

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

Vertrauen in virtuelle Durchflussmessgeräte

Unsicherheit einer Strömungssimulation berechnet **2**

Bestätigung des Äquivalenzprinzips im Orbit

PTB liefert Testmassen mit Fertigungstoleranzen im Submikrometerbereich für Weltraummission **3**

Quantengenerierte „Hoch“-Spannung

Programmierbares Josephson-Spannungsnormale bis 80 Volt **3**

KI vereinfacht die Strahlentherapie-Planung

Eine neue Methode auf der Basis neuronaler Netze hilft, schnell und genau die nötige Dosis zu bestimmen **4**

Wie effektiv arbeiten Solarmodule?

Neuer Messplatz für die Leistungsmessung von Solarmodulen **5**

Haushalts-Gaszähler für Wasserstoff geeignet

Alle Fehlergrenzen werden eingehalten **6**

TECHNOLOGIETRANSFER

Pfadstabilisierung in der Glasfaserübertragung **7**

Schnelle Drehtischkalibrierung **7**

Präzises Regelungsverfahren **7**

VERSCHIEDENES

Auszeichnungen **8**

Sprung in die Wirtschaft **8**

Netzwerk zu QT-Fortbildung **8**

Zuverlässige KI-Software **8**

Hoheitszeichen für digitale Kalibrierzertifikate **8**

Kühlung in Zeiten des Klimawandels **8**

Phantome aus dem 3D-Drucker

Neue Prozessanlage ermöglicht die additive Fertigung von Referenzobjekten mit eingebetteten Nanopartikeln

Besonders interessant für

- medizinische Bildgebung
- Referenzmaterialien
- additive Fertigung (3D-Druck)

In der PTB wurde ein System für die Synthese harzbasierter Nanokomposite entwickelt. Es gewährleistet die definierte und reproduzierbare Einstellung der gewünschten Materialzusammensetzung für den 3D-Druck medizinischer Phantome.

Medizinische und technische Modelle mit definierten Eigenschaften, sogenannte Phantome, sind in der medizinischen Bildgebung unerlässlich. In Forschungs- und Entwicklungsprojekten dienen sie als vertrauenswürdige Bezugssysteme, um neue Anwendungen zu testen oder Verfahren zu optimieren. Phantome werden auch eingesetzt, um die Einsatzfähigkeit von Bildgebungssystemen zu überprüfen, und stärken so

das Vertrauen in Messergebnisse.

Im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren bietet der 3D-Druck die Möglichkeit, nahezu ohne Einschränkungen realitätsnahe und patientenspezifische Objekte zu erzeugen. Um diese Objekte als medizinische Phantome nutzbar zu machen, muss das Material je nach Bildgebungsverfahren spezifische physikalische Eigenschaften aufweisen. Hierzu können Nanopartikel in definierten Mengen dem 3D-Druckmaterial vor der Verarbeitung zugeführt werden.

Die Herausforderungen bei der Herstellung solcher Nanokomposite sind jedoch groß, insbesondere was die gleichmäßige Verteilung der Nanopartikel betrifft. Die PTB hat ein System für die reproduzierbare Synthese harzbasierter Nanokomposite entwickelt und zum Patent angemeldet: ConELiA (Continuous Energetic Liquid Agitation System). Es gewährleistet eine definierte und repro-



Das Hand-Phantom (rechts) fluoresziert bei Bestrahlung mit Licht einer bestimmten Wellenlänge. Es wird von der PTB für die Weiterentwicklung medizinischer Messverfahren eingesetzt, die mithilfe solcher Fluoreszenzen etwa Rheumaherde aufdecken helfen. Das Mausphantom mit magnetischem Gefäßsystem (links) hilft Medizinern bei der Planung von Experimenten in der Magnetpartikelbildgebung.

duzierbare Einstellung der gewünschten Materialzusammensetzung. Die Homogenisierung findet in einer speziellen Ultraschall-Durchflusszelle statt, während zusätzliche Sensoren eine direkte Überwachung des Prozesses während der Herstellung erlauben. Das System kann eigenständig oder in Verbindung mit harzbasierten 3D-Druck-Anlagen verwendet werden und wird im Rahmen des B-smart Labs (Berlin Scientific Manufacturing for Research and Technology Laboratory) einem breiten Anwenderkreis zur Verfügung gestellt.

Im Rahmen eines Technologietransferprojektes wurde das Verfahren bereits zur Herstellung von langzeitstabilen homogenen Prüfkörpern aus magnetischen Referenzmaterialien eingesetzt. Diese Prüfkörper sind für die Anwendungsentwicklung in der Magnetpartikelbildung und für die Harmonisierung magnetischer Messtechnik von großer Bedeutung. Weiterhin soll mit der neuen Prozesstechnik die Herstellung von gewebeäquivalenten Phantomen für die Fluoreszenzbildgebung ermöglicht werden. ■

Ansprechpartner

Norbert Löwa
Fachbereich 8.2
Biosignale
Telefon: (030) 3481-7736
norbert.loewa@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

N. Löwa, R. Hoffmann, D. Gutkelch, O. Kosch, S. Dutz, F. Wiekhorst: A multi-purpose phantom kit for magnetic particle imaging. *Current Directions in Biomedical Engineering* 7, 319–322 (2021)

