



Inhalte

Seite 3	Pressetour Programmablauf
Seite 4	QVLS-Q1: Quantencomputer made in Niedersachsen
Seite 5	QVLS Strategie und Zukunftsperspektiven
Seite 6	Quantentechnologien in der Region Hannover-Braunschweig
Seite 7	Stationen der Pressetour
Seite 10	Bisherige Kooperationen im Forschungsverbund Hannover-Braunschweig
Seite 11	Quantenindustrie: Chancen für regionale und nationale Wertschöpfung
Seite 12	Galerie

Pressetour Programmablauf

Königlicher Pferdestall (Appelstraße 7, 30167 Hannover)

11:30	Anmeldung
12:00	Programmbeginn mit Impulsen von Minister Björn Thümler und Prof. Dr. Volker Epping, Präsident der Leibniz Universität Hannover
12:20	Mittagsbuffet mit informeller Q&A
12:45	Ende des Mittagessens, Fußweg zum HITec Gebäude

HITec – Hannover Institute of Technology (Callinstraße 34a, 30167 Hannover)

13:00	Begrüßung am HITec Gruppenaufteilung für die Begehungen
13:10	Gruppe ROT: Einstein-Elevator Gruppe BLAU: Quantum Computing Demonstratoren der LUH und der TUBS
13:40	Gruppe ROT: Quantum Computing Demonstratoren der LUH und der TUBS Gruppe BLAU: Einstein-Elevator
14:10	Ende der Begehung und Abfahrt nach Braunschweig

PTB – Physikalisch-Technische Bundesanstalt (Bundesallee 100, 38116 Braunschweig)

15:30	Ankunft in Braunschweig
15:40	Empfang durch und Impulse von Dr. Prof. h.c. Frank Härtig, Vizepräsident der PTB, und Prof. Dr. Angela Ittel, Präsidentin der Technischen Universität Braunschweig
16:00	Gruppe ROT: Besuch des Reinraumzentrums Gruppe BLAU: Experimente mit einem ersten Quantencomputerprototypen
16:45	Gruppe ROT: Experimente mit einem ersten Quantencomputerprototypen Gruppe BLAU: Besuch der Reinraumzentrums
17:45	Ende der Pressetour, Transfer nach Hannover (Hauptbahnhof, Königlicher Pferdestall)



QVLS-Q1: Quantencomputer made in Niedersachsen

Einer der jüngst erreichten wissenschaftlichen Durchbrüche ist für das QVLS von besonderer Bedeutung: **die Entwicklung einer skalierbaren Technologie für das Quantencomputing bei Raumtemperatur und mit geringer Fehlerrate auf der Basis von gefangenen Ionen.** Diese Ionenfallentechnologie wird derzeit als einer der vielversprechendsten Ansätze für skalierbare Quantencomputer angesehen. Da die Region Hannover-Braunschweig selbst im weltweiten Vergleich zu den führenden Standorten dieser Technologie gehört, hat das niedersächsische Ministerium für Wissenschaft und Kultur gemeinsam mit der VolkswagenStiftung im Dezember 2020 eine **Kernfinanzierung von 25 Millionen Euro zur Verfügung gestellt, um den QVLS-Q1, einen Quantencomputer mit 50 Qubits bis 2025 zu entwickeln.** Diese Summe soll im Rahmen der aktuell laufenden Bundesausschreibungen vervielfacht werden und die technologische Entwicklung weiter beschleunigen.

Wie die Grundrecheneinheit Bit bei einem normalen Computer kann auch die Grundrecheneinheit des Quantencomputers – ein Qubit – die Zustände 0 oder 1 annehmen. Anders als bei einem normalen Computer kann ein Qubit jedoch auch alle Zustände dazwischen einnehmen. Deshalb steigt die Information, die ein Quantencomputer speichern und verarbeiten kann, exponentiell mit der Zahl der Qubits. Bei der Ionenfallen-Technologie werden Ionen – geladene Atome – als Grundrecheneinheit des Computers verwendet, ein Ion ist ein Qubit. Mithilfe von elektrischen Feldern werden diese Ionen eingefangen und durch Radiowellen sowie Laserstrahlen kontrolliert.

Arrays von **Ionenfallen stellen aktuell die fortgeschrittenste Technologie dar, die Quantenprozessoren für den Raumtemperatur-Betrieb möglich macht.** Alle anderen ähnlich weit entwickelten Technologie-Ansätze beruhen auf ultrakalten Temperaturen und fragilen Quantenzuständen, die enorm aufwändige Kühlsysteme erfordern. Die Stabilität von Quantenzuständen isolierter Ionen dagegen ist viele Zehnerpotenzen besser im Vergleich zu alternativen Technologien. Gepaart mit den extrem geringen demonstrierten Fehlerraten kann mit diesem System die Grundvoraussetzung für die Realisierung eines programmierbaren, fehlertoleranten Quantencomputers realisiert werden. Genau in diesem Punkt – der Fehlerwahrscheinlichkeit – konnten weltweit führende Ergebnisse im QVLS Verbund erreicht werden. Mit Blick auf die verfügbare Infrastruktur und die vorliegende Expertise bietet das QVLS die mit Abstand besten Voraussetzungen in Deutschland, um einen Ionenfallen-Quantencomputer zu bauen und weiterzuentwickeln.

