

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

Ultraschalllärm nah am Ohr gemessen

Tragbares Gerät kann zur genaueren Erfassung der Luftultraschallbelastung beitragen 2

Kugeln auf wenige Nanometer genau messen

Interferometrische Messeinrichtung für hochgenau gefertigte Siliziumkugeln und andere sphärische Objekte 3

Transparente und anonyme Wahl

Blockchain-Technologie für elektronische Stimmabgabe 4

Widerstandsmessungen mit Graphen

Fortschritte bei Quanten-Hall-Normalen 4

Weltweit erstes optisches HCl-Gasnormal

Optisches Spektrometer für die Rückführung von Chlorwasserstoff-Messgeräten 5

Neue Hochdruck-Kalibrieranlage für Gaszähler

Der Closed Loop pigsar bietet längere Messstrecken sowie größere Druck- und Durchflussbereiche 6

TECHNOLOGIETRANSFER

Vakuum-Interferometer 7

Ionenfalle mit Photonendetektion 7

Dynamische Prüfgasmischung 7

VERSCHIEDENES

Auszeichnungen 8

Quanten-Startups gefördert 8

Hackersichere Datenverbindung 8

15 Millionen Euro für Quantentechnologie 8

Standards für Biopharmazeutika 8

Laserkühlung mit nanostrukturierten Gitterchips

Einfacherer optischer Aufbau hilft Quantentechnologien

Besonders interessant für

- Quantensensorik
- Zeit-/Frequenzmetrologie
- Weltraumanwendungen

Quantensensoren mit kalten, neutralen Atomen verschieben in vielen Bereichen der Metrologie die Grenzen des Messbaren. Herzstück dieser Aufbauten ist eine magneto-optische Falle zum Fangen und Laserkühlen von Atomen. Um diese Erfolge aktueller Forschung auch für Anwendungen zu nutzen und zu kommerzialisieren, müssen die Aufbauten kompakter und robuster werden. Dies kann durch nanostrukturierte Elemente erreicht werden, bisher allerdings nur für Laserkühlung mit einer Wellenlänge. Jetzt wurde eine Falle für Atome realisiert,

deren Kühlung zwei sehr unterschiedliche Wellenlängen benötigt.

Zum Fangen und Laserkühlen von neutralen Atomen benötigt man anders als bei Ionen Laserlicht aus allen Raumrichtungen. Die Wellenlänge des Laserlichts muss hierbei an das Atom angepasst sein, da jedes Atom andere Resonanzen hat, sozusagen eine eigene Signatur. Um Laserlicht aus mehreren Raumrichtungen einzustrahlen, benötigt man allerdings komplexe optomechanische Aufbauten, die genau justiert werden müssen. Ein vielversprechender Ansatz zur Miniaturisierung einer magneto-optischen Falle (MOT) ist die Verwendung von nanostrukturierten Gitterchips. Der Gitterchip erzeugt aus einem einzelnen einfallenden Laserstrahl durch Beugung die übrigen Laserstrahlen, die zur Formung der Falle

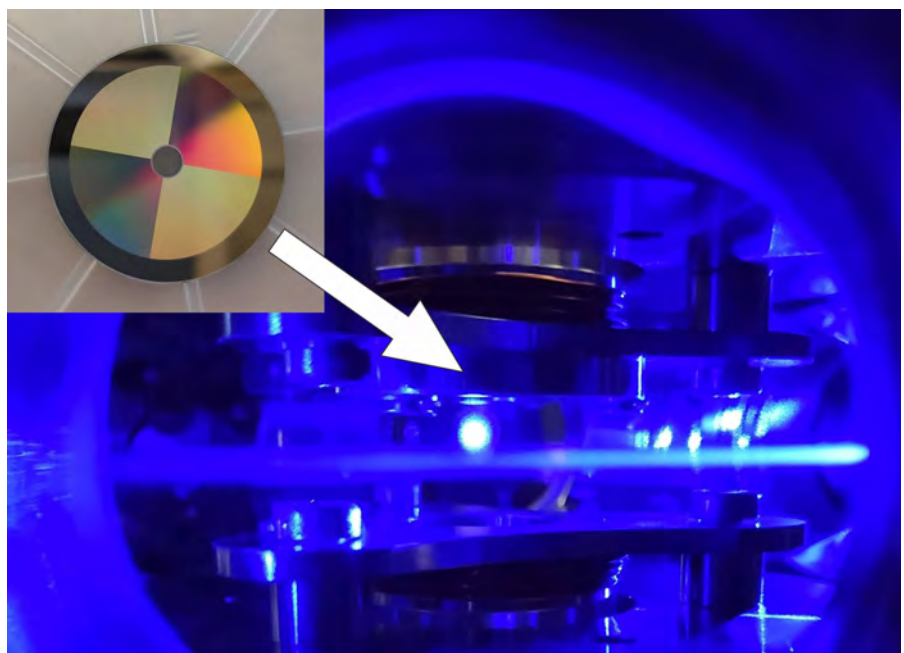


Foto der blau fluoreszierenden Wolke aus Strontiumatomen, die in der MOT gefangen sind. Der Gitterchip (links oben) wird von unten mit den beiden Laserwellenlängen beleuchtet und erzeugt vier gebeugte Strahlen. Die Atome werden aus einem Strahl geladen, der als horizontale Linie erkennbar ist.

notwendig sind. Der passende Beugungswinkel und die Intensitätsbalance aller Strahlen werden durch die Optimierung der Gitterstruktur gewährleistet.

