

Großer Schritt zur optischen Uhr

Mit einem einzelnen Ytterbium-Ion, das in einer Ionenfalle gespeichert wurde, und einem Femtosekunden-Kammgenerator gelang in der PTB ein großer Schritt in Richtung auf eine optische Atomuhr. Die Frequenz eines optischen Yb^+ -Übergangs von $(688\,358\,979\,309\,307,7 \pm 2,2)$ Hz wurde über mehrere Tage mit der Frequenz einer Cs-Fontänenuhr als Primärnormal verglichen.

Seit mehr als einem halben Jahrhundert verteidigen Cäsium-Uhren erfolgreich ihren Ruf als die besten Uhren der Welt. Es ist schwierig, ihre Genauigkeit wesentlich weiter zu steigern. Als aussichtsreichste Kandidaten für noch genauere und gleichzeitig stabile Zeitstandards gelten so genannte optische Uhren, deren Übergangsfrequenz im Bereich des sichtbaren Lichts liegt. Mit ihrer gegenüber der Cs-Frequenz ca. 75 000-mal höheren Frequenz können die optischen Uhren Zeitintervalle wesentlich feiner unterteilen.

Um den Vorteil der höheren Frequenz ausnutzen zu können, ist ein optisches „Uhrwerk“ notwendig, das es erlaubt, langzeitstabil aus der optischen Frequenz den Sekundentakt zu generieren. Als Uhrwerk dienen heutzutage Femtosekunden-Kammgeneratoren, basierend auf UltrakurzpulsLasern. Diese Laser verbinden über die Pulswiederholrate den Mikrowellenbereich (10^8 Hz) mit dem optischen Spektralbereich (10^{14} Hz). Ähnlich einem Lineal bilden die Moden eines Frequenzkamms einen absoluten Maßstab bis hin zu den optischen Frequenzen.

Jetzt ist der PTB ein großer Schritt in Richtung auf eine optische Atomuhr gelungen. Die Frequenz eines optischen Frequenznormals, basierend auf einem einzelnen Yb^+ -Ion in einer Paul-Falle, wurde über mehrere Tage mit den Frequenzen der Cs-Fontänenuhr CSF1 und eines kurzzeitstabileren

Wasserstoffmasers verglichen.

Diese Messungen legen den Grundstein zum Betrieb einer optischen Uhr mit bisher unerreichter Präzision, zeigen sie doch, dass optische Frequenznormale mit gespeicherten Ionen heute eine ähnlich geringe Unsicherheit erreichen wie die genauesten Cäsium-Uhren im Mikrowellenbereich. Mit der um zwei Größenordnungen besseren Kurzzeitstabilität konnten z. B. relative Frequenzschwankungen von $1 \cdot 10^{-17}$ eines stabilisierten Faserlasers in nur einer Stunde Messzeit nachgewiesen werden. Selbst mit der weltbesten Cs-Uhr bräuchte man dafür viele Monate Mittelungszeit.

Damit ist die Zeit reif, sich auf sekundäre Realisierungen der Sekunde vorzubereiten, die später möglicherweise zu einer Neudefinition der Sekunde führen könnten.

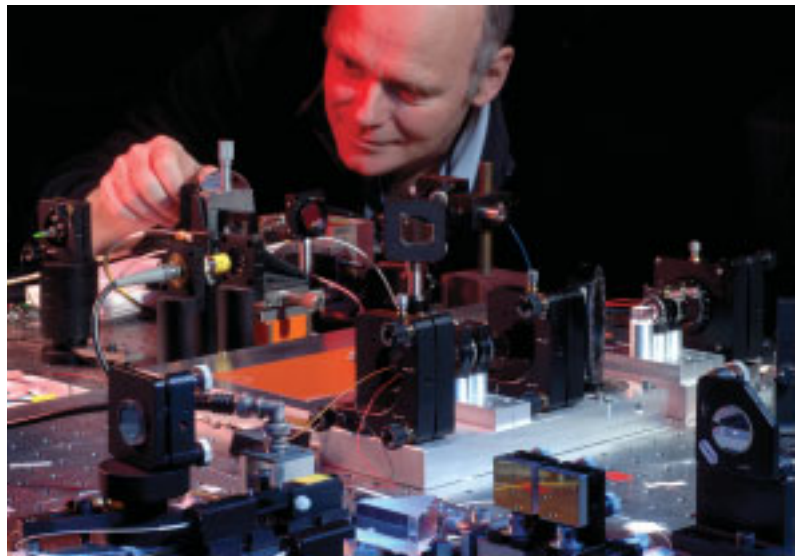
Weitergehende Informationen von

H. Schnatz,

Tel. (05 31) 592-43 11,

E-Mail:

