

Dossier

# Quantensprung ins Ungewisse

Quantencomputer stehen vor dem Durchbruch. Die völlig neue Art des Rechnens hat das Potenzial, Wirtschaft und Gesellschaft grundlegend zu verändern.

von Fabian Gull

Illustration von Stephan Schmitz.

«Während die Welt fasziniert die rasante Entwicklung im Bereich der künstlichen Intelligenz beobachtet, bahnt sich die nächste Revolution an: Quantencomputer. Wie schnell sind sie? Wie weit weg sind konkrete Anwendungen? Wie sicher sind unsere Daten? Die Welt der Qubits könnte die Welt aus den Fugen heben.»

Sinja Christiani, Geschäftsführerin Hasler Stiftung

Haben Sie sich schon einmal vorgestellt, wie es wäre, an zwei Orten auf der Welt gleichzeitig zu sein? Geht doch gar nicht! Das denken wohl die meisten Menschen. Doch im Universum des kleinsten denkbaren Mikrokosmos, dort, wo die kleinsten Teilchen der Physik, die Quanten, zu Hause sind, dort geht das. Und noch viel mehr.

Vor genau 100 Jahren nahm die Quantenphysik ihren Anfang. Diese damals völlig neue Denkweise, welcher mit der klassischen Physik nicht beizukommen war, hat sich seither etabliert. «Wer von der Quantentheorie nicht schockiert ist, der hat sie nicht verstanden», sagte der dänische Physiknobelpreisträger Niels Bohr einst.

So steht nach der künstlichen Intelligenz die nächste Revolution vor der Tür: Quantencomputer. Sie sollen ungeahnte Potenziale freisetzen und zu «Dampfmaschinen des 21. Jahrhunderts» werden. Werden sie dereinst in der Lage sein, die kompliziertesten industriellen und gesellschaftlichen Herausforderungen radikal neu anzupacken? Falls ja, winken gigantische Effizienzgewinne, neue Produkte, Wirtschaftswachstum, viel Macht und – wie bei jeder neuen Technologie – auch Gefahren und Missbrauch.

War der technologische Durchbruch stets Dekaden entfernt, so sind es jetzt vielleicht nur noch Jahre. Gelingt dieser Durchbruch, dann hat auch die Quantenwelt ihren «ChatGPT-Moment».

Die Reise in die wundersame Welt der Quanten führt uns in eine faszinierende, schwer vorstellbare und noch schwieriger zu verstehende Welt. Für dieses Dossier sind wir mit den Zukunftsrechtern auf Tuchfühlung gegangen und haben uns mit den führenden Experten unterhalten, bei denen wir uns herzlich bedanken wollen. Oder wie es in der Quantensprache heisst: ThanQ!

Eine vergnügliche Lektüre wünscht  
die Redaktion

Für die Unterstützung dieses Dossiers danken wir der Hasler Stiftung.  
Redaktionell verantwortlich ist der Schweizer Monat.

# Die radikal neue Art des Rechnens

Quantencomputer denken nicht linear, sondern berechnen verschiedene mögliche Lösungen simultan. Eine Erklärung der Grundbegriffe.

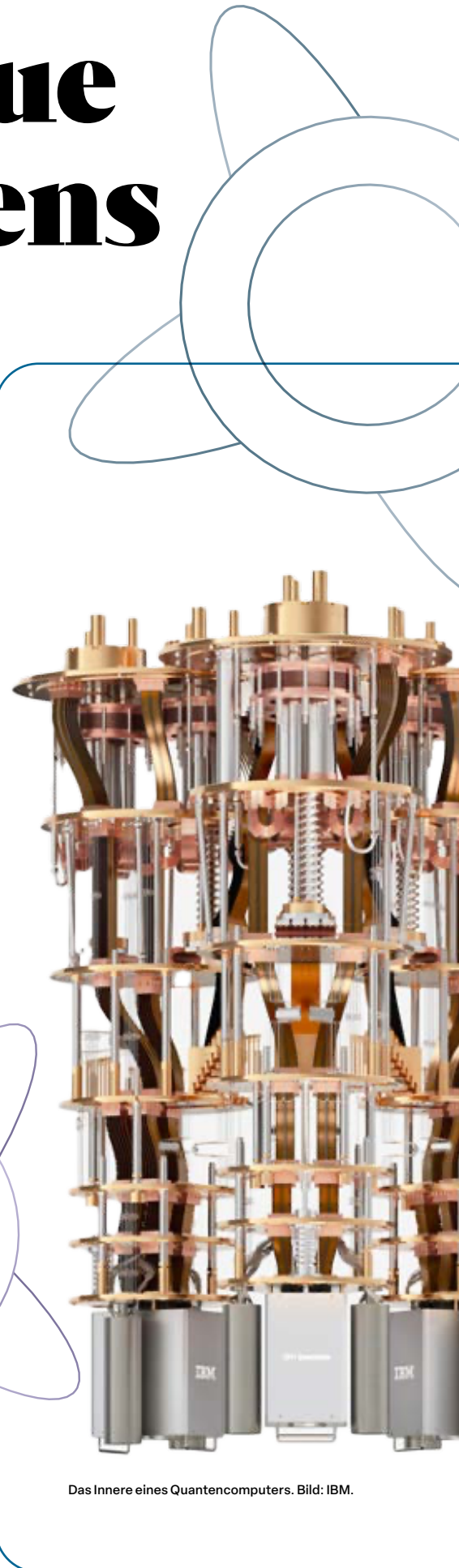
von Heike Riel

## Quantum 2025 – 100 Jahre sind erst der Anfang ...

Das Jahr 2025 steht ganz im Zeichen des 100-Jahr-Jubiläums der Quantenwissenschaft. Zu Beginn des 20. Jahrhunderts entdeckten Physiker, unter ihnen Max Planck, die Quantenwelt. Die Gesetze, die in der Welt der kleinen Teilchen und Atome gelten, entpuppten sich als grundlegend anders als in der uns bekannten makroskopischen Welt. Dies führte zu Erstaunen und Diskussionen, und ein Albert Einstein konnte sich mit diesen seltsamen Phänomenen nicht recht anfreunden. Erst die Quantenmechanik – entwickelt von Werner Heisenberg, Erwin Schrödinger und anderen – lieferte eine geschlossene Theorie, mit der sich die beobachteten Phänomene beschreiben liessen. Die Formulierung der Quantenmechanik im Jahr 1925 hat eine bleibende Grundlage für unser physikalisches Verständnis der Natur gelegt. Was vor 100 Jahren als Theorie begann, führte zu Entdeckungen wie dem Laser, der hochpräzisen Atomuhr, zu GPS-Systemen und ist heute die Grundlage für eine weitere Revolution durch eine radikal neue Technologie – den Quantencomputer.

## Was sind «Quanten»?

Der Begriff «Quant» beschreibt in der Physik den kleinstmöglichen Wert einer physikalischen Grösse. Diese kleinste Stückelung kann nicht geteilt werden, ein Quantum kann nur als Ganzes erzeugt oder vernichtet werden. In der Welt der Quanten gelten Gesetze, die unserer Alltagserfahrung widersprechen. Sie geben dem Quantencomputer ihren Namen.



Das Innere eines Quantencomputers. Bild: IBM.

## Wie misst man die Leistung?

Um eine schnelle Technologieentwicklung zu gewährleisten, ist es wichtig, eine Kennzahl für die Rechenleistung eines Quantencomputers festzulegen. Die Leistung eines Quantencomputers wird durch drei Schlüsselfaktoren bestimmt: die Anzahl der Qubits, die Qualität der Qubits und die Geschwindigkeit. Alle drei zusammen sind für die Nützlichkeit des Quantencomputers entscheidend.

## Wie funktionieren Quantencomputer?

Quantencomputer arbeiten fundamental anders als klassische digitale Rechner. Sie nutzen die Gesetze der Quantenmechanik, um Informationen zu verarbeiten, und bieten damit Möglichkeiten, komplexe Probleme zu lösen, die für die leistungsstärksten klassischen Computer von heute unlösbar sind und auch in Zukunft mit diesen nicht gelöst werden können. Klassische Computer kodieren und verarbeiten Informationen in Form von Bits und den binären Ziffernfolgen 1 oder 0 (vgl. «Qubits versus Bits – Kopf oder Zahl?» auf Seite 84). Quantencomputer hingegen verwenden sogenannte Quantenbits, abgekürzt Qubits, als Informationseinheit. Diese können die aussergewöhnlichen Eigenschaften der Quantenphysik ausnutzen und gleichzeitig im Zustand 0 und 1 sein – oder auch in theoretisch unendlich vielen Zuständen dazwischen. Dieses Phänomen wird als Superposition oder Überlagerung bezeichnet. Qubits können auch miteinander verschränkt werden oder interferieren. Auf diese Weise kann eine Veränderung an einem Qubit auch alle anderen Qubits beeinflussen. Albert Einstein sprach deshalb von einer «spukhaften Fernwirkung». Die Kombination der drei Quantenphänomene Superposition, Verschränkung und Interferenz führt dazu, dass sich die Rechenleistung eines Quantencomputers im Idealfall verdoppelt, wenn man die Anzahl der Qubits um eins erhöht. Diese exponentielle Zunahme der Leistungsfähigkeit im Vergleich zu klassischen Rechnern, deren Leistung nur linear mit der Anzahl der Bits ansteigt, erzeugt die Superkraft von Quantenrechnern. Qubits werden durch Manipulation und Messung von Quantenteilchen (den kleinsten bekannten Bausteinen des physikalischen Universums) wie Photonen, Elektronen, Ionen und Atomen erzeugt. Auch Systeme, die sich wie ein Quantenteilchen verhalten, wie etwa supraleitende Schaltkreise, können als Qubits verwendet werden. Generell ist die Quanteninformation äusserst sensitiv und kann bei geringster Störung zerfallen. Aus diesem Grund funktionieren Quantenprozessoren nur bei extrem tiefen Temperaturen und müssen auch vor anderen Störungen wie Licht geschützt werden. Quantenrechner sind vollkommen anders aufgebaut und sehen auch anders aus als klassische Rechner.

## Warum brauchen wir Quantencomputer?

Quantencomputer läuten einen Paradigmenwechsel ein. Sie werden den klassischen Rechner in absehbarer Zeit aber nicht ersetzen. Es gibt Probleme, die herkömmliche Computer nicht lösen können, egal wie leistungsfähig sie sind, jedoch mit Quantencomputern lösbar sind. Beispiele solcher komplexer Rechnungen sind Probleme mit vielen Variablen, die auf komplizierte Weise interagieren. So ist beispielsweise die Modellierung des Verhaltens einzelner Atome in einem Molekül ein komplexes Problem, weil alle Elektronen des Molekülsystems miteinander wechselwirken. Kein Computer hat einen Arbeitsspeicher, der gross genug ist, um alle möglichen Vertauschungen des molekularen Verhaltens mit den bekannten Methoden zu verarbeiten. Bereits die exakte Berechnung der Eigenschaften von Molekülen mit nur wenigen Elektronen ist mit einem klassischen Rechner nicht machbar, während das für zukünftige Quantenrechner möglich sein wird. Quantenalgorithmen verfolgen einen neuen Ansatz für diese Art von komplexen Problemen. Da sich Qubits wie Atome verhalten und deshalb auch künstliche Atome genannt werden, kann das Verhalten von Molekülen auf Qubits abgebildet werden. Auf diese Weise lassen sich chemische Simulationen sehr viel effizienter lösen. Neben der Simulation von Molekülen und Materialien sind Optimierungsprobleme, Datenbanksuche und maschinelles Lernen weitere komplexe Aufgaben, die von Quantencomputern potentiell besser gelöst werden können. Ein weiteres Beispiel einer komplexen Aufgabe ist die Faktorisierung einer grossen Zahl. Während die Multiplikation sehr einfach für einen klassischen Rechner ist, ist die Zerlegung in nichttriviale Teiler (Beispiel:  $91 = 13 \cdot 7$ ) insbesondere für grosse Zahlen eine sehr komplexe Aufgabe; die Rechenzeit auf einem klassischen Rechner nimmt mit der Grösse der Zahl exponentiell zu.

## Mögliche Anwendungen

Der Quantencomputer könnte der Schlüssel zu bahnbrechenden Fortschritten in zahlreichen wichtigen Branchen sein, wie der Automobilindustrie, in der Luft- und Raumfahrt, Energie, Umwelt, Infrastruktur und auch bei Finanzdienstleistungen. Es gibt zahllose Beispiele, die von der Entwicklung neuer Medikamente und fortgeschrittener maschineller Lerntechniken über die Optimierung von Lieferketten bis hin zur Bewältigung der Herausforderungen des Klimawandels reichen.

Eine Anwendung wäre auch die Optimierung von allgemeinen Logistikproblemen und Transportwegen. Mit zahllosen Schiffen, die auf den Weltmeeren unterwegs sind, um Waren zu transportieren, stellt der globale Transport von verschiedenen Produkten eine komplexe Herausforderung dar, die von einer Quantenlösung stark profitieren könnte. Wenn wir dieses komplizierte Optimierungsproblem mit grösserer Präzision lösen, könnten wir erhebliche Energieeinsparungen erzielen.

Völlig neue Möglichkeiten werden sich auch im Bereich der Chemie, Materialwissenschaft und der Medizin ergeben. So könnte die Erforschung und Entwicklung von neuen Wirkstoffen für Arzneimittel und medizinische Behandlungen durch schnellere und präzisere Simulationen des molekularen Verhaltens und biochemischer Reaktionen dramatisch beschleunigt werden – ein Fortschritt, der weit über das derzeit Erreichbare hinausginge. Auch im Bereich der Batterieforschung und neuer Materialien in der Halbleiterindustrie sowie der Entwicklung von verbesserten Katalysatoren, die zu effizienteren Verfahren für den Abbau klimaschädlicher Emissionen notwendig sind, ist man schon aktiv.

