

KI08 Newsletter

Aktuelle Nachrichten aus Welt der Künstlichen Intelligenz. Recherchiert und geschrieben von Paulo Heitlinger.

Die Autoindustrie hat "Self Driving" auf ihre Fahnen geschrieben. Lesen Sie in dieser Ausgabe eine Übersicht über Autonomes Fahren. Ab [Seite 15](#)



Smart Cars repräsentieren den neuesten Fortschritt in der Automobilindustrie, eine Fusion aus traditioneller Mechanik und moderner KI-Technologie. Nicht nur Transportmittel! Diese Fahrzeuge sind auch vernetzte Geräte, die umfangreiche Daten sammeln und verarbeiten.

Sie integrieren fortschrittliche Technologien wie KI und Maschinelles Lernen, um das autonome Fahren zu verbessern. Gleichzeitig erhöhen sie die Abhängigkeit von digitalen Systemen, was neue Herausforderungen in Bezug auf Datenschutz und Sicherheit mit sich bringt... Mehr ab: [Seite 15](#)

KI08 News letter

Impressum

Die KI-Newsletter wird von Paulo Heitlinger verlegt, geschrieben und bebildert. Diese Publikation wird in Köln produziert. Sie wird per E-Mail und über die Website www.mein-ki.de kostenlos vertrieben.

Wenn Sie diese KI-Newsletter abonnieren wollen, senden Sie eine E-Mail an info@mein-ki.de mit dem Stichwort „Abo“.

Inhalt

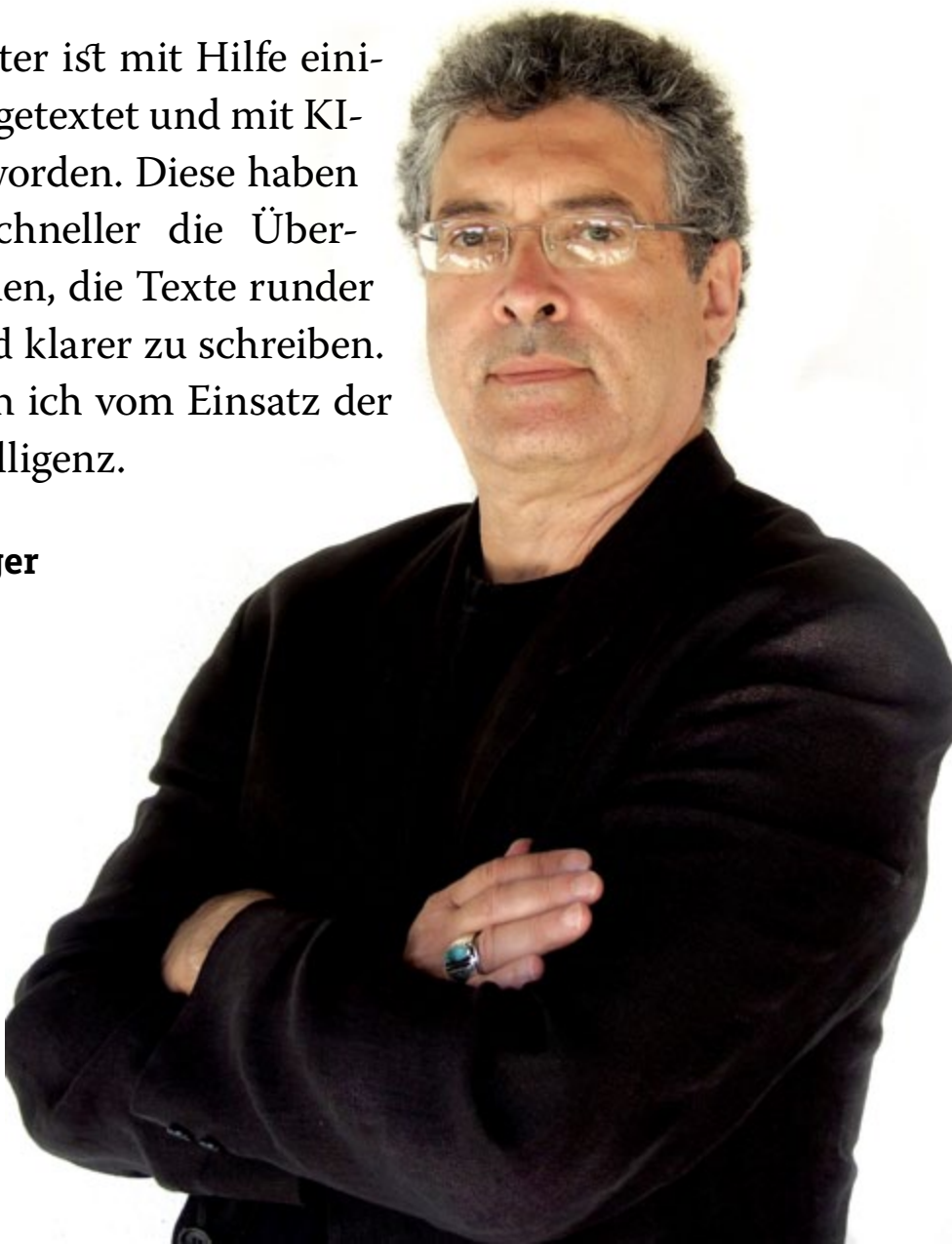
In dieser Ausgabe:

Intro	3
“KI-Führerschein” machen!	4
Fundsachen	4
Was ist ein “Algorithmus”?	5
Was ist ein Quantencomputer?	9
Die Quantenprogramme.....	13
Der neue Quantencomputer der Goethe-Universität.	14
Fahrerloses Fahren: Was ist das?	15
Künstliche Intelligenz beim Autonomen Fahren	17
Die Entwicklung des Autonomen Fahrens.....	18
Selbstfahrende Autos: heute und in Zukunft	21
Autonomes Fahren: Die Sensoren.....	25
Marvin Minsky, KI-Forscher	27
Index.....	30

Diese KI-Newsletter richtet sich an alle Interessierten, die nützliche Informationen über KI suchen. Die hier erstellten Inhalte unterliegen dem deutschen Urheberrecht. Copyright: © 2025 by Paulo Heitlinger.

Diese Newsletter ist mit Hilfe einiger KI-Chatbots getextet und mit KI-Tools bebildert worden. Diese haben mir geholfen, schneller die Übersicht zu bekommen, die Texte runder zu redigieren und klarer zu schreiben. So profitiere auch ich vom Einsatz der Künstlichen Intelligenz.

Ihr Paulo Heitlinger



Nutzung

Das PDF im Querformat ist bequem zu lesen – im PC, Notebook oder Tablet. Die Interaktion ist immer vorhanden, wo sie funktional ist, z.B. im **Inhaltsverzeichnis**. Oder bei **Querverweisen**. Einfach klicken.

Diese Publikation ist für den persönlichen Gebrauch der Leser bestimmt. Die kommerzielle Nutzung ist untersagt. Das Verschenken einer Kopie an Dritte ist erwünscht, der Verkauf ist aber nicht gestattet. Die Verbreitung über andere Websites als www.mein-ki.de ist nicht erwünscht, da diese Ausgabe eventuell noch Korrekturen erfahren kann.

Die dem Leser eingeräumten Nutzungsrechte berechtigen ihn nicht dazu, Texte an Dritte zu verkaufen. Wenn Sie Bilder erwerben wollen, treten Sie bitte mit dem Verleger (pheitlinger@gmail.com) in Verbindung.

Verleger, Copyright

Die Newsletter, etwa 15 bis 30 Seiten stark, werden im Format PDF verbreitet. Sie werden herausgegeben und gesetzt von Paulo Heitlinger; sie sind auch intellektuelles Eigentum des Verlegers.

Paulo Heitlinger

Alteburgerstr. 5

D – 50678–Köln

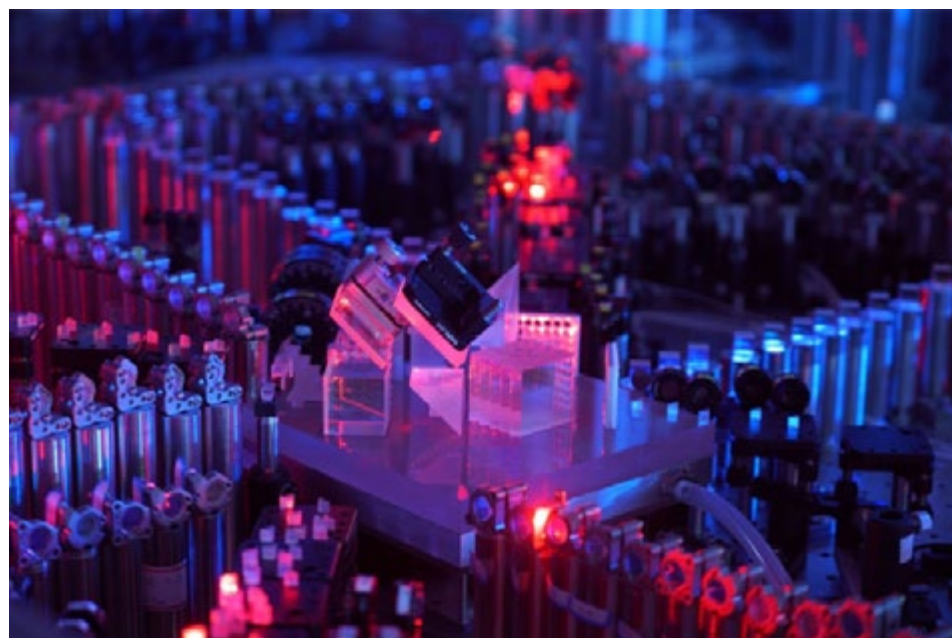
Telefon (mobil): (49) 015 222 09 32 52

Web: www.pheitlinger.de

Email: pheitlinger@gmail.com

Benutzen Sie den Acrobat Reader um diese Newsletter zu lesen. So profitieren Sie von allen Navigations- und Interaktions-Möglichkeiten, die in diesem PDF vorhanden sind. Ausserdem können Sie Ihr Exemplar mit Unterstreichungen markieren und mit Notizen versehen.

Der Acrobat Reader ist kostenlos und bei Adobe herunterzuladen.



Intro

Liebe Leserinnen und Leser,

Mit dieser achten Ausgabe der **KI-Newsletter** möchte ich Sie herzlich begrüßen. Willkommen in der spannenden Welt der Künstlichen Intelligenz!

Diese Ausgabe ist folgenden Themen gewidmet:

- dem Autonomen Fahren,
- den Quantencomputern.

Wichtige Begriffe der KI-Technologie, die in dieser Ausgabe erläutert werden, sind:

Autonomes Fahren /

Quantencomputer / Marvin Minsky

Diese KI-Newsletter, nun in ihrer 8. Ausgabe, erscheint in einem neuen Layout. Nicht mehr dreispaltig, in einem breiten Format (Landscape) sondern in einem hohen, zweispaltigem Format. Damit kommen wir den Lesern entgegen, die dieses PDF mit einem Smartphone lesen.

Wichtig sind mir noch zwei Dinge:

1. Ihr Feedback. Schicken Sie mir bitte Ihre Kommentare an: info@mein-ki.de
2. Informieren Sie bitte Ihre Freunde und Bekannte über diese Zeitschrift.

Viel Spass beim Lesen!

Ihr Paulo Heitlinger

Fundsachen

“KI-Führerschein” machen!

In der Web-site der Goethe-Universität in Frankfurt/M. haben wir folgende Anzeige gefunden:



Einführung in KI im Arbeits- und Senior Postdocs - Wissenschaftsaltag für Wissenschaftler*innen

Workshopleitung:

Marcel Leichtle, Darmstadt. M. Leichtle ist Wirtschaftsingenieur mit einem M.Sc. in Wirtschaftsingenieurwesen Elektro- & Informationstechnik von der TU Darmstadt. Seit 2020 arbeitet er als Projektmanager und Konzeptentwickler für KI-basierte Innovationen bei der **leap in time GmbH**. Seine Arbeit umfasst die Entwicklung und Begleitung innovativer KI-Projekte. Er besucht internationale wissenschaftliche Konferenzen und promoviert im Bereich Generative KI & Robotik, um seine Expertise zu vertiefen und sich über die neuesten Trends und Technologien auf dem Laufenden zu halten.

Ziel:

Nach Abschluss des Workshops verfügen die Teilnehmer*innen über ein umfassendes Verständnis zum Thema der künstlichen Intelligenz und sind in der Lage, die Potenziale und Einsatzmöglichkeiten einzuschätzen und zu diskutieren.

