

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Charakterisierung eines berechenbaren quanteneffizienten Detektors für die Anwendung in Photometrie und Radiometrie

Im Rahmen des im Metrologischen Forschungsprogramm EMRP geförderten Projekts NEWSTAR wurde experimentell die Berechenbarkeit eines berechenbaren quanteneffizienten Detektors bezüglich seines polarisations-, winkel- und bandbreitenabhängigen Verhaltens überprüft und bestätigt. Die Empfindlichkeit eines Photometers wurde schließlich gegen diesen Detektor kalibriert und das Ergebnis mit dem Wert verglichen, der sich aus der Kalibrierung entsprechend der aktuellen Rückführungskette ergibt, wobei sich eine Übereinstimmung im Rahmen der Messunsicherheit ergab. (K. Salfner, FB 4.1, katharina.salfner@ptb.de)

Kalibrierung für die Sonnenmessung

Um die spektrale Bestrahlungsstärke der Sonne im nahen Infrarot (NIR) hochgenau vermessen zu können, wurden Spektroradiometer des „Institut royal d'Aéronomie Spatiale de Belgique“ (BIRA-IASB) direkt auf das nationale Normal der PTB für spektrale Bestrahlungsstärke, den Schwarzen Strahler, rückgeführt. Anschließend konnten bei der PYRILIOS-Messkampagne am Mauna Loa Observatory (Hawaii, USA) erfolgreich sogenannte „Top Of Atmosphere“-Messungen mit den in der PTB kalibrierten Geräten durchgeführt werden. (P. Sperfeld, FB 4.1, Peter.Sperfeld@ptb.de).

Absolut rückgeführte Einzelphotonenlichtquelle auf Basis eines Stickstoff-Fehlstellen-Farbenzentrums in einem Nanodiamanten

Eine bezüglich Photonenflusses absolut rückgeführte Einzelphotonenlichtquelle wurde im Rahmen des europäischen EMRP-Forschungsprojektes „Single-photon sources for quantum technologies“ (SIQUTE) zum ersten Mal realisiert und metrologisch charakterisiert. Die Einzelphotonenquelle basiert auf einem NV-(Nitrogen Vacancy)-Farbenzentrum in einem Nanodiamanten, der auf einer quasi-dielektrischen Antennenstruktur angebracht ist. Der Photonenfluss ist abstimmbare von 55 fW bis 75 fW, was einer Photonenrate von 190 000 Photonen bis 260 000 Photonen pro Sekunde entspricht. (M. López, FB 4.1, marco.lopez@ptb.de)

Vergleichsmessung zur Detektionseffizienz eines Einzelphotonendetektors bei einer optischen Leistung von weniger als 100 fW

Im Rahmen des EMRP-Forschungsprojektes „Single-photon sources for quantum technologies“ (SIQUTE) wurde die Detektionseffizienz eines Si-Einzelphotonen-Avalanche-Detektors als Transfornormal mit zwei unabhängig voneinander rückgeführten Messverfahren gemessen: zum einen mit dem an der PTB entwickelten „Zwei-Abschwächer-Verfahren“, zum anderen mittels einer direkten Kalibrierung durch Vergleich mit einer am tschechischen nationalen Metrologieinstitut CMI entwickelten extrem rauscharmen Si-Photodiode. Es wurde eine Übereinstimmung der beiden Messverfahren innerhalb der Messunsicherheit festgestellt. (M. López, FB 4.1, marco.lopez@ptb.de)

EMRP-Projekt SIQUTE erfolgreich abgeschlossen

Das *Joint Research Project SIQUTE (Single-Photon Sources for Quantum Technologies)* im Rahmen des *Open Excellence Calls des European Metrology Research Programme (EMRP)* wurde erfolgreich abgeschlossen. Das Projekt hatte das Ziel, effiziente Einzelphotonenquellen für Anwendungen in der Metrologie zu entwickeln. Das herausragende Ergebnis der PTB war die metrologische Charakterisierung einer absoluten Einzelphotonenquelle. Details können auf den EURAMET-Webseiten (www.euramet.org) gefunden werden, (S. Kück, FB 4.1, stefan.kueck@ptb.de)

