

Die PTB-News liefern dreimal im Jahr aktuelle Nachrichten aus dem vielfältigen Spektrum der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt – aus der Grundlagenforschung, dem gesetzlichen Messwesen und den diversen PTB-Aktivitäten für die Wirtschaft.

FORSCHUNGSNACHRICHTEN

Fußkamera zur Rheuma-Früherkennung

Prototyp einer Kamera, die Durchblutungsveränderungen in Zehen und Füßen bildlich darstellt **2**

PTB-Zeit für die Deutsche Telekom

Verbreitung der PTB-Zeitskala mit kalibrierten Methoden **3**

Mehr Licht durch Kohärenz

Auf dem Weg zu einer Synchrotronstrahlungsquelle höherer Intensität **3**

Rückführung für die On-Wafer-Mikrowellenmesstechnik

Kommerzielle Kalibriertsubstrate als Transfornormale geeignet **4**

Strahlenschutz bei medizinischem Personal

Neuartiges Spektro-Dosimeter für die Charakterisierung von Arbeitsplätzen in der Röntgen-Medizin **5**

Zuverlässige Messung von Magnetfeldern auf der Nanometerskala

Grundlagen für zuverlässige Messung magnetischer Streufelder mit Ortsauflösungen bis hinunter zu 10 nm **6**

TECHNOLOGIETRANSFER

Messeinrichtung für ultrapräzise Kugeln, Planck-Waagen mit variablem Wägebereich, Kompakter Double-Pass-AOM **7**

VERSCHIEDENES

Auszeichnungen, Forschung zur Kommunikation von morgen, Corona: Abgestufter Maßnahmenplan der PTB **8**

Der Meter aus dem Kristall

Alternativer Zugang zu Längenmessungen im Nanometerbereich

Besonders interessant für

- Metrologieinstitute
- Hersteller und Anwender von Rastersondenmikroskopen

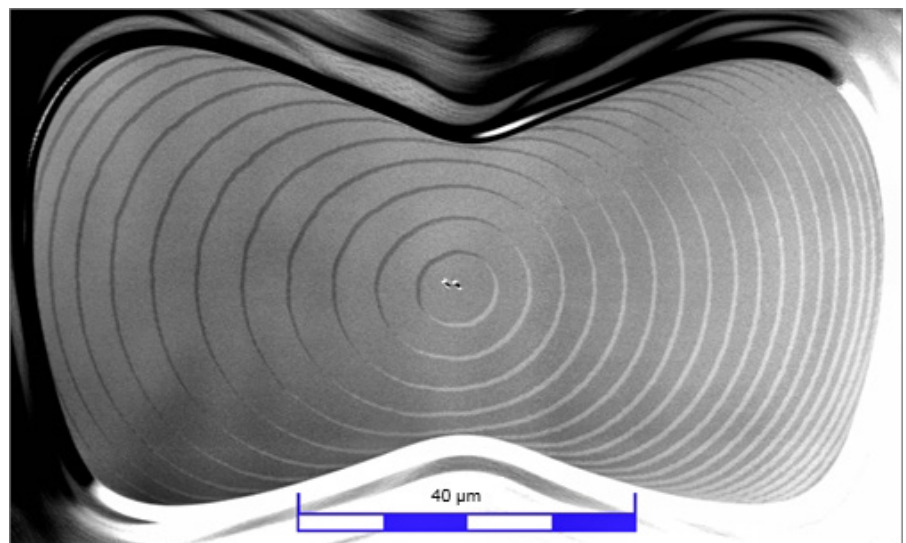
Im Zuge der Revision des Internationalen Einheitensystems (SI), die am 20. Mai 2019 in Kraft trat, hat die internationale Meterkonvention auf Vorschlag des beratenden Komitee für die Länge (CCL) zugelassen, den Gitterparameter des Siliziumkristalls – also den Abstand zwischen den atomaren Schichten – als Basis für die sekundäre Darstellung des Meters im Nanometerbereich zu nutzen. In der hochauflösenden Mikroskopie sind damit Unsicherheiten im Bereich von Pikometern für Messungen von Stufenhöhen bis 10 nm erreichbar. Die PTB hat dafür kristalline Siliziumproben in reproduzierbar hoher Qualität hergestellt.

Das genaue Messen von Längen im Nanometerbereich ist eine besondere Herausforderung. Da für die Realisierung des Meters bisher im Wesentlichen

Laser im sichtbaren Spektralbereich genutzt werden, ist bei dieser Art der Rückführung der Weg bis zum Nanometerbereich lang und beschwerlich. Als Folge sind sowohl die Unsicherheiten als auch die Kosten für den Anwender in der Praxis oftmals recht hoch.

Das beratende Komitee für die Länge (CCL) der Internationalen Meterkonvention hat im Zuge der Revision des SI in einer Mise en pratique den Gitterparameter des Siliziums als eine sekundäre Realisierung des Meters für dimensionelle Messungen in der Nanometrologie zugelassen. Daraus ergibt sich die Möglichkeit, substanzielle Fortschritte in der dimensionellen Kalibrierung von Rastersondenmikroskopen zu erreichen, denn der Gitterparameter im Si-Volumenkristall ist mit relativen Unsicherheiten kleiner als 10^{-8} verfügbar.

Im Rahmen des europäischen Metrologie-Forschungsprojekts „Crystal“ wurden in der PTB kristalline Siliziumproben in reproduzierbar hoher Qualität hergestellt, bei denen die Höhe einer Monolage Silizium 0,314 nm beträgt. Vergleichsmessungen in unterschiedlichen Metrologieinstituten belegen, dass



Probe mit atomaren Stufenhöhen, aufgenommen mit einem konfokalen Laserscanning-Mikroskop. Jede der Terrassen ist eine atomar glatte Netzebene des Silizium (111)-Kristalls, mit einer konstanten Stufenhöhe von $h \approx 0,314$ nm. Die Längsachse der Probe ist ca. 100 μ m lang.

mit diesen kristallinen Normalen für Messungen kleiner Stufenhöhen auf der Nanometerskala eine erweiterte Unsicherheit von 10 pm erreicht werden kann. Das ist eine Verbesserung gegenüber bisherigen Methoden von mehr als einer Größenordnung.