Vertrauen in virtuelle Durchflussmessgeräte

Unsicherheit einer Strömungssimulation berechnet

Besonders interessant für

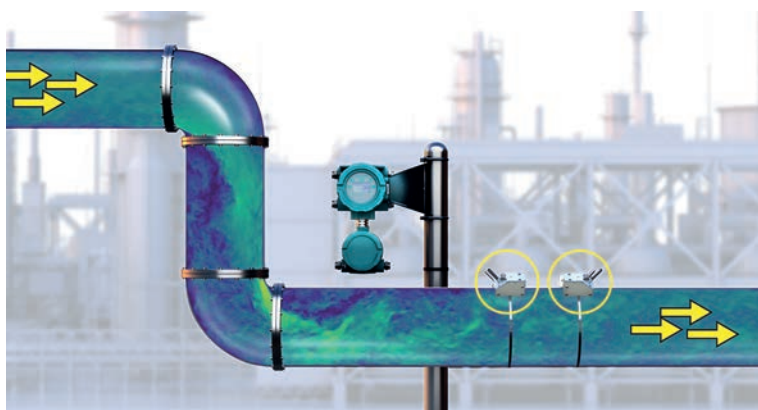
- Durchflussmetrologie
- mathematische Modellierung
- Metrologieinstitute

Im Kompetenzzentrum VirtMet wurde ein Verfahren zur Berechnung der Simulationsunsicherheit eines virtuellen Ultraschall-Durchflussmessers entwickelt, mit dessen Hilfe strömungsmechanische Kalibrierfaktoren für reale Messgeräte berechnet werden können. Die Methode basiert auf dem Vergleich realer und virtueller Messungen und ermöglicht eine kontinuierliche Bestimmung von Kalibrierfaktoren mit dazugehöriger erweiterter Unsicherheit und Konfidenzintervall.

Wenn ein realer Messvorgang durch

Simulationen abgebildet wird, kann dies als „virtuelle Messung“ bezeichnet werden. Aus metrologischer Sicht wirft das die Frage auf, wie Vertrauen in solche virtuellen Messungen gewährleistet werden kann. Obwohl in den letzten Jahrzehnten Methoden zur Abschätzung diverser Fehlerquellen in Simulationen entwickelt wurden, existiert bisher keine anerkannte Strategie zur Erfüllung metrologischer Anforderungen für virtuelle Messgeräte. Jetzt wurde ein Verfahren zur Berechnung der Simulationsunsicherheit eines virtuellen Ultraschall-Clamp-On-Messgerätes zur Durchflussmessung entwickelt.

Ultraschall-Clamp-On-Messgeräte haben sich zu einer etablierten Technologie für Durchflussmessungen entwickelt. Unter realen, nicht-idealen Strömungsbedingungen nach Krümmern, Ventilen



Zwei Ultraschall-Clamp-On-Durchflussmesser (gelbe Kreise) stromabwärts einer Rohrkrümmung-Konfiguration. Die Strömungsentwicklung im Rohr und die strömungsmechanischen Kalibrierfaktoren des Geräts werden auf Grundlage einer „virtuellen Messung“ modelliert.

etc. müssen die Messwerte von Durchflussmessern mit strömungsmechanischen Kalibrierfaktoren korrigiert werden. Aufgrund der Vielfalt relevanter Strömungskonfigurationen

und Einbaulagen wird die experimentelle Bestimmung dieser Faktoren durch Simulationen ergänzt. Der Ansatz zur Bestimmung der Simulationsunsicherheit basiert – wie bei realen Unsicherheiten – auf der Verwendung einer erweiterten Unsicherheit mit dazugehörigem Konfidenzintervall. Die Abweichungen der Simulation werden an diskreten Messpositionen bestimmt und daraus eine kontinuierliche, also für alle Einbaupositionen des Messgerätes gültige Simulationsunsicherheit abgeleitet. Das neuentwickelte Verfahren ermöglicht eine nach metrologischen Standards gerechtfertigte Substitution experimenteller Daten durch virtuelle Messungen. Die Methodik ist nicht nur auf bestimmte Geräte und Strömungskonfigurationen bei Durchflussmessungen beschränkt, sondern verallgemeinert auch auf andere Fachgebiete der Metrologie übertragbar, um hier das Vertrauen in virtuelle Messgeräte zu erhöhen. ■

Ansprechpartner

Martin Straka
Fachbereich 7.5
Wärme und Vakuum
Telefon: (030) 3481-7769
martin.straka@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

M. Straka, A. Weissenbrunner, C. Koglin, C. Höhne, S. Schmelter: Simulation uncertainty for a virtual ultrasonic flow meter. *Metrology* 2, 335–359 (2022)

Bestätigung des Äquivalenzprinzips im Orbit

PTB liefert Testmassen mit Fertigungstoleranzen im Submikrometerbereich für Weltraummission

Besonders interessant für

- Physikalische Grundlagenforschung

Mit vier Testmassen in Form von Hohlzylindern, die in der PTB gefertigt worden waren, konnte im Rahmen der Weltraummission MICROSCOPE das sogenannte Äquivalenzprinzip mit bisher unerreichter Präzision bestätigt werden.

Seit den Zeiten von Galileo Galilei und Isaac Newton gilt es als eines der Fundamente der Physik: das Äquivalenzprinzip. Es besagt in seiner schwachen Definition, dass nur die Masse eines Körpers bestimmt, wie ein homogenes Gravitationsfeld auf ihn wirkt – egal, welche Form der Körper besitzt, aus welchen chemischen Elementen er aufgebaut ist oder an welchem Ort er sich zu einer beliebigen Zeit befindet. Gravitations- und Trägheitskräfte sind also äquivalent. Ihre Wirkung kann experimentell nicht unterschieden werden. Schon Albert Einstein betrachtete dies als ein mögliches Grundprinzip einer Theorie der Gravitation, und diese Überlegungen führten ihn zur Allgemeinen Relativitätstheorie.