Beschreibung:

Die Welt verändert sich in einem rasenden Tempo und (die) Technologien (der) künstlichen Intelligenz (KI) spielen eine immer größere Rolle in unserem Leben und unserer Arbeitswelt und es gibt kaum eine Branche, die nicht von ihr betroffen ist. KI ist in viele Bereiche unserer täglichen Arbeit eingezogen.

Vielfach erfassen Arbeitnehmer*innen allerdings nicht gänzlich die Potentiale und Einsatzgebiete von KI in ihrem Arbeitsleben. Auch im wissenschaftlichen Arbeiten spielt KI eine zunehmende Rolle. In kurzen Abständen gibt es intelligente Technologien, die bei der Sammlung, Speicherung und Verarbeitung wissenschaftlicher Daten eine Rolle spielen. Der KI-Führerschein gibt einen Überblick über aktuelle Entwicklungen im Bereich der KI und Möglichkeiten, diese Technologien im täglichen Arbeitsleben und in der Forschung einzusetzen.

Inhalt:

- Einführung in künstliche Intelligenz am Arbeitsplatz
- Machine Learning und Deep Learning
- KI – technische Schnittstellen
- Interaktive Übungen mit ChatGPT
- Ethik und Datenschutz

Methodik:

- Vorträge: Vermittlung der Grundlagen und aktueller Entwicklungen in der KI
- Interaktive Übungen: Praktische Anwendung und Festigung des Wissens durch gezielte Übungen mit KI-Tools am Beispiel von ChatGPT
- World-Café: Austausch, Diskussion und Entwicklung eigener KI-Assistenten mit ChatGPT Plus in Kleingruppen

Voraussetzung:

Es sind keine Vorkenntnisse erforderlich. Der Workshop richtet sich insbesondere an Personen, die bisher keine oder nur geringe Erfahrungen mit künstlicher Intelligenz gesammelt haben, sowie an diejenigen, die den Austausch mit Kollegen suchen.”

Was ist ein "Algorithmus"?

Dieser einleitende Artikel soll den Einstieg in die schwierige Thematik der **Quanten-computer** erleichtern. Leser, die bereits eine Ahnung von **Computern, Software und Programmierung** haben, werden wohl diesen Artikel ganz einfach überspringen...

Ein Beispiel für einen Algorithmus, den fast jeder kennt? Ein **Kochrezept**, na bitte! Kochrezepte, wie man sie zu Abertausende im Internet findet, bestehen üblicherweise aus:

- einer Zutatenliste,
- einer Anleitung für die Vorbereitungsschritte
- einer Liste mit den Zubereitungen
- Vorschläge für das Servieren,
- Varianten.

Neben Kochrezepten (siehe Kasten rechts) sind **schriftliche Anleitungen** auch gute Beispiele für Algorithmen, die (fast) jeder kennt. Zum Beispiel die Anleitung für das Zusammenschrauben und Montieren eines Regals, wie sie z.B. IKEA liefert...

In der Schule lernen wir – ohne dass uns das bewusst wäre – im Mathematik-Unterricht nicht nur das schriftliche Rechnen, sondern eine ganze Menge an Algorithmen. (Einer davon läuft unter dem Namen "Sieb des Eratosthenes" einer Methode zum Ermitteln von Primzahlen.

Aber auch der gute, alte Dreisatz ist nichts anderes als ein Algorithmus. Mittlerweile verstehen wir alle unter einem Algorithmus aber die eher abstrakte Form einer Handlungsanweisung zur Verarbeitung durch einen Computer.

Ein **Algorithmus** ist also eine eindeutige **Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems**. Algorithmen bestehen aus endlich vielen, wohldefinierten Einzelschritten.

Ein bekanntes Rezept aus dem Kochbuch

"Kartoffelpüree" – Ein Beispiel für ein Algorithmus

Es werden mehligkochende Kartoffelsorten empfohlen, doch Kartoffelpüree lässt sich auch gut aus festkochenden Sorten zubereiten. Wichtig ist eine aromatische Sorte.

Zutaten

- 1 kg Kartoffeln
- 250–350 ml heiße Milch (oder eine Mischung aus Milch und Sahne)
- 100–250 g Butter
- Salz und Pfeffer

Zubereitung

Kartoffeln garen, bis sie weich sind. Dazu werden sie für etwa 20–30 Minuten gedämpft oder in kräftigem Salzwasser gekocht, geschält oder ungeschält. Gedämpft oder in der Schale gekocht bewahren sie die meisten Aromastoffe.

Kartoffeln schälen, in den Topf zurückgeben und auf der heißen, aber ausgeschalteten Herdplatte mit einem Kartoffelstampfer zerquetschen. Alternativ eine Kartoffelpresse verwenden. Mixer sind ungeeignet, da sie die Stärkekristalle der Kartoffeln zerstören, wodurch der Brei eine kleistriche Konsistenz erhält.

(...)

Mit Salz und nach Geschmack frisch gemahlenem Pfeffer und Muskat abschmecken.

Für sehr feines Püree alles noch durch ein Sieb streichen

Varianten

Kartoffeln nur grob stampfen, eventuell mit gedünsteten Zwiebel- und auch

(...)

Damit können sie zur Ausführung in ein Computer-Programm eingebaut, aber auch in menschlicher Sprache formuliert werden.

Bei der Problemlösung wird eine bestimmte Eingabe in eine bestimmte Ausgabe überführt.

Turingmaschinen und Algorithmen

Der Mangel an mathematischer Genauigkeit des Begriffs Algorithmus störte viele Mathematiker und Logiker des 19. und 20. Jahrhunderts, weswegen in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts Ansätze entwickelt wurden, die zu einer genauen Definition führten. Eine zentrale Rolle nimmt hier der Begriff der **Turingmaschine** von Alan Turing ein.



Es wurde vom IT-Pionier **Alan Turing** gezeigt, dass alle Methoden die gleiche Berechnungsstärke besitzen. Sie können durch eine **Turingmaschine** emuliert werden, und sie können umgekehrt eine Turingmaschine emulieren.

Die Eigenschaften des Algorithmus

Aus der vorherigen Definition sind folgende sechs Eigenschaften eines Algorithmus ableitbar:

1. Das Verfahren muss in einem endlichen Text eindeutig beschreibbar sein (Finitheit).
2. Jeder Schritt des Verfahrens muss tatsächlich ausführbar sein (Ausführbarkeit).
3. Das Verfahren darf zu jedem Zeitpunkt nur endlich viel Speicherplatz benötigen (Dynamische Finitheit, siehe Platzkomplexität).
4. Das Verfahren darf nur endlich viele Schritte benötigen (Terminierung).

Darüber hinaus wird der Begriff Algorithmus in praktischen Bereichen oft auf die folgenden Eigenschaften eingeschränkt:

5. Der Algorithmus muss bei denselben Voraussetzungen das gleiche Ergebnis liefern (Determiniertheit).
6. Die nächste anzuwendende Regel im Verfahren ist zu jedem Zeitpunkt eindeutig definiert (Determinismus).

Der populäre Begriff 'Algorithmus' und der Zusammenhang mit der KI

Der Begriff Algorithmus hat seit etwa 2015 im Kontext des Online-Marketing Einzug in die Presse- und Alltagssprache gehalten.

Denn bestimmte Algorithmen bestimmen bei **werbefinanzierten Angeboten**, welche Inhalte und welche Werbeanzeigen dem Leser einer Web-seite gezeigt werden.

Ziel dieser Algorithmen ist es, diesen Leser/Anwender möglichst lange auf der jeweiligen Seite zu halten und ihm solche Anzeigen einzublenden, bei denen die Wahrscheinlichkeit eines Klicks am höchsten ist.

Der Begriff "Algorithmus" fällt auch allgemein, wenn eine Software nach unbekannten, aber komplexen Regeln funktioniert. In jedem Computer-Programm steckt mindestens ein Algorithmus, der den Lösungsweg für das zu knackende Problem beschreibt.

In der allgemeinen Diskussion nicht scharf davon abgegrenzt ist der Begriff "Künstliche Intelligenz". KI bedient sich ebenfalls Algorithmen zur Lösung vorgegebener Probleme.

Von künstlicher Intelligenz wird aber im Allgemeinen nur gesprochen, wenn zusätzlich auf einen Vorrat zuvor erlernten Wissens zugegriffen wird, wobei in der Lernphase charakteristische Muster identifiziert und eingeordnet werden.

"Machinelles Lernen" ist folgendes: Mit einer passenden Wissensbasis ist es geeigneten Algorithmen möglich, natürliche geschriebene und gesprochene Sprache zu verarbeiten, Gesichter oder beliebige Objekte zu identifizieren, oder Texte zu formulieren.

Die Church-Turing-These

Die Church-Turing-These besagt, dass jedes intuitiv berechenbare Problem durch eine Turingmaschine gelöst werden kann. Als formales Kriterium für einen Algorithmus zieht man die Implementierbarkeit in einem beliebigen, zu einer Turingmaschine äquivalenten Formalismus heran, insbesondere die Implementierbarkeit in einer Programmiersprache – die von Church verlangte Terminiertheit ist dadurch allerdings noch nicht gegeben.

Abstrakte Automaten

Algorithmen sind eines der zentralen Themen der Informatik und Mathematik. Sie sind Gegenstand einiger Spezialgebiete der **Informatik**, der **Komplexitätstheorie** und der **Berechenbarkeitstheorie**, mitunter ist ihnen ein eigener Fachbereich Algorithmik oder Algorithmentheorie gewidmet. In Form von Computerprogrammen steuern Algorithmen Computer, Smartphones und andere Maschinen.

Der erste Computeralgorithmus



Der erste für einen Computer gedachte Algorithmus (zur Berechnung von Bernoullizahlen) wurde 1843 von **Lady Ada Lovelace** in ihren Notizen zu Charles Babbages *Analytical Engine* festgehalten. **Ada Lovelace** gilt deshalb als die erste Programmiererin. Weil Babbage seine *Analytical Engine* nicht vollenden konnte, wurde Ada Lovelaces Algorithmus nie darauf implementiert.

Heutige Algorithmen für Computer

Algorithmen für Computer (= Software) sind heute so vielfältig wie die Anwendungen, die sie ermöglichen. Vom elektronischen Steuergerät für den Einsatz im Kfz über die Rechtschreib- und Satzbau-Kontrolle in einer Textverarbeitung bis hin zur Analyse

Wie funktioniert ein Algorithmus?

Ein Algorithmus ist ein **schrittweises Verfahren** zum Lösen eines Problems durch ein spezielles Regelwerk.

Deswegen bestehen Algorithmen aus einer Folge von elementaren Anweisungen (z.B. Verarbeitungsschritte, Grundrechenarten, logischen Operationen), die nach endlich vielen Schritten die Lösung des gestellten Problems liefern.

Algorithmen sind **universelle Werkzeuge**, die heute tausende von Bereichen eingesetzt werden. Moderne Produkte funktionieren ausschließlich mit leistungsfähigen Algorithmen.

Der Entwurf und das Programmieren von Algorithmen ist eine **kreative Tätigkeit**. Gute Algorithmen müssen dazu eine ganze Reihe von Eigenschaften erfüllen...

Algorithmen sind in allen menschlichen Hirnen und, ja auch in den Köpfen (fast) aller Tiere. Denn ganz grundsätzlich betrachtet handelt es sich bei diesen einigermaßen gehypten Dingen „eine eindeutige Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems“ – so beschreibt die **Wikipedia** den Begriff.

Denn die Handlungsvorschriften können eben nicht nur in Computerprogrammen formuliert sein, sondern auch in menschlicher Sprache. Das beginnt schon an der Verkehrsampel.

Das Problem: Jemand möchte eine stark befahrene Straße unbeschadet überqueren.

1. Suche nach einem Fußgängerüberweg.
 2. Gibt es eine Ampel? Falls ja,
 - 3a. überprüfe, ob sie Grün zeigt.
 - 4a. Falls ja, überquere die Straße.
- Und so weiter...

