



Künstliche Intelligenz und neuromorphe Chips

Wo steht die Technik – wie sieht die Zukunft aus?

Der Mensch ist das Vorbild für die nächste Generation intelligenter Mikroschaltkreise – neuromorphe Chips, die nach dem Vorbild von natürlichen Nervennetzen gebaut werden. Wie weit der Stand auf diesem Gebiet der Technologie ist, wie sie funktionieren und wozu sie eingesetzt werden, erfahren Sie in diesem Teil unserer Serie zur Künstlichen Intelligenz.





Die Familie der zentralen Computerbauelemente hat in den letzten Jahren eine interessante Erweiterung erfahren. Neben CPU (Central Processing Unit) und GPU (Graphics Processing Unit) finden NPUs (Neuromorphic Processing Units) immer mehr Beachtung. Die neuartigen Komponenten werden auch als neuromorphe, neurosynaptische oder neuronale Prozessoren bezeichnet. Diese Chipvariante soll die verschiedensten Anwendungen der künstlichen Intelligenz unterstützen. Bislang sind die Haupteinsatzgebiete vor allem in der Mustererkennung zu finden. Die Prozessoren erlauben es, bestimmte Datenstrukturen oder -merkmale mit hoher Geschwindigkeit zu erfassen. Die Analyse großer Datenmengen, sogenannte Big-Data-Anwendungen, werden durch die neue Technologie in bis dato undenkbarer Geschwindigkeitsbereiche katapultiert.

Das Interesse an den neuen Chips ist exorbitant. Viele Aufgaben, etwa autonom gesteuerte Fahrzeuge, Schiffe, Drohnen und Flugzeuge oder Sprach- und Mustererkennung können nur mithilfe der neuen Technologie effizient gelöst werden. Die klassischen Rechner mit Von-Neumann-Architektur und rein sequenzieller Datenverarbeitung stoßen hier rasch an ihre Grenzen. Das gilt insbesondere für den mobilen Einsatz. Aber auch in Rechenzentren wird man nicht ohne neuromorphe Chips auskommen. Wenn Sprachassistenten wie Alexa oder Siri, Applikationen wie Bilderkennung, intelligentes Marketing, maschinengestützte Verkaufsförderung usw. immer intensiver genutzt werden, sind herkömmliche Serverfarmen rasch überfordert. Ein erster Schritt in Richtung der neuromorphen Rechnerstrukturen war das „distributed computing“ d. h. das aktive Zusammenschalten mehrerer CPUs (Bild 1). Erhält jede CPU auch noch einen eigenen Speicher und eigene Eingabe-/Ausgabeeinheiten (I/Os), hat man bereits eine Struktur vor sich, die zumindest als „neuronales“ Netz genutzt werden könnte. Ursprünglich wurden diese hochparallelen Rechnersysteme allerdings lediglich konstruiert, um die Rechenleistung entsprechend zu vervielfachen. Von selbstlernenden Systemen war man noch weit entfernt.

Allerdings entwarfen Computer-Pioniere bereits während des Zweiten Weltkriegs erste Konzepte für selbstlernende Rechner. Die ersten echten Anwendungen der künstlichen Intelligenz wurden dann in den 1980er-Jahren entwickelt. Zunächst wurden vergleichsweise einfache neuronale Netze auf klassischen Computern implementiert. Sie kamen damals hauptsächlich in rein wissenschaftlichen Bereichen zum Einsatz.

Das grundsätzlich neuartige an dieser Methode war dabei, dass nun einfachere Aufgaben gelöst werden konnten, ohne dass ein spezielles Programm erstellt werden musste. Die Netze wurden mit umfangreichen Datensätzen trainiert und konnten im Anschluss chemische Analysen ausführen oder astrophysikalische Messwerte interpretieren und korrekt einordnen. Im Verlauf dieser Forschungen wurde rasch erkannt, dass neuronale Strukturen besonders gut für die Bilderkennung geeignet sind. Hier dienen die einzelnen Pixel eines digitalen Bilds als Eingabedaten. In der

Folge wurde dieser Teilbereich der künstlichen Intelligenz besonders intensiv untersucht.

