

Jahresbericht Abteilung 7

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

Grundlagen der Metrologie

Metrology Light Source (MLS)

Erfolgreiche Inbetriebnahme: Der Aufbau des von der BESSY GmbH für die PTB geplanten dedizierten Elektronenspeicherrings MLS wurde voll im Kostenrahmen termingerecht im Februar 2007 abgeschlossen. Das BESSY-MLS-Team konnte noch im Januar das als Injektor eingesetzte 100-MeV-Mikrotron erfolgreich in Betrieb nehmen, am 5. Juni 2007 wurden erstmals Elektronen im Speicherring gespeichert. Auch das Rampen der Energie der gespeicherten Elektronen von 100 MeV auf 600 MeV gelang problemlos im August 2007. (G. Ulm, FB 7.1, gerhard.ulm@ptb.de)

Elektronenstrahldiagnostik: Die Einrichtung zur Messung kleiner und kleinster gespeicherter Elektronenströme wurde erfolgreich in Betrieb genommen. Das Messprinzip basiert auf der Leistungsmessung der emittierten Synchrotronstrahlung mit Photodioden. Die Messeinrichtung im MLS-Bunker hat sich als äußerst hilfreiche Diagnostik für den Nachweis kleiner gespeicherter Elektronenströme während der Inbetriebnahme der MLS bewährt. (R. Klein, FB 7.1, roman.klein@ptb.de)

Erste Messungen der Elektronenenergie: Mit der Methode der Compton-Rückstreuung von Laserphotonen wurden erste präzise Messungen der Energie der gespeicherten Elektronen an der MLS im 400-MeV-, 500-MeV- und 600-MeV-Betrieb durchgeführt. Die Bestimmung der Elektronenenergie mit kleiner Unsicherheit ist eine Grundvoraussetzung zur Nutzung der MLS als berechenbare primäre Strahlungsquelle. (R. Klein, FB 7.1, roman.klein@ptb.de)

Erstes Licht am Weißlicht-Strahlrohr: Das Strahlrohr zur Nutzung der undispergierten berechenbaren Synchrotronstrahlung der MLS wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Erstes „Licht“ aus dem homogenen Feldbereich eines Dipolmagneten wurde an diesem „Weißlichtstrahlrohr“ in der Experimentierhalle des Willy-Wien-Laboratoriums beobachtet. (R. Klein, FB 7.1, roman.klein@ptb.de)

... und im IR-Strahlrohr: Der Aufbau des dedizierten Strahlrohres zur Nutzung von IR-Strahlung eines Dipolmagneten der MLS wurde Mitte 2007 abgeschlossen. Ende August konnte das erste Licht am zugehörigen IR-Messplatz auf dem MLS-Bunker beobachtet werden. Das Strahlrohr wird die metrologische Nutzung von Synchrotronstrahlung vom nahen IR bis zum fernen IR inklusive des THz-Bereiches ermöglichen. (R. Müller, FB 7.1, ralph.mueller@ptb.de)

Ausdehnung der Kryoradiometrie in den Bereich harter Röntgenstrahlung

Die Kryoradiometrie, die im sichtbaren Spektralbereich die Basis der detektorgestützten Radiometrie ist, war im Laboratorium der PTB bei BESSY II auch in den VUV- und Röntgenbereich bis zu Photonenenergien von etwa 10 keV ausgedehnt worden. Die bei höheren Energien einsetzende Transmission des Strahlungabsorbers verhinderte aber den Einsatz bei härterer Strahlung. Mit Hilfe von Monte-Carlo-Simulationen wurde nun ein neuer Absorber entwickelt, der bis zu Photonenenergien von etwa 60 keV vollständige Absorption der Strahlung gewährleistet. Am Wellenlängenschieber-Strahlrohr bei BESSY II, an dem monochromatisierte Synchrotronstrahlung bis 60 keV zur Verfügung steht, können nun Detektoren gegen das

Kryoradiometer mit relativen Unsicherheiten von unter 1 % kalibriert werden. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

Teilchen oder Welle?

