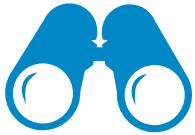


Munich Quantum Valley Initiative

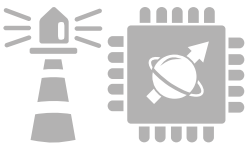
Der Europäische Standort und Bayerische Hub für Quantenwissenschaften und -technologien

Klaus Blaum (MPG), Immanuel Bloch (LMU/MPG), Ignacio Cirac (MPG/TUM),
Rudolf Gross (TUM/WMI), Raoul Klingner (FHG)



Überblick

Die Metropolregion München bietet mit ihren exzellenten Einrichtungen in Bildung und Forschung sowie dem industriellen und venture Hightech-Umfeld eine außergewöhnliche Möglichkeit, ein einzigartiges europäisches Zentrum für **Quantenwissenschaften und -technologien (QWT)** zu schaffen und damit Bayern in einem wichtigen Zukunftsfeld in der Weltspitze zu etablieren. Ausgehend von diesem Münchner Zentrum können weitere, auf dem Gebiet der QWT bedeutende, bayerische Standorte (speziell Erlangen-Nürnberg und Würzburg) effizient vernetzt werden. Das Munich Quantum Valley kann und will als bayerische Initiative eine **wesentliche Säule in einer nationalen und europäischen Quantenstrategie** sein, die auf eine langfristig ausgelegte institutionelle Förderung aufbaut. Dazu soll ein **Drei-Punkte-Plan** für Bayern verfolgt werden:



• **Punkt 1 - Die Einrichtung eines Zentrums für Quantencomputing & Quantentechnologien (ZQQ)**, das Industrie und Wissenschaft zusammenführt, Prioritäten in Forschung und Entwicklung in den QWT setzt und zugewiesene Finanzen mit drei Zielsetzungen koordiniert: (i) Förderung der Grundlagenforschung und Entwicklung der Basistechnologien im Bereich der QWT mit Hilfe von Leuchtturmprojekten; (ii) Entwicklung, Bau und Betrieb von Quantencomputern, für die eine langfristig angelegte und flexible institutionelle Förderung internationale Wettbewerbsfähigkeit ermöglichen soll, (iii) dem Transfer der Ergebnisse in die Wirtschaft.



• **Punkt 2 - Die Errichtung eines Quantentechnologieparks**, der die technische Infrastruktur für die Entwicklung und Fertigung modernster Komponenten zur Verfügung stellt, die für die wissenschaftlichen Arbeiten, die Gründung von Start-Up-Unternehmen und die industrielle Nutzung von Quantentechnologien benötigt werden.



• **Punkt 3 - Die wissenschaftliche Qualifizierung und Weiterbildung einer neuen Generation von Naturwissenschaftlern, Ingenieuren und Informatikern** in den QWT und die **Rekrutierung von Spitzenforschern und Entwicklern**. Dies beinhaltet die Weiterbildung und Umschulung von Fachkräften in der Industrie und die gezielte Information der Gesellschaft über die Chancen der wissenschaftlichen und technologischen Revolution im Bereich der QWT.



1. Einleitung

Quantenmechanik und Informationswissenschaften haben unsere moderne Welt revolutioniert. Während die Quantenmechanik unser Verständnis der mikroskopischen Welt begründet, bilden die Informationswissenschaften die Basis der heute omnipräsenten Kommunikations- und Informationsverarbeitungssysteme. Momentan entfaltet sich eine **wissenschaftlich-technologische Revolution**, bei der sich diese Disziplinen zu einem **neuen Technologie- und Forschungsgebiet** vereinen. Das neue Feld der **Quantenwissenschaften und -technologien (QWT)**, englisch Quantum Science and Technology (QST), birgt heute noch nicht vollständig abschätzbare, aber weitreichende und **potenziell revolutionäre Chancen und Möglichkeiten** für verschiedenste Bereiche der Gesellschaft.

Auf dem Weg zur
wissenschaftlich-
technologischen

Revolution.





2. QWT im Überblick

2.1. QWT-Kernfelder

International haben sich fünf wesentliche Kernfelder im Gebiet der QWT etabliert. Dies sind:

- 1) Quantencomputing und Quantensimulation
- 2) Quanteninformationstheorie und Quantensoftware
- 3) Quantenkommunikation und Quantenkryptografie
- 4) Quantensensorik und Quantenmetrologie
- 5) Quantenmaterialien



Abbildung 1: Kernbereiche der Quantenwissenschaften und -technologien, die insbesondere auch in Bayern kompetent vertreten sind.

Problemlösungen
in den Bereichen

**Materialien,
Navigation,
Medizin,
und Verkehr.**

Man erwartet, dass **Quantencomputer und -simulatoren** Probleme lösen können, die sich selbst auf den leistungsfähigsten Supercomputern nicht berechnen lassen. Ausgehend von der hohen Komplementarität quantenbasierter und klassischer Rechenprozesse im Höchstleistungsbereich werden hybride Rechenstrategien und modulare Systemarchitekturen als zielführende Strategie gewertet. Potentiell eröffnet dies unvorhergesehene Möglichkeiten bei der Lösung komplexer Optimierungsprobleme, bei der Entwicklung **neuer Materialien, chemischen Verbindungen und Pharmazeutika** mit **maßgeschneiderten Eigenschaften**, in der Bewertung von Investmentstrategien und Wirtschaftsentwicklungen im Finanzwesen, als auch bei Anwendungen im Bereich des **Maschinellen Lernens (ML)** und der **Künstlichen Intelligenz (KI)**. Die **Quantenkommunikation** wird dank abhörsicherem Schlüsselaustausch und effizienter Kommunikationsmittel ein Kernbestandteil zukünftiger sicherer Datennetzwerke und Plattformen gegen Cyberangriffe sein. Quantentechnologien erlauben insbesondere auch die Entwicklung einer neuen Generation von **Sensoren und Uhren**, mit weitreichender Wirkung auf **Navigation, Medizin, Biologie und Verkehr**.





2.2 Nationale & internationale Initiativen

QWT besitzen hohes
Innovationspotential.