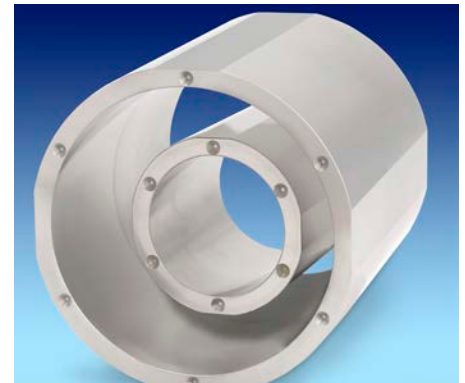
Mathematisch lässt sich das Äquivalenzprinzip durch das sogenannte Eötvös-Verhältnis η darstellen. Es beschreibt für zwei unterschiedliche Massen die Differenz ihrer Fallbeschleunigungen dividiert durch deren Summe. Wenn das Äquivalenzprinzip erfüllt ist, ergibt sich $\eta = 0$. Selbst geringe Abweichungen von diesem Wert würden auf eine Verletzung des Äquivalenzprinzips hinweisen. Da-

her wird das Eötvös-Verhältnis seit langer Zeit immer genauer gemessen, um eine solche Verletzung nachweisen oder ausschließen zu können.

Zunächst wurden klassische, mechanische (Torsions-) Pendel genutzt (Isaac Newton, Friedrich W. Bessel: $\eta < 10^{-3}$, Loránd Eötvös: $\eta < 10^{-9}$). Im Rahmen der Apollo-Missionen wurden auf dem Mond Spiegel aufgestellt, die es erlauben, aus den Photonenlaufzeiten auf der Strecke Erde–Mond–Erde das Eötvös-Verhältnis zu bestimmen (Irwin Shapiro: $\eta < 10^{-12}$). Die genauesten bisherigen Messungen mit $\eta < 10^{-13}$ wurden von einer Gruppe um den Gravitationsphysiker Eric G. Adelberger durchgeführt.

Um eine noch kleinere Obergrenze für das Eötvös-Verhältnis bestimmen zu können, wurde die Weltraum-Mission MICROSCOPE ins Leben gerufen. An Bord eines Minisatelliten aus der Myriade-Serie wurden Experimente mit Akzelerometern durchgeführt, die die Beschleunigung von Testmassen im Schwerfeld der Erde messen. Die insgesamt vier Testmassen in Form von Hohlzylindern wurden vom Wissenschaftlichen Gerätebau der PTB gefertigt. Durch aufwendige Weiterentwicklungen der genutzten Herstellungs- und Messverfahren konnten Fertigungstoleranzen im Sub-Mikrometerbereich erzielt werden, die für die angestrebte Genauigkeit der Messungen erforderlich waren.

In der sogenannten heterogenen Konfiguration wurde ein Akzelerometer mit zwei Testmassen aus verschiedenen Materialien bestückt, mit denen das Äqui-



Die Testmassen bestehen meist aus einer Platin-Rhodium-Legierung. Lediglich die äußere Testmasse in der heterogenen Konfiguration wurde aus Titan gefertigt.

valenzprinzip nachgewiesen werden konnte. Systematische und instrumentenspezifische Einflüsse wurden durch ein zweites Akzelerometer eliminiert, das mit zwei Testmassen aus dem gleichen Material homogen konfiguriert wurde. Auf diese Weise war es möglich, die Obergrenze des Eötvös-Verhältnisses in bisher unerreichter Präzision zu messen: $\eta < 1,5 \cdot 10^{-15}$ ■

Ansprechpartner

Daniel Hagedorn
Fachbereich 5.5
Wissenschaftlicher Gerätebau
Telefon: (0531) 592-5540
daniel.hagedorn@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

P. Touboul, G. Metris, M. Rodrigues, D. Hagedorn, F. Löffler et. al.: MICROSCOPE Mission: Final results of the test of the equivalence principle. *Physical Review Letters* 129, 1–8 (2022)

Quantengenerierte „Hoch“-Spannung

Programmierbares Josephson-Spannungsnormale bis 80 Volt

Besonders interessant für

- Metrologieinstitute
- Elektrische Quantenmetrologie
- Grundlagenforschung

Programmierbare Josephson-Span-

nungsnormale sind elektrische Quantennormale bestehend aus Serienschaltungen (Arrays) von einigen Tausend Josephson-Kontakten. Sie ermöglichen die Erzeugung von Spannungen von typischerweise bis zu etwa 10 Volt mit

fundamentaler Genauigkeit und werden hauptsächlich von nationalen Metrologieinstituten zur Realisierung der elektrischen Spannungseinheit genutzt. Nun ist es der PTB gelungen, mit einem Josephson-Spannungsnormale weltweit

erstmals Ausgangsspannungen bis zu 80 Volt zu realisieren.