In Kooperation zwischen der PTB, dem Ioffe-Institut in St. Petersburg und dem DESY wurden im Fokus eines EUV-Multilayer-Spiegels am neuen Freie-Elektronen-Laser FLASH in Hamburg Bestrahlungsstärken bis zu 10^{16} W/cm² bei der EUV-Photonenenergie von 93 eV realisiert und gemessen sowie Photoionisationsexperimente an Xenon-Atomen durchgeführt. Obwohl im Spektralbereich des klassischen Photoeffektes erzielt, lassen sich die überraschenden Ergebnisse der bis zu 21-fachen Ionisation von Xenon, wozu die Energie von mehr als 50 EUV-Photonen notwendig ist, nicht mehr eindeutig im Teilchenbild des Lichtes erklären. (M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

VUV-Sonnenradiometrie

In Kooperation mit dem *Royal Observatory of Belgium* und dem *Belgian Institute for Space Aeronomy* konnten mit den im PTB-Laboratorium am Speicherring BESSY II entwickelten Methoden der Radiometrie mit Synchrotronstrahlung im Spektralbereich von VUV-Strahlung die ESA-Instrumente LYRA (PROBA-2-Mission) und SOLSPEC (Columbus-Modul der ISS) charakterisiert werden. Ferner wurde die für die SOHO-Mission Mitte der neunziger Jahre entwickelte CDS-Kalibrierquelle rekaliert. Damit wurden die vorher am *Rutherford Appleton Laboratory* durchgeführten Charakterisierungen der NASA-Instrumente SERTS I&II, MOSES und EUNIS erfolgreich validiert. (M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

Detektoren für die solare UV-Strahlung

In Kooperation mit dem Physikalisch-Meteorologischen Observatorium Davos (PMOD) hat die PTB verschiedene Strahlungsempfänger eingehend untersucht, die das PMOD für UV-Filterradiometer seines PREMOS-Instruments (Precision Monitoring of Solar variability) in Aussicht genommen hatte, um während der geplanten französischen Mikrosatellitenmission PICARD den für die Atmosphärenchemie besonders wichtigen UV-Anteil der Sonnenstrahlung erheblich genauer zu bestimmen als bisher. Abschließend kalibriert die PTB jetzt die Filterradiometer, die das PMOD mit den für diesen Zweck bestgeeigneten Detektoren aufgebaut hat. (L. Werner, P. Meindl, FB 7.2, lutz.werner@ptb.de)

Neues Strahlrohr zur Untersuchung von Si-Wafer-Röntgenoptiken für die Astrophysik

Für die geplante Röntgenmission XEUS (X-ray Envolving Universe Spectroscopy) der europäischen Raumfahrtagentur ESA werden Röntgenspiegel mit großer effektiver Fläche (~ 10 m²) und extrem kleinen Formabweichungen bei gleichzeitig geringem Eigengewicht benötigt. An Stelle von bisher üblichen langen Spiegeln soll ein Stapel von kleineren Spiegelflächen verwendet werden. Mit hochpolierten Si-Wafern, die - mit Rippen an der Rückseite versehen - gestapelt werden können, lassen sich sehr steife und kompakte Spiegel realisieren. Die Qualität dieser Spiegel wird an einem neuen Strahlrohr bei BESSY II mit einem monochromatischen Nadelstrahl bei der festen Photonenergie von 2,8 keV untersucht. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

Neue Methode zur Kalibrierung von Zähl-detektoren

Die Kalibrierung von zählenden (energiedispersiven) Röntgendetektoren mit Synchrotronstrahlung am Speicherring BESSY II erforderte bisher den Sonderbetrieb des Speicherrings zur reproduzierbaren Einstellung geringer Photonenflüsse in der Größenordnung von nur 10^3 s⁻¹. Mit einem neuen Messstand unter Verwendung eines kalibrierten Zähl-detektors als