Wie bereits im letzten Artikel dargelegt, sind neuronale Netze letztlich nur ein einfaches Modell für die Vorgänge im menschlichen Gehirn. Sie bestehen aus Eingabeneuronen, einer oder mehreren „verborgenen“ mittleren Schichten (Hidden Layer) und Ausgabeneuronen. Je mehr Ebenen zwischen Ein- und Ausgabe liegen, desto höher ist die mit dem jeweiligen Netz erreichbare Präzision. Allerdings steigt auch der Rechenaufwand mit der Anzahl der künstlichen Neuronen bzw. der Anzahl der Schichten stark an. Aus diesem Grund konnten umfangreichere neuronale Netze zunächst nur in einem akademischen Umfeld realisiert werden, in welchem ausreichend Computer-Ressourcen zur Verfügung standen. Die ersten leistungsfähigen softwarebasierten Neuronetze erforderten noch Supercomputer für ihren Einsatz. Insbesondere die Trainingsphasen waren mit einem extrem hohen Rechenaufwand verbunden und benötigten oft stunden- oder sogar tagelange Rechenzeiten.

Bei einfachen Aufgaben in der Mess- und Regeltechnik konnten sich die neuen Software-Netze auf preiswerten CPUs nicht gegen konventionelle Algorithmen durchsetzen. Bei schwierigen Aufgaben wurden die Anforderungen an die Hardware zu hoch. „Tiefe“ neuronale Netze mit vielen hintereinandergeschalteten Neuronen erforderten so viel Rechenleistung, dass diese Lösungen wirtschaftlich unattraktiv blieben.

Neuromorphe Chips

Die damaligen Rechner arbeiteten wie alle Von-Neumann-Rechner sequenziell und trennten strikt zwischen Datenverarbeitung und Speicher. Derartige Systeme bestehen hauptsächlich aus zwei Komponenten: einer CPU, die Daten verarbeitet, und einem Arbeitsspeicher (RAM), welcher die Daten speichert. Die CPU holt zunächst ihre Befehle aus dem Speicher und dann die Daten, die zur Ausführung erforderlich sind. Sobald der Befehl ausgeführt wurde, wird das Ergebnis in den Speicher zurückgesendet, und der nächste Arbeitszyklus beginnt.

In Rechnern dieser Bauart enthält ein gemeinsamer Speicher sowohl Programmbefehle als auch Daten, die von einem einzelnen Prozessor verarbeitet werden. Diese Struktur ist gut geeignet, um Zahlen zu verarbeiten und präzise, klassische Computerprogramme auszuführen. Für die Bilderkennung ist sie jedoch keineswegs optimal. Es ist bezeichnend, dass klassische Rechnerstrukturen mehrere Tausend Prozessorkerne be-