**Mutig
Handeln**
ist erforderlich.

Alle führenden Industrienationen haben das Gebiet der QWT als ein **wichtiges Technologiefeld mit hohem Innovationspotential** erkannt und mittlerweile spezielle Förderinitiativen gestartet. Die USA (National Quantum Initiative Act), die EU (Quantum Flagship), Großbritannien (UK Quantum Technology Program) und vor allem China zählen seit Jahren zu den größten Investoren in der Forschung und Technologieentwicklung. Deutschland ist mit dem Konjunktur- und Krisenbewältigungspaket vom 3. Juni 2020 und der Zuweisung von 2 Mrd. Euro für Quantentechnologien in das Rennen zum Bau eines Quantencomputers eingestiegen. In den USA ist das Feld insbesondere durch die Beteiligung großer IT Unternehmen wie IBM, Google, Microsoft u.v.a. besonders sichtbar und aktiv geworden. Gleichzeitig haben große Investitionen von Venture Capital Firmen zur Gründung einer Vielzahl von Start-Up-Unternehmen in den verschiedenen Bereichen der QWT geführt.

Deutschland hat eine gut aufgestellte Forschungslandschaft und eine Vielzahl von Unternehmen mit Erfahrung in der Entwicklung und Integration von Quantentechnologien sowie beim Transfer von Quantensystemen in innovative Produkte. Deutschland befindet sich in einer sehr guten Ausgangslage, um die anstehende Quantenrevolution mitzugestalten und von ihr zu profitieren.

Es besteht aber auch Nachholbedarf und die Notwendigkeit von mutigem und entschlossenem Handeln, um im internationalen Wettbewerb in der Spitze der Forschung und insbesondere innovativer Geschäftsfelder zu agieren. Das Munich Quantum Valley kann und will hier einen wesentlichen Beitrag in der Umsetzung einer nationalen und europäischen Strategie leisten und mit internationalen Zentren wie dem Silicon Valley, Boston, Shanghai und Tokyo auf Augenhöhe agieren.

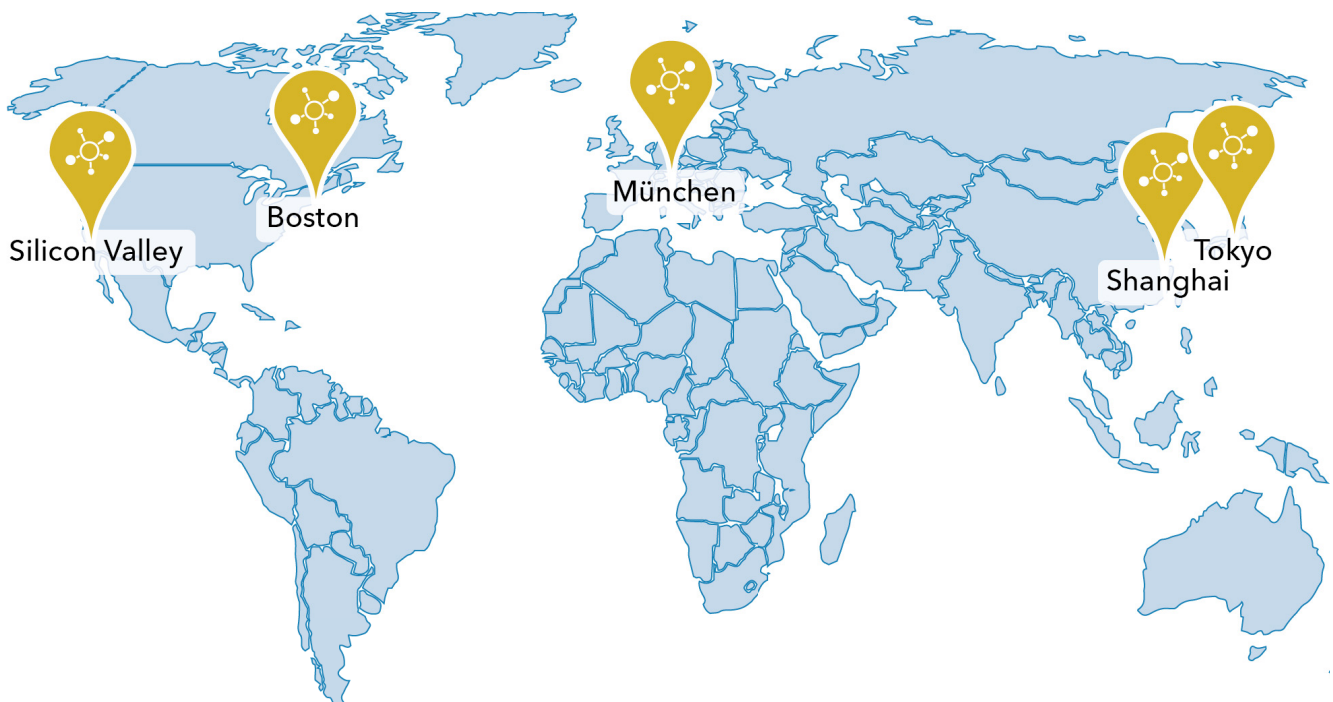


Abbildung 2: Das Munich Quantum Valley soll eine international führende Rolle in den QWT spielen und mit anderen Zentren vernetzt werden.





2.3 Status Quo in Bayern

Bayern
ist eine der
weltweit
aktivsten

Regionen im Bereich der
QWT-Forschung.

Bayern hat sich durch die frühzeitige Positionierung seiner Forschungseinrichtungen und seine vorausschauende Forschungspolitik eine hervorragende Ausgangsstellung im internationalen Wettbewerb im Bereich der QWT-Forschung verschafft. Insbesondere der **Standort München** (siehe 2.4) deckt das Themengebiet der QWT so umfassend und kompetent ab wie kein anderer Standort in Deutschland und bildet den Nukleus für zahlreiche regionale und nationale Forschungsaktivitäten. An der **Universität Würzburg** werden im Exzellenzcluster „**Complexity and Topology in Quantum Matter**“ (ct.qmat, Würzburg-Dresden) und am „**Zentrum für Topologische Isolatoren**“ die physikalischen Grundlagen von Quantenmaterie und die Anwendung topologischer Konzepte für die Realisierung von zukünftigen Quantenbits untersucht. Am **Standort Erlangen/Nürnberg** liegt der Fokus auf den Themenfeldern optische Quantenkommunikation (z.B. im Rahmen der BMBF-Initiative »QuNET«), sowie hybride und Vielteilchen-Quantensysteme. An der FAU Erlangen/Nürnberg wird an der Charakterisierung von Vielteilchensystemen und quantenunterstütztem maschinellem Lernen geforscht. Am Fraunhofer IISB entstand in den letzten Jahren eine in Europa einmalige SiC-Technologieplattform, mit hohem Anwendungspotenzial im Bereich der Quantensensorik und der möglichen Realisierung neuartiger Qubits. Das Fraunhofer IIS in Erlangen bietet ein breites Kompetenzspektrum im Bereich der Interfacetechnologien, sowohl im Hochfrequenzbereich, als auch in DSP basierten Kontrollarchitekturen und der Systemintegration. An den **Universitäten Augsburg und Regensburg** werden Forschungsarbeiten zu korrelierten Quantenmaterialien betrieben, die teilweise bereits über Verbundprojekte an die Münchner Universitäten (u.a. TRR 80) angeschlossen sind.



