



Vorab-Version eines Rechengenies: Mit Natriumformiat-Molekülen verwirklichten die Forscher Ration Neigovzen (im Bild links) und Steffen Glaser (rechts) einen neuronalen Quantencomputer.

gen Verbindung“, erklärt Dr. Rudolf Sollacher vom Fachzentrum Learning Systems der CT. „Solche neuronalen Netze kann man beispielsweise dazu verwenden, Muster zu erkennen.“ Sie können selbstständig lernen und auf diese Weise auch neue Muster erfassen, ohne dass man ihnen dafür vorher konkrete Regeln vorgegeben hat. Etwa beim Lesen von Handschriften: „Ein neuronales Netz, das man mit vielen verschiedenen Schreibweisen des Buchstaben ‚A‘ trainiert hat, lernt mit der Zeit, wie ein ‚A‘ auszusehen hat und erkennt dann auch andere ‚A's als die gelernten“, erklärt Sollachers Kollege Christof Störmann. Diese fast magische Fähig-

Ungeheure Schnelligkeit ist bei beiden Varianten unabdingbar – konventionelle Computer würden hier bald an ihre physikalischen Grenzen stoßen. Deshalb plant das Siemens-Forscherteam, neuronale Netze mit einer Technologie zu kombinieren, die noch in den Kinderschuhen steckt: „Für komplexe Aufgaben wie die Mustererkennung könnte sich ein Quantencomputer besonders gut eignen“, glaubt der 48-jährige Physiker Rudolf Sollacher. Mit ihm macht man sich eine besondere Eigenschaft von Quantensystemen zunutze: Sie befinden sich in der Regel nicht in einem eindeutigen Zustand, sondern in einer Überlagerung aller



# Quanten gegen Internet-Würmer

**Lernfähig wie neuronale Netze und blitzschnell wie Quantencomputer, so sollen die digitalen Wächter sein, die in Zukunft Computerangriffe abwehren. Siemens entwickelt bereits einen Prototypen.**

Es ist ein ewiger Kampf: Kriminelle denken sich Angriffe auf Computer aus und schicken sie durchs Internet, während Software-Entwickler in Firmen und Behörden versuchen, diese abzufangen und die Nutzer vor Schaden zu bewahren. Aber kaum ist ein gefährlicher Code geknackt, erscheint wieder ein neuer im Netz. Solche Schadprogramme können in den infizierten Computern unerwünschte Funktionen ausführen, die meist unbemerkt im Hintergrund laufen, aber beträchtlichen Schaden anrichten. Dazu gehört die Manipulation oder das

Löschen ganzer Dateien oder die unerwünschte Veränderung von Sicherheitssoftware, aber auch das ungefragte Sammeln von Daten zu Marketing-Zwecken oder zum Ausspionieren des Benutzers. Eine FBI-Studie, die im Jahr 2005 Sicherheitsfachleute in US-Unternehmen, Behörden und Universitäten befragte, ergab, dass pro befragter Firma ein durchschnittlicher Verlust von etwa 200.000 US-Dollar durch Internet-Kriminalität zu verzeichnen war. Die wichtigste Ursache für die finanziellen Schäden waren Viren und Würmer.

Besonders unangenehm sind in diesem Zusammenhang Computerviren. Sie hängen nicht wie Computerviren an einer Datei, die der Benutzer aktiv öffnet, sondern verbreiten sich selbstständig über Netze und versuchen, in andere Computer einzudringen. Rund 2.000 dieser Computerviren wurden bisher enttarnt. Ihre Codes sind bekannt, deshalb können ihre Bitfolgen von passender Sicherheitssoftware,

so genannten Sniffen, „erschnüffelt“ und gebannt werden. Täglich können aber neue Würmer hinzukommen, die sich von den bisher bekannten unterscheiden. Gefragt ist also ein digitaler Wächter, der auch diese neuen Bedrohungen identifizieren kann.

Die Spezialisten der Abteilung „Lernende Systeme“ von Siemens Corporate Technology (CT) haben diese Herausforderung angenommen. Die Forscher arbeiten schon heute an Technologien, die vielleicht erst in zehn Jahren für diesen Zweck zum Einsatz kommen: zum Beispiel an der Kombination von neuronalen Netzen mit einem Quantencomputer.

