

Können Maschinen denken?

Alexander T. Schlenga

21. Mai 2021

Zusammenfassung

Eine Einführung in das Thema. Wir beschäftigen uns mit verschiedenen Herangehensweisen, die Frage nach der Existenz denkender Maschinen zu beantworten. Vorschläge für die hierbei relevanten Aspekte des Denkens und von Computern werden gemacht. Insbesondere wird der klassische Ansatz des Turing-Tests vorgestellt und eingeordnet. Im Thema wichtige Konzepte und Begriffe werden erklärt. Wir lassen die Frage, ob Maschinen denken können schließlich offen.

1 Was ist Denken?

Schon Turing, 1950, S. 433 wies auf die Schwierigkeiten mit den Definitionen der Wörter „denken“ und „Maschine“ hin, wenn man unserer Frage nachgeht. Um sie aber von mehreren Standpunkten aus zu betrachten, ist es dennoch hilfreich, die Bedeutung der Wörter soweit einzugrenzen, dass wir damit argumentieren können.

Uns soll an dieser Stelle genügen, dass es sich beim Denken um einen informationsverarbeitenden Prozess handelt, zu dessen aktiver Durchführung Menschen fähig sind, und mithilfe dessen das denkende Individuum Ansichten, Erkenntnisse und Ideen gewinnen kann (angelehnt an Maier und Nissen, 2018).

Diese Definition erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit oder universelle Korrektheit, sondern soll lediglich als Anhaltspunkt zur Diskussion dienen. Insbesondere sehen wir davon ab, emotionsverarbeitende Prozesse vom Denken auszuschließen. Was wir hingegen exemplarisch explizit ausschließen sind Reflexe des Nervensystems.

Eine wichtige Frage ist, ob der Begriff des Denkens abzugrenzen ist vom Begriff des Bewusstseins. Um uns mit letzterem zu beschäftigen, fehlt hier der Platz, aber wenn man voraussetzt, dass Bewusstsein und Leben nötig ist, um zu denken, erhöht sich die Komplexität des Sachverhaltes.

In engem Zusammenhang mit dem Denken steht auch der Begriff der Intelligenz. Auch hier ist der Zusammenhang nicht vollständig geklärt, aber wir nehmen im Folgenden an, dass Intelligenz eine Voraussetzung für das Denken ist und lassen die Fragen offen, ob Intelligenz auch Denken impliziert.

2 Was ist eine Maschine?

Für alle einfach gestrickten Maschinen reicht uns der intuitive Begriff. So ist beispielsweise ein Traktor eine Maschine, aber ein Hammer ist keine¹.

Die Frage, ob Maschinen denken können, wird jedoch erst dann nichttrivial, wenn wir Computer ins Auge fassen. Früher hat man (im Englischen) als Computer Menschen bezeichnet, die z.B. in Versicherungen die eintönigen, aber zeitaufwändigen Berechnungen von Hand durchführten. Computer war also ein Beruf und keine Bezeichnung für eine komplexe Maschine. Wir wollen hier aber von Computern im heutigen Sinne sprechen. Computer sind demnach mechanische (Babbage, 2010) oder elektronisch-mechanische Maschinen, die (bis auf Beschränkungen durch ihre Endlichkeit) universelle Rechenmaschinen sind und somit im Sinne der Berechenbarkeitstheorie äquivalent zu einer Turing-Maschine (Turing, 1937, S. 231–233). Später wollen wir diese Definition noch erweitern.

Computer sind in unserer heutigen Welt bereits omnipräsent, aber auch solche, die nicht universell sind. Roboter können Computer sein, aber auch Kühlschränke, Ladegeräte, Ausweise, usw.

Wir machen darauf aufmerksam, dass die Frage, ob Maschinen, bzw. Computer denken können, unter Umständen darauf reduziert werden kann, ob Computer-Programme denken können, da ja ein jedes Programm von einem universellen Computer ausgeführt werden kann.

Die Frage, ob Menschen auch Maschinen sind, hat zwar unter Umständen philosophische Relevanz und ihre Berechtigung, kann aber hier nur so entschieden werden, dass wir alle Menschen und das, was wir im klassischen Sinne Lebewesen nennen, hier vom Begriff der Maschine ausschließen, da sonst wiederum die Eingangsfrage trivial wird.

