

Einige Begriffe zu Quantenphysik und Quantencomputing

Quanten sind weder Teilchen noch Wellen. Teilchen sind Objekte, die klar definierte Grenzen haben. Zwei wesentliche Eigenschaften sind, dass sich Teilchen lokalisieren und zählen lassen. Klassische Wellen bestehen aus vielen Einzelteilchen, die sich an verschiedenen Orten befinden und mit verschiedenen Impulsen vorkommen, Wellen bilden außerdem Interferenzen. Quanten können die Eigenschaften klassischer Wellen und die klassischer Teilchen annehmen, man spricht von Welle-Teilchen-Dualismus.

In der Quantenwelt treten Gesetzmäßigkeiten auf, die den Gesetzen der klassischen Physik widersprechen und schwer zu greifen sind. Zum Beispiel ist es aus der Alltagswelt nicht zu verstehen, wie sich ein und dasselbe Teilchen an zwei verschiedenen Stellen gleichzeitig befinden kann. Oder wie zwei Teilchen über eine beliebig große Entfernung in eine Wechselwirkung miteinander treten, ohne dass man eine Kraftbeziehung dafür messen kann. Eine der Besonderheiten der Quantenphysik ist, dass sich von den unbeobachteten Quanten weder eine genaue Position noch eine genaue Bewegungsrichtung bestimmen lässt.

Quanten sind in der mikroskopischen Physik Größen, die nicht beliebige Werte, sondern nur bestimmte diskrete Werte annehmen können? Dazu zählen beispielsweise Energie und Drehimpuls. Oft bezeichnet man mit Quanten auch einfach Objekte wie Atome oder Elektronen, für die die Quantenphysik gilt, die also zum Beispiel die Phänomene Superposition und Verschränkung aufweisen.

Das Superposition (deutsch: „Überlagerung“) bei Quanten heißt, dass sie sich in einem Zustand befinden, in dem sich mehrere einander klassisch ausschließende Eigenschaften in gewissem Sinne „überlagern“. So kann sich beispielsweise ein Elementarteilchen in Superposition von mehreren unterschiedlichen Orten befinden. Das heißt, dass sich das Teilchen zwar an keinem Ort definitiv befindet, aber dass es bei einer Ortsmessung mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit an dem einen oder anderen Ort festgestellt wird.

Verschränkung bedeutet, dass zwei Quantenobjekte ihre Individualität verlieren und dass die Eigenschaften des einen von denen des anderen abhängen. Eine Operation an dem einen Objekt wirkt sich unmittelbar auf das andere Objekt aus. Diese Abhängigkeit wirkt über beliebige Entfernungen und benötigt kein bekanntes physikalisches Trägermedium.

Qubits sind mikroskopische Quantensysteme, die zwei unterschiedliche Basiszustände enthalten. Diese entsprechen der 0 und der 1 beim klassischen Bit. Diese Quantensysteme weisen die typischen Quanteneigenschaften wie Superposition oder Verschränkung auf. Wie bei klassischen Bits gibt es verschiedene Möglichkeiten, woraus man Qubits bauen kann, z.B. mithilfe von Photonen, Elektronen, Atomen oder so genannten supraleitenden Schwingkreisen. Ziel ist, eine hohe zeitliche Stabilität der Qubits zu erreichen (so genannte Kohärenzzeit), um möglichst viele Operationen durchführen zu können, bevor durch Wechselwirkung mit der Umgebung die gespeicherte Information fehlerhaft wird. Des Weiteren sind eine hohe Präzision (= geringe Fehlerraten) bzw. eine gute Fehlerkorrektur Ziel der aktuellen Entwicklung.

Ein Qubit kann man sich wie die Erdoberfläche vorstellen. Ist der Nordpol die 0 und der Südpol die 1, so gibt es bei einem Qubit auch alle anderen Punkte der Erdoberfläche, während bei einem klassischen Bit nur Nord- und Südpol existieren.

Die Suche nach dem Ausgang aus einem Irrgarten eignet sich gut als Illustration für die unterschiedliche Arbeitsweise von Supercomputern und Quantencomputer. Ein heutiger Computer prüft alle Ausgänge seriell, bis er den Ausgang gefunden hat. Ein

Quantencomputer würde alle möglichen Pfade parallel absuchen und viel schneller das Ergebnis des richtigen Weges ausgeben. Manche Arten von Berechnungen können dadurch stark beschleunigt werden.

Ein Quantencomputer ist dennoch nicht in jedem Fall besser als ein heutiger Supercomputer. Ein Quantencomputer kann genau dieselben Probleme berechnen wie ein klassischer Rechner. Er ist aber nicht in allen Fällen besser darin. Ein Quantencomputer ist dann besser, wenn er Rechenaufgaben in akzeptabler Zeit lösen kann, für die der klassische Rechner unakzeptabel lange braucht oder für die er so große Mengen an Speicher benötigen würde, dass sie physikalisch unmöglich zu realisieren sind, wie es z.B. in der Quantenchemie auftritt. Dabei ist auch die auf klassischen Rechnern stattfindende Vor- und Nacharbeit an den Daten mit einzuberechnen.

Es lässt sich überprüfen, ob ein Quantencomputer richtig gerechnet hat, auch wenn diese Berechnungen für Supercomputer nicht mehr nachvollziehbar sind. Man kann den Quantencomputer kleinere Probleme rechnen lassen, die sich noch mit klassischen Supercomputern behandeln lassen, und die Ergebnisse vergleichen. Einige Berechnungsprobleme sind außerdem von der Art, dass es zwar sehr schwierig ist, auf eine Lösung zu kommen, aber andererseits sehr einfach zu überprüfen ist, ob eine vorgeschlagene Lösung korrekt ist. Die Ergebnisse des Quantencomputers kann man dann relativ einfach überprüfen.

Für Optimierungsprobleme gilt Ähnliches: Wird vom Quantencomputer eine Lösung vorgeschlagen, kann man überprüfen, wie gut sie ist, indem man sie mit dem Lösungsvorschlag des klassischen Rechners vergleicht. Bei größeren Berechnungsproblemen kann der klassische Computer allerdings nur Näherungslösungen liefern, die auf den besten verfügbaren klassischen Algorithmen basieren. In weiterer Zukunft ist es denkbar, dass man die Ergebnisse mit denen eines Quantencomputers des gleichen Typs oder auch eines anderen Typs vergleichen bzw. abgleichen kann.
(ampnet/kg)

Bilder zum Artikel



Heute gehört zur Aerodynamik die Computersimulation.

Foto: Auto-Medienportal.Net/Daimler