Das QVLS wird die einzigartige Ausgangssituation nutzen und einen ersten Quantenprozessor mit 50 Qubits nahe der Fehlertoleranz entwickeln. Ein Quantenrechner mit 50 Qubits kann schon erste fundamentale Rechnungen vollziehen, wird aber vor allem erst einmal als Testmaschine dienen. Dabei sind 50 Qubits mit kleiner Fehlerrate schon wesentlich leistungsstärker als 1000 Qubits mit einer hundertfach höheren Fehlerquote. **Eine weitere Skalierung über 50 Qubits hinaus setzt Investitionen im Bereich mehrerer 100 Millionen Euro voraus. Das QVLS möchte hierfür die notwendigen skalierbaren Basistechnologien entwickeln und erste Schritte gehen.**



QVLS Strategie und Zukunftsperspektiven

Über die kommenden 10 Jahre sollen in der Region mehr als 1,5 Milliarden Euro in Quantentechnologien fließen. Durch seine vielfältigen Aktivitäten will das QVLS als Katalysator das bestehende lokale Ökosystem aus Forschungseinrichtungen, Unternehmen, Start-ups und politischen Entscheidungsträgern stärken. Damit kann das Potenzial der Quantentechnologien in reale Lösungen umgesetzt werden, die einen Mehrwert für die Gesellschaft und die Wirtschaft schaffen. **Mit Blick auf die Zukunft will QVLS das wachsende regionale Ökosystem weiter ausbauen, um zu einem der weltweit führenden Zentren für Quanteninnovationen zu werden.**

Die in Zusammenarbeit mit unseren Partnern entwickelte QVLS Strategie umfasst sechs Schwerpunktbereiche für die nächsten zehn Jahre: innovationsfördernde Partnerschaften, herausragende Forschung, starke Quantentechnologie-Industrie, Weltklasse-Infrastruktur, nachhaltige Ausbildung von Talenten, Gemeinschaft und Öffentlichkeitsarbeit. Mehr zu unserer Strategie finden Sie [hier](#).

Auf Grundlage der in der Region bereits etablierten hervorragenden Forschungsk Kooperationen und der existierenden Forschungsinfrastruktur wird **weiterhin exzellente Grundlagenforschung im Bereich der Quantentechnologien und der dazu notwendigen technologischen Schlüsseltechnologien** auf höchstem Niveau betrieben. Hierfür stehen die DFG-geförderten Exzellenzcluster QuantumFrontiers und PhoenixD sowie die Sonderforschungsbereiche DQ-mat und TerraQ, in denen die Grundlagen und Anwendungen von Quanten- und Nanometrologie, Quantensensorik und Quantencomputing erforscht werden.

Aufgrund der Marktnähe der hierbei im Fokus stehenden Quantensensorik und perspektivisch auch des Quantencomputings, soll zukünftig vermehrt **die Vermarktung der Quantentechnologien durch Überführung in die Industrie** im Fokus stehen. Hierbei spielt neben einem niederschweligen Zugang zu kritischer Infrastruktur auch die Unterstützung von Start-ups und dem Transfer von Know-How und qualifiziertem Personal in die Industrie eine wesentliche Rolle. Hierzu befinden sich mehrere Projekte in Planung, z.B. die QVLS-iLabs, in denen Forschende in gemeinsamen Integrations-Labors zusammen mit Industriepartnern die technologische Entwicklung in marktfähige Produkte überführen werden. Weiterhin sollen Deep-Tech-Firmengründungen im Umfeld der Quantentechnologien im Rahmen eines beantragten Hightech-Inkubators/Akzelerators (QVLS-HTI) stimuliert werden. Zur Überbrückung des „valley of death“ zwischen anwendungsnaher Forschung und Markt wird neben der Kooperation mit den Forschungseinrichtungen die zu gründende QVLS-HTI GmbH ein zweites zentrales Element sein. Diese wird alle operativen Aktivitäten bezüglich privater Investoren und Risiko-Kapital bündeln. Der Fokus wird hierbei auf „patient capital“, d.h. langfristiger Finanzierung liegen. Hierdurch entsteht ein nachhaltig wirkender regionaler Inkubator mit europäischer Strahlkraft.

In einer langfristig angelegten Strategie soll **die Quantentechnologie-Infrastruktur nachhaltig weiter ausgebaut** werden, z.B. durch einen Neubau für das Quantentechnologie-Kompetenzzentrum an der PTB, ein neues Gebäude für die Physik an der TU Braunschweig, sowie in Hannover ein Forschungsbau zum Thema Quantencomputing und neue Gebäude für das Max-Planck-Institut für Gravitationsphysik, sowie für das DLR-SI.



