

Kleinste Messunsicherheiten für Autokollimatoren

Die Kalibrierung hochauflösender elektronischer Autokollimatoren, die zur Bestimmung kleiner Winkeldifferenzen eingesetzt werden, erfordert entsprechend kleine Messunsicherheiten. Mit dem Winkelkomparator der PTB lassen sich jetzt Unsicherheiten von bis zu $3,4 \cdot 10^{-8}$ rad oder 0,007 Winkelsekunden erreichen. Das entspricht, von der Erde aus gesehen, auf dem Mond (Abstand etwa 384 000 km) einer Strecke von nur rund 13 Metern.

Autokollimatoren sind optische Präzisions-Messinstrumente, die mit Hilfe eines Planspiegels kleine Winkeldifferenzen bestimmen. Sie werden sowohl in der industriellen Messtechnik als auch in Forschung und Entwicklung eingesetzt. Mit ihnen werden zum Beispiel an Werkzeugmaschinen oder Koordinatenmessgeräten die Winkelabweichungen von Führungsbahnen oder Winkelmesstischen bestimmt. Wissenschaftliche Anwendungen von Autokollimatoren, bei denen eine Kalibrierung mit Messunsicherheiten von besser als 0,01 Winkelsekunden über einen Messbereich von etwa 300 Winkelsekunden gefordert wird, sind beispielsweise die Messung von Winkeldifferenzen in der hochgenauen Bestimmung von Ebenheitsabweichungen (siehe PTB-News 02.3). Auch bei der Bestimmung der Gravitationskonstante in einem Drehwaagen-Experiment kommen sie zum Einsatz.

Um diese Genauigkeitsanforderungen zu erfüllen, werden elektronische Autokollimatoren auf dem Winkelkomparator der PTB im Reinraumzentrum kalibriert und damit direkt auf die SI-Einheit des ebenen Winkels, rad, rückgeführt. Dabei ist für das optische Messprinzip besonders die laminare und extrem temperaturstabile Luftströmung von

Vorteil. Das messtechnische Herzstück des Komparators ist eine Teilkreisscheibe aus Glas mit einer Radialgitterteilung, die 131 072 ($= 2^{17}$) Teilungsstriche auf 360° aufweist. Die Teilkreisscheibe, die in einem luftgelagerten Präzisionsrotor eingebaut ist, wird von acht Abtastköpfen mit einer neuartigen Phasengitter-Reflexionstechnik photoelektrisch abgetastet. Dies ermöglicht eine Auflösung von 0,0012 Winkelsekunden. Die Winkelabweichungen des Komparators lassen sich dann mit Hilfe zweier voneinander unabhängiger Kalibrierverfahren mit einer bisher nicht erreichten Unsicherheit von 0,005 Winkelsekunden ($k = 2$) bestimmen.

Hochauflösende elektronische Autokollimatoren können jetzt in der PTB mit einer Unsicherheit von bis zu 0,007 Winkelsekunden ($3,4 \cdot 10^{-8}$ rad) ($k = 2$) kalibriert werden. Damit lassen sich die zurzeit gestellten Anforderungen insbesondere aus der Forschung erfüllen.

Weitergehende Informationen von A. Just,
Tel.: (05 31) 592-52 25,
E-Mail:
andreas.just@ptb.de



Kalibrierung eines Drehtisches (Indextisch) mit Autokollimator und Spiegelpolygon

Anbindung des Kilogramms an eine Atommasse

Mit dem Goldionen-Experiment der PTB wurde die Atommasse von Gold in der SI-Basiseinheit Kilogramm bestimmt. Dieses Experiment könnte in Zukunft dazu führen, dass die Definition des Kilogramm nicht mehr auf einen Prototyp, sondern auf eine Atommasse und somit auf eine physikalische Konstante Bezug nimmt.

Vergleiche zwischen dem internationalen und den nationalen Kilogramm-Prototypen sowie den Referenznormalen des Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) haben Masseänderungen im Bereich von 50 mg in 100 Jahren ergeben. Eine Masseänderung des internationalen Kilogramm-prototyps kann dabei nicht ausgeschlossen werden. Um diese Änderungen nachzuweisen, benötigt man einen hinreichend genauen Vergleich des Kilo-

gramms mit einer physikalischen Konstante. Daher hat sich die PTB mit ihrem Experiment Ionenakkumulation zum Ziel gesetzt, die atomare Masseneinheit mit einer relativen Unsicherheit von etwa 10^{-8} an das Kilogramm anzuschließen und damit einen weiteren Weg für eine Neudefinition des Kilogramms aufzuzeigen.