Ein Mehrwert kann sich ebenfalls im Finanzdienstleistungssektor ergeben, insbesondere durch die Integration von Quantencomputing und künstlicher Intelligenz (KI). Diese Kombination könnte künftig eine schnellere und genauere Entscheidungsfindung ermöglichen. Optimierungsaufgaben in Bereichen wie Risikomanagement, Portfoliostrategien, Margen, Kreditvolumen, Transaktionen, Wertpapierabwicklung und Haftungsmanagement sind derzeit durch die Rechenleistung klassischer Computer und die für die Lösung dieser Probleme zur Verfügung stehende Zeit eingeschränkt.



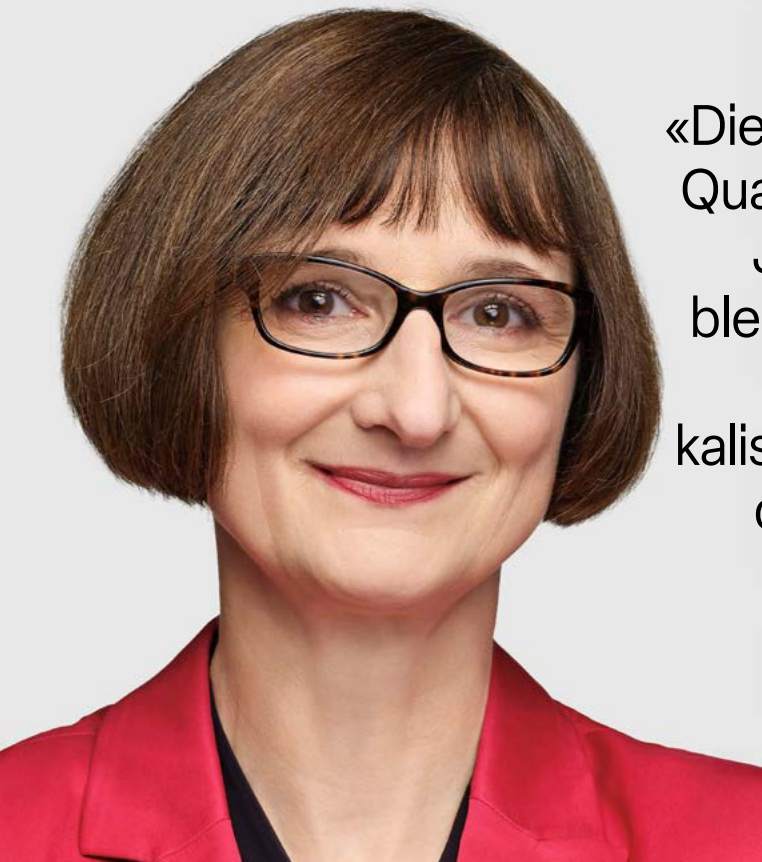
## Qualität und Fehlerkorrektur

Die Qualität der Qubits wurde über die letzten Jahre enorm verbessert. Fehler, welche die Quantenrechnung stören und die Leistungsfähigkeit limitieren, konnten stark reduziert werden. Die Fehlerkorrektur ist bei Quantenrechnern äusserst kompliziert und aufwendig, denn Qubits können nicht kopiert werden. Deshalb braucht man, je nach Fehlerrate, sehr viele physikalische Qubits, um ein einziges fehlerkorrigiertes sogenannt «logisches Qubit» herzustellen. Mit fehlerkorrigierten Qubits kann man dann einen universellen, fehlertoleranten Quantencomputer bauen. Auch hier wurden Fortschritte erzielt: Mit einem neuen Fehlerkorrekturalgorithmus konnte die Anzahl der notwendigen physikalischen Qubits für ein logisches Qubit um 90 Prozent reduziert werden. Resultierend daraus kann die praktische Umsetzung der Fehlerkorrektur etwa 10 Jahre früher stattfinden. Diese Schritte sind entscheidend, um komplexe Aufgaben auf grossen Quantencomputern in Zukunft skalierbar lösen zu können.

## Qubits versus Bits – Kopf oder Zahl?

In klassischen digitalen Rechnern ist das Bit die binäre Einheit der Information und kann entweder 0 oder 1 sein. Als Bausteine werden Transistoren verwendet, die entweder ein- oder ausschalten, um Daten als Einsen oder Nullen zu symbolisieren. Quantencomputer hingegen arbeiten mit Quantenbits, kurz genannt «Qubits», als Einheit der Quanteninformation. Wie ein Bit in einem klassischen Computer kann ein Qubit entweder im Zustand 1 oder 0 sein. Interessant wird es aber, wenn das Qubit seine besondere Eigenschaft aufgrund der Natur der Quantenphysik ausspielt, die das klassische Bit nicht hat: Ein Qubit kann nämlich auch gleichzeitig im Zustand 1 und 0 sein. Man nennt diesen Zustand auch Superposition oder Überlagerung.

Man kann sich den Zustand mit einer Münze veranschaulichen: Soll die Münze ein klassisches Bit darstellen, kann man sie entweder mit Kopf oder Zahl nach oben legen, das wäre eine 0 oder eine 1. Ein Qubit wäre dagegen eine in die Luft geworfene Münze, die sich schnell um sich selbst dreht. Bei ihr kann man nicht sagen, ob Kopf oder Zahl oben ist, sie ist in beiden Zuständen gleichzeitig.



Heike Riel. Bild: IBM.

«Die Formulierung der Quantenmechanik im Jahr 1925 hat eine bleibende Grundlage für unser physikalisches Verständnis der Natur gelegt.»

Heike Riel



## Durchbruch dank «Quanten-Vorteil»?

Experten sprechen beim angestrebten Durchbruch vom sogenannten «Quanten-Vorteil». Dieser ist dann erreicht, wenn der Quantenrechner ein Problem löst, das einen signifikanten, praktischen und wirtschaftlichen Vorteil bietet, und er dies schneller, genauer oder mit weniger Energieverbrauch tut als alle bekannten Alternativen. Forscher erwarten, dass dies innerhalb der nächsten zwei Jahre der Fall sein wird. Durch eine weitere Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Hardware, der Software und der Algorithmen ergibt sich dann schrittweise eine wachsende Sammlung von Problemen mit «Quanten-Vorteil». Die vor einigen Jahren erwarteten Zeitskalen haben sich massiv verkürzt und viele Unternehmen haben fehlerkorrigierte Quantencomputer mit über 100 logischen Qubits noch vor Ende des Jahrzehnts auf ihrer Roadmap. Dazu gehört auch die enge Integration zwischen skalierbaren Quanten- und klassischen Rechenressourcen, um ein effizientes und synergistisches Miteinander zu ermöglichen und somit die Zukunft des Computings zu gestalten.

## Der Stand der Entwicklung

In den letzten zehn Jahren haben Quantencomputer bemerkenswerte Fortschritte gemacht, doch sind noch zahlreiche Herausforderungen zu bewältigen. Die derzeit verfügbaren Quantencomputer sind noch nicht so ausgereift, dass sie in der Produktion für gross angelegte, industriell relevante Probleme eingesetzt werden können – aber mit zunehmender Leistungsfähigkeit werden sukzessiv bestimmte Anwendungen real werden. Führende internationale Unternehmen wie IBM und Google, aber auch innovative Start-ups, nationale Forschungseinrichtungen und Universitäten treiben die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet schnell und kontinuierlich voran. Ein Meilenstein wurde 2016 gelegt, als IBM den weltweit ersten Quantenprozessor mit fünf Qubits in der Cloud zur Verfügung stellte, woraufhin sich innerhalb von zwei Wochen fast 25000 Nutzer für den Zugriff auf den Quantencomputer registrierten. Dieser Durchbruch löste eine weltweite Beschleunigung der Forschung und Entwicklung aus, die mit erheblichen Verbesserungen bei der Rechenleistung und der Skalierung von Quantencomputern einherging. Die Anzahl der Qubits – integriert in einem supraleitenden Quantenprozessor – wurde stetig von fünf in 2016 auf über 100 Qubits im IBM-Eagle-Prozessor in 2021 und auf über 1000 Qubits im Jahr 2023 erhöht. Mit dem sogenannten Condor Chip mit 1121 Qubits, integriert in einem Quantenprozessor, brach IBM die 1000-Qubit-Barriere zum ersten Mal, was die Grenzen von Skalierung und Ausbeute in der Fabrikation von Qubits erfolgreich verschob. Um darüber hinaus die Zahl der Qubits in einem System zu skalieren, wird ein modularer Ansatz verfolgt. Hierbei werden mehrere Quantenprozessoren (QPU) mittels spezieller Quantenverbindungen gekoppelt, die eine ungestörte Übertragung der Quanteninformation erlauben. Erste Ergebnisse, die mehrere 156-Qubit-IBM-Heron-Prozessoren quantenmechanisch miteinander verbinden, wurden bereits Ende letzten Jahres erfolgreich gezeigt.

### Heike Riel

ist Physikerin, IBM Fellow und Executive Director bei IBM Research in Rüschlikon.

# «Kommt die richtige Hardware, wird die Revolution Realität»

Wir stehen möglicherweise vor dem grossen Durchbruch im Quantencomputing, sagt der Physiker Daniel Loss. Die Schweiz wird dabei aber kaum zu den grossen Profiteuren gehören.

Interview von **Fabian Gull**

**Daniel Loss, Sie sind Professor für theoretische Physik an der Universität Basel und haben mit Ihrem Konzept eines spinbasierten Quantencomputers weltweit auf sich aufmerksam gemacht. Wie erklären Sie einem Laien, was Sie tun?**

Wie viel Zeit haben wir (*lacht*)? Mein Job ist das Nachdenken über die Zukunft. Ich tue dies mit den Werkzeugen der Wissenschaft und viel Mathematik. Ich befasse mich mit Dingen, die noch nicht existieren oder die wir noch nicht verstehen. Und ich tue dies auf der Ebene der grundlegendsten Gesetze der Natur – der Quantenmechanik. Mit meinem Team versuche ich herauszufinden, ob wir diese Gesetze wie die Natur beherrschen und zu unserem Vorteil nutzen können. Von unseren Modellen leiten wir Ideen ab, die idealerweise zu neuen Technologien führen.

**Sind wir eigentlich schon mittendrin im Quantenzeitalter?**

Es ist noch zu früh, dies abschliessend zu beantworten. Dennoch bin ich überzeugt, dass wir uns an einer Weggabelung befinden, wie vor rund siebzig Jahren, als Röhren- durch Halbleitertransistoren ersetzt wurden. Ein Halbleitertransistor war damals so gross wie ein Handy. Heute finden auf einem Quadratcentimeter rund 250 Milliarden Transistoren Platz! Das war damals schlicht unvorstellbar. Man hat einen Grad an Miniaturisierung und Verdichtung erreicht, der einzigartig ist. Wer in diesem globalen Wettrennen der Halbleiter die Nase heute vorne hat, regiert die Welt. Auch KI ist ohne diese Miniaturisierung der Halbleiter unvorstellbar. Die Halbleitertechnologie hat sich durchgesetzt und ist heute konkurrenzlos. Ich sehe in dieser Entwicklung Parallelen zur Quantenwelt und vor allem zu meinem Konzept des «Spin Qubits», das einem Transistor extrem ähnlich ist. Genau deshalb sind Halbleitergiganten wie

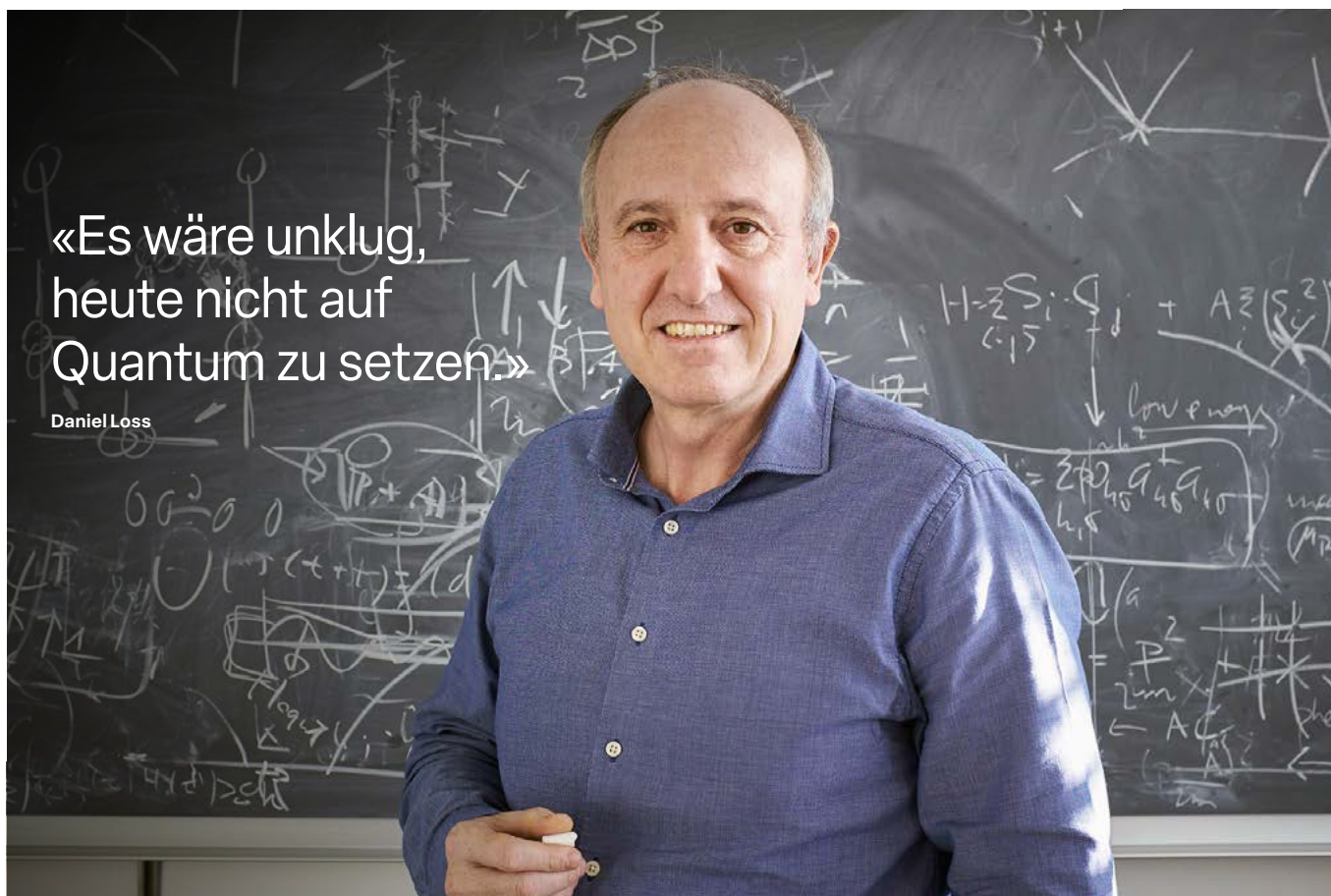
Intel im Quantenrennen ganz vorne dabei. Gut möglich, dass wir schon auf dem Weg in ein Quantenzeitalter sind, ohne dass wir es wirklich realisieren.