Motiviert wurde diese Entwicklung durch die Anforderungen eines Experiments zur atomphysikalischen Grundlagenforschung des Max-Planck-Instituts für Kernphysik (MPIK) in Heidelberg. Hier werden ultrastabile und rauscharme Spannungsquellen zum Betrieb von Penningfallen benötigt, mit denen Ionen mittels magnetischer und elektrostatischer Felder eingefangen und gespeichert werden. Das Massenspektrometer PENTATRAP des MPIK dient der Bestimmung von Massenverhältnissen schwerer, lang-

lebiger und hochgeladener Ionen. Zur Erzeugung der elektrostatischen Felder in diesem Messaufbau mit fünf Penningfallen wurde bislang eine selbstentwickelte konventionelle Spannungsquelle mit Ausgangsspannungen bis 90 Volt eingesetzt. Trotz der hohen zeitlichen Stabilität der Spannungsquelle begrenzt diese die erreichbare relative Messunsicherheit von etwa 10^{-11} . Zur weiteren Verbesserung entwickeln MPIK und PTB in einer Kooperation eine höchststabile Quanten-Spannungsquelle basierend auf dem Josephson-Spannungsnormale. Dies erfordert jedoch eine erhebliche Steigerung der typischerweise mit Josephson-Span-

nungsnormalen erreichbaren Ausgangsspannungen, was wiederum mit besonderen Herausforderungen an die Verschaltung der Arrays in einem möglichst kompakten System sowie an deren Strom- und Mikrowellenversorgung mit sich bringt.

In der PTB wurde nun durch eine Reihenschaltung von vier Josephson-

Arrays mit je 20 Volt die Erzeugung einer Ausgangsspannung von rund 80 Volt erreicht. Dieser Spannungspegel stellt einen Weltrekord im Bereich der Josephson-Spannungsnormale dar. In ersten Untersuchungen zur Validierung des Systems wurden in der PTB jeweils zwei in Reihe betriebene Arrays miteinander verglichen und eine relative Übereinstimmung von besser als 10^{-9} gefunden.

Ein erster Einsatz der Josephson-Spannungsquelle im PENTATRAP-Experiment bei einer Spannung von etwa 22 Volt hat bereits eine Verbesserung der zeitlichen Stabilität um den Faktor drei ergeben. Eine weitere Erhöhung des Spannungspegels auf bis zu 80 Volt ist auch hier geplant. Zudem wird gegenwärtig eine Elektronik entwickelt, die ein einfaches, programmierbares Einstellen der Ausgangsspannung über den gesamten Spannungsbereich ermöglicht. ■

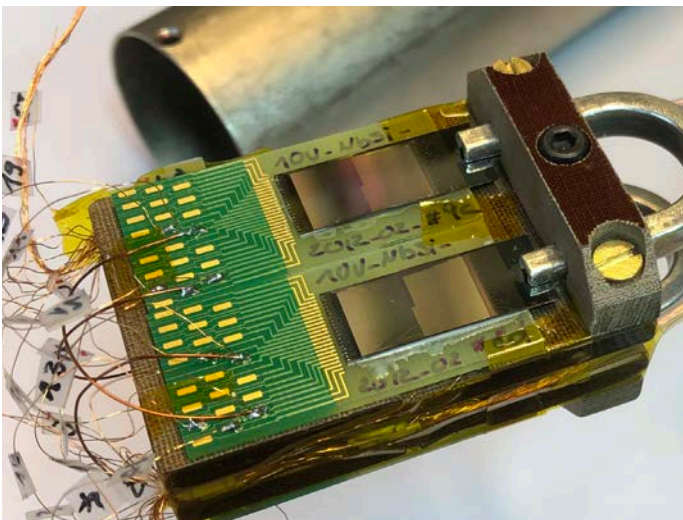


Foto zweier 20-V-Josephson-Arrays montiert auf einem Probenhalter. Zwei weitere Arrays sind auf der Unterseite montiert.

Ansprechpartner

Luis Palafox
Fachbereich 2.6
Elektrische Quantenmetrologie
Telefon: (0531) 592-2140
luis.palafox@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung:

L. Palafox, R. Behr, F. Müller: Programmable Josephson voltage standard up to 80 V. 2022 Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM), Wellington, Neuseeland, Dezember 2022, 493-494

KI vereinfacht die Strahlentherapie-Planung

Eine neue Methode auf der Basis neuronaler Netze hilft, schnell und genau die nötige Dosis zu bestimmen

Besonders interessant für

- Medizophysiker
- Ärztinnen und Ärzte

Für die Strahlentherapie müssen vielfältige Basisdaten bestimmt werden, unter anderem zahlreiche Dosisverteilungen. Mithilfe von künstlicher Intelligenz (maschinellern Lernen) lässt sich die aufwendige Bestimmung der Dosisansprechfunktion eines Detektors ersetzen. Die neue Korrekturmethode aus der PTB hat das Potenzial, routinemäßig in Kliniken eingesetzt werden zu können.

Je genauer die Bestrahlungsplanung ist, desto besser lässt sich genau die Dosis ermitteln, die einen Tumor möglichst effektiv bekämpft, aber die Patientin oder den Patienten möglichst schonen. In diese Planung gehen diverse Messungen ein. Die Anforderungen an diese Messungen und an die Dosimetriesysteme steigen mit der Einführung immer mehr moderner, hochkomplexer Therapietechniken. Messungen zur Bestimmung der Basisdaten, die mit verschiedenen Detektoren in Wasserphantomen durchgeführt werden, weichen oft gravierend von den dosimetrischen Referenzbedingungen ab, sodass zur Ermittlung der Dosis teilweise um-

fangreiche Korrekturen am gemessenen Detektorsignal notwendig werden.

