

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

### Neues EUV-Reflektometer

Charakterisierung optischer Oberflächen, kontaminationsfrei und mit hoher Positioniergenauigkeit **2**

### Digitale Zulassung für Geldspielgeräte

Modernisiertes und beschleunigtes Zulassungsverfahren **3**

### Mehr Rauschen als erwartet

Begrenzung der Empfindlichkeit von Interferometern und ultrastabilen Lasern **3**

### Flexibles Josephson-Metrologiesystem

Quantenbasierte Erzeugung und Messung elektrischer Spannungssignale **4**

### Geochronologische „Uhr“ neu justiert

Genaue Bestimmung der Halbwertszeit von Kalium-40 **5**

### Was geht auf eine Kuhhaut?

Oberflächenvermessung von „natürlichen Objekten“ im Dienst des Umweltschutzes **6**

## TECHNOLOGIETRANSFER

Kryostate für ultraniedrige Magnetfelder **7**

Abbe-Fehler-Korrektur **7**

Einzelphotonen-Flächendetektor **7**

## VERSCHIEDENES

Auszeichnungen **8**

Schlüsselkomponenten für die

Quantentechnologie **8**

Software Guide überarbeitet **8**

Gipfeltreffen der Metrologie **8**

# „Extra dry“ – Wie trocken kann ein Gas werden?

## Optischer Referenzanalysator für Feuchtespuren in Gasen

### Besonders interessant für

- Hersteller von Spezial- und Reinstgasen
- Halbleiterhersteller/Halbleiterindustrie
- Wasserstoff- und Energiegaswirtschaft
- akkreditierte Kalibrierlabore für Gasfeuchte, Referenz- und Analyselabore

**Ein in der PTB speziell für den Spurenfeuchtebereich entwickelter optischer Gassensor ermöglicht kalibrierfreie, SI-rückgeführte Messungen für Klimaforschung und Industrie.**

Gasförmiges Wasser in der Atmosphäre, das den natürlichen Treibhauseffekt dominiert, ist die mit Abstand variabelste Luftkomponente. So enthält tropische Luft bei 30 °C und 100 % relativer Feuchte mehr als 4 Vol.-% (40 000 ppm) Wasserdampf, während es in der Stratopause, der kältesten und trockensten At-

mosphärenschicht, nur noch 4 ppm sind. Viele industrielle Prozesse benötigen für konstante Produktqualität noch geringere Gasfeuchten mit hoher Stabilität: Die Energie- und Wasserstoffwirtschaft fordert Werte kleiner als 5 ppm (ISO14687), die Halbleiter- bzw. Spezialgase-Herstellung unter 0,1 ppm. Die Quantifizierung sehr niedriger (Spuren-)Feuchtegehalte in unterschiedlichsten Matrixgasen ist sehr wichtig für die Industrie und die Klimaforschung. Dafür sind hochempfindliche Analysatoren und rückgeführte Kalibriermöglichkeiten nötig.

Bislang gibt es keine rückgeführten, gasflaschenbasierten Kalibrierstandards für Spurenfeuchte-Sensoren, insbesondere für den Sub-ppm-Bereich (ähnlich wie bei anderen Reaktivgasen wie HCl, siehe PTB-News 3.2022). Die PTB entwickelt daher optische Gasstandards (OGS), also gasflaschenunabhängige,



Start eines Stratosphären-Forschungsballoons in Kiruna, Schweden. Mit an Bord: ein Langpfad-Laser-OGS zur kalibrationsfreien Bestimmung von Wasserdampf (und Methan) (Foto: V. Ebert, PTB, 2023)

instrumentelle Rückführungsmöglichkeiten auf Basis der dTDLAS-Methode (direct Tuneable Diode Laser Absorption Spectroscopy). Dieses Konzept lässt sich molekulspezifisch auf verschiedenste Zielgase anpassen und wurde bereits für CO, CO<sub>2</sub>, HCL, NH<sub>3</sub> und Wasserdampf realisiert.

Der in der PTB neu entwickelte optische Gasstandard für Wasser „TwOGaSt“ (Trace water Optical Gas Standard) zielt speziell auf den Spurenfeuchtebereich. Er basiert wie der für die Klimaforschung entwickelte Wasserdampfsensor SEALDH der PTB auf kommerziellen, robusten und kostengünstigen Diodenlasern und Detektoren aus der Telekommunikationsindustrie.

Eine 36-m-Langpfadmesszelle erweitert den H<sub>2</sub>O-Messbereich bis weit in den Sub-ppm-Bereich hinein. Die hohe Genauigkeit, die Kalibrierfreiheit und damit die Referenztauglichkeit des OGS-Konzepts wurde in der PTB für die Spurenfeuchte demonstriert und TwOGaSt per Vergleich mit dem PTB-eigenen coulometrischen Spurenfeuchte-Primärnormal erstmals zwischen 3 ppm und 350 ppm verifiziert.

