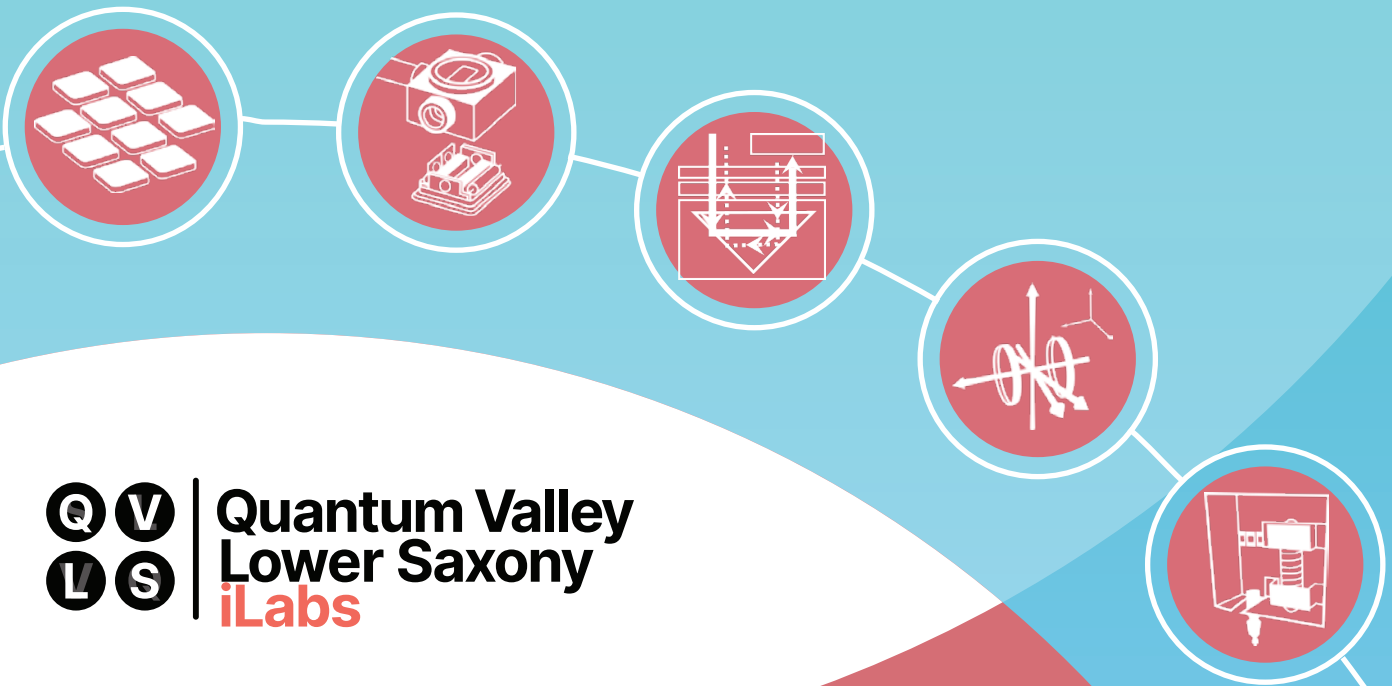




Strategischer Fortschrittsbericht zum Zukunftscluster QVLS



Q V | Quantum Valley
L S | Lower Saxony
iLabs

2024

IMPRESSUM

HERAUSGEBER

QVLS – iLabs
Leibniz Universität Hannover
Welfengarten 1
30167 Hannover

VERTRETEN DURCH DEN SPRECHER

Prof. Dr. Christian Ospelkaus

KONZEPTUALISIERUNG

Dr. Nicolas Spethmann
Dr. Larissa Braun

LAYOUT UND DESIGN

Rebecca Husemann
Karyna Romanadze

ACKNOWLEDGMENT

QVLS-iLabs wird finanziert durch die Zukunftscluster-Initiative des Bundesministeriums für Bildung und Forschung.

Stand: August 2024



1

EINFÜHRUNG UND ÜBERBLICK: ENTWICKLUNG DER QT UND FORTSCHRITTE BEI DER STRATEGIE DES QVLS

- a. Wachsende Bedeutung der QT und weltweites Wettrennen 2
- b. Strategie und Start der QVLS-iLabs 3
- c. Aktuelle Herausforderungen und des Zukunftscluster QVLS 4

2

FORTSCHRITTE BEI CLUSTERPROFIL, STRUKTUR UND ORGANISATION

- a. QVLS-iLabs stellt sich vor: Köpfe des Zukunftsclusters 6
- b. Fortschritte bei Organisation und Governance 7
- c. Wachsendes Innovationsökosystem 9
- d. Markenbildung und Kommunikationskonzept 10

3

FORTSCHRITTE BEI DER UMSETZUNG DES ZUKUNFTSCLUSTERS QVLS

- a. Vernetzung des Clusters 12
- b. Externe Perspektive 13
- c. Anregen von Innovationen in der Region 14
- d. Wissenstransfer, Chancengleichheit & Outreach 15
- e. Umsetzungsprojekte 16
- f. QVLS-HTI: Hightech-Inkubator im Zukunftscluster 19

4

WACHSENDES FORSCHUNGS-, ENTWICKLUNGS- UND INNOVATIONSÖKOLOGISCHES SYSTEM DER REGION

- a. Komplementäres Ökosystem 22
- b. Grundlagenforschung 22
- c. Infrastruktur 23
- d. Open Labs und Testbeds 24
- e. Outreach und Wissenstransfer 24

5

ERFOLGREICHER START DES ZUKUNFTSCLUSTER UND DIE NÄCHSTEN SCHRITTE

- a. Erfolgreicher Start des Zukunftscluster 26
- b. Herausforderungen und nächste Schritte 26
- c. Zukunft und nächste Phasen 27

A large, bold, red number '1' is positioned in the upper left quadrant of the page. The background is a solid teal color with decorative white curved lines and a white circle in the upper right.

EINFÜHRUNG UND ÜBER- BLICK: ENTWICKLUNG DER QT UND FORTSCHRITTE BEI DER STRATEGIE DES QVLS

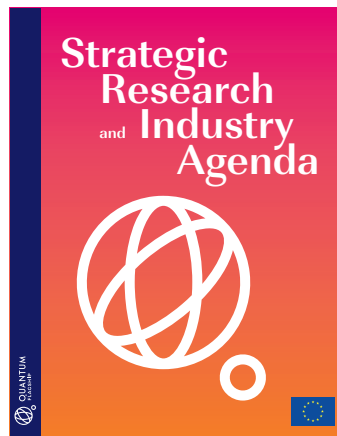
Weltweit wird die Nutzbarmachung der Quantentechnologie (QT) für neuartige Anwendungen vorangetrieben, immer mehr Unternehmen beteiligen sich an dieser Aufgabe und strategische Aspekte spielen eine immer größere Rolle. Daraus entspannt sich ein weltweites Rennen um die beste Position bei der Hebung des wirtschaftlichen Potentials. Der erfolgreiche Start von QVLS-iLabs setzt hier ein starkes Signal für Deutschland in der Region Hannover-Braunschweig: Köpfe wurden gewonnen, die Struktur und Governance für eine permanente Perspektive werden geschärft und die Umsetzungsprojekte legen die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen. Das Zukunftscluster stellt sich den zentrale Herausforderungen für ein wachsendes Innovations- und Ökosystem QVLS und eine starke Zukunft der QT in Deutschland.

WACHSENDE BEDEUTUNG DER QT UND WELTWEITES WETTRENNEN

Die **wachsende Bedeutung** der Quantentechnologie (QT) beim Übergang in die Wirtschaft, gerade auch international, zeigt sich in verschiedenen neu entstehenden Strategieguppen und -papieren. So haben im Dezember 2023 zwölf Mitgliedsstaaten der EU, unter Ihnen Deutschland, die „European Declaration on QT“ verabschiedet¹. Die Umsetzung wird geleitet durch die Neufassung der „Strategic Research and Industry Agenda“² der EU. Auf nationaler Ebene wurde die Strategie zur QT im Jahr 2023 durch die Bundesregierung im ressortübergreifenden „Handlungskonzept QT“ konkretisiert und für die nächsten Jahre die Handlungsstränge definiert³. QVLS wird als sich entwickelndes QT-Ökosystem genannt und spiegelt Aspekte des Handlungskonzepts wider. Bei den oben genannten Initiativen haben Experten des QVLS mitgewirkt und Impulse gegeben. Auf internationaler Ebene gibt es Aktivitäten der OECD („Global Forum on Technology“)⁴, die „challenges, opportunities and socio-economic impacts“ mit Ver-

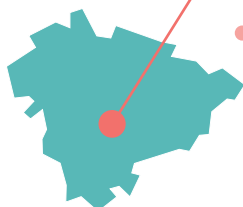
tretern aus 22 Ländern beleuchten, des Technology Trade Council EU-USA zum Thema „technology sovereignty“ und weitere politisch-strategischer Gruppen mit Beteiligung von Experten aus dem QVLS. Neben diesen strategisch-politischen Aspekten steigen ebenfalls die privaten Investitionen weltweit weiter stark an, wie bspw. im Bericht von McKinsey „Quantum technology sees record investments, progress on talent gap“ zusammengefasst⁵.

Dieses **weltweite Wettrennen** in der QT wird dabei in immer höherem Maße durch technisch-wissenschaftliche Fortschritte und die durch **Miniaturisierung und Integration** ermöglichte Umsetzung der QT in Anwendung und Markt beschleunigt. Dies ist der Ansatzpunkt der Strategie der **Quantum Valley Lower Saxony-integration Laboratories QVLS-iLabs**. Ein besonderer Fokus des gesamten Zukunftsclusters QVLS liegt hierbei auf den Themen ionenbasiertes Quantencomputing und Quantenmetrologie.



© Quantum Flagship

Auftakttreffen auf dem Gelände des iLabs-Partners Deutsche Messe AG im Jahr 2023



STRATEGIE UND START DER QVLS-iLABS

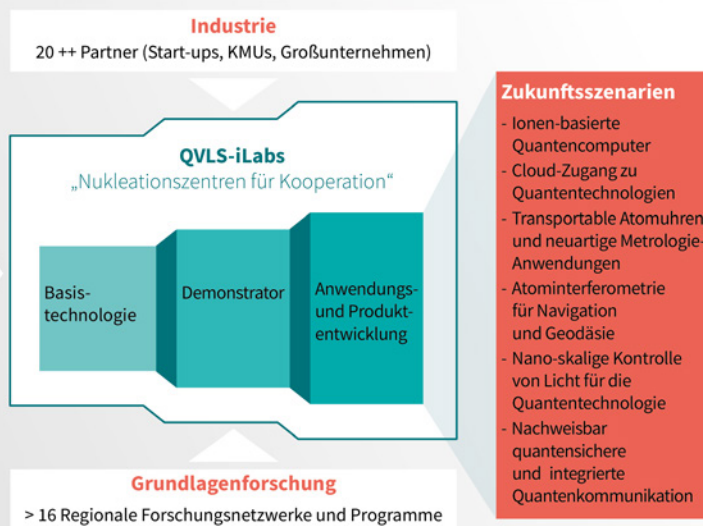
Das zentrale **strategische Ziel** von QVLS-iLabs ist die Stärkung der Industrie in der Quantentechnologie durch innovative Kooperationen in regionalen „**Integration Labs**“ mit Public-Private-Partnerships als Blaupause. Ergänzend zu den gemeinsamen technologischen Arbeiten in den iLabs werden innovative Konzepte für Wissenstransfer, Unterstützung von Ausgründungen, Innovationsmanagement und weitere Werkzeuge flankie-

robusten und industrietauglichen Komponenten und Geräten erlaubt. So ebnet QVLS den Weg zu sechs disruptiven **Zukunftsszenarien** mit bahnbrechenden Potentialen.