harald.schnatz@ptb.de



Justierung des Femtosekunden-Kammgenerators

Vom Quanten-Hall-Effekt zur Kapazität

Die Realisierung der Kapazitätseinheit durch den Quanten-Hall-Effekt (QHE) ist ein großes Stück näher gerückt. Bereits seit 1990 dient der QHE als Quantenstandard für den elektrischen Widerstand bei Gleichstrom (DC). In der PTB gelang nun eine entscheidende Weiterentwicklung der Messtechnik, die auch mit Wechselstrom (AC) die präzise Messung des Quanten-Hall-Widerstandes erlaubt und einen Quantenstandard für die Kapazität liefert.

Ein geplantes neues System physikalischer Einheiten wird konsequent die Vorteile von Quantenstandards nutzen und ausschließlich auf Fundamentalkonstanten basieren. Die Kapazität ist dabei

eine wichtige elektrische Größe, sowohl für die Kontinuität zum alten als auch für einen Konsistenztest innerhalb des neuen Systems. Die Verknüpfung einer Kapazität C mit Fundamentalkonstanten beruht darauf, dass bei einer Frequenz w der Wechselstromwiderstand $1/(wC)$ mit dem Quanten-Hall-Widerstand verglichen werden kann. Der Quanten-Hall-Widerstand, der nur von Fundamentalkonstanten abhängt, liefert somit auch einen Quantenstandard für die Kapazität.

Allerdings treten bei Präzisionsmessungen im kHz-Bereich parasitäre Effekte auf, die zu frequenz- und stromabhängigen Abweichungen vom

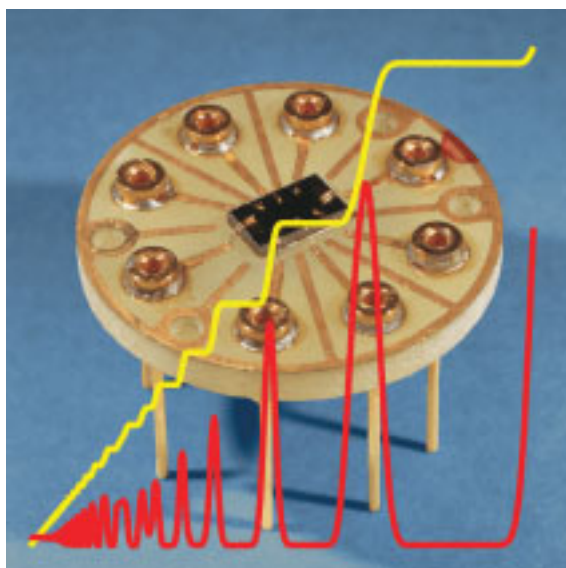
(Fortsetzung auf Seite 2)

DC-Wert führen. Man kann die Abweichungen mit Hilfe von Steuerelektroden, die ein elektrisches Wechselfeld erzeugen, beliebig einstellen oder auch vollständig kompensieren, doch haftet dieser Justage eine nicht zu akzeptierende Beliebigkeit an.

Durch eine Weiterentwicklung der komplexen AC-Messtechnik ist es nun möglich geworden, all diejenigen Größen mit Wechselstrom zu messen, die auch im Gleichstromfall überprüft werden müssen. Dabei liefert die Messung des AC-Längswiderstandes erstmals ein messtechnisch wohldefiniertes und sinnvolles Kriterium für die Einstellung des äußeren Wechselfeldes: Gleicht man den AC-Längswiderstand eines QHE-Elements auf Null ab, so wird der AC-Quanten-Hall-Widerstand innerhalb einer erweiterten Messunsicherheit von $2 \cdot 10^{-8}$ ($k = 2$) gleich dem DC-Quanten-Hall-Widerstand, unabhängig von äußeren Einflussgrößen wie Frequenz, Stromstärke und Temperatur.

