



DIGITAL ENTERPRISE SERVICES

**Einblick.
Zweiblick.
Weitblick.**

www.siemens.de/podcast-digitale-services

DAS TRANSKRIPT ZUM PODCAST

Einblick. Zweiblick. Weitblick. Digitale Services im Gespräch
Episode 17

Quantencomputing in der Praxis

Was genau ist eigentlich Quantencomputing, wozu braucht man das und wie funktioniert's? Und vor allem: Welche praktischen Anwendungen gibt es bereits und was ist in Zukunft noch zu erwarten?

Wir sprechen mit [Prof. Dr. Rainer Blatt](#), einem der weltweit renommiertesten Forscher auf diesem Gebiet, und mit [Dr. Christoph Niedermeier](#), dem Siemens-Spezialisten für die praktische Anwendung von Quantencomputern.

Viel Spaß beim Lesen des Transkripts!

[00:00:02.620] – Intro

Einblick. Zweiblick Weitblick. Digitale Services im Gespräch.

[00:00:11.650] - Katja Lübcke

Hallo und herzlich willkommen zu unserer neuen Podcast-Episode. Hier bei Einblick. Zweiblick. Weitblick Digitale Services im Gespräch. beschäftigen wir uns ja nicht nur mit digitalen Services, sondern betrachten auch immer wieder Trendthemen in der Industrie, die uns schon jetzt oder aber in Zukunft begleiten werden und einen großen Einfluss haben. Mein Name ist Katja Lübcke und ich begleite sie durch den heutigen Podcast, in dem es um Quantencomputing geht. Was ist Quantencomputing? Was erwartet uns in der Zukunft und welche Rolle spielt Quantentechnik vor allem in der Industrie? Im ersten Teil dieses Podcast geben wir einen allgemeinen Einblick in die Quantentechnik. Im zweiten Teil gehen wir dann auf die Rolle für die Industrie ein. Und dafür haben wir heute zwei Experten an Bord, die sich nicht nur theoretisch, sondern auch ganz praktisch im Bereich der Quantentechnologie bewegen. Herr Niedermeier, Herr Blatt, stellen Sie sich gerne einmal selbst nacheinander vor.

[00:00:59.240] - Rainer Blatt

Ja, Frau Lübcke, herzlichen Dank für die Einladung. Mein Name ist Rainer Blatt. Ich bin Professor für Experimentalphysik an der Universität Innsbruck, habe daneben ein kleines Start-up-Unternehmen gegründet, zusammen mit Peter Zoller von der Universität Innsbruck und Thomas Monz. Und dieses Start-up-Unternehmen produziert Quantentechnologien und auch Quantencomputer. Ich bin auch Mitglied der Akademie der Wissenschaften, habe ein Institut für Quantenoptik, Quanteninformation, an dem ich wissenschaftlicher Direktor bin. Und seit anderthalb Jahren bin ich auch in München zuständig für die Koordination und die wissenschaftliche Leitung des Munich Quantum Valley mit dem Ziel, dort ein Quantum Ökosystem zu schaffen. Soweit zu meiner Person.

[00:01:40.750] - Christoph Niedermeier

Herzlichen Dank für die Einladung. Mein Name ist Christoph Niedermeier. Ich bin promovierter Physiker, habe da im Bereich der Biophysik gearbeitet. Das ist erst einmal ein anderes Thema. Ich bin seit vielen Jahren bei der Siemens AG tätig, seit 1995, um genau zu sein, in verschiedenen Bereichen, verschiedenen Funktionen, sehr viel im Bereich Softwaretechnologie, Softwarearchitektur. Und seit circa zweieinhalb Jahren befasse ich mich mit dem Quantencomputing bzw. mit der Anwendung des Quantencomputings auf industrielle Use Cases. Ich habe da ein kleines Team, was sich mit der Untersuchung von Algorithmen und Anwendungsfällen beschäftigt. Und ich koordiniere für die Siemens Technology, also den Bereich, der die Forschung und Entwicklung, Evaluierung von Technologien für die Siemens AG macht, die

verschiedenen Aktivitäten zum Quantencomputing und versuche auch Kontakte nach außen zu knüpfen und die verschiedenen Handlungsstränge bei Siemens zusammenzuführen.

[00:02:36.850] - Katja Lübcke

Herr Niedermeier, können Sie mir mal beschreiben, was Sie denn jetzt so faszinierend finden an der Welt der Quanten? Was steckt dahinter?

[00:02:43.660] - Christoph Niedermeier

Das ist eine schwierige Frage, die einem Physiker zu stellen. Also mich fasziniert schon erst einmal die Modellbildung, dass man dieses Phänomen überhaupt fassen kann, verstehen kann. Weitgehend mit Mitteln der Mathematik, was sich einer anschaulichen Beschreibung dann doch eher entzieht. Es gibt aber auch unglaubliche Effekte in der Realität, die wir im Alltag eigentlich ständig benutzen, was uns gar nicht bewusst ist. Der Laser ist ein Phänomen, was ohne Quantenphysik nicht denkbar wäre. Die gesamte Halbleiterphysik, bestimmte Arten von Speichermedien usw. Also es gibt wahnsinnig viele Phänomene, die auf der Quantenphysik basieren, ohne dass uns das überhaupt bewusst ist. Die Natur arbeitet eben anders, als wir uns das vorstellen können, aber das bietet faszinierende Möglichkeiten. Da könnte man noch viele weitere Beispiele aufzählen. Das ist das, was mich daran packt. Der Quantencomputer, den ich erst vor kurzem als Technik, als Instrument kennengelernt habe, der setzt diese Faszination eigentlich fort mit Prinzipien, die so verschieden sind von einem klassischen System, hier Computing machen zu können, auf eine ganz neue Weise. Das ist etwas, was mich doch sehr anspricht.

[00:03:50.020] - Katja Lübcke

Herr Blatt, was ist Ihre größte Faszination hinter der Quantenwelt?

[00:03:54.160] - Rainer Blatt

Die größte Faszination, die ich sehe, ist diese Möglichkeit zur Kontrolle dieser Quantenwelt. Die Quantenphysik war ursprünglich dazu geschaffen worden, die Mikrowelt der Atome, der kleinsten Teilchen, zu beschreiben. Aber wir können diese Quantenwelt wirklich in die makroskopische Welt holen, wenn wir sie entsprechend kontrollieren können. Und mich fasziniert immer wieder zu sehen, dass diese quantenmechanischen Gesetze doch auf weiten großen Skalen gelten und dass sie sehr

allgemein gültig sind. Die Möglichkeiten, die man damit aufzeigen kann, Herr Niedermeier hat es schon angesprochen, das ist einfach so vielfältig, das eröffnet so viele unglaubliche Möglichkeiten und so viele neue Dinge. Das ist faszinierend an sich, das ist die neue Technologie des 21. Jahrhunderts.