**Wann haben Sie zum ersten Mal von Quantencomputern gehört?**

Um 1995, ich war damals in den USA. Es war eine der kreativsten Zeiten in Quantum. Meine Erwartungen von damals haben sich mehrheitlich erfüllt. Quantencomputing wurde zu Beginn sehr kontrovers diskutiert. Schon Albert Einstein hatte ja seine liebe Mühe mit der spukhaften Fernwirkung quantenmechanischer Teilchen, der sog. «Verschränkung». Dazu müssen Sie wissen: An der Spitze der Physik sind heftige und kontroverse Diskussionen normal. Man musste in den 1990er-Jahren einsehen, dass es nichts Perfektes gibt. Stets gibt es Wechselwirkungen und Kräfte, die auf ein System einwirken und die man nicht vollständig abschirmen kann. Das heisst auch, dass es immer Fehler gibt. Will man etwa eine Überlagerung oder gar «Verschränkung» von Quantenzuständen sichtbar machen, zerfällt dieser Zustand umgehend. Es gab deshalb die verbreitete Ansicht, dass diese Fehler nicht überwunden werden könnten und man sich deshalb in einer Sackgasse befinde. Das war offensichtlich falsch. Quantencomputer als Idee haben sich gegen grosse Widerstände durchsetzen müssen. Das vergisst man heute gerne.

**Gibt es heute schon Quantencomputer oder ist das Zukunftsmusik?**

Ihre einfache Frage ist leider gar nicht so einfach zu beantworten. Die Definition eines Quantencomputers ist komplex. Streng genommen erfüllen die heutigen Rechner die Bedingungen nicht. So zum Beispiel das Vorhandensein von «logischen



«Es wäre unklug,  
heute nicht auf  
Quantum zu setzen.»

Daniel Loss

Daniel Loss, zvg.

Qubits». Zwar ist Google diesen soeben wieder einen Schritt nähergekommen, aber es gibt sie nach wie vor nicht. Logische Qubits verharren in einem Überlagerungszustand, obwohl sie von Natur aus eigentlich zerfallen möchten. Durch stete Fehlerkorrektur kann der Zerfall idealerweise verhindert werden. Aber so weit sind wir noch nicht. Dieser Schritt wäre ein wichtiger Etappensieg auf dem Weg zu richtigen Quantencomputern.

#### **Verstehe ich Sie richtig, die heutigen Quantencomputer sind gar keine «echten»?**

Schon, aber nur gemäss der Definition ihrer Hersteller. Für Laien ist das dann eben ein Quantencomputer. In der theoretischen Physik arbeiten wir mit strengeren Definitionen und Anforderungen. Die Rechner, die heute auf dem Markt sind, nennen wir «Special Purpose Machines» und nicht Quantencomputer.

#### **Wann kommen denn die «echten»?**

Das weiss niemand genau. Trotz grosser Fortschritte sind wir immer noch am Anfang einer Entwicklung. Von der Physik her bin ich optimistisch, dass wir eines Tages echte Quantencomputer haben werden. Aber garantiert ist es keineswegs, es stecken viele Modellannahmen dahinter. Ebenfalls glaube ich, dass dereinstige Quantencomputer nicht durch eine noch bessere Technologie ersetzt werden können.

#### **Wie können Sie das wissen?**

Sie müssen verstehen, dass wir von Phänomenen in der Grundlagenphysik reden und nicht von irgendeiner Technologie. Das einstige Hypegebiet Nanotechnologie zum Beispiel ist heute nicht mehr sehr aktuell. Auch KI-Technologien werden wohl in einigen Jahren durch bessere Ideen ersetzt werden. Das Quantencomputing hingegen wird man nicht mehr ersetzen können, weil es auf der Quantenphysik als Grundlage basiert. Und das ist nichts anderes als die Natur mit ihren Gesetzen. Die Quantenmechanik behauptet sich übrigens seit genau 100 Jahren erfolgreich. Daran wird sich nichts ändern.

#### **Erleben wir zurzeit einen Quantenhype?**

Ja, das kann man so sagen. Den Hype braucht es auch, um Interesse zu wecken. Gewisse Übertreibungen gehören dazu, ebenso eine gesunde Portion Skepsis. Aber eine Kultur der steten Untertreibung ist auch keine gute Kultur – wir Schweizer sind da viel zu gut darin. Schauen Sie, ich habe schon viele euphorische Phasen erlebt. Wichtig in der Beurteilung sind zwei Dinge: Erstens, die Entwicklung geht weiter und findet trotz Rückschlägen auf einem immer höheren Niveau statt. Zweitens sind wir momentan in einer Phase, in der es steil nach oben geht, ähnlich der Form eines Hockeyschlägers.

## QUANTEN-START-UPS

## Risikomanagement mit Quanten

*Mithilfe der Quantenmechanik unterstützt Scenario X seine Kunden bei Finanzmodellierungen und Stresstests.*

Das Genfer Unternehmen Scenario X bietet im Bereich des Finanzrisikomanagements eine Vielzahl von Instrumenten an, welche unter Einsatz von KI, maschinellem Lernen und Quantencomputing zur Anwendung gelangen. Diese grundlegend neue Gestaltung der Risikomodellierung ermöglicht es Finanzinstituten wie Banken und Vermögensverwaltern, die Effizienz zu steigern und Kosten zu senken, indem Finanzmodellierungen und Stresstests automatisiert werden.

Gegründet wurde Scenario X 2022 von ehemaligen Mitarbeitern der Grossbanken Standard Chartered, HSBC und BNP Paribas – darunter Achille Yomi, der CEO des Unternehmens. Die Software, mit der Scenario X arbeitet, optimiert auch die Eigenmittelanforderungen von Banken (Basel-III-IV-Regulierung) und ist nach eigenen Angaben imstande, die Modellierungszeit um bis zu 60 Prozent zu verkürzen.

Hauptprodukt des Start-ups ist das sogenannte Quantum Value at Risk (QVaR), eine neuartige Methode, um Finanzstresstests durchzuführen. Dafür werden Monte-Carlo-Simulationen durchgeführt, die auf den Prinzipien der Quantenmechanik aufbauen. Diese Methode ermöglicht es, komplexe Systeme und Vorhersagen durch zufällige Stichproben effizienter zu analysieren. Im Gegensatz zu den herkömmlichen Modellen stützt sich QVaR auf echte Quantenzufälligkeit, was zu präziseren Marktprognosen führt. Tools in den Bereichen Szenarioprojektion, Portfoliorisikomanagement und dynamische Bilanzmodellierung ergänzen das Angebot.

Das Quantencomputing-Team besteht zurzeit aus zwei Mitarbeitern und soll bis 2026 auf zehn Spezialisten aufgestockt werden. Zu den Kunden zählen Vermögensverwalter, Rohstoffhändler, Versicherungen und Banken. Scenario X ist aktuell in den Märkten Schweiz und Singapur präsent. Weitere Niederlassungen sind in Saudi-Arabien und den Vereinigten Staaten geplant. ♦

**Michael Straumann**

ist redaktioneller Mitarbeiter dieser Zeitschrift.

### Wir stehen also vor einem grossen Durchbruch?

Möglicherweise. Neu ist, dass es erstmals folgendes Argument gibt: Wenn man heute nicht auf den Quanten-Zug aufspringt, werden die Verluste in jedem Fall grösser sein, als wenn man heute aufspringt und sich die Erfolge doch nicht einstellen sollten. In anderen Worten: Es wäre unklug, heute nicht auf Quantum zu setzen. Was mich auch zuversichtlich stimmt, sind die vielen jungen Talente, die Quantencomputing fasziniert.

### Für normale Bürger ist bis heute kein Nutzen aus der Quantenforschung ersichtlich. Einverstanden?

Einverstanden. Aber wir kennen gewisse Quantenalgorithmen schon heute. Sobald die passende Hardware dazukommt, wird die Revolution zur Realität. Es gibt jedoch schon heute Vorboten einer Quantenära. So wurde die Quantenforschung zu Beginn vor allem in den USA mit gigantischen Summen von Geheimdiensten und dem Militär gefördert. Dabei geht es vor allem um die Sicherheit von Verschlüsselungen. Heutige Sicherheitscodes basieren auf der Primzahlzerlegung und gelten als sicher. Doch Quantencomputer werden diese Codes knacken können. Alle gesammelten Daten der letzten Jahrzehnte wären somit einsehbar, alle Sicherheitskonzepte obsolet. Das wäre eine Katastrophe.

### Sie sind mit Ihrer Forschung ja nicht ganz unschuldig daran ...

Ja, da haben Sie natürlich ein Stück weit recht. Jede Technologie birgt Gefahren. Das ist beim Quantencomputer nicht anders. Ich denke aber trotzdem, dass die Vorteile bei weitem überwiegen. Wichtig ist, dass alle einen Zugang zu Quantum haben. Geheimhaltung und Abschottung sind hingegen schlecht für alle. Man sollte auch nicht paranoid werden. Nicht nur in der jüngeren Weltgeschichte hat uns ein gewisses «Gleichgewicht des Schreckens» vor Schlimmerem bewahrt. Bei der Verschlüsselung gibt es übrigens bereits eine Lösung: die sogenannte «Post-Quantum-Verschlüsselung», von der man denkt, dass auch ein Quantencomputer sie nicht knacken kann.

### Nach welchen Prinzipien funktioniert Verschlüsselung heute?

Sie basiert auf der Zerlegung einer Zahl in Primzahlen. Nehmen Sie zum Beispiel die Zahl 21, die Sie durch die Multiplikation der Primzahlen 3 und 7 erhalten. Nun stellen Sie sich eine dreihundertstellige Zahl vor und ich frage Sie nach den beiden Zahlen der Primzahlfaktorzerlegung. Ein klassischer Rechner braucht das Alter des Universums, also 13 Milliarden Jahre, um die Lösung zu finden. Ein Quantencomputer könnte dieses Problem in Stunden lösen. Es könnte auch sein, dass es einen klassischen Algorithmus gibt, der das Problem lösen kann. Aber in den letzten 50 Jahren wurde kein solcher gefunden.

### Wie sind Sie zur theoretischen Physik gelangt?

Ich habe erstmals als Medizinstudent angefangen, mich vertieft mit Physik auseinanderzusetzen. Damals galt mein Interesse der Neurologie. Aber auch Einsteins Relativitätstheorie hat

mich unglaublich fasziniert. Ich wollte das unbedingt verstehen. So habe ich zur Physik gewechselt. Auch haben mich philosophische Fragen der Physik immer interessiert. Hier wird nicht im luftleeren Raum diskutiert: Den Rahmen bilden immer die konkreten physikalischen Phänomene.

#### **Sind das mehr als nur intellektuelle Spielereien?**

Absolut. Solche Gedanken können Vorläufer künftiger Theorien sein. Denken Sie nur an das vielleicht bekannteste Phänomen von «Schrödingers Katze», gewissermassen eine Vorläuferin des Quantencomputers.

#### **Gibt es auch in der Physik Glaubensrichtungen?**

Ja. Bei den Interpretationen quantenmechanischer Phänomene gehen die Meinungen auseinander. Ähnlich der alten Frage: Macht ein Baum Lärm, wenn er umfällt und niemand da ist? Das kann teilweise fast esoterische Züge annehmen. Man kann sich wie immer im Leben einer Haltung verweigern oder sich damit auseinandersetzen. Es gibt auch die pragmatische Haltung, sich nicht mit Fragen zu befassen, die man ohnehin nicht beantworten kann. Getreu dem Physikermotto: «Klappe halten und rechnen.»

#### **Wo stehen Sie?**

Ich bin irgendwo dazwischen.

#### **Also in einer Art Superposition.**

Genau. Wenn man zu viel seziert und hinterfragt, läuft man Gefahr, sich im Kreis zu drehen und nichts Kreatives mehr zu machen.

#### **Besitzen Sie Nvidia- oder Quanten-Aktien?**

Nein. Ich besitze nur einige Patente (*lacht*).

#### **Sind Sie in Start-ups aktiv?**

Nein, ich bin Theoretiker. Das überlasse ich meinen Experimentalkollegen.

