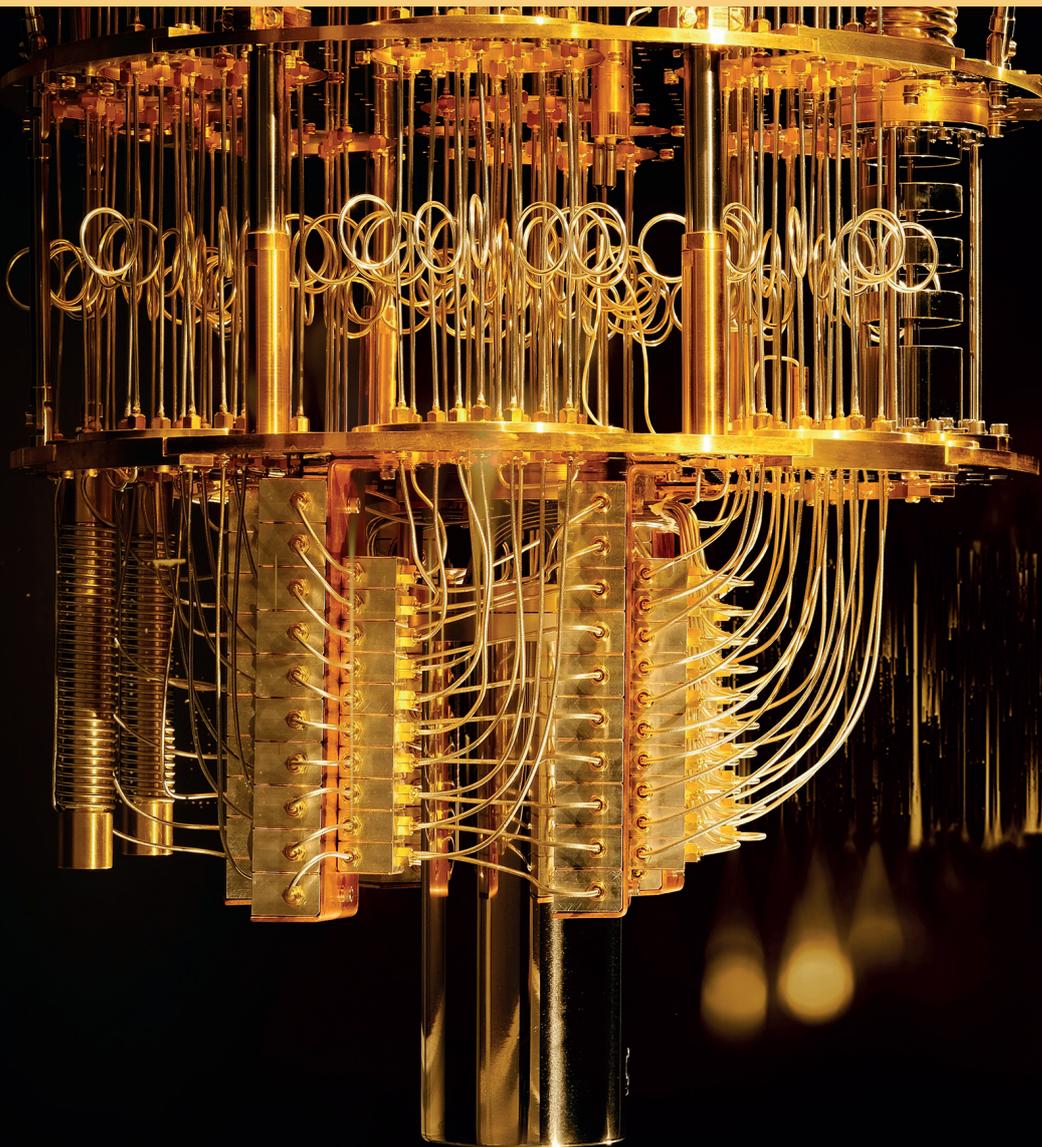




Fraunhofer

**KOMPETENZZENTRUM QUANTENCOMPUTING
BADEN-WÜRTTEMBERG**



KOMPETENZZENTRUM QUANTENCOMPUTING BADEN-WÜRTTEMBERG

Um die anwendungsnahe Forschung zum Quantencomputing voranzutreiben, gründet die Fraunhofer-Gesellschaft in Zusammenarbeit mit IBM Deutschland ein nationales Netzwerk mit Kompetenzzentren in sieben Bundesländern. In Baden-Württemberg ist das Kompetenzzentrum »Quantencomputing« im Februar 2020 gestartet und wird gemeinsam vom Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF in Freiburg und dem Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO in Stuttgart koordiniert.

Das Kompetenzzentrum besitzt seit April 2020 Cloud-Zugriff auf IBM-Quantencomputer in den USA. Ab Januar 2021 wird ein Quantenrechner in Ehningen in Betrieb genommen, der unter deutschem Recht operiert. Die bereitgestellten Systeme befinden sich auf dem höchsten Stand der Technik und bieten der hiesigen Wirtschafts- und