

© IBM

# Quantencomputing

Das Fraunhofer-Kompetenznetzwerk Quantencomputing ist die erste Anlaufstelle für alle, die am und mit dem Quantencomputer forschen wollen. In diesem Netzwerk haben sich regionale Kompetenzzentren in sieben Bundesländern mit jeweils eigenen Forschungsschwerpunkten, die sich wiederum aus Fraunhofer-Instituten zusammensetzen, zusammengeschlossen. Das gemeinsame Ziel: Die Erforschung und Entwicklung von neuen technologischen Lösungen auf dem Gebiet des Quantencomputings.

# Rheinland-Pfalz fördert Kompetenzzentrum Quantencomputing

Das Kompetenzzentrum Quantencomputing am Fraunhofer ITWM wurde bereits 2020 aus der Taufe gehoben. Es ist eines von inzwischen acht Zentren, die zusammen das Fraunhofer-Kompetenznetzwerk Quantencomputing bilden. Seinen Ausbau unterstützt das Land Rheinland-Pfalz mit einer weiteren Förderung. Clemens Hoch überreichte Institutsleiterin Prof. Dr. Anita Schöbel im Herbst 2021 einen Bescheid in Höhe von 1,2 Millionen Euro.

Prof. Dr. Anita Schöbel ist mit Prof. Dr. Manfred Hauswirth (Institutsleiter am Fraunhofer Institut für Offene Kommunikationssysteme FOKUS) verantwortlich für das Thema »Quantencomputing« innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft. Zentrale Forschungsfragen lauten beispielsweise: Welche Anwendungsszenarien eignen sich für die Berechnung mit einem Quantencomputer? Wie lassen sich Algorithmen dafür entwickeln und in Anwendungen übersetzen?

Im Mittelpunkt des Kompetenzzentrums steht dabei Quanten-HPC (High Performance Computing). Im Vergleich zum klassischen Computing verspricht das Quantencomputing sowohl eine Beschleunigung bestimmter Algorithmen als auch die Möglichkeit extrem komplexe Fragestellungen überhaupt erst zu berechnen.

## Zukunftstechnologie mit Potenzial

Im ersten Jahr loteten die Forschenden aus, wie die Industrie vom Quantencomputing profitieren kann. »Wir haben Algorithmen identifiziert, die sich für Quantencomputer eignen und bei sehr vielen unserer Anwendungen eine wichtige Rolle spielen. Nun arbeiten wir daran, diese Algorithmen für Quantencomputer zu optimieren,« so Anita Schöbel. Außerdem steht die Vernetzung von Quantencomputern mit klassischen Computern und HPC im Fokus, um in der Zukunft das Beste der beiden Welten zu nutzen.

Im Kompetenzzentrum »Quanten High Performance Computing« bündeln sich inzwischen zahlreiche Projekte mit den verschiedensten Schwerpunkten – von der Quantenchemie über Finanzmathematik, Projekten mit Energiefokus oder Materialsimulation bis hin zur Quantenbildverarbeitung oder Quantenmaschinelles Lernen. Übergeordnetes Ziel der vielfältigen Aktivitäten ist immer: die Entwicklung von quantenbasierten Rechenstrategien für industrielle Anwendungen.

## Wissenschaftsminister Clemens Hoch übergibt Förderbescheid

»Sie haben die Anschubfinanzierung gut genutzt,« betonte Wissenschaftsminister Hoch bei der Bescheidübergabe. In der zweiten Förderphase vertiefen die Forschenden die Arbeitspakete. Dazu gehört auch, weitere Anwendungen zu identifizieren – eine Strategie, die auch der Industrielle Beirat bestärkt. Er besteht aus Vertretenden von BASF, Debeka, der Deutschen Bahn und Schaeffler. Das Land Rheinland-Pfalz will den Ausbau des Kompetenzzentrums Quantencomputing auch in Zukunft weiter fördern: Bis zu fünf Millionen Euro sollen in den nächsten drei Jahren zur Verfügung stehen, damit das Quantencomputing beim Lösen von gesellschafts-, wissenschafts- und wirtschaftsrelevanten Problemstellungen unterstützt.



