

ÖFIT-Trendschau

 [Bibliographische Angaben](#)

Öffentliche Informationstechnologie in der digitalisierten Gesellschaft

Trendthema 59

Neuromorphe Hardware

Herausgeber:

 **Kompetenzzentrum
Öffentliche IT**
Kompetenzzentrum Öffentliche IT
Fraunhofer-Institut FOKUS
Kaiserin-Augusta-Allee 31, D-10589 Berlin
Telefon: +49 30 3463 - 7173
Telefax: + 49 30 3463 - 99 - 7173
info@oeffentliche-it.de
www.oeffentliche-it.de
www.fokus.fraunhofer.de

**Autorinnen und Autoren der
Gesamtausgabe:**

Mike Weber, Stephan Gauch, Faruch Amini, Tristan Kaiser, Jens Tiemann, Carsten Schmoll, Lutz Henckel, Gabriele Goldacker, Petra Hoepner, Nadja Menz, Maximilian Schmidt, Michael Stemmer, Florian Weigand, Christian Welzel, Jonas Pattberg, Nicole Opiela, Florian Friederici, Jan Gottschick, Jan Dennis Gumz, Fabian Manzke, Rudolf Roth, Dorian Grosch, Maximilian Gahntz, Hannes Wünsche, Simon Sebastian Hunt, Jens Fromm

**Autorinnen und Autoren
einzelner Trendthemen:**

Michael Rothe, Oliver Schmidt

ISBN:

978-3-9816025-2-4

Autorinnen/Autoren:

Dorian Grosch

Bibliographische Angabe:

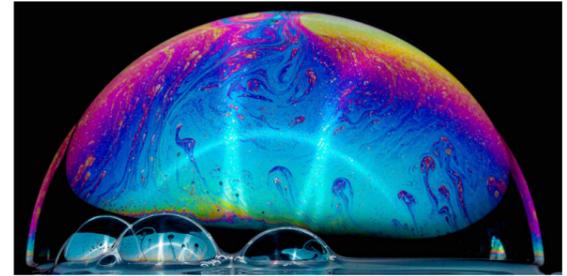
Dorian Grosch, Neuromorphe Hardware, In: Jens Fromm und Mike Weber, Hg., 2016: ÖFIT-Trendschau: Öffentliche Informationstechnologie in der digitalisierten Gesellschaft. Berlin: Kompetenzzentrum Öffentliche IT,
<https://www.oeffentliche-it.de/-/neuromorphe-hardware>

Lizenz:

Dieses Werk ist lizenziert unter einer Creative Commons Namensnennung 3.0 Deutschland Lizenz (CC BY 3.0 DE) <http://creativecommons.org/licenses/by/3.0/de/legalcode>. Bedingung für die Nutzung des Werkes ist die Angabe der Namen der Autoren und Herausgeber.

Neuromorphe Hardware

In den letzten Jahrzehnten ist die Leistungsfähigkeit von Computern exponentiell angestiegen, wodurch enorme technische Durchbrüche in der IT erzielt wurden. Dabei hat sich das fundamentale Operationsprinzip von Computern über diese Zeit kaum verändert. Für die Entwicklung und den Betrieb moderner KI-Anwendungen erweist sich das traditionelle Rechnerprinzip jedoch als so wenig effizient, dass klassische Computerhardware an ihre Grenzen stößt. An diese Aufgaben angepasste neuromorphe Hardware gewinnt daher in den letzten Jahren stetig an Bedeutung. Inspiriert von der Funktionsweise des menschlichen Gehirns entwickelt sich diese spezialisierte Hardwarearchitektur als ein Gegenstück zu klassischen Computerprozessoren. Mithilfe neuromorpher Chips werden moderne KI-Anwendungen um Größenordnungen effizienter und leistungsfähiger. Wird damit ein neues informationstechnologisches Paradigma eingeleitet, wird die Software der Zukunft auf neuromorphen Chips laufen?



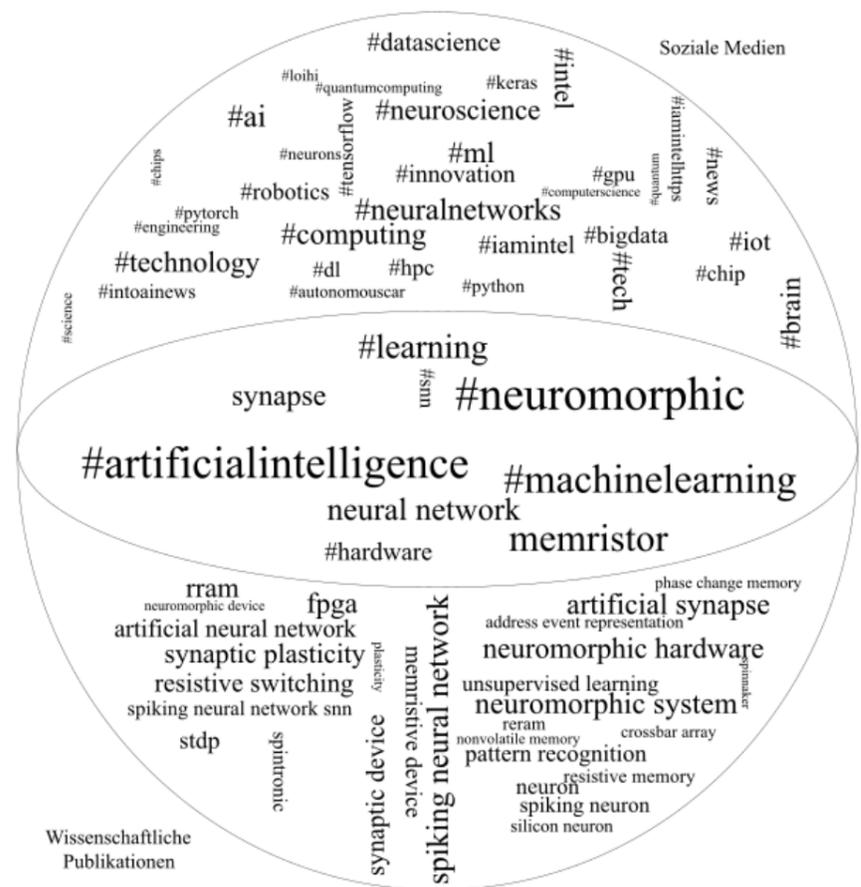
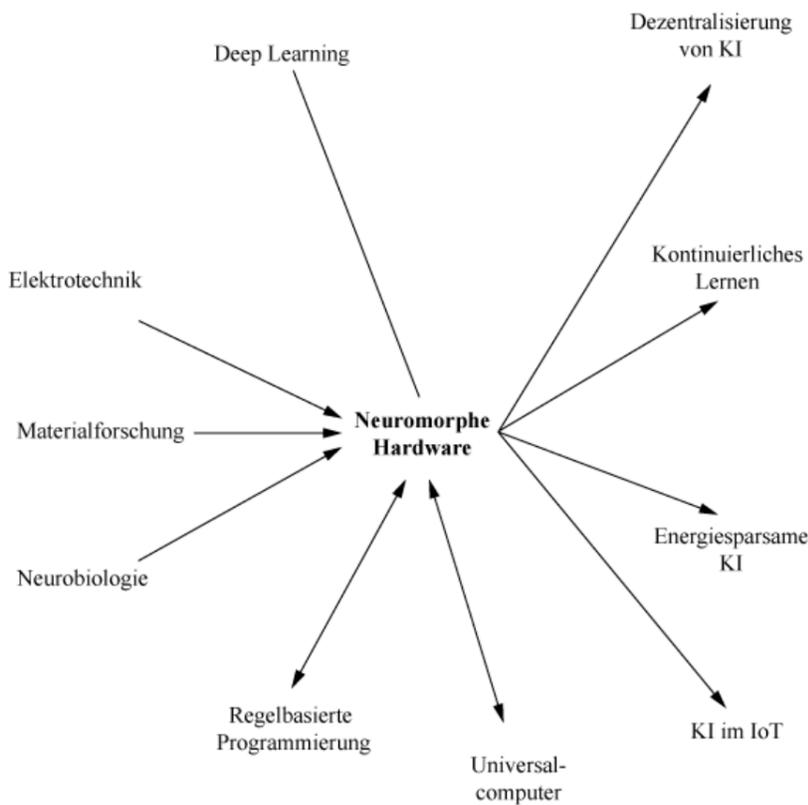
Technische Funktionsweise

Ob Zuses Z3 aus dem Jahr 1941 oder IBMs Summit-Supercomputer aus dem Jahr 2020 – beide Computer basieren grundsätzlich auf demselben programmorientierten Rechenparadigma: Es sind Maschinen, die durch Programmierung angewiesen werden können, vordefinierte Folgen von arithmetischen oder logischen Operationen auszuführen. Die starre Abfolge recht einfacher Anweisungen erlaubt nicht zuletzt aufgrund enormer Bearbeitungsgeschwindigkeit eine flexible Bearbeitung unterschiedlichster informatischer Probleme. Auch jüngste Fortentwicklungen im Bereich des Deep Learning lassen sich durch diese Architektur problemlos abbilden. Allerdings treten hier zunehmend grundlegende Differenzen in Konzeption und effizienter Umsetzung zutage.

Angelehnt an die neurobiologischen Lernmechanismen des menschlichen Gehirns stellen künstliche neuronale Netze (siehe: [Neuronale Netze](#)) ein neues Rechenparadigma dar, welches sich vom klassischen programmierbaren Computer abhebt: neuronale Netze führen keine Programme aus, sondern folgern aus gelernten komplexen Zusammenhängen. Bei neuromorpher Hardware wird das Konzept von neuronalen Netzen auf Computerchips übertragen. Die Lern- und Rechenoperationen der neuronalen Netze müssen dann nicht mehr wie üblich durch klassische Programmierung simuliert werden, sondern können direkt von den elektrischen Schaltkreisen der neuromorphen Chips ausgeführt werden.

Die Schaltkreiskomponenten in neuromorpher Hardware agieren als elektrische Neuronen, die durch ein Verbindungsnetz von künstlichen Nervenbahnen miteinander verdrahtet sind. Moderne neuromorphe Chips weisen bis zu einer Million elektrische Neuronen und mehrere hundert Millionen künstliche Nervenbahnen auf. Durch diese Komponenten können Trainingsparameter von neuronalen Netzen in der Hardware abgebildet werden, was die Auswertung bspw. von Kantengewichten im Einsatz um Größenordnungen beschleunigt. Die Leistung neuromorpher Hardware wird also durch ihr Design bestimmt: Wofür ein herkömmlicher Prozessor mehrere Operationen benötigt, braucht ein neuromorpher Chip nur eine einzige. Durch die enormen Leistungs- und Effizienzsteigerungen erschließen sich neue Einsatz- und Anwendungsmöglichkeiten.

Begriffliche Verortung

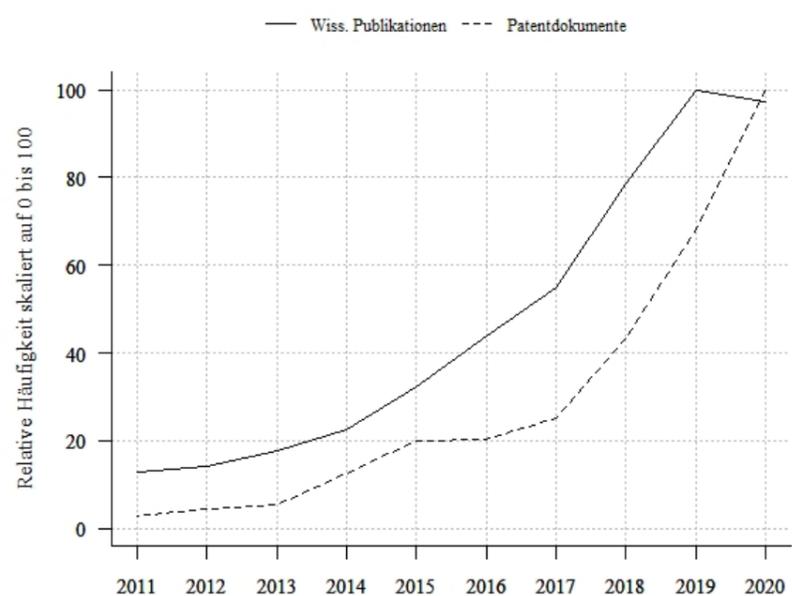
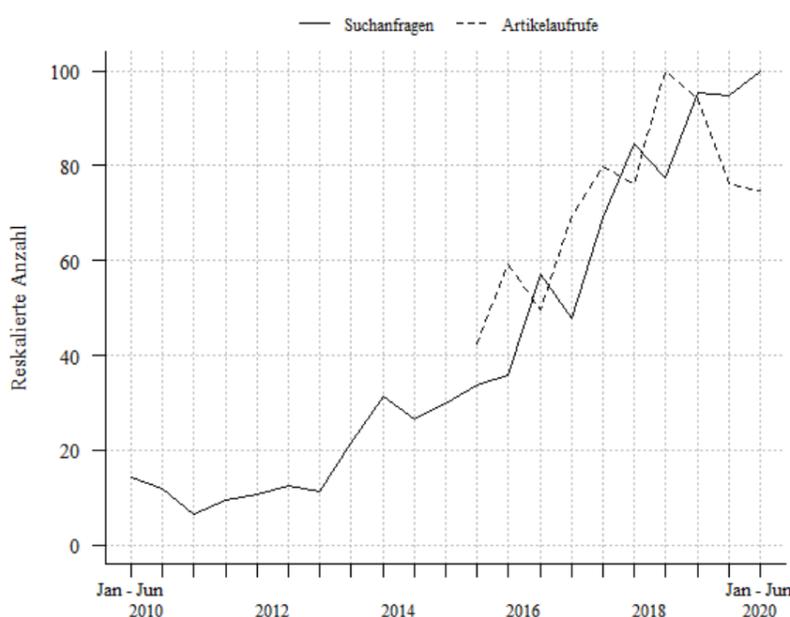


Varianten und Einsatzgebiete

Neuromorphe Hardware lässt sich in vielen verschiedenen Formen realisieren. Ähnlich wie bei neuronalen Netzen, bei denen unterschiedliche Netztypen zum Einsatz kommen, ist die Entwicklung von neuromorpher Hardware an den Anwendungsanforderungen orientiert. Analoge neuromorphe Hardware bezeichnet hochoptimierte elektrische Schaltkreise, die für einen speziellen Einsatzzweck entworfen sind. Sie sind starr, dafür aber hocheffizient und finden bspw. in der Verarbeitung von Audio- und Biosignalen (bspw. Herzschlagfrequenz) Einsatz. Die Schaltkreise digitaler neuromorpher Chips sind dahingegen programmierbar und damit beliebig rekonfigurierbar. Das macht sie sehr flexibel, hochgradig erweiterbar und skalierbar. Sie können bspw. große Datenmengen wie Bild- und Videosignale in Echtzeit verarbeiten.

Pulsbasierte neuromorphe Hardware ist eine Variante digitaler neuromorpher Chips. Sie orientiert sich in ihrer Funktionsweise eng am biologischen Gehirn und berücksichtigt die zeitliche Komponente von eingehenden elektrischen Impulsen, sodass Zeitreihendaten wie menschliche Sprache und Smart-City-Sensordaten ausgewertet werden können. Dadurch, dass digitale neuromorphe Chips beliebig neu programmierbar sind, lassen sich fortwährend die neuesten KI-Frameworks auf einer gleichbleibenden physikalischen Chiparchitektur einsetzen. Diese Flexibilität, verbunden mit der hohen Leistung, eröffnet viele potenzielle Einsatzgebiete: Selbstlernende digitale Assistenten in Smartphones, die ohne Internetverbindung auskommen, intelligente Sensoren für Roboter und andere autonome Systeme (siehe: **Autonomes Fahren**), medizinische Implantate (bspw. als Siliziumretina für die Netzhaut des Auges), Detektion von Anomalien in Echtzeitdaten, und vieles mehr.