Zwei Klassen von Technologien bedürfen vielleicht einer Klarstellung hinsichtlich ihrer Einordnung: Hirn-Emulatoren und Brain-Computer-Interfaces (BCIs)

Hirn-Emulatoren beschreiben die Möglichkeit, in Zukunft die Funktionen und Prozesse eines (menschlichen) Gehirns mittels eines Programmes und geeigneter Hardware zu emulieren (Bostrom, 2014, S. 35–43). Dies erfordert nicht notwendigerweise die Vorgänge im Gehirn vollständig verstanden zu haben. Wir fassen auch Hirn-Emulatoren konsequenterweise als Maschinen auf.

Brain-Computer-Interfaces bieten bereits heutzutage die Möglichkeit, Informationen aus dem Gehirn direkt in einen Computer einzuspeisen. Die Technologie steckt noch in den Kinderschuhen und ist Gegenstand aktueller Forschung. Systeme, die aus Mensch, BCI und Computer bestehen, betrachten wir allerdings nicht als Maschine.

3 Künstliche Intelligenz

Die Frage, ob Maschinen denken können, lässt sich auf (mindestens) zwei Weisen verstehen:

¹Einen guten Anhaltspunkt liefert auch die europäische Maschinenrichtlinie: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/42/2019-07-26>

1. Können Maschinen, die wir heutzutage haben, bzw. ein Teil von ihnen denken, oder tun sie dies vielleicht schon?
2. Sind Maschinen in unserem Sinne generell dazu in der Lage, zu denken?

Hier zeigt sich bereits, dass es sinnvoll ist, die eventuell alleinige Relevanz des Computer-Programmes in Betracht zu ziehen. Denn die erste Version der Frage lässt sich unabhängig von der Programmierung verstehen, also die Möglichkeit einbeziehend, dass jemand morgen ein Programm schreibt, dass unsere Kriterien des Denkens erfüllt, während die benötigte Hardware bereits schon seit längerem existiert.

Wir wollen im Folgenden versuchen, beiden Lesarten der Fragen nachzugehen, jedoch mit einem Fokus auf die generellen Fähigkeiten von Maschinen, nicht eingeschränkt durch den aktuellen Stand der Technik.

Künstliche Intelligenz (KI) ist hierbei essenziell. Sie wird seit Mitt des 20. Jahrhunderts erforscht (McCarthy, Minsky, Rochester & Shannon, 2006) und auch bei ihr tut man sich mit einer einheitlichen Definition schwer. Grob gesagt, ist die KI ein Teilgebiet der Informatik, das sich mit dem Erschaffen von Programmen beschäftigt, die intellektuelle Probleme lösen sollen, z.B. im Bereich der Planung, Spieltheorie oder Mustererkennung. Sie wird also bisher überall da eingesetzt, wo Entscheidungen rein wissensbasiert und logisch getroffen werden können, jedoch die Probleme für Menschen entweder zu viele oder zu komplex sind.

Es gibt KIs, die nur einen sehr speziellen Einsatzbereich haben und solche, die viel breiter aufgestellt sind. Ein Beispiel für ersteres ist das Schachprogramm Deep Blue (Hsu, 2004), welches erstmals einen amtierenden Schachweltmeister bezwang, ein Beispiel für letzteres der digitale Assistent Siri von Apple, der über das Wetter, den höchsten Berg Europas, die Termine der nächsten Woche oder die WLAN-Funktion informieren kann. In keinem Fall jedoch, ist es bisher gelungen, ein System zu entwickeln, das ein allgemeines Verständnis von der Welt hat, ähnlich wie wir Menschen. Für Programme, und damit für Maschinen, ist es einfach, die Regeln von Schach zu befolgen und tausende von Varianten innerhalb weniger Sekunden durchzurechnen oder schnell Informationen aus Wikidata abzurufen. Jedoch geschehen diese Dinge ohne Verständnis der Sache selbst. Ein Schachprogramm weiß also nicht, dass es Schach spielt. Und wenn Siri sich im Internet informiert, dass der Mont Blanc der höchste Berg Europas ist, weiß es nicht einmal was ein Berg ist, oder Höhe. Für die Programme sind letztlich alles Zahlen (und auch das ist schon von der Maschine abstrahiert).