Abbildung 3: Forschungseinrichtungen und Exzellenzcluster in Bayern, die auf dem Gebiet der QWT tätig sind. Insbesondere am Standort München liegen Kernkompetenzen in allen Bereichen der QWT vor.



International
**kompetitives
Zentrum**
benötigt.



Der **Standort
München**
deckt QWT so
umfassend und
kompetent ab
wie kein anderer Standort.

München bietet eine der
umfassendsten
**Hochschul-
ausbildungen**
im Bereich der QWT.

Insgesamt ist Bayern im Bereich der QWT-Forschung sehr gut aufgestellt und bereits gut vernetzt. Nachholbedarf besteht allerdings hinsichtlich der Einrichtung eines international kompetitiven Zentrums, das Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Hinblick auf potentielle Anwendungsfelder koordiniert, professionelle kritische IP entwickelt und schützt, zielgerichtet den Technologietransfer in den industriellen Bereich unterstützt, in wirtschaftlich wichtigen Bereichen Hardwareentwicklung mit dem Ziel der Technologiesouveränität betreibt und durch einen Quantentechnologiepark die Gründung von Start-Up-Unternehmen fördert. Der Standort München ist für ein solches Zentrum prädestiniert.

2.4 Status Quo in München

München ist international hervorragend aufgestellt, um eine führende Rolle bei der anstehenden wissenschaftlich-technologischen Revolution auf dem Gebiet der QWT einzunehmen. Forscher in München haben viele der bahnbrechendsten und revolutionärsten Ideen im Bereich der QWT hervorgebracht, was durch die große Anzahl und das Renommee der erhaltenen Auszeichnungen (einschließlich eines Nobelpreises) belegt wird. München ist eine der weltweit aktivsten Städte im Bereich der QWT-Forschung, wie die Anzahl prestigeträchtiger Projekte (z.B. ERC-Grants, Flagship-Projekte) zeigt, die in den letzten Jahren gewonnen wurden. So werden mit der erfolgreichen Förderung des Exzellenzclusters **„Munich Center for Quantum Science and Technology (MCQST)“** von LMU und TUM, dem sich im Bau befindenden **„Center for Quantum Engineering (COE)“** der TUM sowie dem geplanten **„Center for Quantum Physics (CQP)“** der LMU in seinem eigenen Gebäude am neuen Physik Campus am Englischen Garten in München alle wichtigen Themenfelder der QWT von den Grundlagen bis hin zur Anwendung abgedeckt. Zusätzlich zu den zahlreichen Aktivitäten des Exzellenzclusters MCQST veranstaltet das Leibniz-Rechenzentrum (LRZ) den **„Bavarian Quantum Computing Exchange“**, ein sehr erfolgreiches monatliches Forum für Wissenschaft und Industrie, in dem Themen und Trends zur Synergie von traditionellem Höchstleistungsrechnen und Quantencomputing, Quantenarchitekturen und Software diskutiert werden.

In München startet ab Herbst 2020 ein neuer Masterstudiengang zu QWT (übergreifend zwischen TUM und LMU), der eine hochqualifizierte Ausbildung in diesem Bereich sicherstellen wird. In Verbindung mit den Doktorandenprogrammen **„Exploring Quantum Matter“** des **Bayerischen Elitenetzwerks** und der **„International Max Planck Research School for Quantum Science and Technology“** verfügt München auch im internationalen Vergleich über eine der umfassendsten QWT-Hochschulausbildungen. Die Ausbildung von kompetenten Wissenschaftlern, Ingenieuren und Technikern ist eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Erschließung von neuen Marktsegmenten und Entwicklung innovativer Geschäftsmodelle durch die Industrie und Start-Up Unternehmen.

Im Aufbau ist zudem innerhalb der Fraunhofer-Gesellschaft ein bayerisches Kompetenzzentrum **„Quanten Security and Data Science (BayQS)“** der Institute AISEC, IIS und IKS, das als Forschungsinfrastruktur auf das datensouverän in Deutschland aufgebaute **„IBM Q System One“** zugreift. Die Themenschwerpunkte liegen in der Quanten-Algorithmik und Optimierung, der Entwicklung sicherer Programmier- und Ausführungsmodelle sowie der Zuverlässigkeit und Robustheit QC-basierter Berechnungen. Dieses Zentrum wird in enger Partnerschaft mit TUM, LMU und LRZ konzipiert und ist eingebunden in das nationale Fraunhofer Kompetenznetzwerk Quantencomputing.



Kontakte zwischen
Wissenschaft
und **Industrie**
werden intensiviert.

Im Münchner Umfeld gibt es eine Vielzahl von etablierten Firmen und Start-Ups aus dem Bereich der Photonik, Sensorik, Mess- und Regeltechnik, Kryotechnik sowie der Halbleitertechnologie, die ein großes Interesse an und Initiative auf nahezu allen Gebieten der QWT aufweisen. Mit dem Start des Exzellenzclusters MCQST, aber auch von Projekten des EU Quantum Technology Flagships und BMBF-Verbundprojekten, sind die Kontakte zwischen Wissenschaft und Industrie erheblich intensiviert worden.

Die erfolgreichen
Tech-
Gründungen
werden im Quantenbereich
ausgebaut.

München hat schon heute mit **UnternehmerTUM**, **LMU Innovation & Entrepreneurship Center**, **Max Planck Innovation** und **Fraunhofer Venture** wichtige Entrepreneurship- und Innovationszentren Europas am Standort. Zudem sitzen in München die führenden **Deep-Tech Venture Capital Firmen**, welche in Quantentechnologien investiert haben. Unterstützt wird die Gründungslandschaft von der hohen Konzentration von **Patentanzwaltskanzleien und den beiden Patentämtern (Deutsches Patent- und Markenamt und Europäisches Patentamt)**, welche helfen das IP in diesen Bereichen für Europa zu sichern.