Die stereotaktische Bestrahlung ist eine hochpräzise strahlentherapeutische Methode, um kleine Tumore oder Metastasen hocheffektiv zu behandeln. Mit ihr können hohe Einzeldosen gezielt appliziert und Risikoorgane maximal geschont werden. Doch die verwendeten sehr kleinen Felder machen genaue Messungen der Dosisprofile sehr anspruchsvoll. Darüber hinaus führt die Dosimeterprobe selbst zu Störeffekten. Das mit einem Dosimeter gemessene Signal ergibt sich mathematisch als eine Faltung des ungestörten („wahren“) Dosisprofils mit der

Dosisansprechfunktion des verwendeten Detektors. Etablierte Methoden wie die numerische oder die analytische Entfaltung erfordern eine genaue Kenntnis der Dosisansprechfunktion des Detektors, die ihrerseits schwierig zu bestimmen ist.



Bei der Bestrahlungstherapie kommt es entscheidend auf die passende Dosis an. (Abb.: Mark Kostich / Adobe Stock)

Eine neue Methode bedient sich des maschinellen Lernens: Es verwendet ein neuronales Netz für die Entfaltung des Dosisprofils. So lässt sich die aufwendige Bestimmung der Dosisansprechfunktion des Detektors umgehen und die Voraussetzung für eine routinemäßige Anwendung in den Kliniken schaffen. Im Vergleich zu den klassischen Entfaltungsmethoden zeigt die neue Methode in komplexen Photonfeldern eine überle-

gene Robustheit in Bezug auf Rauschen in den Messdaten. Darüber hinaus ist sie flexibel gegenüber einer variierenden räumlichen Auflösung der Messdaten und ermöglicht eine schnellere Profilaufstellung, was den klinischen Arbeitsablauf beschleunigt. Außerdem ist die Methode mit jedem Typ Dosimeter-sonde durchführbar. Zudem konnte gezeigt werden, dass die neuronalen Netze auch mit anderen Bestrahlungs- und Messsystemen anwendbar sind. Den Kliniken könnten somit vortrainierte Modelle neuronaler Netze bereitgestellt werden. ■

Ansprechpartner

Ralf-Peter Kapsch
 Fachbereich 6.2
 Dosimetrie für Strahlentherapie und
 Röntgendiagnostik
 Telefon: (0531) 592-6210
 ralf-peter.kapsch@ptb.de

Wie effektiv arbeiten Solarmodule?

Neuer Messplatz für die Leistungsmessung von Solarmodulen

Besonders interessant für

- Photovoltaikindustrie
- Prüf- und Kalibrierlabore

Im Photovoltaik-Kompetenzzentrum der PTB wurde ein neuer Messplatz entwickelt, mit dem sich die Leistung von Solarmodulen unter Standardtestbedingungen deutlich genauer bestimmen lässt als mit bisherigen Methoden.

Die Photovoltaik ist eine der Hauptsäulen der Energiewende hin zu einer CO₂-freien Energiegewinnung. Laut Koalitionsvertrag sollen in Deutschland bis 2030 insgesamt 200 Gigawatt PV-Leistung aufgebaut werden. Die damit verbundenen Umsätze liegen im dreistelligen Milliardenbereich, damit entspricht jedes Prozent Messunsicherheit einem finanziellen Gegenwert von rund einer Mrd. Euro. Vor diesem Hintergrund hat es sich die PTB mit dem Photovoltaik-Kompetenzzentrum zum Ziel gesetzt, die Rückführungskette von der Solarzelle auch auf das Solarmodul auszuweiten und metrologisch abzusichern. Sie kann damit Unsicherheiten reduzieren, die durch den Größen- und Technologiesprung von Zelle auf Modul auftreten.

Der neu aufgebaute und weltweit einzigartige Messplatz lässt eine deutlich genauere Bestimmung der Leistung von Solarmodulen unter Standardtestbedingungen zu, als dies bisherige Ansätze ermöglichen. Im Inneren des 9000 kg schweren und neun Meter hohen Solarmodultubus lassen sich Solarmodule zur Überprüfung ihres Wirkungsgrades installieren. Der Tubus wird dazu auf Schienen ins Freie gefahren und mit der offenen Seite Richtung Sonne ausgerichtet. Seine Frontöffnung kann innerhalb weniger Sekunden geöffnet und nach der Messdatenaufnahme ebenso schnell wieder verschlossen werden. So bleibt die Temperatur stabil, und es trifft praktisch keine diffuse oder vom Boden reflektierte Strahlung auf das Modul.

Der Messplatz kombiniert die Vorteile verschiedener bisheriger Labor- und Freifeldmessverfahren. Erste Messungen konnten bereits im Herbst 2022 durchgeführt werden. Neben der Bestimmung der elektrischen Parameter des Solarmoduls bei senkrechtem Lichteinfall konnte auch dessen Reflexionsverhalten durch Variation des Einfallswinkels ermittelt werden, eine wichtige Eingangsgröße für Ertragsberechnungen von Solaranlagen. Der Solarmodultubus wurde dafür der



Mit der Frontseite zur Sonne hin ausgerichteter Solarmodultubus während einer Messung

Sonne nachgeführt und das Solarmodul in 5°-Schritten von -95° bis +95° Neigungswinkel relativ zur Sonne gedreht. Die Ergebnisse der elektrischen Eigenschaften stimmten bei erster Betrachtung sehr gut mit den im Labor am Sonnensimulator ermittelten Werten überein. Die Messwerte des Reflexionsverhaltens werden im Laufe des Jahres 2023 mit anderen Laboren abgeglichen.

