

< Das Falschfarbenbild zeigt ein mit einer CMOS-Kamera aufgenommenes Interferogramm im sichtbaren Wellenlängenbereich. In diesem ist spektroskopische Information aus dem mittleren Infrarot enthalten, die mithilfe korrelierter Photonenpaare ins Sichtbare übertragen wurde.

## GRUPPE NICHTLINEARE OPTIK UND QUANTENSENSORIK

# Quantensensorik: Messen mit verschränkten Photonen

Effekte aus der Quantenwelt eröffnen auch für die Messtechnik völlig überraschende Möglichkeiten. So lassen sich die Eigenschaften verschränkter Photonen in der Spektroskopie beispielsweise ausnutzen, um wertvolle spektrale Informationen aus schwer zugänglichen Wellenlängenbereichen zu gewinnen. Fraunhofer IPM arbeitet zusammen mit anderen Fraunhofer-Instituten an der Weiterentwicklung modernster quantensensorischer Messtechniken mit dem Ziel einer möglichen industriellen Umsetzung.

Die Quantenforschung hat in den vergangenen Jahren eine Reihe wissenschaftlicher Durchbrüche erzielt. In Wissenschaft, Politik und Wirtschaft spricht man von einer »zweiten Quantenrevolution«, bei der der Quantentechnologie eine Rolle als Schlüsseltechnologie der modernen Informationsgesellschaft zukommt. Im Unterschied zur ersten Generation von Quantentechnologien, die auf der Nutzung großer Ensembles basierte, können heute einzelne Quanten in ihrer Verschränkung und in Überlagerungszuständen präpariert, manipuliert, übermittelt und gemessen werden.

## Quantensensorik – Messen mit neuen Möglichkeiten

Wenn man von Quantensensorik spricht, meint man Sensorik, die physikalische Parameter messen kann, indem sie die besonderen Eigenschaften isolierter Quantensysteme ausnutzt. Dabei kann es sich um Atome in gezielt präparierten elektronischen Zuständen, um lokalisierte Zustände in Festkörpern oder um Photonen handeln, die in ihren Eigenschaften miteinander »verschränkt« sind. Quantensensoren und darauf basierende Messsysteme sind methodisch bedingt meist komplizierter im Aufbau als klassische Sensoren. Im Hinblick auf Empfindlichkeit und Messgenau-

igkeit können sie jedoch deutliche Vorteile bieten: Die Entwicklung von Atomuhren auf der Basis ultrakalter Atome ist dafür das bekannteste Beispiel.

Mit verschränkten Photonen lassen sich neue Messtechniken für die Bildgebung und Spektroskopie entwickeln. Dazu wird ein nichtlinear-optisches Medium – ein Kristall mit speziellen physikalischen Eigenschaften – mit geeignetem Laserlicht angeregt. Einzelne Photonen des Laserstrahls werden dabei in einem parametrischen Prozess jeweils in korrelierte Paare aus zwei verschränkten Photonen umgewandelt. Verschränkt bedeutet, dass die beiden erzeugten Photonen als ein einziges Quantensystem angesehen werden können; ihre Eigenschaften sind daher in höchstem Maße korreliert. Das hat zur Folge, dass die Messung einer Eigenschaft an einem der beiden Photonenpartner unmittelbar auf die Eigenschaften des zweiten Photonenpartners schließen lässt.

Von besonderem Interesse für die Spektroskopie ist nun die Möglichkeit, diese verschränkten Photonenpaare mit unterschiedlicher Wellenlänge zu erzeugen und damit

Im Fraunhofer-Leitprojekt **QUANTUM METHODS FOR ADVANCED IMAGING SOLUTIONS (QUILT)** sollen Forschungsergebnisse aus der Quantentechnologie in innovative Komponenten und Systeme sowie Funktionsdemonstratoren umgesetzt werden. Dabei fokussiert sich QUILT auf das Themengebiet des Quantum Imaging, bei dem nicht-klassische Zustände von Licht genutzt werden, um neue Verfahren für Bildgebung und Spektroskopie umzusetzen. Koordiniert wird das Projekt von Fraunhofer IOF und Fraunhofer IPM gemeinsam. Vier weitere Fraunhofer-Institute gehören zum Konsortium. Das Projekt läuft seit dem 01.09.2017 und endet am 31.08.2020.

wertvolle spektrale Information aus schwer zugänglichen Wellenlängenbereichen zu gewinnen. Der Trick dabei ist, dass bei dieser Methode die spektrale Information nicht nur vom wechselwirkenden Photon getragen wird, sondern auch vom korrelierten Partnerphoton.

## MIR-Spektroskopie mit verschränkten Photonen

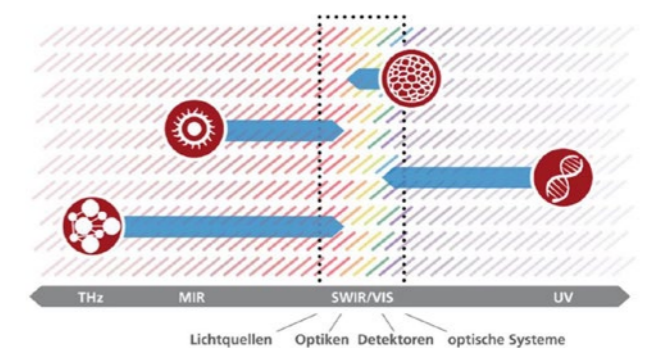
Der mittlere Infrarotbereich (MIR) wird oft als »Finger-Print-Bereich« bezeichnet. Denn viele Stoffe weisen genau hier im Wellenlängenbereich zwischen etwa drei und fünfzehn Mikrometern charakteristische Absorptionslinien auf, anhand derer die Stoffe besonders gut detektiert und unterschieden werden können. Doch leider gibt es ein Problem: Dieser Spektralbereich erfordert anspruchsvolle Laser. Und geeignete Detektoren für den MIR-Bereich sind technisch aufwändig und teuer.

Das Team am Fraunhofer IPM setzt daher auf einen alternativen Lösungsansatz, bei dem die Photonenpaare aus je einem sichtbaren und einem Mittelinfrarot-Photon bestehen. Die Infrarot-Photonen wechselwirken mit der zu untersuchenden Probe. Mithilfe der sichtbaren Partnerphotonen ist die spektroskopische Information dann messtechnisch viel einfacher, schneller und sensitiver zugänglich, wobei Standarddetektoren oder -kameras genutzt werden.

## Ein junges Arbeitsgebiet mit großem Potenzial

Im Unterschied zu anderen Gebieten der Quantensensorik

ist die Nutzung solcher spektral weit gespreizter Photonenpaare für die Spektroskopie ein noch junges Arbeitsfeld. Fraunhofer IPM engagiert sich hier in einer frühen Forschungsphase, um mit eigenen Arbeiten das Potenzial des Verfahrens für mögliche spektroskopische und analytische Anwendungen zu erkunden und später in Lösungen auch für die Industrie nutzbar zu machen. Die Arbeiten sind Teil des Fraunhofer-Leitprojekts QUILT.



Korrelierte Photonenpaare mit weiter Wellenlängenspreizung erlauben es, spektroskopische Informationen aus dem Ultraviolett- (UV), dem Mittelinfrarot- (MIR) und dem Terahertz- (THz) Bereich leichter zu detektieren. Silizium-Detektoren erfassen die spektroskopische Information durch eine Messung an einem korrelierten Photon im sichtbaren Spektralbereich (SWIR/VIS).