#### **Angenommen, Sie hätten einen 100-Millionen-Qubit-Rechner bei Ihnen zu Hause. Welches Problem würden Sie als erstes darauf lösen wollen?**

Ein solcher Rechner würde eine Form der Aufmerksamkeit mit sich bringen, die mich entweder sehr reich oder sehr tot machen würde. Aber Spass beiseite. Ich würde die Grenzen der Physik austesten. Ich würde schauen, wie weit ich Schrödingers Katze auf dem Computer realisieren kann und ob es hier fundamentale Grenzen der Vielteilchenphysik gibt, die man noch nicht kennt.

#### **Sie sind in einem sensiblen Bereich tätig. Läuft man da Gefahr, auf den Radar von Grossmächten zu gelangen?**

Ich bin wohl bereits auf diversen Radarschirmen und werde das auch nicht wieder so schnell runterkommen. Es geht um die

Technologievorherrschaft in einem zentralen Bereich für die kommenden Jahrzehnte und Generationen. Die geopolitische Situation hat sich in den letzten Jahren massiv geändert. Unsere Forschung wird als «Dual Use», also als potentiell militärisch anwendbar, klassifiziert. Ist man erst einmal auf dieser Liste, wird es kompliziert. Der Ukrainekrieg und die Verstimmungen zwischen China und den USA haben zu einer Art Paranoia im Westen geführt. Auch in meiner Welt der Quanten.

#### **Was merken Sie konkret?**

Wir haben mit immer mehr Vorschriften, Einschränkungen und Bevormundung zu kämpfen. Die Schweiz scheint ihre Unabhängigkeit aufs Spiel zu setzen, auch bei der Quantenforschung. Die Forschungsfreiheit ist derzeit in einem Ausmass eingeschränkt, wie ich das noch nie erlebt habe. Mitarbeiter aus gewissen Ländern darf ich nicht mehr anstellen, ja nicht mal mehr E-Mails schreiben. Kooperationen oder Kongressbesuche mit bestimmten Nationen sind nur noch eingeschränkt möglich. Nachdem ich einen Kongress in Peking besucht hatte, wurde ich auch schon zu einem «Sensibilisierungsgespräch» mit den Behörden eingeladen.

#### **Wo ist das Problem?**

Die Leute wissen nicht, wie akademische Spitzenforschung funktioniert. Ich kann nun in gewissen Ländern und mit gewissen Leuten nicht mehr über meine Forschung reden. Dies, obwohl alle meine Studien bereits veröffentlicht und allgemein zugänglich sind. Es ist absurd! Ich bin den Steuerzahlern gegenüber zu einer offenen Forschung verpflichtet – ebenso die Universitäten, die den «Open Access» propagieren. Wir sind keine Geheimnisträger. Wir machen theoretische Grundlagenforschung, angetrieben von wissenschaftlicher Neugier, und dazu gehört unbedingt der offene Austausch.

Fairerweise muss ich sagen, haben wir auch eine Weile von den geopolitischen Spannungen profitiert. Vorher haben die USA immer die besten Köpfe der Welt angezogen. Diese Leute kamen dann unter anderem zu uns. Mittlerweile sind die USA wieder offener und betreiben gezielte Selektion, um sich nicht zu schaden. Leider hinken wir jetzt wieder hinterher.

#### **Ein Forscher wie Sie wäre auch in einem anderen Land auf dem Radar der Politik.**

Da haben Sie recht. Ich höre Ähnliches auch von Kollegen überall auf der Welt. Allerdings bin ich davon ausgegangen, dass wir in der Schweiz – auch wegen unserer Neutralität – Werte wie die Forschungsfreiheit hochhalten. Zurzeit etablieren wir hingegen eine politisierte Denke und Mechanismen, die sich immer weniger von den Ländern unterscheiden, von denen wir uns distanzieren wollen. Die Schweiz ist auf vielen Ebenen zu einem Spielball geworden – neuerdings auch in der Wissenschaft. Das betrübt und verärgert mich.

**Wo auf der Welt kämen Sie als Quantenforscher in den Genuss der grössten Freiheit?**

Generell in grossen Staaten, die mit ihrer Exzellenz an die Spitze drängen. Konkret: USA, China, aber auch Öl-Staaten, die hier ihre Chance sehen.

**Ihr Institut wurde nach 4-jährigem Mitwirken aus dem EU-Forschungsprogramm «Quantum Flagship» hinauskomplimentiert.**

Ja, auch hier wurden wir zum Spielball der Politik. Aus wissenschaftlicher Sicht ist das kein Desaster. Aber es ist kein gutes Gefühl. Solch sachfremde Nadelstiche sind eines Partners unwürdig. Ich bin in der komfortablen Lage, dass ich mein Gebiet etabliert habe. Für Nachwuchsforscher ist die Situation aber belastend.

**Kriegen Sie die besten Leute?**

Bis jetzt immer, ja. Aber mit den Einschränkungen sehe ich das in Gefahr. Die Schweiz schadet sich selbst. Quantum ist auch ein Kampf um die besten Köpfe.

**Wie behauptet sich die Schweiz?**

Die Schweiz ist gut aufgestellt. Es gibt eine lebendige Start-up-Szene, u.a. in der Mess- und Kommunikationstechnik. In der Weltliga spielen sicher ETH, IBM, PSI und das NCCR in Basel. Die EPFL ist stark in der Software. Wir spielen gut mit, aber wir werden bei den kommerziellen Durchbrüchen wahrscheinlich nicht dabei sein. Dafür wird vom Bund schlicht zu wenig investiert. Umso wichtiger sind private Investoren wie Thomas Staehelin bei Uptown Basel (siehe Interview Seite 98). Hier entsteht ein Quantencomputing-Hub hin zum Anwender. Das ist einzigartig, nicht nur in der Schweiz. Wir betreiben auch gemeinsame Projekte, u.a. im medizinischen Bereich. Das ist sehr vielversprechend.

**Wie viele Menschen gibt es, die verstehen, was Sie genau machen?**

Das habe ich mir noch nie überlegt. Es gibt einen berühmten Spruch von Nobelpreisträger und Physiker Richard Feynman: «Wenn jemand sagt, er habe die Quantenmechanik verstanden, dann ist die einzige Information, die man daraus ableiten kann, die, dass diese Person lügt.» So gesehen versteht niemand, was ich mache. Ich auch nicht. *(lacht)*

**Schauen Sie die amerikanische Sitcom «The Big Bang Theory»?**

Ja. Vor allem die frühen Folgen waren recht unterhaltsam, gut beobachtet und wissenschaftlich akkurat. Zu meiner Freude kam auch die Quantenmechanik regelmässig darin vor. ♦

**Daniel Loss**

ist Professor für theoretische Physik an der Universität Basel und ein führender Experte auf dem Gebiet der Quanteninformation und Festkörperphysik.

**QUANTEN-START-UPS**

**Skalierung einfach(er) gemacht**

*Zurich Instruments entwickelt Messinstrumente, um die empfindlichen Quantenprozessoren besser zu steuern.*

Quantencomputer sind für ihre enorme Rechenleistung bekannt. Das Problem: Die Qubits, also die Grundbausteine von Quantencomputern, reagieren extrem empfindlich auf äussere Einflüsse wie Temperatur oder Strahlung.

Deshalb entwickelte das ETH-Spin-off Zurich Instruments Mess- und Kontrollsysteme zum Auslesen und Steuern von Qubits. Die Technologie ermöglicht Forschern und Ingenieuren eine bessere Kontrolle über empfindliche Quantenprozessoren. Das Unternehmen wurde 2008 von Sadik Hafizovic, Flavio Heer und Beat Hofstetter gegründet. Heute beschäftigt das Unternehmen 170 Mitarbeiter und hat seinen Sitz im Zürcher Technopark; weitere Standorte befinden sich in Deutschland, China, den USA, Frankreich, Südkorea, Japan und Italien. 2021 wurde die Firma vom Technologiekonzern Rohde & Schwarz aufgekauft.

Vorzeigeprodukt ist das Quantum Computing Control System (QCCS), das seit 2018 auf dem Markt ist. Es wurde entwickelt, um über 100 Qubits zweierlei Arten zu steuern: supraleitende Qubits – winzige elektrische Schaltkreise, die bei extremer Kälte ohne Widerstand Strom leiten – sowie Spin-Qubits, die Eigenschaften von Elektronen nutzen, um Informationen zu verarbeiten und zu speichern. Die zugehörige Software LabOne Q stellt das Softwareframework für das Quantencomputing bereit und vereinfacht damit die Integration in übergeordnete Softwareebenen.

Die Technologie von Zurich Instruments leistet also einen Beitrag zur einfacheren Skalierung der Rechenleistung von Quantencomputern. Von diesen präzisen Kontroll- und Messsystemen profitieren sowohl Forschungseinrichtungen als auch Unternehmen, die dadurch ihre Quantencomputer effizienter entwickeln und somit schneller für ihre Nutzer bereitstellen können. ♦

**Michael Straumann**

ist redaktioneller Mitarbeiter dieser Zeitschrift.

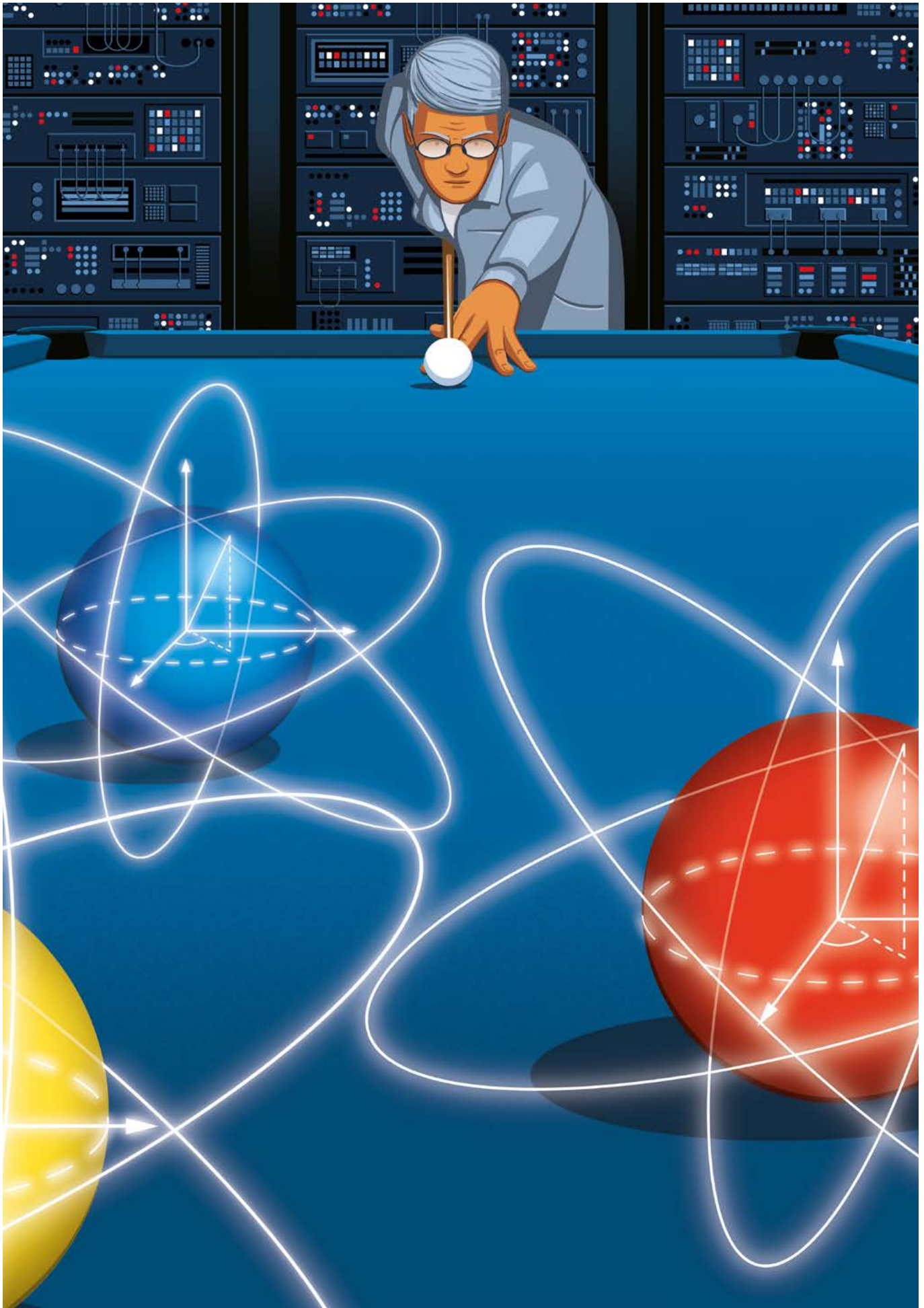


Illustration von Stephan Schmitz.



# Exponentiell im Vorteil

Alexandra Beckstein, zvg.

Das Zusammenspiel der beiden Schlüsseltechnologien Quantum und künstliche Intelligenz wird bisher verborgene Kräfte freisetzen.

Doch wir müssen darüber reden, wer die Verantwortung für die Resultate trägt.

von **Alexandra Beckstein**

«**E**s scheint, als habe die Zukunft begonnen», schrieb der Physiker John Preskill 2019 und bezog sich damit auf die heraufziehende Ära des Quantencomputing. Fast sechs Jahre später wirkt das wie eine Untertreibung. Seitdem hat sich die Quantentechnologie in rasanten Entwicklungsschritten von einem abseitigen, experimentellen Feld in einen globalen Wettlauf um Macht, technologischen Vorsprung, Zugang zu den Zulieferindustrien und um eine wirtschaftliche Vorreiterrolle entwickelt.