[00:04:44.530] - Katja Lübcke

Wir reden jetzt schon von Quanten. Es wurde schon oft erwähnt, was sind denn überhaupt Quanten, Herr Blatt?

[00:04:49.120] - Rainer Blatt

Quanten sind allgemein die unteilbaren Teile in der Natur. Das können Teile der Materie sein, das sind Atome, Elektronen, es gibt einen ganzen Teilchenzoo, es sind aber auch die Quanten der Energie. Das nennen wir heute die Lichtquanten oder die Photonen, wie sie im Modell heißen, mit denen wir Experimente machen.

[00:05:12.690] - Katja Lübcke

Was ist denn das Besondere an Quanten? Warum ist das so ein großes Thema?

[00:05:17.460] - Rainer Blatt

Die Quantenphysik und das Verhalten der Quanten ist etwas anders, als wir das in der klassischen Welt kennen. Es gibt zwei Dinge, die wir uns merken müssen für das Verhalten. Wie Erwin Schrödinger und Werner Heisenberg in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts festgehalten haben, verhalten sich Quanten eher wie Wellen. Das hat Konsequenzen, zum Beispiel dadurch, dass diese Wellen nicht unbedingt lokal sind, sondern ausgedehnt sind. Ein zweiter Punkt, der Quantenphysik unterschiedlich macht im Vergleich zu der klassischen Welt, die wir so kennen, ist, wenn eine Messung stattfindet. Ich beobachte also ein Quantum, dann verändert diese Beobachtung tatsächlich das System, das ich beobachte. Wenn Sie in der Quantenphysik zum Beispiel messen wollen, wo ist das Elektron eines Atoms? Dann wissen Sie das nicht. Sie müssen erst eine Messung machen. Wenn Sie diese Messung machen, dann finden Sie das Elektron entweder im Grundzustand oder einem angeregten Zustand. Sie finden es entweder unten oder oben, Sie finden es aber nie dazwischen. Allerdings, wenn Sie die gleiche Messung mit immer wieder dem gleichen vorbereiteten Atom machen, kann es vorkommen, dass das System in einer Überlagerung ist. Sie wissen also nicht, was Sie erhalten. Nur das Problem ist jetzt etwas tiefer. In der Quantenphysik ist es so, dass das,

was die Eigenschaft darstellt, erst in dem Moment realisiert wird, wenn Sie die Messung machen. Selbst wenn es in einer Superposition einer Überlagerung war, finden Sie es hinterher nur in dem Eigenzustand, wie wir das heute nennen, in dem Atom unten oder das Atom oben, aber nie dazwischen. In jedem Fall gibt es eine 1:1 Korrelation, die aber in der Quantenwelt erst dann etabliert wird, wenn ich tatsächlich die Messung mache. Und ich kann nicht vorher sagen, was man bekommt. Im Gegensatz zur klassischen Messung. Und diese Dinge haben Konsequenzen, die man berücksichtigen muss bei der Entwicklung von Technologien.

[00:07:11.100] - Katja Lübcke

Quantencomputing basiert auf der Verbindung von mindestens zwei Quanten. Man nennt das auch Quantenverschränkung, richtig? Welche Rolle spielt denn dann diese Quantenverschränkung? Wie kann man sich das genau vorstellen?

[00:07:23.250] - Rainer Blatt

Quantenverschränkung ist eine Eigenschaft, die jetzt gerade sehr heiß diskutiert wurde im Zusammenhang mit dem Nobelpreis, den wir 2022 gesehen haben. Verschränkung bedeutet, dass Teilchen über eine Entfernung hinweg etwa eine Beziehung miteinander haben, eine Relation oder wie wir in der Physik sagen eine Korrelation. Verschränkung heißt: Ich kriege eine Beziehung zwischen diesen Teilchen. Die müssen irgendwann einmal etwas miteinander zu tun gehabt haben. Die haben sich gestoßen, wurden an einer einzigen Quelle ausgesandt und hatten irgendeine Wechselwirkung. Das bedeutet, diese Teilchen lassen sich eigentlich nicht separat, das heißt in ihre Einzelteile, unabhängig zerlegen, sondern sie müssen gemeinsam als Ganzes betrachtet werden. Das bedeutet für Anwendungszwecke, dass ich damit diese Gemeinsamkeit ausnutzen kann. Ich kann also über Entfernungen hinweg eine Korrelation mit solchen Verschränkungen erzeugen, die man ausnutzen kann für die Quantenkommunikation, die man ausnutzen kann, um damit Quanteninformation zu übertragen und auch, um Quanteninformation zu verarbeiten.

[00:08:33.540] - Katja Lübcke

Und wie kann man dann aus denen einen Quantencomputer bauen?

[00:08:37.680] - Rainer Blatt

Die ganze Geschichte ging eigentlich los 1994, Anfang 1995 mit einem Vorschlag, den Peter Shore gemacht hat. Peter Shore hat einen Algorithmus gefunden, also ein Rechenverfahren gefunden, mit dessen Hilfe man lange Zahlen, große Zahlen, faktorisieren kann, was sehr viel schneller ist als auf einem klassischen Computer möglich. Warum ist das interessant? Nun, heutige Kryptographieverfahren, wenn Sie also eine Banküberweisung machen, beruhen darauf, dass man Schlüssel verwendet, sogenannte Public Key Verfahren, also öffentliche Schlüssel, die eigentlich darauf beruhen, dass ein Computer in nicht hinreichend schneller Zeit die Primzahlzerlegung machen kann, einer großen Zahl. Also die Zerlegung in ihre Faktoren machen kann. Das wurde dann als interessant gesehen, denn wenn man das mit einem Quantencomputer sehr viel schneller machen kann, dann wäre das eine Möglichkeit, sehr schnell geheime Botschaften abzuhören oder Archive, die verschlüsselt sind, zu lesen usw. Das führte dazu, dass zunächst einmal Banken oder persönliche Datenschützer es versucht haben. Die Gesellschaft wurde hellhörig und es wurde sehr viel Geld in die Hand genommen, um diese Dinge mal zu prüfen.

[00:09:52.830] - Katja Lübcke

Muss ich mir jetzt Sorgen um meine privaten Passwörter machen oder inwiefern kann man da dann auch Grenzen setzen?