Hier empfiehlt es sich, die beiden Begriffe der *schwachen* und *starken* KI zu betrachten (Searle, 1980, S. 417):

Schwache KI ist eine KI, die als bloßes Werkzeug anzusehen ist. Eine schwache KI hat selbst kein Verständnis von dem was sie tut, sondern arbeitet lediglich Befehle ab. Insbesondere ist sie nicht in der Lage, natürliche Sprache zu verstehen und sich mit dem Gesagten auseinanderzusetzen. Eine schwache KI arbeitet stets lediglich auf der syntaktischen Ebene, wenn man den Ablauf eines Programmes als Folge von systematischen Zeichenmanipulationen betrachtet. Jegliche KI, die bis heute erschaffen wurde, ist schwache KI.

Starke KI steht ihr gegenüber als (hypothetische) KI, die selbst ein Verständnis von dem hat, was sie erfährt, weiß und tut. Sie hat darüber hinaus ein Gesamtbild der (sie umgebenden) Welt und kann vernünftig völlig neue Sachverhalte erschließen, sowie darüber reflektieren. Starke KI ist somit nicht mehr (nur) Werkzeug, sondern Individuum. Oft wird das *Verstehen* natürlicher Sprache als hinreichende und notwendige Voraussetzung für starke KI betrachtet, denn die starke KI arbeitet auf der semantischen Ebene.

Hier setzen wir an und entscheiden, dass eine KI, die denken kann, eine starke KI sein muss, da nur dann von Erkenntnissen, Ideen, Ansichten und einer aktiven, autonomen Durchführung der Informationsverarbeitung gesprochen werden kann.

Die Ansätze für starke KI waren im Laufe der Zeit einem Wandel unterzogen. Einer der früher vielversprechendsten Ansätze war das System Cyc (Lenat & Guha, 1989) — eine große Wissensdatenbank, deren Informationen in einer formalen Sprache von Hand eingetragen wurden, und die das Programm dann mittels logischer Inferenz erweiterte. Somit sollte ein Gesamtbild der Welt entstehen, rein aus Informationen bestehend.

Systeme, die ähnlich wie Cyc arbeiten, nennt man heute *of Good Old-Fashioned Artificial Intelligence (GOFAI)*. Der Ansatz hat sich als wenig erfolgversprechend erwiesen was starke KI bzw. Verständnis natürlicher Sprache angeht. Beispielsweise hatte Cyc Probleme, einen Text über eine Person namens Fred zu verstehen, die sich morgens rasiert (Linde, 1992). Zum einen wusste das System, das Menschen keine elektrischen Körperteile haben. Zum anderen hatte Fred den Rasierer in der Hand, während er sich rasierte. Darum fragte Cyc, ob Fred, während er sich rasiert, immer noch ein Mensch sei.

Der GOFAI-Ansatz für die KI ist für manche noch nicht vollständig von der Hand zu weisen. Man kann z.B. versuchen, die nicht gegebene Diskretheit der Welt auszugleichen, indem man das System mit Fuzzy Logik arbeiten lässt, statt strenger, diskreter Prädikatenlogik. Dies wird unter anderem bei Expertensystemen umgesetzt.

Der aktuell vielversprechendste Ansatz zu starker KI baut auf maschinellem Lernen auf. Computer, die — ähnlich wie Kinder — selbst lernen, wie die Welt funktioniert, möglicherweise, indem sie mit ihr interagieren, werden ermöglicht durch Neuronale Netze. Neuronale Netze sind eine Idee, die sich an der Funktionsweise des menschlichen Gehirns orientiert. Man geht hier einen völlig anderen Weg als bei den GOFAI-Systemen (weshalb KI mit maschinellem Lernen, bzw. Neuronalen Netzen manchmal auch „Neue KI“ genannt wird), verzichtet aber dabei darauf, einfach nachvollziehen zu können, wie oder warum das lernende System zu einer bestimmten Entscheidung gelangt ist.

4 Tests

Eine Möglichkeit, die Frage nach der Fähigkeit zu denken zu beantworten, liegt darin, diese Fähigkeit als äquivalent zum Bestehen eines gewissen Tests zu definieren. Die Idee stammt von Turing, 1950, S. 433–435.

4.1 Imitation Game

Der von ihm erdachte Test ist das sogenannte *Imitation Game*, heute auch einfach *Turing-Test* genannt. Er beschreibt ein Spiel, bei dem ein Fragesteller zwei Mitspielern Fragen stellen kann und anhand der Antworten entscheiden soll, welcher Mitspieler ein Mensch, und welcher eine Maschine ist. Dabei soll die Kommunikation über getippte Texte erfolgen, um zu verhindern, dass Stimme oder Handschrift etwas über den Verfasser einer Antwort verraten. Der menschliche Mitspieler versucht es dem Fragesteller zu ermöglichen, ihn als Menschen zu erkennen, kooperiert also mit ihm, während die Maschine versucht, den Fragesteller zu täuschen und sich selbst als Mensch auszugeben.