Doch bei einem Schlüsselpunkt stoßen Gitter-MOTs an ihre Grenzen: So konnte mit einem Gitterchip bisher immer nur eine Laserwellenlänge adressiert werden, was für viele Atomspezies ausreicht. Bestimmte interessante Anwendungen wie optische Uhren oder spezielle Gravimeter nutzen allerdings Atome, die mit mehreren, sehr unterschiedlichen Wellenlängen lasergekühlt werden. Die unterschiedlichen Wellenlängen führen dazu, dass sich die Richtung und Inten-

sität der Laserstrahlen nach der Beugung am Gitter je nach Farbe unterscheiden, was einen effizienten Betrieb verhindert. Die Herausforderung, die Nutzung dieser Technologie auch zum Kühlen mit mehreren Laserwellenlängen zu ermöglichen, wurde in einem Kooperationsprojekt zwischen TU Braunschweig, DLR und PTB gelöst: Mithilfe eines neu entwickelten Gitterchips lassen sich Strontiumatome mit blauem und roten Laserlicht bis auf eine Temperatur von wenigen Mikrokelvin kühlen. Mit diesem Beitrag zur Forschung ermöglicht das Team die weitere Miniaturisierung hochgenauer Quantensensoren. ■

Ansprechpartner

*Christian Lisdat
Fachbereich 4.3
Quantenoptik und Längeneinheit
Telefon: (0531) 592-4320
christian.lisdat@ptb.de*

Wissenschaftliche Veröffentlichung

S. Bondza, S. Kroker, C. Lisdat, T. Leopold: Two-color grating magneto-optical trap for narrow-line laser cooling. Physical Review Applied 17,044002 (2022)

Ultraschallärm nah am Ohr gemessen

Tragbares Gerät kann zur genaueren Erfassung der Luftultraschallbelastung beitragen

Besonders interessant für

- Geräuschesstechnik
- Metrologieinstitute
- Arbeitsschutz

Aufgrund der steigenden Anzahl industrieller Ultraschallgeräte muss immer öfter die Luftultraschallbelastung von Mitarbeitenden gemessen werden. Ein in der PTB entwickeltes Hochfrequenzpersonenschallexposimeter kann erstmals direkt von der zu überwachenden Person getragen werden und deren individuelle Ultraschallbelastung ermitteln.

Ultraschall (20 kHz bis 100 kHz), der über Luft übertragen wird, steht seit Jahren im Verdacht, negative gesundheitliche Auswirkungen zu verursachen. Bisher konnte die Ultraschallexposition an Arbeitsplätzen aber nicht zuverlässig gemessen werden. Klassische Handschallpegelmesser sind nicht für die oftmals sehr komplexen, also inhomogenen und sich schnell ändernden Ultraschallfelder geeignet. Schallexposimeter für personenbezogene Messungen sind bisher nur auf den mittleren Hörfrequenzbereich bis 8 kHz ausgelegt.

Daher wurde in Kooperation zwischen der PTB und dem Institut für Arbeitsschutz der Deutschen Gesetzlichen Unfallversicherung im Rahmen eines Technologietransferprojektes ein Hochfrequenzpersonenschallexposimeter ent-

wickelt. Es ist vor allem für personenbezogene Messungen vorgesehen und kann zusätzlich wie ein Handschallpegelmesser im Hörschallbereich eingesetzt werden.

Für eine personenbezogene Messung wird das zugehörige, separat positionierbare und vergleichsweise kleine Mikrofon nah am Ohr der betroffenen Person befestigt. Aufgrund der kleinen Wellenlängen des Luftultraschalls ist der Abstand zum Ohr möglichst gering zu halten, um realistisch den das Ohr erreichenden Schalldruck bestimmen zu können. Das Gerät selbst wird beispielsweise an einem Gürtel befestigt.

Das neue Gerät wurde durch Vergleichsmessungen mit einem bis 100 kHz getesteten Ultraschallpegelmesssystem validiert. In einer Reihe von Messungen in verschiedenen simulierten industriellen Arbeitsszenarien lieferten beide Geräte vergleichbare Ergebnisse. Die da-

bei gesammelten orts aufgelösten Messdaten verschiedenster Ultraschallfelder sind auch für weitere Anwendungen und Analysen interessant und werden daher in einer Datenbank veröffentlicht.

Mit der aktuellen Version des Gerätes werden weitere Praxistests durchgeführt. Parallel dazu werden Mess- und Kalibrierverfahren für den Routineeinsatz entwickelt. Um das Gerät, das bisher ein Funktionsmuster ist, in die Praxis zu überführen, wird ein Hersteller gesucht. ■



Das neue Gerät im beispielhaften Einsatz

Ansprechpartner

*Michał Cieslak
Fachbereich 1.6
Schall
Telefon: (0531) 592-1538
michal.cieslak@ptb.de*

Wissenschaftliche Veröffentlichung

M. Cieslak, C. Kling, and A. Wolff: Development of a personal ultrasound exposimeter for occupational health monitoring. Int. J. Environ. Res. Public Health 18 (2021)

Kugeln auf wenige Nanometer genau messen

Interferometrische Messeinrichtung für hochgenau gefertigte Siliziumkugeln und andere sphärische Objekte

Besonders interessant für

- Präzisionsfertigung
- fertigungsbegleitende Messtechnik
- Metrologieinstitute

Im Rahmen der Neudefinition der SI-Einheit Kilogramm wurde in der PTB ein Verfahren zur Herstellung nahezu perfekt runder Siliziumkugeln entwickelt, deren Formabweichungen im Bereich von nur ca. 10 nm bis 100 nm liegen. Während der wochenlangen Politur der Kugeln muss ihre Form und Rauheit täglich kontrolliert werden. Speziell für diese Aufgabe wurde eine neuartige Messeinrichtung entwickelt, die innerhalb weniger Minuten den Formfehler einer Kugel bestimmen kann.