Dies zeigt erneut, dass das OGS-Konzept universell, exzellent skalierbar und breit für verschiedenste Moleküle anwendbar ist. Es eröffnet gerade für reaktive bzw. sehr „klebrige“ Moleküle eine SI-rückgeführte Quantifizierung und Instrumentenkalibra-

tion, auch ohne stabile Kalibriergase. ■

#### **Ansprechpartner**

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

#### **Wissenschaftliche Veröffentlichung**

J. A. Nwaboh, S. Pratzler, V. Ebert: First metrological validation of TwOGaSt, a new, absolute dTDLAS-trace-hygrometer, using the primary, coulometric, trace water vapour generator at PTB. tm – Technisches Messen 90, 57–64 (2023)

## Neues EUV-Reflektometer

### Charakterisierung optischer Oberflächen, kontaminationsfrei und mit hoher Positioniergenauigkeit

#### **Besonders interessant für**

- Halbleiterindustrie
- EUV-Lithografie
- optische Messtechnik

Seit 25 Jahren unterstützt die PTB die Entwicklung der Lithografie mit Extrem-Ultraviolettstrahlung in Europa über die Charakterisierung optischer Beschichtungen. Seit 2019 wird diese europäische Technologie in der Massenfertigung von hochwertigen Halbleiterbauelementen eingesetzt. Die Anforderungen an die Qualität der Messungen haben sich damit noch einmal deutlich erhöht. Daher wurde jetzt ein neues, verbessertes Reflektometer in Betrieb genommen.

Die Extrem-Ultraviolett(EUV)-Lithografie ist ein optisches Verfahren bei der Arbeitswellenlänge von 13,5 Nanometern, mit dem in der industriellen Massenfertigung High-End-Halbleiterbauelemente (etwa Prozessoren) strukturiert werden. In den Belichtungsmaschinen werden Präzisions-Spiegeloptiken verwendet, deren Eigenschaften – insbesondere der Reflexionsgrad – bei der Arbeitswellenlänge hochgenau bestimmt werden müssen. Die PTB arbeitet dafür mit der deutschen und europäischen Zulieferindustrie für die EUV-Lithografie zusammen.

Um den gestiegenen Anforderungen zu genügen, wurde ein in der PTB entwickeltes, neues Reflektometer mit einem

kohlenwasserstofffreien Vakuumssystem und verbesserter Probenpositionierung in Betrieb genommen. Es ersetzt ein bereits in den ersten Jahren der Kooperationen aufgebautes System. In diesem waren Vakuum-schmierstoffe eingesetzt worden, die zu einer molekularen Kontamination der Probenoberflächen geführt und damit die Messdaten signifikant beeinflusst hatten. Dieser Einfluss hatte durch notwendige Korrekturen in der Auswertung zu erhöhten Messunsicherheiten geführt. Außerdem war die Kontamination für die inzwischen industrielle Nutzung der Optiken nicht mehr akzeptabel. Die neue Mechanik erlaubt es zudem, den Messstrahl auf großen Elementen (beispielsweise den Kollektorspiegeln für die Strahlungsquellen der Belichtungs-maschinen) besser zu positionieren: Aufgrund der örtlichen Gradienten in den Schichtsystemen ist es notwendig, auch auf großen Spiegeln mit Durchmessern von bis zu 700 mm die Messposition mit einer Genauigkeit von nur 0,1 mm zu treffen. Die einzigartige Mechanik ist die wesentli-

che Komponente und wurde im Gerätebau der PTB konstruiert und insbesondere die kritischen Teile hier auch gefertigt. Das Instrument steht seit dem ersten Quartal 2023 zur Verfügung und kann durch weitestgehend automatisierte Messprozeduren täglich rund um die Uhr genutzt werden. Pro Jahr kommen so mehr als 2500 Messstunden zusammen. ■



Das Innere des neuen EUV-Reflektometers während der Endmontage

#### **Ansprechpartner**

Andreas Fischer  
Fachbereich 7.1  
Radiometrie mit Synchrotronstrahlung  
Telefon: (030) 3481-7121  
andreas.fischer@ptb.de

# Digitale Zulassung für Geldspielgeräte

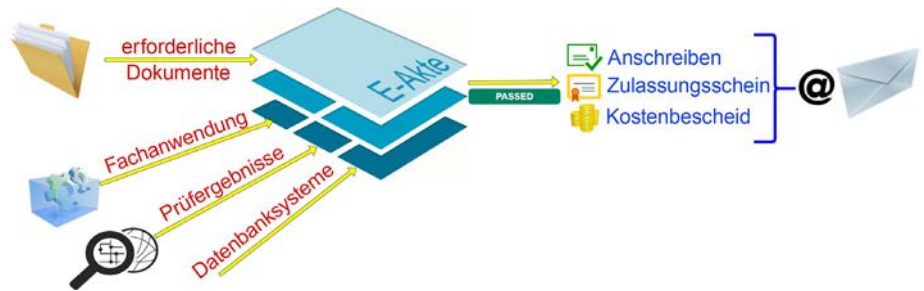
## Modernisiertes und beschleunigtes Zulassungsverfahren