*Prof. Dr. Anita Schöbel, Institutsleiterin Fraunhofer ITWM, und Wissenschaftsminister Clemens Hoch. Im Hintergrund der Quantencomputer System One von IBM, der in der Nähe von Stuttgart von Fraunhofer betrieben wird.*



# QCStack: Zwischen klassischen Clustern und Quantencomputing

---



Quantencomputing ist noch immer ein großes Versprechen, aber spätestens seit im Juni 2021 der erste Quantencomputer in Deutschland seinen Betrieb aufnahm, ist die Zukunftstechnologie ein Stückchen in die Gegenwart gerückt. Dr. Valeria Bartsch leitet das Team »Next Generation Computing – Quantencomputing« und spricht im Interview über den aktuellen Forschungsstand.

## Wie ist der Stand der Forschung beim Quantencomputing?

Im Vergleich zum klassischen Computing steht das Quantencomputing noch am Anfang der Entwicklung. Im Prinzip sind wir auf demselben Stand wie die ersten klassischen Computer in den 50er Jahren. Es fehlt uns eine ähnliche Erfindung wie die des Transistors, die Computer revolutioniert und eine Hardware-

plattform zur Verfügung gestellt hat, auf der alle weiteren Entwicklungen basieren. Wir stecken viel Arbeit in Forschung und Erprobung. Daher erwarten wir eine schnelle Verbesserung der Hardware, der Algorithmen und des Softwarestacks, um die Versprechen des Quantencomputings einzulösen. Wir wollen, dass die deutsche Industrie bereit ist, sobald sich die Vorteile des Quantencomputings in der Realität umsetzen lassen.



Aus dem Hochleistungsrechnen kommend, schauen wir uns insbesondere den Softwarestack und die Integration zwischen klassischen Clustern und Quantenrechnern an. Wir bauen eine Abstraktionsschicht – eine Schnittstelle zwischen der Hardware und der Anwendung – die jeder Quantencomputer braucht. Noch muss diese Schnittstelle für jede Quantentechnologie und Variante individuell realisiert werden. Wir möchten diesen Schritt verallgemeinern. Finanziell unterstützt uns das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Das Ministerium hat ein spezielles Förderprogramm für die Quantentechnologie aufgelegt. Wir leiten das Projekt QCStack und bauen gemeinsam mit unseren Partnern eine passende Middleware.

### Was heißt das genau?

Die Middleware sorgt für den Datenaustausch zwischen Anwendungsprogrammen, die unter verschiedenen Betriebssystemen oder in heterogenen Netzen arbeiten. In unserem Fall sind das Software-Stacks, also aufeinander aufbauende Softwarepakete mit der Aufgabe, die Ausführung einer gemeinsamen Anwendung zu unterstützen. Zum Verständnis hilft der Vergleich mit einem Orchester: Die Instrumente müssen gestimmt, also kalibriert werden, damit das Zusammenspiel funktioniert. Die Musik wird

entsprechend der Zusammensetzung des Orchesters arrangiert. Ebenso werden die Quantenalgorithmen kalibriert, damit sie auf einem bestimmten Quantensystem laufen. Im Orchester gibt der Dirigent den Instrumenten ihren Einsatz, die Qubits bekommen ihr »Go« von einem Scheduler.

### Das klingt nach einer großen Aufgabe. Arbeitet das Fraunhofer ITWM allein an QCStack?

Das Projekt ist eine Gemeinschaftsaufgabe – wir konzentrieren uns auf den Compiler, der Quantenalgorithmen auf reale Quantensysteme übersetzt. Das »Dahlem Center für komplexe Quantensysteme« der Freien Universität Berlin entwickelt Methoden zur optimalen Kontrolle von Quantensystemen und arbeitet an ihrer Anwendung. Die Qruise GmbH, ein Spin-off des Forschungszentrums Jülich, beschäftigt sich dann mit der Inbetriebnahme der Software und der (Neu-)Kalibrierung. Am Projektende – voraussichtlich im Januar 2025 – wollen wir die erste funktionsfähige Iteration der Software präsentieren, sowohl die Kernsoftware sowie die enthaltenen Algorithmen müssen dann MVP-Status (Minimal Viable Product) erreicht haben. Das heißt, unser Produkt muss so gut sein, dass es für Unternehmen interessant ist.

### Fraunhofer betreibt »IBM Quantum System One«

Seit Juni 2021 ist Quantencomputing in Europa möglich: Gemeinsam mit IBM betreibt Fraunhofer den Quantencomputer »IBM Quantum System One« unter EU-Datenschutzrichtlinien. Er steht Unternehmen und Forschungsorganisationen zur Verfügung, um anwendungsbezogene Quantenalgorithmen zu entwickeln, zu testen und Know-how aufzubauen.

## Qubits sind die kleinsten Recheneinheiten beim Quantencomputing.

### Kontakt

Dr. Valeria Bartsch  
Sprecherin der Leitung des Bereichs  
»High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4741  
valeria.bartsch@itwm.fraunhofer.de



# Quantensprünge in Wissenschaft und Karriere

---

**Dr. Jonas Koppe ist Forschungskordinator zum Thema »Quantencomputing« in der Abteilung »Finanzmathematik«. Mit einem siebenköpfigen Team bearbeitet er in dieser Position die unterschiedlichsten Projekte der neuen Technologie. Was das in der Praxis und für ihn als Person heißt, verrät er im Porträt.**

Seit September 2021 ist Jonas Koppe als Mitarbeiter am Institut und seit Februar 2022 besetzt er die neue Position des Forschungskordinators »Quantencomputing« (QC). Er ist extra in die Pfalz gezogen, denn seine Karriere hat sich bisher im Münsterland abgespielt: Er hat an der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster den Bachelor, dann den Master in Chemie abgeschlossen und dort im Anschluss am Institut für Physikalische Chemie promoviert. Dabei lag sein Schwerpunkt auf einem völlig anderen Gebiet: neue Methoden, um Festkörper mittels Kernspinresonanzspektroskopie zu untersuchen. Neben dem Chemiestudium hat Koppe zudem einen Bachelor in Betriebswirtschaftslehre erworben.

Eine breit gefächerte akademische Kombination also, die ihn ans Institut geführt hat. »Ich würde mich selbst eher als Physiker und nicht als Chemiker bezeichnen«, bemerkt Koppe. Und jetzt Finanzmathematik? Wie passt das zusammen? Sehr gut, denn der Forschungsschwerpunkt Quantencomputing ist eine Mischung aus Physik, Informatik und Mathematik, so auch die Stelle als Forschungskordinator.

## **Koordinator Quantencomputing am Puls der Forschung**

»In unserer Abteilung gilt es in der Position des Forschungskordinators vor allem wissenschaftliche Grundlagen zu schaffen. Ich beobachte die laufende Forschung aus der Anwendungsperspektive«, so Koppe. »Das heißt viel lesen, schreiben, koordinieren und dafür sorgen, dass wir als Expertinnen und Experten

sichtbar sind in der Forschungscommunity und am Puls der Zeit. Wir wollen auf die aktuellen Entwicklungen nicht nur vorbereitet sein, sondern State-of-the-Art-Forschung aktiv mitgestalten.«

Dafür laufen schon einige QC-Projekte, hauptsächlich mit rein öffentlicher Förderung. Abkürzungen wie EniQmA, QuSAA, AnQuC oder EnerQuant geben den Forschungsvorhaben Namen und Richtung. EnerQuant hat sich beispielsweise das Ziel gesetzt, das Potenzial neuer Computing-Technologien für die Energiewirtschaft zu nutzen. QuSAA hat Asset-Allokation im Blick und will dabei möglichst effizient die Hardware nutzen, die zur Verfügung steht. Unter Asset-Allokation versteht man die Aufteilung eines Vermögens auf verschiedene Anlageklassen wie Anleihen, Aktien oder Immobilien – bekanntes Terrain für die Abteilung.

## **Vielfalt der Projekte und Vernetzung**

»Bei den Projekten können wir als Team meist auf unsere Expertise in der Finanzmathematik aufbauen. Sie bildet die Grundlage, die technische Arbeit ist ähnlich. Die neue Technologie ist die eigentliche Challenge.« Dann gilt es gemeinsam zu analysieren, wie viel Potenzial in Quantencomputing wirklich steckt – im direkten Vergleich zu klassischer Hardware und Ansätzen. Am Übersetzen in die Quantenwelt sind teilweise auch Unternehmen beteiligt, mit denen die Abteilung bereits in anderen Projekten arbeitet, zum Beispiel die R+V Versicherung.



Wichtig in der täglichen Arbeit ist nicht nur eine enge Vernetzung mit den anderen ITWM-Abteilungen, sondern auch mit anderen Fraunhofer-Instituten. Herzstück des Netzwerks ist der »IBM Quantum System One« in Ehningen bei Stuttgart, auf dem Fraunhofer exklusiv rechnet.

### Quantencomputing hat noch ein Hype-Problem

Trotz all der Quantencomputing-Aktivitäten mahnt Koppe: »Das Thema hat gerade ein klassisches Hype-Problem: Das Interesse und die Berichterstattung sind enorm. Aber wir sind an einem Punkt, an dem wir noch keine Versprechungen machen können. Es wird sicher erfolgreiche Anwendungen geben, aber noch stecken wir in den Kinderschuhen. Es wird sich wahrscheinlich erstmal Desillusionierung einstellen, bevor die Anwendungen einen echten Quantenvorteil bieten«, so der 33-Jährige.

»Unser gemeinsames Verständnis für die praktische Umsetzung, aber auch für die Grenzen der neuen Technologie sind gerade erst in der Entwicklung.« Trotzdem ist Koppe optimistisch und geht davon aus, dass im Team bereits bis 2023 kompetitive Produkte entstehen, die Unternehmen unterstützen.

Die junge Technologie steht vor einem spannenden Wendepunkt, genau wie der junge Forscher selbst: »Ich muss mir das Feld völlig neu erarbeiten, mit meinem Spezialwissen vorher hat die Materie wenig zu tun. Aber deshalb bin ich gerne in der Forschung.« Und Koppe entdeckt nicht nur in der Wissenschaft, sondern inzwischen auch viel in seinem neuen Leben in Kaiserslautern: »Ich war überrascht, wie schön es hier im Pfälzer Wald und im Umland ist. Außerdem habe ich lange Saxofon in einer Big Band gespielt und überlege wieder damit anzufangen.« Kleinere (Quanten-)Sprünge gibt es so hoffentlich bald in allen Lebenslagen des Forschers.

### Kontakt

Dr. Jonas Koppe  
Forschungskordinator  
»Quantencomputing«  
Abteilung »Finanzmathematik«  
Telefon +49 631 31600-4110  
fm@itwm.fraunhofer.de



# Mit Forschungsergebnissen die Welt verändern

---

Ein Wissenschaftler sitzt in seinem stillen Kämmerlein und forscht... und dann? Im Interview spricht Dr. Jens Krüger darüber, wie Forschungsergebnisse den Weg in die Unternehmen und von dort aus in den Alltag der Menschen finden. Er ist Fraunhofer-Referent für das Strategische Forschungsfeld »Next Generation Computing«. Das steht auf drei Säulen: die erste Säule basiert auf klassischen Architekturen. Die zweite Säule sind neuromorphe Computer, die in etwa so funktionieren wie unser Gehirn und die dritte Säule sind Quantencomputer.

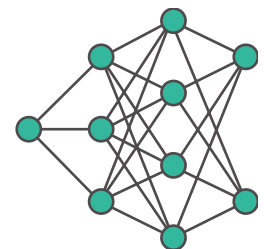
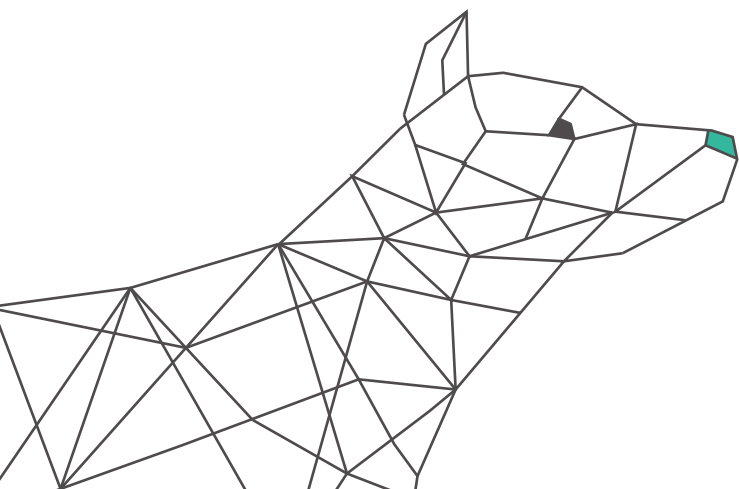
## Fassen Sie bitte kurz zusammen, was Sie als Forscher antreibt?

Ich bin ein neugieriger Mensch. Ich möchte neue Ideen ausprobieren und diese weiterentwickeln bis hin zu Produkten, die dann unserer Gesellschaft und Wirtschaft nutzen. Das geht von der Entwicklung von hocheffizienten Prozessoren bis hin zur Optimierung von künstlichen Neuronen Netzen für mobile Geräte. Ein Beispiel sind Uhren, die ein EKG aufnehmen. Auf diese Weise kann das Gerät einen nahenden Herzinfarkt detektieren und frühzeitig Alarm schlagen. Diese Technologie hat das Potenzial, Menschen das Leben zu retten.

## Oft geben Wettbewerbe der Forschung Impulse. Im März 2021 haben Sie einen Preis im Pilotinnovationswettbewerb »Energieeffiziente KI-Systeme« des Bundesforschungsministeriums (BMBF) gewonnen. Worum ging es da?

Aufgabe war es, eine möglichst energieeffiziente Hardware für den Einsatz in KI-Systemen zu entwickeln, die in EKG-Daten Herzrhythmusstörungen und Vorhofflimmern mit mindestens 90 Prozent Genauigkeit erkennt. Das Projekt, mit dem wir am Wettbewerb teilgenommen haben, hieß HALF, das steht für »Holistischer Ansatz zur Optimierung von FPGA-Architekturen für tiefe neuronale Netze via AutoML – Automatisches Maschinenlernen«. Wir haben dabei die gegenseitige Abhängigkeit des Energieverbrauchs der Hardware und der neuronalen Netzwerktopologie untersucht.

Die Wahl des Netzes hat erheblichen Einfluss auf die Hardwarekomplexität – und damit auf die benötigte Energie und umgekehrt. Diese Abhängigkeiten haben wir optimiert und eine neue Methodik entwickelt, die nicht nur energieeffizienter ist, sondern auch die Entwicklungszeit für optimale neuronale Netzwerktopologien reduziert.

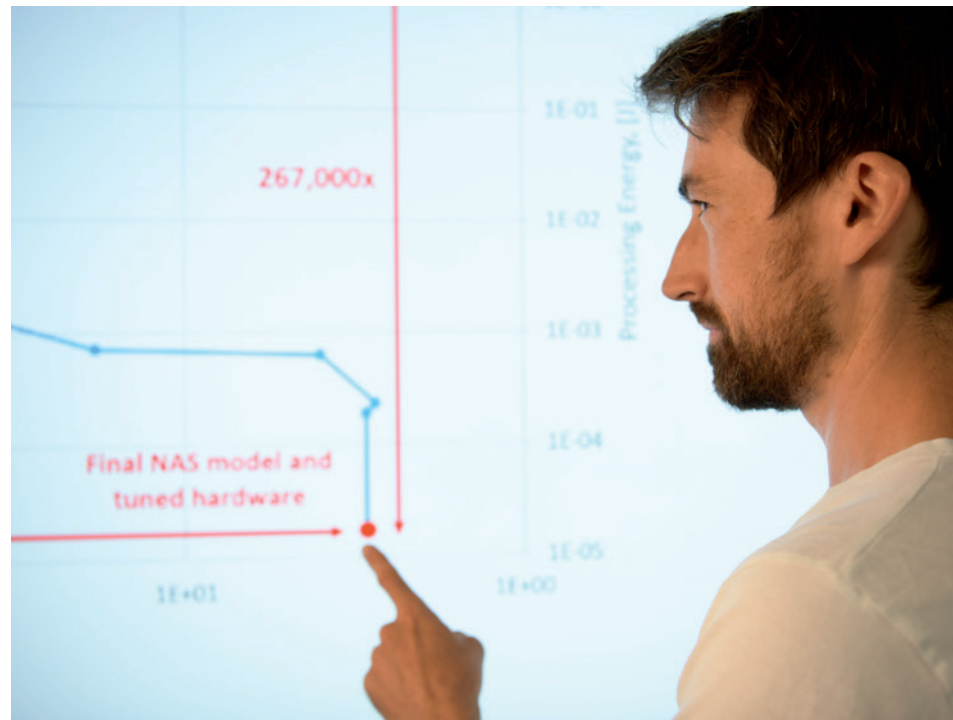


NASE – Neural Architecture Search Engine

## Wie ging es nach dem Gewinn des Wettbewerbs weiter?

Wir stellen nun unsere Expertise Unternehmen zur Verfügung, damit sie ihre Produkte entsprechend weiterentwickeln können. Der KI-Chip im Rahmen des Wettbewerbs war lediglich eine Testplattform. Im Nachfolgeprojekt wird nun direkt mit einem Hersteller zusammengearbeitet, um an der nächsten Gerätegeneration zu arbeiten, welche dann in klinischen Studien eingesetzt werden sollen.

Allerdings können wir alle Branchen unterstützen, denn fast jede steht vor der Herausforderung, dass Datenmengen ständig zunehmen und KI helfen kann, diese zu verarbeiten. Das ist wirtschaftlich für fast alle interessant, zum Beispiel für die Fahrzeugindustrie oder die Telekommunikationsbranche. Daraus entstand das Software-Produkt »NASE« (Neural Architecture Search Engine).



## Mit NASE wird wissenschaftliche Expertise für Unternehmen verfügbar. Wie läuft das ab?

Jeder Auftrag ist individuell, aber klar ist: Effizienz beginnt für uns beim Algorithmus. Wir nutzen modernste Verfahren der automatischen neuronalen Netzwerksuche, um Netzwerke zu entwickeln, die hinsichtlich vieler Aspekte gleichzeitig effizient sein können. Wir beachten Eigenheiten der zugrundeliegenden Plattform und nehmen sie in das Netzwerkdesign auf. Der Algorithmus passt dann die Netze der Hardware an. Wir bieten also unsere Erfahrung, die Technologie und Rechenkapazitäten. Die Unternehmen liefern uns die für sie relevanten Datensätze und definieren die Anforderungen, etwa an Genauigkeit und Geschwindigkeit. Dann suchen wir mithilfe unserer Supercomputer und unseres Frameworks nach dem besten Modell. Das Netzwerk ist dann direkt einsatzfähig.

## Um dem Bedarf nach immer mehr und schnellerer Rechenleistung gerecht zu werden, forschen Sie in der European Processor Initiative (EPI) gemeinsam

## mit 28 Partnern aus 10 europäischen Ländern und entwickeln hocheffiziente Beschleunigerprozessoren. Welchen Beitrag leistet das Fraunhofer ITWM hier?

Unser Beitrag ist der sogenannte Stencil- und Tensor Beschleuniger (STX), den wir gemeinsam mit dem Fraunhofer IIS auf Basis einer Architektur der ETH Zürich entwickeln. Wir konzentrieren uns auf das effiziente Ausführen von hoch parallelisierbaren Anwendungen mit konstanten Zugriffsmustern, wie sie in vielen Anwendungen vorkommen – von der Strömungsdynamik, über Klima- und Wettervorhersagen bis hin zu bildgebenden Verfahren. Reale Anwendungen sollen energieeffizienter werden, einfacher zu programmieren sein und geringere Kosten verursachen. Schon jetzt können Interessenten eigene Codes auf unserem Simulator testen. Nächstes Jahr steht dann die nächste Generation von Testchips zur Verfügung. 2025 wollen wir das erste komplette System lauffähig haben. Eine große Herausforderung, aber auch ein wichtiger Schritt hin zu einer neuen nationalen und europäischen Industrie für hochperformante Prozessoren und Beschleuniger.

### Kontakt

Dr. Jens Krüger  
Sprecher der Leitung des Bereichs  
»High Performance Computing«  
Telefon +49 631 31600-4541  
jens.krueger@itwm.fraunhofer.de