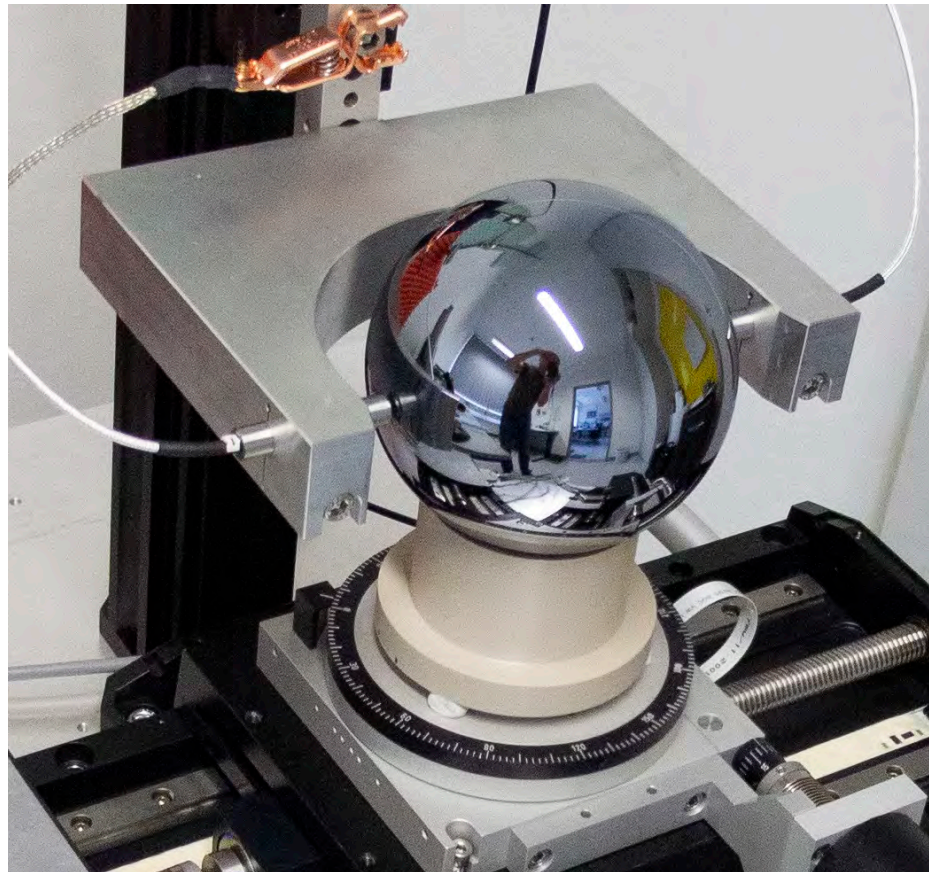
Das Messprinzip der Interferometrie beruht auf der Überlagerung eines einfallenden und reflektierten Laserstrahls. Auf diese Weise können Längen auf der Nanometerskala präzise vermessen werden. Solche Messungen können jedoch u. a. durch Störbewegungen der Kugel während der Drehung beeinflusst werden. Daher wird die Kugel an zwei gegenüberliegenden Punkten gleichzeitig vermessen, wobei die nahezu perfekt polierte Oberfläche der Kugel als Reflektor dient. Die gewonnenen Abstandssignale der beiden kollinearen Strahlengänge werden während der Drehung der Kugel erfasst und auch als Summe beider Signale aufgezeichnet. Diese Summe stellt ohne weitere geometrische Fehlerkorrektur die Änderung des Durchmessers der Kugel entlang des jeweiligen Äquators dar. Das Messprinzip hat den Vorteil, dass Störbewegungen der Kugel während der Drehung nur einen sehr geringen Einfluss auf das Messergebnis haben. Verschiebt man nämlich die Kugel entlang des Strahlenganges, so ändert sich das Summensignal nicht. Die Rotationsachse braucht daher keine außerordentlich hohe Präzision.

Die weitere Gestaltung der Messeinrichtung gewährleistet darüber hinaus eine geringe Empfindlichkeit gegenüber

Umwelteinflüssen wie Temperatur oder Schwingungen. Der gesamte Aufbau ist robust und einfach in der Bedienung. Es sind keine mechanischen Taster erforderlich, die die Oberfläche verkratzen könnten. Ein spezieller Transportzylinder dient zum Schutz der Kugel im Labor, ermöglicht ein kollisionsfreies Einbringen in die Messeinrichtung und dient als thermischer Schutz während der Messung.

Mit den Erfahrungen aus der Nutzung

eines Funktionsmusters hat die Firma SIOS Messtechnik GmbH in Kooperation mit der PTB einen optimierten Gesamtaufbau realisiert. Die Wiederholbarkeit der Messungen liegt bei wenigen Nanometern. Die Messeinrichtung ist seit vielen Monaten in Betrieb und liefert täglich zuverlässig die zur Fertigung der Kugeln notwendigen Ergebnisse. Denkbar und bereits als Konzept vorhanden ist eine Adaption für sphärische transparente Objekte ähnlichen Durchmessers. ■



Die Kugel befindet sich auf einem Drehtisch und wird an zwei gegenüberliegenden Stellen mittels Laserlicht vermessen.