3. Zielsetzungen und Fördermaßnahmen

Ideales Umfeld
für die Schaffung von
**geistigem
Eigentum
und Start-Ups.**

München ist weltweit bekannt für seine exzellente Hochschulausbildung, für die international sichtbaren wissenschaftlichen Leuchttürme der universitären und außeruniversitären Forschungseinrichtungen, für seine Innovationsfähigkeit sowie für die Stärke seiner Industrie auf dem Gebiet der QWT. All dies macht München zu einem idealen Ort, um die Forschung und den Einsatz von Quantentechnologien nicht nur in Deutschland, sondern auch in Europa und weltweit anzuführen und für Bayern zu koordinieren.

Dies erfordert eine Reihe von Initiativen auf verschiedenen Ebenen: i) in der Grundlagenforschung, ii) bei der technologischen Ausrüstung, iii) beim Bau und Betrieb von Quantencomputern und anderen Quantentechnologien, iv) sowie in der Ausbildung. Diese Initiativen, die im Folgenden näher erläutert werden, sollen München und Bayern insgesamt in die Lage versetzen, ein einzigartiges Umfeld für die Schaffung von geistigem Eigentum, Gründung von Start-Up-Unternehmen und die Einführung der Quantentechnologien in weiten Bereichen der Industrie zu erzielen und gleichzeitig seine Strahlkraft für weltweite Spitzenforscher und Entwickler zu erhöhen.

Durch die Umsetzung des nachfolgend vorgestellten 3-Punkte-Plans sollen folgende **übergeordnete Ziele** erreicht werden:

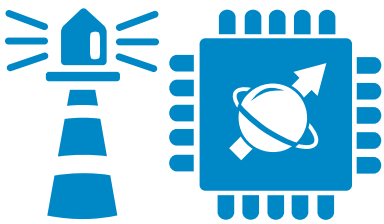
1. Schaffung eines europaweit einmaligen **Quantentechnologie-Ökosystems** durch enge Vernetzung von Wissenschaft, Wirtschaft und Kapitalgebern als Grundvoraussetzung für die Implementierung eines funktionierenden Lieferketten-Managements und die Erlangung von Systemkompetenz in zentralen Anwendungsfeldern.
2. Entwicklung von zwei unterschiedlichen **Hardware-Plattformen für Quantencomputer**, um Deutschland mittelfristig Technologiesouveränität im Bereich Quantencomputing zu verschaffen.
3. Einrichtung eines **Cloud-basierten Zugangs zu Quantencomputern** für Wissenschaft und Wirtschaft.
4. Entwicklung und Bündelung von Kompetenzen zur Etablierung einer **vollständigen Lieferkette** --Materialtechnologie, Design, Hardware, Packaging, Software (full stack), Steuer- und Betriebssysteme -- bis hin zur Systemintegration in den zentralen Anwendungsfeldern **Quantencomputing, Quantenkommunikation und Quantensensorik**.
5. Schaffung eines **flexiblen Aus- und Weiterbildungssystems**, um für die sich schnell entwickelnde Quantenindustrie genügend Experten zur Verfügung stellen zu können.
6. **Anwerbung** von international führenden **Wissenschaftlern** und **Entwicklern**.



③-Punkte-Plan zum Munich Quantum Valley



Abbildung 4: Drei-Punkte-Plan zur Etablierung eines bayerischen Hubs zu Quantenwissenschaften und -technologien in der Metropolregion München und koordinierend für Bayern.



Das Ziel ist der **Bau** und **Betrieb** von **Quantencomputern**.

3.1 Punkt 1 - Zentrum für Quantencomputing & -technologien (ZQQ)

Das ehrgeizigste Ziel der QWT in München ist der Bau von Quantencomputern und deren industrielle Nutzung. Aufgrund des herausragenden wissenschaftlichen, technologischen und industriellen Umfelds, bietet München die einzigartige Möglichkeit, beim Bau dieser Computer in Europa führend zu sein und die Software und Algorithmen zu entwickeln, um sie für verschiedene Anwendungen nutzen zu können. Darüber hinaus befindet sich München in einer privilegierten Position, um disruptive Projekte, nicht nur im Bereich Quantencomputing, sondern auch in anderen Quantentechnologien, zu generieren und zu entwickeln. Um die Synergien zu nutzen und die Forschung zu fokussieren, ist es notwendig, ein **Zentrum für Quantencomputing & Quantentechnologien** zu gründen, das die strategische Ausrichtung festlegt, Wissenschaft und Industrie in spezifische Projekte mit einem klaren Projekt- und Zeitplan einbindet sowie die verschiedenen Finanzierungsquellen kanalisiert und effizient steuert.

Das Zentrum wird zwei Hauptziele verfolgen:

I. Entwicklung von Leuchtturmprojekten für Quantentechnologien

II. Bau und Betrieb von Quantencomputern sowie die Entwicklung von Softwareanwendungen für diese Computer.



Notwendig ist eine enge
Verzahnung
von **Forschung**
und **Industrie**...

...und eine
flexible
Finanzierung
auf hohem Niveau.

Innovationen bei
vernetztem
Q-Computing
oder **Q-Sensoren**
für die **Medizin.**

Um die anspruchsvollen Ziele des Zentrums zu erreichen, wird für die Leitung des ZQQ eine Struktur bestehend aus einem wissenschaftlichen Beirat (Fachbeirat) und einem Exekutivkomitee vorgeschlagen. Im Fachbeirat werden alle grundlegenden Entscheidungen, z.B. die Auswahl von Leuchtturmprojekten oder Hardware-Plattformen für Quantencomputer getroffen, das Exekutivkomitee sorgt für die effiziente Umsetzung der ausgewählten Projekte sowie die organisatorische und administrative Betreuung des ZQQ. Da das ZQQ die Koordination und Steuerung der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im QWT-Bereich übernehmen, den Bau von Quantencomputern realisieren sowie eine enge Verzahnung von Forschungseinrichtungen und industriellen Partner zur Gewährleistung eines effizienten Technologietransfers und die Gründung von Start-Up-Unternehmen fördern soll, müssen in den Beirat namhafte Stakeholder aus Wissenschaft (national und international), Industrie und Kapitalwirtschaft eingebunden werden. Das Exekutivkomitee setzt sich aus den führenden Quantenwissenschaftlern der bayerischen Universitäten, der MPG, der FhG, der BAdW sowie der Industriepartner zusammen. Für die einzelnen Leuchtturmprojekte können Projektverträge mit den beteiligten Partnern abgeschlossen werden, die dezidierte Meilensteine entlang von klar definierten Arbeitsplänen enthalten.