Bei dem Experiment werden Ionen aus einem Ionenstrahl in einem Kollektor aufgefangen. Dabei werden die Stromstärke des Ionenstrahls und die Akkumulationszeit gemessen sowie die Masse der akkumulierten Ionen bestimmt. Daraus lässt sich – bei Kenntnis der relativen Atommasse und der Elementarladung – die atomare Masseneinheit bestimmen. Mit einem Ionenstrom von etwa 10 mA soll

Fortsetzung auf Seite 2

Weitergehende Informationen von M. Gläser,
Tel.: (05 31) 592-11 10,
E-Mail:
michael.glaeser@ptb.de

Anbindung des Kilogramms an eine Atommasse

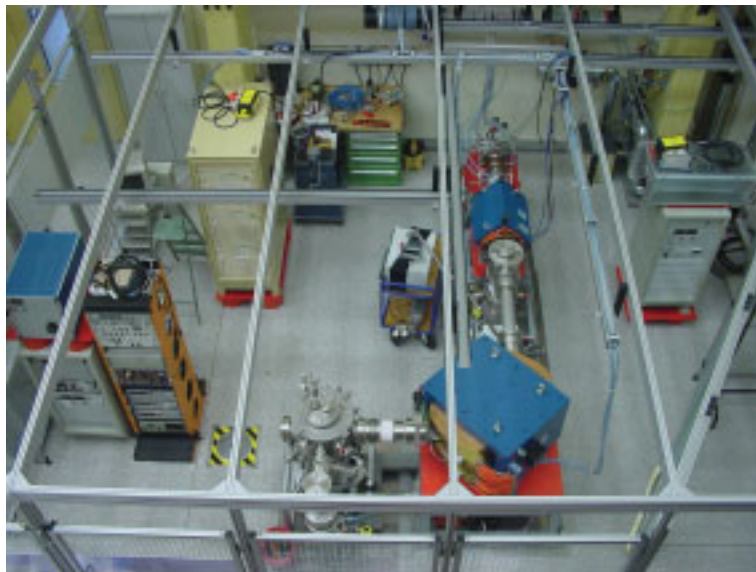
(Fortsetzung von Seite 1)

eine Masse von 10 g eines schweren Elements akkumuliert werden. Dazu werden etwa sechs Tage benötigt.

In einem ersten Akkumulationsexperiment wurden Goldionen auf einer goldbeschichteten Quarzwaage aufgefangen. So wurde die Atommasse von Gold in der SI-Basiseinheit Kilogramm mit einer Abweichung von 0,6 % vom erwarteten Wert und einer Unsicherheit von 1,5 % bestimmt. Die akkumulierte Masse betrug etwa 0,5 mg bei einem Ionenstrom von 0,01 mA und einer Akkumulationszeit von acht Stunden.

Zur Erhöhung des Ionenstroms wurden mit einer neuen Anordnung inzwischen Gesamtionenstrahlen (Xenon und Gold) mit einer Stromstärke von über 60 mA erzeugt, wobei der Anteil an Gold-Ionen aber nur einer Stromstärke von 0,8 mA entsprach. Da auch diese Stromstärke noch nicht ausreicht, wird künftig eine neue Ionenquelle verwendet, in der ein Wismut-Ionenstrahl mit Hilfe eines Ofens erzeugt wird. Vermutlich kann hier der erforderliche Strom von mindestens 10 mA erreicht werden. Die Masse der akkumulierten Ionen soll mit einer symmetrischen, gleicharmigen Balkenwaage im Vakuum bestimmt werden. Diese Waage

wurde in der PTB entwickelt und wird zur Zeit erprobt. Die derzeitige Standardabweichung der Waage von $3 \cdot 10^{-9}$ kg soll auf unter $1 \cdot 10^{-10}$ kg verbessert werden, um die Masse von etwa 10 g akkumuliertem Wismut hinreichend genau bestimmen zu können.



Draufsicht auf die experimentelle Anordnung des Experiments. Im Vordergrund sind die Ionenquelle und der Massenseparator (blau) zu sehen.