Mit diesen Zielen vor Augen sind die **QVLS-iLabs im März 2023 erfolgreich gestartet**: es wurde ausgezeichnetes Personal gewonnen, die zugrundeliegende Governance wird aktiv weiterentwickelt und die zentralen Herausforderungen

werden angegangen für eine gute Position im weltweiten Rennen. Die Umsetzungsprojekte nahmen 2023 Fahrt auf und erarbeiten technisch-wissenschaftliche Lösungen, das c²s-Lab vernetzt und entwickelt den Cluster übergreifend. QVLS leistet dabei **signifikante Beiträge zu zentralen Herausforderungen** bei der Nutzbarmachung des Potentials der QT und berührt dabei komplementäre Bereiche wie Forschung, Technologietransfer, HighTech-Infrastruktur, Zusammenarbeit sowohl mit Großunternehmen als auch Startups, Wissenstransfer, Chancengleichheit und Aspekten wie open Labs sowie Charakterisierung & Standardisierung. All diese Aspekte bedienen die Bedürfnisse des aufkommenden Marktes und treiben so den Übergang der QT aus den Laboren in die Anwendung voran.

rend im „**Communication, Connection and Support Lab**“ **c²s-Lab** entwickelt. Ziel ist der Aufbau eines regionalen Innovationsnetzwerks Quantentechnologien in der Region Hannover-Braunschweig auf der Basis schon vorhandener starker Kooperation und die Erschließung des wirtschaftlichen Potentials insbesondere von Anwendungen der Quantenmetrologie und von Quantencomputern. Als wesentliches wissenschaftlich-technisches Ziel steht dabei die Integration, Miniaturisierung und Skalierung von Quantentechnologien im Mittelpunkt, die die Entwicklung von anwenderfreundlichen,



robusten und industrietauglichen Komponenten und Geräten erlaubt. So ebnet QVLS den Weg zu sechs disruptiven **Zukunftsszenarien** mit bahnbrechenden Potentialen.

¹<https://digital-strategy.ec.europa.eu/en/library/european-declaration-quantum-technologies>

²https://qt.eu/media/pdf/Quantum-Flagship_SRIA_2022_0.pdf

³<https://dserver.bundestag.de/btd/20/066/2006610.pdf>

⁴<https://www.oecd.org/digital/global-forum-on-technology/>

⁵<https://www.mckinsey.com/capabilities/mckinsey-digital/our-insights/quantum-technology-sees-record-investments-progress-on-talent-gap>

AKTUELLE HERAUSFORDERUNGEN UND DER ZUKUNFTSCLUSTER QVLS

Für die QT im Allgemeinen und die Ziele des Zukunftscluster QVLS im Besonderen ist **das ressortübergreifende Zusammenspiel zwischen Wissenschaft und Wirtschaft** eine Grundvoraussetzung. Effektive Interaktionen zwischen akademischer Welt, Industrie und Politik bei Aspekten wie gesetzlichen und organisatorischen Rahmenbedingungen, Regeln und entsprechenden Förderinstrumenten sind entscheidend. Diese sind aktuell nicht immer gegeben und dies führt zu Herausforderungen wie langwierige und unnötig komplizierte Umsetzungen. Besonders Gewicht bekommen diese Fragen durch die starke internationale Konkurrenz, getrieben durch Aspekte der technologischen Souveränität und Wettbewerbsverzerrungen durch Subventionen. QVLS trägt zur Lösung dieser Fragen bei, sowohl durch Mitarbeit bei strategischen Gruppen wie auch mit Beiträgen bspw. zur „Gesetzesinitiative Reallabore“ der Bundesregierung, oder durch Teilnahme an der Initiative der SPRIND „IP Transfer 3.0“⁶.

Im Lichte dieser Herausforderungen ist die Verstetigung des Zukunftsclusters QVLS als **permanente Einrichtung auch jenseits der öffentlichen Hand** fester Bestandteil der Strategie und ein Baustein für den langfristigen Erfolg. Entsprechend werden aktuell Konzepte für neue und weitergehende Strukturen und Organisationsformen entwickelt. Hier profitiert QVLS stark von Veranstaltungen und Coachings in der Startphase des Clusters, zum Beispiel im Rahmen des Austauschs der Zukunftscluster im BMBF in Bonn oder beim Treffen im Rahmen des „Leuchtturmwettbewerbs Startup

Factories“ des BMWK in Berlin. Startups bekommen in den ehemaligen Rollwerken in unserem High-Tech Inkubator „QVLS-HTI“ ein eigenes Zuhause. Gleichzeitig wird hier das komplementäre Zusammenwirken und die ressortübergreifende Verbindung der Förderung des Wirtschaftsministeriums des Landes Niedersachsen mit der BMBF-Bundesförderung (also im Ressort Wissenschaft) für QVLS-iLabs deutlich.

Eine weitere **Herausforderung ist der aktuelle Fachkräftemangel**, der sich unter anderem in Schwierigkeiten bei der Stellenbesetzung zeigt. Für QVLS-iLabs konnte nichtsdestoweniger ausgezeichnetes Personal gewonnen werden. Hier werden Anstrengungen unternommen, um junge Köpfe frühzeitig für die QT zu begeistern und Nachwuchs zu generieren und so auch langfristig die Zukunft für die QT zu sichern.



⁶<https://www.sprind.org/de/artikel/start-ip-transfer-3-0-projekt/>

2

FORTSCHRITTE BEI CLUSTERPROFIL, STRUKTUR UND ORGANISATION

QVLS ist eine junge und aufstrebende Initiative, die in immer stärkerem Maße Aktivitäten aus Forschung und Entwicklungen in die Anwendung überführt und dabei Unternehmen einbindet. Dies lässt sich beispielhaft ablesen an der Chronologie der Vorhaben QVLS-Q1 zur technischen Entwicklung eines Quantencomputer-Demonstrators, über die Umsetzungsprojekte von QVLS-iLabs mit starker Industriebeteiligung bis zu QVLS-HTI zur Unterstützung von Startups. Gleichzeitig greifen hier Förderungen des MWK (Q1) und des MW (HTI) des Landes Niedersachsen in idealerweise zusammen mit Förderung des Bundes im Rahmen des BMBF (iLabs), aufbauend auf starken Strukturen des Landes (Unis) und des BMWK (PTB/QTZ und DLR). Das Innovationsökosystem hat weiter mit der Gründung des gemeinnützigen Verein QVLS e.V. eine übergreifende Dachorganisation geschaffen. Parallel zur technisch-wissenschaftlichen Evolution und auf dieser starken Ausgangsbasis wird die Struktur und die Organisation des QVLS gezielt strategisch weiterentwickelt und so das Profil geschärft. Die Struktur und Organisation wird seit Start des Zukunftsclusters intensiv weiterentwickelt und setzt die strategische Ausrichtung und die Ziele um.

QVLS-ILABS STELLT SICH VOR: KÖPFE DES ZUKUNFTSCLUSTERS



Christian Ospelkaus

Sprecher QVLS-iLabs, Ko-Sprecher iLab
„Atom and Ion Chip Trap Technology“

Ko-Sprecher QVLS-QI, Wissenschaftsausschussmitglied "Quantum Frontiers", Sprecher Hannover Institute for Technology, Vorstandsmitglied Laboratory for Nano and Quantum Engineering der LUH

atom &
ion traps



Tara Liebisch

Sprecherin iLab „Atom
and Ion Chip Trap Technology“

R&D Strategy Officer Division Optics (PTB)

Nicolas Spethmann

Koordinator QVLS-iLabs

Leitung Quantentechnologie-Kompetenzzentrum QTZ der PTB, Vice-Chair CEN-CENELEC Gremium zur Standardisierung „JTC22“, Sprecher Squad

photonic
integration



Andreas Waag

Ko-Sprecher QVLS-iLabs, Sprecher
iLab „Photonic Integration“

Ko-Sprecher EXC „QuantumFrontiers“, Sprecher des Nitride Technology Centers NTC, Sprecher Forschungszentrum Laboratory for Emerging Nanometrology (LENA)



Naz Pourmalek

Geschäftsführerin des Quantum Valley
Lower Saxony e. V.