Hergestellt werden diese Normale durch einen Selbstorganisationsprozess im Ultrahochvakuum auf Siliziumwafern mit (111)-Orientierung. Durch eine spezielle Prozessierung wird erreicht,

dass das Kristallgitter des Wafers an der Probenoberfläche ungestört rekonstruiert wird. Damit ist sichergestellt, dass die Atome an der Oberfläche genauso regelmäßig angeordnet sind wie in der Tiefe

des Kristalls.

In einer neuen Präparationskammer soll dieses Verfahren auf noch komplexere Anwendungsfälle ausgeweitet werden. ■

Ansprechpartner

Ingo Busch
Fachbereich 5.1
Oberflächenmesstechnik
Telefon: (0531) 592-6136
ingo.busch@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

Bureau International des Poids et Mesures (Hrsg.): *Mise en pratique for the definition of the metre in the SI. SI Brochures, 9th edition (2019), Appendix 2*

Fußkamera zur Rheuma-Früherkennung

Prototyp einer Kamera, die Durchblutungsveränderungen in Zehen und Füßen bildlich darstellt, ist fertig für die klinische Erprobung

Besonders interessant für

- Ärzte
- Kliniken

Eine Fußkamera macht die Blutzirkulation innerhalb des Vorderfußes sichtbar und hilft Ärzten dabei, rheumatische Erkrankungen schneller zu diagnostizieren.

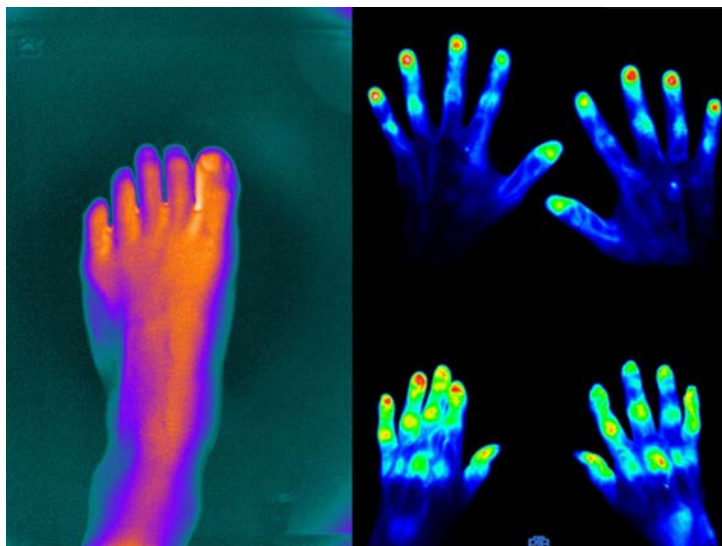
Rheuma gilt als Volkskrankheit, die jeden treffen kann. Genau genommen ist Rheuma ein Sammelbegriff für zahlreiche unterschiedliche Krankheiten der Bewegungsorgane. Zu den verbreitetsten gehören die rheumatoide Arthritis und Arthrosen. Mehr als eine Million Deutsche sind davon betroffen. Bereits vor einigen Jahren war unter Beteiligung der PTB ein Fluoreszenz-Bildgebungssystem entwickelt worden, mit dem die Mikrozirkulation in den Händen beurteilt werden kann und zu dem bereits zahlreiche klinische Studien vorliegen.

Jetzt hat die PTB zusammen mit der Xiralite GmbH in einem vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie geförderten Projekt ein Fluoreszenzbildgebungssystem entwickelt, mit dem unter Verwendung des Kontrastmittels Indocyaningrün der Blutfluss in den oberflächlich verlaufenden Gefäßen der Zehengelenke sichtbar gemacht wird. Während bei der Handbildgebung die Untersuchung auf die Handoberseite beschränkt ist, werden bei der Fußkamera mithilfe mehrerer Fluoreszenzkameras und einer aufwendigeren räumlichen Anordnung

der LEDs für die Fluoreszenzanregung die Gefäße an den Fußober- und -unterseiten erfasst. Die Untersuchung dauert nur wenige Minuten. Sie ist schmerz- und nebenwirkungsfrei. Ein weiterer Vorteil ist, dass die Fußkamera zusammen mit dem Handbildgebungssystem eingesetzt werden kann. Dadurch lassen sich mit einer einmaligen Kontrastmittelgabe sowohl die Hand- als auch die Zehengelenke untersuchen. Mit dem kombinierten Verfahren sollen Rheumaherde früher als mit einem Röntgengerät und preiswerter als mit einem Kernspintomografen entdeckt werden. Der Prototyp hat seine Funktionstüchtigkeit bereits in umfangreichen Tests an einem Fußmodell bewiesen und wird nun für eine erste klinische Erprobung vorbereitet.

Neben der Rheuma-Diagnose kann die neue Fußkamera auch als Diagnosewerkzeug für Diabetes mellitus und das so-

genannte diabetische Fußsyndrom genutzt werden kann. Durch die frühzeitige Erkennung von Durchblutungsstörungen kann der Gesundheitszustand der Patienten verbessert und möglicherweise die Anzahl von Amputationen reduziert werden. ■



Links: Fußmodell, mit dem neuen Scanner aufgenommenen, um die Funktionstüchtigkeit zu prüfen. Sobald das Gerät die Zulassung für die klinische Erprobung erhält, sind Bilder zu erwarten, wie sie das Handbildgebungssystem bereits erzeugt (rechts): Ausschnitte aus zwei Filmaufnahmen, die die unterschiedliche Verteilung des Kontrastmittels in den Händen eines gesunden Probanden (oben) und eines Rheumapatienten (unten) ca. 45 Sekunden nach Beginn der Untersuchung zeigen.