Solarzellenarray zur Charakterisierung von Sonnensimulatoren

Zur Charakterisierung von Sonnensimulatoren wurde ein Detektor entwickelt, der aus einer quadratischen Anordnung von 81 Einzelsolarzellen besteht. Der Detektor wurde unter Bestrahlung mit Sonnenlicht bezüglich seiner Empfindlichkeit für Bestrahlungsstärke und seiner spektralen und Homogenitätseigenschaften charakterisiert. Mit dem Detektor wurde bereits ein gepulster Sonnensimulator charakterisiert. Er steht jetzt auch für die Untersuchung anderer Typen von Sonnensimulatoren zur Verfügung. (F. Plag, FB 4.1, fabian.plag@ptb.de)

Neues europäisches Forschungsprojekt zur Formmessung von Asphären und Freiformflächen gestartet

Im EMPIR-Forschungsvorhaben „Reference algorithms and metrology on aspherical and freeform optical lenses“ werden zusammen mit dem Projektkoordinator „Laboratoire national de métrologie et d'essais“ (LNE) und 17 weiteren Partnern neue Referenzalgorithmen und Messverfahren zur Formmessung von Asphären und Freiformflächen entwickelt. Innerhalb der PTB wird das Forschungsprojekt gemeinsam von den Fachbereichen *Bild- und Wellenoptik* und *Mathematische Modellierung und Datenanalyse* bearbeitet. Schwerpunkte in der PTB sind die Entwicklung von metrologischen Referenzflächen, die die Vergleichbarkeit von Formmessungen verschiedener Messgeräte erleichtern werden, die Auswertung von Vergleichsmessungen zwischen den Projektpartnern sowie die Weiterentwicklung und Unsicherheitsanalyse des Tilted-Wave-Interferometers, das in der PTB für die Formmessung von Asphären und Freiformflächen eingesetzt wird. (M. Schulz, FB 4.2, michael.schulz@ptb.de; C. Elster, FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

Scher-Interferometrie mit LED-Multiquellenbeleuchtung zur Formmessung von optischen Oberflächen

Im Rahmen eines DFG-Projektes (gepris.dfg.de/gepris/projekt/258565427) wird in Kooperation mit dem Bremer „Institut für angewandte Strahltechnik“ ein Scher-Interferometer zur Formmessung von optischen Oberflächen entwickelt. Im Mittelpunkt der Entwicklung steht eine teilkohärente LED-Multiquellenbeleuchtung, die eine optimale Anpassung der Beleuchtung an die Prüflingsgeometrie ermöglicht. In Kombination mit einem Raytracing-Modell des Interferometers können auch asphärische Oberflächen gemessen und die Messunsicherheit untersucht werden. (J.-H. Hagemann, FB 4.2, janhendrik.hagemann@ptb.de)

Polarisationseffekte bei reflektometrischen Messungen von Effektpigmenten

Zur präzisen Messung des Strahldichtefaktors ist die reflektierte Strahlung so vollständig wie möglich zu charakterisieren, inklusive ihres Polarisationszustands. Dazu wurde das Gonioreflektometer der Arbeitsgruppe *Reflexion und Transmission* mit einer Polarisations-Analysator-Einheit ausgestattet. Die Notwendigkeit der polarisationssensitiven Untersuchung wurde anhand von Messungen an goniochromatischen Effektpigmenten gezeigt, bei denen sich besonders große Polarisationsseffekte beobach-

ten lassen, die stark von der Messgeometrie und der Wellenlänge abhängen. (T. Quast, FB 4.2, tatjana.quast@ptb.de)

Zweifarb-Spektroskopie von ultrakalten Calcium-Molekülen

Durch Photoassoziationsspektroskopie an schmalen Linien in einem ultrakalten Calcium-Gas konnten die Bindungsenergien der schwächstgebundenen Vibrationszustände des Ca_2 -Moleküls bestimmt werden. In einer Kooperation mit Prof. Tiemann, Leibniz Universität Hannover, wurden aus diesen Daten die langreichweitigen Wechselwirkungen und die Streulänge zwischen Calcium-Atomen im Grundzustand sehr genau bestimmt. (U. Sterr, FB 4.3, uwe.sterr@ptb.de)

Laser mit Instabilität und Linienbreite bestimmt durch fundamentales thermisches Rauschen eines Silizium-Resonators bei 124 K