I. Entwicklung von Leuchtturmprojekten für Quantentechnologien

Exzellente Grundlagenforschung ist die Basis von Innovationen. Im Bereich der QWT eröffnet die Entwicklung von innovativen Basistechnologien die Tür zur Schaffung von geistigem Eigentum und zur Verwertung dieser Technologien in der Industrie. Der Hightech-Standort München spielt bereits heute eine weltweite Schlüsselrolle in der Entwicklung der QWT. Um diese wissenschaftliche Führungsposition im gegenwärtigen globalen Wettbewerb auszubauen, ist es notwendig eine flexible Finanzierung auf hohem Niveau bereitzustellen, um die Anwerbung von hochqualifizierten Talenten für Universitäten, Forschungszentren und Industrie sicherzustellen. Zu diesem Zweck ist es unerlässlich, neben der Unterstützung durch verschiedene nationale und europäische Initiativen auch Leuchtturmprojekte mit höchstem Innovationspotenzial zu finanzieren. Diese besonders ambitionierten Projekte mit einer Laufzeit von 5-10 Jahren ermöglichen wissenschaftlichen Einrichtungen in Zusammenarbeit mit der Industrie, hochkomplexe Herausforderungen in Angriff zu nehmen oder anspruchsvolle Gesamtsysteme zu planen und zu bauen (*high risk - high gain*). Kleinere Konsortien aus ganz Bayern, gerade auch unter Einbindung von Industriepartnern, können so nach einem kompetitiven Verfahren mit flexiblen Etats ausgestattet, höchst anspruchsvolle Ziele im gesamten Bereich der Quantentechnologien in Angriff nehmen und somit langfristige Technologievorteile und Patente sichern. Vorlage für eine solche Leuchtturmprojektförderung ist Google X, das riskante und explorative Forschungsprojekte in innovativen Technologiebereichen (insbesondere auch den QWT) fördert.

Beispiele für derartige Projekte sind die Realisierung von Quantensimulatoren sowie die Quantenmetrologie für die Lösung fundamentaler Fragen in der Physik oder Chemie, die Entwicklung alternativer Hardware-Plattformen für Quantencomputer, die Realisierung von Plattformen für vernetztes Quantencomputing, der Aufbau sicherer Quantenkommunikation mit Satelliten, oder die Entwicklung leistungsfähiger Quantensensoren für die Medizintechnik, Quantenalgorithmen für analoge Quantumcomputer, und neuer funktionaler Quantenmaterialien.

Die Leuchtturmprojekte sollen bayernweit ausgeschrieben werden, so dass die Kompetenzen der unterschiedlichen bayerischen Standorte optimal genutzt werden können. Das ZQQ begleitet diese administrativ, ihre Durchführung und Bewirtschaftung erfolgt in den Einrichtungen der vorgeschlagenen Konsortien.



Führende Rolle in Europa

beim Bau von
Quantencomputern.

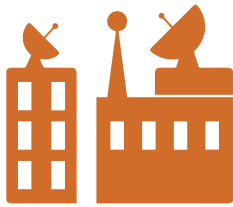
In bereits
5 Jahren
Quanten-
computer
der 1. Generation.

II. Bau und Betrieb von Quantencomputern

Zwei Technologien sind derzeit beim Bau von Quantencomputern führend: solche, die auf Atomen und solche, die auf supraleitenden Schaltkreisen basieren. In beiden Bereichen ist München nicht nur in Deutschland, sondern auch im globalen Kontext in der wissenschaftlichen Forschung hochaktiv und zum Teil führend. So werden zum Beispiel am Max-Planck-Institut für Quantenoptik und an der LMU die weltweit führenden Quantensimulatoren und am Walther-Meißner-Institut und der TUM die zentralen Komponenten von supraleitenden Quantencomputern hergestellt und erforscht. Sowohl das EMFT und das nationale Netzwerk der Institute der Fraunhofer-Gesellschaft, als auch Industrieunternehmen, bieten ebenfalls Zugang zu den fortschrittlichsten „quantum enabling technologies“. Darauf basierend und angesichts seines herausragenden wissenschaftlichen, technologischen und industriellen Umfelds, bietet München die einzigartige Chance, beim Bau dieser Computer in Europa führend zu sein und die Software und Algorithmen zu entwickeln, um sie mit verschiedenen Anwendungen zu nutzen.

Das ZQQ wird einen Quantencomputer auf der Basis von Supraleitern und einen weiteren auf der Basis von Atomen/Ionen bauen, und die Softwareanwendungen für diese Computer entwickeln. Es wird die notwendige, bedarfsorientierte Koordination und Verknüpfung von grundlagenorientierten Basistechnologien aus Leuchtturmprojekten, spezifisch notwendiger Entwicklung von *enabling* und *interface* Technologien bis hin zu dem Engineering von Komponenten und der Systemintegration von Prototypen übernehmen. Kurzfristig (ca. 5 Jahre) sollten Quantencomputer der ersten Generation (sogenannte NISQs) mit ca. 50-100 Quantenbits zur Verfügung stehen, die Berechnungen durchführen können, die selbst mit Supercomputern nicht möglich sind und das Potenzial dieser neuen Rechenplattform unter Beweis stellen. Diese ersten Prototypen werden der Industrie und für die Ausbildung neuer Generationen von Ingenieuren und Informatikern in den QWT zugänglich gemacht. Längerfristig (ab 10 Jahren) sollten skalierbare und kommerziell einsetzbare Computer entwickelt werden. Gleichzeitig müssen Softwareanwendungen für beide Arten von Computern sowie entsprechende Schnittstellen zu klassischen Supercomputern entwickelt werden. Die Zusammenarbeit zwischen Informatikern und Hardwareentwicklern wird hier eine Schlüsselrolle spielen.





3.2 Punkt 2 – Quantentechnologiepark

Konzentration von
Hightech
an einem Standort.