Ansprechpartner

Dirk Grosenick
Fachbereich 8.3
Biomedizinische Optik
Telefon: (030) 3481-7302
dirk.grosenick@ptb.de

PTB-Zeit für die Deutsche Telekom

Verbreitung der PTB-Zeitskala mit kalibrierten Methoden

Besonders interessant für

- mobile Telekommunikation
- Hersteller von 5G-Kommunikationstechnik

Jedes mobile Telekommunikationsnetz erfordert eine Synchronisation zwischen seinen verschiedenen Komponenten. Die Deutsche Telekom Technik AG hat entschieden, für die zukünftige Überwachung ausgewählter Punkte in ihrem Netz eine Methode zu testen, die von der AGH University of Science and Technology in Krakau entwickelt wurde. Sie basiert auf optischer Zeitübertragung (OTT), die in Zusammenarbeit mit der PTB unter anderem auf Glasfaserstrecken der Deutschen Telekom AG (DTAG) getestet wurde. Die Ergebnisse übertreffen die Anforderungen der Internationalen Telekommunikationsunion ITU-T für 5G-Netze deutlich.

Bei der 5. Generation mobiler Netzwerke (5G) werden extrem synchrone Zeitstempel an allen Positionen des Netzwerks benötigt, die nicht etwa durch Laufzeiten unterschiedlich verzögert

werden. Außerdem erfordert der Betrieb komplexer Netzarchitekturen ein geeignetes System, das die Synchronisation kontinuierlich überwacht und mögliche Probleme frühzeitig erkennt.

OTT erlaubt die Übertragung von Zeitskalen wie UTC(PTB) über Glasfasern an beliebige Orte und damit die Synchronisation von Netzwerken. Sie beruht auf einer bidirektionalen Übertragung intensitätsmodulierter Laserstrahlung auf einer einzelnen Faser und auf der Kompensation auftretender Laufzeitänderungen. Mit ihr konnten UTC(PTB)-referenzierte Zeitsignale über eine kaskadierte, 300 km lange Glasfaserstrecke zu entfernten Einrichtungen der DTAG mit einer Unsicherheit in der Größenordnung von 50 ps übertragen werden. Die Zeitinstabilität von unter 30 ps bei Mittelungszeiten zwischen 10 s und 10⁶ s entspricht der der eingespeisten Zeitskala. Alle Komponenten der Verbindung sind über ein virtuelles privates Netzwerk (VPN) mit einem Terminal verbunden, das die Verwaltung, Überwachung und Erstkalibrierung des Systems durch die DTAG ermöglicht.

Inzwischen überträgt die DTAG die

PTB-Zeitsignale über einen Knotenpunkt in Hannover an ihre Einrichtungen in Frankfurt am Main und Bremen. Von Frankfurt aus wird das Telekomnetz in Deutschland mit ihrer Taktfrequenz versorgt, in Bremen befindet sich ein umfangreiches Zentrum für Komponententests. Die PTB-Zeitskala steht an beiden Endstellen mit einer Unsicherheit in der Größenordnung von 50 ps zur Verfügung. ■

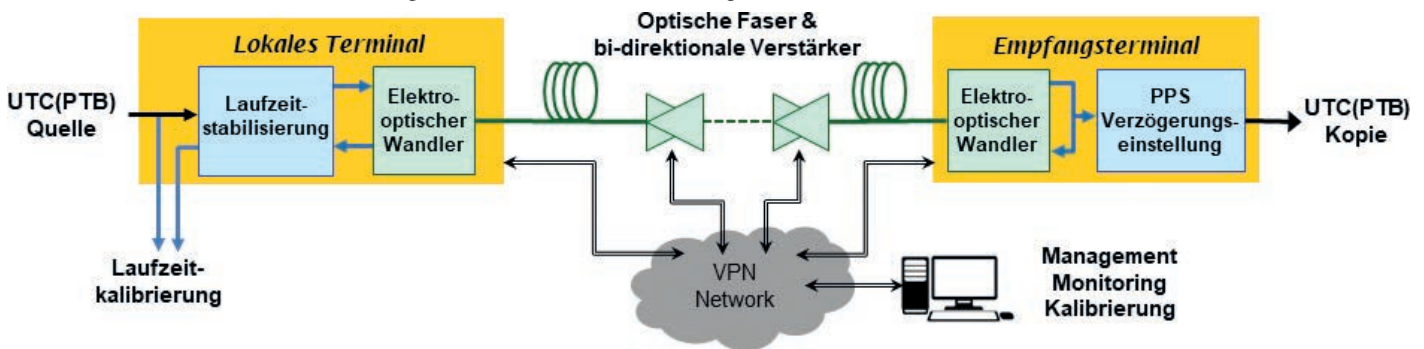
Ansprechpartner

Harald Schnatz
 Fachbereich 4.3
 Quantenoptik und Längeneinheit
 Telefon: (0531) 592-4300
 harald.schnatz@ptb.de

Andreas Bauch
 Fachbereich 4.4
 Zeit und Frequenz
 Telefon: (0531) 592-4420
 andreas.bauch@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

L. Śliwaczyński, P. Krehlik, H. Imlau, H. Ender, H. Schnatz, D. Piester, A. Bauch: Fiber-based UTC dissemination supporting 5G telecommunications networks. IEEE Communications Magazine, akzeptiert (2020)



Das OTT-System verwendet Terminals zur Einspeisung und am Zielort. Eine Anzahl von bidirektionalen, optischen Inline-Verstärkern dient bei weit entfernten Standorten zur Kompensation der Signalabschwächung in der Glasfaser.