Noch immer wird über die Eignung des Imitation Games zur Beantwortung der Frage nach denkenden Maschinen diskutiert. Wenn wir uns an unser eingangs aufgestelltes Konzept von Denken erinnern, scheint es jedoch erst einmal geeignet, denn sowohl Ansichten, Erkenntnisse als auch Ideen lassen sich mittels Fragen überprüfen. Und eine Maschine, die die Welt nicht versteht und nicht intelligent ist, wird wohl kaum einem Menschen weismachen, menschlich zu sein, oder? Wahrscheinlich doch, wie wir noch sehen werden.

Es lässt sich sagen, dass das von Turing geforderte Kommunizieren über getippte Texte als Einschränkung in Zukunft wahrscheinlich wegfallen könnte, weil immer menschlicher wirkende Roboter konstruiert werden (Nishio, Ishiguro & Hagita, 2007; Oh et al., 2006). Man könnte also zulassen, dass der Fragesteller die Antwortenden sieht. Noch weiter gehen würde eine Variante, in der die Antwortenden auch den Fragesteller sehen oder sogar physisch mit ihm interagieren dürfen. Jede dieser Varianten ist es wert, in Zukunft ausprobiert zu werden.

4.2 Das Chinesische Zimmer

Wenden wir uns nun aber der Kritik am Test in seiner Ursprungsform zu. Hier ist vor allem das Gedankenexperiment des Chinesischen Zimmers von Searle, 1980, S. 417–418 zu nennen. Er schlägt vor, sich ein Zimmer vorzustellen, in dem man alleine eingesperrt ist. Zuerst wird einem nun von Außenstehenden ein Stapel mit chinesischen Schriften ausgehändigt (das Gedankenexperiment geht davon aus, dass man als Person im Zimmer nicht im Geringsten der Chinesischen Sprache oder Schrift mächtig ist). Dieser Stapel wird im Folgenden *Skript* genannt. Daraufhin wird einem ein zweiter Stapel, ebenfalls mit chinesischen Schriften, ausgehändigt. Dieser Stapel enthält jedoch darüber hinaus noch Instruktionen auf Deutsch (bzw. in der eigenen Muttersprache), die einen später Zusammenhänge zwischen dem zweiten Stapel und dem Skript herstellen lassen. Dieser zweite Stapel wird im Folgenden *Geschichte* genannt. Zuletzt erhält man noch einen dritten Stapel, der wieder Texte auf Chinesisch und Deutsch enthält und *Fragen* genannt wird. Diesmal sind die deutschen Texte umfassende Instruktionen, selbst einen Text auf Chinesisch zu verfassen, der dann *Antworten* heißen soll. Diese Instruktionen geben, in Verbindung mit den deutschen Instruktionen aus dem zweiten Stapel, eine genaue Anleitung, wie die chinesischen Zeichen aus den drei Stapeln nach festen Regeln zu transformieren sind, sodass die Antworten entstehen. Diese Instruktionen beziehen sich aber nur auf die *syntaktische Ebene*, also wie die chinesischen Texte — als Zeichen betrachtet — zu manipulieren und zu korrelieren sind. Es kommt zu keiner Erklärung der Bedeutung.

Von außen betrachtet ist, wenn man die Instruktionen außen vor lässt, man als Person, wenn man die Prozedur gut beherrscht, nicht zu unterscheiden von jemandem, der wirklich Chinesisch spricht und versteht: Es geht eine Geschichte (und Hintergrundinformationen) und Fragen zu dieser Geschichte in den Raum hinein und es kommen Antworten heraus. Alles auf Chinesisch. Wir wollen jetzt noch die Gesamtheit aller Instruktionen auf Deutsch *Programm* nennen. Nun wird ein Zusammenhang klar: Das, was im Chinesischen Zimmer passiert ist vergleichbar mit einem Computer, der ein Programm abarbeitet (wobei das Skript eine Wissensdatenbank darstellt). Und es verdeutlicht, dass ein Computer, der mit einem Chinesen kommunizieren soll, dies problemlos tun kann, ohne Chinesisch zu verstehen (man denke auch an moderne Übersetzungsprogramme). Allgemeiner: Der Computer kann Sprache beliebig einsetzen und dabei selbst intelligent wirken, ohne zu wissen, was Sprache ist oder was er gerade tut.