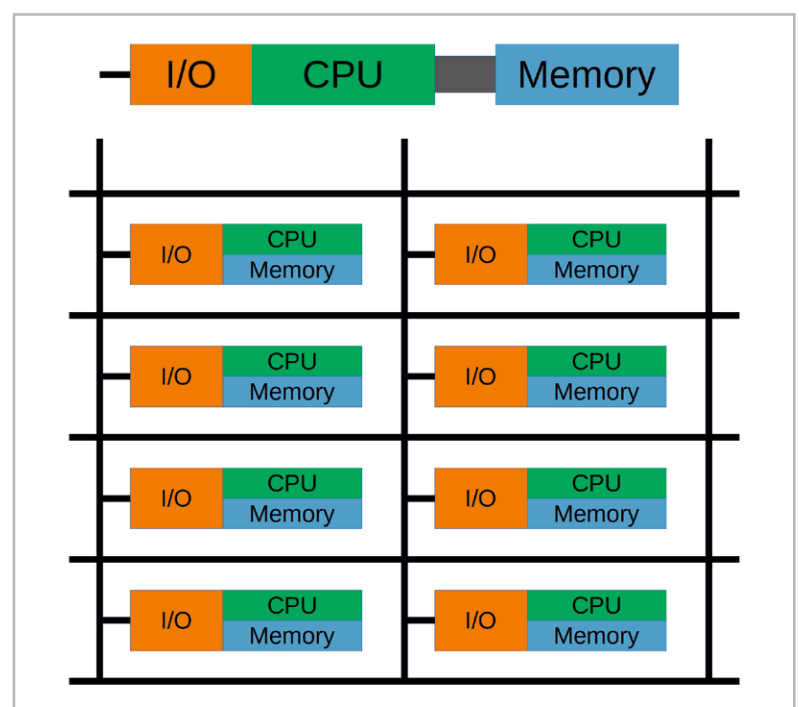


Bild 1: Vergleich Von-Neumann-Architektur und Distributed Computing

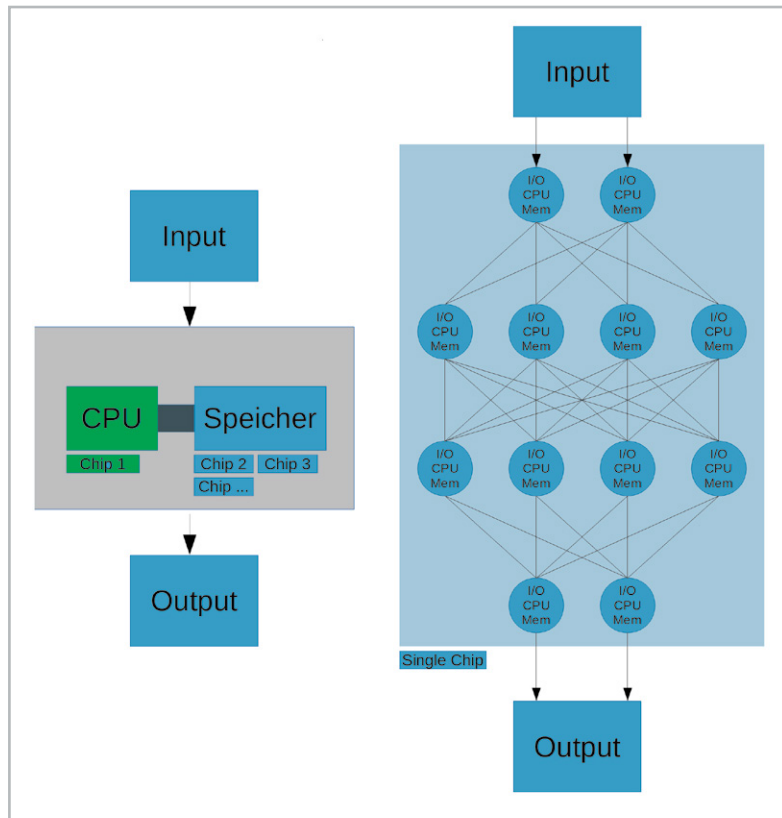


Bild 2: Klassische Rechnerstruktur und neuromorpher Chip

nötigen um Katzen in Videos zu erkennen – eine Fähigkeit, die jedes Kleinkind beherrscht.

Im Gehirn dagegen ist die Speicherung und Verarbeitung von Informationen in eine untrennbare Einheit zusammengefasst. Zudem sind beide Funktionen räumlich eng benachbart und pflegen eine intensive Kommunikation. Auf dieser Erkenntnis aufbauend begann eine neue Generation von Forschern ab dem Jahr 2000, leistungsfähige Rechner-technik zu nutzen und neue Wege einzuschlagen. Mangels Alternativen wurden für erste Anwendungen Hochleistungs-Grafikprozessoren verwendet, um neuronale Netze beispielsweise zur Muster- und Sprach-erkennung zu optimieren. Die Netze lernten dabei aus unzähligen Beispielen, um die erforderlichen Regeln abzuleiten, welche sie dann in der aktiven Phase anwenden sollten. Die dafür notwendigen umfangreichen Datensätze waren in den 1980er-Jahren nicht verfügbar gewesen, da das Internet noch in den Kinderschuhen steckte. Heute dagegen stehen dank Google, YouTube, Facebook oder Instagram unfassbare Datenmengen zur Verfügung, die dank entsprechender Nutzungslizenzen von den Konzernen ausgiebigst verwertet werden können.

Nach ersten Erfolgen begann man damit, auch in der Hardwaretechnik neue Wege zu beschreiten. Das Ziel war, neue Bauelemente zu entwickeln, die dem menschlichen Gehirn so weit wie möglich entsprechen. Insbesondere die Fähigkeit zu „lernen“ sollte bereits auf Hardwareebene umgesetzt werden. Die neuartigen Chips ersetzen prinzipiell biologische Hirnstrukturen durch chip-interne Architekturen. Die entsprechenden Bauelemente verfügen nach einer Lernphase über völlig neue Fähigkeiten und Eigenschaften. Damit war das Konzept der neuromorphen Chips geboren (Bild 2).

Einer der ersten großtechnisch gefertigten neuromorphen Komponenten ohne Von-Neumann-Architektur wurde von IBM entwickelt. Etwas später gelang es, die für effizientes Lernen wichtige sogenannte Backpropagation zu implementieren. Voraussetzung dafür war wieder der Zugriff auf umfangreiche Datenmengen. Der Backpropagation-Algorithmus sorgt dafür, dass die Gewichtungen innerhalb der neuromorphen Verbindungen so justiert werden, dass immer bessere Ergebnisse erzielt

werden. Mit jedem weiteren Schritt nähern sich die Ausgaben damit den korrekten Werten an. Der Chip ist also in der Lage, bestimmte Zusammenhänge zu „lernen“.