**Besonders interessant für**

- Digitalisierung
- Dienstleistungen nach dem Onlinezugangsgesetz

Die Zulassung von Geldspielgeräten durch die PTB erfolgt seit Dezember 2022 komplett digital. Die Umstellung auf digitale Prozesse führt zu einer Effizienzsteigerung und Zeitersparnis im Zulassungsverfahren sowohl für die PTB als auch für die Antragsteller.

Die Zulassung von Geldspielgeräten ist eine Dienstleistung der PTB, die dem Onlinezugangsgesetz unterliegt. Bereits seit zwei Jahren können Antragsteller ihre Unterlagen zur Zulassung von Geldspielgeräten digital bei der PTB einreichen. Die Unterlagen werden anschließend nahtlos mit den Ergebnissen aus Prüfungen und Fachanwendungen in der „Elektronischen Akte“ (E-Akte) ausgewertet



Schematischer Ablauf des digitalen Zulassungsverfahrens

und verarbeitet. Bisher musste aber der Zulassungsschein in Papierform gedruckt, handschriftlich unterschrieben, gesiegelt und per Post versandt werden.

Um diesen Baustein ebenfalls zu digitalisieren, hat die PTB im Rahmen des Projekts „Einführung elektronischer Signaturen und elektronischer Siegel (Voruntersuchung)“ Konzepte und Anforderungen für die Erstellung digitaler, rechtsgültiger Ausgangsdokumente erarbeitet, die dann schließlich reversionssicher archiviert werden können. Dies ermög-

licht seit Dezember 2022 den ausschließlichen Versand digitaler Zulassungen per E-Mail mit optionalem digitalen Behördensiegel. ■

**Ansprechpartner**

Gervin Thomas  
 Fachbereich 8.5  
 Metrologische Informationstechnik  
 Telefon: (030) 3481-7264  
 gervin.thomas@ptb.de

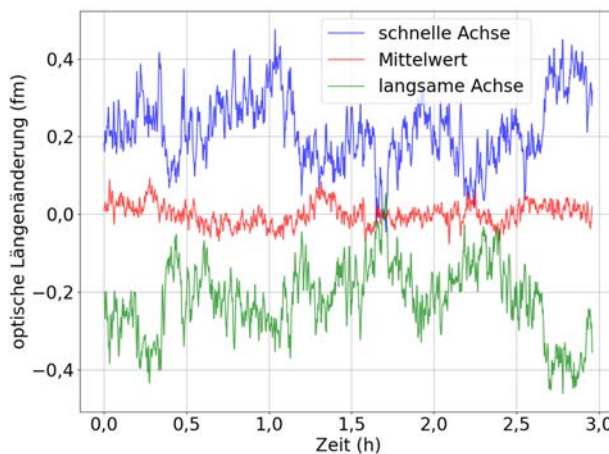
# Mehr Rauschen als erwartet

## Begrenzung der Empfindlichkeit von Interferometern und ultrastabilen Lasern

**Besonders interessant für**

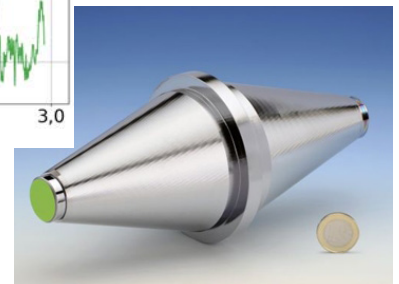
- Lasertechnologie
- Gravitationswellendetektion
- Nano-Optomechanik

Hochreflektierende Spiegel sind ein wesentlicher Baustein der präzisesten optischen Interferometer, die beispielsweise zur Detektion von Gravitationswellen oder in optischen Atomuhren (zur Reduktion der Linienbreite von Lasern) eingesetzt werden. Diese Anwendungen werden wesentlich durch das Brown'sche Rauschen begrenzt, bei dem die thermische Bewegung der Teilchen im Spiegel zu Fluktuationen der reflektierten Lichtwelle führt. Neuartige GaAs/AlGaAs-Bragg-Reflektoren lassen eine deutliche Verringerung dieses Rauschbeitrages erwarten. Doch wegen neu entdeckter Rauschprozesse ist die Verbesserung bei tiefen Temperaturen gegenüber konventionellen Spiegeln nur gering.