Ausgangspunkt
für eine neue
**Quanten-
region
Bayern.**

Beseitigung von
Engpässen
bei der Umsetzung in
**innovative
Geschäfte.**

Für die Wissenschaft, insbesondere aber sowohl für Start-Up als auch etablierte Hightech-Unternehmen ist die Verfügbarkeit eines Quantentechnologieparks ein entscheidender Vorteil im internationalen Wettbewerb. Er stellt sicher, dass Bayern hier eine Führungsrolle bei der technologischen und industriellen Nutzung der Quantentechnologien übernehmen kann. Er kann ferner bundesweit eine zentrale Rolle spielen und Hightech-Entwicklungsprojekte in den QWT nach Bayern anziehen.

Quantentechnologien benötigen Komponenten an der Grenze des technisch Machbaren. Weder Universitäten oder Forschungsinstitute, noch junge Start-Ups oder bereits etablierte Technologieunternehmen verfügen über alle Geräte, die zur Herstellung erster Prototypen in diesem Deep-Tech-Bereich notwendig sind. Um eine schlagkräftige Forschung und Industrie im Bereich der Quantentechnologien in Bayern aufzubauen, ist es dringend notwendig, die nötige Infrastruktur zur Verfügung zu stellen. In Analogie zu konventionellen Technologieparks ist es unumgänglich, unterschiedliche Nano- und Photonik-Fabrikationsanlagen in gut ausgestatteten Reinräumen sowie entsprechende Entwicklungs- und Testlabore mit dem dazugehörigen Fachpersonal einzurichten. Ein **Quantentechnologiepark** im Großraum München würde sowohl für Start-Ups als auch für etablierte Hightech-Firmen essentielle Infrastruktur und Produktionsmöglichkeiten zur Verfügung stellen. Durch die Einbindung der Universitäten und außeruniversitären Forschungseinrichtungen würde er in idealer Art und Weise Wissenschaft mit neuen und traditionellen Technologieunternehmen vernetzen. Ein solcher Quantentechnologiepark würde zum Ausgangspunkt einer neuen **Quantenregion Bayern** und stellte sicher, dass Bayern im deutschlandweiten, europäischen und internationalen Umfeld eine Führungsrolle übernehmen kann und als international sichtbare Quantenregion erster Ansprechpartner bei der wissenschaftlichen, technologischen und industriellen Nutzung der Quantentechnologien wird. Das Fehlen eines solchen Quantentechnologieparks wird zurzeit als einer der größten Standortnachteile im Vergleich zu Konkurrenten im Ausland erkannt. Ein Münchner Quantentechnologiepark könnte gleichzeitig auch im Sinne einer „One Munich Strategy“ Synergien zwischen wichtigen lokalen Akteuren (Hightech-Industrie, LMU und TUM, MPG, FhG, BAdW) ermöglichen und doppelte kostspielige Investitionen vermeiden. Insbesondere ergibt sich die besondere Chance dringend notwendige Neubauten der Fraunhofer-Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien (EMFT) sowie des Halbleiterlabors (HLL) der MPG im Falle einer Realisierung des vorliegenden Strategiekonzepts an den Quantentechnologiepark anzubinden und so zukunftsfähig aufzustellen. Das HLL kann kurzfristig seine Entwicklungsarbeiten und Produktionskette auf dem Gebiet der Halbleiter in Richtung Quantentechnologien erweitern und somit die Handlungsfähigkeit des Konsortiums herstellen. Fraunhofer kann im Zuge ihrer nationalen Reinraumstrategie der Forschungsfabrik Mikroelektronik Deutschland (FMD) enabling und interface Technologien in der gesamten Technologiebreite unmittelbar zu Verfügung stellen und über eine neue EMFT Infrastruktur mittelfristig einen besonderen Fokus im Bereich der Quantentechnologien ergänzen.

Bei der Umsetzung von Forschungsergebnissen in innovative Geschäfte ist Europa heute im Bereich der QWT in drastischem Rückstand zu den USA und Asien. Die TUM, das WMI und UnternehmerTUM haben hierzu jüngst ein **TUM Quantum Venture Lab** gegründet, welches die Zahl und Qualität der neuen QWT Unternehmungen vervielfachen soll. Diese Initiative soll unter Einbindung aller relevanten Forschungsinstitute erweitert werden, um in Bayern einen Technologiehub zu gründen, der einen wesentlichen Beitrag zur europäischen Technologiesouveränität leisten kann.





3.3 Punkt 3 - Wissenschaftliche Qualifizierung, Recruitment & Outreach

Deutschlands erster
**Master-
studiengang**
in QWT.

Wissenschaftliche Qualifizierung und Weiterbildung. Die oben genannten Maßnahmen müssen von einer Reihe von Aktionen begleitet werden, mit denen die beste Ausbildung im Bereich der QWT gewährleistet wird und die kommenden Generationen von Wissenschaftlern und Ingenieuren auf ihre Tätigkeit in einem komplexen neuartigen Technologiefeld vorbereitet werden. Die Region München hat mit dem neuen multidisziplinären **Masterstudiengang in Quantenwissenschaften und -technologien**, der im November 2020 gestartet ist und Studierenden der Physik, Mathematik, Chemie, Informatik und der Ingenieurwissenschaften offensteht, sowie mit den **Doktorandenprogrammen „Exploring Quantum Matter“** und der **„International Max Planck Research School in Quantum Science and Technology“** hier bereits Pionierarbeit geleistet, um diese Ausbildung zu initiieren. Die Ausrichtung des Programms wird spezifische Schwerpunkte setzen, um die schnelle Formung skalierbarer innovativer Geschäftsfelder im Bereich der Quantentechnologien zu fördern:

- Die Studenten und Wissenschaftler erhalten intensive Schulung und Beratung zur Sensibilisierung und zur Entwicklung einer nachhaltigen **IP-Strategie** durch TUM ForTe, LMU Innovation & Entrepreneurship Center, Max Planck Innovation, Fraunhofer Venture und führende lokale Patentanwälte. Das entstehende IP wird nach Evaluation der Marktrelevanz für die weitere Entwicklung zu marktreifen Produkten und Dienstleistungen geeigneten Start-Ups oder etablierten Firmen zu marktüblichen Bedingungen zur Verfügung gestellt.
- Spezialisierte **Kombi-Ausbildungen in Technologie und Management**, wie sie an TUM, Fraunhofer Venture und LMU bereits existieren, werden gezielt um DeepTech/QuantenTech-spezifische Module erweitert.
- Praktische **Entrepreneurship Programme** auf die Domäne QuantumTech angepasst. Für die Industrie werden im Rahmen der **life-long-learning Initiative** dedizierte Programme aufgenommen, um technische und nicht-technische Mitarbeiter auf die Quantenrevolution vorzubereiten.