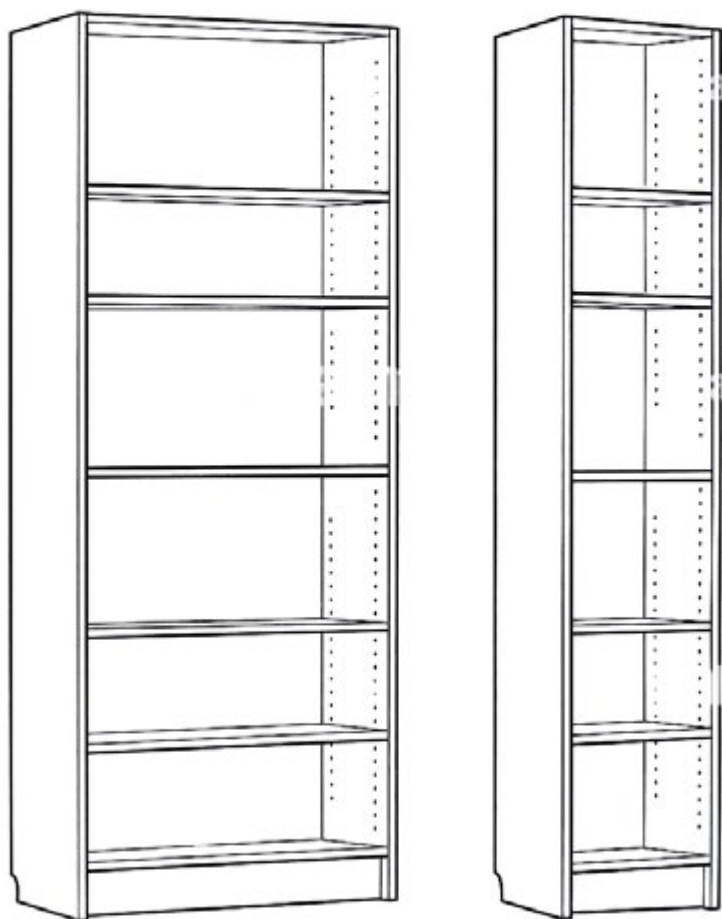
Beinahe alle Regeln des zwischenmenschlichen Verhaltens und des Verhaltens in definierten Systemen lassen sich als Algorithmen fassen.

von Aktienmärkten finden sich zigtausende von Algorithmen.

Der Verleger dieser Newsletter – Paulo Heitlinger – benutzt hauptsächlich Programme für die Erstellung von Büchern und Zeitschriften, für das Design von digitalen Fonts und für die Bildbearbeitung. Und auch KI-Software, dies ist bekannt.

Hinsichtlich der Ideen und Grundsätze, die einem Computerprogramm zugrunde liegen, wird einem Algorithmus in der Regel urheberrechtlicher Schutz versagt. Je nach nationaler Ausgestaltung der Immaterialgüterrechte sind Algorithmen der Informatik jedoch dem Patentschutz zugänglich, so dass urheberrechtlich freie individuelle Werke, als Ergebnis eigener geistiger Schöpfung, wirtschaftlich trotzdem nicht immer frei verwertet werden können.

BILLY



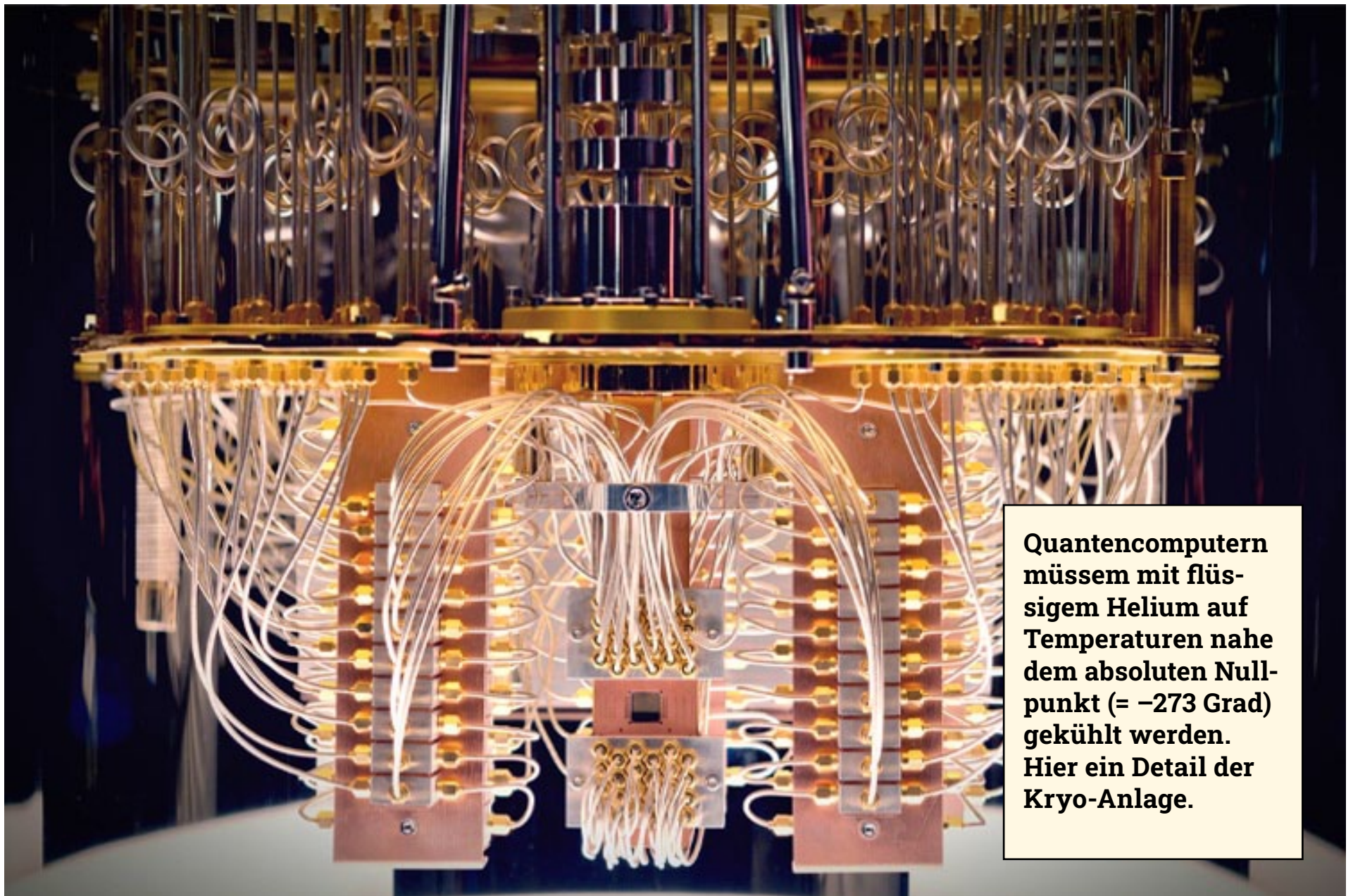
Wer kennt sie nicht, diese Anleitung für das Zusammenschrauben und Montieren eines Regals, wie sie z.B. IKEA liefert...



Algorithmus-Erfinder Al-Chwarizmi auf einer Briefmarke.

Der Begriff "Algorithmus" stammt aus der frühen Mathematik, die bekanntlich persischen und arabischen Ursprungs ist. Zugeschrieben wird die Erfindung dem Astronomen und Mathematiker **Muhammad al-Chwarizmi**, der im 9. Jahrhundert ein Lehrbuch über das indische Zahlen- und Rechenwesen schrieb.

Das Wort „Algorithmus“ leitet sich aus einer starken Verballhornung seines Namens ab. Erfunden hat der gute Mann aber nicht das Formulieren von Handlungsweisen an sich, sondern fast alle noch heute geläufigen Methoden des schriftlichen Rechnens – beispielsweise des Multiplizierens durch Malnehmen der einzelnen Ziffern je nach der Dezimalstelle.



Quantencomputern müssen mit flüssigem Helium auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (= -273 Grad) gekühlt werden. Hier ein Detail der Kryo-Anlage.

Was ist ein Quantencomputer?

Mit der **Quantenmechanik** werden extrem leistungsfähige Rechner gebaut. **Quantencomputer** besitzen Eigenschaften, die schier unglaublich sind: Deren Leistungsfähigkeit steigert sich exponentiell mit zunehmender Größe.

Große Welt-Konzerne wie Google und IBM arbeiten an der Herstellung von **Quantencomputer** und präsentieren wissenschaftliche Durchbrüche wie erste kommerzielle Lösungen. Quantencomputer sind schneller als Superrechner¹; schneller als wir uns das vorstellen können...

¹ Superrechner wurden in der KI-Newsletter Nr. 2 vorgestellt.

Es sind neuartige Computer, die Energie aus den Überlagerungs- und Verschränkungselementen der Quantenphysik beziehen (gleich mehr dazu) und Informationen auf sehr, sehr schnelle Weise verarbeiten.

Quantencomputer haben eine schnellere und effizientere Verarbeitungsleistung als jeder andere Computer. Deswegen sind sie prädestiniert für den Einsatz von KI-Software...

Wie entstanden die Quantencomputer? Der deutsche Physiker **Werner Heisenberg** (1901 – 1976) gab 1925 die erste Formulierung der **Quantenmechanik**. 1927 formulierte er die *Heisenbergsche Unschärferelation*, eine der fundamentalen Aussagen der Quantenmechanik – nämlich, dass bestimmte Messgrößen eines atomaren Teilchens, etwa die Bestimmung dessen Ortes und dessen Impulses, nicht gleichzeitig beliebig genau zu bestimmen sind.

Für die Begründung der Quantenmechanik wurde Werner Heisenberg 1932 mit dem Nobelpreis für Physik ausgezeichnet. Heisenberg, so sei hier kurz referiert, ist einer der bedeutendsten Physiker des 20. Jahrhunderts.

Quantencomputing ab 1981

Mit der Entwicklung der **Quantenphysik** machte auch die Idee des Einsatzes von Quantencomputern Fortschritte. Diese Idee wurde Anfang der 1980er Jahre vom Nobelpreis-Physiker **Richard Feynman** konzipiert, um die komplexen und langwierigen Gleichungen der Quantenphysik zu lösen.

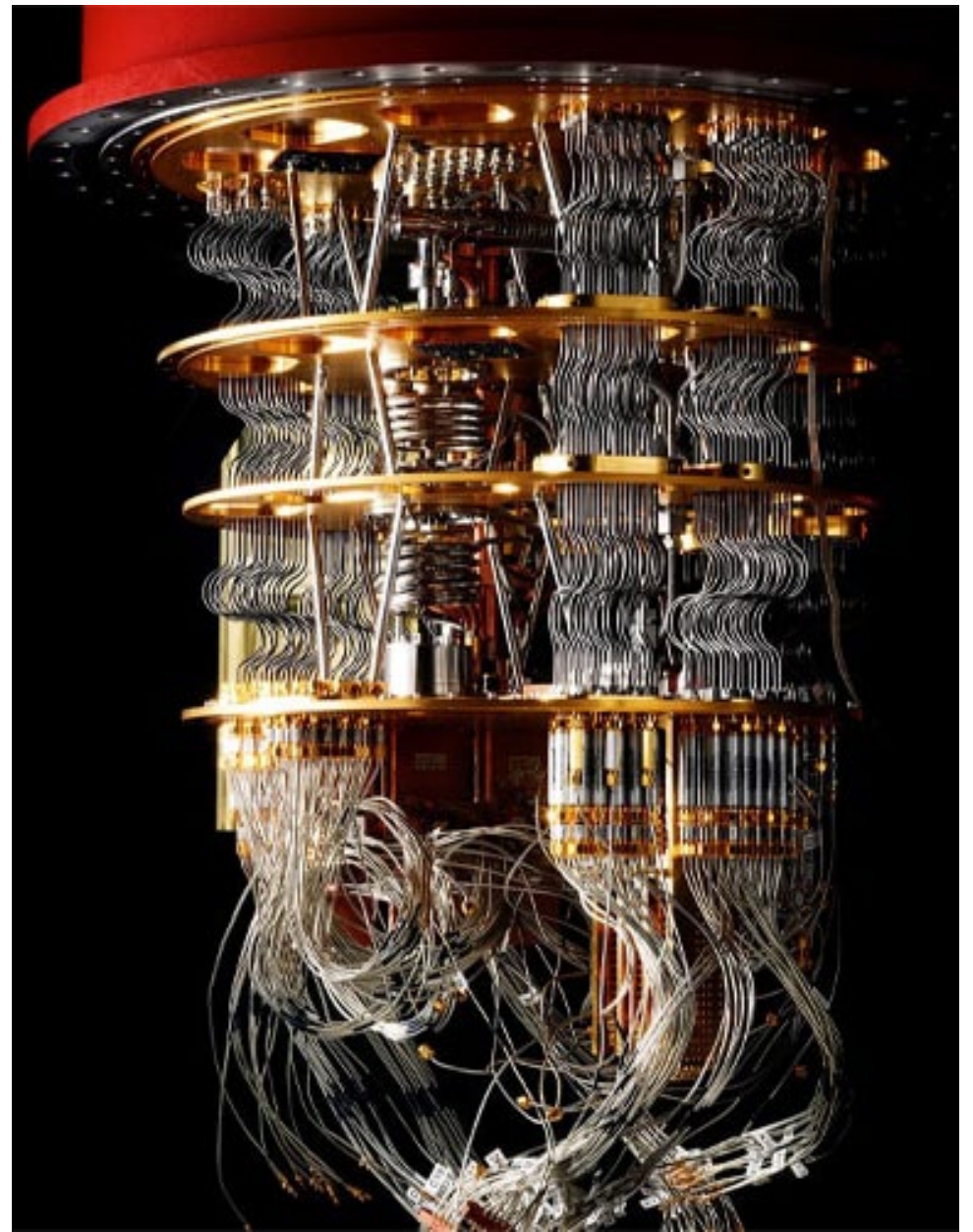
Im Jahr 1981 schuf **Paul Benioff** die Theorie des Quantencomputings – basierend auf den Ideen des Physikers **Max Planck**. Geprägt wurde der Begriff „**Quantencomputer**“ auf der ersten *Conference on the Physics of Computation* am MIT im Mai 1981 durch die Vorträge der Physiker **Paul Benioff** und **Richard Feynman** über das **quantum computing**. Paul Benioff präsentierte eine Arbeit, die demonstrierte, dass Computer unter den Gesetzen der Quantenmechanik arbeiten können. Und **Richard Feynmans** Vortrag stellte erstmals ein Grundmodell für einen Quantencomputer vor.