Die Längenfluktuationen aufgrund des Brown'schen Rauschens wachsen mit der mechanischen Dämpfung der im Interferometer verwendeten Materialien. Etablierte dielektrische Spiegelschichten weisen eine erheblich höhere Dämpfung als die übrigen verwendeten Materialien auf. Daher wird von Spiegelschichten aus neuartigen Materialien mit kleiner Dämpfung

Die starke Antikorrelation der Fluktuationen einer Spiegeloberfläche für Licht mit Polarisation entlang der schnellen und langsamen Achsen der kristallinen Spiegelschicht ist deutlich sichtbar. Ihr Mittelwert zeigt zwar deutlich verringertes Rauschen, das aber noch über dem erwarteten Brown'schen Rauschniveau liegt. Das Foto zeigt den für die Messungen verwendeten Siliziumresonator.



(etwa einkristallinen GaAs/AlGaAs-Bragg-Reflektoren) eine deutliche Reduktion dieser Längenfluktuationen erwartet.

In einer Zusammenarbeit zwischen JILA (Boulder, USA) und PTB wurden

diese Spiegel für eine Wellenlänge von 1,5 µm in kryogenen optischen Resonatoren bei Temperaturen von 124 K, 16 K und 4 K getestet. Als Abstandshalter wurde einkristallines Silizium verwendet. Mit diesen Systemen konnten technische Rauscheinflüsse so weit reduziert werden, dass nur noch das Brown'sche Rauschen der konventionellen Spiegel die Längen- und Frequenzstabilität des Resonators begrenzen dürfte. Vergleichbare Systeme mit konventionellen dielektrischen Spiegelschichten werden bereits zur Frequenzstabilisierung der zurzeit besten Laser eingesetzt.

Die Verringerung des Brown'schen Rauschens konnte zwar bei den neuartigen

kristallinen Spiegeln bestätigt werden, allerdings wurden andere, unerwartet hohe Fluktuationen beobachtet. Diese entgegengesetzten, stark antikorrelierten Schwankungen der beiden Polarisations-eigenmoden der Resonatoren ließen sich auf Fluktuationen der intrinsischen Doppelbrechung dieser Spiegelschichten zurückführen. Werden die Fluktuationen der beiden Moden gemittelt, reduziert sich das Rauschen zwar, es liegt allerdings immer noch deutlich über den Brown'schen Fluktuationen der neuartigen Spiegelschichten.

Die physikalischen Ursachen für die beiden neuen Rauschprozesse sind noch unbekannt. Erste Anzeichen weisen auf

die Halbleitereigenschaften der Beschichtungen hin. ■

#### Ansprechpartner

Uwe Sterr  
Fachbereich 4.3  
Quantenoptik und Längeneinheit  
Telefon: (0531) 592-4310  
uwe.sterr@ptb.de

#### Wissenschaftliche Veröffentlichung

D. Kedar, J. Yu, E. Oelker, A. Staron, W. R. Milner, J. M. Robinson, T. Legero, F. Riehle, U. Sterr, J. Ye: Frequency stability of cryogenic silicon cavities with semiconductor crystalline coatings. *Optica*, 10, 464–470 (2023)

## Flexibles Josephson-Metrologiesystem

### Quantenbasierte Erzeugung und Messung elektrischer Spannungssignale

#### Besonders interessant für

- Kalibrierlaboratorien
- Metrologieinstitute
- Elektrische Quantenmetrologie

In einer Industriekooperation hat die PTB ein neuartiges Metrologiesystem für die quantenbasierte Erzeugung und Messung elektrischer Spannungssignale entwickelt. Es basiert auf einem pulsgetriebenen Josephson-Spannungsnormale (Josephson-Arbitrary-Waveform-Synthesizer, JAWS) und ist für vielfältige Anwendungen konzipiert und einsetzbar. Das System kann nicht nur als quantenbasierter Spannungsgenerator, sondern auch als höchstgenaues Messgerät für elektrische Gleichspannungen und für Wechselspannungssignale eingesetzt werden. Ein Prototyp wurde in der PTB für Signalfrequenzen bis 100 kHz erfolgreich getestet.

Josephson-Spannungsnormale basierend auf JAWS ermöglichen es, elektrische Spannungen mit beliebigen und spektral reinen Wellenformen „quantengenau“ zu erzeugen. Damit erschließt sich deren Einsatz für eine Vielzahl messtechnischer Anwendungen. Metrologieinstitute wie die PTB setzen JAWS bereits in einem weiten Frequenzbereich von wenigen Herz bis zu etwa 1 MHz erfolgreich ein, beispielsweise als Referenz für Wechselspannungen, für

den Aufbau neuartiger anwenderfreundlicher Impedanz-Messbrücken und zur Kalibrierung von Rauschverstärkern für das „elektronische Kelvin“.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz geförderten Technologietransferprojekts im Rahmen des Förderprogramms „TransMeT“ entwickelt die PTB zusammen mit zwei Industriepartnern ein auf JAWS ba-

sierendes neuartiges Produkt: Die JAWS-Source-Measurement-Unit (JAWS-SMU) kann nicht nur quantengenaue Spannungen erzeugen (Source-Betrieb), sondern im Measurement-Modus auch als höchstgenaues Messgerät für elektrische Gleich- und Wechselspannungen (Wellenformen) eingesetzt werden. Im Source-Betrieb können Messgeräte direkt durch das Anlegen einer wohldefinierten Spannung