[00:09:58.900] - Christoph Niedermeier

Also dazu kann ich ein bisschen aus der Schule plaudern, was denn die Strategie von Siemens ist. Ihre Passwörter, da gibt es heute schon Verfahren, wo verschiedene Merkmale miteinander kombiniert werden, Ihr Fingerabdruck und eine zweite Nachricht von Ihrem Telefon, sind sichere Verfahren. Es geht um die Verschlüsselung von Daten und um die Frage, gerade wenn die Daten langfristig verschlüsselt abgelegt werden sollen. Zehn Jahre, zwanzig Jahre, das ist oft bei Personaldaten, bei Gesundheitsdaten so. Was wird denn in zwanzig Jahren sein? Das ist schwierig. Die Siemens AG hat aber auch dieses Problem im Blick. Das sind die Kollegen aus der Cyber Security. Und die Antwort ist relativ überraschend. Man versucht jetzt nicht, die Schlüssel so lang zu machen, dass ein Shore-Algorithmus die nicht knacken kann, sondern man geht ganz anders vor. Es gibt alternative Verschlüsselungsverfahren, die durch den Shore-Algorithmus nicht bedroht sind, die nicht auf großen Zahlen, die dann in Primfaktoren zerlegbar sind, basieren, sondern anders funktionieren. Und diese Aktivität, solche Algorithmen zu finden und in der täglichen Anwendung zu verwenden,

das findet unter dem Stichwort Post Quantum-Kryptographie statt. Also eine Kryptographie, die im Blick hat, dass es Quantencomputer gibt und dass die Schlüssel knacken können und eben versucht, Verfahren zu verwenden, die dagegen immun sind nach heutigem Verständnis. Das kann sich immer mal ändern, aber es gibt da vielversprechende Kandidaten. Sie müssen sich jetzt auch keine Sorgen machen, dass Ihre Daten in Zukunft gefährdet sind.

[00:11:22.650] - Katja Lübcke

Und wie würde man dann konkret Ergebnisse eines Quantencomputer interpretieren? Wie geht man da dann genau mit um, dass man mehrere Zustände hat?

[00:11:31.710] - Rainer Blatt

Ein klassischer Computer ist letzten Endes ein schneller Schalter. Der klassische Computer speichert seine Informationen in klassischen Bits. Das sind also Zahlen, 0 und 1, oder wenn Sie wollen, ein Schalter, der aus oder an ist. Und was wir machen, wir kodieren diese Information, die wir haben, in sogenannten Registern. Das sind Reihen von solchen Bits. Bei manchen Prozessoren sind es 32 Bits, bei manchen sind 64 usw. Das bedeutet, es sind einfach große Zahlenreihen, die werden nach einem bestimmten Verfahren werden die berechnet und klassische Computer sind eben sehr schnelle Schalter, die heute mit vielen Milliarden Schalteränderungen pro Sekunde einhergehen und sehr viele Dinge machen können. Der Quantencomputer funktioniert ganz anders. Warum? Was man am Quantencomputer macht, ist die Grundlage, das sind nicht die Bits, sondern die Quantenbits. Das Quantenbit ist genau wie ein Bit, ein Zwei-Zustand-System, also zunächst einmal ein Schalter oder ein System, das in 0 und 1 sein kann. Aber wie ich vorhin sagte, in der Quantenphysik kann jedes System in einer Überlagerung sein. Diese Überlagerung, die ist mehr als das, was wir klassisch haben. Die klassische Information besteht nur aus der 0 und der 1. Die Quanteninformation besteht aus der 0 und der 1 oder aus der 0 oder der 1 gemeinsam, ist eine Überlagerung. Jetzt sagen Sie zurecht: Ich weiß nicht, was ich habe, wie kann ich denn damit Informationsverarbeitung machen? Das kommt als nächstes. Wir nehmen jetzt zwei solche Atome und wir verschränken die. Das heißt, wenn wir die verschränken, dann haben die was miteinander zu tun. Das bedeutet jetzt, wenn ich an einem einzigen Quantenbit eine Änderung mache, dann ändert sich das gesamte Register gleichzeitig, weil es eine Verschränkung darstellt. Beim klassischen Register ist dem ganzen restlichen Register egal. Wenn ich an einem Bit etwas drehe, ist dem Rest das völlig egal. Und bei dem Quantenzustand ist das eben nicht so. Die Verschränkung ist also eine wesentliche Ingredienz für den Quantencomputer und ein Algorithmus, der findet sein

Ergebnis eben dann nicht nur in dem Rechenergebnis, was ich als 0 oder 1 dann auslese, als klassische Information, sondern eigentlich in dem Wellenmuster, was ich in diesem Rechenraum bekomme. Und was passiert in dem Rechenraum, ist, dass die Rechenwege, die interferieren miteinander durch diese Verschränkung, weil es eine Wellenphänomen ist. Die produzieren mir auf diese Weise das Ergebnis. Nicht lokal, weil diese Wellen alle etwas miteinander zu tun haben. Klassisch ist das nicht der Fall. In einem klassischen Register habe ich lauter getrennte einzelne Registerstellen und Einträge, die ich dann nacheinander bearbeiten muss und nicht parallel mit einer einzigen Operation beeinflussen kann. Das ist der Unterschied. Das heißt, es geht jetzt eher darum, diese Rechenart umzusetzen, ohne zu messen und am Ende das Ergebnis als Wellenmuster zu bekommen, sodass ich das Ergebnis an dem Wellenmuster ablesen kann.

[00:14:37.050] - Katja Lübcke

Wann kam Siemens denn auf die Idee, auch etwas mit Quanten zu machen?

[00:14:41.040] - Christoph Niedermeier

Siemens verwendet seit vielen Jahren in allen möglichen Bereichen Computer. Das nimmt auch zu. Das ist in der Medizintechnik so, das ist in der Industrieautomatisierung so. Für bestimmte Aufgaben kann man nie genügend Rechenleistung haben, deswegen befassen wir uns bei der Siemens Technology auch immer mit neuen Computerprinzipien. Ganz einfaches Beispiel, das hat jeder heute zu Hause, wenn er einen Rechner hat: Eine Grafikkarte ist im Prinzip ein Spezialcomputer, der bestimmte Dinge besonders gut kann, die so ein normaler Prozessor nicht so gut kann. Und solche Grafikkarten werden heute auch fürs Machine Learning, für den Umgang mit großen Datenmengen genutzt. Somit gibt es auch weitere neue Prinzipien für neue Arten von Computing, die bestimmte Dinge besser können. Zum Beispiel Neuromorphic Computing ist dann besonders gut für Machine Learning geeignet. Ein Quantencomputer stellt eben auch ein solches neues Paradigma dar. Als solches hat uns das interessiert, weil wir wissen wollten, ob es Aufgaben in der Siemens AG gibt, wo mehr Rechenleistung benötigt wird, wo spezielle Fähigkeiten nötig sind und ob Quantencomputer so etwas leisten können.