Die Qualität der besten Laser ist durch das Brown'sche thermische Rauschen ihrer Referenzresonatoren begrenzt. In einem Aufbau mit einem besonders rauscharmen einkristallinen Silizium-Resonator bei einer Temperatur von 124 K ist es gelungen, alle sonstigen störenden technischen Einflüsse soweit zu verringern, dass jetzt eine Rekord-Instabilität von $4 \cdot 10^{-17}$ erreicht werden kann, die nur noch durch das fundamentale thermische Rauschen begrenzt ist. (Th. Legero, FB 4.3, thomas.legero@ptb.de)

Transportable optische Atomuhr auf Reisen

Anfang 2016 wurden zwei mehrwöchige Messkampagnen im Untergrundlabor LSM (Laboratoire Souterrain de Modane) und am italienischen Metrologieinstitut INRIM, Turin, durchgeführt. Die transportable optische Strontiumuhr der PTB wurde über eine 100-km-Glasfaserverbindung bzw. lokal mit der primären Cäsiumuhr des INRIM verglichen. Die sich aus der Höhendifferenz von 1000 Metern ergebende Gravitationsrotverschiebung zwischen beiden Orten konnte durch den Frequenzvergleich gemessen werden. (S. Vogt, FB 4.3, stefan.vogt@ptb.de)

Erfolgreiche Erweiterung des Glasfaserlinks PTB-Hannover: Verteilung von ultrastabilen Frequenzen an mehrere Orte gleichzeitig

Im Rahmen des SFB1128 geo-Q wird derzeit die Kombination von Faser-Brillouin-Verstärkung mit einem von der PTB patentierten Verfahren erprobt, welches über einen einzelnen stabilisierten Faserlink mehreren Abnehmern eine hochstabile Frequenz rückführbar zur Verfügung stellt. Entlang des

Faserlinks wird an mehreren Orten in Hannover – u. a. im IQO der Leibniz Universität – ultrastabiles Laserlicht extrahiert und so modifiziert, dass jeweils eine phasenstabilisierte optische Frequenz mit einer Übertragungs-Instabilität kleiner als $1 \cdot 10^{-19}$ bereitsteht. (Th. Waterholter, FB 4.3, thomas.waterholter@ptb.de)

Transportabler resonatorstabilisierter Laser zur Untersuchung der Frequenzübertragung über Glasfasern

Ein neues transportables Lasersystem wurde entwickelt, das sich aufgrund seiner Kompaktheit, Wartungsfreundlichkeit und Instabilität von 10^{-15} (1s) ideal als empfängerseitige optische Referenzfrequenz für die Charakterisierung von Frequenzübertragungen über Glasfasern eignet. Der erste Einsatz des Lasersystems fand in der Leibniz Universität Hannover statt und konnte maßgeblich zur Optimierung und Validierung des Faserlinks zwischen der PTB und Hannover beitragen. (J. Froh, FB 4.3, jan.froh@ptb.de)

Validierung von Glasfaserlinkdaten für akkurate Vergleiche entfernter optischer Uhren

Bei Vergleichen entfernter optischer Uhren über stabilisierte Glasfaserlinks soll der Unsicherheitsbeitrag der Frequenzübertragung unterhalb der Unsicherheit der zu vergleichenden Uhren liegen – trotz langer Kampagnendauern und Messunterbrechungen. Mithilfe eines zweistufigen Verfahrens zur Auswahl von validen Messpunkten, bestehend aus einem Test auf Integrität des Glasfaserlinks und einem Kriterium zur Beschränkung des Unsicherheitsbeitrages, wurde diese Anforderung nun erfüllt. Das Vorgehen zeigte mit den Daten des im Juni 2015 durchgeführten ersten internationalen Vergleichs von Sr-Gitteruhren eine Ungenauigkeit von nur zwei Teilen in 10^{19} . Somit können nun zuverlässig Frequenzvergleiche mit dieser kleinen Unsicherheit selbst für ausgedehnte Messkampagnen durchgeführt werden. (S. Koke, FB 4.3, sebastian.koke@ptb.de)

Erfolgreicher deutsch-französischer Fontänenuhrenvergleich über Glasfaser

Vier zu den weltweit besten Primäruhren gehörende Cäsium-Fontänenuhren (je zwei an der PTB und am LNE-SYRTE in Paris) sind erstmals über eine 1400 km lange optische Glasfaserstrecke miteinander verglichen worden. Der Vergleich zeigt, dass die Frequenzen der Fontänenuhren im Rahmen ihrer Unsicherheiten auf wenige 10^{-16} übereinstimmen. (G. Grosche, FB 4.3, gesine.grosche@ptb.de, S. Weyers, FB 4.4, stefan.weyers@ptb.de)