Ansprechpartner

Rudolf Meeß
 Fachbereich 5.5
 Wissenschaftlicher Gerätebau
 Telefon: (0531) 592-5560
 rudolf.meess@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

R. Meeß, D. Dontsov, E. Langlotz: Interferometric device for the in-process mea-

surement of diameter variation for the manufacturing of ultraprecise spheres. *Measurement Science and Technology* 32, 074004 (2021)

Patent

Rudolf Meeß, DE 10 2017 106 184 A1 2018.09.27, Verfahren zum Messen einer Formabweichung einer Kugel und Kugel-Messvorrichtung dafür

Transparente und anonyme Wahl

Blockchain-Technologie für elektronische Stimmabgabe

Besonders interessant für

- Hersteller und Prüfer von Wahlgeräten

Wahlen sind die Grundlage einer demokratischen Gesellschaft. In Krisen wie Pandemien, Kriegszeiten und anderen Katastrophen ist eine Stimmabgabe vor Ort oft nicht möglich. Eine Lösung für diese Herausforderungen ist die elektronische Stimmabgabe (E-Voting). An der PTB wurde dazu ein Ansatz entwickelt, der auf der Technologie von Blockchains beruht und es erlaubt, die abgegebene Stimme bis zum Ende der Wahl noch zu ändern. Dabei bleibt die Stimmabgabe vollständig anonym und das Wahlergebnis transparent.

Digitale Wahlsysteme ermöglichen es Bürgern demokratische Entscheidungen zu treffen, selbst wenn der Gang zur Wahlurne aufgrund gesellschaftspolitischer Herausforderungen (z. B. der COVID-19-Pandemie, Krieg oder Naturkatastrophen) nicht möglich ist. Die PTB führt bereits seit 1999 Bauartzulassungen für die Prüfung von Wahlgeräten nach Bundeswahlgeräteverordnung durch und hat darauf aufbauend ein internationales E-Voting-Forschungsnetzwerk ins Leben gerufen. Es besteht mittlerweile aus fünf Servern, wobei zwei in Brasilien beim

INMETRO stehen, einer in Japan beim NMIJ, einer in Tschechien beim CMI und einer bei der PTB in Berlin.

Zusammen mit diesen internationalen Metrologieinstituten wurde ein Ansatz für E-Voting entwickelt, der Blockchain-Technologie nutzt. Jeder Wähler erhält dabei einen Token, der einmalig und zufällig generiert wird. Mithilfe dieser Token können die Wähler ihre Stimmen noch bis zum Ablauf der Wahl beliebig oft verändern, ohne ihre Anonymität aufzugeben. Der Token selbst wird in einer Blockchain gespeichert, wodurch jeder Wähler beim Auszählen seine Stimme wiederfinden kann, weil die Blockchain das Entfernen und Manipulieren des Tokens verhindert. Die Wähler leisten auch einen aktiven Beitrag zur Anonymisierung der Wahl. Jeder Wähler bekommt dazu eine Anzahl an elektronischen Wahl-

zetteln und vermischt diese dann mithilfe sogenannter Mix-Networks. Dadurch kann sichergestellt werden, dass Wahlzettel nicht zu dem ursprünglichen Wähler zurückverfolgt werden können. Am Ende der Wahl sind die Wahlzettel für jeden einsehbar und unveränderbar. Damit kann jeder Wähler transparent nachprüfen, dass seine Stimme gezählt wurde, und damit sichergehen, dass das Wahlergebnis nicht manipuliert wurde.

Das Verfahren wurde schon frühzeitig von der PTB zum Patent angemeldet. ■



Internationales E-Voting-Netzwerk

Ansprechpartner

Daniel Peters
Fachbereich 8.5
Metrologische Informationstechnik
Telefon: (030) 3481-7916
daniel.peters@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

D. Peters, F. Thiel: E-Voting: I changed my mind, now what? Future Technologies Conference 2022. 20.–21. Oktober 2022. Vancouver, Canada, to be published

Widerstandsmessungen mit Graphen

Fortschritte bei Quanten-Hall-Normalen

Besonders interessant für

- Metrologieinstitute
- Kalibrierlaboratorien

In einem europäischen Metrologieforschungsprojekt wurden Quanten-Hall-Widerstände aus Graphen als primäre Impedanznormale für Wechselspannungs-Anwendungen optimiert. Sie lassen sich nun mit erheblich geringerem Aufwand betreiben. Damit werden mehr Metrologieinstitute und darüber

hinaus auch industrielle Kalibrierlaboratorien in die Lage versetzt, die Einheiten Widerstand, Kapazität und Induktivität darzustellen.

Bislang werden in der elektrischen Quantenmetrologie Quanten-Hall-Widerstände aus Halbleiter-Hetero-Strukturen eingesetzt. Im Vergleich dazu können Quanten-Hall-Widerstände aus Graphen mit deutlich reduziertem technischem Aufwand betrieben werden: Bei geeigneter Materialqualität und stabiler Ladungsträgerdichte ermöglichen sie die

Realisierung der Widerstandsquantisierung bei niedrigeren Magnetfeldern und bei weniger tiefen Temperaturen.