Innovationslandschaft eine Vielzahl an anwendungsbezogenen Entwicklungen. Gleichzeitig eröffnet sich für Wirtschaft und Wissenschaft großes Potential für den Kompetenzaufbau und Wettbewerbsvorteile im Bereich des Next Generation Computings.

Ziel des Kompetenzzentrums ist es, mit Quantencomputing eine entscheidende Zukunftstechnologie erfolgreich zu gestalten sowie durch den frühzeitigen Aufbau von Fachkompetenzen in Baden-Württemberg und Deutschland schon heute an der Wertschöpfung dieser neuen Technologie teilzuhaben. Hierfür erhalten Mitglieder und Partner des Kompetenzzentrums aus Forschung und Industrie Zugriff auf die IBM-Quantencomputer und können von einem Schulungsangebot, das derzeit vom Fraunhofer IAF und Fraunhofer IAO aufgebaut wird, profitieren.

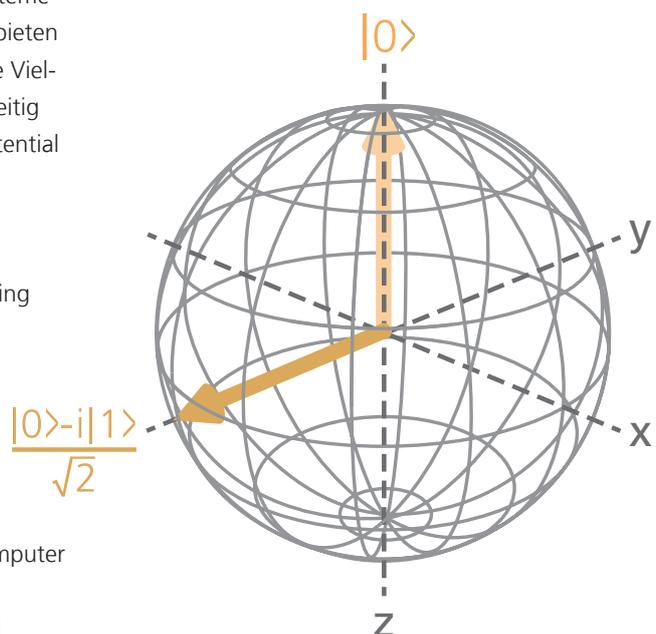
In dieser Broschüre informieren wir Sie über das Kompetenzzentrum, Möglichkeiten zur Zusammenarbeit und Schulungsangebote. Kommen Sie mit uns ins Gespräch!