Faser-Kollimatoren in wechselndem Immersionsmedium: Vergleich von Simulation und Experiment

Für die Bestimmung des Gitterparameters von Si-28 im Avogadro-Projekt wird u. a. ein optisches Interferometer im Vakuum betrieben. Die hierfür benötigten Signal- und Referenzstrahlen werden jeweils von einem linsenbasierten Faser-Kollimator geformt, welcher das aus einer Glasfaser kommende Laserlicht bündelt. Die Eigenschaften der kollimierten Strahlen, Wellenfront und Bestrahlungsstärkeverteilung, werden mittels eines kalibrierten Wellenfront-Sensors und eines kalibrierten Strahlprofil-Sensors an Luft bestimmt. Um die Strahleigenschaften im Vakuum zu ermitteln, wurden bereits 2015 Simulationsrechnungen mit einem strahlenbasierten Beugungsintegral durchgeführt (vgl. Jahresbericht 2015). Der experimentelle Nachweis des „Evakuierungseffekts“ auf die Wellenfront stand noch aus. Dies konnte nun mithilfe eines Vakuumfensters nachgeholt werden. Desweiteren ist es gelungen, die Kollimatoren an Luft so einzustellen, dass die entsprechend gekrümmte Wellenfront im Vakuum flach wird. Simulation und Experiment stimmen gut überein. (B. Andreas, FB 4.3, birk.andreas@ptb.de)

Europäisches Metrologie-Forschungsprogramm EMPIR fördert zwei neue Projekte im Bereich der optischen Uhren und Glasfaserverbindungen

Im zweiten Call des europäischen Metrologieforschungsprogramms EMPIR (European Metrology Programme for Innovation and Research) beteiligen sich die Fachbereiche *Quantenoptik und Längeneinheit* und *Zeit und Frequenz* an zwei Projekten. Ziel des von der PTB koordinierten Projektes *OFTEN*, (Optical frequency transfer – a European Network) ist es, die für den Vergleich entfernter Uhren notwendigen glasfaserbasierten Technologien weiter voranzutreiben, um sie für dauerbetriebsfeste und validierte Frequenzvergleiche zwischen den beteiligten Staatsinstituten einzusetzen. Im Rahmen des Projektes *OC18* (Optical clocks with 10^{-18} uncertainty) werden optische Uhren so weiterentwickelt, dass ihre relative Frequenzunsicherheit nur noch $1 \cdot 10^{-18}$ beträgt. Damit werden Voraussetzungen geschaffen für eine zukünftige Neudefinition der Sekunde und für weitere Anwendungen dieser neuen Uhren in der Forschung. (H. Schnatz, FB 4.3, Harald.Schnatz@ptb.de, E. Peik, FB 4.4, ekkehard.peik@ptb.de)

Hochgenaue Bestimmung des Gravitationspotentials bei Atomuhren

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Erdmessung der Leibniz Universität Hannover wurde das Gravitationspotential an den Atomuhren-Standorten der PTB und drei weiterer europäischer Metrologieinstitute (London, Paris, Turin) aus einer Kombination von GPS-Koordinaten, dem Nivellement zu Höhenreferenzpunkten und aktualisierten Geoid-Modellen neu bestimmt. Die aus dem Potential zu berechnende Gravitationsrotverschiebung, deren Kenntnis bei Uhrenvergleichen benötigt wird, kann nun mit einer deutlich reduzierten Unsicherheit von $2,4 \cdot 10^{-18}$ angegeben werden. (S. Weyers, FB 4.4, stefan.weyers@ptb.de)

Pulsdefekt-immune Anregungsmethode für Atomuhren

Viele Atomuhren verwenden die sogenannte Ramsey-Methode der Anregung mit zwei zeitlich getrennten Pulsen. Dabei können Pulsdefekte, wie sich wiederholende Änderungen der Intensität oder Phase, zu Frequenzfehlern der Uhr führen. Durch die Kombination von Signalen, die mit unterschiedlich weit getrennten Pulsparern erhalten werden, können diese Fehler sehr effizient unterdrückt werden. (C. Sanner, FB 4.4, christian.sanner@ptb.de)