electronic
integration

Carsten Klempt

Sprecher iLab
„Electronic Integration“

Komm. Abteilungsleiter „Optische Frequenzmetrologie“ DLR-SI



Magnus Zorn

Koordinator QVLS-HTI

Larissa Braun

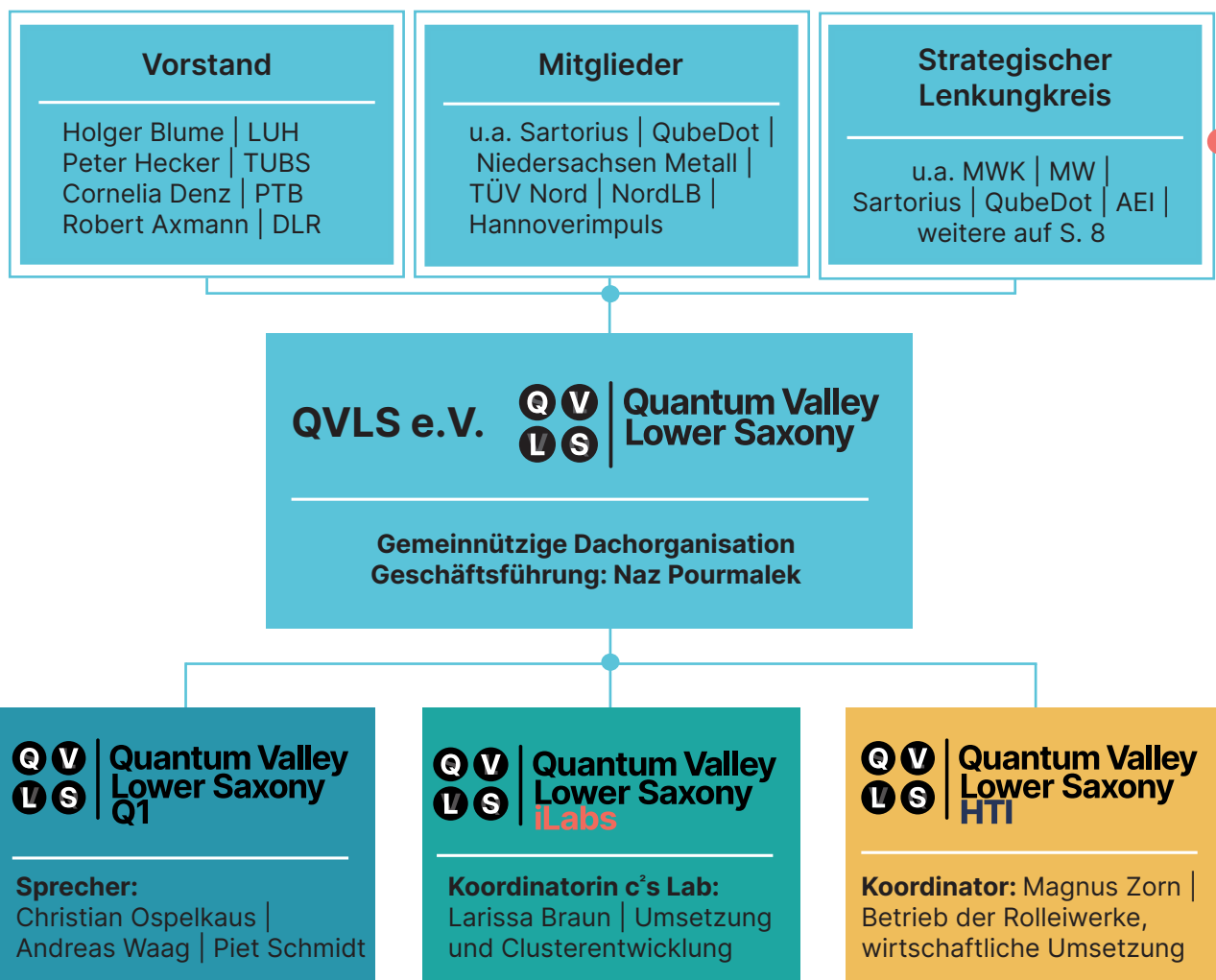
Koordinatorin c²s-Lab

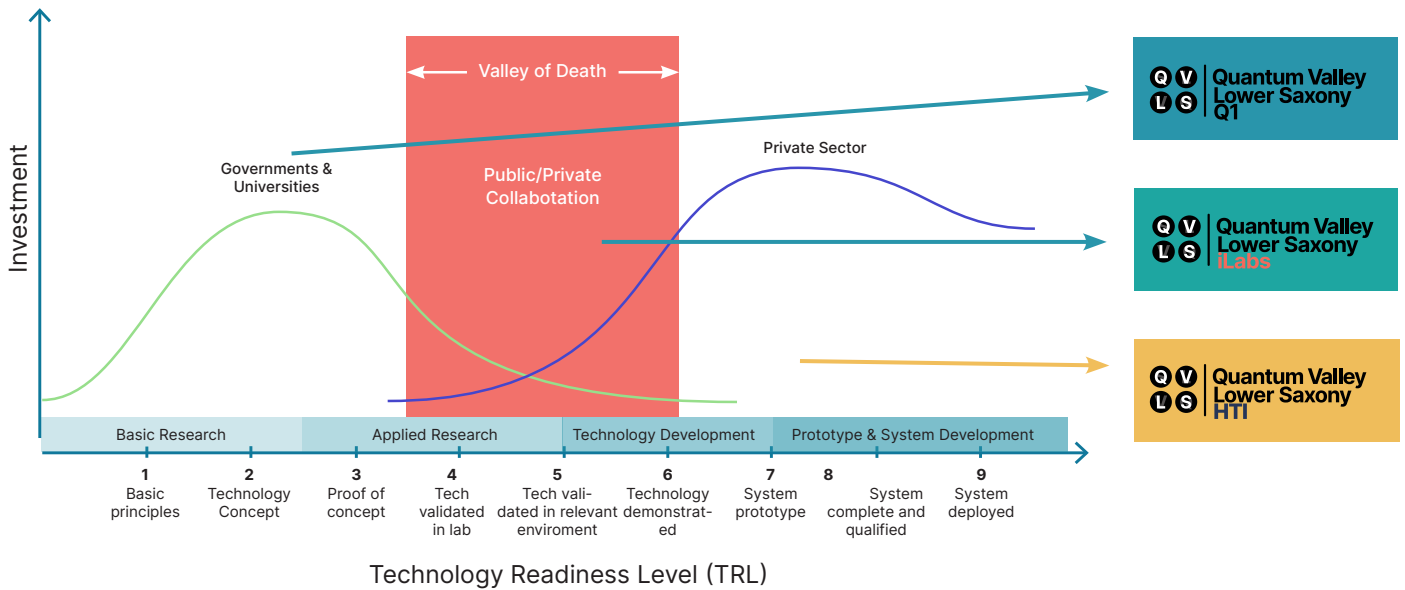


FORTSCHRITTE BEI ORGANISATION UND GOVERNANCE

Dachorganisation des QVLS ist der seit Januar 2023 als gemeinnützig anerkannte **QVLS e.V.**, mit den zentralen Aufgaben der Vernetzung und Koordination. Der aktuell erneuerte Vorstand des QVLS e.V. wird durch die Präsidien bzw. Leiter der Kernpartner gestellt und sichert damit eine enge Anbindung an die jeweiligen Häuser. Die Basis des e.V. bilden die **Vereinsmitglieder**, deren Anzahl aktuell stark wächst – so wie die steigende Bekanntheit und Bereitschaft zur Mitarbeit und Unterstützung, die sich auch in Mitgliedsbeiträgen widerspiegelt. Beispiele von neuen Mitgliedern (2024) sind die

TÜV NordGroup, NordLB und Hannoverimpuls. Der **strategische Lenkungskreis** berät und bewertet aus überregionaler und komplementärer Perspektive – mit Partnern aus Politik, Industrie, Forschung und Verbänden – und unterstützt mit strategischen Innovationen die übergeordnete Ausrichtung des QVLS. Darüber hinaus findet Beratung und Steuerung durch den Vorstand des Vereins statt. In wöchentlich stattfindenden Treffen der Sprecher und Koordinatoren des QVLS wird der Betrieb der Vorhaben organisiert und Entscheidungen auf Arbeitsebene getroffen.





Die im Zentrum von QVLS stehende **Kooperation zwischen Forschung und Industrie** wird durch die **Kernprojekte QVLS-Q1, QVLS-iLabs und QVLS-HTI** zentral adressiert, und von weiteren Projekten flankiert und verstärkt – diese werden in Kapitel 4 skizziert. Wie in der Abbildung illustriert, ergänzen sich die Vorhaben in idealer Weise: Das Projekt QVLS-Q1-Ionenfallen Quantencomputer widmet sich der Erforschung der Grundlagen, ohne direkte Industrieförderung; dies greift QVLS-iLabs auf und fokussiert auf die gezielte Kooperation zwischen Forschungsinstituten und Industriepart-

nern, einschließlich etablierter Unternehmen. Der QVLS-HTI zielt auf höhere Technology Readiness Levels entlang der Wertschöpfungskette durch die Förderung von jungen Unternehmen und Startups im Rahmen von direkter Unterstützung durch das Land Niedersachsen sowie die Nutzung von Infrastruktur in den ehemaligen Rolleiwerken. Die drei Projekte QVLS-Q1, QVLS-HTI und QVLS-iLabs zeigen durch Ihre komplementäre Ausrichtung den strategischen Ansatz und decken das ganze Spektrum des Transfers im Lichte der Technology Readiness Levels ab.

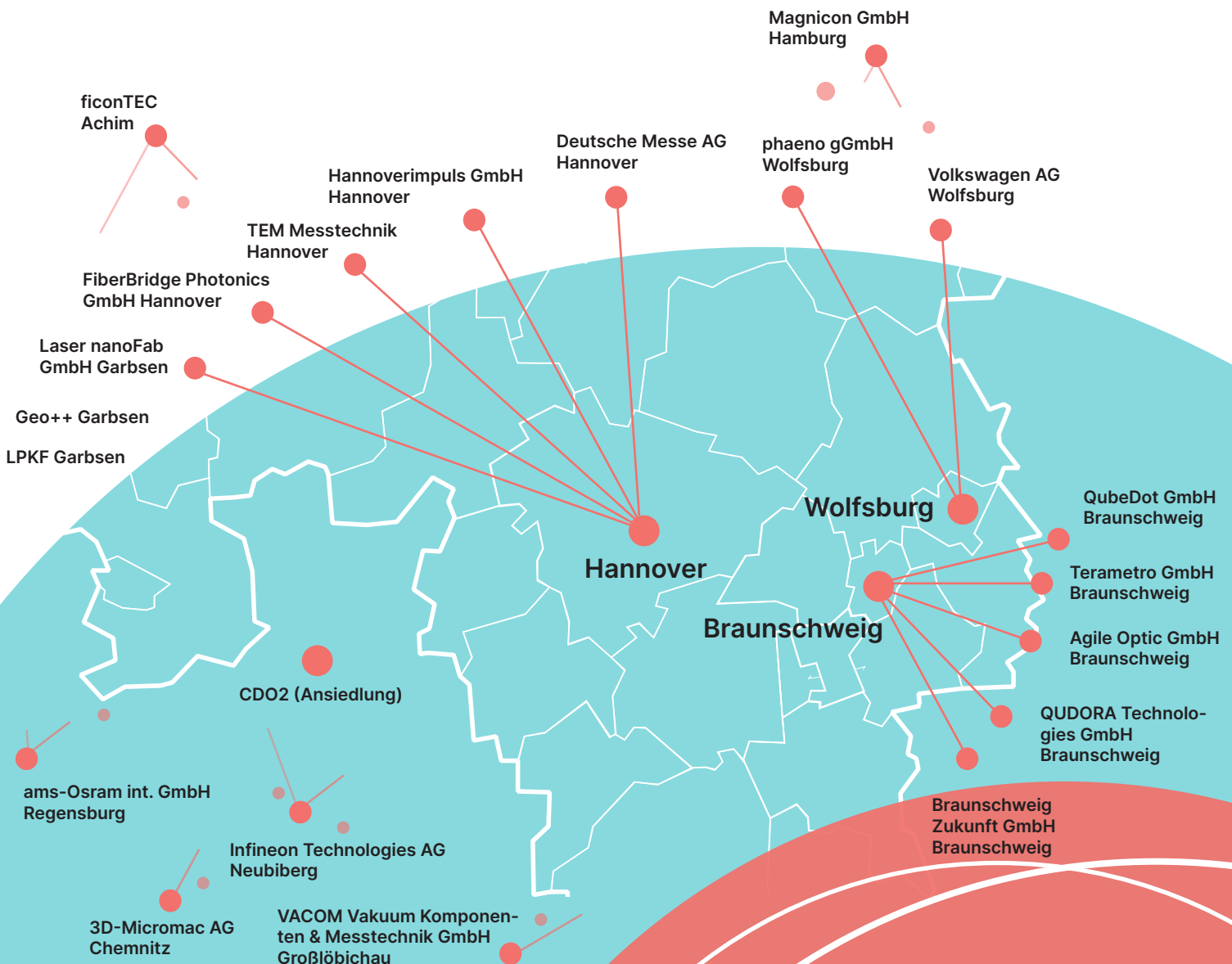
Der strategische Lenkungsreis des QVLS

Ministerium für Wissenschaft und Kultur NDS | Ministerium für Wirtschaft NDS | Sartorius | Fraunhofer Gesellschaft | QubeDot | DLR | Albert-Einstein-Institut | Niedersachsen Metall | PTB | TU Braunschweig | Leibniz Universität Hannover

WACHSENDES INNOVATIONSÖKOLOGISCHES SYSTEM

Den Kern der QVLS-iLabs bilden die Umsetzungsprojekte mit den Partnern aus Industrie, akademischer Welt und Innovationsförderung. Auf den Schultern dieser Umsetzung der QT in den Industriemaßstab wird die Wertschöpfung erzeugt und langfristig ein neuer Wirtschaftszweig entstehen. Beteiligt sind Startups, KMUs und globale agierende Unternehmen mit Footprint in der Region, wie hier illustriert. Einen starken Schub bekommt

QVLS-iLabs durch die Erweiterung durch den QVLS-HTI, in dessen Umfeld aktuell elf junge Teams wachsen, die in das Innovationsnetzwerk des Zukunftsclusters integriert werden. Diese Ansätze werden aktiv gepflegt und weiter ausgebaut durch offene Innovationsworkshops, Einbeziehung weiterer Partner und erste Gespräche mit möglichen neuen Startups.



