen eine gewisse Intelligenz benötigen. Auch ganz langweilige Taschenrechner sind somit irgendwie eine Form von KI. Tatsächlich hat das Wort »Computer« früher keine Maschine bezeichnet, sondern war eine Berufsbezeichnung. Noch bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts haben »Computer«, fast immer Frauen, per Hand physikalische Effekte oder statistische Analysen berechnet, und es schien kaum vorstellbar, dass diese Aufgaben vollständig von einer Maschine übernommen werden könnten. Obwohl Rechnen sicherlich Intelligenz erfordert, empfanden viele berühmte Mathematiker wie Leibniz Rechnen doch als eine langweilige und »knechtische« Aufgabe, die sie gerne abgaben.⁵

In den Kaffeeküchen der großen KI-Institute wird gerne gescherzt, dass eine Fähigkeit immer nur so lange als Ausdruck von Intelligenz gilt, bis diese Fähigkeit einem Computer beigebracht wurde. Descartes dachte, dass Tiere nur Maschinen sind und versuchte, uns durch Sprache und Vernunft von beiden abzugrenzen. Jetzt merken wir, dass sich Maschinen (und Tiere übrigens ebenso) bei vielen Aufgaben ausgesprochen intelligent verhalten. Um sich von den neuesten Maschinen abzugrenzen, gelten für Menschen, die KI gegenüber skeptisch sind, immer gerade jene Fähigkeiten als Ausdruck wahrer menschlicher Intelligenz, die Computer noch nicht beherrschen. Diese Skeptiker können immer weiter behaupten, dass wir Menschen mehr als nur tierische Maschinen sind. Weil sie die Anforderungen ständig in die Höhe schrauben, wird es echte Künstliche Intelligenz für sie also niemals geben.

Es ist trotzdem abzusehen, dass viele Aufgaben von Maschinen auf mindestens demselben Niveau wie von Menschen erledigt werden können. Das sagt doch schon etwas aus über die Intelligenz der Maschi-

4 Jeopardy: Ferrucci et al. (2010), Go: Silver et al. (2016), Poker: Brown & Sandholm (2018), Hautärzte: Esteva et al. (2017). Auf Schach kommen wir später nochmal ausführlich zu sprechen.

5 Siehe Light (1999) dafür, dass »Computer« ein Frauenberuf war. Auch das Programmieren war in den Anfangstagen der Computer übrigens, so wie das Rechnen, eine Frauentätigkeit. Erst als die berufliche Beschäftigung mit Computern nicht mehr als »knechtisch« wahrgenommen wurde, wurde sie weitgehend von Männern übernommen (Hicks, 2018).

nen. Aus pragmatischer Sicht ist es auch verständlich, den Fortschritt in der KI messen zu wollen, indem die Leistung der KI-Programme bei speziellen Aufgaben, wie Schachspielen oder Krebsdiagnose, mit der menschlichen Leistung verglichen wird. Je mehr Aufgaben erledigt werden können, desto intelligenter sind die Maschinen. Aber ist die Intelligenz der Maschinen überhaupt mit unserer menschlichen Intelligenz vergleichbar?

Was ist eigentlich Intelligenz?

Es ist Zeit, den Elefanten im Raum endlich an den Stoßzähnen zu packen: Wovon reden wir überhaupt, wenn wir von Intelligenz sprechen? Die recht vage Definition von KI, die wir bisher genutzt haben, spricht von Aufgaben, für die Menschen Intelligenz benötigen. Wir alle haben ein intuitives Verständnis dafür, was wir mit Intelligenz meinen: ›I know it when I see it.‹ Aber der Alltagsgebrauch des Wortes ist äußerst unscharf. Das heißt nicht, dass es keine wissenschaftliche Präzisierung des Begriffs gibt. In der Psychologie ist mit Intelligenz schlicht das gemeint, was ein Intelligenztest misst. Auch Psychologinnen und Psychologen sind ganz pragmatisch an das Problem einer Definition herangegangen. Sie überlegten sich eine große Menge an kleinen Aufgaben, von denen sie intuitiv dachten, dass diese wohl Intelligenz erfordern sollten. Versuchspersonen bearbeiten dann diese Aufgaben. Aufgaben, die von wenigen Versuchspersonen gelöst werden können, sind offenbar schwerer als Aufgaben, die von vielen Versuchspersonen gelöst werden können. Versuchspersonen, die mehr schwere Aufgaben lösen können, sind per Definition intelligenter.