Im Rahmen des von der PTB koordinierten EMPIR-Projektes „Graphene Impedance Quantum Standard“ mit elf Partnern aus Europa und Asien wurden im PTB-Reinraumzentrum mit optimierten Verfahren Quanten-Hall-Widerstände aus Graphen hergestellt. Messungen am BIPM, dem internationalen Büro für Maße und Gewichte, bestätigen die hohe Qualität der Schaltungen: Ihr Gleichstromwiderstand stimmt mit dem no-

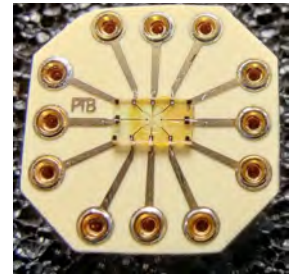
minellen quantisierten Wert innerhalb weniger Milliardstel überein, und dies bei einer relativ hohen Temperatur von 4,2 K und einem Magnetfeld von nur 5 T. Vergleichsmessungen an den beteiligten Instituten belegen die zeitliche Stabilität der Schaltungseigenschaften und zeigten, dass deren hohe Qualität unter Langstreckentransporten nicht nennenswert leidet. Damit sind die wesentlichen Voraussetzungen für den zukünftigen praktischen Einsatz von Graphen-basierten Quanten-Widerstandsnormalen erfüllt.

Der angestrebte Einsatz der Normale im Wechselspannungsbetrieb, also für die Messtechnik von Impedanzgrößen, stellt zusätzliche Anforderungen an die Messtechnik und an die Graphenschaltungen selbst. Die in der PTB hergestellten Schaltungen wurden in Laboratorien von acht Projektpartnern mit unterschiedlichen Methoden untersucht. Dazu wurden im Projekt verschiedene Typen von Impedanz-Messbrücken optimiert. Aus der PTB stammt eine Josephson-Impedanzmessbrücke, mit der präzise

Referenzspannungen durch moderne Quantenspannungsquellen (basierend auf dem Josephson-Effekt) erzeugt und genutzt werden können. Das führt zu besonders hoher Flexibilität bezüglich experimenteller Parameter und ermöglicht automatisierbare Messabläufe. Das Messsystem ist anwenderfreundlicher und bei Impedanz- und Frequenzmessungen sind die zugänglichen Messbereiche erweitert.

Insgesamt ergaben die Projektergebnisse, dass eine quantenbasierte Darstellung der Kapazitätseinheit Farad mit einer relativen Unsicherheit besser als 10^{-7} möglich ist. Dies wurde in einem „Good practice guide“ für die Realisierung des Farad mit Graphen-Quantennormalen

zusammengefasst (<https://www.ptb.de/empir2019/giqs/home/>). Die neuen Messmöglichkeiten werden im Rahmen des Quantentechnologie-Kompentenzentrums der PTB interessierten Anwenderkreisen zugänglich gemacht. ■



An der PTB entwickelter und hergestellter Quanten-Hall-Widerstand aus Graphen, elektrisch kontaktiert im Probenhalter

Ansprechpartner

Klaus Pierz
Fachbereich 2.5
Halbleiterphysik und Magnetismus
Telefon: (0531) 592-2412
klaus.pierz@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

D.-H. Chae, M. Kruskopf, J. Kucera, J. Park, N. T. M. Tran, D. B. Kim, K. Pierz, M. Götz, Y. Yin, P. Svoboda: Investigation of the stability of graphene devices for quantum resistance metrology at direct and alternating current. *Measurement Science and Technology* 33, 6 (2022)

Weltweit erstes optisches HCl-Gasnormal

Optisches Spektrometer für die Rückführung von Chlorwasserstoff-Messgeräten

Besonders interessant für

- Betreiber von Biogas-/Biomethan-anlagen
- Betreiber von großtechnischen Verbrennungsanlagen (Kraftwerken)
- Betreiber von Reinraumzentren
- Referenz- und Analyselabore

Chlorwasserstoff-Gas (HCl) kommt als Verunreinigung in Biogas/Biomethan, Schornsteinemissionen oder in der Luft von Reinräumen vor und ist gesundheitsschädlich. Insbesondere für gesetzlich vorgeschriebene Messungen ist die Rückführung bisher ein Problem. In der PTB wurde das weltweit erste spektroskopische HCl-Primärnormal entwickelt und metrologisch validiert.

In einer Biogasanlage entstehen bei der Vergärung Säuren. Kommen Chloride dazu, etwa aus Abfällen aus der Lebensmittelindustrie, kann sich korrosive Salzsäure bilden (die wässrige Lösung des Gases HCl). Auch bei der Verbrennung

von (Braun-)Kohle, Hausmüll oder von Biomasse (Holz/Stroh) kann HCl entstehen. Selbst in der Luft von Reinraumzentren müssen kleinste Spuren von HCl gemessen werden, um Produktqualitätsschwankungen in den hergestellten Halbleitern zu vermeiden.

Kalibriergase für die SI-Rückführung der HCl-Instrumente sind problematisch: Diesen Gasmischungen mangelt es an Stabilität, und es gibt sie lediglich als HCl-N₂-Mischung, was zu systematischen Kalibrierabweichungen in anderen Gasmatrizen außer Stickstoff führt.