Quantentechnologien in der Region Hannover-Braunschweig

Die QVLS Initiative stützt sich auf die deutschland- und sogar weltweit einzigartigen Stärken ihrer Gründungspartner. Die **Leibniz Universität Hannover** (LUH) hat einen strategischen Forschungsschwerpunkt im Bereich der Quantenoptik und Gravitationsforschung, der sich u.a. darin manifestiert, dass die LUH im Förderatlas der DFG deutschlandweit die Spitzenposition in diesem Themenbereich einnimmt. Die Entdeckung von Gravitationswellen der LIGO Kollaboration (Nobelpreis 2017) wurde mit Hannoveraner Lasertechnologie erzielt. Neue Rekorde in der Erzeugung von nichtklassischem Licht und der Laserstabilisierung lassen einen weiteren Sprung in der Nachweisempfindlichkeit in naher Zukunft erwarten. Im Bereich der Quantenoptik mit kalten Atomen ist Hannover deutschlandweit führend im Bereich von transportablen Beschleunigungssensoren. Kürzlich wurden unter Hannoveraner Führung die ersten Interferometrie-Experimente mit Quantenmaterie im Weltraum durchgeführt. Diese Expertise wird in Zusammenarbeit mit der NASA für ein neues Labor für Quantenmaterie auf der Internationalen Raumstation ISS genutzt.

Die **Technische Universität Braunschweig** hat herausragende Expertise in der Nano- und Halbleitertechnologie. Deutschlandweit einzigartig arbeiten PhysikerInnen und ElektrotechnikerInnen innerhalb einer Fakultät zusammen und decken von der Simulation und Materialherstellung über die Chip-Prozessierung bis zum Modulaufbau und der Systemintegration alle Aspekte einer mikroelektronischen und nanophotonischen Entwicklungslinie ab. Erstmals konnten hierdurch z.B. nanoLED-Arrays verfügbar gemacht werden, die mittlerweile in vielen Bereichen der Umweltmesstechnik und der Medizintechnik neue Anwendungsmöglichkeiten aufzeigen. Expertise in der Entwicklung höchstempfindlicher Elektronik führte zu Systemen, die kleinste Signale messen, so z.B. die Abstrahlung von Mikroprozessoren oder elektrische Signale des Gehirns für tragbare EKG-Systeme, aber auch für neuartige Corona-Tests. Die TU Braunschweig zeichnet darüber hinaus eine enge Anbindung zu eigenen Start-ups sowie zu deutschen, weltweit tätigen Unternehmen der Halbleiter-Industrie aus.

Die **Physikalisch-Technische Bundesanstalt** (PTB) als weltweit zweitgrößtes nationales Metrologie-Institut arbeitet seit über hundert Jahren im Bereich der Quantenforschung und hat dementsprechende Kompetenzen auf diesem Gebiet, die weit über die reine metrologische Beauftragung hinaus reichen. So betreibt die PTB weltweit die erste transportable optische Uhr, die längste Glasfaserstrecke der Welt zum Vergleich optischer Uhren über lange Distanzen, und hat zusammen mit Forschern aus den USA den aktuell besten Laser für optische Uhren entwickelt. Darüber hinaus betreibt die PTB die genaueste Uhr Europas. Ein gemeinsames Projekt mit der Industrie hat zum ersten kommerziellen Demonstrator einer optischen Uhr geführt. Weiterhin ist die PTB führend auf dem Gebiet der elektrischen Quantenmetrologie und der Magnetfeldsensorik mit Quantenschaltkreisen. Im Jahr 2019 wurde diese Expertise im Kompetenzzentrum für Quantentechnologien gebündelt, das die dort bereits seit Jahrzehnten entwickelte Quantentechnologie für externe NutzerInnen zur Verfügung stellt.

Das neue **Institut für Satellitengeodäsie und Inertialsensorik (SI) des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt e. V.** (DLR) in Hannover widmet sich primär Forschungsfragen im Kontext der Nutzung von Quantentechnologien und Quantensensoren und entwickelt Quantenmesstechniken für



innovative Anwendungen, bis hin zur Realisierung von Prototypenlösungen. Primäre Forschungsziele des DLR SI sind unter anderem neue Entwicklungen auf der Grundlage innovativer quantentechnologischer Verfahren, welche zur Lösung gesellschaftlicher und technologischer Herausforderungen maßgeblich beitragen werden sowie neuartige Systeme von Quantensensoren für Weltraum- und terrestrische Anwendungen, die das gesamte Spektrum der Neuentwicklungen in der Quantenphysik und Quantenoptik nutzen.