Referenzdetektor konnte diese Einschränkung aufgehoben werden. Es wurden erfolgreich energiedispersive Detektoren im Rahmen der Kooperationen mit der ESA und dem SRON kalibriert. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Erste hochaufgelöste Fundamentalparameter-Messungen im Bereich weicher Röntgenstrahlung

Für die Bestimmung atomarer Fundamentalparameter (FP) im weichen Röntgenbereich mit kleinen Unsicherheiten wurde ein neues wellenlängen-dispersives Spektrometer erfolgreich in Bezug auf seine Nachweiseffizienz und sein Ansprechverhalten charakterisiert. Damit konnten bei BESSY II erste für die referenzfreie Röntgenfluoreszenzanalyse von leichten Elementen und Übergangsmetallen wichtige FP bestimmt werden. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

Charakterisierung vergrabener Nanoschichten

Im Rahmen eines DFG-Vorhabens zur Nanoschicht-Speziation mit der TU Darmstadt wird eine Methode entwickelt, die Röntgenemissionspektrometrie mit Untersuchungen der Nahkantenabsorptionsfeinstruktur (GIXRF-NEXAFS) kombiniert, um einen Zugang zur zerstörungsfreien Charakterisierung von bis zu mehrere 100 nm tief vergrabene Nanoschichten bezüglich ihres chemischen Bindungszustands zu ermöglichen. Die Arbeiten werden im PTB-Laboratorium bei BESSY II unter Verwendung von Undulatorstrahlung durchgeführt. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

Kooperation mit dem DESY zur THz-Metrologie

Um durch quantitative THz-Spektroskopie an kohärenter Synchrotron- und Übergangsstrahlung wichtige Informationen zur Ladungsverteilung in sehr kurzen, hochenergetischen Elektronenpaketen für den Betrieb eines Freie-Elektronen-Lasers zu erhalten, kooperieren das DESY und die PTB bei der Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit von breitbandigen THz-Empfängern mit berechenbarer Hohlraumstrahlung. Dazu wurde an der PTB ein THz-Hohlraumstrahler in Kombination mit genau vermessenen THz-Transmissionsfiltern in Betrieb genommen. Messungen an diesem Strahler ermöglichten auf der Grundlage des Planck'schen Strahlungsgesetzes eine schnelle Bestimmung der Empfindlichkeit von pyroelektrischen THz-Empfängern über einen Spektralbereich von 50 μm bis zu 570 μm . Mit Messungen an Golayzellen und anderen photoakustische Empfängern soll das Verfahren mit dem Ziel weiter entwickelt werden, Anwendern von THz-Strahlung eine schnelle und einfache Methode zur Bestimmung der spektralen Empfindlichkeit von THz-Empfängern für die Strahlungsleistungsmessung zur Verfügung zu stellen. (J. Hollandt, FB 7.3, joerg.hollandt@ptb.de)

Messung thermodynamischer Temperaturen mit Infrarot-Filtterradiometern

An der PTB wurden erstmals neuartige Indium-Galliumarsenid-Filtterradiometer mit Zentralwellenlängen im nahen Infrarot (1300 nm und 1550 nm) entwickelt und aufgebaut. Die spektrale Empfindlichkeit dieser Filtterradiometer konnte mit einer relativen Standardunsicherheit von einigen 10^{-4} bestimmt werden, wie es bisher nur für Silicium-Filtterradiometer für Wellenlängen unter 1000 nm möglich war. Damit wurden an dem als Doppelwärmerohr-Hohlraumstrahler aufgebauten Planck'schen Normalstrahler der PTB thermodynamische Temperaturen im Bereich der Fixpunkte Aluminium (660 °C) und Zink (419 °C) der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90) mit Standardunsicherheiten von 30 mK bis 60 mK radiometrisch bestimmt. Die radiometrischen Messungen ermöglichen es, in diesem Temperaturbereich existierende Inkonsistenzen der gastermometrischen Messung thermodynamischer Temperaturen mit einer unabhängigen Methode gezielt zu untersuchen und damit einen wichtigen Beitrag für eine verbesserte zukünftige Internationale Temperaturskala ITS-20XX zu leisten. (D.R. Taubert, FB 7.3, dieter.taubert@ptb.de)