Dieses Gedankenexperiment erkennt dem Imitation Game also seinen Anspruch auf Beantwortung der Frage „Können Maschinen denken?“ ab. Denn ein Computer, der den Test besteht und einen Menschen täuscht, kann dies rein auf Basis eines — von Menschen geschriebenen — Programmes erreichen und fungiert dabei lediglich als schwache KI, ohne zu verstehen, was er eigentlich tut.

Nach wie vor bleibt aber das erfolgreiche Abschneiden eines Computers beim Imitation Game eine interessante Möglichkeit mit vielfältigen philosophischen Konsequenzen.

4.3 Praxis des Turing-Tests

4.3.1 ELIZA

Bereits Weizenbaum, 1966 erschuf mit „ELIZA“ ein Programm, welches mittels natürlicher Sprache mit einem Menschen kommunizieren konnte. Man tippt einen Text ein und das Programm antwortet darauf mit einem Text, der meistens inhaltlich dazu passt. Ein so stattfindendes Gespräch soll (in der bekanntesten Version von ELIZA) eine Therapie simulieren, in der ELIZA im Gespräch fast ausschließlich Fragen an den Patienten und sein Leben beisteuert, mit deren Antworten sich der Patient dann selbst auseinandersetzen soll, sodass das Programm nicht viel Diversität oder Tiefe zeigen muss.

Programme wie ELIZA werden heutzutage gewöhnlich „Chatbots“ genannt und bieten sich sehr gut als Kandidaten für das Imitation Game an. Bereits ELIZA wurde von wenigen als Programm angesehen, das den Test besteht, ist aber noch verhältnismäßig simpel gestrickt; wenn man weiß, wie es funktioniert, lässt es sich leicht in die Irre führen und als Maschine enttarnen.

4.3.2 Eugene Goostman

Einer der besten Kandidaten für das Bestehen des Turing-Tests in letzter Zeit war der Chatbot „Eugene Goostman“². Er simuliert einen 13-jährigen Jungen aus Odessa, Ukraine als Gesprächspartner und entschuldigt dadurch sein unperfektes Englisch. 2014 nahm er an einer Veranstaltung teil und überzeugte beim Imitation-Game 33% der Jury, echt zu sein (Warwick & Shah, 2016). Dieses Ereignis war einer der ernstesten zu nehmenden Ansprüche auf Bestehen des

²Zu erreichen unter <http://eugenegoostman.elasticbeanstalk.com/>

Turing-Tests. Es lässt sich jedoch darüber streiten, ob nicht doch mehr als die Hälfte der Jury überzeugt werden müsse (zur Erklärung: Turing hat in seinem Artikel gemutmaßt, dass im Jahre 2000 Maschinen 30% einer Jury beim Imitation Game überzeugen könnten, weshalb diese Zahl oft als Hürde zum Bestehen des Turing-Tests angesehen wird) oder die Einschränkung auf einen bestimmten Gesprächspartner — wie einen 13-jährigen Ukrainer — nicht gegeben sein dürfe.

4.3.3 Cleverbot

Ein weiterer bekannter und nennenswerter Chatbot ist „Cleverbot“³. Er funktioniert grundlegend anders, weil seine Funktionalität auf einer großen Datenbank aufbaut, die ständig wächst, indem er aus Gesprächen lernt (Saenz, 2010). Somit ist alles, was Cleverbot sagt, vor allem ein Querschnitt dessen, was seine bisherigen Gesprächspartner in entsprechenden Situationen gesagt haben. Cleverbot fehlt ein intrinsischer simulierter Charakter.

Diese Herangehensweise an das Imitation Game ist also nochmal etwas anders, zeigt aber umso deutlicher, dass das Chinesische Zimmer sich in der Praxis widerspiegelt. Auch Cleverbot wurde schon als Turing-Test-Absolvent ausgerufen (Broughton, 2011).

4.4 Alternative Tests

Aufgrund der mangelnden alleinigen Eignung des Turing-Tests als Kriterium wurden — weil Tests eben doch praktisch zur Entscheidung einer solch philosophischen Frage sind — im Laufe der Zeit weitere Tests erdacht, von denen wir hier zwei der wichtigsten erwähnen wollen. Beide versuchen, die Schwäche des Imitation Games, die mit dem Chinesischen Zimmer aufgezeigt wurde, zu vermeiden.