**Prof. Dr. Dr.
Oliver Ambacher**
Institutsleiter
Fraunhofer IAF



**Prof. Dr.-Ing. Prof. e. h.
Wilhelm Bauer**
Institutsleiter
Fraunhofer IAO





Vorwort von

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut

Ministerin für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau
des Landes Baden-Württemberg

*»Das neue Kompetenzzentrum Quantencomputing
in Baden-Württemberg ist ein Leuchtturmvorhaben
mit internationaler Strahlkraft.«*

Sehr geehrte Damen und Herren,

Quantencomputing bietet ganz neue Möglichkeiten, um den Einschränkungen klassischer, digitaler Computer zu begegnen. Perspektivisch werden Quantencomputer wirtschaftsnahe Fragestellungen in kürzester Zeit anstatt in Jahren lösen können. Diese Vorteile können künftig auch die Lösung komplexer Optimierungsfragen mit Künstlicher Intelligenz revolutionieren.

Die großen Innovationspotenziale des Quantencomputings wollen wir möglichst frühzeitig für wirtschaftliche und wissenschaftliche Anwendungen im Land nutzbar machen und uns einen wichtigen Standortvorteil erarbeiten. Baden-Württemberg ist das Land der Hidden Champions und die führende Innovationsregion in Europa. Wir bieten daher hervorragende Voraussetzungen und eine Vielzahl an Anwendungsgebieten, für die das Quantencomputing in der Praxis nützlich werden kann.

Der Aufbau des IBM-Quantencomputers ist ein großartiger Erfolg und eine enorme Chance für unser Land. Die Landesregierung stellt insgesamt bis zu 40 Millionen Euro bereit, um gemeinsam mit der Fraunhofer Gesellschaft, der

Wirtschaft und den Wissenschaftseinrichtungen im Land eine innovative Wissens- und Technologiebasis zum Quantencomputing aufzubauen, weiterzuentwickeln und in die Praxis zu transferieren.

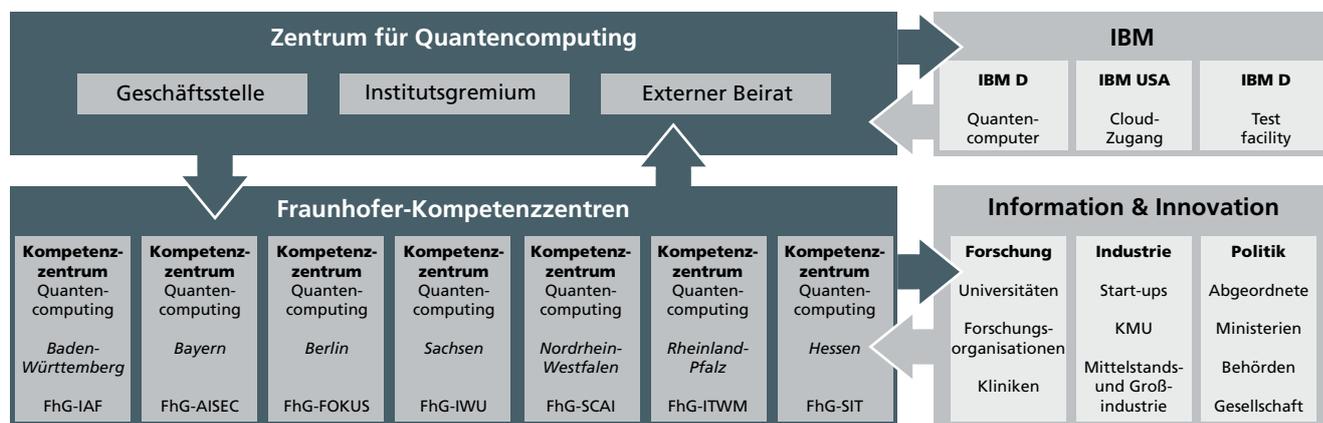
Mit dem Kompetenzzentrum wollen wir unser Ökosystem zu Quantentechnologien aus Universitäten, Forschungsinstituten, Startups und Unternehmen in Baden-Württemberg gemeinsam international sichtbar weiter ausbauen. Das Kompetenzzentrum soll auch wichtige Impulse für die Entwicklung einer innovativen Quanten-Hardware- und Software-Branche in Baden-Württemberg geben und Firmengründungen in den Bereichen der Mikro- und Nanoelektronik sowie der Quanteninformatik stimulieren.