Zusammenarbeit der Bereiche Temperatur und chemische Analytik von PTB und BAM

Im Fachbereich 7.4 werden zurzeit verbesserte Temperaturfixpunkte zur Darstellung und Weitergabe der ITS-90 entwickelt. Die dominierende Unsicherheitskomponente ist der Einfluss von Verunreinigungen, deren quantitativer Nachweis eine Aufgabe an der Grenze des derzeit Machbaren ist. Der Fachbereich I.1 der BAM ist weltweit führend auf dem Gebiet der rückgeführten Spurenanalytik von Reinstmetallen. Daher wurde eine Kooperation vereinbart und eine gemeinsame Doktorandin mit den erforderlichen Forschungsarbeiten betraut. (S. Rudtsch, FB 7.4, steffen.rudtsch@ptb.de)

Einfluss der Kristallisationsbedingungen auf die Messung der Tripelpunkttemperatur kryogener Gase

Im Tieftemperaturbereich stützt sich die Internationale Temperaturskala ITS-90 auf die Tripelpunkte der kryogenen Gase Ar, O₂, Ne und H₂ als definierende Fixpunkte. Nach Präparation mit unterschiedlichen Einfriergeschwindigkeiten wurde die Bedeutung eines gestörten Kristallwachstums für die anschließenden Schmelzplateaus erkannt. Dadurch können thermometrisch erwünschte Eigenschaften gezielt erzeugt werden, wie z. B. im Falle von Ar ein flacheres Plateau oder bei Ne ein schnellerer Temperaturengleich nach der periodischen Zufuhr der Schmelzwärme. Im Endergebnis können die thermischen Temperaturmessfehler signifikant verringert werden. (L. Wolber, B. Fellmuth, FB 7.4, lutz.wolber@ptb.de)

Neue Temperaturskala im Tieftemperaturbereich

Mit der zweiten Generation des Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometers wurden die bisherige Basis der Temperaturskala der PTB im Bereich zwischen 4 K und 26 K bestätigt und die Unsicherheiten um den Faktor zwei verringert. Zusätzlich zur thermodynamischen Temperatur konnten neue Daten für die Realgaseigenschaften von ⁴He gewonnen und mit neuen theoretischen Werten verglichen werden. Durch die Erweiterung des Messbereichs bis 2,4 K und Messung sowohl mit ³He als auch mit ⁴He ergaben sich neue interessante Einblicke in das Tieftemperaturverhalten der beiden Isotope. Der erfolgreiche Abschluss dieser Arbeiten war der Prüfstein für das Boltzmann-Projekt am Wassertripelpunkt und lässt große Hoffnungen für die Neubestimmung der Boltzmann-Konstante zu. (Ch. Gaiser, B. Fellmuth, FB 7.4, christof.gaiser@ptb.de)

Elektronischer und Kernmagnetismus in Platin

Platin ist ein geeignetes Modellsystem zur Untersuchung der Wechselwirkung zwischen elektronischem Magnetismus und Kernmagnetismus und darüber hinaus die zur Zeit einzige Thermometriesubstanz zur zuverlässigen Messung von Temperaturen unterhalb von 0,001 K. An Proben mit isotonenangereichertem ¹⁹⁵Pt (93,52 %) und einer Fe-Dotierung von 100 ppm wurden Messungen der Wechselfeldsuszeptibilität, der spezifischen Wärme und der Kernspinresonanz bei Gleichgewichtstemperaturen bis unterhalb 100 µK und in Magnetfeldern bis zu 8 T durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die magnetischen Fe-Momente benachbarte 5d-Leitungselektronen polarisieren und in Wechselwirkung mit diesen „giant magnetic moments“ bilden, die im Grundzustand Spinglasverhalten zeigen. Die Polarisationsfelder der Riesenmomente führen zu einer Erhöhung der Wärmekapazität des Kernspinsystems und beeinflussen die Relaxationsparameter in Kernspinresonanzexperimenten. (P. Strehlow, FB 7.5, peter.strehlow@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Radiometrische Charakterisierung eines Computertomographen