Der Quantencomputer blieb lange ein theoretisches Konzept. Es gab verschiedene Vorschläge, wie ein Quantencomputer realisiert werden könnte, in kleinem Maßstab wurden einige dieser Konzepte erprobt und erste **Quantencomputer** mit wenigen **Qubits**¹ realisiert.

Durchbruch ab 2020

Der Rekord der in Qubits gemessene Leistung lag im November 2021 bei 127 Qubits für den Prozessor. Und schon ein Jahr später, bei 433 Qubits.

¹ Ein Quantencomputer verarbeitet die Informationen nicht über einfache An/Aus-Schalter an, sondern über sogenannte „Qubits“ (= Quanten-Bits). In einem Qubit sind die Werte 0 oder 1 (beziehungsweise **AN** oder **AUS**) *gleichzeitig in einer überlagerten Form* vorhanden.



Neben der Anzahl der Qubits ist aber auch eine geringe Fehlerquote beim Rechnen und Auslesen wichtig – und wie lange die Zustände in den Qubits fehlerfrei aufrechterhalten werden können.

Seit 2018 investieren viele Regierungen und Forschungsorganisationen sowie große Computer- und Technologiefirmen weltweit in die Entwicklung von Quantencomputern, die als eine der entstehenden *Schlüsseltechnologien des 21. Jahrhunderts* angesehen wird.

Der Shor-Algorithmus

Im Jahr 1994 hatte der Mathematiker **Peter Shor** vom Massachusetts Institute of Technology / MIT eine Idee, die eine neue Ära einleitete. Shor untersuchte ein neues Verfahren, um eine ganze Zahl in **Primzahlen** zu zerlegen. Diese Primzahl-Faktorisierung ist eine aufwendige Angelegenheit; um sehr großen Zahlen in Primzahlen zu zerlegen, brauchen selbst sehr leistungsstarke **Supercomputer** mehrere Jahre.

Es ist zwar sehr einfach selbst große Zahlen aus bekannten Primzahlen zusammenzusetzen (z.B.

$7 \times 13 \times 13 \times 17 \times 53 = 1065883$). Doch die Umkehrung ist nahezu unmöglich!

Peter Shor fragte sich, ob es ein neues Verfahren gäbe, um neue Algorithmen für die Primzahlzerlegung zu erstellen. Dann erinnerte er sich an eine Pflichtvorlesung über Quantenmechanik, die er am *California Institute of Technology* (Caltech), gehört hatte.

Ihm kam die Idee, dass das Verfahren viel schneller zum Ziel führen könnte, wenn man zur Berechnung nicht einen "normalen" Computer, sondern einen **Quantencomputer** verwenden würde.

Shor tüftelte ein Jahr an seinem Quanten-Algorithmus und kam tatsächlich zu dem gewünschten Ergebnis. Sein Algorithmus schlug ein wie eine Bombe. Bis zu diesem Zeitpunkt war es noch niemanden gelungen, einen Quantencomputer zu konstruieren. Der Shor-Algorithmus war aber der erste Beweis, wie leistungstark ein Quantencomputer sein würde. Shors Algorithmus löste einen regelrechten Boom in den Quantencomputer-Szene aus.

Qubits (Quanten-Bits) einfach erklärt

Im Gegensatz dazu steuert ein Quantencomputer die Informationen nicht über einfache An/Aus-Schalter an, sondern über sogenannte „Qubits“ (= Quanten-Bits).

In einem Qubit sind die Werte **0** oder **1** (beziehungsweise **AN** oder **AUS**) *gleichzeitig in einer überlagerten Form* vorhanden. Diese **Überlagerung** ist ein wesentliches Element der Quantenmechanik.

Dieses Verhalten hat sehr ungewöhnliche Konsequenzen. Die zweite ungewöhnliche Eigenschaft von Qubits ist folgende: Man kann einen Quantencomputer zwar durch einen herkömmlichen Computer simulieren, der Aufwand dafür nimmt mit steigender Qubitzahl aber sehr schnell gigantische Ausmaße an.

Und nun schauen Sie mal, dass die Quantencomputer-Hersteller irgendwann einmal Quantencomputer mit Millionen von Qubits bauen wollen!

Nun: was ist ein Quantencomputer?

Ein Quantencomputer macht sich die Eigenschaften der atomaren Welt zu nutze, um über **Quanten-Algorithmen** neue Dimensionen in der Rechengeschwindigkeit zu erzielen. Was ist nun das Besondere an einem Quantencomputer? Dazu müssen wir erst 'mal schauen, wie ein herkömmlicher Computer funktioniert.

Nehmen wir Ihren Computer, mit dem Sie diese Zeilen lesen. Er steuert Informationen in Form von Nullen und Einsen über Bits und Bytes an. Die Zahl /71/ wird z.B. durch die Bit-Reihe /0100 0111/ dargestellt und der Buchstabe /J/ durch die Bit-Reihe /100 1010/.

Die Bits existieren in Form von Milliarden elektrischer An/Aus – Schalter, den Transistoren. Zusammen bilden sie den Arbeitsspeicher Ihres Computers.

Ein guter **Personal Computer** besitzt 168 Bits, oder anders ausgedrückt: 16 Gigabyte.

Über elektrische Schaltungen (dem Datenbus), ist ein Computer in der Lage jedes der vielen Bits im Arbeitsspeicher anzu-steuern, auszulesen –oder mit neuen Werten zu überschreiben. Ihr Computer ist zum Beispiel in der Lage, zwei Zahlen miteinander zu multiplizieren. Nach jedem Rechenschritt schreibt Ihr Computer die Zwischenergebnisse wieder in den Arbeitsspeicher hinein und ruft sie von dort wieder für den nächsten Rechenschritt auf. Das Programm für das Mal-Nehmen sieht unnötig umständlich und mechanisch stupide aus. Da Ihr Computer aber in der Lage ist, Milliarden von Rechenschritten pro Sekunde auszuführen, ist er jedem Menschen am Ende in solchen Aufgaben gigantisch überlegen.

Quantenparallelismus, Superposition

Nehmen wir mal wieder das Beispiel mit dem Multiplizieren. Ihr herkömmlicher PC nimmt sich zwei Zahlen, in Form von zwei Bit-Reihen im Arbeitsspeicher, führt das Programm von einzelnen Rechenschritten aus

und erhält am Ende eine Zahl in Form von einer **Bit-Reihe**.

Ein Quantencomputer nimmt für eine Aufgabe zwei Qubit-Reihen, speichert die Zwischenergebnisse wieder in Qubits und erhält am Ende das Ergebnis in Form einer **Qubit-Reihe**.

Da in einer Qubit-Reihe aber riesige Mengen von Informationen gleichzeitig enthalten sein können, kann der Quantencomputer das Programm gleichzeitig mit einer riesigen Menge von Zahlen ausführen. Dies ist der sog. **Quantenparallelismus**.

Was den **Quantenparallelismus** so besonders macht, ist, dass nur wenige Qubits so unvorstellbar große Datenmengen überlagern können. Die Qubits werden nicht nur einzeln überlagert, sondern der gesamte Verbund an Qubits. Und gerade dabei erhöht sich die Anzahl von möglichen Kombination so rasant.

Für drei Qubits werden also z.B. bis zu acht mögliche Bit-Zustände gleichzeitig verwendet (das entspricht 2^3). Nämlich diese: 000, 100, 001, 101, 011, 111, 010 und 110.

Die Umgebungs-Variablen

Aber die enorme Rechenleistung eines Quantencomputers funktioniert nur solange der Rechner perfekt von sei-

Ministerin stellte zwei Milliarden Euro für Quantencomputer bereit

“Die Quantentechnologien sind eine der entscheidenden Schlüsseltechnologien der Zukunft”, sagte die optimistische Forschungsministerin **Karliczek** im Mai 2021. “Sie werden es uns erlauben, unsere Kommunikation absolut sicher zu gestalten, durch hochsensible Sensoren Sprünge in der Medizintechnik zu machen oder mittels Quantencomputing bisher nicht lösbare Probleme in Logistik oder Materialforschung zu bewältigen.”

ner Umgebung isoliert ist und die höchst fragilen Qubits ungestört sind. Aber in dem wir am Ende das Ergebnis des Quantenprogramms aus den Qubits auslesen, tun wir aber genau das. In diesem Moment „zerfallen“ die gleichzeitig vorhandenen Werte und übrig bleibt nur ein einziger Wert der darüber hinaus auch noch zufällig gewählt wird.

Diese Liste zeigt, wie viele **Bits** notwendig sind, um Qubits nachzubilden.

1 Qubit benötigt 256 herkömmliche Bits

2 Qubits benötigen 512 herkömmliche Bits

10 Qubits benötigen 16 herkömmliche Kilo-Byte

20 Qubits benötigen 16 herkömmliche Mega-Byte

30 Qubits benötigen 16 herkömmliche Giga-Byte

31 Qubits benötigen 32 herkömmliche Giga-Byte

Jedes weitere Qubit verdoppelt also die benötigte Anzahl von herkömmlichen Bits. Die Leistungsfähigkeit eines Quantencomputers steigt also **exponentiell**. Und so geht es weiter:

45 Qubits benötigen ca. die Speichergröße des größten herkömmlichen Supercomputers.

50 Qubits, die „Quanten-Überlegenheit“-Grenze: Die Grenze an dem ein Quantencomputer gewisse Berechnungen durchführen kann, die mit keinem der aktuellen Supercomputer durchführbar sind.

250 Qubits: Die absolute Grenze, die überhaupt machbar wäre für herkömmliche Computer. Um einen 250 Qubit-Quantencomputer nachzubilden, müsste ein herkömmlicher Computer jedes Atom im Universum als herkömmliches Bit verwenden.

Die Quantenprogramme

Auf einem Quantencomputer kann man nicht einfach dieselben Algorithmen laufen lassen, die auf einem herkömmlichen Computer funktionieren. Stattdessen muß man für Quantencomputer neue und fremdartige Quanten-Algorithmen konstruieren...

Dafür verwendet ein Quantencomputer in jedem Rechenschritt elementare Logik-Bausteine. Diese spiegeln nicht unsere normale Alltagslogik wieder, sondern die Quantenlogik. Somit heißen die elementaren Bausteine nicht mehr UND, ODER oder NICHT. Stattdessen verwendet ein Quantencomputer Logik-Bausteine die z.B. HADAMARD, X, S, T, Z, CONTROLLED NOT oder CONTROLLED Z heißen.

Diese Bausteine ähneln in ihrer Funktionsweise weniger den bekannten Bausteine unserer Alltagslogik als vielmehr Drehungen in einem abstrakten Hilbert-Raum. Die Qubits bilden in ihrer Gesamtheit einen einzelnen Zeiger in diesem Raum. Diese grundlegende Fremdheit gegenüber unserer Alltagslogik ist der Grund, warum ein Quantenprogramm nur für Kenner von Quanten-Algorithmen entziffert und verstanden werden kann.

In jedem Bereich der Programmierung existiert eine lebhafte IT-Szene im Internet, welche die weitere Entwicklung stark beeinflusst, seien es Server, Netzwerke, Datenbanken, Internet, Programmierung.