Der Metzinger-Test ist benannt nach seinem Erfinder und verlangt von einer Maschine, aktiv an einer Diskussion über ihre eigene Existenz teilzunehmen und dabei Kritiker vom eigenen Bewusstsein zu überzeugen (Metzinger, 2001). Man bemerke, dass dies die Fähigkeit zum Bestehen des Turing-Tests impliziert. Der Metzinger-Test ist also ein echt stärkerer Test.

Der Lovelace-Test ist benannt nach Ada Lovelace, welche sich bereits als Programmiererin von Babbages Rechenmaschine mit der Frage nach dem Denken von Maschinen auseinandersetzte (of Lovelace, 1842). Sie hält fest, dass Babbages Maschine nichts aus sich selbst heraus tat, sondern nur genau das konnte, von dem sie als Programmiererin wusste, wie es getan wird. Turing, 1950 geht in seinem Artikel darauf ein und formuliert den Einwand so, dass Computer „nie irgendetwas wirklich neues“⁴ tun könnten. Turing postuliert als Antwort damals schon etwas, was mit heutigem Maschinellen Lernen vergleichbar ist, bei dem wir ja auch nicht immer verstehen, wie genau das resultierende System funktioniert. Der Gedanke wurde aber wieder aufgegriffen, und Bringsjord, Bello und Ferrucci, 2003, S. 8–11 konzipierten einen Test, bei dem ein Programm zeigen sollte, dass es eben doch etwas eigenes schaffen

³Zu erreichen unter <https://www.cleverbot.com/>

⁴“never do anything really new”

kann, indem es eine originelle Geschichte schreibe, von der der Erschaffer des Programms (sogar theoretisch) nicht erklären kann, wie sie zu Stande kam.

Beim Erschaffen einer Maschine, die den Lovelace-Test bestehen soll, ist es ein notwendiges (aber vielleicht nicht hinreichendes) Kriterium, unsere Definition von Maschinen wie angekündigt zu erweitern und ein Element des Zufalls zu erlauben, womit wir bei den von Turing, 1950 beschriebenen digitalen Computern mit Zufallselement sind, die die Definition über die Turing-Maschine erweitern.

5 Fazit und Ausblick

Wir haben gesehen, dass die Frage, ob Maschinen denken können sehr vielfältig ist, mehrere Interpretationen zulässt und somit nicht eindeutig beantwortbar ist. Zu dem Thema existiert bereits viel Literatur und zahlreiche Argumente, die sich nicht alle gleichzeitig aufgreifen lassen, ohne jeden Rahmen zu sprengen. Wichtig ist aber das spätestens seit Turings Artikel 1950, die Frage relevant geworden ist und auch gesellschaftlich diskutiert wird.

Um die Unklarheiten und verschiedenen Interpretationen zu umschiffen, haben wir versucht, die Antwort an einem Test festzumachen, der eindeutig bestanden werden kann. Aber auch hierbei lassen sich philosophische Argumente nicht ausblenden, wenn man über den Geltungsanspruch des Tests selbst sprechen möchte. Jedenfalls scheint es absehbar, dass Programme in den nächsten Jahren immer besser darin sein werden, das Imitation Game zu spielen und letztlich die meisten Menschen täuschen können werden. Und dann womöglich dazu übergehen, dass Spiel in physischen Varianten zu perfektionieren.

Zu guter Letzt bleibt die Entwicklung des Maschinellen Lernens und Neuraler Netze abzuwarten, die auch heutzutage schon faszinierende Möglichkeiten bieten. Das Element des Zufalls bei Computern wird dabei nicht an Relevanz verlieren. Aber ebenso sind wir immer noch dabei zu lernen, wie genau eigentlich das Gehirn funktioniert und ob sich etwas wie Bewusstsein oder Denken biologisch erklären und eingrenzen lässt.