Der Prototyp des neuen JAWS-Metrologiesystems

mit Genauigkeiten im nV/V-Bereich kalibriert werden. So wurden zum Beispiel das Linearitätsverhalten von Voltmetern für Gleichspannungen von 1 nV bis 100 mV vermessen und die Eigenschaften von Analog-Digital-Umsetzern mit Sinuswellen bis 100 kHz charakterisiert. Da das System zudem die Möglichkeit bietet, Signale mit genau definierter Phase zu erzeugen, kann es auch zur Kalibrierung von Phasennormalen eingesetzt werden. Im Measurement-Betrieb wird das Spannungssignal einer Quelle mittels JAWS kompensiert und die kleine Restspannung mit einem Nulldetektor gemessen. Durch den Bezug auf das Quantennormal können innerhalb von Minuten relative Messunsicherheiten im Bereich von 10 nV/V

erreicht werden.

Da elektrische Quantennormale aufgrund ihrer praktischen Vorteile gegenüber konventionellen Systemen auch für industrielle Anwendungen attraktiv sind, etwa in Kalibrierlaboratorien, wurde die JAWS-SMU auch für den zuverlässigen Betrieb in „rauen“ Umgebungen konzipiert. Ein Prototyp wurde in der PTB bereits zur Demonstration von Präzisionsmessungen mit effektiven Ausgangsspannungen bis 100 mV eingesetzt. Im Rahmen von Vor-Ort-Tests im akkreditierten Kalibrierlabor des Projektpartners esz AG wird der Prototyp im nächsten Schritt für den praktischen Gebrauch optimiert und dann zu einem komplett automatisierten, anwenderfreundlichen

Produkt weiterentwickelt. Die Kommerzialisierung wird vom Gerätehersteller und Projektpartner Supracon AG übernommen. Perspektivisch ist eine Erhöhung der Ausgangsamplituden auf 1 V geplant. ■

**Ansprechpartner**

Ralf Behr  
 Fachbereich 2.6  
 Elektrische Quantenmetrologie  
 Telefon: (0531) 592-2630  
 ralf.behr@ptb.de

**Wissenschaftliche Veröffentlichung**

J. Herick, R. Behr, O. Kieler, L. Palafox:  
 Development of JAWS-SMU. Conference on Precision Electromagnetic Measurements Digest (CPEM 2022), 489–490 (2022)

# Geochronologische „Uhr“ neu justiert

## Genau Bestimmung der Halbwertszeit von Kalium-40

**Besonders interessant für**

- Geochronologie
- Geowissenschaften

In der Geochronologie, etwa bei der Altersbestimmung von Gesteinen, gilt das radioaktive Kalium-40 als eines der wichtigsten Werkzeuge. Dafür müssen seine Halbwertszeit und weitere Zerfallsdaten möglichst genau bekannt sein. Sie wurden in aufwendigen Experimenten neu bestimmt.

Bei der Altersbestimmung mithilfe radioaktiver Isotope nutzt man ihren kontinuierlichen Zerfall. Kalium-40 zerfällt sowohl in Calcium-40 als auch in Argon-40 und ermöglicht damit gleich mehrere Möglichkeiten, das Alter eines Gesteins zu bestimmen. Sofern das Gestein einst flüssig war, kann der Zeitpunkt der Erstarrung aus dem Verhältnis von Kalium-40 und Argon-40 berechnet werden. Wissenschaftler nutzen oft die sogenannte Argon-Argon-Methode, bei der das zu untersuchende Gestein zunächst mit schnellen Neutronen bestrahlt wird, wodurch Kalium-39-Kerne in Argon-39 umgewandelt werden. Damit sind sehr genaue Datierungen möglich. Die Genauigkeit aller Datierungen, die auf Kalium-40 basieren, hängt jedoch von der Kenntnis der partiellen Halbwertszeiten ab, die sich aus der totalen Halbwertszeit und den

Wahrscheinlichkeiten für die Zerfälle zum Argon-40 bzw. zum Calcium-40 ergeben.