Neue Methode zur Vermeidung von unkontrollierten Wechselwirkungen in Fontänenuhren

In Fontänenuhren können Wechselwirkungen der Atome mit resonanten Mikrowellenfeldern außerhalb der eigentlichen Bestrahlungszone zu Frequenzfehlern führen. Die PTB hat eine Methode entwickelt, diesen Fehler zu reduzieren. Mittels einer digitalen Frequenzsynthese wird die Mikrowellenfrequenz synchron zum Fontänenzyklus verstimmt. Mögliche Wechselwirkungen werden dadurch so stark abgeschwächt, dass Frequenzfehler auf weniger als $4 \cdot 10^{-17}$ limitiert werden. Dabei wird sichergestellt, dass die Phase des Mikrowellenfeldes vor und nach der Verstimmung auf Mikroradian übereinstimmt. (M. Kazda, FB 4.4, michael.kazda@ptb.de)

Laserspektroskopie mit Rückstoßkernen

Im Rahmen des EU-Projekts nuClock wird in einer interdisziplinären Kooperation die Möglichkeit einer auf dem Isotop Th-229 basierenden optischen Kernuhr untersucht. Um dafür benötigte Information über die Kernstruktur im Grund- und angeregten Zustand zu erhalten, wurde mit Lasersystemen der PTB am Maier-Leibnitz-Laboratorium der LMU München erstmals Laserspektroskopie an Ionen von Th-229 Rückstoßkernen durchgeführt.

Diese Kerne befinden sich, kurz nach ihrer Entstehung aus dem Zerfall von U-233, teilweise noch im angeregten Zustand, der bisher im Labor noch nicht gezielt erzeugt werden konnte. (E. Peik, FB 4.4, ekkehard.peik@ptb.de)

Effizienter Quanten-Algorithmus zum Auslesen einer Uhr entwickelt

Gemeinsam mit der Arbeitsgruppe von Prof. K. Hammerer an der Leibniz Universität Hannover haben Forscher des *QUEST-Instituts* an der PTB einen Algorithmus zum Auslesen einer auf mehreren Aluminium-Ionen basierenden optischen Uhr entwickelt. Dieser erlaubt es, die Anzahl der erforderlichen Auslese-Ionen dramatisch zu reduzieren, indem der Zustand der Uhren-Ionen binär kodiert und ausgelesen wird. Die theoretischen Untersuchungen spielen eine Rolle für zukünftige Ionenuhren mit verbesserter Auflösung. (Piet O. Schmidt, QUEST, piet.schmidt@quantummetrology.de)

Diskrepanz Isotopie-Verschiebung in Ca^+

Forscher des *QUEST-Instituts* konnten die Isotopieverschiebung von zwei Übergängen in einfach geladenem Calcium mit einer Auflösung von 100 kHz über Photonen-Rückstoß-Spektroskopie messen. Zusammen mit Forschern des Instituts *Fundamentale Physik für Metrologie* (FPM) der PTB und weiteren Kollaborationspartnern wurde eine signifikante Abweichung von theoretischen Vorhersagen basierend auf Atomstrukturrechnungen gefunden. Weitere Messungen und eine genaue Analyse der theoretischen Modelle sind erforderlich, um diese Diskrepanz zu klären. (A. Surzhykov, FPM, andrey.surzhykov@ptb.de, Piet O. Schmidt, QUEST, piet.schmidt@quantummetrology.de)

Herstellung einer Mehrlagen-Mikroionenfalle für die Quanteninformationsverarbeitung

Am *QUEST Institut* wurde in der Arbeitsgruppe von Prof. C. Ospelkaus ein skalierbarer Herstellungsprozess für mehrlagige Ionenfallen entwickelt. Die Ionen sollen dabei durch elektrische Felder, ausgehend von Elektroden in der metallischen Oberfläche, gespeichert werden. In den unteren Lagen werden die hierfür notwendigen Signale zugeführt. Die Struktur besteht aus galvanisch aufgetragenen Goldleitern mit einem organischen Dielektrikum. (A. Bautista-Salvador, QUEST, amado.bautista@ptb.de)

Neue Ionenfalle zur hochpräzisen Spektroskopie an Coulomb-Kristallen fertiggestellt und experimentell charakterisiert