Anwerbung der besten
**Wissenschaftler
und Entwickler.**

Recruitment. Für die Munich Quantum Valley Initiative müssen die besten Wissenschaftler und Entwickler angeworben werden. Hierzu sind neben einem einzigartigen Forschungsumfeld auch wettbewerbsfähige Gehaltsbedingungen und flexible und attraktive Start-Pakete von zentraler Bedeutung, so dass internationale Spitzenforscher schnell eigene Forschungs- und Entwicklungsprojekte beginnen und umsetzen können. Kurzfristig benötigte Räumlichkeiten für die Unterbringung der Forschungsgruppen und Start-Up-Unternehmen können eventuell durch die Nachnutzung des Altstandardorts Freimann (derzeitige Nutzung durch das Max-Planck-Institut für Physik, das Ende 2022 nach Garching umzieht) oder die Nachnutzung von freiwerdenden Flächen der LMU München in der Innenstadt, wie z.B. Flächen der LMU-Medizin am Sendlinger Tor, zur Verfügung gestellt werden. Ein entsprechendes Konzept befindet sich derzeit in Prüfung.



Die
Öffentlichkeit
über **Zukunfts-**
chancen
informieren und begeistern.



Schlanke und effiziente
Verwaltungsstrukturen
für die **Munich**
Quantum
Valley
Initiative

Outreach. Durch gezielte Öffentlichkeitsarbeit soll die Bevölkerung über die Chancen und das Innovationspotential der Quantentechnologien informiert und dafür begeistert werden. Dies soll über Ausstellungen, interaktive Webseiten, und Social-Media-Kanäle aktiv gestaltet werden, um dem großen Interesse der Bevölkerung an diesem Thema Rechnung zu tragen. Gleichzeitig stellt die Komplexität des Themas oft eine große Hürde dar, die eine kompetente Diskussion über die QWT verhindert. Die Outreach-Aktivitäten im Bereich der QWT und der darin tätigen Einrichtungen sollen gebündelt werden, um nützliches Informationsmaterial zur Verfügung zu stellen, Ausstellungen und Vorträge über die QWT zu fördern und um die Aktivitäten Bayerns auf diesem Gebiet konzentriert darzustellen. Dazu zählt insbesondere der Aufbau von Film- und Fotomaterial für Social-Media-Kanäle wie YouTube, Instagram, Facebook, Twitter, etc. Die Anziehungskraft Bayerns für hochqualifiziertes Personal, Technologie-Hubs und Venture-Capital-Förderung kann so gezielt gestärkt werden.

4. Umsetzung der Munich Quantum Valley Initiative

Mit dem **Munich Quantum Valley (MQV)** soll ein in München angesiedelter Quanten-Hub mit überregionaler Bedeutung für Bayern, Deutschland und Europa eingerichtet werden. Für seinen effizienten Betrieb soll eine schlanke Verwaltungs- und Organisationsstruktur etabliert werden. Zu diesem Zweck soll von den beteiligten Partnern MPG, FhG, BAdW, TUM und LMU die „Munich Quantum Valley gGmbH“ gegründet werden. Die Rechtsform „gGmbH“ wird hier als eine mögliche Variante vorgeschlagen, die u.U. aber noch modifiziert werden muss, um eine optimale Bundes- und EU-Förderung gemeinsam mit bayerischen Fördermitteln zu ermöglichen. Im Aufsichtsrat der Munich Quantum Valley gGmbH sollen Vertreter des Bundes-, des Freistaats Bayern und der Industrie als ständige Mitglieder deren Arbeit beaufsichtigen. Die Munich Quantum Valley gGmbH betreibt dabei sowohl das **Zentrum für Quantencomputing und Quantentechnologien** als auch den geplanten **Quantentechnologiepark**. An der Auswahl der **Leuchtturmprojekte** sollen sowohl führende Forscher aus allen relevanten Forschungsorganisationen und Universitäten Bayerns als auch Industrievertreter mit jeweils einer Person beteiligt sein. Die flexible Struktur, z. B. einer gGmbH, mit gleichberechtigten starken Gesellschaftern soll es einer entsprechenden Konsortialstruktur erlauben Fördermittel des Freistaats Bayern, des Bundes und der Industrie flexibel einzuwerben, diese zu bündeln und flexibel und erfolgsorientiert an die beteiligten Partner zu verteilen. Durch die spezifische Struktur der Munich Quantum Valley gGmbH soll die Möglichkeit geschaffen werden, neben einer **langfristig ausgelegten und stabilen institutionellen Förderung durch den Freistaat Bayern und den Bund** auch **projektbezogene Fördermittel von Drittmittelgebern** einzuwerben. Die gGmbH kann so als kompetenter und leistungsstarker Forschungs- und Industriepartner die Arbeiten zu Quantentechnologien zentral koordinieren und Ressourcen beim Standortwettbewerb bündeln. Sie dient dabei auch gleichzeitig als zentrales Kompetenzzentrum für alle Fragen bzgl. Quantentechnologien und soll aktiv bei der Patentierung und IP-Verwertung, bei der Gründung von Start-Ups und der Erschließung neuer Geschäftsfelder unterstützen.