Der neue optische Gasstandard (OGS) der PTB beseitigt diese Mängel und kann zukünftig für HCl-Qualitätskontrollmessungen und für Kalibrierdienstleistungen an HCl-Sensoren eingesetzt werden. Er benötigt keine Vorkalibrierung mit einem Referenzgas, sondern stützt sich auf SI-rückgeführte HCl-Spektraldaten sowie Messungen von Gasdruck und Gastemperatur. So können direkt absolute SI-rückgeführte Gasspezieskonzentrationen ermittelt werden.

Das PTB-HCl-OGS ist ein spezielles

optisches Spektrometer basierend auf direkter abstimmbarer Diodenlaser-Absorptionsspektroskopie (dTLAS). Es beruht auf einem Diodenlaser im mittleren Infrarot, einem Infrarot-Halbleiter-Detektor sowie einer PTB-eigenen Datenauswertung.

Das Instrument wurde erstmals metrologisch validiert, indem es in einer bilateralen Vergleichsstudie mit einem neuen primären gravimetrischen HCl-Gasstandard des koreanischen Metrologieinstituts KRISS verglichen wurde. Bei einer HCl-Konzentration von 100 µmol/mol betrug die Vergleichbarkeit zwischen PTB und KRISS 0,3 µmol/mol (d. h. 0,3 % relativ). Derzeit wird das Gerät in einem weiteren neuen globalen metrologischen Vergleich bei 30 µmol/mol HCl in N₂ eingesetzt. In Laborstudien der PTB konnte gezeigt werden, dass bei anderen Laserwellenlängen hochauflösende HCl-Messungen auch in Luft oder Biomethan möglich sind. Daher ist zu erwarten, dass metrologische Kalibrierdienste im Bereich von 200 µmol/mol bis 10 µmol/mol angeboten werden können. Darüber hin-

aus ist der HCl-OGS-Ansatz sowohl zur Feldkalibrierung als auch zur direkten Messung von HCl geeignet.

Da stabile, rückgeführte, gravimetrische HCl-Gasgemische in Druckzylindern (oder dynamischen Erzeugungssystemen) nicht routinemäßig im Handel erhältlich sind, kann das neue Normal der Industrie mittelfristig dazu verhel-

fen, die Betriebskosten von HCl-Messungen zu senken und die Genauigkeit der

Messungen zu verbessern ■

Ansprechpartner

Javis Nwaboh
Fachbereich 3.4
Analytische Chemie der Gasphase
Telefon: (0531) 592-3156
javis.nwaboh@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

J. Nwaboh, Z. Qu, O. Werhahn, V. Ebert:
EURAMET 1498 Final Report – Hydrogen Chloride in Nitrogen (2022)

Neue Hochdruck-Kalibrieranlage für Gaszähler

Der Closed Loop pigsar bietet längere Messstrecken sowie größere Druck- und Durchflussbereiche

Besonders interessant für

- Gastransportunternehmen
- Hersteller von Gaszählern

In Dorsten, im Norden des Ruhrgebiets, ist eine neue Hochdruck-Kalibrieranlage für Gaszähler entstanden. Der Closed Loop pigsar ist die größte Anlage seiner Art in Deutschland. Er bietet eine Prüfung in einem geschlossenen Kreislauf und erweiterte Messmöglichkeiten. Die Anlage wurde auf den nationalen Hochdruck-Kubikmeter zurückgeführt, erste Kundenprüfungen finden bereits statt. Ab jetzt kann die PTB die neue Anlage für erweiterte Kalibriermöglichkeiten nutzen.

Bei pigsar in Dorsten wird seit mehr als 20 Jahren das nationale Normal der Bundesrepublik Deutschland für Hochdruck-Erdgas betrieben, eine Rohrprüfstrecke der PTB, die fest in die pigsar-Anlagentechnik integriert ist. Der sogenannte Bypass-Prüfstand von pigsar ist zurzeit die genaueste Hochdruck-Anlage der Welt. Bypass bedeutet, dass für die Prüfung und Kalibrierung von Gaszählern Gas aus einer Transportleitung auf einem hohen Druckniveau entnommen wird und stromab auf einem geringeren Druckniveau wieder abgegeben wird. Geänderte Kundenanforderungen und größere Fluktuationen im Gastransportnetz machten es nötig, die Prüfmöglichkeiten zu erweitern und vom Netz unabhängig zu machen. Deswegen wurde eine neue Messanlage errichtet, bei der die

Prüfungen in einem geschlossenen Gas-Kreislauf („Closed Loop“) durchgeführt werden können. Die Anlage bietet auch längere Messstrecken sowie einen größeren Druck- sowie Durchflussbereich. Bei 2,5 MW Leistung der Gebläse beträgt die Umlaufzeit für das Erdgas weniger als 10 s. Parallel zu der neuen Anlage wird der bestehende Bypass-Prüfstand für kleinere und mittlere Zähler und Geräte mit hohem Druckverlust weiter betrieben.

Vor dem Bau hat eine PTB-Studie bestätigt, dass die gewünschte Genauigkeit erreicht werden kann. In Braunschweig hat die PTB zusätzliche Luftprüfungen durchgeführt, um die Parameter zur Charakterisierung der Zählerkurve zu ermitteln. Diese Kurve wird benutzt, um die Prüfnormale vor Ort im Closed Loop pigsar zu korrigieren.

