

Garching, 11.10.2009

Presse-Information

## Quantenlimitierte Messmethode für Nanosensoren

**Wissenschaftlerteam vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik und der Ludwig-Maximilians-Universität München gelingt es, optische Methoden auf nanomechanische Objekte anzuwenden.**

**Neue Fertigungstechniken ermöglichen es, mechanische Bauelemente auf Siliziumchips herzustellen, die nur noch Nanometer (ein Millionstel mm) groß sind. Ihre Anwendung ist allerdings noch dadurch eingeschränkt, dass keine ausreichend genauen Messverfahren für diese winzigen Bauteile zur Verfügung stehen. Einen grundsätzlich neuen Ansatz hat jetzt ein Team um Prof. Tobias Kippenberg (Leiter der Nachwuchsgruppe „Laboratory of Photonics and Quantum Measurements“ am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching und Tenure Track Assistant Professor an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Lausanne) und Prof. Jörg Kotthaus (Professor an der LMU München) erfolgreich getestet (Nature Physics, Advance Online Publication, DOI: 10.1038/NPHYS1425). Eine Schlüsselrolle darin spielen auf Siliziumchips gewachsene Glaszylinder mit einem Durchmesser von ca. 50 Mikrometern, die in ihrem Innern Licht für geraume Zeit speichern können. Wie die Wissenschaftler zeigten, können Nanooszillatoren mit dem aus dem Toroid dringenden optischen Nahfeld sowohl ausgelesen als auch zu Schwingungen angeregt werden. Die Genauigkeit dieser Messungen ist nur durch die Quantenfluktuationen des Lichts limitiert. Bereits bei Raumtemperatur werden deshalb Empfindlichkeiten erreicht, die in der Größenordnung des quantenmechanischen Grundzustandsrauschens der Oszillatoren sind, d.h. dem Standard-Quantenlimit entsprechen. Die neue Messmethode ist somit für die Grundlagenforschung von großem Interesse. Aber auch Anwendungen wie der Nachweis einzelner Atome bzw. Ladungen oder auch die Massenspektrometrie können von den Messungen profitieren.**

Nanomechanische Oszillatoren sind ideale Kandidaten, um die Quantengrenzen mechanischer Schwingungen experimentell zu testen. Darüber hinaus sind sie die Grundlage für eine Reihe von Präzisionsmessungen und ein fester Bestandteil in Magnetkraft- und Rasterkraftmikroskopen. In den vergangenen 10 Jahren wurde der Entwicklung empfindlicher Auslesetechniken für immer kleinere und dadurch sensitivere Oszillatoren eine hohe Aufmerksamkeit geschenkt. Optische Methoden erreichten hierbei die besten Werte, waren aber auf Objekte größer als die Wellenlänge beschränkt. Für nanoskalige Objekte anwendbare, elektronische Methoden erreichten bisher nur eingeschränkte Präzision.

Die MPQ und LMU-Physiker haben jetzt mit Hilfe optischer Methoden erstmals quantenlimitierte Messungen an nanoskaligen Oszillatoren erreicht. Dies war bisher nicht möglich, da es bei Objekten, die kleiner als die Wellenlänge des Lichtes sind, zu Beugungsverlusten kommt. Im vorliegenden Experiment wird dieses Problem dadurch umgangen, dass im optischen Nahfeld gearbeitet wird. Schlüsselbaustein ist ein zylindrischer Resonator aus Glas mit einem Durchmesser von ca. 50 Mikrometern. Dieses Mikrotoroid kann Licht speichern, wenn dessen Wellenlänge hineinpasst, d.h. in einem ganzzahligen Verhältnis zum optischen Umfang des Resonators steht. Ein kleiner Teil des gespeicherten Lichts, das sogenannte Nahfeld, „leckt“ aus dem Resonator heraus und dient als Mess-

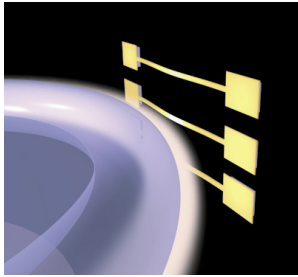
Presse- und  
Öffentlichkeitsarbeit,  
Dr. Olivia Meyer-Streng

Tel.: +49(0)8932 905-213  
E-Mail: [olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de](mailto:olivia.meyer-streng@mpq.mpg.de)

Hans-Kopfermann-Str. 1  
D-85748 Garching

Tel.: +49(0)8932 905-0  
Fax: +49(0)8932 905-200

sonde für die Nanooszillatoren (s. Abbildung) – eine Anordnung parallel gespannter Siliziumnitrid-Saiten, die typischerweise 100 Nanometer mal 500 Nanometer dick und 15 bis 40 Mikrometer lang sind. (Nanosaiten und Mikrotoroide wurden in den Reinräumen von Prof. Kotthaus an der LMU und an der ETH Lausanne hergestellt.)