Diese Intelligenztestdefinition von Intelligenz hängt scheinbar willkürlich von den konkreten Aufgaben des Tests ab. Glücklicherweise hat sich herausgestellt, dass Intelligenztests mit unterschiedlichen Aufgaben ähnliche Ergebnisse liefern. Jemand, der gut in einem Test abschneidet, wird auch in einem anderen Test gut sein. In psychologischen Studien haben sehr viele Versuchspersonen eine große Menge an äußerst unterschiedlichen Aufgaben bearbeitet und so fand man heraus, dass es verschiedene Faktoren gibt, die gemeinsam bestimmen, welche und wie viele Aufgaben von jemandem gelöst werden können. Manche dieser Faktoren sind nicht besonders überraschend. Sprachliche Fähigkeiten und ein großes Vokabular sind wichtig, sofern die

Aufgabe Textverständnis erfordert. Numerische Fähigkeiten und mathematisches Wissen sind wichtig für Algebra-Aufgaben. Da es viele solcher speziellen Fähigkeiten gibt, wird oft gesagt, dass es viele verschiedene Formen von Intelligenz gibt. Die Leistungsunterschiede zwischen Versuchspersonen lassen sich aber nicht alleine durch spezifische Unterschiede in, zum Beispiel, ihren sprachlichen oder numerischen Fähigkeiten erklären. Denn sprachliche Fähigkeiten helfen nicht bei rein visuellen Aufgaben. Und mit numerischen Fähigkeiten kommt man bei Aufgaben ohne Zahlen nicht weit. Statistisch ergibt sich allerdings über alle Aufgaben hinweg tatsächlich ein allgemeiner Faktor für Intelligenz. Personen mit höherer allgemeiner Intelligenz sind tendenziell in allen Testaufgaben besser. Statistisch haben sie auch bessere Schulnoten und mehr Erfolg im Beruf. Die psychologische Definition der allgemeinen Intelligenz ist also gekoppelt an die Fähigkeit, viele verschiedene (mehr oder weniger sinnlose) Testaufgaben erfolgreich zu bearbeiten.

Nun können Computer immer mehr Aufgaben genauso gut oder besser als Menschen erledigen. Es gibt sogar Computerprogramme, die auch typische Aufgaben, die in Intelligenztests vorkommen, lösen können.⁶ Bedeutet das jetzt, dass die Maschinen intelligent sind? Der entscheidende Unterschied zwischen uns und den Maschinen ist derzeit noch, dass Schachprogramme nur Schach spielen können und Taschenrechner nur rechnen. Das können sie zwar besser als Menschen – und daher kann es leicht so erscheinen, als ob sie intelligent wären –, aber das Schachprogramm kann keinen Intelligenztest ausfüllen und der Taschenrechner kann nicht pokern. Röntgenbilder analysieren oder gar Auto fahren können beide nicht. Jede Aufgabe braucht ein eigenes, neues KI-Programm. Das kennen wir alle von herkömmlichen Computerprogrammen: Zur Textverarbeitung benötigt man ein anderes Programm als für die Tabellenkalkulation. Doch wenn man mehrere Programme auf einen Computer lädt, dann kann dieser Computer mehrere Aufgaben erledigen. Das ist ja gerade der Witz von Computern: Sie sind universelle Maschinen. Aber Ihr Programm zur Textverarbeitung kann nicht alleine deshalb Zahlen in einer Tabelle addieren, weil Sie auch ein

6 Hernández-Orallo, Martínez-Plumed, Schmid, Siebers & Dowe (2016) geben einen Überblick über die Testaufgaben, die Computer schon lösen können, und ob und wann es Sinn ergibt, Menschen und Computer mit Intelligenztests zu vergleichen. Siehe auch Hernández-Orallo (2017).

Programm zur Tabellenkalkulation installiert haben. Genauso kann ein Schachprogramm seine Erfahrungen vom Schachspielen nicht auf Dame übertragen. Ein Computer kann nicht bei anderen Spielen besser bluffen, weil er ein intelligentes Pokerprogramm auf seiner Festplatte hat. Insbesondere kann er nicht, so wie ein Mensch, seine Erfahrungen mit Schach, Dame und Poker nutzen, um neue Spiele schneller zu lernen. KI-Programme haben Inselbegabungen, die ihnen mittlerweile oft erlauben, den Menschen auf einzelnen Spezialgebieten zu übertrumpfen. Die menschliche Intelligenz aber ist eine allgemeine Intelligenz, die nicht auf bestimmte Aufgaben beschränkt ist. Das ist wohl, was Descartes mit Vernunft meinte. Menschen können sie bei »allen Arten von Begebenheiten« einsetzen.