Stationen der Preetour: Prototypen und Experimente am HITec

Das Hannover Institute of Technology (HITec) ist als Standort für den Quantencomputer QVLS-Q1 ein zentraler Bestandteil der QVLS Infrastruktur. Der in 2018 eröffnete Forschungsbau der LUH bietet Platz für über 100 interdisziplinär Forschende und sprichwörtlich herausragende Großexperimente wie den Einstein-Elevator, in welchem Experimente bei Schwerelosigkeit sowie mars- oder mondähnlichen Schwere-Bedingungen durchgeführt werden können.

Einstein-Elevator

Die Forschungsschwerpunkte am HITec liegen in den Bereichen der Quantenphysik, -optik und -sensorik sowie Festkörperphysik und Geodäsie. Neben Grundlagenforschung in den Quantentechnologien zielt das Forschungsvorhaben des HITec auf die Realisierung von neuen hoch präzisen und empfindlichen Quantensensoren. Der Einstein-Elevator dient dabei unter anderem der Erprobung dieser neuen Technologien unter extremen Bedingungen. Denn aufgrund der sehr hohen Wiederholrate von 300 Versuchen pro Tag können mit dem Einstein-Elevator Messkampagnen in kürzester Zeit durchgeführt werden. Das Großexperiment ist ein Produkt aus Spitzenforschung in der Physik gepaart mit interdisziplinärer Ingenieurskunst und zeigt damit anschaulich das Zusammenwirken der QVLS-Partnerinstitutionen: Antriebe aus dem Achterbahnbau mit der Positioniergenauigkeit einer Werkzeugmaschine, Führungen aus der Aufzugstechnik, Materialien wie Kohlefaserverstärkter Kunststoff aus dem Segelyachtbau sowie der Stahlbau aus dem klassischen Maschinenbau erlauben genaueste Messungen von kleinsten physikalischen Phänomenen.

QVLS-Q1 & Quantencomputing Labore

Der QVLS-Q1 wird am HITec aufgebaut, dementsprechend wird an dieser Station der Preetour das Konzept des Ionenfallen-Quantencomputers erläutert und der Aufbau der Apparatur gezeigt. Die Qubits werden in Chip-Fallen gespeichert (vgl. Station Reinraumzentrum PTB). Zur Ausführung von Quantenlogikgattern, den elementaren Rechenoperationen des Quantencomputers, werden üblicherweise fokussierte Laserstrahlen verwendet. Für das QVLS-Q1 Projekt haben die Partner eine Methode entwickelt, mittels in den Chip integrierter Mikrowellen-Bauelemente direkt Quantengatter zu implementieren. Dies hat den Vorteil, dass alle für das Rechnen nötigen Kontrollelemente bereits integriert sind. Eine wichtige Eigenschaft eines Quantencomputers ist nicht nur die Zahl der Qubits, sondern vor allem wie gut die Rechenoperationen funktionieren, die sogenannte Güte der Quantengatter („fidelity“). Erst wenn die Gatterfehler bis auf ein Niveau von 10^{-4} unterdrückt sind (wohin unsere Prototypen auf dem besten Weg sind), können für die Skalierung die verbliebenen Imperfektionen mit dem Verfahren der Quantenfehlerkorrektur behoben werden – ähnlich wie



beispielsweise auch eine CD mit ein paar Kratzern immer noch fehlerfrei abspielen kann, weil auf dem Datenträger redundante Informationen abgelegt sind, welche die Rekonstruktion erlauben.

Stationen der Pressetour: Basistechnologien für Spillover-Anwendungen an der TU Braunschweig

Quantensensoren für neuartigen, quantitativen Schnelltest auf das SARS-CoV-2-Virus

Die Corona-Pandemie hält die Welt immer noch in Atem. Gerade baut sich die vierte Welle von Infektionen in Deutschland auf. Für die schnelle und insbesondere zuverlässige Erkennung von Infizierten müssen die zur Verfügung stehenden Antigen-Schnelltests qualifiziert werden und ihre Sensitivität und Spezifität überprüft werden. Wir setzen am Institut für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik (EMG) seit vielen Jahren supraleitende SQUID-Quantensensoren für die Detektion von magnetischen Nanopartikeln ein, die auch bei unserem neuen Schnelltest zum Nachweis des Corona-Virus SARS-CoV-2 zum Einsatz kommen. Diese neuartige, hochempfindliche und schnelle Methode zum Nachweis einer Covid-Infektion wurde bereits erfolgreich an Proben von Corona-Patienten aus dem Städtischen Klinikum Braunschweig getestet. In Minuten können quantitative Messungen zur Viruslast mit hoher Reproduzierbarkeit durchgeführt werden.