**Jäger von Computerwürmern.** Bei neuronalen Netzen setzen die Siemens-Experten auf Verfahren, die ähnlich wie ein Gehirn arbeiten. „Es handelt sich um Netzwerke, bei denen alle Knotenpunkte miteinander verbunden sind. Die Information steckt in der Stärke der jeweili-

keit von neuronalen Netzen wollen die Siemens-Forscher nun bei der Jagd nach neuen Computer-Würmern nutzen. Sie können damit potentiell bedrohliche Signaturen erkennen, ähnlich wie man Verbrecher anhand ihrer Fingerabdrücke überführen kann. Wenn aber der elektronische Fingerabdruck völlig neu ist und der Computerwurm nach einem bisher ungenannten Verfahren funktioniert, hat selbst ein neuronales Netz keine Chance mehr.

Deshalb empfiehlt Störmann, den umgekehrten Weg einzuschlagen: „Ein Sniffer zur schnellen Mustererkennung liest den gesamten Datenverkehr mit und lässt alles durch, was den Mustern des üblichen Geschäftsverkehrs entspricht. Erst in dem Augenblick, wo etwas Neues, Unerwartetes auftritt, schlägt er Alarm. Dann muss geprüft werden, ob es sich um eine Bedrohung handelt.“ Dieses Vorgehen ist vor allem für Industriebetriebe geeignet, in denen der interne Datenverkehr recht gut bekannt ist.

möglichen Zustände gleichzeitig. Während ein herkömmlicher Computer mit Bits rechnet, die den Wert 0 oder 1 haben, kann im Quantencomputer wegen der Überlagerung der Zustände ein Bit gleichzeitig 0 und 1 sein. Für diese Bits der Quantenwelt hat sich auch schon ein Name eingebürgert: „Qubit“.

**Vier Milliarden Werte gleichzeitig.** Betrachtet man ein System aus zwei Qubits, so kann es die vier Zustände 00, 01, 10 und 11 annehmen, und zwar alle gleichzeitig. Die Zahl der möglichen Kombinationen steigt schnell an. 32 Qubits ergeben schon vier Milliarden Möglichkeiten. Im Quantencomputer will man diese Vielfalt ausnutzen: Jede Rechenoperation würde dann in allen Zuständen gleichzeitig ablaufen. Mit zwei Qubits berechnet man automatisch vier Werte gleichzeitig, mit 32 Qubits vier Milliarden Werte. So hätte man einen höchst potenten Parallelrechner, der bei einer Mustererkennung



um ein Vielfaches schneller arbeiten könnte als herkömmliche Rechner: Ein Muss, wenn ein Sniffer am Computereingang den gigantischen Datenfluss von Gigabits pro Sekunde in Echtzeit auf unerwünschte Codes kontrollieren soll.

Die Sache hat nur einen Haken: Funktionierende Quantencomputer, die solche Rechenoperationen durchführen könnten, gibt es heute noch nicht. Bisher wurden solche Rechner nur für wenige Qubits entwickelt, und diese Proto-

se Simulation funktioniert mit beliebig vielen Netzpunkten“, so Neigovzen, „jedoch nur, solange die Leistungsfähigkeit des Rechners mitmacht“.

Seine Simulation eines neuronalen Quantennetzes funktioniert in der virtuellen Welt hervorragend: Die CT-Forscher können mit dem Algorithmus vorhersagen, wie sich ein realer Quantencomputer mit neuronalem Netz bei einer Mustererkennung verhalten würde.

weltweit erste experimentelle Umsetzung eines neuronalen Netzes, bestehend aus zwei Bits, auf einem einfachen Quantencomputer.

**Praxistests mit Atomen.** Die beiden Forscher Neigovzen und Dr. Jorge Neves benutzten dazu in Wasser gelöstes Natriumformiat, dessen Moleküle je ein Kohlenstoff- und ein Wasserstoffatom enthalten. Sie füllten es in ein Probenröhrchen und brachten es in ein NMR-Spektrometer. NMR steht für Kernspinresonanz (nach der englischen Bezeichnung „nuclear magnetic resonance“) und ist ein Verfahren, das Chemiker heute hauptsächlich zur Strukturanalyse von Biomolekülen einsetzen, das man aber auch zur Manipulation von Qubits benutzen kann.