Dieses Kriterium ist analog zu den international festgelegten Richtlinien für zuverlässige DC-Widerstandskalibrierungen mit dem QHE. Die Details für die Realisierung eines AC-Quantenstandards

der Kapazität sollen in diesem Jahr auf einer Fachkonferenz im Kreis internationaler Experten diskutiert werden und zu entsprechenden Richtlinien für den AC-Fall führen.



Quanten-Hall-Element mit typischen Messkurven

Weitergehende Informationen von J. Schurr,
Tel. (05 31) 592-21 14,
E-Mail:
juergen.schurr@ptb.de

Archivierung elektronischer Dokumente

Im Rahmen des von BundOnline 2005 unterstützten Projekts ArchiSafe wurden Grundlagen für die rechtssichere Langzeitspeicherung elektronisch signierter Dokumente über mehrere Jahrzehnte (Archivierung) entwickelt und in Form eines Prototyps in die Praxis umgesetzt. Im Dezember 2005 wurde die erste Phase des Projekts mit einer Präsentation im Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW) erfolgreich abgeschlossen.

Der Aufbau moderner Verwaltungsstrukturen geht mit der Einführung elektronischer Akten einher, die zwar den ungehinderten und schnellen Austausch von Daten und Informationen zwischen den Verwaltungseinheiten unterstützen, aber auch leicht und unbemerkt manipuliert werden können. Fortschritte im eGovernment mit elektronischen Akten erfordern die Sicherstellung von Authentizität und Integrität sowie die Vertraulichkeit und Vollständigkeit der digitalen Unterlagen. Für eine solche elektronische Dokumenteninfrastruktur, häufig in Verbindung mit Signaturen, ist auch ein adäquates elektronisches Archiv notwendig.

Die Entwicklung eines solchen Archivsystems ist das Ziel des PTB-Projektes ArchiSafe, das im Rahmen der eGovernment-Initiative BundOnline 2005 entstanden ist. ArchiSafe unterstützt dabei die Einführung bundeseinheitlicher Standards für die rechts- und revisionssichere Langzeitspeicherung (Archivierung) elektronischer Dokumente. Unter der Bezeichnung ARS (ArchiSafe Recordkeeping Strategy) wurde ein XML-Datenaustauschformat für elektronische Dokumente inklusive Meta- und Signaturdaten entwickelt. Während die Archivierung von Dokumenten in proprietären Formaten

wie z.B. Microsoft® Word und ohne Metadaten in mehreren Jahrzehnten nicht mehr sicher lesbar sind, wird durch ARS-Dokumente eine längere Archivierung gesichert.

Auf der Grundlage eines bereits veröffentlichten Fach- und Datenverarbeitungskonzeptes (www.archisafe.de) wurde ein voll funktionsfähiger rechtssicherer Langzeitspeicher als Pilotsystem implementiert. Als Ablagemedien kommen Festplattenspeicher zum Einsatz, die im Vergleich zu den bisher häufig im Umfeld der Archivierung anzutreffenden Medien (CD, DVD, Magnetbänder) einen schnelleren Zugriff auf die Archivdaten erlauben. Bei der ersten praktischen Anwendung in der PTB werden in SAP erstellte Zertifikate von Bauartzulassungen langzeitgespeichert. Für diese Dokumente gelten Aufbewahrungsfristen von mindestens 30 Jahren.

Die Zertifikate werden im PDF-Format elektronisch signiert und dann mit den dazugehörigen Metadaten in die ARS-Struktur eingebettet. Nach einer Überprüfung wird das Objekt an den Langzeitspeicher gesendet, der die dauerhafte Erhaltung der Authentizität und Integrität der Dokumente sowie die von der Signaturverordnung geforderte Signaturerneuerung sicherstellt. Die Signaturerneuerung geschieht nach dem ArchiSig-Konzept (www.archisig.de).