Bereits 2004 hatte die PTB die Halbwertszeit von Kalium-40 ermittelt, wobei sie die Aktivität über Flüssigszintillationszählung bestimmte. Dabei wurden Kaliumsalze mit natürlicher Isotopenzusammensetzung verwendet, die nur wenig Kalium-40 aufwiesen. Daher wurden nur kleine Zählraten erreicht. Das Experiment der PTB wurde von vielen Wissenschaftlern als genaueste Halbwertszeitbestimmung von Kalium-40 via Aktivitätsmes-

sung angesehen. In der Geochronologie kam man jedoch teilweise mithilfe von Altersvergleichen zu etwas anderen Ergebnissen. Dafür wurden beispielsweise Gesteine genutzt, deren Alter durch die Uran-Blei-Methode ermittelt worden war.

Gemeinsam mit Partnerinstitutionen hat die PTB nun eine sehr umfangreiche Experimentreihe durchgeführt. Dabei wurden zwei Lösungen verwendet, in denen Kalium-40 angereichert ist, sodass der Anteil um etwa einen Faktor 265 höher ist als in natürlich vorkommenden



Flüssigszintillationsproben auf der Karlsruher Nuklidkarte mit einem (veralteten) Wert der Kalium-40 Halbwertszeit

Materialien. Bei einer der Lösungen wurde an der Australian National University (ANU) die Anzahl der Kalium-40-Kerne mittels Massenspektrometrie sehr genau bestimmt. Die spezifische Aktivität wurde erneut mithilfe von Flüssigszintillationszählern gemessen, wobei diesmal zwei unterschiedliche Messmethoden verwendet wurden. Sie lieferten übereinstimmende Ergebnisse. Die Kombination aus spezifischer Aktivität und der mittels Massenspektrometrie bestimmten Anzahl der K-40-Kerne ergibt eine Halbwertszeit von

1,2536(27) Milliarden Jahren. Auch die Wahrscheinlichkeiten für die Zerfälle zum Argon-40 und zum Calcium-40 wurden neu bestimmt. Mit diesen Zerfallsdaten lassen sich die Messergebnisse der früheren PTB-Veröffentlichung mit der neuen Messung sowie mit den Ergebnissen der Geochronologen in Einklang bringen.

Dank der neuen Bestimmung der Kalium-40-Zerfallsdaten werden Datierungen von terrestrischen und extraterrestrischen Gesteinen von nun an auf einer solideren Basis stehen. ■

#### Ansprechpartner

Karsten Kossert  
PTB-Fachbereich 6.1  
Radioaktivität  
Telefon: (0531) 592-6140  
karsten.kossert@ptb.de

#### Wissenschaftliche Veröffentlichung

K. Kossert, Y. Amelin, D. Arnold, R. Merle, X. Mougeot, M. Schmiedel, D. Zapata: Activity standardization of two enriched <sup>40</sup>K solutions for the determination of decay scheme parameters and the half-life. Applied Radiation and Isotopes 188, 110362 (2022)

## Was geht auf eine Kuhhaut?

### Oberflächenvermessung von „natürlichen Objekten“ im Dienst des Umweltschutzes

#### Besonders interessant für

- dimensionelle Metrologie
- Biowissenschaften

**In der PTB wurde die Oberflächengröße eines lebensgroßen Kuhmodells ermittelt. Damit wurden die Erfahrungen bei der dimensionellen Vermessung von natürlichem bzw. naturnahem Material erweitert, was zukünftigen metrologischen Herausforderungen zugutekommt.**

Umweltschutz-Themen werden in der Metrologie immer wichtiger; immer öfter trifft Physik auf Themen der Biologie oder anderer Lebenswissenschaften. Diese Themen sind aber nicht ganz neu: Schon seit Langem überprüft die PTB im Rahmen des Mess- und Eichgesetzes Holzvermessungsanlagen der Industrie auf ihre Messrichtigkeit. Als Referenzverfahren nutzt sie dafür ein modernes 3-D-Scansystem und eine selbstentwickelte Spezialsoftware.

Diese Technik lässt sich auch für anderes biologisches Material verwenden. Eine Herausforderung ist die unregelmäßige Form des biologischen Materials. Diese Erfahrungen mit kompliziert geformten Messobjekten setzte die PTB bei einem speziellen Auftrag ein: der Vermessung eines lebensgroßen Modells einer Milchkuh aus Glasfaserverbundmaterial für das Institut für Anwendungstechnik im Pflanzenschutz des Julius-Kühn-Instituts Braunschweig (JKI). Es galt, einen kalibrierten Sollwert der Oberfläche zu ermitteln. Ziel war eine „Referenzkuh“ für Ver-

suche zum Benetzungsgrad: Im Rahmen eines Forschungsprojektes mit der Christian-Albrechts-Universität Kiel wollte das JKI ermitteln, wie verträglich ein neues Mittel ist, das im Kuhstall versprüht werden kann, um die Ammoniak-Emissionen zu reduzieren.