Die neuromorphen Chips eignen sich besonders gut, um sensorische Daten wie Bilder oder Sprache zu verarbeiten. Die Technologie ist vergleichsweise problemlos in klassische Siliziumchips integrierbar. Nach Abschluss des „Trainings“ können die Chips auch ohne vorherige spezielle Programmierung auf Daten korrekt reagieren. Sie haben daher das Potenzial, die Fortschritte in der künstlichen Intelligenz und in der Robotik weiter zu beschleunigen. Das Ziel, Maschinen zu konstruieren, welche die Welt auf menschenähnliche Weise „verstehen“ können, ist damit deutlich näher gerückt. Die Anwendungen sind vielfältig:

- Smartphones können sich optimal an ihren Nutzer anpassen, sie werden damit zu echten persönlichen Assistenten.
- Staubsauger- oder Rasenmäroboter können sich selbst ein „Bild“ von ihrer Umgebung erstellen. Nach einer Trainingsphase treten Probleme wie das Festfahren unter Möbeln oder in einem Gebüsch nicht mehr auf.
- Im medizinischen Bereich könnten Sensoren lebenswichtige Daten analysieren. Behandlungen werden automatisch optimiert und Dosierungen angepasst.

Die Grenzen zwischen technischen und biologischen Systemen werden immer mehr verwischen. Noch sind diese Anwendungen überwiegend Zukunftsmusik. Erste Applikationen wie Gesichts- und Fingerabdruck-erkennung im Smartphone zeigen allerdings bereits, wohin die Reise geht.

Bei klassischen Prozessoren kann die Leistung nicht stetig weiter verbessert werden. Immer schnellere Transistoren und größere Speicher führen nicht automatisch zu „intelligenteren“ Systemen. Bereits die Abwärme, die viele dieser Komponenten erzeugen, begrenzt die Taktrate und damit die Geschwindigkeit, mit der die Chips betrieben werden können. Damit ist auch die Fähigkeit dieser Systeme begrenzt, Bilder, Sprache und andere sensorische Informationen effektiv zu verarbeiten. Aufgaben wie Gesichtserkennung und Roboter- oder Fahrzeugnavigation erfordern deshalb bei Verwendung klassischer Technologien die Rechenleistung von tonnenschweren Supercomputern.

Viele Dienste wie Siri oder Alexa sind dadurch limitiert, dass sie auf leistungsfähige Computer in einer Cloud angewiesen sind. Neuromorphe Chips dagegen orientieren sich an der massiv parallelen Funktionsweise des Gehirns. Dieses verarbeitet Informationen mithilfe einer Vielzahl von Neuronen. Sensorische Reize werden nicht sequenziell, sondern hochgradig parallel verarbeitet. Die Neuronen im Gehirn können zudem sehr flexibel auf sich ändernde Bilder oder Töne reagieren. Darüber hinaus sind die Verbindungsstrukturen flexibel, sodass eine kontinuierliche Anpassung an immer neue Situationen möglich ist. Dieser Prozess wird gemeinhin als „Lernen“ bezeichnet. Chips mit gehirnnähnlichen Strukturen



Bild 3: Neuromorpher Chip (Bild: brainchip.com)

(Bild 3) können diese Aufgaben prinzipiell wesentlich einfacher meistern als konventionelle Systeme. Die neuromorphen Einheiten können Aufgaben wie sensorische Datenverarbeitung und Bilderkennung daher sehr effizient lösen.

Neuromorphe Chips bestehen aus in sich geschlossenen Subsystemen. Jede dieser Untereinheiten enthält eigene Verarbeitungseinheiten und eigene Speicher. Der Chip enthält mehrere Tausend Kerne mit einer Vielzahl von programmierbaren „Neuronen“. Zudem ist eine große Menge an konfigurierbaren Verbindungsleitungen integriert. Der Datenaustausch erfolgt über ein internes Netzwerk. Die Neuronen übertragen, empfangen und akkumulieren Signale, sogenannte „Spikes“. Ein Neuron erzeugt einen Spike, wenn die aufsummierten Eingangssignale die in der Trainingsphase eingestellte Aktivierungsschwelle erreichen.

Neuromorphe Chips können mithilfe des Netzwerks zweidimensional angeordnet werden. Das System ist so problemlos auf nahezu jede beliebige Größe skalierbar. Da die künstlichen Neuronen eine doppelte Funktion aus Speicher und CPU erfüllen, erreichen neuromorphe Chips eine hohe Rechenleistungsdichte bei vergleichsweise geringem Stromverbrauch. Ein klassischer neuromorpher Chip nimmt im laufenden Betrieb etwa 70 Milliwatt elektrische Leistung auf und hat eine Leistungsdichte von 20 Milliwatt pro Quadratzentimeter. Dies entspricht lediglich einem Zehntausendstel der Leistungsaufnahme moderner Mikroprozessoren. Für die Zukunft ist sogar geplant, ähnlich wie im Gehirn, dreidimensionale Strukturen zu schaffen. Hier ist der niedrige Leistungsbedarf von besonderem Vorteil, da damit die Abwärmeproblematik kaum ins Gewicht fällt.