Am QUEST-Institut wurde eine in Zusammenarbeit mit dem Fachbereich *Wissenschaftlicher Gerätebau* entwickelte skalierbare Ionenfalle für Multi-Ionen-Uhren in Betrieb genommen und charakterisiert. Die Falle besteht aus Aluminiumnitrid-Plättchen, deren Elektrodenstrukturen mit einem gepulsten Laser mikrometergenau geschnitten wurden. An gefangenen Yb^+ -Ionen durchgeführte Messungen zeigen, dass sie für den Betrieb einer Multi-Ionen-Uhr mit einer relativen Frequenzunsicherheit unterhalb von 10^{-19} geeignet ist. (J. Keller und T.E. Mehlstäubler, QUEST, jonas.keller@ptb.de, tanja.mehlstaebler@ptb.de)

Neuer Sonderforschungsbereich „Designte Quantenzustände der Materie (DQ-mat)“ hat seine Arbeit aufgenommen

Im von der DFG mit knapp 10 Mio. Euro geförderten Sonderforschungsbereich *DQ-mat* arbeiten Forscher der Leibniz Universität Hannover, der PTB in Braunschweig und des Zentrums für angewandte Raumfahrt und Mikrogravitation in Bremen zusammen, um besondere quantenmechanische Eigenschaften von Vielteilchensystemen für die Metrologie auszunutzen. So soll die Auflösung und Genauigkeit von Atominterferometern und Uhren verbessert und für grundlegende Tests der Physik eingesetzt werden. (P. O. Schmidt, QUEST, piet.schmidt@quantummetrology.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Direkte spektrale Empfindlichkeitskalibrierung einer Mehrfachsichtsolare Zelle durchgeführt

In der Arbeitsgruppe *Solarzellen* wurde erstmals mittels laserbasierter differentieller spektraler Empfindlichkeitsmessung der Kurzschlussstrom von Mehrfachsichtsolare Zellen für Messbedingungen, die der Strahlung im Weltall entspricht, bestimmt. Der interne Aufbau dieser Zellen, welche aufgrund ihrer hohen Wirkungsgrade zur Stromversorgung im Weltall verwendet werden, verhindert üblicherweise den Einsatz dieser Methodik. Durch die zusätzliche Verwendung von High-Power-LEDs und einer Präzisionsspannungsquelle konnte gezeigt werden, dass die an der PTB etablierte Methode auch zur absoluten Kalibrierung dieser Objekte eingesetzt werden kann. (F. Witt, FB4.1, florian.witt@ptb.de)

Untersuchungen zur Bestimmung der absoluten Form aus Tilted-Wave-Interferometer-Messungen

Die Tilted-Wave-Interferometrie ist eine vielversprechende Methode zur hochgenauen Formmessung von Asphären und Freiformen. Bei der Auswertung der Interferenzstreifen erhält man in der Regel nur relative optische Pfadlängendifferenzen (OPD). Zur absoluten Formmessung muss jedoch mindestens eine OPD absolut bekannt sein. In einer Simulationsstudie wurden die Anforderungen an die notwendige Genauigkeit und Art dieser absoluten OPD-Messung ermittelt. (I. Fortmeier FB 4.2, ines.fortmeier@ptb.de, C. Elster FB 8.4, clemens.elster@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Messung eines spektral höchstauflösten extraterrestrischen UV-Spektrums

Im Rahmen des EMRP-Projektes „ATMOZ“ wurden während einer Messkampagne am Izaña-Observatorium auf Teneriffa höchstauflösende Messungen der direkten solaren spektralen Bestrahlungsstärke mit einem Fourier-Transform-Spektrometerradiometer durchgeführt. Über die sogenannte Langley-Extrapolationsmethode konnte das relative extraterrestrische Spektrum im Spektralbereich von 305 nm bis 380 nm mit einer Auflösung von $< 0,02$ nm bestimmt werden. Dieses Referenzspektrum wird für präzise Messungen zur Bestimmung der Ozonsäule benötigt. (I. Kröger, FB 4.1, ingo.kroeger@ptb.de)