Mehr Licht durch Kohärenz

Auf dem Weg zu einer Synchrotronstrahlungsquelle mit höherer Intensität

Besonders interessant für

- Radiometrie
- Beschleunigerphysik

In Kooperation mit dem Helmholtz-Zentrum Berlin (HZB) und der Tsinghua-Universität Peking wurde an der Metrology Light Source (MLS), dem Elektronenspeicherring der PTB in Berlin, der Machbar-

keitsnachweis für die erste Stufe des sogenannten „Steady State Micro Bunching“ (SSMB) erfolgreich erbracht. Dies ebnet den Weg für zukünftige Synchrotronstrahlungsquellen mit höheren Intensitäten.

In Speicherringen zur Erzeugung von Synchrotronstrahlung kreisen die Elektronen in einzelnen Paketen („Bunches“). Mit konventionellen elektronenoptischen Möglichkeiten kann die Länge der Pakete (typischerweise einige Millimeter) nicht so kurz gehalten werden, dass sie in die Größenordnung der Wellenlänge der Synchrotronstrahlung (einige 10 nm bis einige 100 nm) gelangt, wodurch eine kohärente Abstrahlung mit viel höheren Intensitäten möglich wäre.

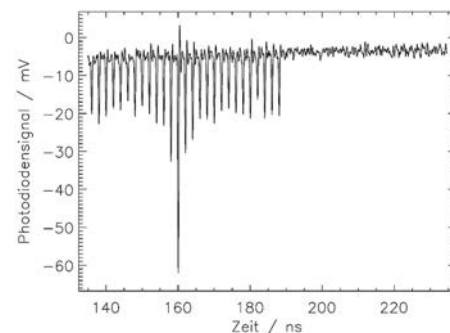
Jetzt konnte erstmals experimentell gezeigt werden, dass 1 µm kurze Strukturen („Micro Bunches“), die in einem einige Millimeter langen Elektronenpaket mit einem überlagerten Laser erzeugt wurden, auch nach einem vollständigen Umlauf um den Speicherring kohärente Strahlung aussenden. Die Intensität dieser kohärenten Synchrotronstrahlung skaliert mit dem Quadrat der Anzahl der beteiligten Elektronen, im Gegensatz zu nicht-kohärenter Strahlung, deren Intensität nur linear mit der Anzahl der Elektronen geht. Das Aufrechterhalten solch kurzer Mikrostrukturen während des Umlaufs im Elektronenspeicherring ist eine technisch sehr anspruchsvolle Aufgabe, denn durch die in den Magnetfeldern entstehende Strahlung – welche zu einem Energieverlust der Elektronen

führt – werden solche Strukturen gewöhnlich bereits innerhalb weniger Meter des Umlaufs wieder aufgelöst.

Dieser erste Nachweis der Aufrechterhaltung einer aufgeprägten Mikrostruktur über einen kompletten Umlauf ist ein wichtiger Schritt hin zu einer SSMB-Synchrotronstrahlungsquelle. Hierfür wurde die MLS in einer speziellen magneto-optischen Einstellung betrieben. Dabei hängt die Länge der Umlaufbahn des einzelnen Elektrons nur sehr wenig von dessen Energie ab. Die MLS ist der erste und derzeit einzige Elektronenspeicherring weltweit, der für diesen Betriebsmodus optimiert ist.

Die durch die Laserstrahlung mikrostrukturierten Elektronenpakete emittieren nach einem Umlauf kohärent überhöhte Strahlung im Vergleich zu den Paketen, die nicht mit der Laserstrahlung wechselgewirkt haben. Zur Strahlungserzeugung wurde hierbei der MLS-Undulator verwendet.

Die Experimente zum SSMB-Schema, die von der Tsinghua-Universität koordiniert werden, können an der MLS fortgesetzt und weiterentwickelt werden. Ziel hierbei ist die Herstellung eines dauerhaften Zustandes („Steady State“) der den Elektronenpaketen aufgeprägten Mikrostrukturen. ■



Nachweis der kohärent überhöhten Abstrahlung: Nach einem vollen Umlauf um den Speicherring (Dauer 160 ns) ist die mit einer Photodiode gemessene Abstrahlung des von der Laserstrahlung mikrostrukturierten Elektronenpakets deutlich intensiver.

Ansprechpartner

Roman Klein
 Fachbereich 7.2
 Röntgenmesstechnik mit
 Synchrotronstrahlung
 Telefon: (030) 3481-7140
 roman.klein@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

X. Deng, A. Chao, J. Feikes, A. Hoehl, W. Huang, R. Klein, A. Kruschinski, J. Li, A. Matveenko, Y. Petenev, M. Ries, C. Tang, L. Yan: *The first experimental demonstration of the steady-state microbunching mechanism. Nature Comm., akzeptiert*

Rückführung für die On-Wafer-Mikrowellenmesstechnik

Kommerzielle Kalibriersubstrate als Transfornormale geeignet

Besonders interessant für

- Hersteller von 5G-Kommunikationstechnik
- Halbleiterindustrie, Medizintechnik, Kfz-Radartechnik
- Hersteller von On-Wafer-Mikrowellenmesstechnik

Die PTB hat den Nachweis erbracht, dass auf kommerziellen Substraten gefertigte On-Wafer-Kalibrierstrukturen als Transfornormale für Referenzkalibrierungen verwendet werden können. Damit wird für planare Streuparametermessungen erstmalig eine Anbin-

dung an industrielle Anwendungen ermöglicht.