Weltweit versuchen Staaten und Unternehmen ihre Vorreiterrolle auszubauen, mit einem Investitionsvolumen von bisher mehr als 40 Milliarden Dollar. Jedes Jahr werden neue Unternehmen gegründet, die Quantentechnologien zur Marktreife bringen möchten, wobei die geringe Anzahl der Neugründungen zeigt, dass Quantentechnologien ein hohes Mass an vorangehender Forschung und Entwicklung benötigen. Weltweit gibt

es nur etwa 400 Start-ups, die in den letzten beiden Jahren einen bedeutenden Wertzuwachs verzeichnen konnten. In den letzten Jahren sind 11,5 Milliarden Dollar private Investorengelder in diese Firmen geflossen, das meiste davon in den letzten fünf Jahren. Damit unterstützen sie eine Branche, der eine durchschnittliche jährliche Wachstumsrate von rund 35 Prozent prognostiziert wird.

## **Radikale Neuausrichtung**

Sprechen wir über Quantentechnologie, sprechen wir nicht nur über eine Weiterentwicklung oder Verbesserung bestehender Technologien, sondern über eine radikale Neuausrichtung der Prinzipien, auf denen diese Technologien beruhen. Wir sprechen über Technologien, die quantenmechanische Prinzipien nutzen, also das Verhalten der kleinsten Elementarteilchen, aus denen Materie zusammengesetzt ist. Ihr Verhalten ist kontraintuitiv zu unserer täglichen Wahrneh-

«Unsere Daten werden bereits jetzt gestohlen, um sie später, wenn Quantencomputing zum Standard geworden ist, in Sekundenschnelle zu entschlüsseln.»

Alexandra Beckstein

mung und wird doch bereits wirtschaftlich wertstiftend genutzt in Anwendungen in der Kommunikation, der Sensorik und im Computing.

Will man das Potenzial eines Quantencomputers verstehen, ist es hilfreich, die Unterschiede von Determinismus und Wahrscheinlichkeit zu verstehen. Während klassische Computer deterministisch arbeiten, also bei identischer Eingabe stets das gleiche exakte Ergebnis liefern, liefert der Quantencomputer ein wahrscheinliches Ergebnis. Durch das Nutzen von quantenmechanischen Eigenschaften der Recheneinheiten (der QuantumBits) berechnet der Quantencomputer ganze Wahrscheinlichkeitsräume simultan, um ein Ergebnis zu liefern. Den grössten Nutzen davon hat man, wenn man Berechnungen über die Natur oder von komplexen Systemen anstellen möchte, zum Beispiel, ob ein spezifisches Medikament bei einer bestimmten Erkrankung wirksam ist, welche Investmentstrategie die Rendite unter volatilen Marktbedingungen maximiert oder

welcher Weg die Lieferzeit minimiert, wenn unzählige Variablen berücksichtigt werden müssen.

Ein Quantencomputer liefert keine eindeutige Lösung, sondern ein Spektrum an Möglichkeiten, aus denen er die wahrscheinlichste oder effizienteste Option identifiziert. Er spiegelt damit die Komplexität unserer Welt weitaus besser wider als klassische Rechner. Keine andere Aussage wie die des amerikanischen theoretischen Physikers und Nobelpreisträgers Richard Feynman 1981 erklärt die Tragweite dieser Unterscheide zwischen klassischen Berechnungen und Quantenberechnungen passender: «Die Natur ist nicht klassisch, und wenn man eine Simulation der Natur machen will, sollte diese besser quantenmechanisch sein.»

Erst in den 1990er-Jahren wurden erste Versuche unternommen, Quantencomputer zu bauen, zeitgleich mit der Entwicklung erster Algorithmen, die zeigten, dass Quantencomputer eine praktische Anwendung mit exponentiellem Geschwindigkeitsvorteil gegenüber klassischen Computern haben könnten. Klassische Computer stossen an ihre Grenzen, wenn sie versuchen, Quantensysteme nachzubilden, da sie nicht für diese Art von Berechnungen ausgelegt sind. Quantencomputer hingegen, die selbst auf Quantenprinzipien basieren, sind ideal für solche Aufgaben.

#### Geopolitisches Machtinstrument

Doch Quantentechnologien sind schon lange nicht mehr nur eine Frage wissenschaftlicher Neugier, sondern ein strategisches geopolitisches Machtinstrument, das durch das Zusammenspiel mit der bahnbrechenden Entwicklungsgeschwindigkeit von künstlicher Intelligenz (KI) an Bedeutung gewinnt. Das gesamte Potenzial von Quantum und KI wie auch die Möglichkeiten, die sich aus ihrem Zusammenspiel ergeben, sind noch nicht ganz verstanden. Wie man aus den ersten Handys die Apps noch nicht erahnen konnte, so kann man auch heute wenig darüber sagen, wie genau Quantencomputing in Zukunft genutzt werden wird.

Was wir aber bereits wissen, ist, dass es bestehende digitale Verschlüsselungsmethoden obsolet machen wird. Unsere Daten, die wir vermeintlich geschützt wissen, werden bereits jetzt gestohlen, um sie später, wenn Quantencomputing zum Standard geworden ist, in Sekundenschnelle zu entschlüsseln. Regierungen und Geheimdienste sind aufgrund des Vorgehens «Ernte jetzt, entschlüssle später» in einen Wettlauf um die Überlegenheit in der neuen Technologie getreten. Um zu reüssieren, gilt es, in der Skalierung der Rechenleistung die Fehler bei der Berechnung kleinzuhalten. Ende 2024 hat die Ankündigung von Googles neuem Chip, der genau das verspricht, nicht nur die Aktienmärkte verrücktspielen lassen, sondern auch in der akademischen Gemeinschaft grosses Interesse ausgelöst.

Schon jetzt stossen klassische Computer beim Umgang mit den Daten grosser KI-Modelle an ihre Grenzen. Quantencomputing bietet das Potenzial, komplexere KI-Modelle präziser

# «Die Geschichte zeigt, dass technologische Entwicklungen oft schneller voranschreiten als unser Verständnis ihrer Konsequenzen.»

Alexandra Beckstein

und schneller zu verarbeiten. Die Kombination von Quantencomputing und KI würde nicht nur die Berechnungen effizienter machen, sondern auch Modelle ermöglichen, die bislang aufgrund ihrer Komplexität nicht realisierbar waren. Die Beeinflussung dieser beiden Technologien geht in beide Richtungen: Quantentechnologie beeinflusst KI – und KI beeinflusst Quantentechnologie.

Von der KI versprechen wir uns vor allem, dass sie dabei unterstützt, Rechenoperationen in einem Quantencomputer zu automatisieren und zu optimieren. Davon sind wir nicht weit entfernt. Probleme gibt es allerdings bei der Entwicklung stabiler Recheneinheiten, den Qubits. Dank KI könnten leistungsfähigere Quantenalgorithmen entwickelt werden sowie fehlerfreie Quantensysteme: Sie sind schneller und robuster und rascher einsatzfähig für den Einsatz zur Simulation von Molekülen, Finanzmodellen oder in der Prozessoptimierung.

## Neue Materialien und Medikamente

Die Entwicklung in die andere Richtung ist aber fast interessanter: wenn Quantenrechner fehlerfrei funktionieren und immer grössere KI-Modelle berechnen können – auf Sprache basierend (Large Language Models) und auf Zahlen basierend (Large Quantitative Models). Die Anwendungsfälle einer KI mit oder ohne Einbezug eines Quantencomputers bleiben gleich. Aber die Geschwindigkeit und die Genauigkeit der Modelle ändern sich dramatisch.

Möchte man zum Beispiel Klimasimulationen durchführen, erfordert dies zahlreiche miteinander verknüpfte Variablen. Aktuelle Modelle sind oft durch die Rechenkapazitäten klassischer Supercomputer begrenzt. Doch Quantencomputer könnten komplexe Modelle wie Klimamodelle effizienter berechnen und somit genauere Vorhersagen oder effizientere **Klimaschutzstrategien** ermöglichen. Auch könnte die präzise Simulation von Quantensystemen in der Chemie oder der Pharmazie für klassische Computer ressourcenintensiv und unpraktikabel

sein. Durch direkte Nachbildung der Quantenmechanik auf einem Quantencomputer ist es jedoch direkt möglich, Molekülstrukturen und chemische Reaktionen effizienter zu simulieren, was neue Produkte in der Materialwissenschaft und Pharmazie verspricht.

Der Einsatz von Quantencomputern verspricht die Limitationen eines klassischen Computers zu umgehen, die Prozesse der KI somit erheblich beschleunigen zu können und deren Genauigkeit zu verbessern. Wir sprechen von einer Beschleunigung der Prozesse in einem Masse, dass wir Berechnungen durchführen können, die mit klassischen Computern nur in mehreren Lebzeiten möglich wären.

## Ein ethisches Quantenfundament

Auf den Technologien der Medikamentenentwicklung basiert auch die Entwicklung biologischer Waffen, und mit der Technologie medizinischer Quantumsensoren können Waffen für die Kriegsführung eingesetzt werden. Deshalb braucht unsere Gesellschaft ein ethisches Fundament, das sicherstellt, dass die durch Quantentechnologie ermöglichte Macht zum Wohle der Gesellschaft eingesetzt wird und allen auf dem Globus zugänglich ist. Unsere demokratische Gemeinschaft braucht einen Fokus auf Bildung an Schulen und Universitäten, die nicht nur technisches Wissen vermitteln sollen, sondern auch die philosophischen und ethischen Fragen dieser neuen Ära diskutieren.

Wir Forscher, Entwickler, Finanzierer und Förderer müssen uns bewusst sein, dass wir ein Teil der Entscheidung sind, ob diese Technologien die Menschheit voranbringen oder bestehende Ungleichheiten vertiefen. Die Geschichte zeigt, dass technologische Entwicklungen oft schneller voranschreiten als unser Verständnis ihrer Konsequenzen.

Nicht Machtkämpfe, sondern verantwortungsbewusste Forschung, ethische Leitlinien und internationale Zusammenarbeit sollten Priorität haben in dieser Epoche des Fortschritts. Kein einzelnes Unternehmen und kein Staat kann die gesamte Komplexität von Quantentechnologien allein bewältigen. Statt eines Wettrüstens benötigen wir Netzwerke des Wissensaustauschs und der Zusammenarbeit.

Vielleicht sollten wir uns an der Quantenmechanik selbst ein Beispiel nehmen: Der Determinismus prägte über Jahrhunderte das wissenschaftliche Weltbild als Modell einer berechenbaren, vorherbestimmten Welt. Demgegenüber steht die quantenmechanische Wahrscheinlichkeit für Offenheit und für Ungewissheit. Im Gegensatz zur deterministischen, abgeschlossenen und rigiden Welt lässt eine probabilistische Welt Raum für Zufall, für Kreativität, für neue Möglichkeiten, die nicht streng aus der Vergangenheit hervorgehen. ♦

**Alexandra Beckstein**

ist Gründerin und CEO von QAI Ventures.



Illustration von Stephan Schmitz.

# «Ich habe den coolsten Job der Welt»

Ein Tag im Leben von Frederik Flöther: Als Chief Quantum Officer trägt er zwei Hüte – einen Forschungshut und einen strategischen Businesshut.

von **Fabian Gull**

**E**in wenig Ehrfurcht begleitet mich schon auf dem Weg zu meiner Verabredung mit Frederik Flöther von Quantum Basel. Immerhin sind dies meine ersten Gehversuche in der wunderlichen Welt dieser unfassbaren, geradezu störrischen Quanten, von denen man nie genau weiss, wo sie sich gerade aufhalten und was sie machen.

Frederik Flöther, 35, hat einen ungewöhnlichen Jobtitel: Chief Quantum Officer (CQO). Doch was genau macht ein CQO? Das will ich herausfinden, in Arlesheim. Die schmucke Gemeinde vor den Toren Basels ist vor allem für ihren barocken Dom und die grösste englische Gartenanlage der Schweiz – die Ermitage – bekannt, als exklusive Wohnlage auch. Immer öfter wird die Baselbieter Gemeinde auch im Zusammenhang mit der möglicherweise bevorstehenden «Quantenrevolution» genannt. Denn auf dem Industrieareal Uptown Basel, wo auch Flöther seit 2023 arbeitet, sollen dereinst bis zu 100 Technologiefirmen angesiedelt werden und über 2000 Arbeitsplätze entstehen. Im Zentrum: ein Hub für Quantum und KI.

## Quantum als Hobby

Der promovierte Physiker hat an der Universität Cambridge studiert, wo er sich mit photonenbasierten Quantencomputern befasst hat. Bevor er zu Quantum Basel stiess, war er über sieben Jahre bei IBM. Anfänglich habe er dort Quantum «mehr als Hobby» betrieben, bevor er dann später für KI und Quantencomputing zuständig war, insbesondere in den Bereichen Life Sciences und Gesundheitswesen.

Heute ist es Flöthers Hauptaufgabe, den Aufbau des Quanten-Campus wissenschaftlich und operativ zu begleiten und die Firma zum Erfolg zu führen. «Ich trage zwei Hüte – einen Forschungshut und als stellvertretender CEO auch einen strategischen Businesshut», erklärt Flöther. Als oberster «Herr der Quanten» im Haus ist er auch um die technologische Exzellenz besorgt, berät Firmen oder kümmert sich um die vielen Partnerschaften. Oft tut er dies zusammen mit dem CEO Damir Bogdan. Die beiden sind ein eingespieltes Doppel: Bogdan der «Aussenminister» und Netzwerker, Flöther das wissenschaftliche Gewissen.

«Die Vielfalt in meiner Arbeit an der Schnittstelle von Wissenschaft, Technik und Anwendung ist einzigartig. Ich habe wirklich den coolsten Job der Welt», sagt Flöther und strahlt übers ganze Gesicht. Sein Quantenteam entwickelt Quantenalgorithmen für Firmen, Start-ups und Universitäten mit industriespezifischen Problemen und bringt diese auf Quantencomputern zum Laufen, dort also, wo Algorithmen ihre Rechenwunder vollbringen.