Noch sind neuromorphe Chips nicht annähernd so leistungsfähig wie das menschliche Gehirn. Dennoch sind sie bei der Verarbeitung sensorischer Daten und beim „Lernen“ bereits wesentlich schneller als Von-Neumann-Computer. Der Versuch, das Gehirn durch spezielle Software auf herkömmlichen Prozessoren zu emulieren, ist daher offensichtlich zum Scheitern verurteilt. Programme zur Erkennung von Katzen in Videos haben dies deutlich gezeigt. Die Methode ist viel zu ineffizient, um als Grundlage für Maschinen mit noch größerer „Intelligenz“ zu dienen.

Letztendlich wurden Computer auch nicht als intelligente Maschinen konzipiert. Jahrzehntlang bestand ihre Aufgabe im sequenziellen Verarbeiten numerischer Daten. Um weitere Durchbrüche zu erzielen, muss die Chiptechnologie grundlegend verändert werden. Die Idee der neuromorphen Chips existiert

seit über 30 Jahren. Der Begriff entstand bereits in den 1990er-Jahren als Bezeichnung für analoge Schaltkreise, die elektrische Aktivität von Neuronen und Synapsen im Gehirn nachahmen konnten. Daraufhin starteten intensive Entwicklungsaktivitäten mit dem Ziel, komplexe analoge Chipdesigns zuverlässig in die Praxis umzusetzen. Bislang haben insbesondere hochspezialisierte Chips zur Rauschunterdrückung Beachtung gefunden. Sie werden in sogenannten Cochlea-Implantaten eingesetzt, also Systemen, die Schall direkt in Signale für den menschlichen Hörnerv umwandeln. Auch in Handys und Smartphones wird die Technik zunehmend implementiert.

Wiedergeburt der Analogtechnik?

Die Fortschritte im Bereich des maschinellen Lernens sind in den letzten Jahren unübersehbar geworden. Andererseits haben sich die Computerprozessoren, auf welchen neuronale Netze implementiert werden, kaum verändert. Erst in jüngster Zeit werden die seit Jahrzehnten prinzipiell unveränderten Chiparchitekturen an die Anforderungen der künstlichen Intelligenz angepasst. In der Chipentwicklung werden völlig neue Wege beschritten, indem Prozessoren so modifiziert werden, dass sie dem menschlichen Gehirn immer ähnlicher werden. Der neue Forschungszweig ist als „Neuromorphes Computing“ bekannt. Die Fortschritte bei der Einführung dieser vollkommen neuen Chipversionen werden dazu führen, dass Prozessoren maschinelle Lernaufgaben mit einem deutlich geringeren Energiebedarf ausführen. Die geringe Leistungsaufnahme der neuen Chips gestattet es, KI-Fähigkeiten wie Sprach- und Bilderkennung auch in mobilen und akkubetriebenen Geräten einzusetzen. Im Vergleich zum Gehirn benötigen aktuelle Computer ohnehin außerordentlich große Energiemengen und erfordern extrem hohe elektrische Leistungen. Das Gehirn kommt mit etwa 20 bis 30 Watt Eingangsleistung aus. Supercomputer wie etwa der „Tianhe-2“ (Bild 4) im chinesischen Guangzhou benötigen dagegen die elektrische Leistung einer ganzen Kleinstadt. Selbst das SpiNNaker-System (Spiking Neural Network Architecture), ein für die Hardware-Simulation neuronaler Netzwerke entwickelter Computer, erfordert noch eine Leistung von rund 90.000 Watt.

Um KI-Algorithmen anzuwenden und zu trainieren, werden heutzutage praktisch noch ausschließlich digitale Prozessoren (CPUs, GPUs, TPUs, FPGAs und ASICs) verwendet. Eine vielversprechende Alternative zur kostspieligen und leistungsintensiven digitalen Logik ist das analoge Rechnen, bei dem rechenintensive Operationen durch spezielle analoge Recheneinheiten übernommen werden. Einige Forscher gehen davon aus, dass neuromorphe Hardware-Strukturen KI-Anwendungen 1000- bis 10.000-fach beschleunigen könnten.