Ein Mikroskop für die Hosentasche

Für einen hochintegrierten Quantencomputer in Ionenfallen-Architektur müssen Basistechnologien entwickelt werden, die auch heute schon auf andere Anwendungsfelder ausstrahlen. Zur Miniaturisierung von Quantenprozessoren entwickeln WissenschaftlerInnen der TU Braunschweig hochintegrierte Lichtquellen wie Laser oder mikroLEDs. Diese ermöglichen eine gezielte Beleuchtung auf der Nanoskala (SMILE = Structured Micro Illumination Light Engine), die vor allem für Anwendungen in den Lebenswissenschaften interessant ist. So können SMILE-Module z.B. Nervenzellen optisch anregen und ersetzen die aufwändige Verlegung von Elektroden. MikroLEDs sind aber auch die Grundlage für eine völlig neue Art der Mikroskopie: Chip-Mikroskopie ohne optische Elemente, ohne Linsen, Objektive oder mechanischer Verfahr-Einrichtungen. Ihre robuste und kompakte Bauform erlaubt den Einsatz direkt vor Ort. Die Anwendungsmöglichkeiten derartiger superkompakter Mikroskope sind äußerst vielfältig und entspringen letztlich der Entwicklung der Quantentechnologien ebenso wie die Teflon-Pfanne ein Nebenprodukt der Apollo-Mondmissionen ist. Den Sprung von der Forschung zum Markt begleitet die QubeDot GmbH, ein junges Start-up der QVLS-Initiative mit Standort Braunschweig.

Stationen der Pressetour: Entwicklungen und Experimente an der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt ist das nationale Metrologieinstitut Deutschlands und damit die nationale Größe für richtiges und präzises Messen: Sie ist verantwortlich für die Darstellung und die Weitergabe der physikalischen Einheiten, sie ist metrologisches



Forschungsinstitut und Dienstleister für Wissenschaft, Wirtschaft und Gesellschaft und sie ist – weit über die nationalen Grenzen hinaus – eine der ersten Adressen der Metrologie überhaupt.

So wie die PTB mit ihrer Messkunst bereits vor 100 Jahren die Geburtsstunde der Quantentheorie begleitete, treibt sie jetzt die messtechnischen Möglichkeiten der Zweiten Quantenrevolution voran – mit den nächsten Generationen von Atomuhren, noch präziseren elektrischen Normalen und innovativen Messmöglichkeiten in der Medizin. Die metrologischen Grundlagenarbeiten münden zugleich in technologische Anwendungen. Um diese Anwendungen für die wirtschaftliche Entwicklung der QT zugänglich zu machen, wurde kürzlich das Quantentechnologie-Kompetenzzentrum QTZ gegründet. Neben vielen weiteren Aspekten, werden im QTZ die Aktivitäten zur Weiterentwicklung und dem Technologie-Transfer von elektrischen Quantennormalen sowie Ionenfallen für Quantencomputer und optische Uhren vorangetrieben.

Zentrale Einrichtung hierfür ist das Reinraumzentrum der PTB. Dort stehen alle für Mikrofabrikationsprozesse erforderlichen Geräte und Prozessiermöglichkeiten auf höchstem Niveau zur Verfügung. Dies ermöglicht eine schnelle In-House Prototypen-Entwicklung und bietet so optimale Voraussetzungen zur Entwicklung und Untersuchung neuer Prozesse und Materialien, wie viele Patente aus diesem Bereich untermauern.

Ein prominentes Beispiel für diese Erfolgsgeschichte ist ein patentierter Prozess für die Herstellung von Ionenfallen für das Quantencomputing. Hier verfolgt die PTB in enger Zusammenarbeit mit der LUH den europaweit einmaligen Nahfeld-Mikrowellenansatz mit vielen Vorteilen, wenn es darum geht die Ionenfallentechnologie auf viele Qubits zu skalieren. Statt der üblicherweise eingesetzten Laser zur Implementierung von Rechenoperationen mit den Qubits, kommen die viel besser kontrollierbaren und – z.B. im Rahmen der Mobilfunktechnologie – weit entwickelten Mikrowellen zum Einsatz. Laser werden jedoch weiterhin für die Kühlung und das Auslesen der Qubits verwendet. In einem Quantencomputer-Prototypen können einzelne oder mehrere Ionen gefangen und manipuliert werden. Auf diese Weise lassen sich alle notwendigen Schritte für die sogenannte Quanten-CCD-Architektur, in der Ionen zwischen Speicher- und Rechenregister verschoben und beliebig zueinander angeordnet werden können, demonstrieren. Zukünftig sollen im Rahmen der Entwicklungen von QVLS-Q1 und dem beantragten BMBF-Projekt ATIQ Ansteuerelektronik und optische Komponenten sowie die Detektion auf dem Ionenfallen-Chip integriert werden, um den Boden für eine Skalierung zu vielen hundert Qubits zu bereiten. Nach fünf Jahren soll bereits ein Demonstrator mit 50 Qubits in der Cloud für Anwender zur Verfügung stehen.