[00:15:40.310] - Katja Lübcke

Anwendungen in der Industrie müssen robust sein, man muss viel standhalten. Wie stabil sind denn dann wirklich auch Quantencomputer?

[00:15:47.590] - Christoph Niedermeier

Ja, heutzutage ist die Stabilität, also wenn Sie da die Fehlerfreiheit meinen, ein schwieriges Thema. Wir befinden uns in einer Phase, wo die Quantencomputer sowohl noch nicht genügend Qubits haben, um diesen praktischen Aufgaben dann gerecht zu werden, als auch in der Regel die Qubits und die Operationen auf den Qubits zu große Fehler aufweisen, als dass man zuverlässige Ergebnisse extrahieren könnte. Aber das sind Dinge, die eben Gegenstand der Forschung sind, die in der Entwicklung sind, wo es auch Antworten darauf gibt. Und man kann davon ausgehen, dass im Laufe der Zeit diese Qualität besser wird. Die Zahl der Qubits, die man benötigt, sich erhöht. Da gibt es ehrgeizige Roadmaps verschiedener Hersteller, sodass diese Frage mit der Stabilität sich irgendwann befriedigend beantworten lässt. Derzeit untersuchen wir vor allem prototypische Algorithmen. Es geht nicht um kommerzielle Anwendung des Quantencomputings im Moment.

[00:16:45.740] - Rainer Blatt

Es war lange Zeit eben das Problem, dass man nicht wusste, ob man auch in der Quantenphysik Fehler tatsächlich korrigieren kann. Man weiß seit vielen Jahren, dass das nun geht. Und gerade die letzten drei, vier Jahre haben enorme Fortschritte gezeigt. Wir werden hoffentlich in den nächsten zehn Jahren fehlerkorrigierte Rechner haben und dann, wie Herr Niedermeier schon sagte, brauchen wir nicht nur die Fehlerkorrektur. Wir brauchen auch dann hochskalierte Rechner, die dann 10.000, vielleicht 100.000 Quantenbits haben, um tatsächlich kompetitiv zu sein. Aber ich glaube, dass wir diese Dinge in den nächsten Jahrzehnten definitiv haben werden.

[00:17:21.200] - Katja Lübcke

Welche Herausforderungen entstehen denn bei der Umsetzung und dann auch Integration von Quantentechnologien in die Praxis oder dann auch in der Industrie speziell?

[00:17:28.790] - Christoph Niedermeier

Ja, nachdem das Gebiet jung ist, gibt es eine Reihe von Herausforderungen. Das beginnt eigentlich schon damit, dass die Verfügbarkeit von geeigneten Mitarbeitern erstmal schwierig ist. Deswegen finden wir es immer sehr wichtig und sind den Hochschulen und auch anderen Institutionen dankbar, wenn sie Leute ausbilden. Wenn man solche Experten hat, ist es Ziel, erst einmal Know-how aufzubauen. Dann geht es für uns

darum, Quantenalgorithmen mathematisch beschreiben zu können und sie tatsächlich auf den Quantencomputer bringen zu können. Und wenn das alles geschafft ist, dann braucht man Quantencomputer, mit denen man arbeiten kann. Da das heute oft schwierig ist, arbeiten wir auch mit Simulatoren, die für kleine Probleme Quantencomputer abbilden können. Allerdings, wie man sich vorstellen kann, sobald die Probleme größer werden, funktioniert die Simulation nicht mehr, dann ist der Aufwand zu groß. Die eigentliche Herausforderung ist festzustellen, welche Probleme wirklich geeignet sind und welche nicht. Das schließt auch ein, dass man Probleme analysiert und sich bestimmte Teilprobleme herausgreift, die für Quantencomputer besonders gut geeignet sind. Der Quantencomputer wird zu einer Art Beschleuniger. Die Probleme, die besonders gut geeignet sind, übernimmt er, während der Rest des Algorithmus von dem klassischen Rechner übernommen wird. Das sind dann die sogenannten hybriden Quantenalgorithmen. Und diese zu entwickeln ist auch ein Teil dieser Herausforderung.

[00:18:50.660] - Katja Lübcke

Und welche Aufgaben sind für Quantencomputer geeignet oder halt auch nicht?

[00:18:54.710] - Christoph Niedermeier

Das ist eine wichtige Frage, die auch nur zum Teil heute zu beantworten ist, denn das ist immer noch Gegenstand der Forschung. Grundsätzlich sind Aufgaben, bei denen ich aus sehr vielen Möglichkeiten geeignete auswählen muss, also kombinatorische Optimierung ist ein solches Problemfeld, die sind in der Regel gut geeignet, wenn auch immer die Frage ist, welchen Speed Up man tatsächlich erwarten kann. Am besten sind Probleme geeignet, wo es um Simulation von Quantensystemen geht. Das ist zum Beispiel in der Pharmaindustrie interessant, um Moleküle, neue Arzneistoffe zu untersuchen. Die Gestalt der Moleküle, ihre Energie, Stabilität usw. zu untersuchen. Es gibt aber auch für klassische Probleme interessante Möglichkeiten, die man erforscht, zum Beispiel Lösungen von Systemen von Differentialgleichungen. Dass es komplexe Probleme dieser Art gibt es in der Strömungsmechanik und andere, auch dafür braucht man viele Qubits. Das ist in der Zukunft ein mögliches Anwendungsfeld. Ich glaube, was in aller Munde ist und was man immer wieder hört, ist das Thema Machine Learning, Quantum AI. Auch dafür ist der Quantencomputer geeignet, allerdings eher für das sogenannte Quantenreinforcement Learning. Dieses kommt ohne große Mengen von Input Daten aus, denn viele Input Daten einem Quantencomputer zuzuführen stellt ein gewisses Problem dar. Das ist jetzt nur ein Ausschnitt aus den Problemfeldern. Man wird vielleicht auch noch weitere entdecken. Grundsätzlich muss man sich immer

anschauen: Passt ein Problem nicht nur in diesen Bereich, sondern ist es tatsächlich praktisch geeignet oder gibt es so Probleme, die für den Quantencomputer abbildbar sind? Welche Aufgaben sind nicht geeignet? Auch das ist nicht so einfach zu sagen. Grundsätzlich Rechnungen, bei denen man sehr große Mengen von Zahlen hat. Big Data Analysen usw. sind für einen Quantencomputer nicht so gut geeignet. Alle Probleme, bei denen der Quantencomputer keinen großen Speed Up erzielen kann, weil das Problem nicht günstig ist für diese Art von Struktur. Das hängt allerdings sehr von den verwendeten Algorithmen ab und ist insofern auch Gegenstand der Forschung, als wir auch hoffen, neben den bekannten Algorithmen, die gut funktionieren und sich auch auf größere Probleme hochskalieren lassen und dabei eine gute Beschleunigung erzielen, noch weitere Algorithmen in Zukunft zu entdecken, die ähnliche Vorteile bieten.