MARKENBILDUNG UND KOMMUNIKATIONSKONZEPT

Die Marke QVLS ist zentraler Teil und Identifikationspunkt des Zukunftscusters. Die Verwendung des einheitlichen Logos und Veranstaltungen unter gemeinsamer Flagge stärken die Zugehörigkeit einzelner Projekte zum QVLS. Durch verschiedene Aktivitäten hat die Marke starke Impulse erfahren. Besonders ist hier die **European Quantum Technology Conference (EQTC)** zu nennen. Dem QVLS e. V. ist es als Ausrichter gelungen, das European Flagship QT und damit die europäische QT-Community in Hanno-

ver zu empfangen. Fünf Tage lang haben hier über 700 Gäste aus ganz Europa über die Zukunft der QT diskutiert.



Flaggen der EU, des QVLS, der EQTC2023 und des European Quantum Flagships



Der **QVLS LinkedIn-Kanal** spiegelt die Aktivitäten im Zukunftscuster wieder und findet regen Zuspruch.



Die **Webseite des QVLS** wurde maßgeblich überarbeitet. Während der EQTC wurde sie außerdem zur zentralen **Konferenzplattform**.



Der QVLS ist in verschiedenen **on- und offline Journalen** präsent, wie im **IQ-Journal des VDI Region Braunschweig** oder im **Innovationsportal der Stadt Braunschweig**.



Der QVLS ist auf diversen **Veranstaltungen** vertreten, wie der **HANNOVER MESSE**, **Berlin Science Week**, dem **Falling Walls Science Summit** oder **Die Nacht, die Wissen schafft**.



© Sören Pinsdorf/LUH

3

FORTSCHRITTE BEI DER UMSETZUNG DES ZUKUNFTSCLUSTERS QVLS

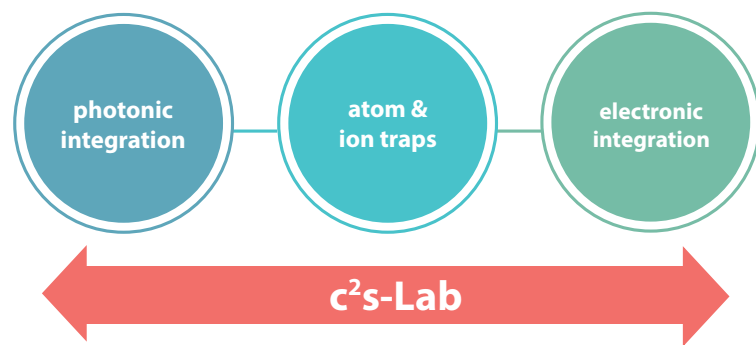
Das Zukunftscluster ist organisiert in drei thematisch verbundene Integration Labs (iLabs): „Photonic Integration“, „Electric Integration“ und „Atom and Ion Chip Trap Technologie“. Die drei iLabs ermöglichen die effektive Fokussierung auf verschiedene Kernthemen. Sie haben erfolgreich die Arbeit aufgenommen. Das „Communication, Connection and Support Lab“ c²s-Lab baut auf dieser Struktur auf, vernetzt diese und erzielt damit das Umsetzen der Clusteridee – die zehn Umsetzungsprojekte zu einem ganzheitlichen Cluster zu formen. Hierfür werden innovative Konzepte für Wissenstransfer, Innovationsmanagement, Kommunikation und weitere Werkzeuge entwickelt und genutzt. Startups und Spin Offs finden im nun bezugsfertigen cluster-eigenen Hightech-Inkubator QVLS-HTI ein Zuhause und können von hier aus ihre Ideen und QT-Produkte in den Markt bringen.

VERNETZUNG DES CLUSTERS

Auf den ersten beiden clusterweiten Treffen stand der offene und übergreifende Austausch im Vordergrund. Im Mai 2023 fand das Kickoff-Treffen auf dem Campus der Deutschen Messe AG in Hannover statt. Durch Beiträge jedes Umsetzungsprojektes und der Einordnung in Strategie und Perspektiven der Zukunftsszenarien wurde eine solide Ausgangsbasis geschaffen für die gemeinsame fachliche Arbeit und für die Entwicklung eines offenen Innovationsraumes QVLS-iLabs. Für das zweite Clustertreffen im Oktober 2023 wurde ein freies und offenes Format gewählt: zum Einstieg stellte das c²s-Lab seine übergreifenden Tätigkeiten dar, nach kurzen Impulsen zu Zielen und Fragen aller Teilnehmer gab es Gelegenheit für freien Austausch und Diskussion. In den nächsten Monaten werden Treffen in den individuellen iLabs organisiert, um fokussiert aktuelle Herausforderungen und Hürden zu diskutieren und fachlich in die Tiefe zu gehen.

Zur systematischen Förderung von Syn-

ergien zwischen den Umsetzungsprojekten wurden vom c²s-Lab beispielsweise Synergiekarten und Kompetenzübersichten mit möglichen Synergien zwischen den Projekten erstellt und bei den Treffen bereitgestellt. Neu eingestellte Mitarbeitende oder Personen aus bisher fremden



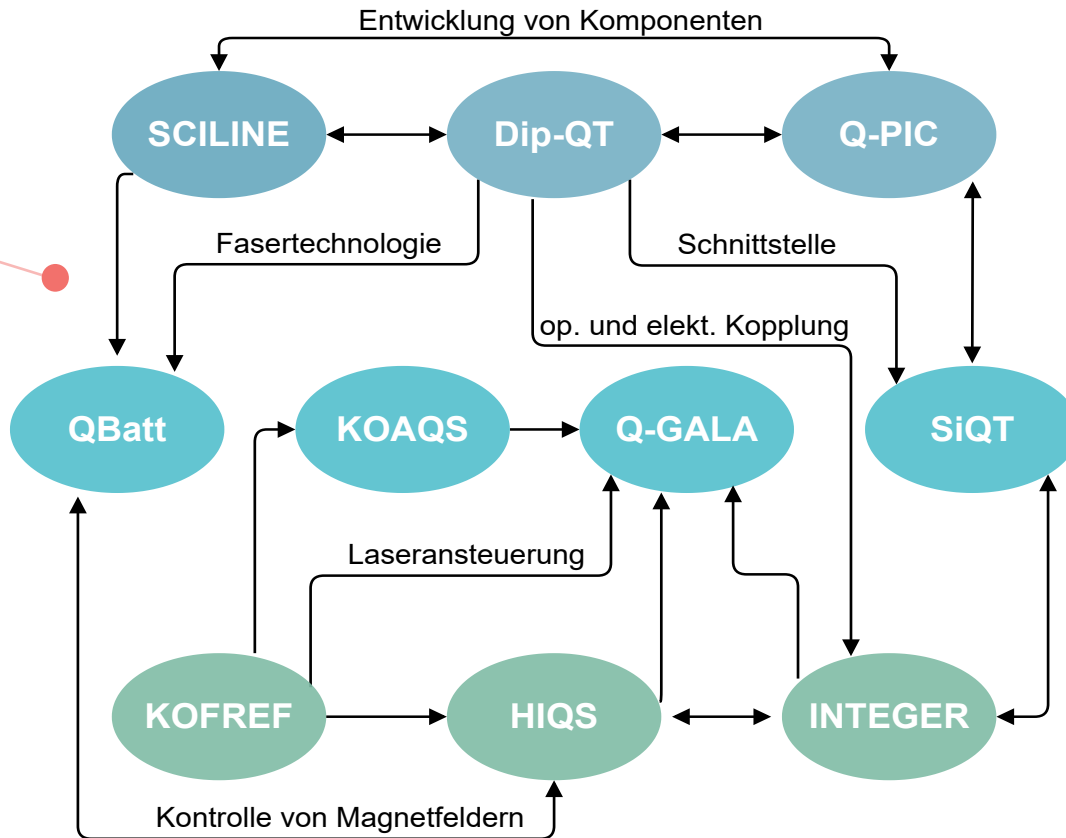
Bereichen erhalten so einen schnellen Überblick über Kompetenzen, Arbeitsgebiete und Kontakte. Eine online-Version der Übersicht erlaubt die noch einfachere Verknüpfung über Verlinkungen und wird demnächst auf der Homepage ilabs.qvls.de des Clusters veröffentlicht. Zukünftig werden diese Instrumente weiterentwickelt und für Treffen, Aktivitäten und Partner wertvolle Anknüpfungspunkte bieten.

Ein weiteres Instrument zur Vernetzung des Clusters ist die **clusterweite Kooperationsplattform**. Sie wurde auf cluster-eigenen Servern eingerichtet und bietet eine Vielzahl von Instrumenten zur Zusammenarbeit wie Chat, Video-Konferenz, Mailinglisten und gemeinsames Arbeiten an Dateien. Diese Instrumente können gezielt (und bei Bedarf in geschützten Bereichen) auf Ebene des gesamten Clusters, der iLabs oder der einzelnen Umsetzungsprojekte eingesetzt werden. Über die Plattform haben alle Teilnehmende weiter Zugriff auf Ma-



terial des Clusters, wie Präsentationen von Clustertreffen, Outreachinformationen und technische Informationen. Re-

levante Informationen wie Termine, Hinweise zu Veranstaltungen und weiteres werden so effektiv kommuniziert.



Synergien der Umsetzungsprojekte

EXTERNE PERSPEKTIVE

Um im internationalen Rennen in der QT mithalten zu können und QVLS weltweit konkurrenzfähig aufzustellen, sind eine realistische und neutrale Einordnung und der Vergleich mit anderen Spitzenregionen und Clustern wichtige Werkzeuge. Für diese Perspektive hat der QVLS e.V. als übergeordnete Dachorganisation renommierte Spitzenpartner beauftragt: sowohl das **Institut für Innovation und Technik (iit)** mit einem Fokus auf die regionale und interne Analyse, als auch das **European Quantum Industry Consor-**

tium (QuIC) für den externen Blick haben Ihre Arbeit aufgenommen.