Inzwischen ist die Referenzkuh fertig und steht im Versuchsstall des JKI. Ihre Oberfläche ist 5,564 m<sup>2</sup> groß. Um diesen Wert zu ermitteln, waren Klebepunkte auf der Oberfläche verteilt worden. Rundum verteilte kodierte Markierungen und zwei kalibrierte Maßstäbe sorgten für die metrologische Rückführung. Anschließend wurden mit einer Kamera samt speziellem Objektiv einige Dutzend Fotografien aus möglichst vielen verschiedenen Positionen angefertigt. Diese Bilder ordnete die Vermessungssoftware anhand der von ihr erkannten Punktmarken, Markenkreuze und Maßstäbe auf dem Bildschirm originalgetreu an. Dann folgte das eigentliche Digitalisieren der Oberfläche mittels eines hochgenauen Streifenprojektionscanners. In einem weiteren Schritt wurde der 3D-Scanner für Längen und

Durchmesser mittels kalibrierter Prüfkörper rückgeführt. Die Messunsicherheit lag bei etwa 0,5 mm.

Damit hat die PTB ihre Erfahrungen mit kompliziert geformten Messobjekten erweitert, was auch für viele andere Zwecke genutzt werden kann. Denkbar ist auch die Vermessung weitaus unregelmäßigerer Objekte. ■

#### Ansprechpartner

Fabian Tomforde  
Fachbereich 5.4  
Interferometrie an Maßverkörperungen  
Telefon: (0531) 592-5453  
fabian.tomforde@ptb.de



Das mit Messpunkten versehene Kuhmodell wird mit einem Streifenscanner beleuchtet und per digitaler Kamera aus vielen verschiedenen Positionen fotografiert.

# Kryostate für ultraniedrige Magnetfelder

**Besonders interessant für**

- Kryotechnik
- Kryosensoren und Quantenmagnetismus

Kryostate sind Vorrichtungen, in denen definierte, räumlich begrenzte Bereiche bzw. Bauteile auf eine vorbestimmte, sehr niedrige Temperatur abgekühlt werden, beispielsweise unter  $-160\text{ °C}$ . Durch eine neuartige Vorrichtung zur

variablen Temperatureinstellung spezieller Durchflusskryostate auf Basis pneumatischer Motoren aus Kunststoff und weiterer Komponenten aus nicht-magnetischen Materialien können elektromagnetische Störfelder minimiert werden. Damit werden direkte, hochgenaue SQUID-Messungen schwach magnetischer Materialien ermöglicht, die mit herkömmlichen optischen Methoden oder Neutronenstreuungstechniken

nicht durchgeführt werden können. Die Kryostate sind kostengünstig und einfach in der Herstellung. (Technologieangebot 521) ■

**Vorteile**

- Messung kleinster Magnetfelder
- ultra-niedriges Hintergrundfeld
- sehr niedriger Temperaturbereich (1,5 K bis 65 K)

# Abbe-Fehler-Korrektur

**Besonders interessant für**

- Waagen-Zulassungsstellen
- Optimierung von Kibble-Waagen
- Kalibrierlaboratorien

Kibble-Waagen wiegen mittels elektromagnetischer Kraftkompensation über eine Tauchspule. Um Kibble-Waagen mit einem größeren Messbereich (von Gramm bis Kilogramm) zu kalibrieren, werden optische Methoden benutzt. Ein neues PTB-Verfahren ermöglicht die

Korrektur dabei auftretender Fehler, die durch Verkippung von Spiegeln auftreten – der sogenannten Abbe-Fehler. Das Kalibrierverfahren wurde an der PTB getestet und ist auch für andere Anwendungen einsetzbar, bei denen der Abbe-Fehler auftritt. (Technologieangebot 538) ■



Wägezelle mit einem Wiegebereich bis zu 1 kg

**Vorteile**

- Korrektur des Abbe-Fehlers
- Kalibrierung von Kibble-Waagen
- variabler Einsatzbereich

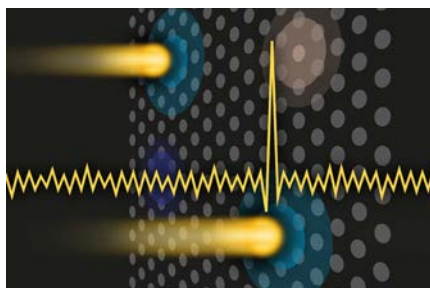
# Einzelphotonen-Flächendetektor

**Besonders interessant für**

- Quantencomputing
- experimentelle Astrophysik

Einzelphotonendetektoren werden zunehmend für Anwendungen wie Quantencomputer und -bildgebung sowie in Experimenten in Astrophysik und Materialwissenschaft benötigt. Um diese einzelnen Photonen nachzuweisen, sieht das PTB-Konzept vor, dass der Detektor aus einem flächigen Supraleiter aufgebaut wird. In ihm ist ein Lochmuster aus nicht-supraleitenden Bereichen in-

tegriert. Mit dieser Geometrie wird es ermöglicht, dass ein absorbiertes Photon



Funktionsprinzip des Einzelphotonen-Flächendetektors

in einem dieser Bereiche einen lawinenartigen Übergang in Normalleitung in dem Detektor induziert. Diese bewirkt eine Überhöhung des Stroms, und somit kann die Absorption des Photons nachgewiesen werden. ■