In einem Verbundprojekts mit der Bayer Schering Pharma AG, der Siemens AG, dem Institute for Scientific Instruments und der Charité – Universitätsmedizin Berlin wurde ein röntgenoptisches Modul entwickelt, mit dem ein normalerweise zur Diagnostik eingesetzter Computertomograph auch für die Strahlentherapie verwendet werden kann. Das Modul monochromatisiert und konzentriert die Strahlung. Die PTB war für die räumlich und spektral aufgelösten radiometrischen Messungen mit und ohne Modul zuständig. Hieraus konnte die lokale Dosiserhöhung bestimmt werden. Durch die Applikation stark absorbierender Substanzen auf Jod- oder Gadolinium-Basis, die sich bevorzugt in Tumorzentren anlagern, kann eine weitere Dosiserhöhung erreicht werden. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

SQUID-Sensorik für neue medizinische Diagnoseverfahren

Derzeit wird intensiv an neuartigen medizinischen Diagnoseverfahren für die Medizin gearbeitet, die auf empfindlicher Magnetfeldmesstechnik beruhen. In der PTB besteht langjährige Erfahrung beim Einsatz von SQUID-Messtechnik auf diesem Gebiet. Neue Verfahren wie z.B. die magnetische Kernresonanz bei kleinen Magnetfeldern (Low-Field NMR) oder die Magnetorelaxometrie (MRX) benötigen zur Signalerzeugung möglichst hohe Anregungsfelder zur Ausrichtung der magnetischen Momente der zu untersuchenden Proben, die mit den Magnetfeldsensoren gemessen werden sollen. Die bisher verfügbare SQUID-Messtechnik begrenzt den Einsatz von Anregungsfeldern sehr stark, da die Bauelementeparameter nach dem Anlegen derartiger Felder u.U. stark degradiert sind.

Im Rahmen des EU-geförderten Vorhabens „Biodiagnostics“ zur Entwicklung neuer medizinischer Diagnoseverfahren unter Verwendung magnetischer Messtechnik hat die PTB neue SQUID-Sensoren entwickelt, die sich durch besonders hohe Störfestigkeit gegen magnetische Felder auszeichnen und deshalb sehr gut für magnetische Messmethoden geeignet sind, bei denen magnetische Felder zur Anregung der zu untersuchenden Proben verwendet werden. Die Sensoren können Magnetisierungsimpulsen mit hohen Flussdichten bis zu 1,5 mT ausgesetzt werden ohne dass ihre hohe Empfindlichkeit beeinflusst wird.

Die Sensoren sind im Rahmen einer Lizenzvereinbarung kommerziell über die Firma Magnicon erhältlich, die seit Oktober 2007 eine Zweigstelle an der PTB unterhält. (F. Ruede, FB 7.5, frank.ruede@ptb.de)

Neues Kleintier-Magnetokardiografie-Messsystem mit Supraleitungssensorik

Im Rahmen eines DFG-geförderten Vorhabens wurde in Kooperation mit dem Kanazawa Institute of Technology, Japan, ein Kleintier-Magnetokardiografie-Messsystem entwickelt, das auf einem Flüssig-Helium-Kryostaten mit integrierter supraleitender Abschirmung basiert. Das zu vermessende Kleintier befindet sich in einer Warmbohrung innerhalb der supraleitenden Schirmung und ist von mehreren SQUID-Magnetometern zur Messung des biomagnetischen Feldes umgeben. Wird der Kryostat in der magnetisch geschirmten Kammer der PTB (BMSR-2) eingekühlt, verbleibt ein statisches Restfeld von weniger als einem Tausendstel des Erdfelds innerhalb der Schirmung.