## Sofortiger Profit nicht oberste Priorität

Vergangenen November wurde hier der erste kommerziell nutzbare Quantencomputer der Schweiz in Betrieb genommen, was national und international für Schlagzeilen sorgte. Hergestellt wurde er von der amerikanischen Firma IonQ. «Bei komplexen Aufgaben sind Quantencomputer manchmal klar im Vorteil, da sie Lösungsmöglichkeiten simultan bearbeiten können. Zukünftige Quantencomputer sind somit hoffentlich schneller, genauer und energieeffizienter», erklärt Flöther. Es sei jedoch noch ein weiter Weg. Die Industrie befinde sich in einer frühen Phase. Das Quanten-Kompetenzzentrum soll dabei technologieagnostisch sein; ein neutraler Hub also, der auf verschiedene Technologien und Hersteller von Quantencomputern setzt.

Kurzer Boxenstopp an der Kaffeemaschine. Diese benötigt einen Service, und gleich mehrere Quantenexperten kümmern sich rührend um das bedürftige Gerät. Vorerst jedoch ohne Erfolg. Wie tröstlich, denke ich im Stillen, dass auch «Quantenmenschen» mit ihren beeindruckenden Lebensläufen hin und wieder an ganz normalen Problemen scheitern.

Flöther ist im ostdeutschen Zwickau geboren, hat dann aber kaum in Deutschland gelebt. Seine Familie zog nach der Wiedervereinigung Deutschlands in die Schweiz und ein Jahrzehnt später nach Belgien, wo Frederik eine International School nahe Antwerpen besuchte. Von dort ging es direkt zum Studium nach Cambridge.

Das Geschäftsmodell von Quantum Basel ist einfach: Einerseits erhalten Firmen exklusiven Zugang zu Quanten-Rechenkapazitäten. Andererseits werden Kunden bei der Transforma-

# «Die Vielfalt in meiner Arbeit an der Schnittstelle von Wissenschaft, Technik und Anwendung ist einzigartig.»

Frederik Flöther



Frederik Flöther, zvg.

tion ins neue Quantenzeitalter begleitet und beraten. Flöther ist überzeugt, dass das Quantenvirus dereinst fast alle Wirtschaftszweige erfassen wird. Wann und wie das der Fall sein wird, ist indes offen. Profitabilität ist wichtig, wenn auch noch in weiter Ferne. Schnellstmöglicher Profit ist nicht das vorrangige Ziel von Quantum Basel – kann es bei der offenen Ausgangslage wohl auch nicht sein.

Flöthers Tage sind oft durchgetaktet. Meetings hier, Präsentationen da, einen typischen Arbeitstag gebe es nicht. Oft sind es Treffen mit Start-ups, wo es zum Beispiel um automatisierte Bilderkennung bei Krebserkrankungen geht – selbstverständlich unter Zuhilfenahme von künstlicher Intelligenz und Quantenalgorithmen. Auch mit der Geschäftsleitung von IonQ, die gerade im Haus ist, gibt es viel zu besprechen. Die Entwicklung der nächsten Generation Quantencomputer mit zusätzlichen 28 Qubits ist bereits in Planung. Klingt nicht nach viel, ist es aber. Denn jedes zusätzliche Qubit steht für eine Verdoppelung der theoretischen Rechenleistung. Das Tempo ist hoch, der Fortschritt scheint unaufhaltsam. «Noch nie so schnell wie heute, nie mehr so langsam wie heute», lautet ein Bonmot in der Branche. Ich höre von der anvisierten «Quanten-Demokratisierung» – jeder soll Zugang zu dieser Technologie haben.

Seinen Alltag gestaltet Flöther mit dem Einbau von «Deep Work Pockets», wie er das nennt. Phasen also, in denen intensi-

ves, kreatives und ungestörtes Denken oder Schreiben stattfinden kann, das über das bloße Verfassen von E-Mails und dergleichen hinausgeht. Zugleich versucht er jeweils viele Businessmeetings an einen Strang zu legen. Oder wie er es ausdrückt: «Meine Arbeitstage bestehen aus einem «Maker Schedule» und einem «Manager Schedule».»

## **Botschafter wissenschaftlicher Exzellenz**

Flöther ist ein Morgenmensch, regelmässig beginnt er den Tag mit einem Work-out. Der Quantenflüsterer lebt mit seiner Frau in der Region Zürich und pendelt jeweils ins basellandschaftliche Arlesheim. Oft nächtigt er auch in einem nahegelegenen Hotel. Er ist passionierter Tennisspieler. Im Racketlon, einer Kombination verschiedener Schlägersportarten, war er einmal Vizeweltmeister und hat es zu nationalen Titeln in Belgien und Grossbritannien gebracht.

Flöther betreibt auch eigene Forschung, ist an diversen internationalen Projekten beteiligt und Urheber von über 40 wissenschaftlichen Arbeiten und angemeldeten Patenten. Hinzu kommen Pressearbeit, Präsentationen und Panelteilnahmen. Als eine Art Botschafter verkörpert er wissenschaftliche Exzellenz gegen aussen. Mit seiner Frau, einer promovierten Wirtschaftsinformatikerin und KI-Expertin bei SAP, arbeitet er zurzeit an einem gemeinsamen Buch rund um Ethikfragen zur KI. Vieles scheint Flöther leicht zu fallen. Eines hat er bis jetzt aber noch nicht geschafft: seinen Eltern zu erklären, was er eigentlich macht.

Was mir in Erinnerung bleiben wird, ist der spürbare Optimismus, der Wille, Probleme neu zu denken und an der Zukunft zu arbeiten, im Bewusstsein, möglicherweise an etwas Grosse, gar Weltveränderndem mitzuarbeiten. Leidenschaft und Optimismus scheinen jedenfalls zu den Grundanforderungen aller Mitarbeiter zu gehören. Es ist eine eigenartige Mischung aus Aufbruchsstimmung und gleichzeitiger Ahnungslosigkeit, wohin die Reise gehen wird. Quantum wird noch zu reden geben, auch wenn der «ChatGPT-Moment» weiterhin auf sich warten lässt. ♦

**Fabian Gull**

ist Redaktor dieser Zeitschrift.

# «Was keine Rendite bringt, ist nicht nachhaltig»

Thomas Staehelin und seine Familie investieren über eine halbe Milliarde Franken in den Industriepark Uptown Basel. Prunkstück des Areals ist der erste kommerziell nutzbare Quantencomputer der Schweiz.

Interview von **Fabian Gull**

## **Thomas Staehelin, Ihre Familie investiert über 500 Millionen Franken in Uptown Basel. Was war Ihre Motivation, das Projekt zu lancieren?**

Es war mir ein Anliegen, etwas gegen die drohende Deindustrialisierung in der Schweiz zu tun. Es ist noch gar nicht so lange her, da war das Dienstleistungsgewerbe stark im Aufschwung. Einige waren gar der Ansicht, dem Dienstleistungssektor gehöre die alleinige Zukunft. Heute sieht es wieder etwas anders aus. Uptown Basel ist ein Bekenntnis zum Industriestandort Schweiz.

## **Gab es noch andere Faktoren?**

Ich wurde auf dieses riesige Areal erstmals aufmerksam, als wir einen neuen Werkhof für ein regionales Bauunternehmen, dem ich verbunden bin, gesucht haben. Ich habe dem Kanton Basel-Land signalisiert, dass ich lieber Eigentümer als Zinszahler im Baurecht wäre. Doch der Kanton wollte das brachliegende ehemalige Industrieareal der ABB nur als Ganzes verkaufen. So haben wir mit dem Arealentwickler Hans-Jörg Fankhauser begonnen, dahingehend Ideen zu entwickeln. So kam eines zum anderen. Und ich ganz nebenbei zu einer neuen Aufgabe, die mir enorm Spass macht. In meinem Alter ist das nicht selbstverständlich (*schmunzelt*).

## **Wie sind Sie konkret vorgegangen?**

Wir haben 2016 keinen Masterplan entworfen, den wir nun abarbeiten. Ich habe aber mit meiner Frau und unseren Kindern Grundprinzipien, die Vision und Werte definiert. Wie die Industrie von übermorgen aussehen wird, ist schwer zu sagen. Einfacher ist die Frage, welche Infrastruktur sie benötigen könnten. Wir haben dann eine breite Debatte geführt und Zukunftstechnologien definiert, für die wir etwas unternehmen wollen. Im

Fokus stehen Cybersicherheit, virtuelle Realität, Robotik, Internet der Dinge, E-Mobilität oder 3D-Druck. Wir wollten von Anfang an technologieoffen sein und auf verschiedene Standbeine setzen. Mit der Abwärme unserer Rechner werden wir übrigens bis zu 20 000 Haushalte heizen. Auch können die Gebäude eines Tages zerlegt und weitgehend wiederverwendet werden.

## **Sie haben die Quantentechnologie nicht erwähnt. Wann haben Sie zum ersten Mal von Quantencomputern gehört?**

Genau weiss ich das nicht mehr. Sicher haben wir uns 2016 im Rahmen der Digitalisierungsdebatte damit befasst. Damals dachten wir allerdings, dass Quantencomputer vielleicht irgendwann nach 2030 einmal zum Thema werden könnten (*lacht*). Die wahre Bedeutung erkannte ich erst, als der Physiknobelpreis 2022 an drei Quantenforscher verliehen wurde. Heute bin ich davon überzeugt, dass es in der Zukunft nicht viele Industrien geben wird, die nicht davon betroffen sein werden.

## **Was hat denn der Nobelpreis bei Ihnen ausgelöst?**

Eine enorme Dynamik! Wir entschieden, gezielt auf Quantenindustrie und KI zu setzen, was zur Gründung der Firma Quantum Basel führte. 2024 ging dann der Physiknobelpreis an John Hopfield und Geoffrey Hinton, die für ihre Pionierarbeit im Bereich der künstlichen neuronalen Netzwerke ausgezeichnet wurden. Ihre Forschung bildet die Basis für das maschinelle Lernen, das ein zentraler Bestandteil moderner KI ist. Quantum Basel ist als Kompetenzzentrum für Quantencomputing und KI daher bestens aufgestellt. Wir sind eine Art feuchter Waldboden, und seither spriessen die Pilze. In diesem Zusammenhang wurde auch die Firma QAI Ventures als Schwestergesellschaft von Quantum Basel gegründet. Sie soll als eine Art positiver «Brand-

«Es braucht eine faire Partnerschaft zwischen Bürger und Staat. Ein Geben und ein Nehmen. Ich für meinen Teil bin zum Geben bereit.»

Thomas Staehelin



Thomas Staehelin, zvg.

beschleuniger» daran arbeiten, ein Ökosystem für Quanten- und KI-Start-ups zu schaffen.

#### Wie läuft diese Förderung konkret?

Interessierte Start-ups können sich einer internen Auswahlkommission präsentieren. Bei einer Aufnahme erhalten sie 200 000 Franken. Die Hälfte «in-kind», die sie sich zum Beispiel für Beratungen anrechnen lassen können, die andere Hälfte in Cash. Wir als Uptown Basel erhalten im Gegenzug Firmenanteile. Zurzeit sind wir auch daran, einen Fonds einzurichten, welcher erfolgreiche Start-ups mit zusätzlichem Kapitalbedarf bedienen soll.

#### An wie vielen Firmen ist Uptown Basel zurzeit beteiligt?

Über QAI Ventures sind wir an über 15 Top-Start-ups aus der ganzen Welt beteiligt. Zum Beispiel an Kipu Quantum aus Deutschland, Multiverse aus Spanien oder Wave Photonics aus Grossbritannien.

#### Wie abhängig sind Sie von einzelnen Firmen oder Technologien?

Gewisse Abhängigkeiten gibt es immer, klar. Bei Quantencomputern setzen wir bewusst auf verschiedene Technologien und die Zusammenarbeit mit unterschiedlichen Herstellern. Der

neuste Quantencomputer hier im Haus wurde beispielsweise von der amerikanischen Firma IonQ hergestellt, die nun auch ihren Europasitz bei uns hat. Es handelt sich um den ersten kommerziell nutzbaren Quantencomputer der Schweiz. Quantum Basel ermöglicht seinen Kunden so einen exklusiven Zugang zu diesem Computer für deren komplexe Berechnungen. Der Rechner läuft übrigens in einer rein schweizerischen Cloud-Umgebung und ist damit unabhängig. Auch haben wir ein eigenes Unterwerk für die Versorgung mit Strom. Damit sind wir nicht so leicht «abschaltbar». Das ist wichtig.

#### Investieren Sie die halbe Milliarde eigentlich «à fonds perdu»?

Meine Familie betreibt mit Uptown Basel ganz klar keine Philanthropie. Wir streben stattdessen die sogenannte «Enkelfähigkeit» an. Profitieren soll also nicht ich, meine Frau oder unsere Kinder, sondern die übernächste Generation, also unsere fünf Enkel. Eine philanthropische Finanzierung wäre für diese Art von Tätigkeit auch nicht sinnvoll. Wir wollen im globalen Wettbewerb und langfristig bestehen können.

#### Was braucht es, damit Uptown Basel ein Erfolg wird?

Aus Investorensicht ist die Rentabilität ein langfristiger Erfolgsfaktor. Was keine Rendite bringt, ist letztlich nicht nachhaltig.

Auch die Durchmischung der angesiedelten Unternehmen und Industrien ist wichtig. Wir setzen auf Quantencomputer und künstliche Intelligenz, aber nicht ausschliesslich. Mir war es stets wichtig, in der Ausrichtung flexibel zu bleiben. Es ist unsere Strategie, etablierte Firmen mit Start-ups zusammenzubringen.