Die Entwicklung von Quantencomputern in der PTB hat sich ganz natürlich aus der Entwicklung von optischen Uhren ergeben: In beiden Fällen wird eine möglichst perfekte Isolation von störenden Umgebungseinflüssen sowie eine exquisite Kontrolle des Zustands der Atome benötigt. Die technologische Plattform und die Anforderungen für Uhren und Quantencomputer sind daher sehr ähnlich. Technologische Entwicklungsschübe kommen also beiden Anwendungen zugute. Weiterhin geht der Trend bei den optischen Uhren ebenfalls zu Multi-Ionen-Uhren mit ihrem besseren Signal-zu-Rausch-Verhältnis. Dabei kommen ebenfalls Quantenalgorithmen zum Einsatz, die es entweder erst ermöglichen bestimmte Uhren zu betreiben oder über Verschränkung das Signal der Uhr weiter zu verbessern.



Bisherige Kooperationen im Forschungsverbund Hannover-Braunschweig

Die erfolgreiche Zusammenarbeit im Bereich der Quantentechnologien zwischen der LUH und der TU Braunschweig begann schon 2016 im Rahmen aus dem Niedersächsischen Vorab finanzierten Forschungsallianz Braunschweig-Hannover, speziell der Forschungslinie QUANOMET (Quanten- und Nano-Metrologie, Laufzeit 2016-2022). Daraus entstanden die beiden **von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Exzellenzcluster QuantumFrontiers und PhoenixD**, die sich mit Quantenmetrologie und den modernsten Produktionsmethoden in optischen Technologien befassen.

Das mit 45 Millionen Euro geförderte QuantumFrontiers treibt Forschung an den Grenzen des Messbaren zu immer höherer Präzision. Genaueres Messen bedeutet einerseits einen immer besseren Einblick in die Gültigkeit unserer Naturgesetze und führt gleichzeitig zu immer besseren Sensoren und Kontrolle über Quantenzustände, was für den Bau eines Quantencomputers eine zentrale Rolle spielt. So konnten z.B. bahnbrechende Beiträge zur Entdeckung von Gravitationswellen geleistet werden, die nur durch Präzisionsmessungen von Raum und Zeit möglich wurde. PhoenixD widmet sich photonischen Technologien und entwickelt hierzu die Fabrik der Zukunft. Ähnlich wie in der Mikroelektronik-Fertigung sollen standardisierte Technologien für die Massenfertigung nanophotonischer Komponenten entwickelt werden. Die Fusion von Quantenphysik, Mikroelektronik und Nanophotonik ist eine Grundvoraussetzung für die Realisierung eines skalierbaren und bezahlbaren Quantencomputers.

Drei jüngst eröffnete Forschungsbauten (HITec, LENA, LNQE) im Wert von 84 Millionen Euro sind direkt den Nano- und Quantentechnologien gewidmet. Als Teil des regionalen Forschungsökosystems tragen diese zu einer hervorragenden Infrastruktur für die Herstellung und die Analyse kleinster Strukturen bei. In HITec steht mit dem Einstein-Elevator ein einzigartiger Fallturm für Präzisionsexperimente unter "zero-g", d.h. ohne Einfluss der Erdanziehung, zur Verfügung. **Neue Reinraum-Labore für Halbleiter- und Nanotechnologie an allen drei Einrichtungen** bilden eine herausragende Infrastruktur und ermöglichen den Einsatz von Mikroelektronik-Produktionsprozessen, Atom- und patentierte Ionenfallen-chips in Kleinserie. **Ergänzt durch gemeinsame Sonderforschungsbereiche, Graduiertenkollegs, nationale und internationale Verbundprojekte sowie Public-Private-Partnership-Forschung** bietet das QVLS eine herausragende Wissenschafts- und Technologiedichte in den Quantentechnologien.

Das QVLS ist aufgrund seiner langjährigen herausragenden Expertise, der gelebten Kooperation zwischen theoretischer und experimenteller Physik und Ingenieurwissenschaften, den belegbaren Vorarbeiten sowie der kontinuierlichen Unterstützung durch das Land Niedersachsen auf allen Ebenen der ideale Partner für den Bau eines Ionen-basierten Quantencomputers.



Quantenindustrie: Chancen für regionale und nationale Wertschöpfung

Die größte und weltweit bisher ungelöste Herausforderung ist die Skalierung jeglicher Ansätze bis hin zur Kommerzialisierung. **Eine große Stärke der QVLS Initiative ist genau der Übergang von grundlegenden theoretischen und experimentellen physikalischen Forschungsarbeiten hin zu ingenieursartiger Herangehensweise. Das QVLS deckt somit die vollständige Wertschöpfungskette** von der Halbleitertechnologie über die Lasertechnologie und integrierte Photonik bis hin zu Programmierung von Quantenalgorithmen und Software für den Bereich Künstliche Intelligenz und Deep Learning ab.