Gemeinsam mit dem Max-Delbrück-Centrum für Molekulare Medizin in Berlin-Buch wurde gezeigt, dass mit diesem Messgerät auch unter üblichen Laborbedingungen hochempfindliche magnetokardiografische Messungen an Mäusen mit ausgezeichnetem Signal/Rausch-Verhältnis gemacht werden können. (T. Schurig, FB 7.5, thomas.schurig@ptb.de, L. Trahms, FB 8.2, lutz.trahms@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

PTB-Beteiligung am EU-Vorhaben ANNA

Seit dem 1. Dezember 2006 fördert die EU im 6. Rahmenprogramm als Integrierte Infrastrukturinitiative das 'Analytical Network for Nanotech' (ANNA), an dem neben drei Halbleiterunternehmen neun europäische Forschungseinrichtungen, darunter die PTB, mitwirken. Gemeinsame Netzwerk- und Forschungsaktivitäten zielen dabei ab auf die Einrichtung eines transnationalen Zugangs zu den analytischen Instrumentierungen der beteiligten Partner in den Bereichen der Nanotechnologie, der Mikroelektronik und der Oberflächenwissenschaften. Die PTB bietet hierbei bei BESSY II Zugang zur synchrotronstrahlungsgestützten Röntgenspektrometrie und Röntgenreflektometrie. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

Kontamination optischer Oberflächen im VUV untersucht

Bei der Charakterisierung optischer Komponenten für die 193-nm-Lithographie wurde der Einfluss von Luft- und Stickstoffumgebungen in verschiedenen Druckbereichen von Ultrahochvakuum bis Normaldruck auf die Kondensatbildung auf Oberflächen untersucht. Durch Transmissions- und Reflexionsmessungen mit VUV-Synchrotronstrahlung im PTB-Laboratorium bei BESSY II konnten Kontaminationen im Bereich einiger atomarer Monolagen detektiert werden, die sich zum Teil durch photochemische Prozesse an der Oberfläche erklären lassen. Dabei wurden auch verschiedene Reinigungsverfahren wie das UV-Brennen getestet. (A. Gottwald, FB 7.1, alexander.gottwald@ptb.de)

Metrologie für die EUV-Lithographie

Die umfangreiche Unterstützung der europäischen Halbleiterindustrie bei der Entwicklung der Halbleiter-Lithographie mit Strahlung einer Wellenlänge von 13,5 nm im extremen UV (EUV) wurde fortgesetzt und erweitert. Derzeitige Arbeitsschwerpunkte sind die Entwicklung verbesserter Schichtsysteme für die Optiken der nächsten Gerätegeneration sowie Untersuchungen zur Lebensdauer der Optiken in Kooperation mit der Carl Zeiss SMT AG und dem Fraunhofer-Institut IOF als wichtigen Partnern sowie die Charakterisierung von Messgeräten für EUV-Strahlungsquellen auf der Basis der bei der PTB realisierten Empfindlichkeitsskala in Kooperation mit Xtreme technologies. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Entwicklung von EUV-Photosensoren

Derzeit besteht im Spektralbereich des EUV und DUV ein Mangel an langzeitstabilen Photosensoren für die industrielle Anwendung, aber auch für die PTB zur Verwendung als verlässliche Transfornormale. Im Rahmen einer wissenschaftlichen Kooperation mit dem ASML und der Universität Delft unterstützt die PTB die Entwicklung von Halbleiter-Photosensoren für diese Spektralbereiche mit ihren Messmöglichkeiten zur Charakterisierung und Alterungstests. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