Die Messung von Streuparametern mittels Netzwerkanalyse gehört in der modernen Hochfrequenztechnik zu den wichtigsten Methoden zur Charakterisierung von planar (also auf Wafern) gefertigten Komponenten, wie sie zum Beispiel für Anwendungen in der 5G-Kommunikationstechnik benötigt werden. In der Industrie werden dazu bevorzugt Messmethoden unter Einsatz automatisierter Wafer-Prober verwendet, die mit einer gleichbleibenden Distanz der Prüfspitzen arbeiten und die

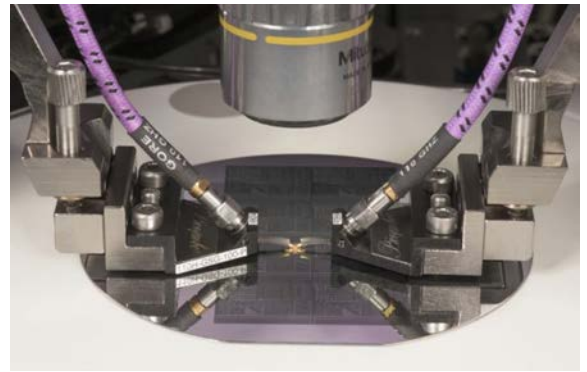
Systemfehlerkorrektur (Kalibrierung) mit handelsüblichen Kalibriersubstraten (Impedance Standard Substrate, ISS) durchführen. Bislang jedoch war die mit diesen Substraten durchgeführte Fehlerkorrektur in vielen Anwendungsfällen, insbesondere bei höheren Frequenzen, zu ungenau.

Im europäischen Metrologieforschungsprojekt „PlanarCal“ hat die PTB rückführbare Kalibriermethoden für koplanare Wellenleiter (Coplanar Waveguides, CPWs) entwickelt, die auf Quarzglas-Substraten gefertigt werden. Diese Referenzkalibrierverfahren basieren auf Multiline-TRL („TRL“ steht für

Thru-Reflect-Line), weltweit anerkannt als eines der genauesten Kalibrierverfahren für planare On-Wafer-Streuparametermessungen. Die neu entwickelten Verfahren sind insbesondere auch für die Charakterisierung von Strukturen auf kommerziellen ISS-Substraten geeignet. Mit den Ergebnissen der Untersuchungen wurde der Nachweis erbracht, dass die kommerziellen Kalibrierstrukturen nach der Charakterisierung tatsächlich als Transfornormale für hochpräzise industrielle Kalibrierungen verwendet werden können.

Zu den weiteren Vorteilen der neu entwickelten Referenzkalibrierverfahren zählt, dass die Referenzebene der Kalibrierung passend zum Messobjekt verschoben werden kann und dass zusätzlich der Verschleiß der Referenzkalibriernormale minimiert wird, da diese nur für die Charakterisierung der Transferstandards benötigt werden.

Grundsätzlich ist die für CPWs auf Quarzglas verifizierte Methodik auch auf andere Substratmaterialien und Wellenleitertypen übertragbar. Da dies ja nach Anwendung jedoch sehr komplex sein kann, bietet die PTB hierfür Unterstützung im Rahmen von Forschungsk Kooperationen an. Zudem bietet sie die Charakterisierung von auf ISS-Substraten gefertigten Transfornormalen als Kalibrierdienst konform zu DIN/EN ISO 17025 an. ■



Typischer Messaufbau der PTB für planare On-Wafer-Streuparametermessungen: Prüfspitzen über Teststrukturen auf einem Silizium-Wafer

Ansprechpartner

Uwe Arz
 Fachbereich 2.2
 Hochfrequenz und Felder
 Telefon: (0531) 592-2297
 uwe.arz@ptb.de

Weitergehende Informationen

<https://planarcal.ptb.de/>

Strahlenschutz bei medizinischem Personal

Neuartiges Spektr-Dosimeter für die Charakterisierung von Arbeitsplätzen in der Röntgen-Medizin

Besonders interessant für

- Strahlenschutzbeauftragte
- Hersteller von Strahlenschutzmessgeräten
- Aufsichtsbehörden

Im Zuge des am 31.12.2018 in Kraft getretenen Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) wurden die Grenzwerte für die Augenlinsendosis deutlich abgesenkt. Um die Einhaltung dieser neuen Grenzwerte verlässlich nachzuweisen, muss die Wirksamkeit bestehender Strahlenschutzmaßnahmen und die Notwendigkeit einer zusätzlichen Überwachung des Personals überprüft werden. Für die Charakterisierung der Strahlungsfelder an medizinisch-diagnostischen Arbeitsplätzen wurde eine geeignete Messtechnik entwickelt. Sie basiert auf der Messung von einzelnen Röntgenphotonen mithilfe eines Szintillationskristalls in Verbindung mit einem Geiger-Avalanche-Photodioden-Array.

Bei der an medizinisch-diagnostischen Arbeitsplätzen angewendeten Röntgenstrahlung handelt es sich fast ausschließlich um gepulste Strahlung mit Pulsdauern im Millisekundenbereich (teils als Einzelpulse, teils als Pulsfolgen) mit hohen Pulsdosisleistungen. In typischen Spektrometern und üblichen Messgeräten der Dosimetrie können die damit verbundenen hohen Ereignisraten nicht verarbeitet werden. Das neu entwickelte Spektrometer ist gezielt für diese gepulste Strahlung ausgelegt.