Organigramm

Munich Quantum Valley

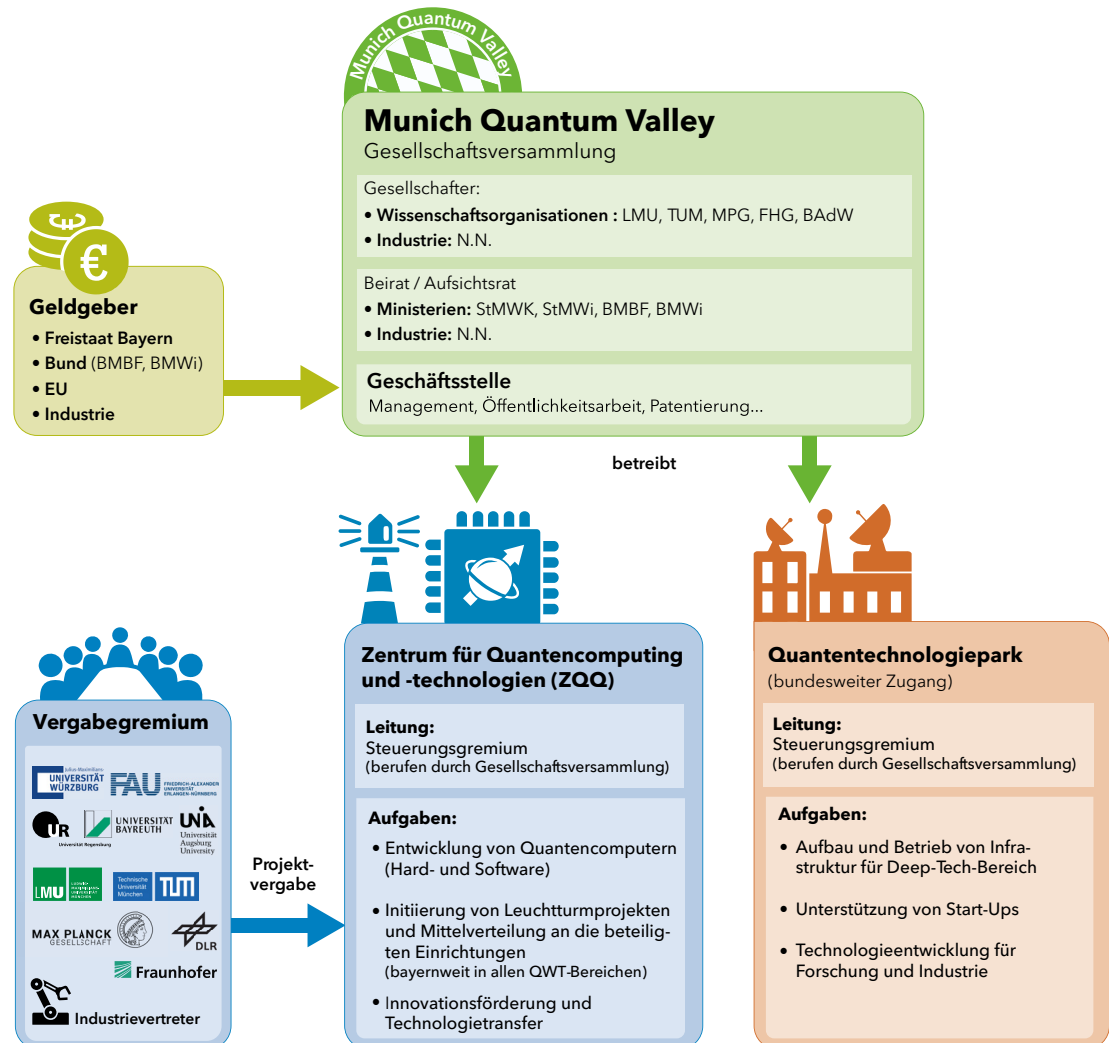


Abbildung 5: Mit der Munich Quantum Valley gGmbH soll ein zentraler Anlaufpunkt für Quantenwissenschaften und -technologien in Bayern geschaffen werden. Die Forschung und Entwicklung zwischen den beteiligten Organisationen und der Industrie soll hierzu speziell gefördert werden. Die Rechtsform „gGmbH“ wird hier als eine mögliche Variante vorgeschlagen, die u.U. aber noch modifiziert werden muss, um eine optimale Bundes- und EU-Förderung gemeinsam mit bayerischen Fördermitteln zu ermöglichen.



ANHANG: Quantenwissenschaften und -technologien in Bayern

Universitäten & Forschungseichrichtungen

Forschungsschwerpunkte

- Ludwig-Maximilians-Universität München
- Technische Universität München
- Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg
- Julius-Maximilians-Universität Würzburg

Mit einzelnen AG vertreten:

- Universität Regensburg
- Universität Augsburg
- Hochschule für Angewandte Wissenschaften München

Max-Planck-Gesellschaft Institute

- Max-Planck-Institut für Quantenoptik (Garching)
- Max-Planck-Institut für die Physik des Lichts (Erlangen)

Fraunhofer-Gesellschaft Institute

- Fraunhofer Einrichtung für Mikrosysteme und Festkörper-Technologien EMFT (München)
- Fraunhofer Institut für Angewandte und Integrierte Sicherheit AISEC (München)
- Fraunhofer Institut für Kognitive Systeme IKS (München)
- Fraunhofer Institut für Integrierte Schaltungen IIS (Erlangen)
- Fraunhofer Institut für Integrierte Systeme und Bauelementetechnologie IISB (Erlangen)

DLR

DLR Oberpfaffenhofen

BAdW

- Leibniz Rechenzentrum (Garching)
- Walther-Meißner-Institut (Garching)



Industrieunternehmen

- Airbus GmbH (Taufkirchen)
- attocube systems AG (Haar)
- BMW Research (München)
- DATA:LAB MUNICH | Volkswagen AG (München)
- Data Cybernatics - Blank & Leser Partnerschaft (München)
- Google Germany (München)
- HUAWEI TECHNOLOGIES Deutschland GmbH (München)
- Infineon Technologies AG (Neubiberg)
- IBM Watson Center (München)
- IQM Germany (München)
- kiutra GmbH (München)
- LASER COMPONENTS GmbH (Olching)
- Menlo Systems GmbH (München)
- Microsoft Germany GmbH (München)
- OHB System AG (Standort Oberpfaffenhofen)
- OHB Venture Capital GmbH (Wessling, Deutschland)
- QUBIG GmbH (München)
- qutools GmbH (München)
- Rohde & Schwarz GmbH & Co KG (München)
- TOPTICA Photonics AG (München)
- UnternehmerTUM

Netzwerke

- Quantum Business Network UG (München)
<https://quantumbusinessnetwork.de>
- PushQuantum (München)
<https://pushquantum.tech>
- Bavarian Quantum Computing eXchange (BQCX)
Regelmäßiges Quantum Community Treffen organisiert vom Irz
<https://bqcx.de>

Danksagung



Wir danken dem Exzellenzcluster MCQST für die Unterstützung bei der Recherche und Erstellung dieses Strategiepapiers.

Impressum

Verantwortliche für Inhalt & Text:

- Prof. Klaus Blaum (MPG)
- Prof. Immanuel Bloch (LMU / MPG)
- Prof. Ignacio Cirac (MPG / TUM)
- Prof. Rudolf Groß (TUM / WMI)
- Prof. Raoul Klingner (FHG)

Grafiken & Layout:

Christoph Hohmann (MCQST / LMU)