Das **iit** unterstützt bei der Erarbeitung und Erhebung von **Key Performance Indicators (KPIs) und der systematischen Entwicklung von Innovationspotentialen**. Durch das c²s-Lab geleitet, analysiert das **iit** sowohl die einzelnen Umsetzungsprojekte wie auch die Aktivitäten des Clusters insgesamt im Hinblick auf dessen Strategie. Zu diesem Zweck wurden vom c²s-Lab KPIs definiert, diese beinhalten z.B. Aktivitäten zur Patentierung, Beiträge

zu den Basistechnologien und Zukunftsszenarien, Kooperationen innerhalb und außerhalb von QVLS-iLabs, aktuelle Einordnung der Projektziele und Meilensteinen zu TRLs und externe Einflüsse wie Lieferengpässen oder rechtliche Rahmenbedingungen, die die Verwertungsstrategie beeinflussen. Anfang Dezember 2023 wurden in **Nullmessungsworkshops mit den individuellen Umsetzungsprojekten** erste Abfragen durchgeführt und ein clusterweites einheitliches Verständnis geschaffen. Die KPIs werden künftig mittels effizienter Onlineumfragen alle 6 Monate bei den Umsetzungsprojekten abgefragt und durch persönliche Treffen ergänzt. Die **clusterweiten KPIs** orientieren sich an den „KPIs for QT“⁷ des European Quantum Flagships, um eine gute nationale und internationale Vergleichbarkeit und Einordnung des Clusters zu

ermöglichen. Die so gewonnen Erkenntnisse dienen der Clusterkoordination zum Erkennen von Handlungsbedarf und Verbesserungsmöglichkeiten, und werden genutzt für weitere Instrumente wie bspw. SWOT-Analysen und zur Weiterentwicklung der Strategie.

Ziel der gerade gestarteten Unterbeauftragung von **QuIC** ist es, aus der Perspektive dieses europäischen Quantenindustrieverbandes gezielte Einschätzungen und Empfehlungen für den Ausbau der Innovationsregion Hannover-Braunschweig zu erhalten. Dies schließt insbesondere den Vergleich zu anderen internationalen Spitzen-Industrieregionen und Startup-Hubs sowie der vorhandenen Struktur und Aktivitäten in der Region zur Zusammenarbeit mit Industriepartnern ein. Die ersten Ergebnisse werden im Herbst 2024 erwartet.

ANREGEN VON INNOVATIONEN IN DER REGION

Ein weiterer wichtiger Aktionspunkt des c²s-Lab ist **das Heben der Potentiale, die sich aus der Zusammenarbeit mit der regionalen Wirtschaft ergeben**. Die regionalen Wirtschaftsförderer haben ihre Arbeit an einem **umfassenden Zukunftsbild der Quantentechnologien in der Region** sowie an einer **Potentialanalyse und einem Technologie-Monitoring** begonnen. Bei ersten Veranstaltungen und Besuchen von Fachkonferenzen wurden Kontakte geknüpft, weiter wurden Daten zur Lieferkettenanalyse erhoben. Ziel ist eine fundierte Bewertung und Optimierung

der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für DeepTech-Unternehmen im Bereich der Quantentechnologien und die umfassende Unterstützung und Beratung möglicher Spin-Offs und Gründungsvorhaben, sowie für die im QVLS-HTI bereits jetzt aktiven Startups. Für das Jahr 2024 sind Informations- und Transferveranstaltungen mit den regionalen IHKs und dem Netzwerk der Wirtschaftsförderungen zur Akquise künftiger Partner wie auch zur Technologiesensibilisierung geplant.

⁷<https://qt.eu/media/pdf/KPI-booklet-Update-Oct-2022.pdf>

⁸<https://qt.eu/events/quantum-technology-training-for-policymakers>

⁹<https://quantenradar-podcast.podigee.io/5-new-episode> <https://www.podcast.de/episode/616163681/3-quantenkommunikation-mit-dr-nicolas-spethmann>

WISSENSTRANSFER, CHANCENGLEICHHEIT & OUTREACH

Um die QT in bisher zu wenig erschlossene Kreise in Industrie und Politik zu bringen, verfolgt das c²s-Lab verschiedene Formate für **Wissenstransfer**. Bei einer ersten **Bedarfsumfrage bei den Industriepartnern** wurde das größte Interesse an allgemeinem Schulungsmaterial zu QT auf einem gut zugänglichen Niveau festgestellt. Erste Aktivitäten, wie ein Beitrag



© Quantum Flagship

zum vom EU QT-Flagship organisierten „online training quantum technology for policymakers“⁸, oder Beiträge in verschiedenen Podcasts⁹, wurden durchgeführt. Die fortgesetzte Erarbeitung solcher einflussreichen Inhalte ist ein Schwerpunkt bei den nächsten Schritten.

Zur Förderung der **Chancengleichheit** ist für den April 2024 eine **Karrierenetzwerkveranstaltung „Women in QT“** geplant, bei der weibliche Mitarbeitende der iLabs von ihrem Lebensweg und ihrer Karriere berichten und so als Rollenvorbild dienen. Im September 2024 wird der QVLS e.V. die diesjährige **Quantum Future Academy** des BMBF ausrichten. 30 junge Talente lernen eine Woche lang das

QVLS kennen: von Laboren (Unis, PTB) über wirtschaftliche Aspekte (z.B. Kennenlernen und Diskussion mit den Startups des QVLS-HTI) bis hin zu sozialen Aspekten und Vermittlung des Themas (QVLS e.V., Wissenschaftskommunikation, Besuch im Science Center phaeno).

Die **Vermittlung der Möglichkeiten und Grenzen der QT in die breite Gesellschaft** wird unter anderem durch die Arbeiten des phaeno im Rahmen neuer Vermittlungskonzepte vorangetrieben. Dazu gehören Ausstellungsstücke, die von den Besuchern „bespielt und erfahren“ werden können, und Veranstaltungen wie „meet a scientist“, die den direkten Austausch mit Wissenschaftlern ermöglichen. In weiteren Veranstaltungen wurden **komplementäre Zielgruppen vom QVLS adressiert**: ein wissenschaftliches und politisches Publikum (European Quantum Technology Conference), ein gesellschaftliches Publikum („die Nacht, die Wissen schafft“) und ein wirtschaftliches Publikum (HANNOVER MESSE 2023). Die HANNOVER MESSE als eine der größten Industriemessen Europas bietet die ausgezeichnete Gelegenheit, in der Ausgabe des Jahres 2024 mit dem QVLS als Partner die QT auch solchen Industriezweigen näher zu bringen, die bisher wenig Berührungspunkte hatten.



© Bundesministerium für Bildung und Forschung

UMSETZUNGSPROJEKTE

Das **Herzstück unseres Zukunftsclusters** bilden die Umsetzungsprojekte, in denen die technologischen Innovationen für die Zukunftsszenarien entstehen. Bereits jetzt wird durch die Entwicklung von Basistechnologien ein **wirtschaftlicher Mehrwert** geschaffen – sei es als Produkt zum Beispiel für den Forschungsmarkt, für frühe Anwendungen, oder als Dienstleistung. Die Umsetzungsprojekte haben ihre Arbeit aufgenommen, kön-

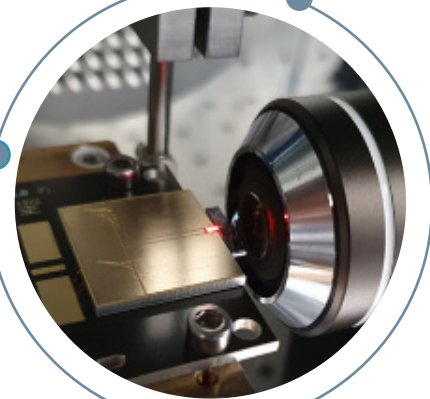
nen Fortschritte vermelden und setzen erste Impulse. In einigen Fällen sind die Akteure allerdings auch auf Hürden gestoßen: von unerwarteten Problemen in der Prozessführung bis hin zu fehlenden Mitarbeitenden. Insgesamt bewährt sich die Gruppierung der Umsetzungsprojekte, und Synergien und Vernetzung über die iLabs fügen sich gut in die Clusterstrategie ein. Einige der Projekte wollen wir nachfolgend vorstellen.

AMS-OSRAM INTERNATIONAL GMBH, TU BRAUNSCHWEIG, PTB

PHOTONIC COMPONENTS FOR QUANTUM PROCESSORS

QPIC entwickelt unter anderem Laserdioden (Abbildung) für integrierte photonische Systeme, die um ein Vielfaches kompakter und robuster als konventionelle Freistrahl-Optiken sind und so die Skalierung zu vielen Quantenbits wie auch eine stabilere Kontrolle von Ionen in Quantenprozessoren ermöglichen. Durch den regen Austausch der Projektpartner laufen die Vorhaben in QPIC nach Plan. Neben dem originären Einsatzfeld im Rahmen des Quantencomputing sieht ams-OSRAM auch mögliche frühe Anwendungen im Bereich Augmented und Virtual Reality Systeme. Die neuartigen Laserdioden könnten z.B. beim Direct-Retina-Scanning zum Einsatz kommen. Aufgrund der potentiell hohen Volumina könnte dies ein lukratives Anwendungsfeld sein, insbesondere da hier niedrigere Anforderungen an die Komponenten herrschen und damit ein früherer Markteintritt möglich erscheint.

Direktes Einkoppeln eines kanten-emittierenden Lasers (DFB) in eine photonisch integrierte Schaltung (PIC)



PTB, LASER NANOFAB GMBH, INFINEON TECHNOLOGIES AG, LUH

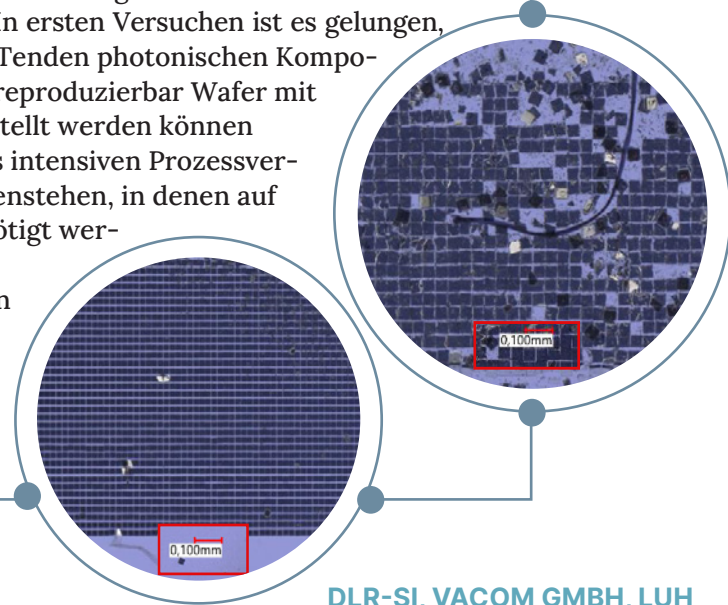
SKALIERBARE INTEGRIERTE IONENFALLEN FÜR QT

SiQT verfolgt zwei Ziele: Erstens sollen kostengünstige, industrietaugliche Herstellungsprozesse für 3D-Chipfallen erforscht werden. Zweitens sollen erstmals Photodetektoren und CMOS-basierte Schaltelektronik für Ionenfallen entwickelt und integriert werden. Die Arbeiten an diesen Zielen haben begonnen und erste Ergebnisse wurden beim Projekttreffen im November 2023 in Dresden diskutiert. Laser nanoFab

SCALABLE CONNECTING TECHNOLOGY FOR CUSTOMIZED PHOTONIC INTEGRATED CIRCUITS

Für die Integration photonischer Komponenten ist eine sehr präzise Ausrichtung erforderlich. In **SCILINE** wird ein laserinduzierter Prozess (LIFT) zum Loslösen der photonischen Komponenten vom Trägersubstrat sowie zum Aufbringen und Positionieren auf dem Zielsubstrat anwendungsnah nutzbar gemacht. In ersten Versuchen ist es gelungen, Wechselwirkungen zwischen dem Design der zu LIFTenden photonischen Komponenten und der Maschine zu verstehen, sodass nun reproduzierbar Wafer mit Komponenten unterschiedlicher Geometrien hergestellt werden können (Abbildung). Dies ist die Basis für die Schaffung eines intensiven Prozessverständnisses, mit welchem QubeDot neue Märkte offenstehen, in denen auf Backplanes transferierte photonische Elemente benötigt werden. So plant QubeDot aktuell die Produktion eines μ LED-Displays für Augmented Reality-Anwendungen mit einem Volumen von 10 - 40 M€ / Jahr.