Der Hauptunterschied zwischen neuromorphen Chips und klassischen Computer-Prozessoren besteht dann auch darin, dass neuromorphe Chips Daten analog und nicht digital verarbeiten. Signalpegel liegen also nicht digital in Form von reinen Null- und Eins-Signalen vor. Vielmehr variiert die Intensität dieser Signale kontinuierlich und stufenlos,



Bild 4: Supercomputer „Tianhe-2“

Bild: <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=45399546>

ähnlich wie die Datenübertragung zwischen den Synapsen des menschlichen Gehirns. Dies bedeutet, dass mehr Informationen pro Datenkanal übertragen werden können, wodurch die benötigte Leistung deutlich reduziert wird. Bis zu einem gewissen Grad kann man das mit dem Unterschied zwischen Morsecode und Sprache vergleichen. Beim Morsen werden Informationen mit nur zwei Zeichen – Punkten und Strichen – kodiert. Dadurch können Signale auch noch bei starkem Hintergrundrauschen, wie etwa im Kurzwellenrundfunkband, detektiert werden. Allerdings wird die Kommunikation deutlich langsamer. Im Vergleich dazu hat die natürliche Sprache eine wesentlich höhere Informationsdichte, kann aber in einem verrauschten Funksignal schwer verständlich sein. Die analoge Signalübertragung benötigt im Allgemeinen jedoch weniger Leistung als digitale Verfahren.

Bislang ist es unter anderem gelungen, mithilfe von neuromorphen Chips Netzwerke aufzubauen und zu trainieren, welche Handschriften oder Bilder mit einer Fehlerquote von 5 % erkennen. Klassische Algorithmen erreichen zwar noch etwas bessere Werte, dennoch wird bei diesen Anwendungen bereits klar, dass die neue Technologie über ein vielversprechendes Potenzial verfügt.

Es ist sicher noch ein weiter Weg, bis analoge neuromorphe Chips für die Massenproduktion und den realen Einsatz geeignet sein werden. Die möglichen Anwendungen rechtfertigen allerdings zweifellos den Aufwand.

Ultra-intelligente Maschinen und technologische Singularität

Die zunehmende Intelligenz von maschinellen Systemen führt zu intensiven Debatten. Insbesondere auch die Technologie der neuromorphen Chips wirft die Frage auf, ob Maschinenintelligenz überhaupt in irgendeiner Art und Weise begrenzt ist oder ob sie schließlich sogar ihre eigenen Schöpfer überflügelt. Die Vorstellung, dass die Geschichte der Menschheit mit einer sogenannten „Technologischen Singularität“ endet, hat sich in den letzten Jahren zu einer ernsthaften Kontroverse entwickelt. Unter technologischer Singularität versteht man den Zeitpunkt, an dem Maschinen die kognitiven Fähigkeiten der Menschheit überholen (siehe

auch Kapitel „Mensch schlägt Maschine“ im letzten Beitrag zu dieser Reihe). Inzwischen wird es als realistisch angesehen, dass Maschinen oder künstlich verbesserte biologische Intelligenzen das menschliche Denkvermögen erreichen oder sogar übertreffen. Diesbezügliche Betrachtungen haben also durchaus den Bereich der Science-Fiction verlassen und werden in wissenschaftlichen Kreisen intensiv diskutiert.

Einige Theoretiker gehen davon aus, dass die Singularität in der Mitte des gegenwärtigen Jahrhunderts erreicht werden könnte. Die technologische Singularität beruht auf der Hypothese, dass eine allgemeine künstliche Superintelligenz abrupt und unerwartet eine „Intelligenzexplosion“ auslöst. Diese würde zu grundlegenden Veränderungen in der menschlichen Gesellschaft führen. Ein einzelnes Computersystem, eine Serverfarm, ein Universitätsnetzwerk oder aber sogar ein Cluster aus mobilen Kommunikationsgeräten mit integrierten neuromorphen Chips könnte zu einer Keimzelle für die Intelligenzexplosion werden. Selbst ein einfaches KI-Programm könnte Selbstverbesserungszyklen starten, die ungeahnte Folgen haben könnten. Immer intelligenter Generationen würden dabei immer schneller entstehen und sich zu immer umfangreicheren Netzwerken verknüpfen.