## **Welche Rolle spielt die Schweiz im Bereich Quantencomputer?**

Wir haben herausragende Wissenschaftler, Firmen und Institutionen. Zum Beispiel das Paul-Scherrer-Institut, die ETHs, IBM oder Quantum Basel. Ich bin der Ansicht, dass der Staat bei der Quantentechnologie und bei der Bildung mehr machen sollte. Verstehen Sie mich richtig, ich rede nicht von mehr Geld für uns, sondern für die Schweiz, um international mithalten zu können. Im Vergleich zu den USA, China und auch Europa, und vor allem gemessen an den eigenen Möglichkeiten, liegt die Schweiz bei der staatlichen Unterstützung im Quantenbereich klar zurück. Andererseits bin ich auch der Meinung, dass die Schweiz eigentlich gar keine Industriepolitik betreiben sollte.

## **Ist das nicht ein Widerspruch?**

Nun, es ist stets ein Abwägen. Wir sollten auch bei der Regulierung situativ und mit Augenmass handeln. In einem sich derart rasch verändernden Umfeld sollte man weder das eine noch das andere als Dogma predigen.

## **Wie haben Sie die Verwaltung in diesem Projekt wahrgenommen?**

Sehr positiv. Sowohl auf Stufe des Kantons Baselland wie auch in der Gemeinde Arlesheim. Besonders gefreut hat mich, dass die Gemeindeversammlung Arlesheim dem revidierten Quartierplan mit 84 Prozent zugestimmt hat und somit voll hinter uns steht.

## **Frage an den Juristen: Ist der Bereich Quantencomputing eigentlich schon überreguliert?**

Ich kann das nicht abschliessend beurteilen. Aber wir beobachten in der Europäischen Union schon eine Tendenz, insbesondere die Bereiche Quantencomputing und KI stark zu regulieren. Auch Datacenter aufzubauen, wird in Europa immer schwieriger, vor allem wegen der vielen Umweltauflagen betreffend Stromverbrauch und Abwärme. Hier kann die Schweiz es besser machen.

## **Wie wichtig sind strategische Partnerschaften?**

Die sind für den Aufbau eines Quantenökosystems sehr wichtig. Zugleich wollen wir aber offen für andere Technologien sein und somit anpassungsfähig bleiben. Denken Sie nur an die chinesische App DeepSeek, die völlig unerwartet aufgetaucht ist. Solche Ereignisse, die ganze Industrien durchschütteln, wird es immer wieder geben. Deshalb müssen wir flexibel bleiben, sowohl bei der Infrastruktur wie auch vor allem in unseren Köpfen.

## **Welche Erwartungen haben Sie an den Staat?**

Da bin ich klassisch unterwegs. Ich erwarte eine aktive, partnerschaftliche Rolle des Staates. Das beinhaltet möglichst optimale Rahmenbedingungen und Unterstützung, um Ideen und Projekte zu realisieren. Ich spreche nicht von Geld, sondern über die Befreiung von unsinnigen Vorschriften oder Verzögerungen. Sparen bei der Bildung, wie das bei der ETH angedacht ist, erachte ich nun wirklich nicht als besonders visionär. Ich war lange Zeit auch politisch aktiv, als Grossrat in Basel-Stadt für die LDP. Es braucht eine faire Partnerschaft zwischen Bürger und Staat. Ein Geben und ein Nehmen. Ich für meinen Teil bin zum Geben bereit.

## **Hat die Schweiz überhaupt genügend Fachkräfte, die einen Quantencomputer bedienen können?**

Auf Stufe Wissenschaft verfügt die Schweiz über herausragende Leute und Institutionen. In der Privatwirtschaft haben wir diese Leute nicht in genügendem Ausmass – erst recht nicht, um den zukünftigen Bedarf decken zu können. Deshalb haben wir mit der Fachhochschule Nordwestschweiz einen Lehrstuhl für Quantencomputing auf die Beine gestellt, wo wir uns für die Förderung von jungen IT-Talenten engagieren.

## **Reden wir über die Schweiz. In welchem Zustand befindet sich das Land?**

Im Moment ist es schwierig. Ich empfinde den Bundesrat als führungsarm, vor allem im Hinblick auf das EU-Dossier. In Diskussionen werden heute schnell rote Linien gezogen. Unser System ist jedoch auf Diskurs und Kompromisse ausgelegt. Auch liegt der Fokus nicht immer auf dem Wesentlichen.

## **... und das wäre aus Ihrer Sicht?**

Wie sich die Schweiz und die Wirtschaft weiterentwickeln sollen, damit wir unseren Wohlstand sichern und ausbauen können. Unser Wohlstand ist nicht gottgegeben, sondern muss jeden Tag hart erarbeitet werden. Ich sehe diese Aussage auch im Konflikt mit der grassierenden Teilzeit-, Homeoffice- und Freizeitmentalität. So hat zum Beispiel der Freizeitverkehr der SBB an Freitagen seit Covid stark zugenommen. Klar, die Gesellschaft ändert sich und man will offen und flexibel sein. Doch langfristig ist das keine gute Tendenz.

## **Stichwort EU-Rahmenabkommen, Sie waren lange Präsident der Handelskammer beider Basel (HKBB). Die gegenwärtige Präsidentin der HKBB, Nationalrätin Elisabeth Schneider-Schneiter, ist eine dezidierte Befürworterin einer institutionellen Anbindung an die EU. Sehen Sie das auch so?**

Ich teile diese Ansicht vollständig. Wir müssen einen «Modus Vivendi» finden. Ein solcher muss periodisch angepasst und wahrscheinlich dynamisiert werden. Die Diskussionen um einen Souveränitätsverlust halte ich für übertrieben und nicht vorwärtsgerichtet. Ich will auch keinen Souveränitätsverlust, deshalb will ich auch nicht in die EU. Zu gewissen Einschränk-

kungen bei der demokratischen Mitsprache bei selektiven Abkommen bin ich zugunsten der Vorteile für die Wirtschaft jedoch bereit.

**Wie nehmen Sie die jüngeren Generationen wahr?**

Was ich hier bei Uptown Basel, am Europa-Institut, das wir nach dem EWR-Nein gegründet haben, und bei vielen anderen meiner Engagements sehe, stimmt mich positiv. Ich sehe viele engagierte, junge Leute.

**Haben Sie einen Wunsch an jüngere Generationen?**

Ich wünsche mir offene, aktive junge Menschen, die in der Lage sind, Chancen zu erkennen. Und dass man den Diskurs mit älteren Generationen pflegt.

**Sie waren rund 50 Jahre im Verwaltungsrat des Logistikkonzerns Kühne & Nagel. Es ist vorgesehen, dass Sie dereinst das auf 30 Milliarden Franken geschätzte Stiftungsvermögen von Klaus-Michael Kühne verwalten werden.**

Ich begleite Herrn Kühne seit 50 Jahren in verschiedenen Funktionen. Die Stiftung gibt es seit den 1970er-Jahren und sie wird dereinst über das Vermögen von Herrn Kühne verfügen, da er keine Kinder hat. Es ist angedacht, dass ich das Präsidium dieser Stiftung von ihm übernehme. Dazu gehören auch die Beteiligungen an Kühne & Nagel, Hapag-Lloyd, Lufthansa und so weiter. Die Stiftung ist heute bereits sehr aktiv, zum Beispiel mit dem Medizin-Campus Davos, der Kühne Logistics University in Hamburg und vielem mehr.

**Sie würden somit auf einen Schlag zu einem der grössten Vermögensverwalter der Schweiz werden ...**

Nicht ich. Dazu gibt es bestehende Strukturen. Ich wäre der nichtexekutive Stiftungsratspräsident.

**Hatte das Älterwerden einen Einfluss auf Ihre Entscheidung, sich so zu engagieren?**

Sicherlich, aber es war nicht der einzige Faktor. Wenn man älter wird, wächst man aus einem Netzwerk heraus. Viele im Umfeld sterben weg oder sind inaktiv. Wahrscheinlich wäre es besser gewesen, Uptown Basel zwanzig Jahre früher zu starten. Aber nur weil man älter ist, Nein zu einer guten Idee zu sagen, ist auch nicht gut. Sie sehen also, Chancen zu erkennen gilt nicht nur für junge, sondern auch für ältere Menschen. ♦

**Thomas Staehelin**

ist Investor, Anwalt und Verwaltungsratspräsident von Uptown Basel.

**Fabian Gull**

ist Redaktor dieser Zeitschrift.

**QUANTEN-START-UPS**

## Pionier der Quantensensorik

*Qnami misst Magnetfelder mit hoher Präzision. Das Verfahren kann in Mikroskopen und Speichermedien angewendet werden.*

**Was haben Diamanten und Satelliten gemeinsam?**

Beide sind imstande, bei der Navigation zu helfen. Anders als GPS-Satelliten, die auf einem Zeitsignal basieren, bedient man sich bei der Nutzung von Diamanten des Mechanismus der sogenannten Quantensensorik, um den magnetischen Fingerabdruck der Erde zu messen.

Auf diesen Bereich hat sich Qnami spezialisiert, ein Spin-off der Universität Basel, das 2017 von Felipe Favaro, Alexander Stark, Mathieu Munsch und Patrick Maletinsky aus der Taufe gehoben wurde. Das Start-up nutzt spezielle Defekte in synthetischen Diamanten, sogenannte Stickstoff-Fehlstelle-Zentren, um Magnetfelder mit hoher Präzision messen zu können. Qnami, dessen Sitz sich in Muttenz befindet, zählt 15 Mitarbeiter.

2019 brachte das Unternehmen sein erstes Mikroskop auf den Markt, das die präzise Abbildung von magnetischen Feldern auf Nanoebene ermöglicht. Es stiess dabei auf hohe Nachfrage und musste die Produktion bald erweitern. Die Geräte werden in Basel gefertigt und an Kunden aus der Forschung und Industrie ausgeliefert.

Neben der Herstellung von Mikroskopen konzentriert sich Qnami auf die mögliche industrielle Anwendung ihrer Technologie. Erste erfolgreiche Anwendungen findet diese bei der Herstellung von neuartigen magnetischen Speichermedien. Diese gelten als vielversprechende Alternative zu klassischen Speichern, da sie deutlich weniger Energie benötigen. Dabei wird die Ausrichtung der Magnetfelder in diesen Speichermedien kontrolliert, um somit die Produktionsprozesse zu verbessern.

Mit der zunehmenden Nutzung von Computern und Datenspeichern wird der Energiebedarf in den kommenden Jahren stark ansteigen. Qnami sieht in der Entwicklung magnetischer Speichermedien eine Möglichkeit, ihre Quantensensoren einzusetzen, um dieses weltbewegende Problem zu lösen und schneller neuartige Technologien zu verwirklichen. ♦

**Michael Straumann**

ist redaktioneller Mitarbeiter dieser Zeitschrift.

# Der Supercomputer von Lugano

Schweizer Spitzenforscher verfügen mit dem Hochleistungsrechner Alps über einen wichtigen Motor mit nahezu unbegrenzten möglichen Anwendungen.

von **Thomas Schulthess**

**D**enken Deutschschweizer an Lugano, dann denken sie meistens an Sonne, Gelati und «dolce far niente». Dass Forscher hier auch Klimamodelle mit immer höherer Auflösung und Genauigkeit bauen, neue Materialien für effizientere Solarzellen erkunden oder Modelle des Erdinneren als Grundlage für Erdbebenfrühwarnsysteme erschaffen, ist wohl den meisten Menschen nördlich der Alpen nicht bekannt. Ebenfalls nur wenige wissen, dass die Schweizer Wetterprognosen hier berechnet werden, am Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS). Es betreibt eine Hochleistungsrechen- und Datenforschungsinfrastruktur, die Spitzenforschung in der Schweiz unterstützt und ermöglicht.

Auf seinem neuen, extrem leistungsstarken Supercomputer Alps, der im Herbst 2024 eingeweiht wurde, lassen sich mittels Simulationen virtuelle Experimente durchführen. Solche etwa, die im Labor unmöglich oder viel zu teuer wären, wie zum Beispiel das Ergründen des Ursprungs unserer Galaxie. Laborexperimente und Simulationen ergänzen sich oft auch gegenseitig und fördern gemeinsam neue Erkenntnisse zutage. So nutzen Forscher aus allen Bereichen der Naturwissenschaften – zum Beispiel Materialwissenschaften, Chemie, Astronomie, Hochenergiephysik, Umweltwissenschaften, Biologie, Gesundheitswissenschaften und Ingenieurwissenschaften – die Infrastruktur am CSCS für aufwendige Berechnungen wie Simulationen und Datenanalysen. In jüngerer Zeit spielt auch maschinelles Lernen (ML), insbesondere künstliche Intelligenz (KI), eine immer wichtigere Rolle.

Generell gelten Supercomputer als die jeweils leistungsfähigsten Allzweckrechner einer Epoche. Sie können gewaltige Datenmengen verarbeiten und nahezu alle Rechenaufgaben lösen. Ihre Leistung wächst mit dem technologischen Fortschritt stetig. So ist der neue Alps-Rechner am CSCS rund 3000-mal leistungsfähiger als das System Monte Rosa von 2009. In Eu-

ropa ist der Supercomputer Alps derzeit der zweitschnellste Rechner, weltweit der siebtschnellste. Dies aufgrund der traditionellen Benchmark, die für die Top-500-Liste genutzt wird. Berücksichtigt man auch die KI-Fähigkeiten der neusten Prozessoren in Alps, steigert sich die Leistung nochmals um rund einen Faktor 30.

## Ziehen am selben Strang: Super- und Quantencomputer

Allerdings gibt es Aufgaben, bei denen der Rechenaufwand exponentiell mit der Grösse des Problems wächst. Solche Fragestellungen werden sich auch durch künftige, noch leistungstärkere Generationen von Supercomputern nicht zufriedenstellend lösen lassen – was Quantencomputer ins Feld rückt. Noch sind diese im Forschungsstadium, unfassbar teuer und nicht bereit, genutzt zu werden. Aber wohl in etwa fünf bis zehn Jahren werden sie vor allem jene Probleme effizient bearbeiten können, bei denen kleine Datenmengen und exponentiell steigender Rechenaufwand zusammentreffen. Beispiele dafür finden sich in der Kryptografie oder der Quantenchemie. Letztere ist grundlegend für wichtige Bereiche wie Materialwissenschaften und Pharmakologie – beides essenzielle Industriezweige für die Schweiz.

