



## Der QTF-Backbone

Ein Vorschlag für eine nationale Glasfaserinfrastruktur für die Quantentechnologie und die Zeit- und Frequenzmetrologie

## Der QTF-Backbone

Ein Vorschlag für eine nationale Glasfaserinfrastruktur für die Quantentechnologie und die Zeit- und Frequenzmetrologie

Mit dem „QTF-Backbone“ wird ein ambitioniertes Infrastrukturprojekt vorgeschlagen, das den Aufbau eines dedizierten, deutschlandweiten Glasfasernetzes für die Verteilung von Quantensignalen sowie hochpräzisen Zeit- und Frequenzsignalen (T&F) vorsieht. Ziel ist es, diese bisher auf isolierte Testumgebungen beschränkten Technologien breitenwirksam für Forschungseinrichtungen, Industrie und technologiegetriebene Start-ups verfügbar zu machen. Der Einsatz von Dunkelfasern und spezialisierter Hardware ist hierfür essenziell, da bestehende Netze wie das DFN-X-WiN oder das KTN-Netz die nötigen technischen Voraussetzungen derzeit nicht erfüllen.

Das Projekt ist auf einen Zeitraum von zehn Jahren ausgelegt und in vier Ausbauphasen geplant. Dabei soll sukzessive ein skalierbares, nachhaltiges Netzwerk entstehen, das die Grundlagenforschung, Technologieentwicklung und anschließende wirtschaftliche Nutzung auch darüber hinaus ermöglicht. Vorbildcharakter haben europäische Pilotprojekte wie REFIMEVE (Frankreich), LIFT (Italien) sowie bestehende Hochpräzisionsverbindungen innerhalb Deutschlands, etwa zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und dem Max-Planck-Institut für Quantenoptik (MPQ).

Der QTF-Backbone soll die Grundlage für ein national vernetztes Ökosystem schaffen, das Schlüsselbereiche wie Quantenkommunikation, Quantencomputing, sensorbasierte Umweltüberwachung und hochgenaue Zeitmessung adressiert. Die Infrastruktur wird auch als Katalysator für die Integration von Quanten- und T&F-Technologien in bestehende und zukünftige Systeme wie Telekommunikation, Navigation und industrielle Prozesse dienen. Besonders hervorzuheben ist die Rolle als Testfeld für technologische Durchbrüche unter realen Bedingungen außerhalb von Labors — eine zentrale Voraussetzung für innovationsgetriebene Unternehmen, Ausgründungen aus der Forschung sowie kleine und mittlere Unternehmen (KMU), die neuartige Quanten- und Zeitsysteme zur Marktreife führen wollen.

Die potenziellen Anwendungsfelder sind vielfältig und reichen von der Entwicklung sicherer Quantenkommunikation und leistungsfähiger Quantenrepeater, über die Vernetzung von Quantencomputern auf nationaler Ebene, bis hin zur Kombination von Quanten- und Zeit/Frequenz-Netzen für eine neue Generation präziser Messtechnologien. Weitere Einsatzmöglichkeiten umfassen hochauflösende Sensorik für Umwelt- und Infrastrukturmonitoring, präzise Referenzsysteme für Navigation und Erdbeobachtung, die Unterstützung von Satellitenmissionen und geodätischen Höhenbezugssystemen, sowie die Verbesserung astronomischer Messungen durch ultrapräzise Zeitreferenzen. Auch für die internationale Neudefinition der Sekunde mittels optischer Uhren sowie die Absicherung kritischer Infrastrukturen gegen GNSS-Ausfälle liefert der QTF-Backbone eine essenzielle Grundlage.

Über diese Kernbereiche hinaus bietet der QTF-Backbone erhebliches Potenzial für wirtschaftliche Impulse und technologiegetriebene Gründungsaktivitäten. Die Infrastruktur eröffnet neuen und bestehenden Unternehmen den Zugang zu hochentwickelten Quanten- und Zeitdiensten, die bisher nur in spezialisierten Laboren verfügbar waren. So können neue Geschäftsmodelle, etwa in den Bereichen sichere Datenübertragung, zeitsensitive Finanztransaktionen, Logistik, verteilte Simulationen oder Umweltüberwachung, skalierbar erprobt werden.