Künstliche Intelligenz ist anders

Die KI-Forschung war lange erfolgreich mit ihrer Strategie, Computerprogramme zu entwickeln, die bestimmte Aufgaben besser als Menschen erledigen. Aber weil es dabei traditionell nur um spezielle Lösungen und eben nicht um allgemeine Intelligenz geht, kann man sich schon fragen, ob man dann von Künstlicher Intelligenz sprechen sollte. Autonomes Fahren erfordert es zwar, dass eine große Zahl an speziellen Teilaufgaben erledigt werden, aber am Ende kann das Programm, das das Auto steuert, nur Auto fahren. In den allermeisten Fällen gibt es gar nicht den Anspruch, eine echte KI zu entwickeln, die selbständig alle möglichen Aufgaben bewältigen kann. Ich wünsche mir in letzter Zeit daher oft einen weniger aufregenden Namen für das Forschungsfeld. Einen Namen, der weniger große Erwartungen weckt. John McCarthy, der das Feld 1956 auf den Namen »KI« taufte, wählte bewusst einen reißerischen und medienwirksamen Namen, weil er so hoffte, mehr Mittel und Studenten anzuziehen. Das gelang zwar, aber seitdem ist die Geschichte der KI geprägt von sich abwechselnden großen Erwartungen und großen Enttäuschungen. Sie wäre sicher weniger turbulent verlaufen, hätte McCarthy auf seinen berühmten Mentor Claude Shannon, den Erfinder der Informationstheorie, gehört. Shan-

non bevorzugte den ausgesprochen langweiligen Namen ›Automatenstudien‹.⁷

McCarthys Vorschlag setzte sich schnell durch. Auch, weil die Bezeichnung ›KI‹ den selbst gesetzten Anspruch des neuen Forschungsfeldes widerspiegelte. In den frühen Tagen der KI-Forschung versuchte man tatsächlich, allgemeine Prinzipien intelligenten, menschlichen Verhaltens in Computerprogramme zu gießen. Diese allgemeinen Prinzipien sollten es KI-Programmen erlauben, beliebige Probleme eigenständig zu lösen. So hieß bezeichnenderweise eines der ersten und einflussreichsten KI-Programme ›General Problem Solver‹, mit dem gezielt die allgemeinen Problemlösestrategien von Menschen nachgebildet werden sollten.⁸ Man merkte aber schnell, dass das gar nicht so leicht war, wie man zuerst dachte, weil Menschen flexibel unterschiedliche Strategien bei verschiedenen Problemen einsetzen. Zwar entdeckte man einige Methoden, die breit anwendbar waren, aber man musste sie aufwendig für jedes neue Problem anpassen.

Der Begriff ›Künstliche Intelligenz‹ suggeriert, dass das Ziel der Forschung ist, natürliche Intelligenz in Maschinen nachzubilden. Nur weil ein Computerprogramm bei der Eingabe eines Problems die gleiche Ausgabe wie ein Mensch erzeugt, heißt das aber noch nicht, dass die Maschine die Aufgabe auf die gleiche Weise wie ein Mensch gelöst hat. Die Maschine könnte ganz einfach sein und intern nur in einer großen Tabelle nachsehen, welche Ausgabe sie auf welche Eingabe hin produzieren muss. So wie Descartes sich Maschinen vorgestellt hatte. Die Maschine könnte aber auch, so wie das beim General Problem Solver versucht wurde, wie der Mensch »aus Erkenntnis tätig« sein. Ohne Einblick in die Maschine können wir das nicht beurteilen. Welcher Fall ist es?

- Die Maschine löst die Aufgabe wie ein Mensch und ist intelligent.
- Die Maschine löst die Aufgabe nicht wie ein Mensch und ist nicht intelligent.

⁷ So hieß ein Buch, das Shannon und McCarthy zusammen herausgegeben haben (Shannon & McCarthy, 1956). McCurdock (1979) berichtet darüber in Kapitel 5.

⁸ Die frühen Arbeiten zum General Problem Solver aus den 50er und 60er Jahren gipfelten in dem Buch *Human Problem Solving* von Newell & Simon (1972), das sowohl für die KI als auch die Kognitionswissenschaft ein Meilenstein war und auch Kapitel zu Schach enthält.

Viel Verwirrung über KI kann dadurch vermieden werden, dass man sich klarmacht, dass niemand weiß, was Intelligenz eigentlich ist. Intelligenz ist und bleibt ein schlecht definierter Alltagsbegriff (obwohl es eine Korrelation zwischen den Ergebnissen von psychologischen Tests und Schulerfolg gibt). Bei Computerprogrammen sprechen wir immer dann von KI, wenn wir vermuten, dass ein Mensch für die gleiche Aufgabe, die das Programm erledigt, Intelligenz bräuchte. Deshalb gibt es manchmal Streit in der Forschung. Eine Gruppe behauptet, dass ein Programm ein Problem intelligent löst, und die andere zeigt, dass Menschen das aber auf viel schlaudere Weise können und das Programm deshalb nicht wirklich intelligent ist. Woraufhin die erste Gruppe sich entnervt beschwert, dass man sich doch endlich mal auf eine Definition von Intelligenz einigen sollte, die nicht vom Menschen abhängt.