Die Messmöglichkeiten des Closed Loops sind in der DAkkS-Akkreditierung aufgenommen und in der Zulassung von pigsar als staatlich anerkannte Prüfstelle enthalten. Beim nächsten Ringvergleich für den harmonisierten Kubikmeter wird die Anlage mit einbezogen. Darüber hinaus arbeitet die PTB weiter an der Reduzierung der Messunsicherheiten der Hochdruck-Durchflussrückführung. Zudem wird auch untersucht werden, wie

Gaszähler im Closed Loop pigsar über ein Skalierungsverfahren für Anwendungen mit erneuerbaren Gasen wie etwa Wasserstoff kalibriert werden können. ■



Pigsar-Gelände mit dem Closed Loop und der Bypass-Anlage. Neben der Bypass-Anlage befindet sich das nationale Hochdruckprüfnormal. Unten das neue Bürogebäude, in dem Kunden die Kalibriervorgänge ihrer Zähler verfolgen können.

Ansprechpartner

Jos van der Grinten
Fachbereich 1.4
Gase
Telefon (0531) 592-1425
jos.v.grinten@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

J. van der Grinten, D. Vieth, B. Mickan:
The new Closed Loop pigsar high-pressure gas flow calibration facility and its projected CMC, 36th International North Sea Flow Measurement Workshop, Aberdeen, 22–24 October 2018

Vakuum-Interferometer

Besonders interessant für

- Halbleiterlithografie
- Herstellung von ultrapräzisen Messmaschinen und Komparatoren

Für Präzisionslängenmessungen an Objekten mit Strukturen im Nanometerbereich werden häufig Laser-Interferometer eingesetzt. Bei hohen Präzisionsanforderungen wirkt sich bereits ein minimal ge-

änderter Brechungsindex der Luft negativ aus. Eine Messung im Vakuum würde diese Einflüsse vermeiden, ist aber nicht bei allen Messobjekten möglich. Zusammen mit dem Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme in Ilmenau wurde ein Verfahren entwickelt, das auf einer luftgelagerten Vakuum-Abdichtung beruht. Das Messobjekt kann außerhalb des Vakuums positioniert werden, und mit Ausnahme eines sehr kleinen

Luftspalts verläuft der Strahlengang des Interferometers im Vakuum. (Technologieangebot 420) ■

Vorteile

- interferometrische Vermessung nicht-vakuuntauglicher Objekte
- hohe Genauigkeit
- spannungsfreie Regelung

Ionenfalle mit Photonendetektion

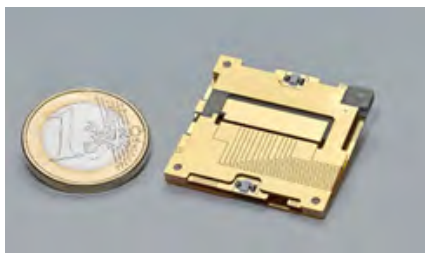
Besonders interessant für

- Quantentechnologie
- Entwicklung von Quantencomputern
- Herstellung von Ionenfallen

In Ionenfallen-Quantencomputern dienen Lichtteilchen (Photonen) zum Auslesen der in den Ionen-Qubits gespeicherten Information. Herkömmliche Ionenfallen besitzen Elektroden zur Erzeugung des Fallenpotenzials und separ-

rate Komponenten zur Photodetektion. Das neuartige PTB-Konzept führt diese

beiden Bestandteile erstmals zu einem integrierten Bauteil zusammen. (Technologieangebot 532) ■



Ionenfalle des Projektes Opticlock

Vorteile

- erhöhte Integrationsdichte von Ionenfallen
- vereinfachter Aufbau von Ionenfallen
- orts aufgelöste In-situ-Photodetektion mehrerer Ionen möglich

Dynamische Prüfgasmischung

Besonders interessant für

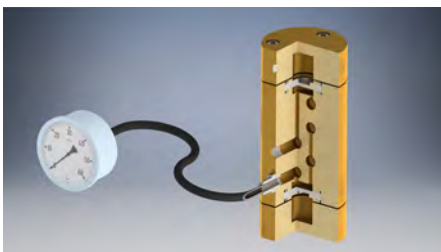
- Hersteller und Anwender von Gassensoren
- Zulassung und Kalibrierung von Gasmess- und -analysegeräten

Für die Überwachung von Anlagen und für den Gesundheitsschutz ist der Einsatz von Gassensoren und deren Kalibrierung von zunehmender Bedeutung. Beispielsweise werden zur Vermeidung von Virusübertragungen CO₂-Sensoren zur Überwachung der Luftqualität eingesetzt. Zur Kalibrierung dieser Sensoren werden Prüfgasgemische benötigt, bei

denen der Anteil der relevanten Komponente – insbesondere im Bereich von 400 ppm bis 2000 ppm – dynamisch eingestellt werden kann. Ein innovatives Verfahren aus der PTB nutzt hierfür eine Vorrichtung zur Mischung eines Matrixgases und eines Zumischgases mithilfe

von kritisch betriebenen Düsen. Dabei wird das Mischungsverhältnis eines binären Prüf- oder Kalibriergases nur anhand von Druckmessungen an zwei Düsen bestimmt.

(Technologieangebot 546) ■



CAD-Darstellung der Gasmischeinrichtung

Vorteile

- stufenlose Kalibrierung von CO₂- und anderen Gassensoren und Linearitätsprüfung
- einfaches Verfahren
- kostengünstiger Aufbau
- geringer Verbrauch von Matrix- und Zumischgas

Ansprechpartner für diese Technologieangebote

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

Auszeichnungen

Frank Härtig

Der Vizepräsident der PTB ist seit dem 1. August Mitglied im Aufsichtsrat der Deutschen Akkreditierungsstelle GmbH (DAkKS), dem Vertreter des Bundes und der Länder angehören.