Aktuell wird am Mobilfunknetz der 5. Generation gearbeitet. Der zugehörige 5G-Standard ist bereits abgeschlossen und freigegeben. Die Haupteigenschaften der neuen Netzwerktechnik sind:

- Datenraten bis zu 20 Gbit/s
- Echtzeitübertragung mit Latenzzeiten von unter 1 ms
- Weltweite Verknüpfung von über 100 Milliarden Geräten gleichzeitig
- Höchste Kompatibilität von Maschinen und Systemen

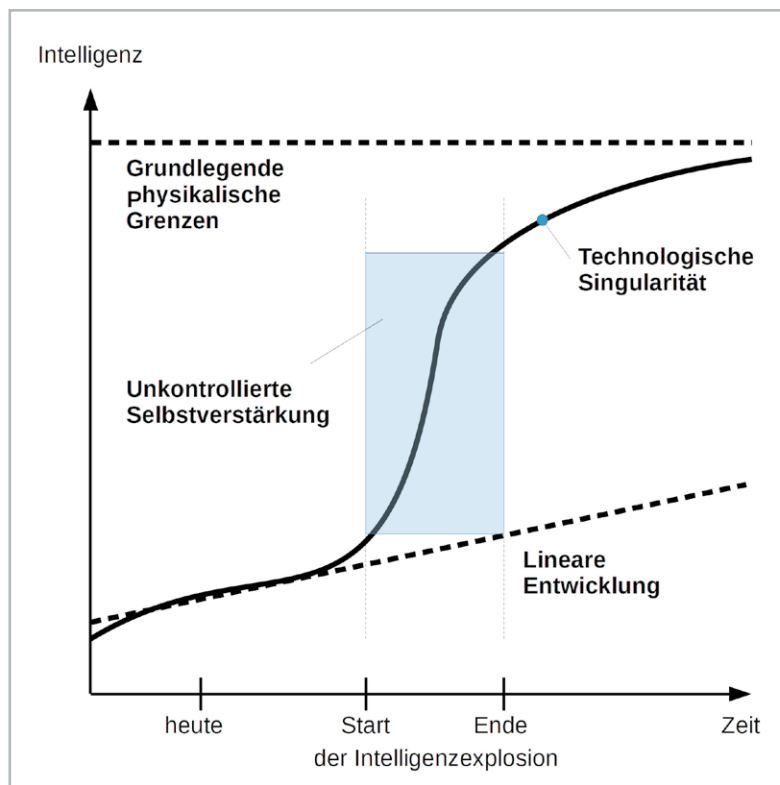


Bild 5: Explosionsartige Intelligenzverbesserung

In Zukunft werden also praktisch alle „intelligenten“ Geräte miteinander verknüpft sein. Die Kommunikation läuft mit unvorstellbaren Datenmengen und in Echtzeit ab. Die Verbreitung einer Superintelligenz könnte also in Sekundenbruchteilen erfolgen. Mit 5G werden die Hürden für eine „Intelligenzexplosion“ deutlich reduziert. Schließlich könnte daraus eine mächtige Superintelligenz entstehen, die qualitativ die menschliche Intelligenz weit übertreffen würde (siehe auch Bild 5).

International bekannte Persönlichkeiten wie der Zukunftsforscher Ray Kurzweil, der Technologiepionier Elon Musk oder der inzwischen verstorbene Astrophysiker Stephen Hawking sind bzw. waren der Meinung, dass künstliche Superintelligenzen gravierende Folgen für die menschliche Zivilisation haben könnten. Das Spektrum reicht dabei von der Unsterblichkeit des einzelnen Menschen bis zum Ende der gesamten Menschheit!

Als Voraussetzung für die technologische Singularität werden allgemein ultra-intelligente Systeme angesehen. Eine ultra-intelligente System ist eine Maschine, welche sämtliche intellektuelle Fähigkeiten des Menschen übertrifft. Dabei muss beachtet werden, dass auch das Design und die Konstruktion von Maschinen zu diesen intellektuellen Fähigkeiten



gehört. Daraus ergibt sich die logische Schlussfolgerung, dass ultra-intelligente Maschinen in der Lage sind, sich selbst zu optimieren und immer bessere Maschinen zu schaffen.

Um eine ultra-intelligente Maschine zu entwerfen, gilt es als unabdingbar, das menschliche Gehirn bzw. die Fähigkeit zu denken sehr detailliert zu verstehen. Gerade hier wurden auf den Gebieten der Hirnforschung und der Neurobiologie in den letzten Jahren überragende Erfolge erzielt. Im Gegensatz zum sich immer weiter beschleunigenden technologischen Fortschritt blieb die grundlegende Intelligenz des menschlichen Gehirns in den letzten Jahrtausenden dagegen nahezu unverändert. Mit der zunehmenden Leistungsfähigkeit von neuromorphen Computern und anderen Technologien wird es daher in absehbarer Zeit möglich sein, Maschinen zu bauen, die intelligenter sind als Menschen.