Zudem ist der QTF-Backbone als integraler Bestandteil einer sich entwickelnden europäischen Infrastruktur konzipiert. Er kann nahtlos in transnationale Netzwerke wie GÉANT, das pan-europäische Wissenschafts- und Bildungsnetz, und das sich in der Beantragung befindende FOREST-Projekt (Fibre Optic Research and Education Shared Testbed) im Rahmen der strategischen ESFRI-Roadmap-Initiative (European Strategy Forum on Research Infrastructures) eingebunden werden. Dadurch entsteht eine leistungsfähige Verbindung zu anderen europäischen Knotenpunkten der Quanten- und Metrologieinfrastruktur. Deutschland könnte so nicht nur eine führende Rolle in beiden Bereichen einnehmen, sondern auch als koordinierender Akteur auf europäischer Ebene wirken — etwa bei der Entwicklung eines europäischen Quanteninternets oder gemeinsamer Zeit- und Frequenzstandards.

Mit dem QTF-Backbone würde Deutschland eine Schlüsselposition im internationalen Wettbewerb um Zukunftstechnologien einnehmen. Die Kombination aus wissenschaftlichem Fortschritt, industriekompatibler Infrastruktur und europäischer Integration macht das Projekt zu einer zukunftsweisenden Investition in technologische Souveränität, wirtschaftliche Innovationskraft und strategische Wettbewerbsfähigkeit.

Ein umfangreiches White Paper zum QTF-Backbone ist auf arXiv erschienen:

The QTF-Backbone: Proposal for a Nationwide Optical Fibre Backbone in Germany for Quantum Technology and Time and Frequency Metrology: <https://arxiv.org/abs/2506.03998>

## Kontakt:

Initiative für einen QTF-BB: <https://www.ptb.de/cms/en/qtf-de-backbone.html>

Dr. Peter Kaufmann

DFN-Verein

[kaufmann@dfn.de](mailto:kaufmann@dfn.de)

Dr. Jochen Kronjäger

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

[jochen.kronjaeger@ptb.de](mailto:jochen.kronjaeger@ptb.de)

Dr. Tara Liebisch

Physikalisch-Technische Bundesanstalt

[tara.liebisch@ptb.de](mailto:tara.liebisch@ptb.de)

### **Autorinnen und Autoren (QTF-White-Paper):**

Klaus Blaum (Max Planck Institute for Nuclear Physics), Peter Kaufmann (German National Research and Education Network, DFN), Jochen Kronjäger (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Stefan Kück (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Tara Cubel Liebisch\* (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Dieter Meschede (University of Bonn), Susanne Naegele-Jackson (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), Stephan Schiller (Heinrich Heine University Düsseldorf), Harald Schnatz (Physikalisch-Technische Bundesanstalt)