Auswirkungen unterschiedlicher Prozessführung
Links: Photonische Elemente mit Kantenlänge 40 μ m.
Rechts: ca. 2000 Elemente, Kantenlänge 20 μ m.

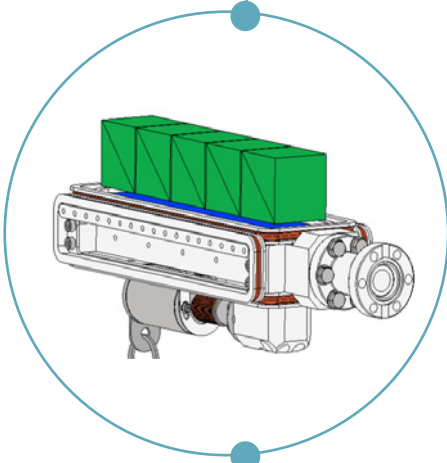


DLR-SI, VACOM GMBH, LUH

CAD-Design der
aktuellen Atomquelle
inkl. möglicher Spulen
und Verteilungsoptik

KOMPAKTE ATOMQUELLE FÜR QUANTENSENSOREN

KOAQS entwickelt eine kompakte und robuste Atomquelle für die Alkalimetalle Rubidium und Kalium, welche die Grundlage vielfacher Realisierungen von Atominterferometern wie zum Beispiel für die Inertialsensorik und Gravimetrie bilden. Die Quelle soll als schlüsselfertige Komponente in Vakuumapparaturen integriert werden können und über eine einzige, faserbasierte Schnittstelle mit Laserlicht zur Atomkühlung versorgt werden. Aus den anfänglichen Konzepten ist im Rahmen der bisherigen Projektarbeit ein vollständiges CAD-Design der Gesamtkomponente entstanden. Basierend auf diesem konkreten Design werden aktuell verschiedene Simulationen durchgespielt, u.a. zu den notwendigen Magnetfeldern sowie zur Minimierung auftretender Spannungen an der Grenzfläche zwischen Metall, Kleber und Glas. Die entwickelte Komponente soll für zukünftige Quantensensoren eingesetzt werden, um vom kompakten Aufbau und den geringen Integrations- und Wartungsaufwänden zu profitieren. Langfristig ist die Kommerzialisierung der Atomquelle angestrebt.



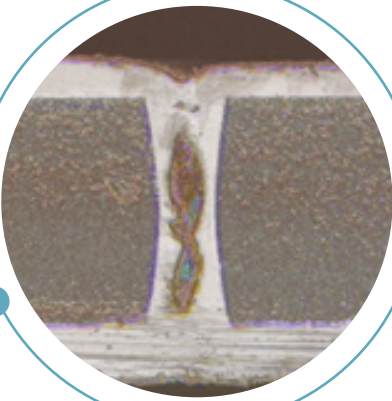
sieht ein hohes Marktpotenzial für die erforschte Mikromaterialbearbeitung mit fs-Lasern als ein niedrigschwelliges Dienstleistungsangebot, welches noch nicht am Markt verfügbar ist. Darüber hinaus strebt Laser nanoFab die Vermarktung von hochpräzisen und integrierten Ionenfallen an. Infineon sieht die Entwicklung eines neuen Marktes für integrierte Einzelphotonendetektoren in CMOS-Technologie. Langfristig strebt Infineon einen skalierbaren und hochintegrierten Quantenprozessor für ionenbasierte Quantencomputer an.

atom &
ion traps

QUANTUM-GRAVIMETER WITH ADVANCED LIDE BASED ATOM-CHIPS

Q-Gala entwickelt ein miniaturisiertes, glasbasiertes Atominterferometer. Die Vision besteht in der Entwicklung eines Mikro-Quanten-Systems, in dem alle benötigten Funktionen für den Betrieb eines Quantensystems vereint sind. In den ersten Monaten standen Untersuchungen zur Bearbeitbarkeit von Glassubstraten sowie der Realisierung von Through-Glass-Vias im Vordergrund. Dafür wurde ein Systemaufbau evaluiert, die Wärmebelastung im Betrieb ermittelt und Erkenntnisse in der laserbasierten Glasbearbeitung gesammelt. In den ersten Untersuchungen zum Verfüllen

der TGVs konnte jedoch aufgrund von Einschlüssen kein zufriedenstellendes Ergebnis erzielt werden. Nachfolgend soll das Verfüllen der TGVs mittels verschiedener Prozessadaptionen untersucht werden. Die entwickelten Technologien und Methoden sind von großem Interesse für viele quantentechnologischen Anwendungen, die einen hohen Grad an Miniaturisierung und Robustheit erforderlich machen (Nutzung im Feld oder auf Satelliten). Glas verfügt über einige Vorteile (exzellenter Isolator, geringe Kosten, transparent, chemisch und thermische sehr stabil). Um diese jedoch zu nutzen sind industrietaugliche Verfahren zur Mikrostrukturierung, zur selektiven Metallisierung und zum zuverlässigen Bonding notwendig. Mit dem patentierten LIDE-Verfahren zur Bearbeitung von Dünngläsern besitzt LPKF an dieser Stelle ein Alleinstellungsmerkmal, dass eine Fertigung von glasbasierten Mikrosystemen in großer Stückzahl ermöglicht.



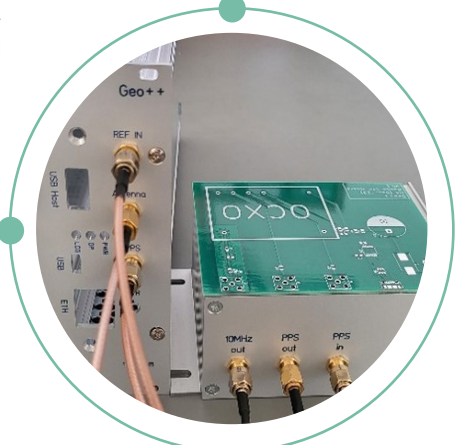
Verfülltes VIA (Ø150 µm) mit Einschluss

GEO++ GMBH, DLR-SI, LUH

KOMPAKTE FREQUENZREFERENZ

Stabile Referenzfrequenzen bilden die Basis für quantenbasierte Inertialsensoren und Atomuhren. **KOFREF** entwickelt eine kurz- und langzeitstabile Frequenzreferenz, die auf Frequenzübertragung über globale Navigationssysteme basiert. Ein erster Prototyp befindet sich im Aufbau (Abbildung). Leider gab es bei der Inbetriebnahme einiger Komponenten einen Rückschlag, da defekte Geräte geliefert wurden. Diese befinden sich aktuell als Garantiefall zur Reparatur in den USA. Das Projekt wird zurzeit mit Ersatzgeräten fortgeführt. Die angestrebte Stabilität der Frequenzreferenz soll die der momentan kommerziell erhältlichen Geräte um Größenordnungen übertreffen und so die nötige Performanz zum Einsatz für quantenbasierte Technologien, wie z.B. Inertialsensoren für die Geodäsie oder Navigation, Atomuhren und Quantencomputer, erreichen.

Hardwarekomponenten des Frequenzreferenzmoduls



electronic
integration

QVLS-HTI: HIGHTECH-INKUBATOR IM ZUKUNFTSCLUSTER

In den ehemaligen Rolleiwerken in Braunschweig, jenseits der Institute, fördert der cluster-eigene Hightech-Inkubator **QVLS-HTI Startups** als eine wichtige Säule für den aufkommenden Wirtschaftszweig der QT. Durch die signifikante Förderung des Landes Niedersachsen mit ausgezeichneter Infrastruktur und Geräten im Wert von 2 Millionen Euro ausgestattet, beginnen dort **elf Deeptech-Teams** ihre Arbeit. Zusätzlich werden die Startups in ihrer Entwicklung durch an die Bedürfnisse angepasste Instrumente unterstützt, zu verschiedenen Themen wie Patenten, Fördermittelgewinnung oder Marketing.

Im April 2024 werden die neuen Räumlichkeiten des QVLS-HTI mit hochrangiger politischer Beteiligung eingeweiht. Die Eröffnung bietet Gelegenheit zur **Ver-netzung und Gewinnung neuer Kontakte** – so haben bereits verschiedene Würdenträger zugesagt, aus komplementären Bereichen wie der Politik mit der Staatssekretärin des Bundesministeriums für Bildung und Forschung Prof. Dr. Döring, dem Minister des niedersächsischen Ministeriums für Kultur und Wissenschaft

Falko Mohrs, und der Wirtschaft mit dem Präsidenten der Industrie- und Handelskammer Braunschweig Tobias Hoffmann. Den **Mehrwert des Zukunftsclusters** für die Startups zeigen beispielhaft zwei Startups, die beide Partner der iLabs sind und durch den QVLS-HTI gefördert werden. Die QubeDot GmbH wurde in den Innovation Radar des European Innovation Council aufgenommen und ist in dessen hoch-kompetitiven Accelerator-Programm in die dritte Phase vorgestoßen, die endgültige Entscheidung fällt voraussichtlich 2024. Das Ionenfallen-Quantencomputer-Startup QUDORA Technologies GmbH wurde vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) gemeinsam mit dem Halbleiterhersteller NXP Semiconductors Germany GmbH mit dem Bau eines Ionenfallen-Quantencomputers im Projekt XAPHIRO beauftragt. Die hervorragende Infrastruktur und ideelle Unterstützung des Zukunftsclusters sind bei diesen Fortschritten wichtige Bausteine. Auf den folgenden Seiten stellen wir einige der weiteren Startups kurz vor.



