

Die Revolution der Quantenphysik



© iStockphoto.com/DepositoryPhotos

Seit rund zwanzig Jahren sorgt die Quantenphysik an der Universität Basel für eine zweite Revolution. Wissenschaftler, wie Dominik Zumbühl führen mit immer neuen Experimenten vor Augen, dass die verrückte Welt der Quantenphysik genutzt werden kann, um mit dieser nützliche Dinge anzustellen, zu denen die klassische Physik nicht in der Lage wäre. Professor Dominik Zumbühl spricht im Interview über den Einfluss der Quantenphysik hinsichtlich der Corona Pandemie und der Auswirkung auf Wirtschaft und Umwelt.

Die Quantenphysik verspricht revolutionäre Technologien wie den Quantencomputer mit weitreichenden Konsequenzen für die Wirtschaft und Gesellschaft. Die Universität Basel nimmt seit Jahren eine Vorreiterrolle in der Quantenforschung ein.

Professor Dominik Zumbühl, Sie forschen an Ihrer Arbeit seit rund 15 Jahren. Mit

der Arbeit gibt es atemberaubende

Weichenstellungen in der

Quantenphysik und Sie sprechen

von einer zweiten Revolution. Vor

unserer Zeit waren

es Einstein, Planck und weitere

die unser Verständnis für Na-

turwissenschaften auf den Kopf

stellten. Neue Fragen beschäftigen

uns heute. Welches ist der Stand Ihrer

Forschungsarbeit der Quantentechnologien?

Wir forschen an den Grundlagen eines zukünftigen Quantencomputers und bauen die Grundbausteine, die einzelnen Quantenbits, kurz Qubits, dazu auf. Dazu verwenden wir den sogenannten Spin eines Elektrons. Dabei handelt es sich um ein kleines Magnetfeld, welches jedes Elektron neben seiner Masse und elektrischen Ladung auch hat. Diesen Spin kann man sich vorstellen wie einen Pfeil, der in eine beliebige Richtung im Raum zeigen kann. Zeigt der Pfeil nach oben, entspricht das einer logischen 1, zeigt er nach unten, entspricht es einer 0. Das konventionelle Bit kann aber nur 1 oder 0 sein. Der Spin hingegen kann nicht nur nach oben oder unten zeigen, sondern in eine beliebige andere Richtung im Raum. Somit kann im Qubit, als grundlegende Informationseinheit des Quantencomputers, eine wesentlich grössere Informationsmenge gespeichert werden als im Bit der heutigen Computer.

Unsere Forschung befasst sich damit, solche Spins in Halbleiter Nanostrukturen unter Kontrolle zu bringen. Dieses Konzept geht zurück auf eine Arbeit von 1998 von David DiVincenzo (Jülich) und Daniel Loss, welcher auch an der Uni Basel tätig ist.

Die Halbleiterindustrie hat im Laufe der letzten Jahrzehnte unter grossem Aufwand die Transistoren immer kleiner und schneller gemacht und das soweit vorangetrieben, dass einzelne Transistoren nur noch wenige Nanometer gross sind. Trotzdem funktionieren diese aber gemäss den Gesetzen der klassischen Physik. Wir forschen daran, die Grundlagen von einzelnen Spins in solchen Strukturen besser zu verstehen und zu steuern – wir bauen sozusagen an den Quantentransistoren, z.B. auch in Silizium, also dem-

selben Material, das auch von der Halbleiterindustrie verwendet wird. Zurzeit gelingt es uns erst einzelne oder wenige solche Quantentransistoren anzusteuern und miteinander verschalten, bald sollen es aber mehrere werden. Kürzlich haben wir dabei einen Rekord aufgestellt: wir konnten zeigen, dass wir einen solchen Spin in Germanium einem anderen Halbleitertmaterial, in etwa einer Nanosekunde von oben, also 1, auf unten, also 0 schalten konnten (Froning et

al, 2019). Das ist ein wichtiger Schritt, um die Grundlagen der Quantenphysik für die Gesellschaft voranzubringen.

Die Halbleiterindustrie hat im Laufe der letzten Jahrzehnte unter grossem Aufwand die Transistoren immer kleiner und schneller gemacht und das soweit vorangetrieben, dass einzelne Transistoren nur noch wenige Nanometer gross sind. Trotzdem funktionieren diese aber gemäss den Gesetzen der klassischen Physik. Wir forschen daran, die Grundlagen von einzelnen Spins in solchen Strukturen besser zu verstehen und zu steuern – wir bauen sozusagen an den Quantentransistoren, z.B. auch in Silizium, also dem-

selben Material, das auch von der Halbleiterindustrie verwendet wird. Zurzeit gelingt es uns erst einzelne oder wenige solche Quantentransistoren anzusteuern und miteinander verschalten, bald sollen es aber mehrere werden. Kürzlich haben wir dabei einen Rekord aufgestellt: wir konnten zeigen, dass wir einen solchen Spin in Germanium einem anderen Halbleitertmaterial, in etwa einer Nanosekunde von oben, also 1, auf unten, also 0 schalten konnten (Froning et

al, 2019). Das ist ein wichtiger Schritt, um die Grundlagen der Quantenphysik für die Gesellschaft voranzubringen.