Für die Analyse grosser Datenmengen – und damit auch für KI in ihrer heutigen Form – sind Quantencomputer dagegen ungeeignet, weil allein das Laden der Daten in den Quantencomputer schon Monate oder sogar Jahre dauern würde. Sie werden die Computerlandschaft sicherlich stark bereichern, jedoch andere Aufgaben erfüllen, als Supercomputer dies tun. Daher werden Supercomputer wie Alps auch in den kommenden Jahrzehnten eine bedeutende Rolle spielen – und wahrscheinlich erst in fünf bis zehn Jahren von Quantencomputern ergänzt, die spezifische Probleme mit exponentiell steigenden Anforderungen lösen werden.



Thomas Schulthess, zvg.

«Quantencomputer werden die Computerlandschaft sicherlich stark bereichern, jedoch andere Aufgaben erfüllen, als Supercomputer dies tun.»

Thomas Schulthess

in ein regionales, hochauflösendes Modell für den Alpenraum eingespeist. Dieses Modell wird durch bestimmte Daten eines globalen, allerdings weniger hochauflösenden Modells des Europäischen Zentrums für mittelfristige Wettervorhersagen (ECMWF) in Bologna ergänzt. Aus dem hochauflösenden Modell entstehen wiederum Daten, die in der Schweiz für Wettervorhersagen genutzt werden, beispielsweise von Skyguide für die Überwachung des Schweizer Luftraums.

### Massgeschneidert für die Forschung

In der Welt der Supercomputer führt das CSCS nun mit Alps eine neue Systemarchitektur ein, die man sich wie eine Cloud vorstellen kann. Sie lässt sich in verschiedene Partitionen aufteilen, die für bestimmte Anwendungsbereiche gezielt konfiguriert werden. Denn nicht alle Anwender haben die gleichen Anforderungen: Die einen benötigen ordentlich Datenspeicher, andere sind vor allem auf einen schnellen Datenaustausch zwischen Speicher und Computerchip angewiesen. Die einen führen über Wochen hinweg riesige Simulationen durch, andere dafür Sets aus Tausenden kleiner Rechnungen. Mit Alps nun lassen sich für jeden Anwendungs- und Forschungsbereich passgenau massgeschneiderte Partitionen einrichten – was Alps bislang weltweit einzigartig macht.

Eine dieser Partitionen ist für die Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Meteorologie und Klimatologie (MeteoSchweiz) reserviert. Darin baut und betreibt das CSCS die Systeme, auf denen die Wettervorhersagen laufen. Man kann sich das folgendermassen vorstellen: Messdaten von allen Wetterstationen in der Schweiz sowie von Satelliten und Flugzeugen werden

### Grosse KI-Modelle trainieren

Auf weiteren Alps-Partitionen laufen Datenanalysen für grosse Physikexperimente wie der Large Hadron Collider (LHC) am CERN. Die grössten Partitionen sind für die vielen Nutzer aus der akademischen Forschung und für die Schweizer KI-Initiative vorgesehen – eine Kooperation der beiden ETH-Standorte in Lausanne und Zürich mit dem Ziel, grosse KI-Modelle zu trainieren. Aktuell stehen vor allem ein grosses Schweizer Sprachmodell (Swiss-LLM, ähnlich wie bei ChatGPT) und ein multimodales Modell im Fokus. Beide sollen in unterschiedlichsten Bereichen wie Medizin, Rechtswissenschaften und Bildung eingesetzt werden. Darüber hinaus werden neu auch KI-gestützte Klima- und Wettermodelle entwickelt. Im Gegensatz zu KI-Modellen aus der Privatwirtschaft wie ChatGPT wird bei diesen Schweizer KIs transparent sein, mit welchen Daten sie trainiert werden. Damit können zum Beispiel kulturelle Vorurteile des Modells verstanden und überwunden werden. Wichtig zudem: Damit erarbeitet sich die Schweiz eigenes KI-Know-how.

Allgemein kann man sich einen Supercomputer wie Alps als einen riesigen Rechner vorstellen, der aus Zehntausenden von komplexen Prozessoren (CPU und GPU) und umfangreichen Datenspeichern besteht, die über ein Hochleistungsnetzwerk



Illustration von Stephan Schmitz.

## «Nvidia ist gerade bei der KI-Entwicklung derzeit marktführend, was Befürchtungen über ein mögliches Monopol aufkommen lässt.»

Thomas Schulthess

miteinander verbunden sind. Die neuesten GH200-Superchips von Nvidia etwa sind ausgeklügelt so gestaltet, dass CPU und GPU nahtlos zusammenarbeiten.

Für KI-Anwendungen besonders relevant sind die über 10 000 Nvidia-GPUs der neuesten Generation, die 2024 auf Alps eingeführt wurden. Bei voller Auslastung benötigt das System laufend etwa 10 Megawatt elektrische Leistung, was ungefähr so viel ist wie zwei Lokomotiven und einem Tausendstel des gesamten Stromverbrauchs der Schweiz entspricht. Mit Nvidia und weiteren Anbietern von HPC-tauglichen Prozessoren wie Intel und AMD arbeitet das CSCS seit 15 Jahren eng zusammen. So ist das Rechenzentrum, besonders was GPU angeht, bestens aufgestellt. Allerdings ist Nvidia gerade bei der KI-Entwicklung derzeit marktführend, was Befürchtungen über ein mögliches Monopol aufkommen lässt. Es gibt aber Unternehmen wie AMD, die sich technologisch auf Augenhöhe entwickeln können.

Eine grössere Herausforderung stellt das AI-Diffusion Ruling dar, das die Biden-Administration am 8. Januar 2025 veröffentlicht hat und die Einfuhr von KI-Prozessoren in die Schweiz bestimmten Einschränkungen unterstellt. Besorgniserregend ist, dass die Schweiz neben Luxemburg und Portugal zu den einzigen westeuropäischen Ländern gehört, die in dieser Hinsicht als potentiell kritisch eingestuft werden – eine Entwicklung, die zu denken geben sollte. Die wirtschaftlichen Folgen könnten erheblich sein, denn KI ist ein rasant wachsender Sektor. So werden Länder, die Importbeschränkungen für essenzielle Technologien unterliegen, unweigerlich benachteiligt.

Genauso wichtig wie Prozessoren für moderne wissenschaftliche Anwendungen und KI sind indessen die Datenspeicher: Das CSCS betreibt Speicher mit vielen Hundert Petabyte und einen mehrere Petabytes ultraschnellen Flash-Speicher, der vor allem für KI-Anwendungen genutzt wird. Zum Vergleich für den Alltagsnutzer: Ein einziges Petabyte entspricht 1000 handelsüblichen 1-Terabyte-SSD-Platten. ♦

### Thomas Schulthess

ist Direktor des Centro Svizzero di Calcolo Scientifico (CSCS) in Lugano und Professor für Computergestützte Physik an der ETH Zürich.

### QUANTEN-START-UPS

## Qubits für die breite Masse

*Terra Quantum will die Quantentechnologie kommerzialisieren und im Markt voll durchstarten.*

Gegründet wurde Terra Quantum von Markus Pflitsch, einem deutschen Quantenphysiker, der seine Forschung am CERN mit seiner 20-jährigen Erfahrung im Investmentbanking verbindet. Er und seine Mitstreiter verfolgen die Vision, mit der Quantentechnologie ein kommerzielles Geschäftsmodell aufzubauen.

Das 2019 gegründete Start-up bietet drei verschiedene Dienstleistungen an: Zum einen programmiert es Quantenalgorithmen für diverse Anwendungsgebiete. Im Investmentbanking können diese beispielsweise bei der Portfolioverwaltung zu erheblichen Kosteneinsparungen führen. Zum anderen baut Terra Quantum hybride Computer, welche die Technologie von Quanten- und klassischen Computern miteinander kombinieren, um komplexe Rechenprobleme effizienter zu lösen. Die Firma arbeitet an Quantenchips, optimiert klassische Prozessoren und bietet eine Cloud-Plattform an.

Darüber hinaus bietet Terra Quantum auch Sicherheitslösungen an, welche die Daten von Kunden vor zukünftigen Angriffen mit Quantencomputern schützen sollen und sich in bereits bestehende IT-Infrastrukturen integrieren lassen, ohne dass dabei teure Umstellungen nötig sind. Das Team umfasst rund 200 Quantenphysiker und mathematische Physiker. Der Hauptsitz befindet sich in St. Gallen und München.

Das Unternehmen hat seit seiner Gründung in mehreren Finanzierungsrunden insgesamt rund 100 Millionen US-Dollar eingesammelt, um seine internationale Präsenz weiter auszubauen. Geplant sind Niederlassungen in München sowie im Silicon Valley. In Wien gibt es seit 2022 ein Quantencomputing-Center, welches im Rahmen eines Joint Venture mit dem Computerunternehmen Novarion zustande kam. Zu den Kunden gehören Auto- und Chemieunternehmen sowie Banken, darunter die bekannten Automarken Volkswagen und Honda sowie die spanische Grossbank BBVA. ♦

### Michael Straumann

ist redaktioneller Mitarbeiter dieser Zeitschrift.

# Zukunft ist immer Risiko

Quantencomputer fordern unsere Vorstellungskraft heraus. Doch wir müssen das Udenkbare denken lernen.

von **Georges T. Roos**

**D**er Tech-Visionär, Science-Fiction-Autor und Physiker Arthur C. Clarke wird oft mit dem Satz zitiert: «Jede hinreichend fortschrittliche Technologie ist von Magie nicht zu unterscheiden.» Die Quantenmechanik ist tatsächlich eine enorme Herausforderung für unsere Vorstellungskraft: beispielsweise, dass Quanten, diese kleinsten Teilchen, sowohl Materie wie auch Welle sein können. Will man Quanten aber messen, sind sie sofort nur noch Materie oder Wellen – als ob sie merken würden, wenn wir sie beobachten. Oder dass Quantenteilchen an mehreren Orten gleichzeitig sein können. Oder dass sie mit anderen Quantenteilchen auf eine Weise verschränkt sind, dass sie – auch wenn weit voneinander entfernt – simultan auf die Veränderung des anderen Teilchens reagieren, die Information sich also schneller als mit Lichtgeschwindigkeit überträgt. Dies alles ist schwer verdauliche Kost für den Logiker.

## Die Pfadabhängigkeit unseres Weltbilds verlassen

Die Gesetze der Quantenmechanik sind kontraintuitiv, widersprechen der Newton'schen Physik und auch unserer praktischen Erfahrung – kurz: Sie stellen unsere Vorstellungskraft auf eine harte Probe. Und doch ist es Physik, doch ist es wissenschaftlich erwiesen und in Quantencomputern praktisch anwendbar.

Das Problem der Vorstellungskraft stellt sich auch, wenn wir versuchen, uns eine künftige Welt vorzustellen, die anders und besser ist als die aktuelle. Dafür müssten wir die Pfadabhängigkeit unseres Weltbildes verlassen und das Udenkbare zu denken lernen. Nicht einfach mehr (oder weniger) vom Gleichen, sondern radikal anders. Aus meiner Erfahrung als Zukunftsforscher weiss ich, dass uns das mehr überfordert als alles andere.

Quantencomputer berechnen Wahrscheinlichkeitsräume, spekulative Zukunftsforschung exploriert Möglichkeitsräume. Beiden gemeinsam ist die Opposition zum Determinismus. Es geht um Vielfalt und Offenheit anstelle von Monokausalität. In Möglichkeitsräumen der Zukunft suchen wir Antworten auf Fragen wie diese: Ist es möglich, dass wir in Zukunft anders

wirtschaften? Uns als Gesellschaft anders organisieren? Uns anders ernähren? Unsterblich sein werden?

Alternative Vorstellungen unserer Zukunft stossen auf viel Ablehnung. Sind jene, die von solchen möglichen Zukünften sprechen, weltfremde Visionäre, die nach einem Diktum des ehemaligen deutschen Bundeskanzlers Helmut Schmidt besser einen Psychiater aufsuchen sollten? Hätte Schmidt die Wissenschaftler mit ihren Visionen auch zum Psychiater geschickt? Wir können eines lernen: Nur weil etwas gegen Intuition und herkömmliche Lehre verstösst, bedeutet dies nicht zwingend, dass es nicht richtig sein kann.

## Guter Hammer, böser Hammer

Wir können die Quantenmechanik als Metapher verstehen. Wenn wir Gefangene unserer Denkmuster bleiben, diese nicht zu überwinden wagen, werden wir auch den Fortschritt nicht schaffen.

Vielleicht wird dereinst der Quantencomputer nicht nur als Metapher, sondern ganz direkt für unsere Zukunftsgestaltung von Nutzen sein – wenn er dank seiner unfassbaren Leistungsfähigkeit uns in die Lage versetzt, solch spekulative Zukünfte beispielsweise in Varianten zu simulieren und die erfolgversprechendsten Wege aus unzähligen Szenarien herauszufiltern.

Zukunft ist immer ein Risiko. Eines davon könnte die Nutzung von Quantencomputern zum Schaden der Menschheit sein. Darin ist sie nicht einzigartig: Jede Technologie – selbst der Hammer – kann zum Guten wie zum Bösen genutzt werden. Je potenter die Technologie, desto grösser ist allerdings das Risiko. Den verantwortungsvollen Umgang nimmt uns keine Technologie ab. Je mehr wir können, desto vorausschauender müssen wir handeln. Das ist Los, Schicksal und Chance der menschlichen Vernunft zugleich. ♦



**Georges T. Roos**  
ist Zukunftsforscher  
am Institut Roos Trends & Futures.