Der Messplatz trägt dazu bei, dass die PTB die weltweit geringste Messunsicherheit für Solarmodule anbieten kann und sich damit die Investitionssicherheit entlang der Wertschöpfungskette der Photovoltaik verbessert. ■

Ansprechpartner

Stefan Riechelmann
Fachbereich 4.5
Angewandte Radiometrie
Telefon: (0531) 592-4149
stefan.riechelmann@ptb.de

Wissenschaftliche Veröffentlichung

S. Riechelmann et. al.: Primary calibration of solar modules with direct sunlight. 39th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition, submitted

Haushalts-Gaszähler für Wasserstoff geeignet

Alle Fehlergrenzen werden eingehalten

Besonders interessant für

- Energiewirtschaft
- Hersteller von Gaszählern
- Kalibrierlaboratorien

Im Vorfeld von Pilotprojekten, bei denen Wasserstoff über das normale Erdgasnetz in Haushalte geleitet wird, hat die PTB untersucht, ob die bisher für Erdgasmengenmessung eingesetzten Geräte auch für Wasserstoff geeignet sind. Das Ergebnis zeigt, dass alle Fehlergrenzen eingehalten werden.

Um die Energieversorgungssicherheit zu gewährleisten und den Kohlenstoffdioxid-Ausstoß zu senken, wird die Nutzung und damit u. a. auch die Einspeisung von Wasserstoff in das Erdgasnetz immer wichtiger. Dabei stellt sich die Frage, ob die im Haushaltssektor in hohen Stückzahlen eingesetzten Zähler geeignet sind, um Wasserstoff-Methan-Gemische und reinen Wasserstoff entsprechend den

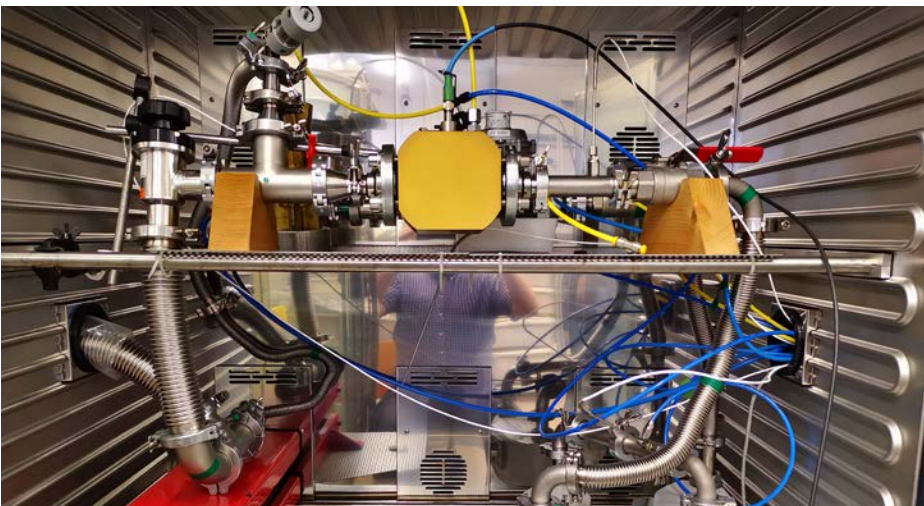
rechtlichen Vorgaben messrichtig zu erfassen.

Um eine Umstellung der öffentlichen Gasversorgung auf Wasserstoff vorzubereiten, erprobt der Deutsche Verein des Gas- und Wasserfaches im Rahmen eines Forschungsprojektes in geeigneten Netzen eine Wasserstoffeinspeisung von bis zu 20 % Wasserstoff (H₂). Dabei ist es eine wirtschaftlich bedeutende Frage, ob die bisher verbauten Balgengaszähler weiterverwendet werden können. Das ist nur möglich, wenn sie die Fehlergrenzen einhalten, also wenn sie genau genug messen. Auch die den Balgengaszählern vorgeschalteten Haushaltsdruckregler müssen bei wechselndem Durchfluss und Gaszusammensetzung zuverlässig arbeiten.

Die PTB hat insgesamt sechs neue Balgengaszähler mit zwei Haushaltsdruckregelgeräten (jeweils von verschiedenen Herstellern) in unterschiedlichen Kombinationen im Durchflussbereich von

40 l/h bis 10 m³/h auf Messrichtigkeit und Regelgüte untersucht. Da Balgengaszähler im Herstellungsprozess mit Luft kalibriert werden, wurden die Prüflinge auch mit Luft, Stickstoff und reinem Methan, dem Hauptbestandteil von Erdgas, kalibriert.