Interview mit Professor Dominik Zumbühl, Experimentelle Physik, Universität Basel

Dominik Zumbühl ist Professor für Ex-

perimentelle Physik und Vorsteher des

Departementes Physik der Univer-

sität Basel. Die ersten Konzepte für einen

Quantencomputer sind in Europa ent-

standen. Auf dieser Grundlage hat Basel

heute die Chance, die Grundlagen für

ein neues Silicon Valley zu legen. Die

Forschung am Quantencomputer ist

eine Investition in eine Zukunftstech-

nologie und damit in das industrielle

Fundament der Schweiz. In den Basler

Laboren wächst eine Generation von

Fachleuten heran, die diese Zukunfts-

technologie verstehen, handhaben und

vermitteln können. Nur mit ihnen kann

es gelingen, die zweite Revolution der

Quantenphysik für die Gesellschaft vor-

anzubringen.

selben Material, das auch von der Halbleiterindustrie

verwendet wird. Zurzeit gelingt es uns erst einzelne

oder wenige solche Quantentransistoren anzusteuern

und miteinander verschalten, bald sollen es aber

mehrere werden. Kürzlich haben wir dabei einen Re-

kord aufgestellt: wir konnten zeigen, dass wir einen

solchen Spin in Germanium einem anderen Halbleit-

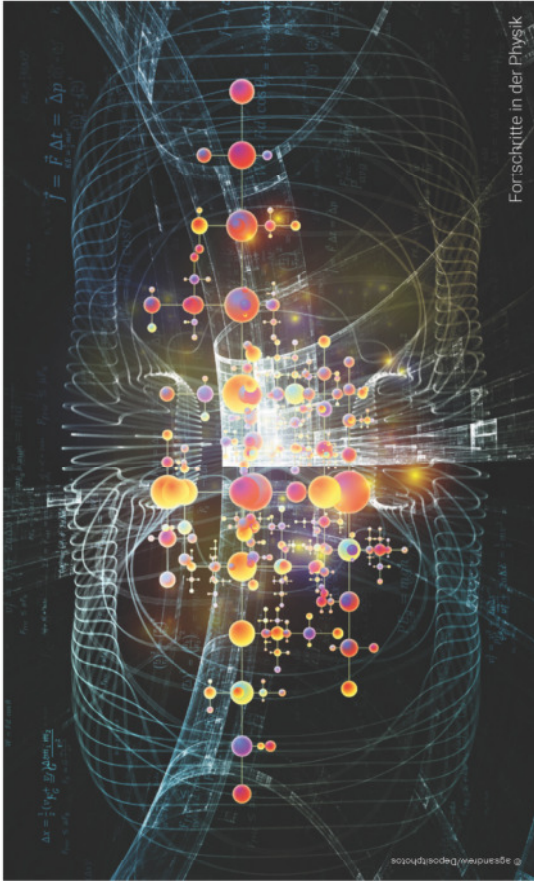
ertmaterial, in etwa einer Nanosekunde von oben,

also 1, auf unten, also 0 schalten konnten (Froning et

al, 2019). Das ist ein wichtiger Schritt, um die Grundlagen der Quantenphysik für die Gesellschaft voranzubringen.

Die Halbleiterindustrie hat im Laufe der letzten Jahrzehnte unter grossem Aufwand die Transistoren immer kleiner und schneller gemacht und das soweit vorangetrieben, dass einzelne Transistoren nur noch wenige Nanometer gross sind. Trotzdem funktionieren diese aber gemäss den Gesetzen der klassischen Physik. Wir forschen daran, die Grundlagen von einzelnen Spins in solchen Strukturen besser zu verstehen und zu steuern – wir bauen sozusagen an den Quantentransistoren, z.B. auch in Silizium, also dem-

«Heute haben wir die Chance, die Grundlagen für ein neues Silicon Valley zu legen.»



al., <https://arxiv.org/abs/2006.11175>). Die Spins haben aber nicht nur den Vorteil, dass sie sehr schnell sind, sondern sie sind auch sehr klein, eben nur wenige Nanometer gross. Das bedeutet, dass irgendwann einmal sehr viele davon, z.B. 100 Millionen Spins, auf kleiner Fläche integriert werden können, ganz analog zu den heutigen Halbleiterchips. Viele andere Qubits, zum Beispiel die Supraleitenden Qubits oder die Ionenfallen, sind heute zwar schon etwas weiter fortgeschritten aber wesentlich grösser, und es ist nicht absehbar wie jemals eine grosse Anzahl solcher Qubits integriert werden könnte.