Ich lade alle interessierten Unternehmen, Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen herzlich ein, sich als Mitglieder und Projektpartner aktiv in die Arbeit des Kompetenzzentrums einzubringen und gemeinsam die Zukunft in Baden-Württemberg mitzugestalten.

Dr. Nicole Hoffmeister-Kraut MdL

AUF EINEN BLICK

Die Fraunhofer-Gesellschaft baut in Kooperation mit IBM Deutschland ein nationales Kompetenznetzwerk im Forschungsfeld des Quantencomputings auf. Ziel ist die Entwicklung von quantenbasierten Rechenstrategien für die nächste Generation an Hochleistungscomputern. Unter der Beteiligung von derzeit elf Fraunhofer-Instituten werden fachliche Expertisen in regionalen Kompetenzzentren gebündelt.



Organisationsstruktur des Kompetenznetzwerks »Quantencomputing« mit derzeit sieben Kompetenzzentren in den beteiligten Bundesländern.

Innerhalb des Kompetenzzentrums »Quantencomputing Baden-Württemberg« (KQC) wird in Ehningen bei Stuttgart der erste IBM-Quantencomputer auf deutschem Boden aufgestellt. Dies bietet der vorhandenen Hightech-Landschaft aus Industrie, KMU und Start-ups die einmalige Chance, Hochleistungsrechner für ihre anwendungsbezogene Forschung und Entwicklung zu nutzen.

Seit April 2020 besitzen das Kompetenzzentrum und seine Partner per Cloud Zugriff auf State of the art IBM-Quantencomputer in den USA. Dies ermöglicht von der essentiellen Algorithmik, der Softwareentwicklung sowie der Gestaltung elementarer Logikoperationen bis hin zur Kontrolle des Quantenprozessors im eigentlichen Rechenvorgang eine Vielzahl an Forschungsthemen. Die Leistungsparameter des Quantencomputers sind auf die hohen Anforderungen einer Forschungsinfrastruktur mit dem Fokus auf gesellschafts- und wirtschaftsrelevante Anwendungen ausgerichtet.

Das von IBM ab dem Jahr 2021 in Ehningen zur Verfügung gestellte »Q System One« befindet sich ebenfalls auf dem weltweit Stand der Technik (Quantenvolumen = 30). Zusätzlich ermöglicht der Standort in Baden-Württemberg den Betrieb dieses IBM-Quantencomputers unter deutscher Gesetzgebung. Dies ist im Hinblick auf Datenschutz und IP-Sicherung ein essentieller Kern der Gesamtinitiative und eine wichtige Voraussetzung für eine breite Beteiligung der nationalen Industrie.

Die Koordination des Kompetenzzentrums »Quantencomputing Baden-Württemberg« übernehmen das Fraunhofer IAF in Freiburg und das Fraunhofer IAO in Stuttgart. Gerne stehen wir Ihnen für weitere Auskünfte zur Verfügung.

ANGEBOT UND PREISE

VERBUNDPROJEKTE

Innerhalb des KQC werden Verbundprojekte durch das Ministerium für Wirtschaft, Arbeit und Wohnungsbau Baden-Württemberg ausgeschrieben. Antragsberechtigt sind alle Hochschulen und außeruniversitären Forschungseinrichtungen mit Sitz bzw. Standort in Baden-Württemberg. Interessierte Unternehmen im Bundesland können als assoziierter Partner teilnehmen, erhalten jedoch keine Förderung.

Der erste Förderaufruf wurde am 29.6.2020 veröffentlicht; die Deadline ist der 31.8.2020. Die Projekte sollen zum 1.1.2021 starten und sind auf eine Dauer von zwei Jahren ausgelegt.