Die IT-Szene für Quantenprogrammierung sitzt noch in den Forschungseinrichtungen von Universitäten und hauptsächlich in den Spezialabteilungen von Google, IBM, Microsoft & Co und einigen Startups für Quantencomputer.

Anwendungsgebiete für Quantencomputer

Dort, wo **Supercomputer** an der Komplexität bestimmter Aufgaben scheitern, sind Quantencomputer die Lösung. Neben einer Reihe konkreter Algorithmen, gibt es Anwendungsbereiche, in denen Quantencomputer den Einsatz neuer Arten von Algorithmen ermöglichen, die Gegenstand aktueller Forschung sind. Das sind, zum Beispiel, folgende:

- **Optimierungsprobleme**, mit potentiellen Anwendungen zum Beispiel in **Finanzen** und **Wirtschaft**.
- **Simulationen** (beispielsweise um neue chemische Stoffe für Biotechnologie oder Medikamente zu finden, oder neue Werkstoffe für Akkumulatoren).
- **Maschinelle Lernverfahren** (als quantenmaschinelles Lernen für Aufgabengebiete wie z.B. die Mustererkennung).
- Neben Komplexitätsvorteilen kann die Verwendung von Quantencomputern auch Vorteile in der **Abhör- und Manipulationssicherheit** von Rechnungen bieten, die mit klassischen Computern nicht erreichbar sind. Hierzu gehören die Generierung von echten Zufallszahlen oder kryptographische Anwendungen wie **blind quantum computation**, die es erlaubt, Rechnungen auf einem entfernten Quantencomputer (Server) so durchführen zu lassen, dass der Serverbetreiber nichts über die Rechnung und ihr Ergebnis erfahren kann und sich auch verifizieren lässt, dass die gewünschte Rechnung durchgeführt wurde.



Der Steuerungsmonitor des "Baby Diamond". Foto: hr

Der neue Quantencomputer der Goethe-Universität

Wie sich auch in Hessen die Grenzen des Berechenbaren verschieben. Und warum dieser Quantencomputer in Frankfurt/M. schon bei Raumtemperatur funktioniert...

Quantencomputer erfüllen große Hoffnungen: Mit ihrer Hilfe können die Grenzen des Berechenbaren drastisch verschoben werden. Kalkulationen sind jetzt möglich, die klassische Superrechner nicht können – oder für die sie schlicht zu viel Zeit brauchen.

Große IT-Konzerne wie Google und IBM arbeiten daran und präsentieren wissenschaftliche Durchbrüche wie erste kommerzielle Ideen.

Hessens erster Quantencomputer – mit dem Namen "*Baby Diamond*" wurde Ende 2024 an der Goethe-Universität offiziell in Betrieb genommen.

Dieser Quantencomputer verfügt über fünf Quantenbits und läuft bei Raumtemperatur. An

ihm wird jetzt untersucht, wie er Spezialaufgaben für große Superrechner übernehmen kann.

Der vom Unternehmen XeedQ GmbH entwickelte "*Baby Diamond*" kann bei 20 Grad Celsius betrieben werden und eignet sich daher gut für die Forschung – im Gegensatz zu anderen Quantencomputern, die mit flüssigem Helium auf Temperaturen nahe dem absoluten Nullpunkt (= -273 Grad) gekühlt werden müssen.

Auf den Optimierungsspezialisten "*Baby Diamond*" warten an der Goethe-Universität erste Anwendungen, in denen es um Anlageportfolios im Finanzbereich, Zeitpläne von Krankenpflegekräften oder Probleme aus der Quantenchemie geht.

In erster Linie dient dieser Quantencomputer der Forschung selber: Forschende und Studierende werden nicht nur Algorithmen für den Quantencomputer entwickeln, sondern können auch die Erzeugung der Quantenbits verändern.

Quelle: Tagesschau / HR / Tageszeitungen

Fahrerloses Fahren: Was ist das?



Keiner ist mit dem Fahren genervt, keiner muß lenken, Gas geben oder bremsen. Alles wird vom Autopilot erledigt. Die Fahrgäste unterhalten sich entspannt miteinander... Mehr Komfort: Der Fahrer kann sich während der Fahrt entspannen oder anderen Tätigkeiten nachgehen.

Das fahrerlose Fahren bekam vor 20 Jahren starken Auftrieb durch den DARPA-Wettbewerb in den USA, wo auch deutsche Automobilhersteller Preise gewannen. Dies war in 2004...

Eine erste Anwendung des fahrerlosen, autonomen Fahrens war das **autonome Einparken**. Der Fahrer sitzt dabei nicht mehr selbst im Fahrzeug, sondern aktiviert die Einparkautomatik von außen. Dies wurde ab 2010 erprobt

und 2015 als kurz vor der Serieneinführung stehende Anwendung angekündigt.

Allerdings waren 2021 lediglich Systeme auf dem Markt, die eine ständige Überwachung durch den verantwortlichen Fahrzeugführer benötigen.

Eine Spezialfunktionalität bietet das vollautomatisierte **Valet-Parken**. Hierbei wird das Fahrzeug wie beim Valet-Parken in einer Abstellzone abgestellt, fährt dann aber selbstständig, ohne menschliche Überwachung, aber ggf. unterstützt vom im Parkhaus installierter Technik zum Parkplatz.



Die Deutsche Bundesbahn (DB) betreibt auch einige fahrerlose Elektrobusse. Foto: DB.

Im Gegensatz zum rein Autonomen Fahren bleibt der Fahrer durch die beständige Interaktion am Geschehen beteiligt und Herr der Lage. Andererseits wird er durch eine kontinuierlich vorhandene Assistenz entlastet und besonders in kritischen Situationen geeignet

unterstützt.

Audi hat sich auf der 16. internationalen Fachkonferenz „Fortschritte in der Automobilelektronik“ in Ludwigsburg als erster europäischer Automobilhersteller konkret zu seinem Zeitplan rund um das pilotierte Fahren geäußert: Spätestens 2020 sollte pilotiertes Fahren realisiert werden.

Eine Studie der Unfallforschung der Versicherer hat gezeigt, dass 90% der Fahrer nach einer Fahrt, bei der sie durch eine Nebenaufgabe stark abgelenkt waren, nach 7 bis 8 Sekunden die Automation abschalteten.

Untersucht man allerdings als Indikatoren des Situationsbewusstseins für die Fahrsituation den ersten Blick in den Spiegel und den Blick auf die Geschwindigkeitsanzeige, werden 12 bis 15 Sekunden benötigt.

Weiterhin zeigte sich, dass mit Ausnahme des ersten Blicks auf die Straße die Werte müder hochautomatisiert fahrender Fahrer mit diesen Werten vergleichbar sind.

Allgemein erreichten die hochautomatisiert fahrenden Fahrer einen höheren Müdigkeitslevel als die manuellen Fahrer, und sie erreichten diesen Müdigkeitslevel außerdem früher. Eine hochautomatisierte Fahrt ohne Nebentätigkeiten sollte deshalb eine Dauer von 15 bis 20 Minuten nicht überschreiten. Längere Fahrdauern ohne Unterbrechung sind als nicht sicher einzustufen, da Fahrer nicht in der Lage sind, eine monotone Fahraufgabe über einen längeren Zeitraum zu überwachen, ohne zu ermüden.

Fahrerloses Transportfahrzeug

Fahrzeuge, die für den Transport gedacht sind und ohne Fahrer auskommen, sind in der Industrie weit verbreitet. Mithilfe von Sensorik und Software zur Lokalisation, Navigation und Pfadplanung suchen sich diese mobilen Transportroboter auf einem fest definierten Gebiet ihre Wege selbständig.

Einige Universitäten richten Wettbewerbe mit kleinen Modellfahrzeugen aus, die autonom vorgegebene Strecken mit Hindernissen abfahren.

Hochautomatisiertes Fahren

Hochautomatisiertes Fahren (Highly Automated Driving) bezeichnet einen Zwischenschritt zwischen assistiertem Fahren, bei dem der Fahrer durch zahlreiche (oft getrennte) Fahrerassistenzsysteme bei der Fahraufgabe unterstützt wird, und dem **Autonomen Fahren**, bei welchem das Fahrzeug selbsttätig, ohne Einwirkung des Fahrers fährt.

Beim **Hochautomatisierten Fahren** hat das Fahrzeug eine eigene Künstliche Intelligenz, die vorausplant und die Fahraufgabe in den meisten Situationen übernehmen kann. Mensch und Computer führen zusammen das Fahrzeug, wobei der menschliche Fahrer jederzeit bestimmt, wie stark er eingreift und wie sehr er sich fahren lässt. Manchmal übernimmt das System aber auch selbständig einen Eingriff, den der Fahrer auch nicht rückgängig machen kann.

Künstliche Intelligenz beim Autonomen Fahren

Künstliche Intelligenz ist das Herzstück des Autonomen Fahrens. KI ermöglicht es Fahrzeugen, ihre Umgebung genau wahrzunehmen, intelligente Entscheidungen zu treffen und selbstständig zu handeln.

Hier einige konkrete Anwendungsbereiche von Künstlicher Intelligenz (KI) im Autonomen Fahren:

– **Sensorfusion:** KI kombiniert Daten von verschiedenen Sensoren wie Kameras, LiDAR, Radar- und Ultraschall-Sensoren, um ein umfassendes Bild der Umgebung zu erstellen.

– **Objekterkennung und -klassifizierung:** Eine KI identifiziert und klassifiziert Objekte wie:

- andere Fahrzeuge,
- Fußgänger, Radfahrer
- Ampeln und Verkehrsschilder.

– **Vorhersage von Fahrverhalten:** Künstliche Intelligenz kann das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer vorhersagen, um Gefahren frühzeitig zu erkennen.

– **Pfadplanung:** KI berechnet die optimale Route und zwar unter Berücksichtigung von den aktuellen Verkehrsbedingungen, Hindernissen und gesetzlichen Vorschriften.

– **Entscheidungen im Verkehr:** Künstliche Intelligenz trifft in Echtzeit Entscheidungen über Lenkung, Beschleunigung und Bremsen, um das Fahrzeug sicher durch den Verkehr zu navigieren.

Beispiele für KI-Anwendungen im Autonomen Fahren:

Adaptive Geschwindigkeitsregelung: KI passt die Geschwindigkeit des Fahrzeugs automatisch an die Verkehrsbedingungen an.

Spurhalte-Assistent: KI-Steuerung hält das Fahrzeug sicher innerhalb der Fahrspur.

Notbrems-Assistent: KI erkennt drohende Kollisionen und bei Gefahr leitet es automatisch eine Notbremsung ein.

Autonome Park-Assistenz: KI manövriert das Fahrzeug selbstständig in eine Parklücke.

Die Vorteile von KI im Autonomen Fahren:

- Erhöhte Sicherheit: KI kann schneller und genauer reagieren als ein Mensch – und so Unfälle vermeiden.
- Mehr Komfort: Fahrer können sich während der Fahrt entspannen oder anderen Tätigkeiten nachgehen.
- Effizientere Nutzung von Straßen: Autonome Fahrzeuge können dichter aufeinander folgen und so den Verkehrsfluss optimieren.
- Reduzierung von Emissionen: Autonome Fahrzeuge können effizienter fahren und so den Kraftstoffverbrauch senken.

Herausforderungen, offene Fragen

- Ethische Fragen: Wie soll sich ein autonomes Fahrzeug in komplexen ethischen Dilemmata verhalten?
- Regulierung: Es bedarf klarer gesetzlicher Rahmenbedingungen für das Autonome Fahren.
- Cybersecurity: Autonome Fahrzeuge sind potenzielle Angriffsziele für Hacker.
- Technische Herausforderungen: Die Entwicklung zuverlässiger und robuster KI-Systeme ist komplex und erfordert kontinuierliche Forschung.

Die Entwicklung des Autonomen Fahrens

Technisch hat sich das Autonome Fahren aus den **Fahrer-Assistenz-Systemen** entwickelt. Das früheste (1958) stammte von Chrysler und nannte sich **Cruise Control (Tempomat)**.

Es regelte die Längsbeschleunigung automatisch, jedoch ohne Kenntnis der umgebenden Fahrzeuge. Die vollautomatische Längsführung (Adaptive Cruise Control, ACC) berücksichtigte schon den Verkehr und stellte eine Form des teilautonomen Fahrens dar.

Der Prototyp von Mercedes-Benz, **Future Truck 2025**, fuhr auf der BAB A14 bei Magdeburg auch selbständig im Kolonnenverkehr. Es handelt sich hier um eine Level-3-Autonomie, da das Fahrzeug auch Manöver wie Spurwechsel selbstständig unternehmen konnte und der Fahrer nicht dauerhaft die Fahrt überwachen musste.