[00:21:02.930] - Katja Lübcke

Wie kann man denn Qubits auslesen oder wie sollte man sie auslesen, wenn man durch das Auslesen selbst auch das Ergebnis verfälschen könnte?

[00:21:11.750] - Christoph Niedermeier

Das ist ein sehr wichtiger Punkt. Jedes Auslesen eines Ergebnisses stellt eine Umwandlung von Quanteninformation in klassische Bits dar, den ich, wie sie an einem klassischen Rechner dann weiterverarbeiten, mein Ergebnis. Das heißt es wird eine Messung gemacht am Ende, die auf das Quantensystem dieser Qubits, dieser Quantenregister angewendet wird. Und damit ist das Ergebnis als Quantenzustand zerstört. Wenn es für mein Problem nicht nur eine Lösung gibt, sondern mehrere, dann kann ich zwar alle diese Lösungen diesem Quantenzustand entnehmen, der am Ende sich darstellt, aber nicht gleichzeitig. Deswegen macht man in der Regel nicht einen Rechenlauf auf dem Quantencomputer, sondern sehr viele quasi identische, die aber am Ende bei der Messung jeweils ein anderes Ergebnis ergeben können. Man guckt sich dann die Verteilung all dieser Ergebnisse an und hofft dann, dass die besten Ergebnisse dabei sind. Da hilft es sehr, wenn man noch ein Kriterium hat, mit dem man die Qualität der Ergebnisse messen kann. Ansonsten ist auch die Häufigkeit der Ergebnisse, die man erzielt bei diesen Messungen, dann ein Indiz dafür, welche wichtig sind und welche nicht. Das stellt den Aufwand im Quantum Computing auch dar, dass ich eine solche Rechnung unter Umständen sehr oft wiederholen muss, um eine vernünftige Verteilung zu bekommen, aus der ich dann tatsächlich Lösungen ablesen kann.

[00:22:26.780] - Rainer Blatt

Wenn Sie einen Quantencomputer auslesen, also ein Register auslesen, dann kriegt man praktisch die klassische Information, die gerade statistisch aus dieser Messung erfolgt. Die Quantenmechanik kann nur statistische Aussagen machen, das heißt nur über Wahrscheinlichkeiten über den Ausgang der Messung angeben. Das bedeutet, Sie müssen, so wie Herr Niedermeier das richtig sagt, den Quantencomputer mehrfach laufen lassen. So zum Beispiel beim Shor'schen Algorithmus, mit dem man faktorisiert, wird man am Ende dann bestimmte periodische Maxima in dem Register sehen. Dazu muss man den Quantencomputer vielleicht fünf oder zehn Mal laufen lassen, schon hat man das Ergebnis. Es gibt andere Algorithmen, die sind etwas komplizierter und dann braucht man etwas mehr Statistik, aber das Ergebnis wird nicht verfälscht, sondern das Ergebnis ist einfach nur eine Projektion auf die klassische Information, die man bekommt. Und man muss Verteilungen messen, aus denen man dann das Ergebnis bekommt. Das ist in der Regel kein Problem.

[00:23:21.770] - Christoph Niedermeier

Wenn wir den Quantenzustand als solchen wahrnehmen könnten, also sprich den selbst messen könnten, dann wäre das nicht erforderlich. Das geht aber aus bekannten Gründen nicht.

[00:23:30.080] - Katja Lübcke

Wie sieht es denn mit Simulationsalgorithmen aus? Inwiefern spielen die dann auch eine Rolle für die Industrie, wo Simulation sowieso ein riesiges Thema ist?

[00:23:39.260] - Christoph Niedermeier

Bei den Simulationen kommt sehr darauf an, was man simuliert. Quantensysteme zu simulieren, was ich da letztendlich leisten muss, ist das Quantensystem, was ich simulieren will, auf die Quantenzustände abzubilden, die der Quantencomputer bietet, in Form der Qubits. Das kann auch komplex sein, aber ist eine Sache, die noch verständlich ist. Wenn es dagegen darum geht, eine Strömung zu simulieren, eine klassische Differentialgleichung zu lösen, dann muss ich da eine sehr komplexe Transformation machen. Ich muss die Differentialgleichung diskretisieren, in kleine Zellen aufteilen und diese Zellen dann durch die Qubits repräsentieren und den Quantencomputer benutzen, um diese numerische Rechnung letztendlich zu lösen, was eine etwas umständlichere Vorgehensweise ist. Man könnte sich zum Beispiel

vorstellen, Crash-Simulationen zu machen, was mit Finite Elemente Rechnung geht. Auch da kann ich mir vorstellen, dass der Quantencomputer Möglichkeiten bietet. Das ist eben nicht selbstverständlich. Das liegt nicht nahe, sondern man muss da wirklich hart arbeiten, um sich die Algorithmen auszudenken, die dann tatsächlich dazu geeignet sind und es bewerkstelligen können. Es ist richtig, Simulationen sind ein Thema bei Siemens, was sehr aufwendig ist und wo wir uns wünschen würden, dass es Beschleuniger gibt, die uns gestatten, solche Simulationen in kürzerer Zeit zu machen. Um nur ein Anwendungsbeispiel zu nennen für die Strömungsmechanik: Wenn Sie kleine Embedded Computer entwickeln, dann haben die in der Regel keine Kühlung, keinen Ventilator und keine Wasserkühlung an Bord. Das ist alles zu aufwendig für diese eingebetteten Geräte. Stattdessen versucht man diese Geräte so zu bauen, also die Platinen und die Gehäuse, dass die Luftströmung, die sowieso durch dieses Gerät durchzieht, das hinreichend kühlt. Um das richtig zu machen, muss ich diese Luftströmung nicht einfach irgendwie gestalten, sondern ich muss das ganz bewusst so gestalten, das ganze Gerät, dass diese Luftströmung möglichst viel Wärme abführen kann. Dazu führt man eben Simulationen durch. Wenn ein Designer für so ein System jetzt so ein Entwurf macht, dann hat er verschiedene Ideen. Es gibt verschiedene Varianten des Systems. Er will also diese Simulation nicht einmal durchführen, sondern sehr oft und am besten auf Knopfdruck sofort sehen, wie das System sich jetzt gerade in seinem Verhalten verändert hat. Und dazu wäre es sehr zu begrüßen, wenn diese Simulationen beschleunigt würden. Und das ist eine Hoffnung, wo Quantencomputer helfen könnten.