Themen:

- Quantencomputing für das Design neuartiger Materialien und quantenchemischer Reaktionen
- Quantencomputer und Quantenalgorithmen zur Optimierung komplexer Zustandssysteme
- Entwicklung und Demonstration leistungsfähiger Quantenspeicher und Quantenprozessoren

Es wird erwartet, dass mindestens 25% der Projektkosten für die Nutzung des Quantencomputers eingesetzt werden. Hierfür wurde ein Ticketmodell erstellt (siehe rechts).

Alle weiteren Informationen zu den Verbundprojekten erhalten Sie unter: <https://www.iaf.fraunhofer.de/KQC>

RECHENZEIT

Wir bieten für alle interessierten Nutzer – unabhängig von ihrem Bundesland – Zugriff auf den IBM-Quantencomputer. 2020 können Sie per Cloud Access auf in den USA stationierte Quantencomputer zugreifen, ab 2021 dann auf den Quantencomputer in Ehningen, der unter deutschem Recht betrieben wird. Der Zugriff unterliegt einem Nutzungsvertrag und einer Exportkontrolle.

Wir arbeiten mit einem Ticketmodell, bei dem Sie sich pro gekauftem Ticket einen Kalendermonat Zugriff auf den Quantencomputer sichern. Dabei gelten die folgenden (vorläufigen) Preise:

- für Verbundprojektpartner: 9.770 € / Kalendermonat
- für externe Kunden: 11.621 € / Kalendermonat

Die Preise verstehen sich zzgl. MwSt. und pro Nutzer. Möchten mehrere Nutzer einer Organisation auf den Quantencomputer zugreifen, so ist für jeden ein individuelles Ticket zu erwerben.

Wir empfehlen Ihnen, zusätzlich von unserem Schulungsangebot Gebrauch zu machen (siehe nächste Seite). Schulungen werden für »Basic«- und »Advanced«-Nutzer angeboten.

Bei Interesse nehmen Sie gerne Kontakt auf unter: kqc@iaf.fraunhofer.de

Bleiben Sie auf dem Laufenden: Newsletter des Kompetenzzentrums

Wir informieren Sie regelmäßig über Aktivitäten im KQC. Tragen Sie sich dafür einfach für den Newsletter ein.



www.iaf.fraunhofer.de/KQCnews

SCHULUNGSANGEBOT

Quantenprogrammierung leicht gemacht!

Um möglichst vielen Interessenten einen schnellen Zugriff und eine effiziente Nutzung der IBM-Quantencomputer zu ermöglichen, gibt es am Fraunhofer IAF (Freiburg) und Fraunhofer IAO (Stuttgart) jeweils einen leistungsfähigen Computer-Pool. Diese bestehen aus zehn Workstations und einem klassischen Hochleistungscomputer für Trainings- und Schulungszwecke, die an die IBM-Quantencomputer angeschlossen sind.

Ab Herbst 2020 können Anwender hier Expertise in der Programmierung der IBM-Quantencomputer aufbauen. Über die Software »Qiskit« können applikationsspezifische Algorithmen entwickelt und getestet werden. Zunächst findet dies per Cloud Access auf IBM-Computer mit Standort in den USA statt. Ab 2021 kann dann auf dem in Ehningen stationierten Computer, der unter deutschem Recht betrieben wird, gearbeitet werden.

Die für die Schulungszwecke genutzten Cloud-Quantencomputer bieten folgende Eigenschaften:

Qubits	bis zu 53
Abmessung eines Qubits	≈ 100 μm
Betriebstemperatur der Qubits	= 15 mK
Zeit pro Quantengatter	≈ 25 – 100 ns
Quantengatter-Fehler	< 0,5 % (1 Qubit-Gatter) < 2,5 % (2-Qubit-Gatter)
Kohärenzzeit	> 50 μs
Messfehler	< 5 %

Der in Ehningen stationierte Quantencomputer wird ein Quantenvolumen von 30 und verbesserte Fehlereigenschaften bieten. Diese Konfigurationen ermöglichen Trainings von der essentiellen Algorithmik, der Gestaltung von Quantengattern bis hin zur Softwareentwicklung.