Im Unterschied zur Archivierung auf WORM-Medien (Write Once Read Multiple times) bietet das neue Verfahren den Vorteil, dass ein späteres Löschen von archivierten Dokumenten, z. B. aus datenschutzrechtlichen Gründen, und die Erstellung eines so genannten Beweisdokumentes zur Vorlage beim Gericht problemlos möglich sind.

Weitere Informationen von
T. Schäfer,
Tel. (05 31) 592-24 56,
E-Mail:
tobias.schaefer@ptb.de

Internet-Portal zur thermischen Metrologie

Sie sind allgegenwärtig und beeinflussen nahezu alle technischen und naturwissenschaftlichen Abläufe: die Vorgänge und Erscheinungen rund um Temperatur und Wärme. Doch das Detailwissen hierzu ist auf viele Stellen verteilt, für Anwender manchmal nur schwer zu finden und häufig kaum zu bewerten. Abhilfe schaffen soll ein neu gegründetes Virtuelles Institut für Thermische Metrologie. Dessen Website ist in einem EU-Projekt „evitherm“ entstanden.

Bei einem Großteil industrieller Prozesse, von der Stahlproduktion bis zur Nahrungsmittelverarbeitung, spielt der Einsatz thermischer Technologien und Messtechniken eine wesentliche Rolle. Viele industrielle Anwender haben jedoch nur beschränkte Kenntnisse auf diesem Gebiet. Die Folgen sind unwirtschaftliche, unnötig aufwendige und umweltbelastende Produktionsverfahren. Dass die Industrie das Wissen hinsichtlich thermischer Technologien häufig nur unzureichend nutzen kann, liegt auch daran, dass es dezentral verteilt und nicht überall in gleicher Weise einfach zugänglich ist.

Um hier Abhilfe zu schaffen, haben mehr als 40 Projektpartner aus 12 europäischen Ländern unter Federführung des National Physical Laboratory (Großbritannien), des Laboratoire National d'Essais (Frankreich), des Istituto di Metrologia „G. Colonetti“ (Italien), des ARC Seibersdorf (Österreich) und der PTB das Virtuelle Institut für Thermische Metrologie (evitherm) aufgebaut. Dessen Kernstück ist das jetzt verfügbare Internet-Portal, in das das vorhandene Expertenwissen und Anforderungen, Erfahrungen und Kenntnisse von Anwendern eingeflossen sind.

Ziel des virtuellen Instituts ist es, Informationen und Fachwissen zu thermischen Technologien und thermischer Metrologie an einer Stelle zusammenzuführen, miteinander zu verknüpfen und nach Möglichkeit zu bewerten: Werkstoffdaten und Messverfahren, Normen, Dienstleistungs- und Schulungsangebote, Verzeichnisse von Lieferanten thermischer Ausrüstungen usw. sind Bestandteile von evitherm. Besonderer Wert wurde auf den schnellen und einfachen Zugriff auf Daten und Expertenwissen gelegt. Die Inhalte wurden praxisgerecht vor allem für Anwender in der Industrie aufbereitet. Bis auf die Datenbanken thermophysikalischer Eigenschaften kann die Website kostenlos genutzt werden.



Homepage www.evitherm.org des Virtuellen Instituts für Thermische Metrologie

Weitergehende Informationen von J. Fischer,
Tel. (030) 34 81-74 73,
E-Mail:
joachim.fischer@ptb.de

Fluoreszenz weltweit vergleichbar

In einer Kooperation zwischen PTB, BAM sowie zwei Industriepartnern wurden spektrale Fluoreszenzstandards entwickelt, charakterisiert und zertifiziert, mit denen sich gerätespezifische Einflüsse auf das Fluoreszenzsignal eliminieren lassen. So werden Fluoreszenzmessungen weltweit vergleichbar.