### **Mitwirkende:**

Laura Agazzi (German Aerospace Center, DLR), Soroosh Alighanbari (Heinrich Heine University Düsseldorf), Joachim Ankerhold (University of Ulm), Georgy Astakhov (Helmholtz Center Dresden Rossendorf), Stefanie Barz (University of Stuttgart), Christoph Becher (Saarland University), Hendrik Bekker (University of Mainz), Oliver Benson (Humboldt University of Berlin), Ulrike Blumröder (Technische Universität Ilmenau), Enrico Brehm (DESY), Dagmar Bruss (Heinrich Heine University Düsseldorf), Dmitry Budker (University of Mainz), José R. Crespo López-Urrutia (Max Planck Institute for Nuclear Physics), Christian Deppe (TU Braunschweig), Fei Ding (Leibniz Universität Hannover), Wolfgang Ertmer (Leibniz Universität Hannover), Marc Fischer (Menlo Systems GmbH), Jakob Flury (Leibniz Universität Hannover), Johann Furthner (German Aerospace Center, DLR), Andreas Gritsch (Technical University of Munich), Tobias Heindel (Technische Universität Berlin), Luis Hellmich (DESY), Bruno Hoefft (Karlsruhe Institute of Technology), Sven Höfling (University of Würzburg), Ronald Holzwarth (Max Planck Institute for Quantum Optics, Menlo Systems GmbH), Urs Hugentobler (Technical University of Munich), David Hunger (Karlsruhe Institute of Technology), Nils Huntemann (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Fedor Jelezko (University Ulm), Klaus Jöns (Paderborn University), Philippe Jousset (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences), Jonas Kankel (DESY), Thomas Klügel (Federal Agency for Cartography and Geodesy), Uwe Konrad (Helmholtz Center Dresden Rossendorf), Michael Kramer (Max Planck Institute for Radio Astronomy), Markus Krutzik (Ferdinand-Braun-Institut), Christian Lisdat (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Yuri Litvinov (GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research), Peter van Loock (University of Mainz), Christoph Marquardt (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), Tanja Mehlstäubler (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Leibniz Universität Hannover), Peter Micke (GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research), Jürgen Müller (Leibniz Universität Hannover), Ekkehard Peik (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Thomas Pfeifer (Max Planck Institute for Nuclear Physics), Ernst Maria Rasel (Leibniz Universität Hannover), Helmut Reiser (Leibniz Supercomputing Centre, LRZ), Andreas Reiserer (Technical University of Munich), Manfred Rieck (Deutsche Bahn AG), Stephan Ritter (TOPTICA Photonics AG), Lakshmi Priya Kozhiparambil Sajith (DESY), Vera Schäfer (Max Planck Institute for Nuclear Physics), Piet O. Schmidt (Physikalisch-Technische Bundesanstalt, Leibniz Universität Hannover), SteCen Schön (Leibniz Universität Hannover), Ulrich Schreiber (Technical University of Munich), Harald Schuh (GFZ Helmholtz Centre for Geosciences), Henrik Schulz (Helmholtz Zentrum Rossendorf), Ullrich Schwanke (Humboldt University of Berlin), Christine Silberhorn (Paderborn University), Christian Smorra (Heinrich Heine University Düsseldorf), Nicolas Spethmann (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Simon Stellmer (University of Bonn), Uwe Sterr (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Thomas Stöhlker (Helmholtz Institute Jena), Jürgen Stuhler (TOPTICA Photonics AG), Sven Sturm (Max Planck Institute for Nuclear 3 Physics), Stefan Ulmer (Heinrich Heine University Düsseldorf), Tobias Vogl (Technical University of Munich), Thomas Walther (Technical University of Darmstadt), Harald Weinfurter (Ludwig Maximilian University of Munich), Lars von der Wense (University of Mainz), Fabian Wolf (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Steven Worm (DESY), Yang Yang (DESY), Michael Zopf (Leibniz Universität Hannover)

### **Unterstützende:**

Rene Baas (Deutsche Telekom AG), Immanuel Bloch (Max Planck Institute for Quantum Optics), Johannes Bouman (Bundesamt für Kartographie und Geodäsie), Tommaso Calarco (Forschungszentrum Jülich GmbH), Thomas Eickermann (Forschungszentrum Jülich GmbH), Helmut Grießer (ADVA), Thomas Halfmann (Technical University of Darmstadt), Andreas Hanemann (Technical Hochschule Lübeck), Harald Hofmann (German Aerospace Center, DLR), Peter Holleczeck (Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg), Oliver Holschke (Deutsche Telekom AG), Franz Kärtner (DESY), Heike Kaufmann (German National Research and Education Network, DFN), Imran Khan (KEEQuant GmbH), Carsten Klempt (German Aerospace Center, DLR), Jan Kodet (Technical University of Munich), Peter Michler (University of Stuttgart), Martin Migura (German National Research and Education Network, DFN), Wilfried Nörtershäuser (GSI Helmholtz Centre for Heavy Ion Research), Ralf PaCrath (German National Research and Education Network, DFN), Achim Peters (Humboldt University of Berlin), Randolf Pohl (University of Mainz), Fritz Riehle (Physikalisch-Technische Bundesanstalt), Roman Schnabel (University of Hamburg), Peter Thirolf (Ludwig Maximilian University of Munich), Thomas Udem (Max Planck Institute for Quantum Optics), Christian Weinheimer (University of Münster), Lisa Wörner (German Aerospace Center, DLR)

# Phasenmodell für den QTF-Backbone