Die Ergebnisse zeigen, dass im gesamten Durchflussbereich die Fehlergrenzen der Balgengaszähler von ±1,5 % im oberen bzw. ±3 % im unteren Durchflussbereich (entsprechend der DIN EN 1359) bei Beaufschlagung sowohl mit reinem Wasserstoff als auch mit 20 % bzw. 30 % Wasserstoffanteil (Stoffmengenanteil) in Methan eingehalten werden. Hierbei wurden keine systematischen Unterschiede beobachtet. Eine Justierung der Zähler beim Herstellungsprozess kann weiterhin mit Luft erfolgen. Auch bei den Haushaltsdruckregelgeräten ist das Regelverhalten über den gesamten Durchflussbereich unabhängig von der Gasart. Die Ergebnisse und Erfahrungen gehen in ein Folgeprojekt ein, in dem u. a. für die Dauer von mindestens einer Eichfrist im Gasnetz verbaute Gewerbegaszähler in ähnlicher Weise untersucht werden. ■



Prüfaufbau zur Bestimmung der Messabweichungen von Balgengaszählern und der Regelgüte von Haushaltsdruckreglern mit verschiedenen Gasen und Gasgemischen

Ansprechpartner

Matthias Weyhe
Fachbereich 1.4
Gasmessgeräte
Telefon: (0531) 592-1334
matthias.veyhe@ptb.de

Webseite des Projektes

Untersuchung des Verhaltens von Haushaltszählern im Verbund mit Hausdruckregelgeräten bei Nutzung von H₂-beaufschlagten Gasen (DVGW-Forschungsprojekt G 202010): <https://www.dvgw.de/themen/forschung-und-innovation/forschungsprojekte/dvgw-forschungsprojekt-h2-messrichtigkeit>

Pfadstabilisierung in der Glasfaserübertragung

Besonders interessant für

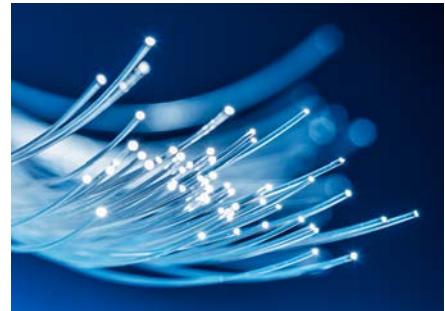
- optische Frequenzmessung
- Messung abgeleiteter Größen
- Zeitübertragungssysteme

Bei der Übertragung optischer Signale über Glasfasern mit hoher Frequenzstabilität müssen auftretende Instabilitäten in der Phase des Lichtes kompensiert werden. Die Pfadstabilisierungseinheit ermöglicht diese phasenstabile Übertragung optischer Signale über lange

Strecken. Der Aufbau ist effizient und einfach zu implementieren. Dabei kann das optische Referenzsignal vom Quellort an mehrere Zielorte verteilt werden, ohne die Übertragungsqualität zu limitieren. (Technologieangebot 534) ■

Vorteile

- Ende-zu-Ende-Pfadstabilisierung
- beliebige Skalier- und Kaskadierbarkeit
- Frequenzverteilung über lange Pfadstrecken



(Foto: volff / Adobe Stock)

Schnelle Drehtischkalibrierung

Besonders interessant für

- Hersteller von Zahnrädern
- Hersteller von Drehtischen
- Kalibrierlaboratorien
- Einsatz auf Werkzeugmaschinen mit Drehtischen

Bei der Messung von rotationssymmetrischen Werkstücken auf Koordinatenmessgeräten (KMG) kommen häufig Drehtische zur Positionierung oder Winkelmessung zum Einsatz. Mithilfe eines Kugeltellers können die Geometrieabweichungen von Drehtischen direkt auf dem KMG selbstkalibrierend in

sechs Freiheitsgraden gemessen werden. Ein neues Konzept der PTB sieht vor, die dafür benötigte Anzahl der Kugel-



Neuartiger Kugelteller mit zwölf nicht-äquidistant verteilten Kugeln für die Messung der Drehtischabweichungen in 5°-Schritten

messungen im Vergleich zum bisherigen Verfahren deutlich zu minimieren, wobei sowohl die Anzahl der Kugeln auf dem Teller als auch die Zahl der Messpositionen im KMG reduziert werden kann. Die Messunsicherheit erhöht sich bei geeigneter Auswahl der Kugel- bzw. Messpositionen dabei nur unwesentlich. (Technologieangebot 544) ■

Vorteile

- kürzere Messzeit
- kostengünstiger Aufbau und Materialeinsatz
- Einsatz direkt auf dem Messgerät ohne weitere Hilfsmittel

Präzises Regelungsverfahren

Besonders interessant für

- Hersteller von Mess- und Regelungstechnik
- Anwender von softwarebasierten Steuerungen

PID-Regler (proportional-integral-derivative controller) zur Stabilisierung einer Regelgröße sind Standard in den gebräuchlichsten Softwarepaketen zur Steuerung technischer Anlagen. Beim Rauschen eines im Regelungsprozess

ermittelten Istwerts sind PID-Regler jedoch durch Regelschwingungen limitiert. Das neue SIF-Konzept (SIF: stepwise immediate follower) ermöglicht hier deutlich kleinere Regelabweichungen. Zur Einstellung des SIF werden aus dem System bestimmbare Messwerte genutzt, die auch automatisch ermittelt werden können. Aus ihnen ergeben sich die einzustellenden optimalen Regelparameter und die erreichbare Standardabweichung der Regelgröße. SIF ist ein allge-

meines Regelungsverfahren und kann in vielen Anwendungen, in denen die Steuerung softwarebasiert ist, integriert werden. (Technologieangebot 550) ■

Vorteile

- Stabilisierung der Regelgröße bis an das Istwert-Rauschen
- keine Regelschwingungen
- kostengünstige Implementierung

Ansprechpartner für diese Technologieangebote

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

Auszeichnungen

Uwe Arz

Der Wissenschaftler im Fachbereich 2.2 *Hochfrequenz und Felder* wurde bei der 100. ARFTG-Konferenz Ende Januar zum ARFTG Life Member ernannt. Die ARFTG (Automatic RF Techniques Group) fördert als Non-Profit-Organisation seit 1972 Forschung zu allen Themen der Hochfrequenz-Messtechnik, insbesondere der Netzwerkanalyse.