[00:25:53.800] - Katja Lübcke

Wie viel ist denn jetzt schon real in der Quantentechnik? Und was ist wirklich noch Zukunft davon?

[00:26:00.710] - Rainer Blatt

Das ist eine weite Frage. Also zunächst einmal anknüpfend an das, was Herr Niedermeier gerade erzählt hat. Simulationen sind eines der Hot Topics, die wir derzeit machen, weil im Moment erwartet wird, dass gerade bei den Simulationen zuerst die Leistungsfähigkeit der Quantencomputer gezeigt werden kann. Es sind allerdings nicht solche rechenintensiven Simulationen wie Strömungsverhältnisse und diese Dinge, sondern meistens Materialeigenschaften. Also wenn Sie zum Beispiel eine Legierung machen, zwei, drei Metalle oder Stoffe zusammen bekommen und Sie wollen wissen, welche sind die magnetischen Eigenschaften, Leitungseigenschaften. Dann sind diese oft schwer zu errechnen. Das kann man mit bestimmten Quantenmodellen durchaus

simulieren. Hierzu gibt es drei verschiedene Verfahren. Das erste Verfahren nennt man die analoge Simulation. Man versucht in einem Quantencomputer die Wechselwirkungen, die man studieren will, so nachzubilden, dass man möglichst die Eigenschaften der Atome, wie sie miteinander auch dann in Wechselwirkung treten, zu verwenden. Dann lässt man das System laufen und nach einiger Zeit sieht man, wie sich das System verhält. Das ist sehr en vogue, wird in München bereits gemacht, bei Immanuel Bloch mit seinen Atomen, wird in Innsbruck gemacht, an vielen Stellen in der Welt und führt in der Physik bereits zu sehr brauchbaren Ergebnissen, die nahe an das kommen, was man schon nicht mehr rechnen kann mit klassischen Computern. Die zweite Simulationsmethode ist das, was der Niedermeier angesprochen hat. Da würde man eher von einem Quantencomputer reden, in dem man nämlich die ganzen Prozesse herunterbricht in Sequenzen von Quantengattern, also wirklich volle Quantenrechnungen. Die sind intensiv und das bräuchte dann am Ende doch die Fehlerkorrektur, die man bei der analogen Simulation eben noch nicht braucht.

[00:27:42.160] - Christoph Niedermeier

Richtig, ja.

[00:27:42.940] - Rainer Blatt

Das Dritte ist die hybride Simulation, auch Herr Niedermeier hat das angesprochen. Die ist sehr vielversprechend, vor allen Dingen für die Chemie und für solche Reaktionen. Also es gibt da eine weite Palette von Dingen. Man ist noch an dieser Stelle da sehr weit weg von dem, was man praktisch braucht. Zum Beispiel, wenn Sie wirklich jetzt für Düngemittel Katalysatoren berechnen wollen oder wenn Sie chemische Reaktionen errechnen wollen, dass sie kompetitiv sind mit klassischen Rechnern, brauchen Sie ungefähr 100.000 bis 1 Million Qubits. Meist sogar logische Qubits mit sehr vielen Gatterschaltungen, das ist im Moment utopisch. Wir sind derzeit bei den Quantencomputer unterwegs mit 100 Qubits, IBM hat derzeit 127 und die Atome können vielleicht 200 machen. Die verschiedenen Architekturen weisen keine großen Unterschiede auf. Man weiß noch nicht genau, was die optimale Struktur ist. Wir reden hier von 100 Qubits mit vielleicht 1000 Gatterschaltungen. Dann sehen Sie, da ist eine weite Lücke zwischen dem, was man derzeit kann und was man tatsächlich industriell einmal braucht. Da muss noch viel passieren, bis wir wissen, was Sache ist.

[00:28:52.030] - Christoph Niedermeier

In der Tat, ja.

[00:28:53.050] - Katja Lübcke

Das heißt, wir wissen, es braucht mehr. Was würden Sie denn sagen? Gibt es da Grenzen, die Sie sehen? Oder sagen Sie, das kann man jetzt einfach noch gar nicht beurteilen, wir müssen jetzt einfach warten, auch die Erweiterungen der letzten Qubits, bei Quantencomputern, ging viel schneller, als man gedacht hat. Wie sehen Sie da den Blick in die Zukunft?

[00:29:10.540] - Christoph Niedermeier

So viel schneller würde ich gar nicht sagen. IBM hat erstaunlicherweise vor einigen Jahren schon eine Roadmap aufgestellt und an die haben sie sich bisher ganz gut gehalten. Also diese 433 Qubits, die Sie auch kennen, die dieses Jahr erzielt wurden, die waren schon geplant seit einiger Zeit. Man hat jetzt vor, im nächsten Jahr über 1000 Qubits zu kommen und dann im Jahr 2025 über 4000. Danach geht es in der Tat in die Regionen, die Professor Blatt schon genannt hat. 10.000 bis 100.000 von Qubits. Es gibt keine prinzipiellen physikalischen Grenzen. Allerdings ist die Frage, wie gut man die Technik tatsächlich in den Griff bekommt, wie gut man es schafft, die Qualität der Darstellung eines Qubits und auch der Operation der Quantengatter zu erhöhen. Denn eines ist klar: Je größer diese Systeme werden, desto eher besteht die Gefahr, dass sie sich aufsummieren. Wenn ich sehr viel mehr Quantengatter hintereinander anwenden will, muss ich die Güte der einzelnen Gatter höher machen, damit ich länger rechnen kann insgesamt. Aber die Entwicklung bisher war ganz ermutigend und ich bin einigermaßen optimistisch, dass es da in zehn Jahre doch deutlich größere Systeme geben wird, mit denen man auch die genannten Probleme, die heute utopisch sind, unter Umständen angehen kann.