Es basiert auf der Kombination eines $CeBr_3$ -Szintillationskristalls und eines Geiger-Avalanche-Photodioden-Arrays. Im Szintillationskristall erzeugt ein auf das Spektrometer fallendes Röntgenphoton Szintillationslicht, wobei die Anzahl der erzeugten Szintillationsphotonen von der Energie des auf das Spektrometer fallenden Röntgenphotons abhängt. Die Szintillationsphotonen treffen dann auf die Zellen eines Geiger-Avalanche-Photodioden-Arrays. Das auf eine Zelle des Arrays treffende Szintillationsphoton löst dort eine Ladungslawine aus, analog zum Vorgang in einem Geiger-Müller-Zähl-



Das neue Gerät besteht aus einer Halbkugel, auf der 15 einzelne Spektrometer angebracht sind, sodass 15 unterschiedliche Raumwinkel zeitgleich gemessen werden können. Damit lässt sich die Haupteinfallrichtung der Röntgenphotonen auf die Person und insbesondere auf die Augenlinse simultan ermitteln, sodass die Zeit für die Charakterisierung des Arbeitsplatzes im laufenden Klinikbetrieb auf das Nötigste beschränkt wird.

rohr. Folglich spiegelt das aufsummierte Signal aller Geiger-Avalanche-Photodioden die Energie des auf das Spektrometer getroffenen Röntgenphotons wider.

Das von einem Röntgenphoton im Spektrometer erzeugte Signal hat eine Dauer von etwa 100 ns. Diese kurze Signaldauer wird durch die kurze Abklingzeit von 20 ns des neuartigen Szintillatormaterials $CeBr_3$ ermöglicht. Die notwendige schnelle Datenerfassung, um jede Nanosekunde einen Messwert aufzuzeichnen, und eine erste Datenver-

arbeitung werden mittels eines Field Programmable Gate Arrays (FPGA) durchgeführt (Abtastrate 1 GS/s). Insgesamt ergibt sich eine verarbeitbare Ereignisrate von 4 MHz. Die Messung der Signale einzelner Röntgenphotonen ermöglicht die Messung der hohen Pulsdosisleistungen. Das Spektrometer ist für den Energiebereich der Röntgenstrahlung im medizinischen Anwendungsbereich von 15 keV bis 150 keV ausgelegt.

Das neue Gerät wurde in den Referenzmessfeldern der PTB hinsichtlich

Energiemessbereich, Dosisleistungsmessbereich und Winkelauflösung charakterisiert. In einem nächsten Schritt sind Messungen an realen medizinischen Arbeitsplätzen in der Klinik geplant. ■

Ansprechpartnerin

Rebekka Schlichte
Fachbereich 6.3
Strahlenschutzdosimetrie
Telefon: (0531) 592-6319
rebekka.schlichte@ptb.de

Zuverlässige Messung von Magnetfeldern auf der Nanometerskala

Grundlagen für die zuverlässige Messung magnetischer Streufelder mit Ortsauflösungen bis hinunter zu 10 nm

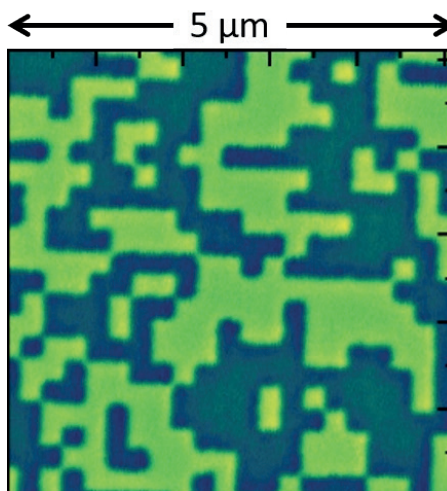
Besonders interessant für

- magnetische Sensorik
- magnetische Messtechnik

Für die Messung von räumlich auf der Nanometerskala variierenden magnetischen Feldverteilungen standen bislang keine international standardisierten Messverfahren zur Verfügung. Das von der PTB geleitete und kürzlich erfolgreich abgeschlossene EMPIR-Metrologieforschungsprojekt „NanoMag“ schließt diese Lücke und ermöglicht zukünftig international vergleichbare Messungen von Magnetfeldverteilungen mit hoher Ortsauflösung.

Für die Weiterentwicklung magnetischer Systemkomponenten wie Sensoren und Magnetspeicher benötigt die Industrie rückgeführte Magnetfeldmesssysteme mit höchster Ortsauflösung. Magnetische Feldmessverfahren können mittels Kernspinresonanz rückgeführt werden und sind gut etabliert, jedoch waren ortsauflösende Messverfahren bisher nur qualitativ oder nur für relativ große Strukturen einsetzbar.

Deshalb haben im Rahmen des kürz-



Testprobe mit magnetischen Strukturen, an der Messungen im Rahmen des Ringvergleichs durchgeführt wurden. Die hellgrünen Bereiche bestehen aus einer magnetischen Schicht, in den dunklen Bereichen wurde diese Schicht lithografisch entfernt.

lich abgeschlossenen Projekts „NanoMag“ die Projektpartner verschiedene Verfahren mit hohen Ortsauflösungen weiterentwickelt, Kalibrierverfahren erarbeitet und Referenzmaterialien für die Kalibrierung bereitgestellt.

Als eines der wichtigsten Projektergebnisse wurden erstmals SI-rückgeführte Messverfahren für magnetische Feldverteilungen mit höchster Ortsauflösung bis

hinunter zu 10 nm entwickelt, getestet und durch einen internationalen Ringvergleich validiert. Im Rahmen dieses Vergleichs unter Teilnahme der PTB wurden Messdaten magnetischer Kraftmikroskope im Feldbereich um 0,1 T erfolgreich miteinander verglichen.