Die Fluoreszenz ist eine breit eingesetzte Analysemethode, deren Anwendungen vom Umweltschutz (z. B. Schadstoffbestimmung) über die klinisch-chemische Analytik (z. B. Protein- und DNA-Analytik) bis zum empfindlichen Nachweis für chromatographische Trennverfahren (z. B. Hochleistungs-Dünnschichtchromatographie) reichen. Fluoreszenz wird also mit einer Vielzahl von völlig unterschiedlichen Systemen gemessen. Um die Ergebnisse trotzdem miteinander vergleichen zu können, muss man gerätespezifische Einflüsse auf das Fluoreszenzsignal ermitteln und korrigieren. Genau dies wurde in

einer vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie geförderten Kooperation zwischen der PTB, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) sowie den Firmen Gigahertz-Optik GmbH und Sigma-Aldrich GmbH mit Hilfe einer radiometrischen Rückführungskette erreicht.

Die Rückführungskette besteht aus drei wesentlichen Elementen: erstens aus einem kompakten, homogen leuchtenden Ulbrichtkugelstrahler. Dessen spektrale Strahldichte wurde (bei nahezu Lambertscher Abstrahlcharakteristik) gegenüber einer Wolframbandlampe um mehrere Größenordnungen reduziert, so dass er in seinen Strahlungseigenschaften wesentlich besser an eine fluoreszierende Probe angepasst ist als herkömmliche Strahldichtennormale.

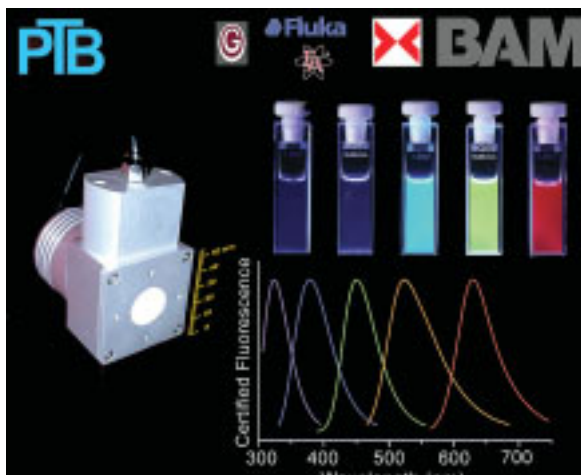
Das zweite Element ist ein Referenzfluorometer mit minimalen optischen Abbildungsfehlern, das – rückgeführt über das Strahldichtenormal – die Zer-

Weitergehende Informationen von D. Taubert,
Tel. (030) 34 81-74 80,
E-Mail:
dieter.taubert@ptb.de

(Fortsetzung auf Seite 4)

tifizierung von Fluoreszenzspektren mit ausreichend kleinen radiometrischen Messunsicherheiten ermöglicht.

Als dritter Teil der Rückführungskette dient der Kalibriersatz „Spektrale Fluoreszenzstandards BAM-F001 – BAM-F005“, dessen korrigierte Emissionsspektren im Januar 2006 von der BAM zertifiziert wurden. Diese chemischen Transferstandards ermöglichen es dem Anwender, die relativen spektralen Empfindlichkeit des Emissionskanals von Fluoreszenzmesssystemen unter applikationsrelevanten Bedingungen einfach, schnell und rückführbar zu ermitteln und zu korrigieren. Dies wurde durch die in der Fluorometrie aktiven Staatsinstitute (NIST, NRC, NPL, PTB und BAM) in einem internationalen Vergleich von korrigierten Fluoreszenzspektren bestätigt, bei dem der neue Kalibriersatz „Spektrale Fluoreszenzstandards“ für den Transfer eingesetzt wurde.



Miniatur-Ulbrichtkugelstrahler (links) und Fluoreszenzstandards mit den korrigierten Fluoreszenzspektren (rechts)

Detektor für Mikropartikel im Weltraum

PTBnews 06.1
Deutsche Ausgabe
April 2006
ISSN 1611-1621

Herausgegeben von der
Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt (PTB)
Braunschweig und Berlin

Chefredakteur Jens Simon
PTB, Bundesallee 100
38116 Braunschweig
Telefon: (05 31) 592-30 06
Fax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: ptbnews@ptb.de
Webseite: <http://www.ptb.de/>
Dort finden Sie die PTBnews
unter „Publikationen“ als pdf-
oder html-Datei.