Laser nanoFab

Laser nanoFab: Ionenfalle als standardisierte Lösung (kostengünstiges Einsteigermodell und High-End-Produkt)

Prototypen gefertigt und charakterisiert, Laserbearbeitungssystem beschafft, 2024: Start Ionenfallenfabrikation

zunächst primär akademischer Markt

SilentOptic

SilentOptic: kompakte, transportable Laserlichtquellen enorm kleiner Frequenzinstabilität und kleiner Frequenzdrift

Prototypendesign ausgereift (2 Versionen), Patentschutz in Vorbereitung, 2024: Bau + Test der Prototypen

weltweiter Bedarf ~ 1000 Stück in 10 Jahren (10% bis 50% Marktanteil angestrebt)



CAVITY technologies UG bietet maßgeschneiderte Lösungen für alle Anwendungsgebiete optischer Resonatoren bzw. Cavities an. So entwickelt CAVITY sowohl optische Resonatoren wie auch eine Software, samt einzigartiger Datenbank, zur präziseren Planung von Cavities, um so auf die Anforderungen ihrer Kunden zeit- und kosteneffizient einzugehen.



2024 ist mit der erfolgreichen Fertigstellung der Software zu rechnen (aktuell 8 Beta-Version). Die Planung von drei vielversprechende Hardware-Prototypen ist fertiggestellt. Mit dem Beginn der Arbeiten in den Rolleiwerken sollen 2024 erste physische Prototypen bereitstehen.



Die Hardware-Prototypen und die Dienstleistungen rund um die optischen Cavities zielen auf die seit vielen Jahren steigende Nachfrage nach immer präziseren Messinstrumenten in Medizin, Metrologie, Luft- und Raumfahrt sowie dem besonders in Deutschland stark wachsenden Markt der Quantentechnologie ab.



Agile Optic GmbH
Kompakter, stabiler und justierbarer Ti:Sa-Resonator



Montage läuft,
2024: Test + Charakterisierung in den Rolleiwerken



ca. 50 Stück jährlich, kurzfristig als Komponente (akademischer Markt), langfristig als Komplettsystem (industrieller Markt)



QubeDot GmbH
Transferprozess für Mikrobauteile (perspektivisch aus unterschiedlichen Materialsystemen)



reproduzierbares Aufbringen von Indiumkontakten (5 µm mit Platzierungstoleranzen < 1 µm) aktuell möglich



Erschließung neuer Märkte durch den Prozess, Transferieren von Lasern / Waveguides für PICs
Marktvolumen > 30M€ / Jahr



QB-INNOVATION GmbH strebt die Entwicklung und Vermarktung neuartiger Messgeräte zur quantenbasierten, höchstpräzisen und bei Bedarf auch primären Bestimmung des Gasdrucks, der Gasdichte und der Temperatur an.



Es wurden zwei miteinander kombinierbare Messverfahren für die Umsetzung ausgewählt: Die Fabry-Perot Refraktometrie zur höchstpräzisen Messung des Absolutdrucks und Spektroskopie zur gleichzeitigen Messung verschiedener Gase zur Partialdruckbestimmung. Für beide Verfahren ist die Konzept- und Designphase abgeschlossen und relevante Komponenten werden derzeit experimentell charakterisiert. IP-relevante Schritte wurden bereits eingeleitet (Erfindungsmeldungen, Patente, NDAs und Lizenzvereinbarungen).



Den kurzfristigen Markt stellen Nationale Metrologieinstitute (NMI) dar (konkrete Anfragen + fünf Interessenbekundung sind vorhanden). Der geplante Umsatz pro Auftrag variiert zwischen 1-10 k€ (Beratungstätigkeiten) und 50-200 k€ (Realisierung von Komplettsystemen). Im Durchschnitt ist ein Systempreis von 100 k€ realistisch. Von den knapp 250 NMIs und Instituten wird ein Marktanteil von mindestens 10% angestrebt (ca. 2,5 Mio. €). Den mittelfristigen Markt stellen Kalibrierlaboratorien und Forschungseinrichtungen dar (ca. 30 Mio. €). Langfristig sind Kooperationen mit namhaften internationalen Sensorherstellern und entsprechend größere Umsätze geplant.

4

WACHSENDES FORSCHUNGS-, ENTWICKLUNGS- UND INNOVATIONSÖKOSYSTEM DER REGION

Das Zukunftscluster QVLS ist eingebettet in ein starkes und wachsendes Innovationsökosystem QT in der Region Hannover-Braunschweig. Mit komplementären Stärken und zahlreichen neuen Vorhaben aus Bereichen wie Grundlagenforschung, Technologieentwicklung, Wissenstransfer, Chancengleichheit und Outreach, Testbeds und Open Labs, Infrastruktur bis hin zu Standardisierung erreichen die QVLS-Akteure die vollständige Abdeckung der Wertschöpfungskette und damit beste Voraussetzungen zur Hebung des wirtschaftlichen Potentials der QT.

KOMPLEMENTÄRES ÖKOSYSTEM

Für das zentrale Ziel des nachhaltigen Transfers der QT in die Anwendung sind über den Zukunftscluster hinausgehende Aspekte aus Bereichen wie **Grundlagenforschung, Technologieentwicklung, Wissenstransfer, Outreach, Testbeds und Open Labs, Infrastruktur bis hin zu Standardisierung unabdingbar**. Durch das Engagement der iLabs-Partner werden viele dieser Aspekte im Umfeld des Zukunftsclusters durch komplementäre Projekte aktiv und fokussiert adressiert. Die Rollen der Kernpartner als Uni-

versität (LUH), Technische Universität (TUBS), Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) und nationales Metrologieinstitut (PTB) ergänzen sich dabei in ausgezeichneter Weise und erzeugen gemeinsame Stärke. Durch die Hebelwirkung von QVLS-iLabs hat sich dieses **unterstützende Innovationsökosystem stark weiterentwickelt**. Zu den bereits starken, **bestehenden Initiativen sind diverse neue Projekte aus verschiedenen Bereichen hinzugekommen**.

GRUNDLAGENFORSCHUNG

Eine besonders wichtige Rolle spielt die **Grundlagenforschung**: iLabs wird errichtet auf dem Fundament der **wissenschaftlichen Exzellenz** der Partner. Der gemeinsame **Exzellenzcluster QuantumFrontiers** der Leibniz Universität Hannover, der TU Braunschweig und der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt bildet ein einzigartiges „Quantenmetrologie-Dreieck“, das Nanotechnik und Quantenphysik für sensibelste Messungen verbindet und so unser grundlegendes Verständnis der Natur erweitert, sichtbar an den ca. 130 Publikationen pro Jahr. QuantumFrontiers legt so nicht nur den Grundstein für technologische Durchbrüche, sondern bringt zudem hervorragend ausgebildete promovierte Physiker*innen und Ingenieur*innen hervor. Das exzellente QVLS-Ökosystem hat sich auch international einen Namen gemacht, im vergangenen Jahr konnten zwei der renommierten Alexander-von-

Humboldt-Professuren gewonnen werden. Im Rennen um den ersten marktfähigen Quantencomputer soll der Physiker Robert Raußendorf an der Leibniz Universität Hannover die bereits vorhandene Expertise in Quantenoptik und komplexen Quantensystemen bündeln. Der Physiker und Elektrotechniker J. Daniel Prades wird in Braunschweig einen Forschungsschwerpunkt für auch außerhalb des Labors einsetzbare, hochsensible Quanten- und Nanosensoren aufbauen.

Der Sonderforschungsbereich **DQ-mat** beschäftigt sich mit dem gezielten Design von Quantenzuständen der Materie, um quantenkorrelierter Vielteilchensysteme zu erforschen und zu beherrschen. Dabei wird Technologie jenseits der bislang kommerziell verfügbaren erforscht, um neue Grenzen für die Grundlagenforschung auszuloten. Im Rahmen des QVLS werden viele dieser Entwicklungen in die Industrie überführt. Ein Beispiel ist

*Otto Lummer (1860 - 1925) und Ernst Pringsheim (1859 - 1917); Wissenschaftler der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, die durch ihre Messungen der Strahlung Schwarzer Körper wesentlich zur Entdeckung der Quantenphysik beigetragen haben.

das Spin-off QUDORA, ein Partner der iLabs, das Quantencomputer auf Basis einer in DQ-mat entwickelten Technologie kommerzialisiert und ein Zuhause im QVLS-HTI gefunden hat. Im SFB **TerraQ** entwickeln Geodät*innen und Quantenphysiker*innen zusammen Quantensensoren, um die Erdbeschleunigung und Unterschiede im Gravitationspotenzial der Erde mit höchster Genauigkeit und

Reproduzierbarkeit zu vermessen. Die dazu notwendige Technologieentwicklung wird im Rahmen der QVLS-iLabs in die Kommerzialisierung überführt. Beispiele sind die Umsetzungsprojekte KOAQS und Q-GALA, die industrielle Demonstratoren kompakter Atomquellen bzw. Atomchips für Quantengravimeter entwickeln.

INFRASTRUKTUR

Aufbauend auf der bereits sehr guten Ausstattung in der Region werden an verschiedenen Standorten weitere Schlüsselstrukturen geschaffen. Mit der Einweihung der **QVLS-HTI-Räume** in den ehemaligen Rolleiwerken werden ausgezeichnet ausgestattete Labore, jenseits der Institute, geschaffen, die so besondere Möglichkeiten für das Innovationsökosystem und Startups bieten. Im April 2024 wird der neue **Lummer-Pringsheim-Bau*** als Zentrale des QTZ an der PTB fertiggestellt werden. Der Schwerpunkt liegt auf Anwenderplattformen und metrologischer Unterstützung für die aufkommende Quantentechnologieindustrie, insbesondere für KMUs. Hier bieten sich durch QVLS ganz neue Möglichkeiten: So wird beispielsweise aktuell die Anmietung einer „dunklen“ **Faserteststrecke zwischen dem Lummer-Pringsheim-Bau und den Rolleiwerken** auf den Weg gebracht. Zukünftig erhalten die Startups darüber Zugang zu Referenzlaserlicht der PTB mit einer Qualität auf weltweitem Spitzenniveau. Die Nitrid-Technolo-



gie ist eine Basistechnologie für optische Komponenten im blauen und UV-Spektralbereich und damit für die im Zukunftscluster angestrebten hochintegrierten Systeme und die QT insgesamt unabdingbar. Die Expertise aus der Region wurde durch die **Gründung des Nitride Technology Center NTC** im Sommer 2023 zusammengefasst. Die LUH befindet sich aktuell in der Planungsphase für die Beantragung eines neuen Forschungsbaus **QVLS-SPHINQS** im Themenfeld Quantentechnologie, mit dem Fokus auf der ganzheitlichen Entwicklung der Quantentechnologie von den Grundlagen bis in die Anwendung.