Die Basistechnologien für Ionenfallen-Quantenprozessoren in Forschungslaboren erzeugen noch keine Arbeitsplätze und sichern deshalb auch noch keine technologische Souveränität. Hierzu muss ein effizienter Transfer von Technologien und Know-How in die regionale und nationale Wirtschaft vorangetrieben werden. Außerdem müssen Herstellungsprozesse und Standardisierung in enger Kooperation mit der Industrie eingeführt werden, die eine kostengünstige und hoch-integrierte Produktion aller notwendigen Komponenten erlauben. Hierzu ist die Region bestens gerüstet und hat **bereits Erfolgsgeschichten geliefert: In der Entwicklung einer integrierten Elektronik-Plattform und einer integrierten Photonik-Plattform bestehen z. B. engste strategische Beziehungen zu Infineon und Osram Opto Semiconductors, zwei der weltweit größten Unternehmen in ihrem Bereich.** Diese Firmen wären u.a. geeignete Partner für die Entwicklung eines ionenbasierten Quantencomputers QVLS-Q2 mit 1000 und mehr Qubits. Kombiniert mit der Spezial-Expertise von Start-ups, den vorliegenden Vorarbeiten und in QVLS-Q1 entwickelten Design-Plänen könnte ein solcher Schritt über die 50-Qubit-Grenze hinweg schon sehr zeitnah angegangen werden.

Bezüglich des anwendungsorientierten Transfers in die Wirtschaft bietet Niedersachsen ebenfalls einzigartige Chancen, da das Land auch als zentraler Standort von weltweit führenden Unternehmen wie Volkswagen und Sartorius dient. „Volkswagen beschäftigt sich bereits seit 2015 umfassend mit dem Thema Quantencomputing. Wir sehen in der Technologie großes Potenzial und machen gute Fortschritte bei Anwendungen in der Materialforschung, künstlichen Intelligenz und Optimierung wie beispielweise von Logistik- oder Verkehrsfluss.“ sagte Beate Hofer, Chief Innovation Officer der Volkswagen AG zum Launch der QVLS Initiative.

Die Partner im QVLS haben eine lange Tradition in der Unterstützung von Ausgründungen. Ein bemerkenswertes Beispiel ist die **GOM**, ehemals Gesellschaft für optische Messtechnik GmbH, eine Ausgründung der TU Braunschweig und mittlerweile ein Global Player. Die 3D-Präzisionsmesstechnik von GOM wird in Branchen wie der Automobil, Luft- und Raumfahrt, Energie und Konsumgüter-Industrie eingesetzt. Im Jahr 2019 wurde GOM, Braunschweig, mit einem Umsatz von 150 Millionen Euro und ca. 500 Mitarbeitern ein Teil der Zeiss-Gruppe und bildet heute das “Center of Excellence” der Firmengruppe für optische Messtechnik. Jüngst erfolgte Ausgründungen befinden sich dagegen noch ganz am Anfang ihrer Entwicklung. So widmet sich **QubeDot** aus Braunschweig, der Vermarktung einer integrierten Photonik-Plattform für Anwendungen in den Lebenswissenschaften. **Agile Optic**, eine Ausgründung der PTB in Braunschweig, bietet Speziallösungen im Bereich Lasertechnologie an. **Capical** entwickelt hochempfindliche Elektronik für die Medizintechnik.



Galerie

Die untenstehenden Bilder dürfen für Veröffentlichungen zum Quantum Valley Lower Saxony in Print- und Onlinemedien sowie auf Webseiten und Social-Media-Kanälen genutzt werden. Sie können in hoher Auflösung unter folgendem Link heruntergeladen werden:

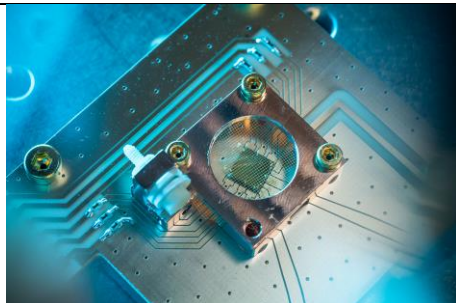
<https://nc.iqo.uni-hannover.de/s/s4gBpqrSGDC6TBc>

Die Bilder dürfen nur unverändert verwendet werden. Eine Weitergabe an Dritte ist ausgeschlossen. Bitte geben Sie bei Veröffentlichungen QVLS als Bildquelle an.



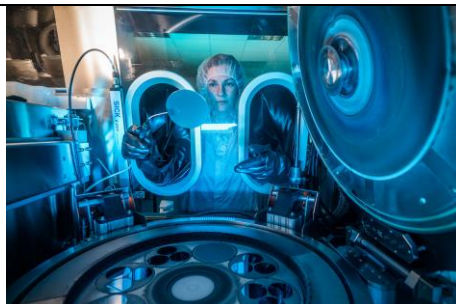
01_Blick_Vakuunkammer

Ein Blick ins Herz eines Quantencomputers: Mit der Ionenfallentechnologie nutzt das QVLS einen der derzeit erfolgversprechendsten Ansätze, um skalierbare Quantencomputer zu entwickeln.