Damit wurden zum einen die Grundlagen für eine entsprechende Messinfrastruktur an den drei beteiligten europäischen Metrologieinstituten gelegt. Zum anderen wurde auf Basis der Ergebnisse eine IEC-Norm zur ortsaufgelösten Messung magnetischer Feldverteilungen entwickelt, die zukünftig zuverlässige und international vergleichbare quantitative nanomagnetische Messungen ermöglicht. ■

Ansprechpartner

H. W. Schumacher
Fachbereich 2.5
Halbleiterphysik und Magnetismus
Telefon: (0531) 592-2500
hans.w.schumacher@ptb.de

Weitergehende Informationen

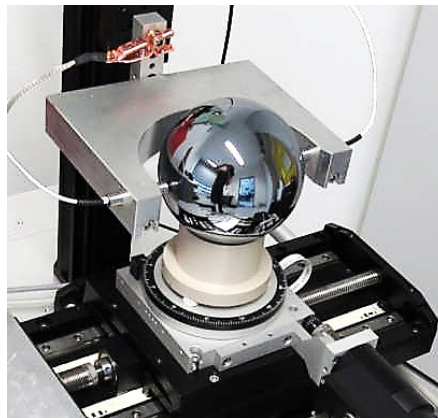
<https://www.ptb.de/empir/nanomag.html>

Messeinrichtung für ultrapräzise Kugeln

Besonders interessant für

- Hersteller von Kugeln
- dimensionelle Metrologie

In unterschiedlichen Industriebranchen, wie der Optik oder Fertigungsmesstechnik, werden nahezu perfekte Kugeln verwendet. Herkömmliche Verfahren zur Messung der Formabweichung sind für eine industrielle Fertigung dieser Kugeln jedoch viel zu langsam und aufwendig. Eine neue PTB-Messapparatur ist zuverlässig und kostengünstiger als bestehende Systeme und führt zu schnellen Messergebnissen. Sie besteht aus zwei



Messaufbau mit Sensoren auf einer gabelähnlichen Struktur, die am Äquator der Kugel untergebracht sind

kollinearen Interferometern zur Längenbestimmung, die die Kugel aus zwei genau gegenüberliegenden Positionen vermessen. Durch eine Drehung der Kugel wird das Durchmesserprofil am Äquator bestimmt und Formfehler im unteren nm-Bereich erkannt. (Technologieangebot 447) ■

Vorteile

- einfacher und kostengünstiger Aufbau
- intrinsische Kompensation von kinematischen Fehlern
- schnelle Messdatenerfassung

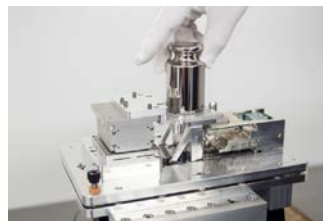
Planck-Waagen mit variablem Wägebereich

Besonders interessant für

- Waagenhersteller
- Massemetrologie

Die zusammen mit der TU Ilmenau entwickelte, hochpräzise, stufenlos messende Planck-Waage funktioniert nach dem Prinzip der elektromagnetischen Kraftkompensation. Dabei wird ein zu wiegendes Massestück auf der einen Seite der Waage durch eine elektrische Kraft auf der anderen Seite aufgewogen. Diese

ist untrennbar mit der Planck-Konstante verbunden und lässt sich so unmittelbar auf die neue Kilogramm-Definition zurückführen. Der zu messende Strom wird durch mehrere hintereinander geschaltete Spulen und



Funktionsmuster einer Planck-Waage

mehrere umschaltbare Widerstände auf das jeweilige Gewicht angepasst. So wird ein großer Messbereich von einem Milligramm bis zu einem Kilogramm erreicht, bei gleichzeitiger kompakter Bauform für den variablen Laboreinsatz. (Technologieangebot 488) ■

Vorteile

- großer Messbereich
- kompakte Bauform
- variabler Einsatz

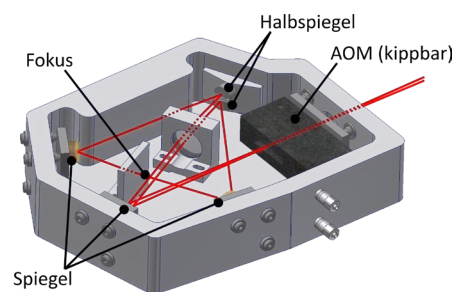
Kompakter Double-Pass-AOM

Besonders interessant für

- Laserspektroskopie
- Hersteller optischer Komponenten

Akustooptische Modulatoren (AOM) dienen zur Modulation der Frequenz und Intensität von Laserstrahlung. Verläuft der Strahl zweimal durch den AOM, wird eine Verdopplung der Frequenzverschiebung bei gleichzeitig guter Unterdrückung der primären Strahlfrequenz ermöglicht. Diesen Aufbau nennt man Double-Pass-Anordnung. Das neue PTB-Design verwendet eine spe-

zielle Faltung des Strahlengangs für die Verwendung im ultravioletten Spektralbereich. Nachteile herkömmlicher



Prinzipskizze des Double-Pass-AOM-Prototypen

UV-Double-Pass-Anordnungen werden eliminiert, indem der Strahlenfokus von der Spiegeloberfläche ferngehalten wird, sodass keine Gefahr ihrer Zerstörung mehr besteht. Der Gesamtaufbau ist zusätzlich wesentlich kompakter realisiert. (Technologieangebot 505) ■

Vorteile

- Verlagerung des Fokus von der Spiegeloberfläche
- kein Strahlversatz
- kompaktes Design

Ansprechpartner für diese Technologieangebote

Andreas Barthel, Telefon: (0531) 592-8307, E-Mail: andreas.barthel@ptb.de, www.technologietransfer.ptb.de

Auszeichnungen

Christian Sanner, Nils Huntemann, Richard Lange

Die beiden Wissenschaftler im PTB-Fachbereich 4.4 *Zeit und Frequenz* (Huntemann, Lange) sowie ihr ehemaliger PTB-Kollege (Sanner, heute am JILA, Boulder, USA) haben den Helmholtz-Preis 2020 in der Kategorie „Grundlagen“ erhalten. Der Helmholtz-Preis ist einer der bedeutendsten Preise in der Metrologie und wird vom Helmholtz-Fonds alle zwei Jahre für hervorragende wissenschaftliche und technologische Forschung auf dem Gebiet „Präzisionsmessung in Physik, Chemie und Medizin“ verliehen. Christian Sanner, Nils Huntemann und Richard Lange ist es mit einem Langzeitvergleich zweier optischer Ytterbiumuhren der PTB gelungen, einen deutlich verbesserten Test der Lorentz-Symmetrie für Elektronen durchzuführen. Ihre Ergebnisse wurden in *Nature* veröffentlicht.