Europäische Zusammenarbeit bei der thermischen Energiemessung

Die PTB hat zusammen mit anderen nationalen Metrologieinstituten in Europa die „European Metrology Association for Thermal Energy Measurement e. V.“ (EMATEM) gegründet. Ziel dieser Zusammenarbeit ist der Aufbau von Netzwerken mit einer zentralen Informationsstelle, einem Forum zur Harmonisierung der Prüfverfahren nach der neuen Europäischen Messgeräterichtlinie sowie einer Koordinierungsstelle für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der thermischen Energiemessung.

Die PTB hat kürzlich mit den nationalen Metrologieinstituten (NMIs) von Österreich (BEV), Schweden (SP), Norwegen (Justervesenet), Dänemark (Delta) und der Schweiz (METAS) den eingetragenen Verein EMATEM gegründet. Anlass für diese Gründung ist die Europäische Messgeräterichtlinie (MID), die den europäischen Binnenmarkt für die thermischen Messgeräte vollendet und dabei die Rollen der Hersteller, Versorgungsunternehmen, Verbraucher und NMIs verändert. In Deutschland wird über diese Messgeräte thermische Energie für rund 1 Mrd. Euro pro Jahr verrechnet. EMATEM dient dem Aufbau von drei Netzwerken: Das erste Netzwerk bündelt die Kompetenzen und Kapazitäten mit

dem Ziel, die individuellen Mess- und Prüfmöglichkeiten gemeinsam besser auszunutzen und das gemeinsame Know-how den Herstellern, Versorgungsunternehmen und Verbrauchern europaweit ohne kommerzielle Gewinnabsichten zur Verfügung zu stellen. Ein europäisches Informationssystem wird sowohl Internetbasiert (www.ematem.org) als auch in Form internationaler Workshops, Seminare und Konferenzen den Wissenstransfer auf hohem Niveau ermöglichen.

Ein zweites Netzwerk betrifft ein Forum aller betroffenen Parteien (NMIs, Hersteller, Versorgungsunternehmen, Verbraucher und deren Verbände)



Volumenstrom-Messanlage im historischen Hermann-von-Helmholtz-Bau in Berlin mit 25 m langen Messstrecken (Nenndurchmesser 80 mm und 400 mm) und Wägebekälter (Volumen 20 m³)

Weitergehende Informationen von Th. Lederer,
Tel.: (030) 34 81-230,
E-Mail:
thomas.lederer@ptb.de

zur technischen Harmonisierung der Konformitätsbewertungsverfahren für Wärme- und Kältezähler.

Ein drittes Netzwerk soll die Forschung und Entwicklungsarbeit koordinieren und fördern. Ein Ergebnis des letzten EMATEM-Workshops sind bereits zwei gemeinsame Projekte mit dem Ziel zur Entwicklung von Transfornormalen für den Durchfluss von Wasser bei geringen Messunsicherheiten. Hierbei sind führende Hersteller von Durchflussmessgeräten für Flüssigkeiten beteiligt.

Zwei neue Messeinrichtungen der PTB auf dem

Gebiet der thermischen Energiemesstechnik sind ein wesentlicher Beitrag für diese europäischen Aktivitäten. Diese Einrichtungen dienen als nationale Normale für den Durchfluss von Wasser von 5 l/h bis 7000 l/h bzw. von 3 m³/h bis 1000 m³/h. Die kleinere Einrichtung arbeitet in einem Temperaturbereich von 20 °C bis 80 °C, während die größere Einrichtung einen Bereich von 3 °C bis 90 °C ermöglicht. Beide Prüfeinrichtungen gestatten Messungen mit einer erweiterten Unsicherheit von 0,04 % über den gesamten Temperaturbereich.

Neues Gebäude für die Optik

Die PTB hat am 2. Oktober 2003 den neuen Albert-Einstein-Bau für die Optik eingeweiht. Damit hat sie an ihrem Standort in Braunschweig – als Ersatz für ein Gebäude aus der Vorkriegszeit – jetzt ein Laborgebäude zur Verfügung, das aufgrund 3100 m² Nutzfläche hervorragende Bedingungen für die messtechnischen Aufgaben und für neue optische Entwicklungen bietet.