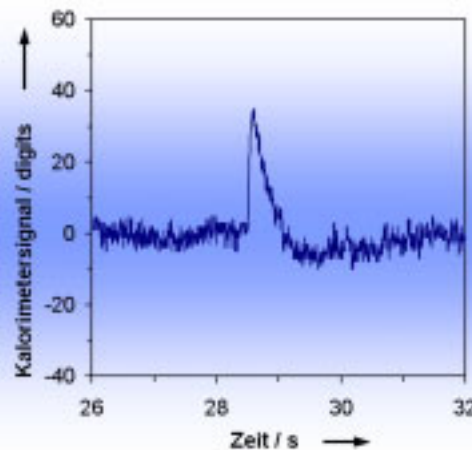
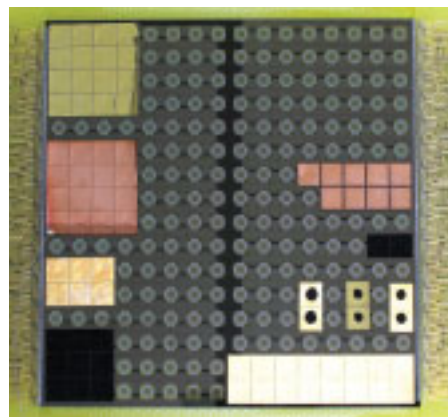
Für die Messung der kinetischen Energie schneller Mikropartikel im Weltraum wurde in der PTB ein Einschlag-Energiedetektor entwickelt. Ein empfindliches Kalorimeter-Array misst dabei die durch den Partikeleinschlag hervorgerufene Erwärmung des Absorbers.

Raumfahrtrückstände (Space Debris) gefährden zunehmend die uneingeschränkte Nutzbarkeit des erdnahen Weltraums. Mit weltweit über 4000 Raketenstarts wurde neben den Nutzlasten (Satelliten) insbesondere auch eine sehr große Anzahl von Kleinstpartikeln in den Weltraum gebracht, z. B. Schlackerückstände von Raketentriebmotoren oder bei Treibstoffexplosionen erzeugte Fragmente. Aufgrund der meist hohen Relativgeschwindigkeit im Falle einer Kollision – typischerweise 10 km/s – können selbst Teilchen im Mikrometerbereich Schädigungen hervorrufen. Um die Gefährdung abzuschätzen und zu minimieren, liefern Partikelmessungen im Weltraum die Datenbasis für Modellierungen.

Zur Entwicklung von Detektoren für mikrometergroße Teilchen wurde zwischen der PTB und der eta_max Space GmbH, Braunschweig, eine Forschungskooperation begonnen. Zusammen mit weiteren Partnern in Jena und Braunschweig wird ein zweistufiger Detektoraufbau (AIDA – Advanced Impact Detector Assembly) entwickelt, der gegenüber bestehenden Messverfahren eine deutlich kleinere Messunsicherheit und höhere Zuverlässigkeit bietet. Die erste Detektorstufe soll Laser-Lichtvorhänge für eine berührungslose Messung des Geschwindigkeitsvektors verwenden, und die zweite Stufe misst die kinetische Energie des auf eine Detektorfläche einschlagenden Partikels.

Die Entwicklung der zweiten Detektorstufe ist erfolgreich abgeschlossen. Der Prototyp eines kalorimetrischen Einschlag-Energiedetektors ver-

wendet ein (16 x 16)-Thermopile-Array, das mit geeignet strukturierten metallischen Absorbern (z. B. aus Goldfolie) bestückt ist. Der Detektor wurde erfolgreich am Staubbeschleuniger des MPI für Kernphysik in Heidelberg getestet. Der Energie-Messbereich eines derartigen Detektors lässt sich über die Absorberdicke missionspezifisch anpassen.



Zur experimentellen Untersuchung der Absorbereffizienz wurde das (16 x 16)-Thermopile-Array mit unterschiedlichen Absorbematerialien bestückt. Das Diagramm zeigt das Signal eines mit 4,9 km/s einschlagenden Eisenpartikels von $1,2 \cdot 10^{-14}$ kg Masse (kinetische Energie 140 nJ).

Weitergehende Informationen von M. Kobusch,
Tel. (05 31) 592-11 07,
E-Mail: michael.kobusch@ptb.de