**Vorteile**

- polarisationsunabhängige Detektionseffizienz
- verbessertes Signal-zu-Rausch-Verhältnis
- einfacher und modularer Detektoraufbau

**Ansprechpartner für diese Technologieangebote**

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

## Auszeichnungen

**Siegfried Hackel, Shanna Schönhals,  
Lutz Doering, Benjamin Gloger**



(Foto: Andreas Rudolph)

Die Mitarbeitenden der Abteilung 1 *Mechanik und Akustik* haben den Sonderpreis der IHK Braunschweig für die Entwicklung des digitalen Kalibrierzertifikats (Digital Calibration Certificate, DCC) erhalten.

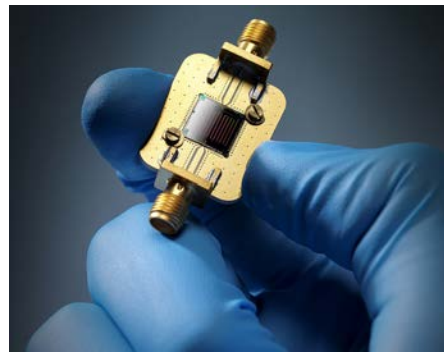
### Karl Jousten

Der Leiter des Fachbereichs 7.5. *Wärme und Vakuum* hat den Rudolf-Jaekel-Preis der Deutschen Vakuumgesellschaft für seine herausragenden, grundlegenden Arbeiten im Bereich der Vakuum-Druckmessung erhalten.



## Schlüsselkomponenten für die Quantentechnologie

Im kürzlich gestarteten Projekt „TruePA“ (Truly Resilient Quantum Limited Traveling Wave Parametric Amplifiers) entwickeln Forschende der PTB zusammen mit sieben europäischen Partnerinstitutionen die nächste Generation parametrischer Verstärker, kurz TWPAs. Wegen ihres extrem niedrigen Rauschens sind sie von Bedeutung für die Detektion schwacher elektromagnetischer Signale bei Mikrowellenfrequenzen von einigen Gigahertz. Die EU fördert das Projekt mit drei Millionen Euro über eine Laufzeit von drei Jahren. Website des Projekts: [www.truepa.eu](http://www.truepa.eu). (Ansprechpartner: Lukas Grünhaupt, Telefon: 0531 592-2420, [lukas.gruenhaupt@ptb.de](mailto:lukas.gruenhaupt@ptb.de))



Ein quantenlimitierter Mikrowellenverstärker (Foto: L. Grünhaupt)

## Software Guide überarbeitet

Der WELMEC Guide 7.2 „Software“ ist der am meisten genutzte Leitfaden der Europäischen Kooperation im gesetzlichen Messwesen (WELMEC) und liegt jetzt in einer aktualisierten und überarbeiteten Version 2023 vor. Dieser Guide bietet europäischen Notified Bodies, Herstellern von Messgeräten und den Überwachungsbehörden abgestimmte technische Interpretationen der grundlegenden Anforderungen der europäischen Messgeräterichtlinie (MID und der NAWID;31/2014/EU und 32/2014/EU). Internet: [www.welmec.org](http://www.welmec.org) (Ansprechpartner: Florian Thiel, 030 3481-7529, [florian.thiel@ptb.de](mailto:florian.thiel@ptb.de))



### Impressum

PTB-News 3/2023, deutsche Ausgabe, September 2023, 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](http://www.ptb.de) > Publikationen > PTB-News > PTB-News abonnieren

Herausgeber: Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), Braunschweig und Berlin  
Redakteure: Andreas Barthel, Alexander Gottwald, Tobias Klein, Christian Lisdat, Norbert Löwa, 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](mailto:ptbnews@ptb.de)



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

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



**IMEKO 2024**  
**XXIV World Congress**  
26–29 August 2024 | Hamburg, Germany



## Gipfeltreffen der Metrologie

„Think Metrology“ heißt es vom 26. bis 29. August 2024 auf dem Weltkongress der Internationalen Messtechnischen Konföderation (IMEKO). Er wird ein Gipfeltreffen der

weltweit führenden Metrologen. Mehr als 700 Forschende und Anwender werden über Innovationen und aktuelle Themen aus dem großen Feld der Messtechnik berichten. Ab

Oktober 2023 können Sie sich registrieren lassen und Ihr Paper einreichen. Website: <https://www.imeko2024.org/index> (Kontakt: [imeko2024@ptb.de](mailto:imeko2024@ptb.de))