Anwendungen, für die sich Quantencomputer besonders eignen und für die unser Test- und Schulungsangebot besonders interessant ist:

- Optimierung logistischer Prozessabläufe
- Koordination und Organisation komplexer automatisierter Produktionstrecken
- Ressourcenoptimiertes Management von Fahrzeugflotten und autonomen Fahrzeugen
- Prognose von Finanzentwicklungen
- Simulation von Molekülen und chemischen Reaktionen

Schulungsmodalitäten

Die Schulungen sind nutzer- und interaktionszentriert und finden lokal in kleinen Gruppen statt. Je nach Vorkenntnissen können Sie zwischen der Variante »Basic« und »Advanced« wählen (siehe rechts). Dies ermöglicht Ihnen, mittels vorgegebenen Testaufgaben erste Erfahrungen mit IBM-Quantencomputern zu sammeln oder Ihre schon vorhandene Expertise weiter auszubauen, indem Sie Ihre eigenen Anwendungsbeispiele einbringen.

Für weitere Informationen und aktuelle Schulungsdaten melden Sie sich bitte bei uns unter:

kqc@iaf.fraunhofer.de

BASIC

Zielgruppe

Sie haben keine oder wenig Erfahrung in der Programmierung und Anwendung von Quantencomputern.

Lernziele und Inhalte

- Verstehen der grundlegenden Konzepte: Qubits, Superposition, Verschränkung, Quantengatter u.v.m.
- Verstehen der verschiedenen Architekturen von Quantencomputern, Hardware und Software
- Grundlegendes Programmieren mit der Software Qiskit für einfache Anwendungsfälle
- Technische Einführung in den IBM-Quantencomputer
- Genutzte Algorithmen: Deutsch, Grover, Shor u.a.

Schulungsform

50 % Grundlagen (Als Vorträge mit Beispielen und Quiz)
50 % Anwendung (Gruppen- und Einzelarbeit an vorgegebenen Anwendungsfällen)

Programme



Schulungstermine und -Orte

Schulungen werden laufend am Fraunhofer IAF in Freiburg und dem Fraunhofer IAO in Stuttgart angeboten. Bitte melden Sie sich per E-Mail bei kqc@iaf.fraunhofer.de, um die nächsten Termine zu erfahren.

Kosten

1 Ticket
Dies beinhaltet einen Monat Nutzungszeit auf dem IBM-Quantencomputer, eine ca. zweiwöchige Schulung inkl. aller Unterlagen und Catering vor Ort. Die Teilnahme setzt einen Nutzervertrag und eine erfolgreiche Exportkontrolle voraus.

ADVANCED

Zielgruppe

Sie haben schon Erfahrung in der Nutzung von Quantencomputern und können einige Algorithmen selbst programmieren.

Lernziele und Inhalte

werden je nach Interesse und Bedarf der Teilnehmer definiert. Mögliche Themen sind:

- Fortgeschrittene Quantenalgorithmen, z.B. klassisch-quantenmechanische Hybridalgorithmen (wie VQE oder QAOA) oder Quantum Machine Learning
- Techniken zur Korrektur oder Reduzierung von Fehlern
- Einführung in »Qiskit Pulse« (tiefere Ebene der Programmierung, welche mehr Kontrollmöglichkeiten beinhaltet)

Schulungsform

40 % Grundlagen (Als Vorträge mit Beispielen und Quiz)
60 % Anwendung (Gruppen- und Einzelarbeit an vorgegebenen Anwendungsfällen)

Programme



Schulungstermine und -Orte

Diese Schulungen werden auf Ihre Bedürfnisse zugeschnitten. Bitte melden Sie sich unter Angabe von Vorkenntnissen und Interessen per E-Mail bei kqc@iaf.fraunhofer.de, um die nächsten Termine zu erfahren.