[00:30:24.740] - Rainer Blatt

Ja, ich stimme dem absolut zu. Wir sehen keine Road Blocks an dieser Stelle und das ist das Ermutigende. Und wir haben in den letzten Jahren wirklich Fortschritte gemacht, von denen ich vor fünf Jahren auch durchaus noch geträumt habe. Und ich bin froh, dass diese Dinge solche Fortschritte machen. Auf der anderen Seite sollte man nicht verkennen, dass wir heute nach wie vor nicht wissen, was die Technologie für Quantencomputer sein wird, die in der Zukunft tatsächlich die besten Ergebnisse liefern wird. Wir suchen immer noch an dieser Stelle auch nach anderen Möglichkeiten Qubits und Quantenrechner darzustellen. Und hier ist neben der Technologie auch immer noch die Physik gefragt. Meiner Ansicht nach ist es immer so: Die Technologie wird gebraucht, damit wir die Physik vorantreiben. Auf der anderen Seite, wenn wir die

Technologie weitertreiben wollen, brauchen wir die Physik, um neue Erkenntnisse zu gewinnen. Das ist also ein Geben und Nehmen und das wird noch einige Jahre dauern. Wir werden auch unsere Überraschungen erleben, da bin ich ganz überzeugt von. Diese Quantenrechner, da stimme ich dem Herrn Niedermeier absolut zu, sie werden kommen.

[00:31:27.550] - Katja Lübcke

Herr Niedermeier, was gibt es denn noch für praktische Anwendung? Wir haben schon über die Pharmazie gesprochen, also Medizin, Wechselwirkungen, allgemeine Forschung. Was ist zum Beispiel mit dem Bereich Logistik?

[00:31:37.360] - Christoph Niedermeier

Logistik ist ein wichtiges Thema, das geht schon in der Firma selbst los. Also das Thema Optimierung haben wir schon genannt. Da geht es um Produktionsprozesse. Wir haben derzeit ein Forschungsprojekt laufen, da geht es um die sogenannte Matrixproduktion. Da hat man viele verschiedene Maschinen, die nicht nur eine Aufgabe können, sondern mehrere Aufgaben erledigen können. Wenn ich jetzt Produkte herstelle, nicht in der Massenfertigung, wo ich Stückzahlen von 1000 Millionen habe, sondern sehr kleine Stückzahlen, was für Siemens oft typisch ist. Industrie PCs gibt es in sehr vielen Varianten, die werden in kleinen Stückzahlen hergestellt. Dann kommt es darauf an, bei so einer Factory, alle Maschinen auszulasten und die Transportprozesse zwischen den einzelnen Maschinen so aufeinander abzustimmen, dass das System möglichst optimal genutzt ist. Denn ein Produkt durchläuft in der Regel mehrere Stationen auf einem Factory Floor. Das ist ein schwieriges Optimierungsproblem, mit dessen prinzipieller Lösung wir uns heute befassen und wo wir hoffen, dass es in Zukunft Quantencomputer gibt, die das auch für die tatsächlichen Probleme aus der Praxis bewältigen können. Da war Logistik schon mit drin. Ich habe die Intralogistik genannt, die in der Regel heute in solchen automatischen Fabriken mit kleinen Roboterfahrzeugen bewerkstelligt wird, die auch ihre Wege brauchen, ihre Aufträge kriegen müssen. Es gibt Transport und Logistik auch darüber hinaus. Flottenmanagement von großer Zahl von Fahrzeugen, etwa einer Spedition. Bei der es darum geht, möglichst optimale Entscheidungen zu treffen, die Wege zu optimieren. Ich weiß, aus der Luftfahrtbranche bei der Lufthansa zum Beispiel geht es darum, die Beladung von Flugzeugen zu optimieren, sodass sie einerseits eben in Balance sind, bestimmte flugtechnische Eigenschaften haben und andererseits der Laderaum möglichst gut genutzt ist. Wenn Sie viele Flugzeuge haben, die Sie insgesamt als Transportvehikel benutzen, dann geht es auch darum, wie Sie die Ladung auf die verschiedenen Flugzeuge, auf die verschiedenen Flüge verteilen. Da

mögen dann auch Prioritäten, bestimmte Termine, die Sie einhalten, müssen, eine Rolle spielen. Ein weiteres Problem wäre die Optimierung der Nutzung eingleisiger Bahnstrecken, die aber in beiden Richtungen befahren werden. Auch das ist ein Problem, was durchaus nicht einfach ist. Supply Chain Management. Es gibt Optimierungsverfahren in der Finanzindustrie, also das ist eine große Zahl. Andere Bereiche, die schon angesprochen wurden, ist Materialforschung. Da gibt es als praktische Beispiele Batterien langlebiger zu machen, Hochtemperatursupraleiter zu entwickeln, die bei noch höheren Temperaturen funktionieren, also mit weniger Kühlung auskommen und neue Arten von Katalysatoren. Wie schon erwähnt, benötigt diese Forschung wahrscheinlich sehr leistungsfähige Quantencomputer mit vielen Qubits. Aber man kann heute schon anfangen, diese Algorithmen zu erforschen und sich zu überlegen, wie denn die Anforderungen sein werden. Nicht zuletzt das Thema Machine Learning, ist auch für Siemens interessant. Das ist für die Autoindustrie interessant im Bereich autonomes Fahren, Energiemanagement von Gebäuden, Steuerung von Ampeln. Zum Beispiel Regelung von Smart Grids, wo es sehr viele verteilte Energieerzeuger gibt, regenerative Energien und diese Netze dann so geregelt werden müssen, dass die Spannung und die Versorgung insgesamt stabil sind. Also es gibt ganze Legionen von Anwendungen, die man sich vorstellen kann. Einige hat man schon im Kern ausprobiert, aber für die meisten Anwendungen brauchen wir mehr Rechenleistung auf Quantencomputern, um sie wirklich praktisch einsetzen zu können.

[00:35:10.610] - Katja Lübcke

Ich würde gern noch einmal einen Blick in die Zukunft werfen. Wie kann ich mir das vorstellen: Haben wir in zehn, fünfzehn, zwanzig Jahren alle einen Quantencomputer in den Produktionen stehen? Oder habe ich als private Endkonsumentin vielleicht sogar einen kleinen Quantencomputer in meinem Smartphone? Wie sieht das aus? Wo führt da der Weg hin, was denken Sie?