Mit dem Gebäude, das in drei Jahren Bauzeit und mit Kosten von etwa 19 Millionen Euro entstand, will die PTB ihre Arbeitsgebiete in der Photonik und Optik stärken, die als Schlüsseltechnologien für industrielle Wachstumsbereiche gelten. Dies wurde möglich als ein Teil der verstärkten staatlichen Unterstützung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und für die Schaffung neuer Arbeitsplätze, wie sie in der Agenda „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“ gefordert wird.

Die hervorragenden Umgebungsbedingungen im Albert-Einstein-Bau (stabile Temperatur, Erschütterungsarmut, definierte Luftfeuchtigkeit, hohe Luftreinheit mit nur wenig störenden Partikeln) erlauben es, messtechnisch in neue Dimensionen vorzustoßen: Einerseits im Großen, wobei zukünftig mit einem neuartigen Roboter-Goniophotometer in ei-

nem Volumen von sechs Metern Durchmesser höchst genaue photometrische Messungen an neuartigen Lichtquellen durchgeführt werden sollen. Andererseits im Kleinsten, wo in der quantitativen Mikroskopie auch kleinste Strukturen im Submikrometerbereich aus der Mikro-, Nano- und Halbleitertechnologie gemessen werden. Neben der Photometrie wird im Albert-Einstein-Bau schwerpunktmäßig die Messtechnik für die optische Nachrichtentechnik, für die Photovoltaik, für die integrierte und Mikrooptik und für verschiedene Bereiche der angewandten Radiometrie ausgebaut.



Der Albert-Einstein-Bau, das neue Optik-Gebäude der PTB.

Weitergehende Informationen von F. Riehle,
Tel.: (05 31) 592-40 10,
E-Mail:
fritz.riehle@ptb.de

Vier Jahrzehnte Technische Zusammenarbeit

Im Jahr 1963 startete die PTB ein Programm zur Unterstützung des nationalen Metrologieinstitutes in Argentinien. Seit dieser Zeit hilft die PTB Entwicklungs- und Schwellenländern beim Aufbau einer Infrastruktur des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens, der Akkreditierung und Zertifizierung (MNPQ). Die vom Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (BMZ) finanzierten Projekte sind Teil eines Programms, das die weltweite Armutsbekämpfung zum vordringlichen Ziel hat. Die PTB-Projekte helfen den Projektpartnern, ihre Wettbewerbsfähigkeiten zu steigern, Exportmärkte zu erschließen und damit ihre wirtschaftliche Situation zu verbessern.

Was zunächst als Förderung des Aufbaus nationaler Metrologieinstitute begonnen hat, wurde zu

einem umfassenden Konzept ausgebaut, das die Schaffung arbeitsfähiger MNPQ-Infrastrukturen zum Ziel hat. Nur so kann die wirtschaftliche und soziale Entwicklung nachhaltig gefördert werden. Nachhaltige Entwicklungshilfe bedeutet auch, Voraussetzungen zur Teilnahme am internationalen Handel zu schaffen. Im Ausbau des Handels wird ein Schlüssel zur Reduzierung der Armut gesehen. Die Probleme, die den Zugang zu den Märkten der Industrienationen erschweren, sind für die Entwicklungsländer jedoch zahlreich. Neben Zöllen und festgelegten Quoten für ihre Produkte sind es vor allem technische Handelsbarrieren, die es zu überwinden gilt. So müssen Vorschriften und Normen über Gesundheits-, Hygiene-, Umwelt- oder Sicherheitsanforderungen nachweislich eingehalten

Fortsetzung auf Seite 4

werden. Solche Konformitätsnachweise in Erzeugerländern scheitern häufig, weil die notwendigen Dienstleistungen des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens nicht angeboten werden oder weil das Vertrauen in die Zertifikate fehlt. Hier setzen die PTB-Projekte konkret an: Die Projektmaßnahmen umfassen neben dem Aufbau der erforderlichen technischen Infrastruktur die Sensibilisierung der politischen Entscheidungsträger und die Qualifizierung des Fachpersonals.