Wenn eine übermenschliche Intelligenz entstehen sollte, entweder durch die Verstärkung der menschlichen Intelligenz oder durch reine künstliche Intelligenz, würde dies größere Problemlösungs- und Erfindungsfähigkeiten mit sich bringen, als den gegenwärtigen Menschen möglich sind. Eine solche KI wird als Initial-KI oder „Saat“-KI bezeichnet. Ist erst einmal eine KI mit technischen Fähigkeiten entwickelt, die ihre menschlichen Konstrukteure übertrifft, hätte diese die Möglichkeit, ihre eigene Hard- und Software autonom zu verbessern. Das Resultat wäre eine noch leistungsfähigere Maschine. Diese könnte dann eine noch leistungsfähigere Maschine entwerfen usw., usw. Diese fortgesetzten Optimierungszyklen könnten sich beschleunigen und massive qualitative Verbesserungen hervorbringen.

Bereits heute basiert die Hard- und Softwareentwicklung auf dem intensiven Einsatz elektronischer und IT-technischer Hilfsmittel. Die intuitive und kreative Leistung des Ingenieurs tritt schon heute immer mehr in den Hintergrund. Erst grundlegende physikalische Gesetze würden diesen Prozess begrenzen.

Die Möglichkeiten und Resultate, welche diese neue „Evolution“ hervorbringt, sind nicht im Geringsten vorhersehbar. Dass eine solche KI, über viele Iterationen hinweg, die kognitiven Fähigkeiten des Menschen bei Weitem übertreffen wird, gilt als sicher.

Die bislang bekannten Methoden zur Erschaffung einer übermenschlichen oder sogenannten transhumanen Intelligenz lassen sich in zwei Kategorien einteilen:

- Intelligenzverstärkung des menschlichen Gehirns
- Eigenständige künstliche (Maschinen-)Intelligenzen

Es existieren zahlreiche Mittel für die Intelligenzverbesserung des menschlichen Gehirns. Diese umfassen beispielsweise modernes Bioengineering, Gentechnik, spezielle Medikamentengruppen oder sogar direkte Gehirn-Computer-Schnittstellen. Das Problematische ist, dass die Existenz mehrerer Wege zu einer Intelligenzexplosion die Singularität immer wahrscheinlicher machen. Um eine Singularität zu verhindern, müssten alle Methoden versagen.

Trotz dieser zahlreichen Verfahren zur Verstärkung der menschlichen Intelligenz ist die nicht-menschliche, also künstliche Intelligenz, die am meisten akzeptierte Technologie, die zu einer Singularität führen könnte. Das Abwenden der technologischen Singularität bzw. ihre Transformation in ein akzeptables Szenario könnte zu einer der größten Herausforderungen für die Menschheit werden. So sollte es die Aufgabe eines jeden Einzelnen sein, die aktuellen und zukünftigen Entwicklungen kritisch im Auge zu behalten!

Ausblick

In diesem Beitrag wurden die möglichen Szenarien für die Zukunft der künstlichen Intelligenz näher durchleuchtet. Insbesondere die Technologie der neuromorphen Chips wird bei der weiteren Entwicklung in diesem Bereich eine zentrale Rolle spielen.

Ohne diese Bauelemente scheinen fortgeschrittene Anwendungen wie autonomes Fahren oder humanoide Roboter nicht realisierbar zu sein. Insbesondere in der Robotik werden diese, den natürlichen Hirnstrukturen nachempfundenen Chips ganz neue Möglichkeiten eröffnen.

Der nächste Artikel wird sich daher mit dem Thema humanoide Robotersysteme befassen. Neben einem technischen Überblick wird dann auch die Praxis nicht zu kurz kommen. Anhand eines arduino-basierten Laufroboters sollen insbesondere die Probleme beim zweibeinigen, aufrechten Gang erläutert werden. **ELV**

Ihr Feedback zählt!

Das ELV Journal steht seit 40 Jahren für selbst entwickelte, qualitativ hochwertige Bausätze und Hintergrundartikel zu verschiedenen Technik-Themen. Aus den Elektronik-Entwicklungen des ELV Journals sind auch viele Geräte aus dem Smart Home Bereich hervorgegangen.

Wir möchten uns für Sie, liebe Leser, ständig weiterentwickeln und benötigen daher Ihre Rückmeldung: Was gefällt Ihnen besonders gut am ELV Journal, welche Themen lesen Sie gerne, welche Wünsche bezüglich Bausätzen und Technik-Wissen haben Sie, und was können wir in Zukunft für Sie besser machen?

Senden Sie Ihr Feedback per E-Mail an:

redaktion@elvjournal.de

oder per Post an:

ELV Elektronik AG, Redaktion ELV Journal
Maiburger Str. 29–36, 26789 Leer, Deutschland

Vorab schon einmal vielen Dank vom Team des ELV Journals