Das **Autonome Fahren** ist derzeit nur zu Testzwecken mit Sondergenehmigung möglich. Beispielsweise hat **Daimler** für zwei seiner Freightliner Inspiration Trucks mit dem Highway Pilot System eine Lizenz für den Straßenverkehr im US-Bundesstaat Nevada erhalten.

Im Dezember 2011 wurde bekannt, dass Google nach mehreren Jahren der Entwicklung ein US-Patent für die Technik zum Betrieb von autonomen Fahrzeugen gewährt wurde. Die Testflotte hatte nach Aussage des Unternehmens zu diesem Zeitpunkt bereits ca. 257.000 km unter begrenzter Einwirkung des Fahrers sowie mehr als 1600 km ohne Fahrerbeteiligung zurückgelegt.

Im Mai 2012 erhielt Google in den USA die erste Zulassung eines autonomen Fahrzeugs für den Test auf öffentlichen Straßen des US-



Das selbstfahrende Auto von Google

Bundesstaates Nevada. Bedingung war jedoch, dass sich eine Person hinter dem Steuer befindet, die notfalls eingreifen kann.

Das Google-Roboter-Auto soll aber bereits im Dezember 2013 sicherer gefahren sein als ein menschlicher Autofahrer. Lange Zeit versuchte Google für sein laufend an hierfür gekauften Modellen von Toyota, Honda, Audi, Lexus und VW weiterentwickeltes Technikpaket **Google Driverless Car** einen passenden Autohersteller zu finden und favorisierte hierfür Tesla Motors.

Später begann Google jedoch, 100 hauseigene Elektro-Testfahrzeuge zu bauen und erste Prototypen dieses neuen Fahrzeugtyps ohne Lenkrad, Bremse und Gaspedal mit körperlich bedürftigen und anderen interessierten Personen zu testen.

Im Mai 2014 stellte Google sein Roboterauto erstmals einer Gruppe von Journalisten vor, die im Vergleich zwischen menschlichem Fahrer und selbstfahrendem System keinen Unterschied im Fahrverhalten mehr feststellen konnten.

Google erklärte jedoch, dass das Fahren bei Regen und Schnee nach wie vor Probleme bereite. Das Robotersystem beruhe auf selbstständigem



Lernen und selbstständiger Erfassung und Interpretation der Umgebung. Als Start für den Massenmarkt hatte Google-Mitgründer Sergey Brin im Mai 2014 das Jahr 2017 als Ziel für die USA angegeben. Dieser Zeitpunkt konnte aber nicht eingehalten werden.

Im Juli 2014 fuhr in Deutschland ein Prototyp der Daimler AG (Future Truck 2025) auf dem damals noch nicht eröffneten Autobahnteilstück (BAB A14 nördlich von Magdeburg) völlig selbständig, insbesondere im Kolonnenverkehr, jedoch ohne autonomes Wechseln der Spur. Am 2. Oktober 2015 fuhr erstmals ein seriennaher Lkw mit Teilautonomie auf einer öffentlichen Straße, der BAB A8 in Baden-Württemberg.

Im Jahr 2016 begann der experimentelle Einsatz von **autonomen Kleinbussen** im öffentlichen Nahverkehr, insbesondere mit Fahrzeugen der Marke **Navya**, in der Schweizer Gemeinde Sitten. Ein ähnliches Projekt gab es in Lyon/Frankreich. Seit Oktober 2016 werden alle Tesla-Fahrzeuge mit einer Hardware ausgeliefert, die es erlaubt, die Fahrzeuge zukünftig vollautonom, (d.h.: nach Level 5) zu fahren.

Vorerst wird das System in einem „Schatten-Modus“ mitlaufen, d. h. ohne in den Fahrbetrieb

einzugreifen, und die gesammelten Daten an Tesla zurücksenden, um die Fähigkeiten des Systems schrittweise zu verbessern, bis das System zur Freigabe mittels eines *over-the-air upgrades* bereit ist.

Tesla schätzte, dass ein komplett autonomes Fahren Ende 2017 möglich sein würde und plante eine Demonstrationsfahrt von San Francisco nach New York, bei der ein Fahrzeug die Strecke ohne Fahrer zurücklegen sollte. Der Zeitplan konnte jedoch nicht eingehalten werden und die Testfahrt fand nicht statt.

Ab Januar 2017 testet der Automobilzulieferer **Delphi Automotive** ein autonom fahrendes Demonstrationsfahrzeug. Das zusammen mit Mobileye entwickelte Fahrzeug soll auf einer rund 10 Kilometer langen Teststrecke im öffentlichen Verkehr von Las Vegas alltägliche Verkehrssituationen wie etwa Autobahnauf- und -abfahrten, Tunnelpassagen und dichten innerstädtischen Verkehr bewältigen.

In 2017 kündigten Bosch und Daimler eine Kooperation an. Gemeinsam sollten autonome Fahrzeuge für das urbane Umfeld entwickelt werden. Im August 2021 wurde publik, dass die beiden Kooperationspartner ihr „Robo“-Projekt beenden.

Im August 2017 stellte Audi auf der IAA mit der 4. Generation des Audi A8 das erste Serienfahrzeug mit Funktionen der Automatisierungsstufe 3 vor. Diese umfassen die hochautomatisierte Führung des Fahrzeuges auf Autobahnen bei Geschwindigkeiten unter 60 km/h und in Stausituationen. Dabei wird die gesamte Verantwortung über das Fahrzeug an den Staupiloten abgegeben.

Im April 2020 gab Audi bekannt, aufgrund der weiterhin fehlenden ECE-Zulassung den Staupiloten in dieser Fahrzeuggeneration nicht mehr freizuschalten. Daimler beantragte 2021 eine Level-3-Zertifizierung für seine S-Klasse, vorerst nur für Autobahnstrecken mit hohem Verkehrsaufkommen bis zu einer Höchstgeschwindigkeit von 60 km/h.

In 2019 gab BMW bekannt, dass gemeinsam mit dem chinesischen IT-Unternehmen Tencent ein Rechenzentrum in der Hafenstadt Tianjin gebaut werden soll. „BMW kann damit Lösungen für das autonome Fahren entwickeln, die besser zu den spezifischen Fahrbedingungen in China passen“, erklärte der China-Chef von BMW, Jochen Goller.

Ab Mitte April 2022 gibt es für die Mercedes EQS- und S-Klasse den „Drive Pilot“ als Option, der autonomes-Fahren auf Level 3 erlaubt. Der Fahrer kann diesen Modus aktivieren und dann auch den Blick von der Straße abwenden, wenn die Bedingungen das zulassen.



Voraussetzungen sind unter anderem, dass das Auto sich bei Tageslicht und über 3 °C Außentemperatur auf einer trockenen Autobahn ohne Baustelle oder Tunnel befindet. Zusätzlich muss **Mercedes** hochauflösende Karten der Strecke kennen und ein anderes Auto auf der gleichen Spur vorausfahren. Das Auto tätigt dann keine Spurwechsel und folgt mit höchstens 60 km/h dem vorfahrenden Auto. Ist der Abstand zu groß, fordert es den Fahrer auf, die Kontrolle wieder zu übernehmen.

Eine im Januar 2023 erschienene Veröffentlichung des MIT merkt den immensen Energiebedarf und die dementsprechende CO₂-Bilanz der zum autonomen Fahren notwendigen Rechensysteme an. Das behandelte Szenario, das auch verschiedene Pfade der Effizienzsteigerung einschließt, geht davon aus, dass der CO₂-Ausstoß autonomer Fahrzeuge den der Summe aller Rechenzentren weltweit übertreffen könnte. ♦♦



Blick in das Cockpit des Mercedes-Benz Klasse CLA. Damit man beim Navigieren noch mehr erleben kann, kooperiert Mercedes nun mit Google Cloud.

Selbstfahrende Autos: heute und in Zukunft



Die Zukunft der Mobilität liegt im Autonomen Fahren. Selbstfahrende Autos befinden sich nicht mehr nur in der Entwicklung – schon heute rollen sie über die Straßen...

Wer glaubt, selbstfahrende Autos seien eine Erfindung von Autoren der Science-Fiction, der irrt: Schon heute fahren autonom fahrende Autos und Lkws umher, ohne dass es menschlichen Eingreifens bedürfte...

Schon in den 80er Jahren tüftelte man an einer Privatuniversität in den USA und parallel an der Münchener Universität der Bundeswehr an führerlosen Fahrzeugen. Wie weit die Entwicklung vorangeschritten ist, erkennt man alleine schon

an der Vielzahl von Forschungsverbänden und Herstellerkooperationen.

So streben Mercedes, Volvo und BMW gemeinsam mit den Firmen Intel und Mobileye, Nissan, Honda, Tesla und viele mehr nach dem Krönchen für die beste Künstliche Intelligenz unter den Autobauern. Auch chinesische Automarken wie Nio, zum Beispiel, machen große Fortschritte in dieser Angelegenheit.

Die KI-Technologie ist heute so weit, dass sie die Kontrolle über das Fahrzeug übernehmen kann, ohne dass es menschlichen Eingreifens bedürfte. Ob das im jeweiligen Land erlaubt ist und inwieweit die Technik den Verkehr beeinflusst, das sind Fragen, deren Antwort die nahe Zukunft bringen wird.

Autonomes Fahren, in sechs Stufen

Unterschieden werden sechs Autonomiegrade, die so definiert sind:

Level 0: Kein autonomes Fahren

Selbstfahrer („Driver only“). Fahrer haben die volle Kontrolle über das Fahrzeug und fahren selbst.

Level 1: Assistiertes Fahren

Fahrer fahren noch selbst, erhalten aber Unterstützung durch **Systeme** wie z. B. einen **Abstandsregler**. Eigentlich kann so gut wie jedes moderne Auto mit Assistenz-Systemen wie einem **Spurhalte-Assistenten** oder Tempomaten auftrumpfen.

Level 2: Teilautomatisiertes Fahren

Assistierter Modus. Teilautomatisierung. Funktionen wie automatisches Einparken, Spurhalten, allgemeine Längsführung, Beschleunigen, Abbremsen werden von den Assistenz-Systemen übernommen, z. B. vom **Stau-Assistent**.

Fahrer überwachen konstant das Geschehen, das Auto kann aber automatisch die Spur halten, bremsen, beschleunigen oder auch einparken.

Beispiele für dieses Level sind die autonomen Einpark-Assistenten von Autos wie der **Mercedes S-Klasse** oder dem **Tesla Model 3**.

Level 3: Hochautomatisiertes Fahren – der Autopilot

Automatisierter Modus. Der Fahrer muss das System nicht dauernd überwachen. Das Auto wechselt eigenständig die Spur, blinkt und hält die Fahrspur auf eigene Faust. Fahrer können sich anderen Beschäftigungen zuwenden, werden durch das Auto aber in Fällen, in denen

ein Eingreifen notwendig ist, zur Übernahme der Kontrolle aufgefordert.

Auch hier ist die **Mercedes S-Klasse** zu nennen, die schon auf eigene Faust fahren, überholen, beschleunigen und bremsen kann.

Level 3 ist salonfähig geworden; der Gesetzgeber arbeitet daran, Autos mit Level 3 zu fördern und zuzulassen. 2021 wurde über ein entsprechendes Gesetz abgestimmt, das die Teilnahme fahrerloser Autos am Straßenverkehr grundsätzlich erlaubt.

Level 4: Vollautomatisiertes Fahren

Autonomer Modus. Hochautomatisierung. Die Führung des Fahrzeugs wird dauerhaft vom System übernommen. Das Auto regelt alle Fahraktivitäten selbst. Fahrer greift dann ein, sobald das System die Aufgaben nicht mehr bewältigen kann.

Rechtlich gesehen dürfen Autos diese Stufe des autonomen Fahrens noch gar nicht im Straßenverkehr verwenden. Erprobt und getestet wird diese Variante momentan von Autoherstellern wie **Mercedes, Volvo** oder **Audi**.

Level 5: Autonomes Fahren

Vollautomatisierung. Kein Fahrer erforderlich. Keine Pedale, kein Lenkrad – das Fahrzeug kommt ohne Fahrer aus und benötigt menschliches Eingreifen nur, wenn Start und Ziel der Fahrt festgelegt werden.

Am weitesten fortgeschritten in der Entwicklung selbstfahrender Autos ist der Vorreiter **Waymo**. Dieser betreibt eine Kolonne an **Robotertaxis** in einem Vorort von Phoenix, Arizona. Zum Teil verkehren diese Autos ohne Sicherheitsfahrer oder anderweitiges Personal.