Manchmal passiert es aber auch, dass man sich schnell einigt:

- Die Maschine löst die Aufgabe auf die gleiche unintelligente Art und Weise wie der Mensch.

Genauso, wie wir Maschinen oft vorschnell Intelligenz zuschreiben, machen wir den gleichen Fehler von Zeit zu Zeit auch bei Menschen. In den allermeisten Fällen lautet das Urteil allerdings am Ende wenig kontrovers:

- Die Maschine löst die Aufgabe ganz anders als der Mensch, wir nennen sie aber trotzdem intelligent.

Angesichts der beeindruckenden Fähigkeiten, die viele Computerprogramme heute zeigen, ist es verständlich, dass wir diese Programme als intelligent bezeichnen. Wir sollten dabei aber nicht vergessen, dass es sich doch um eine andere Art von Intelligenz handelt als unsere eigene, auch wenn die KI-Forschung sich viele der Prinzipien der maschinellen Informationsverarbeitung vom Menschen abgeschaut hat. Wir sind es, die den Maschinen Intelligenz zuschreiben, wobei wir mit dem Begriff recht großzügig umgehen.

Für viele Anwendungen ist es gar nicht nötig, dass Maschinen die menschliche Intelligenz nachbilden, um konkrete Probleme zu lösen. Tatsächlich ist der Ansatz, spezielle Lösungen für spezielle Probleme zu entwickeln, in der Geschichte der KI extrem erfolgreich gewesen. Die große Mehrheit der KI-Forscherinnen und -Forscher hatte deshalb

den alten Traum der Anfangstage, KI-Programme zu entwickeln, die so wie der Mensch jede beliebige neue Aufgabe bewältigen können, schon aufgegeben. In den letzten Jahren erlebt dieser Traum aber eine Renaissance. Forschung mit dem Ziel, es mit der allgemeinen Intelligenz des Menschen aufzunehmen und diese womöglich zu übertreffen, läuft jetzt unter dem neuen Schlagwort ›Allgemeine Künstliche Intelligenz‹ (AKI).⁹

Wie kann man diese ominöse, menschenähnliche allgemeine Intelligenz in Computern nachbilden? Welche Zutaten brauchen Computer dafür? Wenn sie selbständig Lösungen für Probleme finden sollen, brauchen sie als erstes ausgefeilte Suchalgorithmen. Eine zweite Zutat, die gemeinhin als essenziell für Intelligenz angesehen wird, sind Lernalgorithmen. Intelligente Computerprogramme sollten nicht von Menschen für jedes einzelne Problem geschrieben werden, sondern sollten selbständig lernen, Probleme zu lösen. Die Forschung versucht sich daher vom Gehirn abzuschauen, wie Lernen funktioniert. Eine clevere Kombination von Such- und Lernalgorithmen hat die KI-Entwicklung in den letzten Jahren weit vorangebracht. Als dritte essenzielle Zutat für eine AKI gelten derzeit Sprachmodelle. Bevor wir fundiert über die gesellschaftlichen Folgen des Einsatzes von KI-Systemen sprechen können, muss ich in den folgenden Kapiteln erst noch diese drei grundlegenden KI-Methoden genauer erklären: Suchalgorithmen, Lernalgorithmen und Sprachmodelle.

Soviel sei aber jetzt schon verraten: Die aktuellen Sprachmodelle (im Jahr 2025) scheinen tatsächlich ein wichtiger Schritt hin zu AKI-Systemen zu sein. Im Gegensatz zu den meisten bisherigen KI-Programmen, die entwickelt wurden, um eine einzige Aufgabe zu erledigen, können diese Systeme als Grundlage für viele Aufgaben dienen, die einen Sprachanteil haben oder Alltagswissen erfordern. Und das sind in der Tat sehr viele Aufgaben. Die Integration mit Wahrnehmung und einem Körper, der sich bewegen kann, fehlt momentan noch. Aber zu dem Grad, wie Denken und allgemeine Intelligenz von sprachlichen Fähigkeiten abhängen, kommen Sprachmodelle dem Traum von AKI näher als alle bisherigen KI-Systeme. AKI ist trotzdem noch Science-Fiction. Allerdings werden auch ohne AKI Computer immer mehr Aufgaben selbständig bewältigen können. Der Fortschritt in der KI wird dank schnellerer Computer und größerer Datenmengen selbst mit her-

9 Im Englischen: ›Artificial General Intelligence‹ (AGI).

kömmlichen KI-Methoden rasant sein. Ohne AKI wird die Entwicklung von KI-Programmen allerdings weiterhin maßgeblich durch die Intelligenz der Forscherinnen und Forscher beschränkt sein, und es wird die Singularität nur in Science-Fiction-Filmen geben.