**Abbildung:** Schema des Experiments: Die Nanosaiten (gelb) treten in Wechselwirkung mit dem optischen Nahfeld, das aus dem Toroid-Glasresonator (violett) dringt. Nähert man eine einzelne Saite dem Mikroresonator an, so verringert sich dessen optische Resonanzfrequenz exponentiell.

Bringt man die Nanoszillatoren in das Nahfeld, das sich einige Hundert Nanometer weit von der Oberfläche der Toroide erstreckt, so können sie mit dem Mikrotoroid wechselwirken. Die Nanooszillatoren wirken dabei auf das optische Nahfeld wie ein Dielektrikum, d.h. sie verändern lokal den Brechungsindex. Dies führt wiederum zu einer Verschiebung des optischen Umfangs und damit der Resonanzfrequenzen des Mikrotoroids. Die Verschiebung der optischen Resonanzen durch die Nanooszillatoren ist hierbei so groß, dass allein deren Brownsche Bewegung einen starken, deutlich messbaren Einfluss hat und die Bewegung der Saiten mit hoher Empfindlichkeit gemessen werden kann. Die dabei erreichte Empfindlichkeit für Abstandsänderungen ist von der gleichen Größenordnung wie die quantenmechanisch bedingten Fluktuationen, die man für nanomechanische Oszillatoren beim absoluten Temperaturnullpunkt erwartet und die dem sogenannten Standard-Quantenlimit für Abstandsmessungen entsprechen.

Die hohe Empfindlichkeit für die Bewegung nanoskaliger Objekte sei allerdings nur ein Aspekt des neuen Verfahrens, betont Georg Anetsberger, der in der Gruppe von Prof. Kippenberg promoviert. Ebenso wichtig sei der erstmalige Nachweis, dass auch nanoskalige Objekte durch die Kraft von Photonen, den Strahlungsdruck, direkt beeinflusst, z.B. gekühlt oder in Schwingung versetzt werden können. „Wir beobachten, dass die Dipolkraft des optischen Nahfelds zu einer dynamischen Rückwirkung führt, welche die Nanosaiten zu kohärenten laserähnlichen Schwingungen anregt.“

Die hier verwendete Methode lässt sich praktisch auf alle nanoskaligen mechanischen Oszillatoren anwenden, was deren Einsatz als hochempfindliche Sensoren weiter verbessern könnte. Für Prof. Kippenberg zeigt sich daran wieder einmal die Vielseitigkeit der Mikrotoroide, die seit einigen Jahren im Zentrum seiner Forschung stehen. „Wir haben hier eine experimentelle Plattform entwickelt, die die Anwendungsmöglichkeiten nanomechanischer Bauelemente deutlich erweitern könnte. Zudem bietet sie eine Schnittstelle, an der Photonen und Phononen so optimiert miteinander wechselwirken, dass quantenmechanische Effekte bei Raumtemperatur messbar werden könnten.“ [Olivia Meyer-Streng / Georg Anetsberger]

#### **Originalveröffentlichung:**

G. Anetsberger, O. Arcizet, Q. P. Unterreithmeier, R. Rivière, A. Schliesser, E. M. Weig, J. P. Kotthaus und T. J. Kippenberg

#### **Near-field cavity optomechanics with nanomechanical oscillators**

*Nature Physics, Advance Online Publication, DOI: 10.1038/NPHYS1425*

#### **Kontakt:**

##### **Prof. Dr. Tobias Kippenberg**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik und  
Ecole Polytechnique Fédérale de Lausanne  
Tel.: +41 - 79 / 5350 016  
E-Mail: tobias.kippenberg@mpq.mpg.de  
<http://www.mpq.mpg.de/k-lab/>

##### **Prof. Dr. Jörg P. Kotthaus**

LMU, Fakultät für Physik and Center for  
NanoScience  
Tel.: +49 - 89 / 2180 3737  
E-Mail: kotthaus@lmu.de  
<http://www.nano.physik.uni-muenchen.de>

##### **Georg Anetsberger**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Tel.: +49 - 89 / 32905 -334  
E-Mail: georg.anetsberger@mpq.mpg.de

##### **Dr. Olivia Meyer-Streng**

Max-Planck-Institut für Quantenoptik  
Tel.: +49 - 89 / 32905 -213  
E-Mail: oim@mpq.mpg.de