Richard Lange

Der Wissenschaftler im Fachbereich 4.4 *Zeit und Frequenz* hat den SAMOP-Dissertationspreis der Deutschen Physikalischen Gesellschaft (DPG) für seine Doktorarbeit mit dem Titel „High-precision frequency comparisons and searches for New Physics with Yb⁺ optical clocks“ erhalten.



Jens Flügge

Der Leiter des Fachbereichs *Dimensionelle Nanometrologie* wurde zusammen mit Mitarbeitern des Instituts für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme Ilmenau im Wettbewerb der Erfindermesse iENA mit einer Bronzemedaille ausgezeichnet. Damit würdigt das PATON-Landespatentzentrum Thüringen an der TU Ilmenau die gemeinsame Entwicklung eines neuen Verfahrens zur präziseren Längenmessung in Hightech-Anwendungen in Form interferometrischer Vermessung nicht-vakuumtauglicher Objekte (S. 7, Technologieangebot 420)).



Rudolf Meeß

Der Wissenschaftler im Fachbereich 5.5 *Wissenschaftlicher Gerätebau* hat den „Outstanding Paper Award for 2021“ der Zeitschrift „Measurement Science and Technology“ für die Veröffentlichung „Interferometric device for the in-process measurement of diameter variation in the manufacture of ultraprecise spheres“ erhalten (siehe Forschungsnachricht auf Seite 3).



Thomas Fedtke

Der Wissenschaftler im Fachbereich 1.6 *Schall* hat die Rudolf-Martin-Ehrenurkunde des DIN/VDI-Normenausschusses Akustik, Lärminderung und Schwingungstechnik (NALS) verliehen bekommen.



Andreas Steiger, Matthias Kehrt, Karsten Kuhlmann und Rolf Judascke

Die Mitarbeiter der Abteilungen 7 und 2 erhalten für die Veröffentlichung der Ergebnisse ihrer zweijährigen Zusammenarbeit zum Thema „Linking the power scales of free-space and waveguide-based electromagnetic waves“ den „Andy Chi Best Paper Award“ für die beste Arbeit, die im vergangenen Jahr in den „IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement“ veröffentlicht wurde.

Quanten-Startups gefördert

In einem Programm namens Hightech-Inkubator fördert das Land Niedersachsen mit 4,7 Mio Euro den Aufbau einer langfristigen und schlagkräftigen Struktur zur Unterstützung von Deep-Tech-Firmengründungen im Umfeld der Quantentechnologien. Getragen wird das Programm mit einer Förderzeit bis Ende 2024 durch das Quantentechnologie-Kompetenzzentrum der PTB, zusammen mit den universitären Partnern aus Hannover (Leibniz Universität) und Braunschweig (Technische Universität). Zugleich ist der Inkubator eingebunden in das Quantum Valley Lower Saxony (QVLS). (Ansprechpartner: Nicolas Spethmann, 0531 592-2009, nicolas.spethmann@ptb.de)

Hackersichere Datenverbindung

Die bestehende Glasfaserverbindung für Zeit- und Frequenzübertragung zwischen der PTB und der Leibniz Universität Hannover wird zu einer Teststrecke für Quantenkommunikation ausgebaut. Das von der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) mit 1,5 Millionen Euro geförderte Projekt InterSync etabliert eine abhörsichere Datenverbindung zwischen den beiden mehr als 70 Kilometer entfernten Einrichtungen. Ein Team von Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erforscht und demonstriert dafür neue, prä-

zise Zeitsynchronisations-Methoden speziell für den Einsatz in Quantennetzwerken und der Quantenkryptografie. Das Projekt wird von der Leibniz Universität koordiniert. (PTB-Ansprechpartner: Stefan Kück, 0531 592-4010, stefan.kueck@ptb.de)

15 Millionen Euro für Quantentechnologie

Bis zu 15 Millionen Euro des Bundes werden in den kommenden drei Jahren in die niedersächsische Quantentechnologie fließen. Sogenannte QVLS-iLabs-Labore sollen die Forschungsarbeit mit der Wirtschaft verknüpfen. Die Entwicklerinnen und Entwickler der TU Braunschweig, der Leibniz Universität Hannover und der PTB wollen bis 2025 einen Quantencomputer in Betrieb nehmen.

Standards für Biopharmazeutika

Seit dem 1. Juni arbeiten das Braunschweiger Zentrum für Systembiologie (BRICS) der TU Braunschweig und die PTB in Braunschweig offiziell zusammen. Erforscht werden sollen weltweit geltende, objektive Maßstäbe – Einheiten, Grenzwerte und Messmethoden – für sogenannte Biologics (Biopharmazeutika). Dies nützt etwa der Cholesterin-Diagnostik oder der Insulintherapie. Beteiligt sind auch das Helmholtz-Zentrum für Infektionsforschung (HZI) und das Leibniz-Institut DSMZ – Deutsche Sammlung von Mikroorganismen und Zellkulturen. (Ansprechpartner: Gavin O'Connor, 0531 592-3200, gavin.oconnor@ptb.de)

Impressum

PTB-News 3/2022, deutsche Ausgabe, September 2022, 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 Käbert, 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 Klimaschutz.