Kosten

1 Ticket
Dies beinhaltet einen Monat Nutzungszeit auf dem IBM-Quantencomputer, eine ca. zweiwöchige Schulung inkl. aller Unterlagen und Catering vor Ort. Die Teilnahme setzt einen Nutzervertrag und eine erfolgreiche Exportkontrolle voraus.

FREQUENTLY ASKED QUESTIONS

QUANTENCOMPUTER SCHULUNGEN

Überprüft die Fraunhofer-Gesellschaft, welche Rechenvorgänge ich auf dem Quantencomputer durchführe?

Nein, wir sehen Ihre Daten nicht ein.

Steht genug Rechenkapazität für alle Nutzer bereit?

Bei bis zu 100 Nutzern erwarten wir keine Kapazitätsprobleme. Die Last hängt auch davon ab, wie aufwändig die genutzten Algorithmen sind. Sollten wir feststellen, dass an bestimmten Tagen und zu bestimmten Uhrzeiten Kapazitätsspitzen auftreten, behalten wir uns vor, Nutzungszeiten anzuweisen, um allen Nutzern einen reibungslosen Gebrauch des Quantencomputers garantieren zu können.

Was umfasst der Nutzungsvertrag?

Bevor Sie auf den Quantencomputer zugreifen können, werden per Nutzervertrag die Zugriffsrechte, die Regelungen des System- und Datenschutzes sowie die Exportkontrolle geregelt. Es wird pro Person ein Nutzungsvertrag mit der Fraunhofer-Gesellschaft geschlossen.

Wieso ist eine Exportkontrolle nötig?

Obwohl der Quantencomputer in Baden-Württemberg steht und unter deutschem Recht betrieben wird, handelt es sich um ein amerikanisches Gerät. Daher muss vor dem Zugriff eine Exportkontrolle durchgeführt werden.

Muss jede Person ein Ticket erwerben oder kann ich als Organisation geschlossen ein Ticket kaufen?

Pro Nutzer (= Einzelperson) ist mindestens ein Ticket zu erwerben. Tickets können nicht geteilt oder übertragen werden.

Gibt es Rabatt für mehrere Nutzer oder bei Erwerb mehrerer Monatstickets?

Da wir auf Selbstkostenbasis arbeiten, können wir leider keinen Rabatt gewähren.

Wie oft finden Schulungen statt?

Wir bieten regelmäßig Schulungen am Fraunhofer IAF in Freiburg und am Fraunhofer IAO in Stuttgart an. Da es keine festen Termine gibt, sondern Schulungen ab 5 Teilnehmern stattfinden, bitten wir Sie um eine formlose Anmeldung per E-Mail an kqc@iaf.fraunhofer.de, wenn Sie Interesse haben. Wir melden uns dann schnellstmöglich mit einem Angebot und Terminvorschlägen.

Finden die Schulungen auch digital statt?

Generell empfehlen wir Ihnen eine Schulung bei uns vor Ort, da der Austausch zwischen Trainer und Schulungsteilnehmern sowie die Interaktion untereinander zentral für den Lernerfolg ist. Gleichzeitig arbeiten wir an einem digitalen Schulungskonzept, mit dem wir Ihnen einen ebenso effektiven Lernerfolg bieten können wie bei uns vor Ort. Bitte informieren Sie uns per E-Mail an kqc@iaf.fraunhofer.de, wenn sie nur an einer digitalen Schulung interessiert sind, damit wir den Bedarf einschätzen können.

Ist die Unterkunft im Preis enthalten?