Sein Prinzip beruht auf der Tatsache, dass sich die meisten Atomkerne – insbesondere der Wasserstoffkerne – wie kleinste Stabmagneten verhalten und im Magnetfeld kreiseln oder kippen. Man bringt die Probe in ein starkes Magnetfeld, in dem sich ihre Atomkerne aufgrund ihrer Eigendrehung – ihres „Spins“ – und ihres magnetischen Moments entlang der Feldlinien ausrichten. Durch eine Abfolge geeigneter Hochfrequenzimpulse stößt man dann die Atomkerne an – dies entspricht der „Eingabe“ der Informationen in den Quantencomputer. Die Kerne beginnen wie Kreisel um die Magnetfeldlinien zu rotieren und senden dabei ihrerseits eine charakteristische Strahlung aus, die man auswerten kann – dies entspricht dem „Auslesen“ der gewünschten Information. Im Fall des neuronalen Quantencomputers stimmten die gemessenen Signale genau mit den von der Simulation vorhergesagten Werten überein. Damit konnten die Forscher zeigen, dass Neigovzens Simulation für einen Quantencomputer auch in der Praxis korrekte Ergebnisse liefert.



Qubits-Manipulation: Rodion Neigovzen bringt in Wasser gelöstes Natriumformiat in das Spektrometer ein.

typen sind so kompliziert und sperrig, dass sie sich für den Alltagseinsatz nicht eignen. Daher entschieden sich Rudolf Sollacher und seine Mitarbeiter, die Vorteile eines neuronalen Netzes auf einem Quantencomputer zunächst mit Hilfe einer numerischen Simulation auszuloten.

**Quantennetz erfolgreich simuliert.** Rodion Neigovzen übernahm diese komplizierte Aufgabe: „Ich habe zunächst die räumliche und zeitliche Entwicklung eines neuronalen Netzes in die Quantenwelt übertragen und die dazu nötigen mathematischen Formeln entwickelt“, berichtet der 29-jährige Quanteninformatiker. Dieses Verfahren, das er für seine Doktorarbeit am Lehrstuhl für Theoretische Physik von Professor Dr. Wilhelm Zwerger an der TU München neu entwickelte, hat er anschließend auf einem konventionellen Computer simuliert. „Die-

## Den Forschern gelang die weltweit erste Umsetzung eines neuronalen Netzes auf Quantencomputer-Basis.

Um festzustellen, ob das Simulationsergebnis auch mit der Wirklichkeit übereinstimmt, suchte Sollachers Team nach einer Möglichkeit, es im Experiment zu überprüfen. Diese fand es schließlich bei Prof. Dr. Steffen Glaser und seinen Mitarbeitern am Chemie-Department der Technischen Universität (TU) München. Dort beschäftigt man sich seit Jahren mit der Realisierung von Quantencomputern und der theoretischen wie praktischen Steuerung von Qubits. So entstand eine Zusammenarbeit zwischen Industrielabor und Hochschule, die schon nach kurzer Zeit einen Aufsehen erregenden Erfolg brachte: Im Dezember 2007 gelang im Keller des Chemie-Departments die

Für Professor Glaser war es die Berührung mit „einer anderen Welt“, nämlich der Welt der neuronalen Netze. „Wir fanden es spannend, die Expertise von Siemens auf diesem Gebiet mit unserem Know-how über Quantencomputer zu kombinieren“, erzählt der Physiker. Und für Siemens könnte diese Zusammenarbeit die Keimzelle sein für einen neuronalen Quantencomputer, der besser und schneller als alle bisher bekannten Systeme Computerwürmer entdecken kann. „In ein bis zwei Jahren soll unser Prototyp fertig sein“, sagt Sollacher, „die eigentliche Produktentwicklung wird dann aber natürlich noch einige Jahre dauern.“

■ Brigitte Röthlein