Ein Lkw der Firma Waymo.
Foto: Waymo.

Autonomes Fahren in Deutschland – Gesetze und Haftung

Salonfähig ist mittlerweile Level 3 geworden: Der Gesetzgeber arbeitet daran, Autos mit Level 3 zu fördern und zuzulassen. 2021 wurde über ein entsprechendes Gesetz abgestimmt, das die Teilnahme fahrerloser Autos am Straßenverkehr grundsätzlich erlaubt.

Zur Zeit gilt allein die fahrende Person als verantwortlich, falls sich ein Unfall ereignen sollte. Ist ein autonom fahrendes Fahrzeug an einem Unfall beteiligt, haftet in erster Linie der Halter oder die Halterin des Autos. Fahrzeughalter:innen sind im Übrigen im Fahrzeugbrief aufgeführt.

Privates Car-Sharing wird zwar praktiziert, ist aber nicht weit verbreitet. Sollten sich selbstfahrende Autos als Taxis etablieren, bräuchte man Schätzungen zufolge nur noch 20% der heute fahrenden Autos. Das würde zur Nachhaltigkeit in der Automobilbranche beitragen.

Der Stand einiger Hersteller

Wie ist der Stand des eigenständigen Fahrens bei den Herstellern? Im Folgenden eine kurze Übersicht über

den Automatisierungsgrad von Modellen einiger namhafter Autoproduzenten.

Autonomes Fahren bei Mercedes

Mit dem sogenannten Drive Pilot ist es den Modellen S-Klasse sowie EQS möglich, autonomes Fahren der Stufe 3 zu absolvieren. Konkret bedeutet das, dass beide Fahrzeuge in der Theorie eigenständig alle möglichen Verkehrsmanöver durchführen können. Teilweise können sich Fahrer:innen anderen Tätigkeiten zuwenden, müssen aber auf Abruf dazu in der Lage sein, die Kontrolle über das Fahrzeug wieder zu übernehmen, wenn sie dazu aufgefordert werden.

Autonomes Fahren bei Tesla

Teslas Fahrzeuge verfügen über die Befähigung zum autonomen Fahren nach Stufe 3 – hier ist die Entwicklung aber noch im Gange, denn die sogenannte Tesla Full Self-Driving Anwendung befindet sich noch in der Beta-Version. Genutzt werden kann die Software theoretisch von allen Fahrer:innen, sie kostet allerdings auch ein ordentliches Sümmchen Geld. Dabei ist es egal, ob Sie ein Model 3, ein Model S, Y oder X fahren.



Der Trucker spielt mit dem Handy: Ein selbstfahrender Lkw. Foto: Freightliner.

Autonomes Fahren bei BMW

Die Bayerischen Motorenwerke lassen sich bei der Einführung autonom fahrender Autos noch etwas Zeit: Bis 2025 sollen aus einer Kooperation mit der Firma Qualcomm autonome Autos auf den Markt kommen, bis dahin wird Fahren der Stufe 3 unternehmensintern getestet. Bei Autos wie dem BMW 7er oder dem elektrischen Bruder i7 ist Stufe 2+ bereits möglich – die beiden können alle relevanten Aufgaben auf der Autobahn übernehmen, solange Fahrer die Geschehnisse weiterhin aufmerksam mitverfolgen.

Autonomes Fahren bei Audi

Hierzulande tüftelt Audi ebenso an der Umsetzung Autonomen Fahrens nach Stufe 3. Schon der Audi A8 aus dem Jahre 2017 konnte in Theorie und Praxis selbst fahren und lenken, aber natürlich waren entsprechende Regulierungen im Straßenverkehrsgesetz noch nicht getroffen worden.

Das heißeste Eisen in Sachen selbstfahrende Autos bei Audi ist zur Zeit der Test eines umgebauten Audi Q8 mit Autonomen Fahren nach Stufe 4.

In der Zukunft: Prognosen

Dass selbstfahrende Autos schon längst Realität sind, wissen wir. Die Frage ist: Wie hoch fällt der Grad der Automatisierung aus? Wenn wir von Assistenzsystemen sprechen, die Fahrer beim Halten und Wechseln der Fahrspur die Arbeit abnehmen, so könnte schon innerhalb eines Jahrzehnts ein Großteil der Autos hierzulande über solche Features verfügen.

Mit LiDAR-Sensoren, die kontinuierlich weiterentwickelt werden, soll das Autonome Fahren schneller in die Realität umgesetzt werden. Vieles spricht dafür, dass selbstfahrende Autos erst nach 2040 allmählich ins Rollen kommen – zu diesem Ergebnis kommt die Forschungsorganisation **Prognos** im Rahmen einer Studie.

Um 2050 soll der Anteil der Autos, die ein gänzlich Abwenden des Fahrers vom Straßengeschehen ermöglichen, auf etwa 70 Prozent angestiegen sein. Vollautomatisierte Autos kommen demnach erst ab 2040 in höheren Stückzahlen auf den Markt. Wie sich die Zahl der Unfallopfer im Verkehr unter vermehrter Nutzung automatisierter Gefährte entwickelt, bleibt abzuwarten – soll sich Berechnungen zufolge aber drastisch minimieren.

Autonomes Fahren: Die Sensoren



Sensoren und Kameras bei einem Fahrzeug von WAYMO.

Jedes neue Tesla-Fahrzeug ist mit acht externen Kameras und einer leistungsstarken Bildverarbeitung ausgestattet, um mehr Sicherheit zu bieten.

Tesla Model 3 und Model Y, die für die Märkte in Europa und im Nahen Osten gebaut werden, sind mit dem kamerabasierten Tesla Vision-System ausgestattet, das keine Radarsensoren benötigt. Tesla Vision nutzt stattdessen die Tesla-Kameras und ein neuronales Netzwerk zur Verarbeitung, um "Autopilot" und verwandte Funktionen bereitzustellen.

Um Autonomes Fahren zu ermöglichen, sind viele technische Herausforderungen zu meistern. Die Ausstattung der Fahrzeuge mit **Sensoren** ist von primärer Bedeutung.

Das Autonome Fahren gilt als Paradigmenwechsel, ist jedoch technisch ein evolutionärer Prozess. Voraussetzung ist das Vorhandensein von Sensoren (Radar, Video, Laser) und Aktoren (in der Motorsteuerung, der Lenkung, den Bremsen) im Fahrzeug.

Die Autonomie selbst stellen Computer im Auto bereit, die die Sensordaten fusionieren, sich daraus ein Bild der Umwelt formen, automatische Fahrentscheidungen treffen und sie an die Aktoren weiterleiten.

Zur Bewältigung der großen Datenmengen, etwa beim Erkennen von Verkehrszeichen, wird

vor der Implementierung in die Fahrzeuge häufig **Maschinelles Lernen** eingesetzt.

Medientheoretiker fordern einen breiteren gesellschaftlichen Dialog über die Auswirkungen des Autonomen Fahrens, insbesondere bei Dilemmasituationen, wo der Bordrechner Schaden nicht mehr vermeiden kann, sondern Schäden gewichten muss – im Grunde ethische Entscheidungen. Nun ein Resümee über die eingesetzten Sensoren.

Video-Kameras liefern reale Bilder der Umgebung – mit Straße, Verkehrszeichen und anderen Verkehrsteilnehmern. Außerdem helfen sie dem autonomen Fahrzeug, die Entfernung zu Objekten richtig einzuschätzen.

Autonome Fahrzeuge haben oft **fünf Video-Kameras**, je eine vorne, hinten, an jeder Seite und auf dem Dach. Hinzu kommt eine Videokamera zur Überwachung des Fahrers. Je nach Autonomie-Level darf dieser während der Fahrt... nicht schlafen.

Radar-Sensoren am Auto messen den Abstand zu anderen Verkehrsteilnehmern und Objekten. Low- und Highrange-Sensoren berechnen dabei die unterschiedlichen Entfernungen. Deshalb benötigt ein Autonomes Auto mehrere davon – angebracht an verschiedenen Stellen.¹

LiDAR-Sensoren (LiDAR = Light Detection and Ranging) auf dem Dach des Fahrzeugs tasten die vorausliegende Strecke ab. Das optische Messsystem feuert (für Menschen) unsichtbare Laserstrahlen ab und berechnet den Weg der von einem Hindernis reflektierten Rückstrahlen.

LiDAR-Sensoren verwenden zur Messung Laserstrahlen statt Radiowellen, wie beim Radar. Ihr Vorteil ist die hohe Reichweite. Anders als Ultraschall “sehen” **LiDAR-Sensoren** bis zu 200 Meter weit, auch nachts. **LiDAR-Sensoren** ergänzen also Radar-Sensoren. Die rund um das Auto angebrachten Sensoren beliefern die Assistenz-Systeme in einem **Smart Car** permanent mit den nötigen Daten.

Mit einem GPS-System² wird das Auto genau geortet. Dieses GPS-System weiß immer, wo das Fahrzeug sich gerade befindet – nicht nur auf welcher Straße, sondern auch auf welcher Spur. Das ist für abbiegende Fahrzeuge entscheidend.

Für eine einwandfreie Streckenführung sind außerdem bis auf 2 cm genaue Straßenkarten (!) und ein schnelles Navigations-System notwendig. Diese Systeme müssen nicht nur einzeln zuverlässig arbeiten, sondern auch gemeinsam. Ähnlich wie bei einem Flugzeug müssen sich die Systeme von Autonomen Fahrzeugen – von **Smart Cars** – durch einen redundanten Aufbau vor einem Totalausfall schützen. Die meisten Fahrzeuge haben deshalb zwei Kabelsätze. So wird verhindert, dass das System ausfällt, wenn ein Kabel beschädigt ist. ♦♦

1 Heute sind vor allem schon die piepsenden Ultraschallsensoren als Einparkhilfen bekannt.

2 GPS = Global Positioning System ist ein globales Navigationssatellitensystem. GPS ist seit der 1990er-Jahre funktionsfähig und ermöglicht seit der Abschaltung der Signalverschlechterung im Mai 2000 auch zivilen Nutzern eine Genauigkeit von oft besser als 10 Metern. Die Genauigkeit lässt sich durch Differenzmethoden in der Umgebung eines Referenzempfängers auf Werte im Zentimeterbereich steigern. GPS hat sich als das weltweit wichtigste Ortungsverfahren etabliert und wird in Navigationssystemen weitverbreitet genutzt.

Visionen, demnächst

Im Jahr 2035 könnten laut einer Studie der **Unternehmensberatung Oliver Wyman** teil- und vollautomatisierte Fahrzeuge zwischen 20 und 35 % der globalen Fahrzeugproduktion ausmachen. Das Fraunhofer-Institut IAO prognostizierte im November 2015 in einer Studie im Auftrag des Bundeswirtschaftsministeriums, das **Autonome Fahren** werde „bereits vor 2025 technische Reife erlangen“ und danach eine „Wertschöpfung am Standort Deutschland in Höhe von 8,8 Milliarden Euro“ ausmachen.

Im Dezember 2016 übergab die Deutsche Akademie der Technikwissenschaften (ACATECH) dem Bundesverkehrsministerium eine Studie, in der ACATECH nicht vor 2030 mit autonomen Fahrzeugen rechnet.

Seit Oktober 2016 werden alle **Tesla**-Fahrzeuge mit einer Hardware ausgeliefert, die es zukünftig erlauben soll, die Fahrzeuge vollautonom, also nach Level 5 zu fahren.

Die Prognose vom Autohersteller Tesla, dass das autonome Fahren bereits im Jahr 2017 mit den **Tesla**-Fahrzeugen möglich sein wird, bewahrheitete sich nicht.

2019 war auf der Tesla-Website zu lesen, dass das System einen autonomen Betrieb „unter fast allen Umständen“ ermöglichen solle.

Ende 2022 wurde in Bern das erste autonome Lieferfahrzeug der Schweiz vorgestellt und für Frühling 2023 dessen Pilotbetrieb angekündigt. ♦♦

Marvin Minsky, KI-Forscher

Kritiker Minskys bezweifeln die Seriosität vieler seiner Prognosen. So sagte er voraus, „es werde bald möglich sein, Emotionen in eine Maschine hinein zu programmieren“. 1970 erklärte er, dass es in drei bis acht Jahren Maschinen mit der durchschnittlichen Intelligenz eines Menschen geben werde, die Shakespeare lesen und Autos warten würden...

Der Autor Bas Kast, der als Student Minskys ein **Society-of-Mind**-Seminar besucht hat, schreibt über Minsky, er sei „eine schillernde Figur, und kaum jemand, der ihn trifft, kann sich des Eindrucks erwehren, dass es sich bei ihm um ein Genie handelt“.