[00:35:30.790] - Christoph Niedermeier

Also da muss man unterscheiden. Quantencomputer werden in zehn Jahren wahrscheinlich wesentlich leistungsfähiger sein, vielleicht auch mit weniger aufwendiger Technik drumherum auskommen. Es gibt Prinzipien, die anders als die supraleitenden Quantensysteme bei nicht extrem tiefen Temperaturen stattfinden müssen, sondern nur weniger Kühlung brauchen. Es gibt sogar Ideen, wie man völlig ohne Kühlung auskommt bei bestimmten Prinzipien. Die Miniaturisierung schreitet auch voran. Das heißt, man kann sich vorstellen, dass vielleicht in nicht zehn Jahren, später, es auch Quantencomputer direkt auf dem Shopfloor gibt. Man redet dann eben

in der Regel von Quantenprocessing Units. Das heißt, ich möchte gerne, so ähnlich wie ich heute eine Grafikkarte habe, ein Teilsystem meines Rechners haben, welches ich direkt mit meinem Rechner verbinden kann und lokal betreiben kann. Wie groß oder klein das ist, wissen wir heute nicht. Das ist für gewisse Anwendungen, wo ich in Echtzeit antworten möchte und nicht erst Daten in die Cloud zurück transferieren möchte, von Vorteil. Es gibt auch Kunden, die ungern möchten, dass ihre Daten ihre eigene Anlage verlassen aus Datenschutzgründen. Also es gibt verschiedene Ideen, dass so etwas in der Zukunft unter Umständen möglich sein könnte. Und wir haben Szenarien, wo wir uns so etwas vorstellen, dass man so etwas nutzen könnte. Quantenprozessoren im Smartphone ist ein völlig anderes Thema, denn wir wissen, so ein Smartphone ist sehr klein, selbst wenn die Bildschirme heute wieder immer etwas größer geworden sind. Das ist sehr dünn und leider hat so ein Smartphone auch, das wissen Sie vielleicht, wenn Sie es in der Hand halten, in der Regel doch eine etwas höhere Temperatur, weil für die geringe Größe des Gerätes doch ziemlich viel Energie verbraucht wird. Diese höhere Temperatur ist für Quantensysteme nicht gut. Das heißt, man müsste schon sehr robuste Technik entwickeln oder sehr gutes Containment eines dann miniaturisierten Quantenprozessors, um so etwas überhaupt bewerkstelligen zu können. Wenn das je möglich ist, dann wird noch gehörig Zeit vergehen müssen, um so etwas zu erreichen. Was mögliche Anwendungen wären, kann man auf der Positivseite noch sagen: Das ist das, was heute in Smartphones, auch heute schon bei Apple usw. versucht wird. Machine Learning, Daten zu analysieren, bestimmte Probleme zu lösen. Aber wie gesagt, ich halte das doch fast für Science-Fiction und mich würde aber auch interessieren, was Professor Blatt dazu meint.

[00:37:49.970] - Rainer Blatt

„Nichts ist schwieriger, als die Zukunft vorherzusagen“ Niels Bohr. Also es ist so, dass wir derzeit eher planen, die Quantencomputer als Co-Prozessoren für Superprozessoren, für Superrechner zur Verfügung zu stellen. Und es wird sicher eine Zeit geben, wo wir miniaturisierte Quantenprozessoreinheiten, so wie Herr Niedermeier das auch sagt, dann in normalen Rechnern zur Verfügung haben. Also die Technologie, die wir bei AQT haben, läuft bei Zimmertemperatur. Wir haben mittlerweile unsere 50 Qbitrechner in zwei 19-Zoll-Racks, das ist also ganz normaler Industriestandard. Das ist also kein Problem. Der Anschlusswert derzeit ist unter zwei Kilowatt. Das kann man nicht finanziell vorteilhaft verpacken derzeit. Im Prinzip spricht nichts dagegen, wenn man die richtige Technologie hat. Die Frage ist nur: Braucht man das denn? Denn wir sind heute selbst mit den mobilen Phones und den kleinen Computern so schnell über Cloud Computer vernetzt, dass sie jederzeit auf einen solchen Rechner dann auch in der Cloud zugreifen können. Das wird vermutlich die nächste Generation sein, dass wir in

den nächsten Jahren auf solche Quantencomputer, wenn sie dann als Co-Prozessoren laufen, zugreifen können.

[00:38:58.820] - Christoph Niedermeier

Ich glaube, das ist ein wichtiger Punkt. „Quantencomputing as a Service“ ist auch etwas, was es heute schon gibt. Ich kann von verschiedenen Unternehmen Rechenzeit auf Quantencomputern kaufen und kann mir jetzt schon einen Algorithmus bauen, wo ich Daten aus meinem Smartphone in die Cloud füttere, dort analysieren lasse, durch so einen Algorithmus und das Ergebnis zurückspeichern lasse. Also das ist kein Problem und dann sind die Kosten auch nicht exorbitant. Das ist eine gewisse Benutzungsgebühr, die sich aber im Rahmen hält und wahrscheinlich in der Zukunft günstiger werden wird. Denn man darf nicht vergessen: Industrielle Prozesse, Industrialisierung von Technologie hat eigentlich gerade in der Informationstechnologie immer zu wahnsinnigen Kostenvorteilen geführt. Die Systeme wurden besser und günstiger dadurch, dass sie in Massen hergestellt werden, dass da entsprechende Forschung entwickelt wird, dass entsprechende Erfahrung gesammelt wird. Ich würde mir vorstellen, dass das bei den Quantencomputern nicht anders sein wird. Was nicht bedeuten muss, dass dann jeder sich bemüßigt fühlen wird, das zu Hause zu haben. Aber das ist auch nicht nötig.

[00:39:59.210] - Katja Lübcke

Vielen Dank für Ihre Zeit und die Mitnahme in die Welt der Quantentechnologie. Ich fand es ganz spannend, was uns da zukünftig noch erwarten wird, ob es die nahe oder ferne Zukunft ist, wir werden sehen. Ja, vielen Dank, dass Sie heute dabei waren.

[00:40:13.540] - Christoph Niedermeier

Ja, herzlichen Dank für die Einladung. Hat sehr viel Spaß gemacht. Vielen Dank!

[00:40:16.820] - Rainer Blatt

Ja, auch meinerseits ganz herzlichen Dank für die Einladung und die Möglichkeit, hier ein paar Worte zu sagen. Danke sehr.

[00:40:22.040] - Katja Lübcke

Das Transkript dieser Episode finden Sie in unserer Service Digithek. Und hier haben Sie auch die Möglichkeit, mit unseren Experten in den Dialog zu gehen. Und dann freue ich mich, wenn Sie auch beim nächsten Mal wieder Reinhören, wenn es heißt Einblick. Zweiblick. Weitblick. Digitale Services im Gespräch.

Erfahren Sie mehr und melden Sie sich jetzt an:
www.siemens.de/service-digithek