Tanja E. Mehlstäubler

Die Forschungsgruppenleiterin am QUEST-Institut an der PTB hat den in einem gemeinsamen Berufungsverfahren der Leibniz Universität Hannover und der PTB erteilten Ruf auf eine W3-Professur für „Experimentalphysik mit Schwerpunkt Quantenoptik und Metrologie“ angenommen.



Mathias Richter

Der Leiter der Abteilung 7 *Temperatur und Synchrotronstrahlung* wurde zum Ehrenmitglied des Ioffe-Instituts der Russischen Akademie der Wissenschaften gewählt. Damit würdigt das Institut seinen Beitrag zur langjährigen erfolgreichen Zusammenarbeit zwischen Ioffe-Institut, DESY in Hamburg und der PTB auf dem Gebiet „Metrology and Multiphoton Ionization in the Extreme Ultraviolet“.



Tobias Schäffter

Der Leiter der Abteilung 8 *Medizinphysik und metrologische Informationstechnik* wurde in die Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften aufgenommen. Schäffter ist als ordentliches Mitglied der technikklassischen Klasse im Bereich der Medizintechnik tätig.



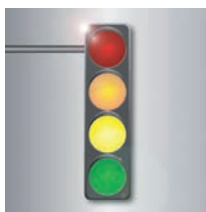
Forschung zur Kommunikation von morgen

Schneller, weiter besser – diese Entwicklung wird auch nach der Einführung von 5G weitergehen. Wie Konzepte für noch höhere Übertragungsraten aussehen könnten, erforscht ein DFG-Projekt namens „Metrology for THz Communications“ (Meteracom). Im Zentrum steht dabei der Terahertz-Frequenzbereich, in dem zukünftig mehr als 100 Gigabit pro Sekunde übertragen werden könnten. Das ist etwa das Zehn- bis Hundertfache dessen, was derzeit Funkssysteme wie WLAN oder 5G leisten. An dem Projekt sind neben der PTB das britische Metrologieinstitut NPL (National Physical Laboratory) sowie die Universitäten Braunschweig, Paderborn, Marburg, Stuttgart und Lübeck beteiligt. Ansprechpartner: Thomas Kleine-Ostmann, Telefon: (0531) 592-2300, thomas.kleine-ostmann@ptb.de



Corona: Abgestufter Maßnahmenplan der PTB

Schon seit einigen Wochen hat die PTB zahlreiche Maßnahmen umgesetzt, um das Coronavirus SARS-CoV-2 zu bekämpfen: So wurden nahezu alle Veranstaltungen für die nächste Zeit abgesagt, und alle Dienstreisen – auch zwischen den PTB-



Standorten – wurden gestrichen. Für alle, die auf den PTB-Geländen in Braunschweig und Berlin arbeiten, gelten strenge Hygiene- und Verhaltensregeln. Und ein Großteil der Mitarbeitenden arbeitet im Homeoffice. Auf diese Weise wurden und werden viele Aufgaben weiterhin bearbeitet, sodass der Forschungs- und Dienstleistungsbetrieb weiterläuft. Verzögerungen in den unterschiedlichen Bereichen sind zwar unvermeidbar, da sich viele Forschungs- und Dienstleistungsaufgaben nur vor Ort im Labor erledigen lassen. Die PTB setzt jedoch alles daran, dass nicht nur die Zeit weiterläuft, sondern auch alle Uhren weiter ticken, sprich alle wichtigen Messaufgaben weiterhin erfüllt werden. So arbeitet die PTB mit einem abgestuften Maßnahmenplan mit drei Betriebszuständen jenseits des Normalbetriebs: dem „flexiblen Betrieb“ (Ampelfarbe Gelb), dem „eingeschränkten Betrieb“ (Ampelfarbe Orange) sowie dem Notbetrieb (Ampelfarbe Rot). Unter diesem Maßnahmenplan will die PTB ihre wesentlichen Aufgaben in Forschung und Dienstleistung soweit fortführen, wie es unter den derzeitigen Randbedingungen möglich ist. In welchem „Betriebszustand“ sich die PTB befindet, zeigt jeweils aktuell für alle PTB-Standorte eine Infografik auf der Startseite des PTB-Webauftritts (www.ptb.de).

Ansprechpartner:
Corona-Krisenstab
Telefon: (0531) 592-3005
corona-krisenstab@ptb.de

Impressum
PTB-News 2/2020, deutsche Ausgabe, Mai 2020, ISSN 1611-1621
Die PTB-News erscheinen dreimal jährlich in einer deutschen und einer englischen Ausgabe und können kostenlos abonniert werden.
Abo-Formular: www.ptb.de > Publikationen > PTB-News > PTB-News abonnieren
Herausgeber: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig und Berlin
Redakteure: Andreas Barthel, Alexander Gottwald, Tobias Klein, Christoph Kolbitsch, Christian Lisdat, Hansjörg Scherer, Erika Schow, Jens Simon (verantwortlich)
Layout: Volker Großmann, Alberto Parra del Riego (Konzept)
Redaktionsanschrift: Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB, Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, Telefon: (0531) 592-3006, Telefax: (0531) 592-3008, E-Mail: ptbnews@ptb.de



Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt, das nationale Metrologieinstitut, ist eine wissenschaftlich-technische Bundesoberbehörde im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie.