

## ■ Vom Gehirn inspiriert

In Heidelberg und Manchester haben neuromorphe Computer die Arbeit aufgenommen.

Um die Funktionsweise unseres Gehirns zu simulieren, benutzen Forscher die leistungsstärksten Superrechner und haben doch kaum eine Chance, Lernprozesse oder Gedächtnisleistung nachzustellen. Denn unser Gehirn besteht aus einem Netzwerk von etwa  $10^{12}$  Nervenzellen (Neuronen), die über rund  $10^{15}$  Leitungen (Synapsen) miteinander verbunden sind. Hoch parallelisiert verarbeitet das Gehirn riesige Informationsmengen in kurzer Zeit. Von der Arbeitsweise des Gehirns inspiriert, entwickelten Forscher in Heidelberg eine spezielle Computerarchitektur, welche die Funktionsweise der Neuronen direkt in elektrische Schaltungen überträgt: den neuromorphen Computer BrainScaleS.<sup>#)</sup> Zusammen mit dem System SpiNNaker,<sup>&)</sup> das einen alternativen Ansatz verfolgt und in Manchester aufgebaut wurde, bildet BrainScaleS die „Neuromorphic Computing Platform“ für das Human Brain Project (HBP) – einem Flaggschiff-Projekt der Europäischen Kommission. Neben dem „Neuromorphic Computing“ entwickelten Wissenschaftler des HBP fünf weitere Plattformen, die sie Ende März in Genf der Öffentlichkeit vorstellten.

Ein Ziel des HBP ist es, Infrastrukturen zu entwickeln und



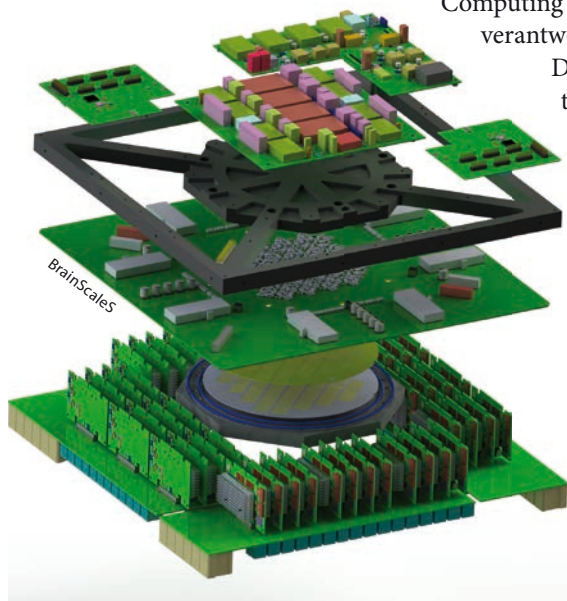
BrainScaleS

Auf den ersten Blick erscheint BrainScaleS in Heidelberg wie ein typischer Großrechner – die Architektur des neu-

romorphen Computers unterscheidet sich aber grundlegend vom Konzept John von Neumanns.

aufzubauen, um die Vorgänge im menschlichen Gehirn zu verstehen.<sup>+)</sup> Dazu gehören die neuromorphen Computer BrainScaleS und SpiNNaker, die aber nicht nur Wissenschaftlern des HBP zur Verfügung stehen. „Wir wollen gemeinsam mit den Nutzern lernen, wo die Stärken und Schwächen unseres neuromorphen Systems liegen und welche Fragen damit effizient zu untersuchen sind“, erklärt Karlheinz Meier. Der Heidelberger Physiker koordiniert das Projekt BrainScaleS und ist gemeinsam mit dem Informatiker Steve Furber aus Manchester für die „Neuromorphic Computing Platform“ im HBP verantwortlich.

Die elektrischen Schaltungen auf den Chips von BrainScaleS imitieren die



Auf den zwanzig Siliziumwafern von BrainScaleS sind vier Millionen Neuronen und eine Milliarde Synapsen als analoge Schaltkreise realisiert.

Funktionsweise unseres Gehirns: Sobald sich in einem Neuron des Gehirns ausreichend Ladung angesammelt hat, sendet es einen elektrischen Puls über die Synapsen. Die Spannung des Pulses beträgt bei allen Neuronen etwa 0,1 Volt (Aktionspotential). Im Vergleich zu heutigen Computern ist die Schaltfrequenz von etwa 10 Hz sehr langsam.

Allerdings arbeitet das Gehirn nicht mit einer festen Taktfrequenz, sodass es asynchron und hoch parallelisiert vorgeht. Auch bei BrainScaleS ist die Zeit nicht getaktet, und die analogen Schaltungen aus Kondensatoren und Widerständen (Neuronen und Synapsen) arbeiten mit binären Informationen.

Bei BrainScaleS stehen vier Millionen Neuronen und eine Milliarde Synapsen auf zwanzig Siliziumwafern zur Verfügung. Sobald ihre Eigenschaften festgelegt sind, entwickelt sich das System ohne weitere Software nur nach physikalischen Gesetzen. So simuliert BrainScaleS die Lernprozesse eines Tages in nur hundert Sekunden. Dadurch kann die gleiche Simulation mit unterschiedlichen Parametern ablaufen, um beispielsweise den Einfluss verschiedener genetischer Algorithmen zu untersuchen. „Wir können Vieles variieren,

#) brainscales.kip.uni-heidelberg.de

&) apt.cs.manchester.ac.uk/projects/SpiNNaker/project

+) Physik Journal, Dezember 2015, S. 14, November 2014, S. 13 und November 2013, S. 11.

aber das Modell des Neurons selbst bleibt gleich, weil es BrainScaleS mit seiner Hardware festlegt“, gibt Karlheinz Meier zu bedenken. Hier sieht er einen Vorteil des komplementären Systems SpiNNaker, das in Manchester entstand. SpiNNaker besteht aus 500 000 Mikroprozessoren, deren Architektur sich auch in den Prozessoren von Smartphones wiederfindet. Wie ein Neuron modelliert ist, legt die Software fest, die in konventionellen Programmiersprachen erstellt wird.

Durch eine spezielle Vernetzung der Prozessoren arbeitet das System hochgradig parallel: Lernprozesse des Gehirns lassen sich so in Echtzeit simulieren. Mit beiden Maschinen positioniert sich Europa auf dem wachsenden Gebiet des alternativen Computing. Vergleichbare Entwicklungen finden derzeit im IBM-Forschungslabor Almaden (Kalifornien, USA) statt.

Für Karlheinz Meier ist die Anwendung neuromorpher Computer nicht darauf begrenzt, das Gehirn

zu erforschen oder zu untersuchen, wie Selbstorganisation in Netzwerken abläuft: „Unser Gehirn kann besser als jeder Supercomputer Strukturen in unvollständigen Daten erkennen.“ Diese Fähigkeit teilen die neuromorphen Systeme und erlauben damit kognitives Computing – ein Markt der Zukunft, wenn es um die Analyse großer Datenmengen geht, wie sie in der Hochenergiephysik oder bei Google anfallen.

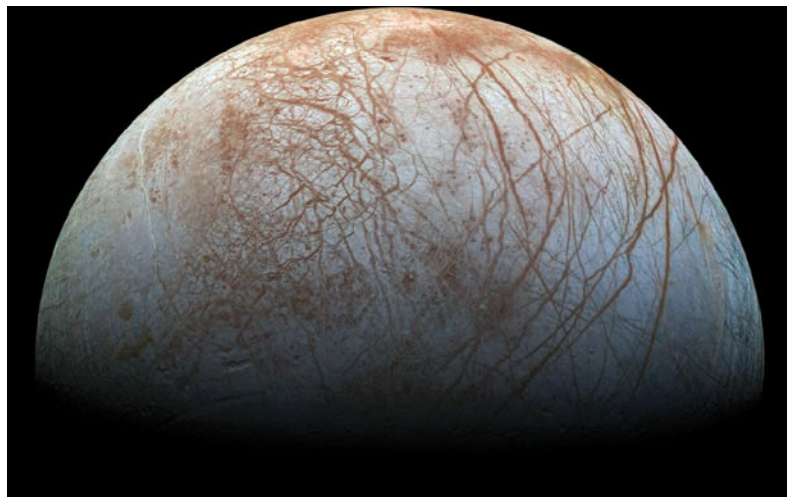
Kerstin Sonnabend

## ■ Leben, wie wir es (noch) nicht kennen

Eine Roadmap stellt erstmals Leitlinien für astrobiologische Forschung in Europa vor.

Wie ist das Leben entstanden? Gibt es außerhalb der Erde Leben? Das sind uralte Fragen, die neuerdings eine Renaissance erleben. So gelingt es, immer mehr erdähnliche Planeten um andere Sterne zu entdecken, die Rosetta-Mission der ESA spürte organische Moleküle in den Eisschichten des Kometen Churyumov-Gerasimenko auf, und die europäische Exomars-Sonde ist auf dem Weg zum Roten Planeten, um nach Anzeichen für primitives Leben zu suchen. Da kommt die Roadmap, die das European AstRoMap Project Ende März veröffentlicht hat, zur rechten Zeit.<sup>1)</sup> Sie erfasst den Stand der astrobiologischen Forschung in Europa. Astrobiologie wird dabei verstanden als die Erforschung von Ursprung, Evolution und Ausbreitung des Lebens im Kontext kosmischer Entwicklungen. Die Roadmap identifiziert fünf zentrale Forschungsfelder:

- Ursprung und Entwicklung von Planetensystemen,
- Entstehung organischer Verbindungen im Weltraum,
- Gesteins-Wasser-Kohlenstoff-Wechselwirkungen, organische Synthese auf der Erde und die Schritte zum Leben,
- Leben und „habitable Zonen“ im Sonnensystem und darüber hinaus sowie
- Biomarker, welche den Nachweis von Leben ermöglichen.



NASA/JPL-Caltech/SETI Institute

Unter dem dicken Eispanzer von Jupitermond Europa vermutet man Ozeane aus

Wasser, die eventuell lebensfreundliche Bedingungen bieten könnten.

Innerhalb dieser Forschungsfelder werden Schlüsselfragen und Leitlinien für die künftige Forschung skizziert – für die nächsten zehn bis zwanzig Jahre und teilweise darüber hinaus. Bei der Erforschung von Planetensystemen geht es etwa darum, die chemische Zusammensetzung protoplanetarer Scheiben genauer zu erfassen und mehr Erkenntnisse über die Vielfalt exoplanetarer Systeme und die Entwicklung habitabler Zonen zu gewinnen. Im Hinblick auf unser Sonnensystem gilt es z. B., besser zu verstehen, wie Wasser und organisches Material auf der Erde entstand bzw. auf diese gelangte.

Für die kommenden zehn Jahre besteht daher laut Roadmap zu-

nächst ein Bedarf an mehr und besseren Beobachtungen von der Erde und vom Weltraum aus. Bestehende Observatorien wie ALMA und NOEMA versprechen dabei unter anderem den Nachweis komplexer Moleküle. Erkenntnisse über die Häufigkeit chemischer Elemente und molekularer Verbindungen können in ausgefeiltere räumliche Modelle für protoplanetare Scheiben einfließen, die auch chemische Prozesse berücksichtigen. Große Hoffnungen ruhen auf dem James-Webb-Weltraumteleskop und dem European Extremely-Large-Telescope (E-ELT) in Chile, deren Beobachtungsbetrieb ab 2018 bzw. 2024 beginnen könnte. In unserem Sonnensystem liegt ein Augenmerk

1) G. Horneck et al., *Astrobiology* **16**, 201 (2016), <http://bit.ly/1YGNWA7>