

## Projekt

## Linienbreiten-Analyse und Frequenzrausch-Messung schmalbandiger Laserlichtquellen (Lineal)

Koordinator:	Dr. Florian Karlewski HighFinesse GmbH Wöhrdstraße 4 72072 Tübingen Tel.: 07071 539180 E-Mail: karlewski@highfinesse.de
Projektvolumen:	800.000 € (Förderquote 67,9%)
Projektlaufzeit:	01.09.2018 – 31.08.2021
Projektpartner:	➔ Universität Tübingen

## Die technische Grundlage für die Erschließung quantenphysikalischer Anwendungen

Die Erforschung neuer Quantentechnologien erfährt derzeit weltweit einen beträchtlichen Aufschwung. Dieser wird vor allem von den Erwartungen an die Leistungsfähigkeit des Quantencomputers gestützt. Doch auch andere Quantentechnologien versprechen erhebliche Fortschritte in den Bereichen Messtechnik, Sensorik, Medizintechnik oder Biotechnologie.

Die vielversprechendsten Anwendungen der Quantentechnologien sind jedoch kurzfristig nicht praktisch umzusetzen. Es fehlt hierfür die erforderliche Gerätetechnik, die in großen Teilen erst entwickelt werden muss. Die genutzten Quantenphänomene reagieren sehr empfindlich auf äußere Einflüsse und sind daher sehr kurzlebig. Ihre Bereitstellung und Kontrolle ist mit einem beträchtlichen apparativen Aufwand verbunden. Selbst dort, wo man bereits grundlegende Funktionen nachweisen konnte, ist die technische Beherrschung der Quantensysteme noch viel zu kostspielig und zu wenig robust für eine praktische Nutzung.

Es gilt daher, in enger Zusammenarbeit zwischen den Herstellern der technischen Ausrüstungen und den Forschern in den Labors neue Geräte für den Einsatz in den Quantentechnologien zu entwickeln. Stabile und kostengünstige Systeme sollen die Aussichten auf eine erfolgreiche wirtschaftliche Nutzung der Quanteneffekte erheblich verbessern.

Eine wesentliche Zielstellung der geförderten Projekte liegt darin, einheimische Unternehmen dabei zu unterstützen, sich als weltweit führende Ausrüster für Forschung und Entwicklung zu etablieren.



Bild 1: Die apparative Beherrschung von Quantenphänomenen für neue Anwendungen ist derzeit noch sehr kostenintensiv und benötigt hochqualifiziertes Personal. (Quelle: iStock/Maartje van Caspel)

## Der Laser als Standard-Werkzeug für Quantentechnologien

Für die Entwicklung von Anwendungen in den Bereichen Quantensimulation, Quanteninformationsverarbeitung und Quantenmesstechnik sind Laserquellen mit sehr genau festgelegten Frequenzen erforderlich. Die entsprechende Qualitätsanforderung an die Frequenz des Lasers drückt sich beispielsweise über die sogenannte Laserlinienbreite aus. Diese bezeichnet die sehr kleine Frequenzspanne, die der Laser einhalten muss. Je schmalbandiger, d. h. kleiner diese Spanne ist, desto besser ist der Laser. Quantenanwendungen erfordern hier Werte von weniger als 100 Kilohertz. Da das Laserlicht eine Frequenz von mehreren hundert Milliarden Kilohertz aufweist, bedeutet dies, dass der Laser um höchstens ein Milliardstel von seiner „technisch spezifizierten Soll-Frequenz“ abweichen darf, damit er für die Bereitstellung und Kontrolle eines sogenannten Quantengatters verwendbar ist. Um eine so enorme Genauigkeit einzuhalten, sind derzeit sehr komplexe Mess- und Kontrollvorrichtungen erforderlich. Diese sind mit einem beträchtlichen technischen Aufwand verbunden und müssen von den Forschern in der Regel selbst aufgebaut, gewartet und im Betrieb überwacht werden.

Ziel des Projekts ist es deshalb, eine einfachere und robuste Technologie für die Messung und Regelung von Laserfrequenzen und ihrer Schwankungen zu entwickeln. Damit lässt sich ein zentrales Problem für Quantentechnologien – die sogenannte Kohärenzbestimmung und die Kontrolle von Lasern – lösen oder wesentlich vereinfachen.

## Ultrapräzise Messgeräte für Quanten-Laserlicht

Die Kenntnis von Laserfrequenz, Laserlinienbreite und deren Schwankungen sind sowohl für die Hersteller von Lasern als auch für Anwender in den Quantentechnologien enorm wichtig. Dafür soll ein möglichst breit einsetzbares Prinzip für die Vermessung der zeitlichen Änderung von Laserfrequenzen entwickelt werden. Auf dieser Grundlage werden die Projektpartner eine neue Generation Messinstrumente für Quantentechnologien aufbauen. Diese Instrumente sollen kompakter sein und eine schnellere Steuerung der Laser erlauben.

Der technische Ansatz beruht auf einem sogenannten Festkörper-Interferometer. Dieses macht die Anordnung kompakter und robuster als bisher. Das Gerät soll über einen Wellenlängenbereich von mehr als 100 Nanometer und somit für viele unterschiedliche Laserlichtquellen verwendbar sein. Für eine einfache Handhabung sollen einheitliche Schnittstellen für die elektronischen und die optischen Verbindungen genutzt werden. Die elektronische Steuerung soll den Betrieb mehrerer Messköpfe erlauben und die Software eine komfortable und präzise Bestimmung des Frequenzrauschens beziehungsweise der Linienbreite oder Kohärenz ermöglichen.

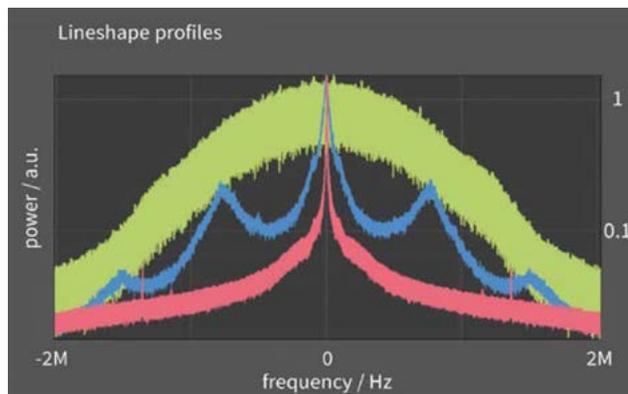


Bild 2: Spektrale Leistungsdichten dreier Laser: in Grün eine 300Kilohertz breite Laserlinie – geeignet für die Bereitstellung atomarer Zustände, jedoch nicht für die kohärente Präparation von Quantengattern. In Blau abgebildet sieht man eine auf etwa 30 Kilohertz geregelte Laserlinie und in Rot eine 10 Kilohertz breite Laserlinie, die beide das Tor zur Manipulation von atomaren Quantengattern öffnen. (Quelle: HighFinesse Laser and Electronics GmbH).

Das Messsystem wird im Vorhaben an besonderen Quantenzuständen von Rubidium-Atomen, sog. Rydberg-Zuständen, getestet. Das Schalten dieser Quantenzustände bildet die Grundlage für elementare Quantengatter und wird weltweit in zahlreichen Labors für die Erforschung von Quantentechnologien eingesetzt. Auf diesem Wissenschaftsmarkt ergibt sich ein erster, aber hoher Bedarf an einfach zu bedienenden Kontrollgeräten.