

Die Vermessung der Welt

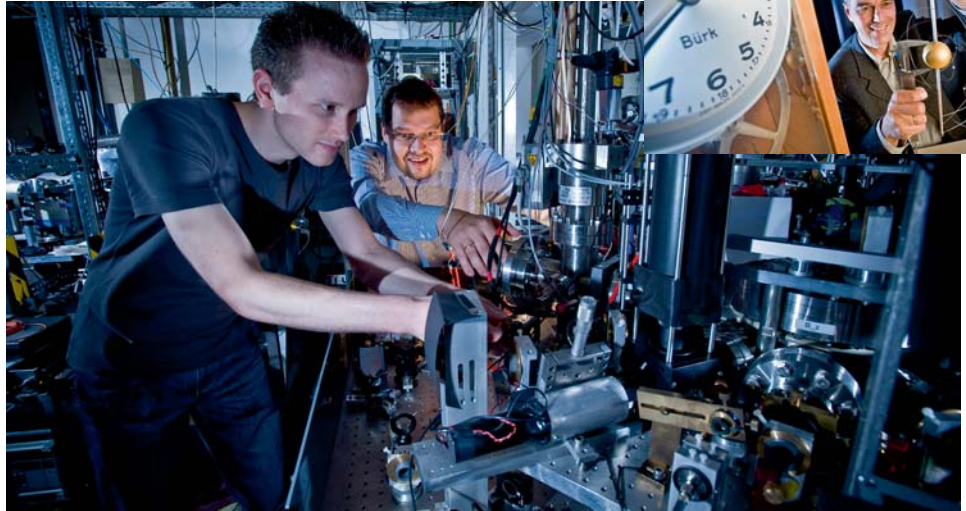
Forschung der Quantenoptik revolutioniert Messverfahren

Thema des Monats

Wie kann man das Schmelzen des Grönlandeis oder des Permafrostbodens in Sibirien messen? Und wie hoch ist die Zugs Spitze wirklich? Werkzeuge zur Beantwortung dieser Fragen liefert die Quantenoptik. In dem seit Mitte 2014 laufenden SFB 1128 „geo-Q“ arbeiten rund 100 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler von fünf Projektpartnern aus den Fachbereichen Geodäsie und Physik gemeinsam daran, mit immer präziseren Messmethoden die permanenten Veränderungen im System Erde genau zu verfolgen und darzustellen. Die drei Schwerpunkte sind Erdmessung, Gravitationsforschung und Quantenmetrologie.

Die wichtigsten Geräte hierzu sind Atomuhren und das Interferometer. Letzteres wird genutzt, um Interferenzen, also Überlagerungen von Wellen, zu erfassen und damit Einflüsse, die diese Überlagerungen beeinflussen, präzise anzuzeigen. Beim Interferometer mit Lichtwellen besteht das Prinzip darin, Lichtstrahlen über halbdurchlässige Spiegel, sogenannte Strahlteiler, in jeweils zwei Strahlen zu teilen, über getrennte Wege zu lenken und schließlich wieder zusammenzuführen. Das Ergebnis ist ein Interferenzmuster, das Rückschlüsse auf die Messgröße, etwa den Abstand zweier Spiegel, zulässt.

Eine solche Interferometeranordnung lässt sich auch mit Atomen – also „Teilchen“ – realisieren: Atome ändern durch extreme Kühlung (Laserkühlung) ihren Bewegungszustand und verhalten sich dann quantenphysikalisch wie kleine Wellenpakete, die sich dann ebenfalls so bewegen, als seien sie in Teilwellen aufgeteilt. Atominterferometer haben das Potenzial, bestimmte Messgrößen wie zum Beispiel Trägheitskräfte (inertiale Kräfte) wesentlich genauer als klassische Messgeräte zu messen. „Der Vorteil dieser neu entwickelten Verfahren sind immer präzisere Messungen mit immer geringeren



systematischen Fehlern sowie mit immer kompakteren und auch für Messkampagnen feldtauglichen Aufbauten“, sagt Prof. Dr. Wolfgang Ertmer vom Institut für Quantenoptik.

Mit solchen Licht- oder Atom-Interferometern in relativ tief fliegenden Erdbeobachtungssatelliten lassen sich auch sehr genau Profile der ortsabhängigen Erdschwere und ihre zeitlichen Änderungen bestimmen. Hierdurch kann das Schmelzen von großen Eismassen, die Veränderungen des Grundwasserspiegels oder auch das Auftauen des Permafrostbodens in Sibirien beobachtet werden. Dadurch würden Trends früher abschätzbar und möglicherweise sogar die Vorhersagen etwa über Erdbeben oder Vulkanausbrüche denkbar. „Noch ist das echte Zukunftsmusik, aber wir sind auf einem guten Weg“, sagt Ertmer.

Ein weiteres Ziel ist es, messtechnische Möglichkeiten für ein genaueres globales Höhennetz zu schaffen. Mit Hilfe von optischen Atomuhren und der so genannten relativistischen Geodäsie können die Forscherinnen und Forscher künftig mit

Zentimetergenauigkeit Höhenunterschiede auch über sehr große Entfernungen wie zum Beispiel zwischen Paris und Hannover bestimmen.

Um diese Vergleichbarkeit von Messdaten über Länder und Kontinente hinweg zu erreichen, ist neben der genauen Messung durch optische Atomuhren ein präzises Modell des Erdschwerefeldes zur Bestimmung eines Referenzpunktes entscheidend. So gilt zum Beispiel in Deutschland der Wasserspiegel der Nordsee als Referenzpunkt bei Höhenmessungen (Pegel Amsterdam). In der Schweiz hingegen ist der Wasserspiegel des Mittelmeers bei Marseille ein Bezugspunkt, was immerhin bis zu rund 30 Zentimetern Differenz bedeuten kann. Für den Normalbürger ist der Unterschied, etwa auf Wanderkarten, sicher wenig relevant. Anders sieht es hingegen bei Berechnungen für Bauwerke wie Tunnel oder Brücken aus, die von zwei Seiten gebaut werden und exakt zusammenpassen müssen, wie das Beispiel der Hochrheinbrücke zeigt, die den schweizerischen und den deutschen Teil von Laufenburg verbindet. hk