Marvin Lee Minsky (1927 – 2016) war ein US-Forscher auf dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz (KI). Gemeinsam mit John McCarthy, Nathaniel Rochester und Claude Shannon begründete er 1956 auf der *Dartmouth Conference* den Begriff „Künstliche Intelligenz“.

Später waren er und **Seymour Papert** auch Begründer des **Labors für Künstliche Intelligenz am Massachusetts Institute of Technology (MIT)**, das AI Lab.

Marvin Minsky veröffentlichte Texte zu diesem Fachgebiet sowie über verwandte Themen der Philosophie. Und er machte auch einige Erfindungen; er war der Erfinder des später im Konfokalmikroskop realisierten Messprinzips (1957).

Weitere Erfindungen waren mechanische Hände und andere Teile für Roboter, der **Muse-Synthesizer** für musikalische Variationen gemeinsam mit Edward



Fredkin und die erste Logo-Schildkröte (Turtle-Grafik) gemeinsam mit Seymour Papert.

1951 baute er mit **Dean Edmonds** den SNARC (Stochastic Neural Analog Reinforcement Calculator), einen neuronalen Netzcomputer, der das Verhalten einer Maus in einem Labyrinth simulierte.

Marvin Minsky besuchte die Fieldston School und die Bronx High School of Science in New York. Später studierte er an der Phillips Academy in Andover, Massachusetts. Er leistete von 1944 bis 1945 seinen Wehrdienst in der US-Navy.

An der Harvard University erwarb er 1950 einen Bachelor in Mathematik und promovierte 1954 an der Princeton University bei Albert William Tucker (*Theory of Neural-Analog Reinforcement Systems and Its Application to the Brain Model Problem*).

Minsky war seit 1958 am Massachusetts Institute of Technology; dort forschte und lehrte er bis zu seinem Tod. 1959 gründete er dort mit

John McCarthy, dem LISP-Erfinder, eine KI-Arbeitsgruppe.

Die Gruppe, der in den 1970er Jahren auch viele Hacker (wie Richard Stallman) angehörten, war ab 1963 dem MAC-Projekt (Mathematics and Computation) zugeordnet, das erst unter Leitung von Robert Fano (bis 1968) und dann von J. C. R. Licklider (bis 1971) stand.

In den 1960er Jahren wurde auch viel an Modellen neuronaler Netzwerke, *Perceptrons*, geforscht (Titel eines Buches von Minsky und Papert).

Die Entdeckung einiger fundamentaler Mängel solcher einfachen neuronalen Netzwerke durch Minsky und Papert führte Ende der 1960er Jahre dazu, dass die Forschung auf diesem Gebiet ganz zum Erliegen kam und erst in den 1980er Jahren neu belebt wurde.

Neben KI-Forschung (zum Beispiel in den Bereichen visueller Wahrnehmung, Robotik, Sprache) wurde auch ein Time-Sharing-Computersystem entwickelt.

1970 trennte sich die KI-Gruppe ab und es entstand das **AI Lab** am MIT, unter Leitung von Minsky, der viele Wissenschaftler vom MAC-Projekt mitnahm, das im Computer Science Lab des MIT aufging.

Das AI Lab wurde schon Ende der 1960er Jahre zu einem weltweit beachteten Zentrum der KI-Forschung. 1972 gab Minsky die Leitung des AI Lab an Patrick Winston ab. Minsky war in den 1980er Jahren auch Mitglied des Media Lab des MIT. Später war er dort Toshiba Professor of Media Arts and Sciences sowie Professor für Elektrotechnik und Informatik (Computer Science).

Minsky wurde vielfach ausgezeichnet. Er war Mitglied der National Academy of Engineering, der American Academy of Arts and Sciences (seit 1968) sowie der National Academy of Sciences (seit 1973).

1969 wurde er mit dem **Turing-Preis** ausgezeichnet, 1990 wurde ihm der Japan-Preis verliehen, 2001 die Benjamin-Franklin-Medaille,

Denken und Lernen, nach Minsky

Minsky bedauerte die aktuelle Entwicklung der KI-Forschung, da hier verstärkt statistische Lernverfahren verwendet würden, anstatt auf eine umfassende Modellierung kognitiver Agenten hin zu arbeiten.

The Society of Mind

In seinem Buch *The Society of Mind* stellte Minsky 1986 die These auf, dass Intelligenz aus einem verwobenen Netz von unintelligenten Agenten bestehe. Erst durch die Zusammenarbeit von relativ einfachen Agenten entstehe die Intelligenz.

Minsky versucht den Leser von der gewöhnlichen Vorstellung abzubringen, dass das menschliche Gehirn ein einzelnes, großes monolithisches Wesen ist, das an etwas denkt oder gerade nicht denkt.

Stattdessen wird ein Modell skizziert, bei dem das Gehirn aus unzähligen, verschiedenartigen, aber relativ einfachen Agenten besteht. Diese Agenten haben einfache Aufgaben und Ziele. Erst durch die Kommunikation miteinander und einem Ausverhandeln der Bedürfnisse der einzelnen Agenten untereinander entstehen **Denken** und **Handeln**.

Einzelne Agenten können wieder aus noch kleineren Agenten bestehen, die wiederum miteinander kommunizieren und verhandeln. Die kleinen Agenten sind spezialisiert für bestimmte Aufgaben, beispielsweise das Auge für das Sehen oder ein Gehirnbereich zur Sicherstellung von genügend Schlaf.

Konflikte innerhalb eines Agenten führen zur Schwächung dieses Agenten, wodurch andere Agenten Oberhand gewinnen.

Lernen besteht in diesem Modell darin, die Kommunikation zwischen den Agenten zu verbessern. Persönliche Eigenheiten von Menschen resultieren aus den unterschiedlichen Gewichtungungen der Agenten.

Die Speicherung von Erinnerungen wird dabei durch die Erzeugung von K-Lines ermöglicht. Diese K-Lines sind eine Art Liste, die alle Agenten enthält, die bei einer Aktivität beteiligt waren.

2013 der BBVA Foundation Frontiers of Knowledge Award und 2014 der Dan-David-Preis. Für seine Beiträge zur Optik erhielt er den R.W. Wood Prize.

Am 24. Januar 2016 starb er an einer intrazerebralen Blutung. Er wurde 88 Jahre alt.

Veröffentlichungen

Neural Nets and the Brain Model Problem, Dissertation, Princeton University, 1954.

Computation: Finite and Infinite Machines, Prentice-Hall, 1967.

Semantic Information Processing, MIT Press, 1968.

Perceptrons, mit Seymour Papert, MIT Press, 1969.

Artificial Intelligence, mit Seymour Papert, Univ. of Oregon Press, 1972.

Robotics, Doubleday, 1986.

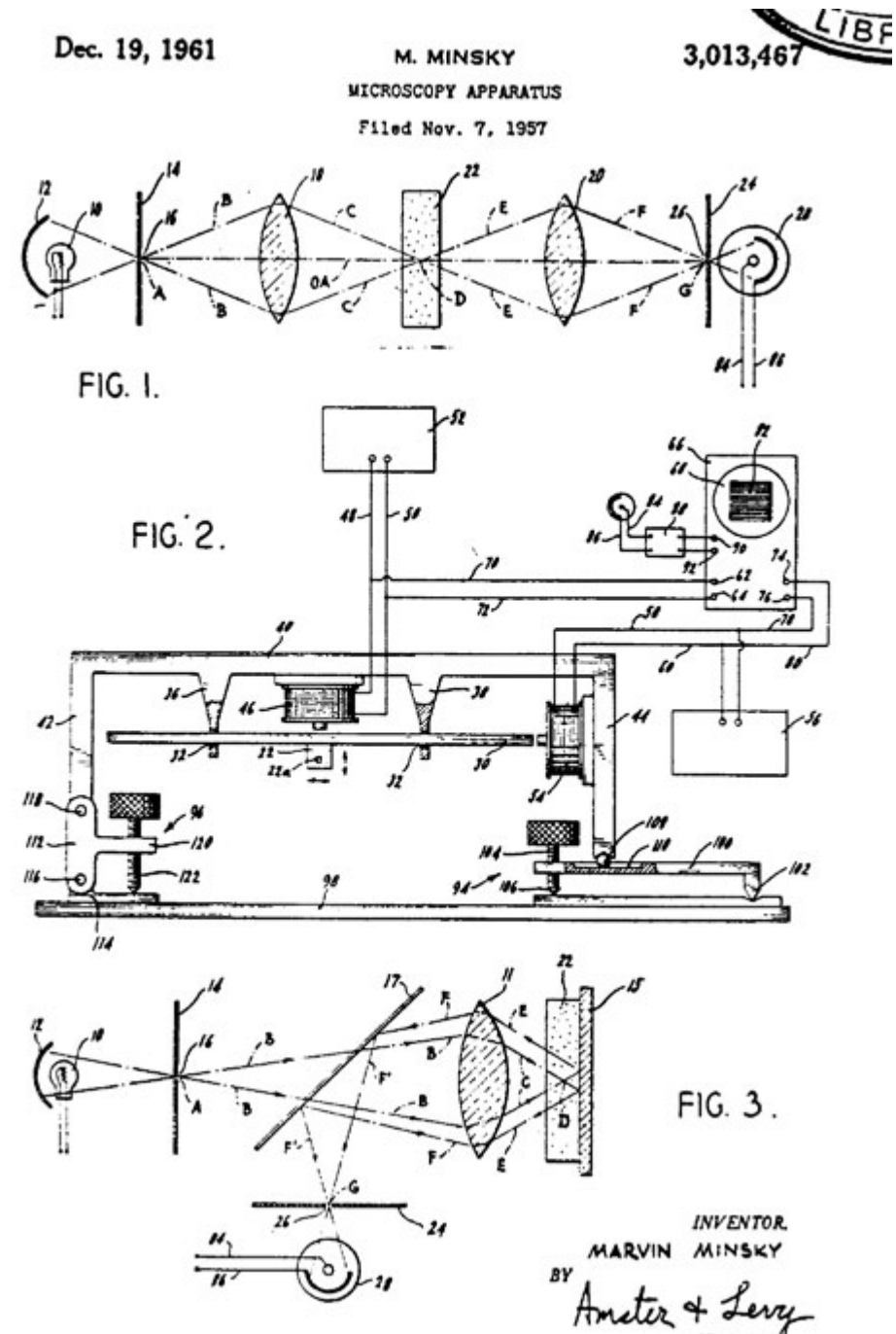
The Society of Mind, Simon and Schuster, 1987.

Mentopolis, Klett-Cotta Verlag, Stuttgart 1990, ISBN 3-608-93117-1.

The Turing Option, mit Harry Harrison, Warner Books, New York 1992, ISBN 0-446-51565-5.

Die Turing Option, mit Harry Harrison, Heyne Verlag, München 1997, ISBN 3-453-11912-6.

The Emotion Machine, Simon & Schuster, New York 2006, ISBN 978-0-7432-7664-1.



Index

A

AI Lab 28
Algorithmus 5
Analytical Engine 7
Assistierter Modus 22
Audi 16, 22
Automatisierter Modus 22
autonome Kleinbusse 19
Autonomes Fahren 25

B

Berechenbarkeitstheorie 7
blind quantum computation 13

D

Daimler 18
Dartmouth Conference 27
Delphi Automotive 19

E

Einparken, autonom 15

F

Feynman, Richard 10
Feynman, Richard - Physiker 10

G

Google Driverless Car 18

H

Handlungsvorschrift zur Lösung eines Problems 5
Heisenbergsche Unschärferelation, 9
Hochautomatisiertes Fahren 16

I

Informatik 7

K

Kochrezept 5
Komplexitätstheorie 7

L

Labors für Künstliche Intelligenz am Massachusetts

Institute of Technology 27
LiDAR-Sensoren 26

M

Machinelles Lernen 6
Mercedes 22
Mercedes S-Klasse 22
Muhammad al-Chwarizmi 8

P

Perceptrons 28
Primzahlen 10

Q

Quantencomputer 9
Quantenmechanik 9
Quantenparallelismus 12
Qubits = Quanten-Bits 10, 11

R

Radar-Sensoren 26
Robotertaxis 22

S

schriftliche Anleitungen 5
Selbstfahrer 22
Sensoren an Autos 25
Shor, Peter 10
Smart Car 26
Spurhalte-Assistenten 22
Stau-Assistent 22

T

Turingmaschine 6
Turing-Preis 28

V

Valet-Parken, automatisiert 15
Volvo 22

W

Waymo 22
Wikipedia 7

X

XeedQ GmbH 14