Sprung in die Wirtschaft

Die Quantenkommunikation verspricht eine abhörsichere Übertragung von Informationen. Die quantenbasierte Schlüsselverteilung ist dabei weit erforscht und inzwischen reif für die Anwendung. Im Innovationshub für Quantenkommunikation fördert das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) 36 Einrichtungen, um Forschungsinstitute und Unternehmen zu vernetzen. Das begleitende Schirmprojekt (SquaD) wird von der PTB in engem Schulterschluss mit dem Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik (BSI) koordiniert. Es bringt Akteure aus Forschung und Industrie zusammen und erweitert Testumgebungen für die Quantenkommunikationstechnologie. (Ansprechpartner: Nicolas Spethmann, 0531 592-2009, nicolas.spethmann@ptb.de)

Netzwerk zu QT-Fortbildung

Um das enorme Potenzial der Quantentechnologien in die Praxis umzusetzen, braucht es Fachkräfte. Gerade für den Transfer vom Labor in die Industrie und die Produktentwicklung fehlen qualifiziertes Personal und eine zentrale Anlaufstelle für ihre Fortbildung. Daher ist das Verbundprojekt „Quantum Technology Courses for Industry“ (QTIndu) gestartet. Unter Beteiligung der TU Braunschweig, des Quantum Valley Lower Saxony (QVLS) und der PTB entsteht bei QTIndu ein europaweites Netzwerk für Quantentechnologie-Fortbildung. (Ansprechpartner: Oliver Bodensiek, 0531 592-9454, oliver.bodensiek@ptb.de)

Zuverlässige KI-Software

Die PTB ist an zwei neuen großen EU-Projekten zum Thema künstliche Intelligenz beteiligt. Beide tragen das Kürzel TEF im Namen, was für „Testing and Experimentation Facility“ steht. Das Projekt TEF-Health soll innovative Ansätze in KI und Robotik im Gesundheitswesen prüfen und diese schneller zur Marktreife bringen. Das Projekt TEF-AI-MATTERS widmet sich mit demselben Ziel innovativen KI-basierten Ansätzen in Robotik und Sensorik im Fertigungsbereich, etwa in der Produktion. Die Projekte sind Teil des Programms „Digital Europe“ und werden mit je 60 Millionen Euro gefördert. Ziel ist es, Qualitätsstandards für vernetzte Daten und KI auf messbare Größen zurückzuführen und so das Vertrauen in KI-Systeme zu stärken. (Ansprechpartner für TEF-Health: Daniel Schwabe, 030 3481-7802, daniel.schwabe@ptb.de, Ansprechpartner für TEF-AI-MATTERS: Harald Bosse, 0531 592-5010, harald.bosse@ptb.de)

Hoheitszeichen für digitale Kalibrierzertifikate



Damit „Made in Germany“ auch in einer digitalen Welt ein Qualitätsversprechen bleibt, müssen die Elemente der Qualitätsinfrastruktur ebenfalls digital werden. Die PTB und die Deutsche Akkreditierungsstelle (DAkkS) arbeiten bei der Einführung von maschinenlesbaren Kalibrierzertifikaten (DCC) mit digitalem Hoheitszeichen eng zusammen. Damit wollen sie die deutsche Wirtschaft bei ihrer digitalen Transformation unterstützen und sich für europa- und weltweit einheitliche Standards einsetzen. Das Projekt ist Teil der gemeinsamen Initiative QI-Digital, in der PTB und DAkkS zusammen mit BAM, DIN und DKE an zukunftsfähigen Lösungen arbeiten. (Ansprechpartnerin für das DCC: Shanna Schönhals, 0531 592-1240, shanna.schoenhals@ptb.de, Ansprechpartner für QI-Digital: Jens Niederhausen, 030 3481-9414, jens.niederhausen@ptb.de)

Kühlung in Zeiten des Klimawandels



Zündexperiment in einem Hartmannrohr: Mit kontrollierten Explosionen lassen sich die sicherheitsrelevanten Eigenschaften eines Stoffes bestimmen.

Auch wegen der Klimaerwärmung steigt der Bedarf an nachhaltiger Kühlung und Klimatisierung. Nach dem Verbot klimaschädlicher Fluorkohlenwasserstoffe (FCKW) und der schrittweisen Reduzierung ihrer noch immer schädlichen Ersatzstoffe wollen Forschende eine neue Generation natürlicher und synthetischer Kühlmittel mit geringem Treibhauspotenzial untersuchen. Dabei spielen auch die Sicherheitstechnik und der Explosionsschutz eine erhebliche Rolle. Dem widmet sich die neue Forschungsgruppe „ExRef: Explosionsgefahren von Kältemitteln mit geringem Treibhauspotenzial“, deren Sprecher von der PTB gestellt wird. Sie ist eine von 13 Forschungsgruppen, die die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) im März 2023 eingerichtet hat. Die Gruppen erhalten insgesamt rund 48,6 Millionen Euro und werden maximal zweimal vier Jahre gefördert. (Ansprechpartner: Detlev Markus, 0531 592-3500, detlev.markus@ptb.de)

Impressum

PTB-News 2/2023, deutsche Ausgabe, Mai 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 > 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



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.