Nein, Kosten für die Unterkunft sind von Ihnen selbst zu tragen. Wir können Ihnen gerne eine Auswahl an Hotels und Pensionen in Freiburg empfehlen.

STATEMENTS ZUM KOMPETENZZENTRUM



Prof. Dr. Joachim Ankerhold

Direktor Institut für komplexe Quantensysteme, Universität Ulm;
Co-Direktor Center for Integrated Quantum Science & Technology (IQST)

» Quantentechnologien sind heute in aller Munde. Für Baden-Württemberg als Standort der Hochtechnologie sind sie von besonderer Bedeutung, insbesondere auch das Quanten-Computing. Als disruptive Technologie braucht die Umsetzung in konkrete Anwendungen noch etwas Geduld, aber schon heute können wir durch die Kooperation mit IBM und den engen Verbund von industrienaher und Grundlagenforschung ein optimales Ökosystem entwickeln, um international ganz vorne mitspielen zu können. «



Dr. Thomas Strohm

Koordinator für Quantentechnologien,
Bosch Research

» Quantencomputing ist in der Lage, tiefgreifende neue technologische Möglichkeiten zu schaffen. Baden-Württemberg ist ein Land der Tüftler und Erfinder. Die zahlreichen Technologieunternehmen hier werden vom Zugang zu einem Quantencomputer stark profitieren. Vom Kompetenzzentrum erwarten wir uns daher zuallererst fachliche Kompetenz und die Fähigkeit, die beteiligten Unternehmen mit Ihrer Expertise zu Quantencomputing zu beraten. Ein einfacher und offener Zugang zum Quantencomputer ist ebenso wichtig. «



Dr. Sebastian Zanker

CTO und Co-Founder,
HQS Quantum Simulations

» Wir bei HQS befassen uns mit der Entwicklung von Simulationssoftware, die den Quantencomputer zur Vorhersage von Materialeigenschaften nutzbar macht. Vom Kompetenzzentrum erwarten wir uns enge Kontakte und Kooperationen mit Partnern aus der Wirtschaft, die zu den potenziellen Anwendern unserer Software zählen, als auch Forschungsinstituten, die gemeinsam mit uns an Themen wie zum Beispiel der Fehlerreduktion oder auch effizienten Simulationsalgorithmen arbeiten. «



Prof. Dr. Guido Burkard

Lehrstuhl für Theoretische Festkörperphysik und Quanteninformation,
Universität Konstanz

» Mit dem Kompetenzzentrum erhalten wir die Chance, den in Baden-Württemberg vorhandenen Sachverstand im Bereich Quantencomputing zu bündeln und auszubauen und Lücken zwischen Grundlagenforschung und Anwendung zu schließen. Die Forschung spielt hierbei eine wichtige Rolle. Denn während die ersten Prototypen bereits verfügbar sind, ist der Wettbewerb um die besten Ideen zur Realisierung und Nutzung von Quantencomputern weiterhin in vollem Gang. «

KONTAKTIEREN SIE UNS!

Fraunhofer-Institut für Angewandte Festkörperphysik IAF

Tullastraße 72
79108 Freiburg
Telefon +49 761 5159-410
info@iaf.fraunhofer.de
www.iaf.fraunhofer.de



Dr. Thomas Wellens
Forschungsbereich Quantencomputing

Telefon +49 761 5159-560
thomas.wellens@iaf.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation IAO

Nobelstraße 12
70563 Stuttgart
Telefon +49 711 970-01
presse@iao.fraunhofer.de
www.iao.fraunhofer.de



Thomas Renner
Institutsdirektor

Telefon +49 711 970-2417
thomas.renner@iao.fraunhofer.de

Copyright

Titelfoto: PRODUCTION PERIG - stock.adobe.com

S. 3: Martin Stollberg

S. 7: Bosch Research (o.r.) | Eberhardt, Uni Ulm (o.I.) | Universität Konstanz (u.r.)



www.iaf.fraunhofer.de/quantencomputing