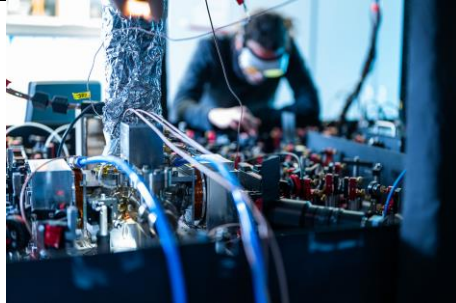
02_Fallenchip

Die Ionenfalle: Ein kleiner Chip im Kern eines großen Ökosystems



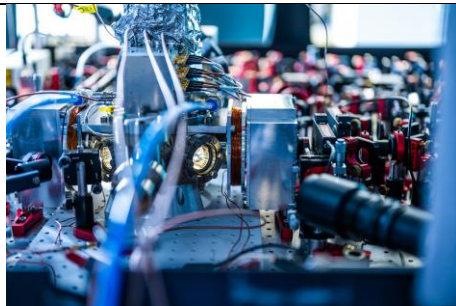
03_Wafer_1

Die Forschungseinrichtungen in Niedersachsen bieten die nötige Infrastruktur zum Bau eines Quantencomputers. Hier: Herstellung photonischer Bauelemente zur Detektion einzelner Photonen und Emission von Laserlicht.



04_QC_Demonstrator_1

Mit Ionenfallen-Quantencomputern wie diesem in Niedersachsen lassen sich Qubits in sonst unerreichter Qualität erzeugen und schalten. Das verspricht skalierbare Systeme.



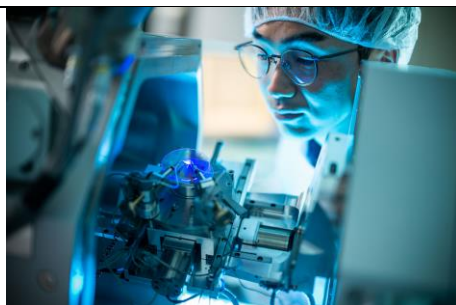
5_QC_Demonstrator_2

Das Herz eines Quantencomputerprototypen in Braunschweig. Im Bild: optische Komponenten zur Kontrolle von Laserlicht zur Kontrolle einzelner Ionen in einem Ionenfallen-Prozessor



06_Wafer_2

Die Beschichtung von Oberflächen mit isolierenden oder hoch leitfähigen Materialien ist ein der Basistechnologien zur Herstellung von Quantenprozessoren. Im Bild: Qualitätskontrolle eines beschichteten Wafers



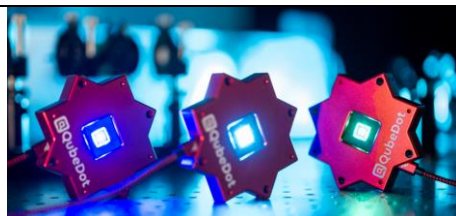
07_LED_Kontaktiert_wide

Die Partner im QVLS haben langjährige Erfahrung in relevanten Basistechnologien wie Photonik und Mikroelektronik. Im Bild: Ein Bauelement in einem Elektronenmikroskop



08_LED_kontaktiert_close

Miniaturisierte Lichtemitter werden für die optische Kontrolle einzelner Ionen benötigt. Im Bild: On-Wafer Tests von mikroLEDs im Elektronenmikroskop.



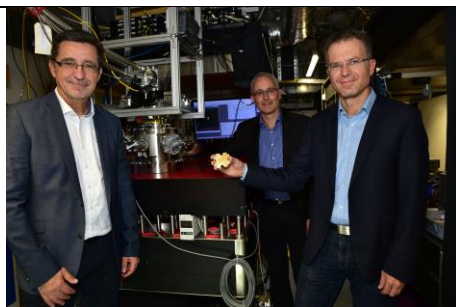
09_QubeDot_Demonstratoren

Drei Demonstratoren für mikroLED-Arrays zur strukturierten Beleuchtung mit unterschiedlichen Wellenlängen, d.h. in unterschiedlichen Farben.



10_Corona_Schnelltestgerät

Neuartiges Schnelltestgerät des Instituts für Elektrische Messtechnik und Grundlagen der Elektrotechnik zur zuverlässigen und quantitativen Identifikation potentiell an CoVid-19 Erkrankter. Hier wird die Beweglichkeit magnetischer Nanopartikel gemessen. Diese ändert sich, sobald ein Corona-Virus andockt.



11_QVLS_Q1_Sprecher

Die Sprecher des QVLS-Q1 Projekts. v.l.n.r.: Prof. Dr. Andreas Waag, Prof. Dr. Piet Schmidt und Prof. Dr. Christian Ospelkaus.