Bestimmung der Ozonschichtdicke

Im Rahmen einer gemeinsamen Kooperation mit der Firma Gigahertz-Optik GmbH wurde ein kompaktes Array-Spektrometerradiometer umfangreich charakterisiert und modifiziert. Durch Messung der direkten solaren Bestrahlungsstärke im UV-Spektralbereich konnte mithilfe von Strahlungsmodellen die Dicke der Ozonsäule in der Atmosphäre ermittelt werden. Die Ergebnisse, die während einer Messkampagne am Izaña-Observatorium für Atmosphärenforschung auf Teneriffa im Zuge des EMRP-Projektes „ATMOZ“ erzielt werden konnten, stehen in sehr guter Übereinstimmung mit den üblichen klassischen Messmethoden. Mit dem Array-Spektrometerradiometer steht nun ein wesentlich vereinfachtes Messgerät für genaue Ozonmessungen zur Verfügung. (P. Sperfeld, FB 4.1, peter.sperfeld@ptb.de).

Rückführbare Messungen von Referenznanopartikeln für die medizinische Diagnostik

In der medizinischen Diagnostik könnte zukünftig die Analyse von submikrometergroßen Mikrovesikeln eine wichtige Rolle spielen. Im Rahmen eines

europäischen Forschungsprojekts (EMRP HLT02) sind Referenznanopartikel entwickelt und untersucht worden, mit denen klinische Laboratorien die Messgeräte prüfen und validieren können, die zur Untersuchung dieser Mikrovessikel eingesetzt werden. (E. Buhr, FB 4.2, egbert.buhr@ptb.de, M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

DCF77 besser unter Kontrolle

Seit Sommer 2016 wird die Cäsiumatomuhr, von der in der Sendefunkstelle Mainflingen das mit DCF77 gesendete Signal abgeleitet wird, durch einen hochgenauen Zeitvergleich mit der in der PTB Braunschweig realisierten Zeitskala verglichen. Hierzu wurde ein zuvor in der PTB kalibrierter Empfänger für GPS- und Galileo-Signale in Mainflingen aufgebaut und die automatische Datenübertragung hierher eingerichtet. Die Messunsicherheit ist < 5 ns und erlaubt die bessere Kontrolle des Ganges der Uhr, als es über die bisherige Überwachung des in der PTB empfangenen DCF77-Signals möglich ist. (A. Bauch, FB 4.4, andreas.bauch@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Abschluss eines internationalen Ebenheits-Messvergleichs an einer optischen Planfläche

Im Rahmen von EURAMET wurde von 14 europäischen Metrologieinstituten ein wissenschaftlicher Vergleich von Ebenheitsmessgeräten durchgeführt. Als Prüfling diente eine optische Planfläche, deren Oberflächenform auf einer Kreisfläche mit einem Durchmesser von maximal 150 mm gemessen wurde. Aus den Messergebnissen wurde die mittlere Oberflächenform bestimmt, wobei die unterschiedlichen lateralen Auflösungen der Instrumente und die unterschiedlichen Orientierungen des Prüflings während der Messung berücksichtigt wurden. Es zeigte sich, dass alle Messungen innerhalb der von den Teilnehmern angegebenen Unsicherheitsintervalle mit der mittleren Form übereinstimmen. Dieser Vergleich soll als Basis für einen künftigen Schlüsselvergleich des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht dienen. (M. Schulz FB 4.2, michael.schulz@ptb.de, S. Quabis FB 5.2, susanne.quabis@ptb.de)

Genauere Zeit für Europa

Im Sommer 2016 organisierte die PTB eine Kampagne zur Kalibrierung der Signallaufzeiten in den für internationale Zeitvergleiche verwendeten Empfängern von GPS-Signalen der Institute DLR (IKN, Oberpfaffenhofen), METAS (Schweiz), VSL (Niederlande) und BEV (Österreich). Für insgesamt 11 Empfänger konnte eine Ka-

librierunsicherheit von ca. 2,5 ns erreicht werden. (A. Bauch, FB 4.4, andreas.bauch@ptb.de)

Zeitvergleiche über den Atlantik mit Sub-Nanosekunden Unsicherheit

Die Zeitvergleichsverbindungen zwischen dem United States Naval Observatory (USNO) in Washington D.C. und der PTB wurden in diesem Sommer mithilfe eines transportablen Bodenterminals für Zweiweg-Satelliten-Zeitvergleiche (TWSTFT) des USNO zum wiederholten Mal kalibriert. Die Unsicherheit für Zeitvergleiche zwischen USNO und PTB von weniger als 1 ns wurde dabei bestätigt. (D. Piester, FB 4.4, dirk.piester@ptb.de)