Seit August 2020 treiben wir genau solche Halbleiter Qubits auch im neuen Nationalen Forschungsprogramm NCCR SPIN voran, welches vom Bund über den Schweizerischen Nationalfonds betrieben wird. In diesem Projekt arbeiten wir an der Universität Basel aus als leading House mit dem IBM Forschungslabor Rüschlikon und den beiden ETHs zusammen.

Mit der Coronakrise leidet die Wirtschaft, das ist erst der Anfang und damit zieht der gesellschaftliche Aspekt einher. Rezessionen gab es über die Jahre verteilt. Doch noch nie waren wir in der Technologie so weit wie heute. Welchen Einfluss könnte

Für Laien scheint die Quantenphysik ein Buch mit 7 Siegeln zu sein. Manche Naturgesetze wirken etwas verrückt, wenn man lebendig und tot in einen Konsens setzt. Sind wir Schweizer über die physikalischen Zusammenhänge schon genügend informiert? Wo besteht aus Ihrer Sicht ein Nachholbedarf?

Obwohl Schweizer allgemein gut ausgebildet sind weiss man hierzulande noch recht wenig über die Funktionsweise und Möglichkeiten des Quantencomputers. Wir setzen dabei schon in den Schulen an, entwickeln z.B. gerade eine «Wissensbox» zum Thema, mit dem wir in die Primarschulen gehen werden. Und mit der Schweiz. Akademie der Technischen Wissenschaften SATW gehen meine Kollegen und ich schon seit einigen Jahren an die Gymnasien in der ganzen Schweiz. Dort bietet ich jeweils ein Modul zum Quantencomputer an, welches auch immer wieder zu langen Diskussionen mit den Schülerinnen und Schülern führt. Mit unserer Doktorandenschule hier an der Uni Basel und natürlich unserem neuen nationalen Forschungsprogramm SPIN leisten wir auch weitere Beiträge an die Öffentlichkeitsarbeit.

Was fasziniert Sie an der Quantenphysik? Erzählen Sie bitte auch etwas von Ihnen.

Es ist faszinierend, dass wir einerseits an sehr grundlegenden Fragestellungen der Quantenphysik arbeiten können, diese aber andererseits oft auch direkte Anwendungen haben könnten, auch wenn es bis dahin noch einige Jahre dauern dürfte. Es hat auch einen gewissen Reiz, Experimente im Labor durchführen zu können, die zuvor noch niemand geschafft hat und vor einigen Jahren noch unmöglich schienen. Wir sind also heute als Forscher in unseren Laboren vergleichbar mit den Entdeckern vergangener Zeiten, die in unbekanntem Gewässer aufgebrochen sind. Aber anstelle der Schiffe von damals entwickeln wir neue Methoden und Tricks, mit denen wir die Experimente durchführen können.

Dank Quantencomputern können Wissenschaftler Materialien mit Wunscheigenschaften designen. Was können wir uns darunter vorstellen, wenn Sie mit einem Rechner die Gesetze der Quantenmechanik knacken können. Welches Innovationspotenzial hat die Quantenphysik?

Das Innovationspotential des Quantencomputers ist riesengross und könnte sich über viele verschiedene Bereiche erstrecken, z.B. für die Speicherung, Übermittlung und Umwandlung von Energie. Man könnte z.B. versuchen die Herstellung gewisser Stoffe oder Materialien mit viel geringerem Energieaufwand zu bewältigen, oder ganz neuartige Stoffe herzustellen, die vorher undenkbar waren. Es wäre daher also gut möglich, dass es auch für die Umwelt ganz wesentliche and vorteilhafte Folgen haben könnte. Oder für die Entwicklung neuartiger Moleküle die medizinische Wirkung entfalten. Vielleicht könnte man die Entwicklung des Quantencomputers vergleichen mit einem Sprung im Fortschritt ähnlich wie bei der Einführung der heutigen Computer vor ca. 50 Jahren. Auch damals war das eine Revolution. Es haben sich ganz neue Möglichkeiten eröffnet, die heute nicht mehr aus unserer Gesellschaft wegzudenken sind.

Interview: Redaktion FontTimes



Metaphorische Quantenquelle