Literatur

- Babbage, C. (2010). *Babbage's Calculating Engines: Being a Collection of Papers Relating to them; their History and Construction* (H. P. Babbage, Hrsg.). Cambridge Library Collection - Mathematics. doi:10.1017/CBO9780511694721
- Bostrom, N. (2014, 3. Juli). *Superintelligence: Paths, Dangers, Strategies*. Oxford University Press.
- Bringsjord, S., Bello, P. & Ferrucci, D. (2003). Creativity, the Turing Test, and the (Better) Lovelace Test. In J. H. Moor (Hrsg.), *The Turing Test: The Elusive Standard of Artificial Intelligence* (S. 215–239). doi:10.1007/978-94-010-0105-2_12

- Broughton, C. (Hrsg.). (2011, 1. November). Has Inventor Made a Computer that's as Clever as a Human? Rollo Carpenter's Cleverbot was smart enough to convince a group of techies it was a person. But can it fool Tom Peck? Zugriff 21. Mai 2021 unter <https://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/has-inventor-made-computer-s-clever-human-2350958.html>
- Hsu, F.-H. (2004). *Behind Deep Blue: Building the Computer that defeated the World Chess Champion*. Princeton University Press.
- Lenat, D. B. & Guha, R. V. (1989). *Building Large Knowledge-Based Systems; Representation and Inference in the Cyc Project* (1st). USA: Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.
- Linde, N. (1992). The Machine That Changed the World: The Thinking Machine. Television series. Zugriff unter <https://waxy.org/2008/06/the-machine-that-changed-the-world/>
- Maier, G. W. & Nissen, R. (2018, 14. Februar). *Denken*. In *Gabler Wirtschaftslexikon*. Zugriff unter <https://wirtschaftslexikon.gabler.de/definition/denken-28257/version-251892>
- McCarthy, J., Minsky, M. L., Rochester, N. & Shannon, C. E. (2006). A Proposal for the Dartmouth Summer Research Project on Artificial Intelligence. *AI Magazine*, 27(4). doi:10.1609/aimag.v27i4.1904
- Metzinger, T. (2001). Postbiotisches Bewusstsein: Wie man ein künstliches Subjekt baut – und warum wir es nicht tun sollten. In *Begleitpublikation zur Ausstellung „Computer.Gehirn“ im Heinz Nixdorf MuseumsForum* (S. 87–113). Zugriff unter <https://www.hnf.de/veranstaltungen/events/paderborner-podium/computer-gehirn-und-bewusstsein/metzinger.html>
- Nishio, S., Ishiguro, H. & Hagita, N. (2007). Geminoid: Teleoperated Android of an Existing Person. In A. C. de Pina Filho (Hrsg.), *Humanoid Robots* (Kap. 20). doi:10.5772/4876. eprint: http://www.intechopen.com/books/humanoid_robots_new_developments/geminoid_teleoperated_android_of_an_existing_person
- of Lovelace, A. A. K.-N. C. (1842). Translator's notes to an article on Babbage's Analytical Engiro. *Scientific Memoirs*, 3, 691–731.
- Oh, J.-H., Hanson, D., kim, W.-S., Han, I.-Y., Kim, J.-Y. & Park, I.-W. (2006). Design of Android type Humanoid Robot Albert HUBO. In *Proceedings of (IROS) IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems* (S. 1428–1433).
- Saenz, A. (2010, 13. Januar). Cleverbot Chat Engine Is Learning From The Internet To Talk Like A Human. Zugriff unter <https://singularityhub.com/2010/01/13/cleverbot-chat-engine-is-learning-from-the-internet-to-talk-like-a-human/>
- Searle, J. R. (1980). Minds, brains, and programs. *Behavioral and Brain Sciences*, 3(3), 417–424. doi:10.1017/S0140525X00005756
- Turing, A. M. (1937). On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem. *Proceedings of the London Mathematical Society*, s2-42(1), 230–265. doi:10.1112/plms/s2-42.1.230. eprint: <https://londmathsoc.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.1112/plms/s2-42.1.230>
- Turing, A. M. (1950). I.—COMPUTING MACHINERY AND INTELLIGENCE. *Mind*, 59(236), 433–460. doi:10.1093/mind/LIX.236.433. eprint: <https://academic.oup.com/mind/article-pdf/LIX/236/433/30123314/lix-236-433.pdf>

- Warwick, K. & Shah, H. (2016). Can machines think? A report on Turing test experiments at the Royal Society. *Journal of Experimental & Theoretical Artificial Intelligence*, 28(6), 989–1007. Zugriff unter <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=bth&AN=118480961&site=ehost-live>
- Weizenbaum, J. (1966). ELIZA—a Computer Program for the Study of Natural Language Communication between Man and Machine. *Commun. ACM*, 9(1), 36–45. doi:10.1145/365153.365168