Themenkonjunktoren



Möglichkeiten und Grenzen

Neuromorphe Hardware bietet somit die Möglichkeit, Deep Learning bei geringem Energieverbrauch dezentral auf ressourcenarmen Plattformen einzusetzen. Der Lernprozess von KI-Anwendungen kann direkt bspw. im Roboterauge vollzogen werden statt in einem fernen Cloud-Rechenzentrum.

Bei einfachen Operationen mit eindeutigem Ergebnis bleiben herkömmliche Computerprozessoren überlegen. Das klassische, programmatische Rechenparadigma lässt sich also nicht vollständig von einem neuromorphen ablösen. Die beiden Paradigmen können sich gegenseitig ergänzen: Während das

Dies ermöglicht datenschutzfreundlichere Anwendungen und verändert potenziell, wie KI-Anwendungen betrieben und entwickelt werden. Durch neuromorphe Hardware ist zu erwarten, dass KI-Anwendungen zunehmend eigenständig auf Smartphones und IoT-Devices eingesetzt werden. Allerdings stößt neuromorphe Hardware an ihre Grenzen, wenn es um zuverlässige und präzise arithmetische Berechnungen geht. Neuromorphe Systeme liefern grundsätzlich Wahrscheinlichkeitsverteilungen als Ergebnis.

Folgenabschätzung

Möglichkeiten

- Hohe Energieeinsparung bei Entwicklung und Betrieb von KI-Anwendungen (siehe: [Grüne Software](#))
- Erschließung neuer Anwendungsbereiche für KI-Software, bspw. Mobilität, Echtzeit-Lernen, Implantate
- Gleichzeitiger Einsatz von klassischen Computern und neuromorpher Hardware ermöglicht flexible hybride Rechenarchitekturen
- Dezentralisierung von KI-Anwendungen und Datenhaltung

Handlungsräume

Forschung fördern

In der Forschung zu neuromorpher Hardware beeinflussen sich Neurobiologie und Material- und Elektrotechnik gegenseitig. In allen Forschungsfeldern besteht intensiver Forschungsbedarf. Insbesondere internationale Kooperationen wie das Forschungsprojekt „Human Brain Project“ haben dabei eine zentrale Bedeutung für die Entwicklung von neuromorpher Hardware.

Standards fordern

An neuromorpher Hardware wird zwar noch aktiv geforscht, dennoch sind schon mehrere kommerzielle Lösungen auf dem Markt. Deswegen ist es sinnvoll, schon früh eine nahtlose Interoperabilität verschiedener technischer Lösungen bzw. Schnittstellen zu fordern.

programmatische Rechenparadigma für sequentielle Datenverarbeitung und deterministische Steuerung ideal geeignet ist, glänzt das neuromorphe Rechenparadigma bei der Parallelisierung von Mustererkennung und -vorhersage bei komplexen Daten. Deswegen wird ein neuromorpher Chip in klassischen Computersystemen oft als Koprozessor eingesetzt. Aus neurobiologischer Perspektive ließe sich also sagen, dass neuromorphe Chips als intuitive rechte Gehirnhälfte das ergänzende Gegenstück zur rationalen linken Gehirnhälfte der CPU bilden.

Wagnisse

- Wahrscheinlichkeitsverteilungen als Ergebnis erschweren den Einsatz für kritische Anwendungsszenarien
- Die Softwareentwicklung bei neuromorpher Hardware ist wesentlich komplexer als bei klassischen Prozessoren
- Die Spezifität neuromorpher Hardware macht Investitionen angesichts möglicher KI-Paradigmenwechsel riskanter

Datenschützendes Lernen bevorzugen

Durch neuromorphe Hardware lässt sich KI dezentralisieren und ohne große Rechenzentren entwickeln. Insbesondere lässt sich die Entwicklung von KI-Software durch Lernmechanismen wie z.B. föderiertes Lernen DSGVO-kompatibel gestalten. Werden solche Entwicklungsmethoden bevorzugt, kann KI langfristig datenschutzfreundlicher werden.

Umsichtige Anwendung gewährleisten

KI-Anwendungen, die auf neuronalen Netzen basieren, können immer nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit korrekte Ergebnisse erzielen. Ihre Einsatzmöglichkeiten sind daher beschränkt. Im Zweifel muss auf den Einsatz der Technologie verzichtet werden.