Die Erfahrungen lehren, dass kurzfristig kaum Erfolge zu erzielen sind. Auf dem langen Weg bis zur internationalen Anerkennung von Zertifikaten sind Akkreditierungen durch deutsche Akkreditierer hilfreich und notwendig, solange die dortigen Partnerinstitutionen die internationalen Anforderungen nicht erfüllen können. Da Lebensmittel wichtige Exportgüter von Entwicklungsländern sind, kommt der Entwicklung der Metrologie in der Chemie eine besondere Bedeutung zu, eine Aufgabe, die auch einen neuen Arbeitsschwerpunkt der PTB darstellt. An Bedeutung gewinnen auch Projekte zur Förderung der regionalen Zusammenarbeit, die die Realisierung regionaler

Märkte unterstützen. Solche Projekte werden zur Zeit in Mittel- und Südamerika, in West- und Südafrika und in Asien durchgeführt.



Seit der Expo 2000 präsentieren staatliche und nichtstaatliche Institutionen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit eigene wie auch gemeinsame Initiativen unter dem One-World-Logo.

Weitergehende Informationen von E. Seiler,
Tel.: (05 31) 592-82 00,
E-Mail:
Eberhard.Seiler@ptb.de

Digitales Röntgen: Wie gut ist die Technik?

Mit einer in der PTB entwickelten mobilen Messeinrichtung kann jetzt erstmals die Qualität digitaler medizinischer Röntgenbilddetektoren zuverlässig ermittelt werden.

In der medizinischen Röntgendiagnostik werden große Anstrengungen unternommen, die herkömmlichen analogen Röntgenfilme durch digitale Bilddetektoren zu ersetzen, wobei die deutsche Medizintechnik-Industrie im internationalen Wettbewerb eine hervorragende Stellung einnimmt. Die Hauptargumente für die Einführung solcher Systeme liegen insbesondere in der geringeren Strahlenbelastung für die Patienten sowie der besseren Verfügbarkeit der Bilder mittels elektronischer Datenetze. Als Nachteil wird oftmals angesehen, dass die Bildqualität noch nicht an die herkömmlicher analoger Röntgengeräte heranreicht. In der PTB ist jetzt eine Messeinrichtung entwickelt worden, mit der die Leistungsfähigkeit digitaler Röntgenbilddetektoren untersucht werden kann.

Das Projekt, das von der Europäischen Kommission und vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit (BMWA) unterstützt wurde, bestand darin, in Zusammenarbeit mit der Industrie eine Messeinrichtung sowie geeignete Messverfahren zur physikalischen Charakterisierung von digitalen Röntgendetektoren zu entwickeln. Weil digitale Röntgenbilddetektoren in der Regel ortsfest installiert sind und mit der Röntgenquelle eine Einheit bilden, wurde die Messeinrichtung transportabel ausgeführt. Zur Auswertung der aufgenommenen digitalen Röntgenbilder wurden entsprechende Bildanalyse-Programme entwickelt. Mit der Apparatur können unter anderem das Auflösungsver-

mögen, die Quanteneffizienz sowie das Bildrauschen der Detektoren in Abhängigkeit von der Röntgendosis gemessen werden.

Die mit dieser Messeinrichtung gewonnenen Ergebnisse und daraus abgeleitete Methoden – wie zum Beispiel zur Messung der Ortsauflösung – sind direkt in ein inzwischen abgeschlossenes IEC-Normungsvorhaben zur Bestimmung der Quanteneffizienz von Röntgenbilddetektoren eingeflossen (IEC 62220-1). Der Messplatz wurde darüber hinaus im Rahmen der geförderten Projekte erfolgreich eingesetzt, wobei einige digitale Röntgenbilddetektoren exemplarisch gemessen wurden. Dabei zeigte sich, dass die neuen digitalen Bildaufnahmetechniken der herkömmlichen analogen Technik im Hinblick auf die Quanteneffizienz ebenbürtig oder sogar deutlich überlegen sind, aber in punkto Ortsauflösungsvermögen noch nicht ganz an die analogen Systeme heranreichen.



Die neue Messeinrichtung im Einsatz

PTBnews 03.3
Deutsche Ausgabe
Dezember 2003
ISSN 1611-1621

Herausgegeben von der
Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt (PTB)
Braunschweig und Berlin

Chefredakteur Jens Simon
PTB, Bundesallee 100
38116 Braunschweig
Telefon: (05 31) 592-30 06
Fax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: ptbnews@ptb.de
Webseite: <http://www.ptb.de/>

Weitergehende Informationen von E. Buhr,
Tel. (05 31) 592-42 21,
E-Mail:
egbert.buhr@ptb.de