HERAUSRAGENDE INFRASTRUKTUR



Quanten- und
Nanometrologie

LENA Laboratory
for Emerging
Nanometrology

HITec Hannover
Institute of
Technology

Quantentechnologie
und Geodäsie



Nanotechnologie und
Quantenengineering

LNQE Laboratory of
Nano and Quantum Engineering

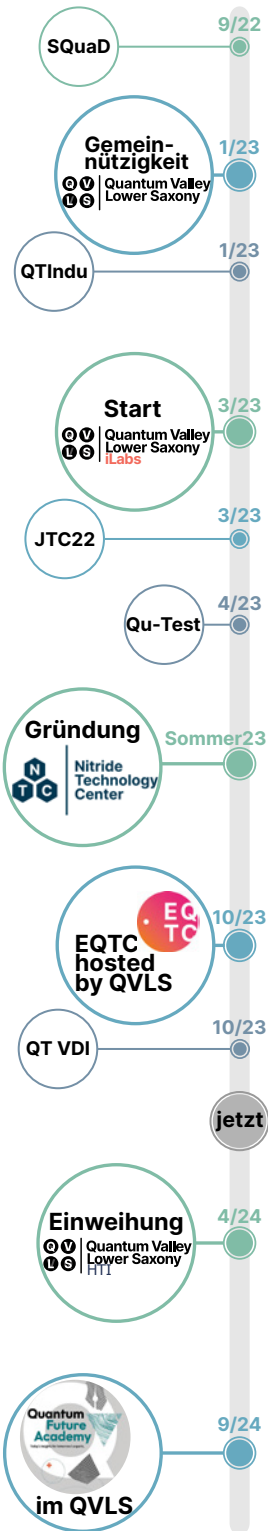
Reinraumzentrum

PTB

Mikrofabrikation,
Metrologie,
Ionenfallentechnologie



OPEN LABS UND TESTBEDS



Für die verstärkte Nutzbarmachung und Einbeziehung insbesondere von Unternehmen sind Open Labs und Testbeds ein wichtiges Instrument. Im bewährten Umfeld der Universitäten und Forschungsinstitute können so Komponenten und Ideen von Unternehmen zuverlässig auf Herz und Nieren getestet werden – beispielsweise bei Referenzmessungen von Lasern, unabhängigen Tests und Charakterisieren von Ionenfallen bis hin zu Quantenkommunikationskomponenten auf Faserstrecken. Diese Aktivitäten sind verstärkt worden durch weitere Projekte der Partner. Im „Schirmprojekt Quantenkommunikation Deutschland“ SQauD werden Testbeds für Komponenten der Quantenkommunikation und insbesondere Quantenschlüsselverteilung sowie Faserteststrecken aufgebaut und erweitert. Auf europäischer Ebene sind

QVLS-Partner am im April 2023 gestarteten Vorhaben „Qu-Test“ beteiligt. Qu-Test hat das Ziel, in einem europaweiten Konsortium „federated testbeds“ voranzutreiben und im Rahmen von „use cases“ QT-Komponenten von Industriepartnern zu charakterisieren. Damit soll der Weg bereitet werden für die harmonisierte und letztlich standardisierte Qualifikation von QT-Bauteilen in Europa.

Eine weitere Facette bei der industriellen Nutzbarmachung der QT ist die **Standardisierung** – hier wurde von der Europäischen Standardisierungsinstitution CEN/CENELEC im März 2023 das neue Standardisierungskomitee JTC22¹⁰ gegründet, Experten der PTB stellen den Kovorsitz und Vorsitz der Strategiearbeitsgruppe sowie den Vorsitz des nationalen deutschen Spiegelgremiums bei DIN¹¹.

OUTREACH UND WISSENSTRANSFER

Im Bereich des **Wissenstransfers und Einbindung der Industrie in die Entwicklung der QT** konnten die QVLS-Partner verschiedene Projekte und Aktivitäten starten. QTIndu (Quantum Technologies Courses for Industry) entwickelt ein europaweites Kurzzeitschulungsprogramm, das speziell auf die Bedürfnisse von Unternehmen aus verschiedenen Wirtschaftszweigen zugeschnitten ist. Im **Oktober 2023 wurde der Fachausschuss Quantentechnologien des VDI/VDE** unter der Leitung der PTB zur Förderung des Wissenstransfer und der Netzwerke

in den Quantentechnologien gegründet. Hiermit sollen insbesondere die Ingenieur*innen in der Industrie angesprochen werden, die aller Voraussicht nach in den nächsten Jahren auf den unterschiedlichsten Ebenen mit Quantentechnologien in Berührung kommen werden. Vertreter des QVLS arbeiten im **IMEKO TC25**, einem internationalen Forum zur Diskussion der Möglichkeiten von quantenbasierten Messungen, QT und den Einflüssen der QT auf die Metrologieinfrastruktur.

¹⁰<https://www.cencenelec.eu/areas-of-work/cen-cenelec-topics/quantum-technologies/>

¹¹<https://www.din.de/de/forschung-und-innovation/themen/quantentechnologien>

5

ERFOLGREICHER START DES ZUKUNFTSCLUSTER UND DIE NÄCHSTEN SCHRITTE

Aufbauend auf dem starken Start des Zukunftsclusters QLVS steht nun in den Umsetzungsprojekten die konzentrierte Arbeit an den technisch-wissenschaftlichen Themen im Fokus. Darauf aufbauend wird QVLS gezielt weiterentwickelt, mit Konzepten für eine permanente Struktur und für die zweite Phase des Zukunftsclusters. Hierfür werden aktuelle Herausforderungen analysiert und angegangen und der aktive Austausch sowohl mit potentiellen Gründern als auch mit möglichen zukünftigen Partnern aus akademischer Welt und Wirtschaft vorangetrieben. Damit setzt QVLS den Aufbau eines neuen und weltweit konkurrenzfähigen Wirtschaftszweiges QT in der Region Hannover-Braunschweig mit Hochdruck und ausgezeichneten Aussichten fort.

ERFOLGREICHER START DES ZUKUNFTSCLUSTER

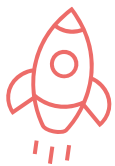
QVLS-iLabs hat einen ausgezeichneten Start erreicht. Die Vernetzung zur Hebung von Synergien nimmt Fahrt auf, die Umsetzungsprojekte im Schulterschluss mit der Industrie laufen an, der cluster-eigene Hightech-Inkubator QVLS-HTI startet durch und mit der Hebelwirkung von QVLS konnten zahlreiche neue Pro-

jekte im Umfeld eingeworben werden. Bei verschiedenen Initiativen zur internationalen Strategie wirken Experten von QVLS aktiv mit und schaffen so eine sehr gute Verbindung. Insgesamt ist QVLS im internationalen Rennen ausgezeichnet aufgestellt und hat einen exzellenten Ausgangspunkt für die Zukunft und die nächste Schritte geschaffen.

HERAUSFORDERUNGEN UND NÄCHSTE SCHRITTE

Darauf aufbauend ergeben sich im Lichte der aktuellen Herausforderungen die Schwerpunkte für die nächsten Schritte. Ein sehr wichtiger Baustein ist das **Überwinden des Fachkräftemangels**. Für QVLS bedeutet dies die Besetzung von noch offenen Stellen, aber ebenso Arbeiten an der mittel- und langfristigen Behebung dieser Herausforderung. Hier werden die bereits zahlreichen Maßnahmen von neuen QT-Studiengängen an den Universitäten und der QuantumFutur Akademie 2024 über Vorhaben zur Weiterbildung in der Industrie wie QTIndu, sowie diverse Vorträge und Veranstaltungen weiter geschärft und ausgeführt werden. Die Nutzbarmachung der QT ist ein **internationales Wettrennen** mit sehr starker Konkurrenz. QVLS ist ausgezeichnet aufgestellt, langfristig ist aber eine **permanente Struktur**, mit der Möglichkeit auch jenseits der öffentlichen Hand wirtschaftlich handeln

zu können, ein wichtiger Baustein. Mit der entstandenen Governance wie dem **gemeinnützigen QVLS e.V.** sind bereits erste Strukturen geschaffen worden, hier geht die konzeptionelle Arbeit mit externer und hochklassiger Beratung weiter. Dies betrifft auch Infrastruktur jenseits der öffentlichen Forschungsinstitute. Die Ausstattung des QVLS-HTI geht hier einen ersten Schritt. Für einige Komponenten der QT wie bspw. die Herstellung von Ionenfallen oder Nano-, Halbleiterlichtquellen ist allerdings die Nutzung von entsprechenden Reinräumen unabdingbar. Im Rahmen von QVLS-iLabs haben Partnerunternehmen Zugang zu den Reinräumen der Institute. Dieser ist jedoch auf Forschungs- und Entwicklungstätigkeiten und in der möglichen Kapazität stark begrenzt. Besonders für KMUs und Startups ist dies eine Herausforderung und kann zum Flaschenhals werden, der das Wachstum junger Unternehmen



hemmt. Hier könnte eine zukünftige neue Organisation QVLS neue Möglichkeiten bieten.

Für das weitere Zusammenwachsen des Innovationsökosystems durch **Ver-netzung und Synergien** bringen neue Ergebnissen der Umsetzungsprojekte sowie die externe Expertise aus den Unterbeauftragungen **Impulse für Strategie und internationale Aufstellung**. Zum Ende des Jahres 2024 wird der **QVLS-HTI** aus der Förderung des Landes Niedersachsen auslaufen und ab 2025 den **Zukunftscluster erweitern und verstärken**. Damit kommen weitere Teams und neue Ideen in das Innovationsökosystem. Im QVLS-HTI zeigt der ungezwungene Austausch zwischen den Teams technologische Verbindungen auf, die wiederum auf die Aktivitäten im Zukunftscluster zurück-

wirken. Hier werden sich neue Möglichkeiten bieten bei der Nutzung der Räume in den ehemaligen Rolleiwerken, und der Generierung neuer Teams und Partner. Der QVLS-HTI liefert weiter wertvolle konkrete und praktische Einblicke zum Thema „Infrastruktur für einen QT-Industriezweig“. Schließlich wächst das **erweiterte Innovationssystem** mit diversen Vorhaben aus Bereichen von Grundlagenforschung, Technologieentwicklung, Wissenstransfer und Chancengleichheit, Testbeds und Open Labs, Infrastruktur bis hin zu Standardisierung und bietet enorme erweiterte Möglichkeiten für QVLS. Diese zahlreichen Vorhaben werden fortgesetzt in die Strategie eingewoben, eine gute Voraussetzung ist die Beteiligung von Experten des QVLS in vielen dieser Projekte.

ZUKUNFT UND NÄCHSTE PHASEN

Vor diesem Hintergrund werden die weiteren möglichen Phasen des Zukunftsclusters QVLS strategisch vorbereitet. In der ersten Phase liegt der Fokus der Umsetzungsprojekte der iLabs auf Basistechnologien der QT. Aufbauend darauf soll in der **zweiten Phase die Entwicklung von Demonstratoren** im Vordergrund stehen, während die **dritte Phase sich auf Anwendungen der QT** fokussiert. So sollen die disruptiven Potentiale der sechs Zukunftsszenarien erschlossen werden. Die schrittweise Anpassung der Ausrichtung neuer Umsetzungsprojekte zielt auch auf eine verstärkte Einbeziehung von Unter-

nehmen. Erste Interessenbekunden sind bereits vorhanden und die Veranstaltungen im QVLS werden für die Akquise neuer Partner genutzt. Mit einer möglichen permanenten Struktur des QVLS-HTI wird eine dauerhafte Möglichkeit vorbereitet, Startups zu fördern und damit die Ideen aus dem Ökosystems QVLS in den Markt zu bringen. Insgesamt setzen wir damit den Aufbau eines neuen und weltweit konkurrenzfähigen Wirtschaftszweiges QT in der Region Hannover-Braunschweig mit Hochdruck und ausgezeichneten Aussichten fort.