EUV-Scatterometrie als CD-Messverfahren für Photomasken evaluiert

Im Rahmen des BMBF-Projektes ABBILD wurde gemeinsam mit dem AMTC Dresden und dem Zuse-Institut in Berlin sowie den PTB-Fachbereichen 4.2 und 8.4 die Evaluation der Scatterometrie als Methode zur Bestimmung von Linienbreiten auf EUV-Masken abgeschlossen. Es konnte eine sehr gute Korrelation der mit Scatterometrie gemessenen Linienbreiten zu den Daten der Standardmesstechnik des AMTC mit Rasterelektronen- und Rasterkraftmikroskopie gezeigt werden. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Neues Modell für die cw-Schwelle eines OPOs

Im Rahmen eines vom BMWi geförderten Kooperationsprojekts mit einem Berliner Unternehmen der Laserbranche entsteht derzeit eine neuartige Strahlungsquelle für die Radiometrie im

infraroten Wellenlängengebiet bis 4 μm , die auf optisch-parametrischer Frequenzaufspaltung in einem signalresonanten Ringoszillator in patentierter kompakter Dreiecksform beruht. Basierend auf vorausgegangenen Entwicklungsarbeiten zum Pulsbetrieb eines solchen OPOs hat die PTB ein Modell zur Vorhersage der cw-Schwelle aus Messungen des Zeitverlaufs der Pumpstrahlung im Pulsbetrieb aufgestellt und durch den erreichten cw-Betrieb für die verschiedenen Polungsperioden des verwendeten OPO-Kristalls verifiziert. (A. Steiger, R. Müller, FB 7.2, andreas.steiger@ptb.de)

Gasartabhängigkeit von Wärmeleitungsvakuummetern

Um veraltete Daten aus den 60er Jahren zur Gasartabhängigkeit von Wärmeleitungsvakuummetern nach dem Pirani-Prinzip zu aktualisieren, wurden für vier verschiedene kommerzielle Typen dieser Vakuummeter und neun Gasarten die Korrekturfaktoren bestimmt, die typenabhängig bis zu 20 % differieren. Aus einem Vergleich mit der kinetischen Gastheorie konnten obere Grenzen für die Akkommodationskoeffizienten der erhitzten Materialien (Wolfram und Silicium) angegeben werden. Den Anwendern von Pirani-Sensoren werden damit neue Richtwerte für die Gasartkorrektur an die Hand gegeben. (K. Jousten, FB 7.3, karl.jousten@ptb.de)

Entwicklung eines praktikablen Hochtemperaturofens bis 3200 °C

Vermehrte Anwendungen von Strahlungsthermometern und Thermographiegeräten im Hochtemperaturbereich bis über 3000 °C erfordern adäquate Strahlungsquellen zur praktikablen Kalibrierung dieser Geräte. Die bisher für diesen Temperaturbereich kommerziell erhältlich Strahler haben zwei entscheidende Nachteile. Zum einen erfordern sie eine hohes Maß an vorbereitenden und unterstützenden Maßnahmen vor und während des Betriebs. Zum anderen sind die strahlenden Öffnungen mit Durchmessern bis maximal 25 mm zu klein für die Kalibrierung bildgebender Systeme. Zusammen mit der KE Technologie GmbH entwickelt die PTB im Rahmen eines vom BMWi geförderten Projekts einen praktikablen Hochtemperaturstrahler mit einem strahlenden Durchmesser von 50 mm für Temperaturen bis 3200 °C. (J. Hartmann, FB 7.3, juergen.hartmann@ptb.de)

Emissionsgradbestimmung an semitransparenten GaAs-Laserbarren

Die berührungslose Temperaturmessung an Halbleiterlasern ist mittlerweile ein wichtiges Diagnosewerkzeug - vor allem bei Hochleistungssystemen - geworden. Die Bestimmung der absoluten Temperatur im Lasermedium ist jedoch immer noch fehlerbehaftet aufgrund der unzureichenden Kenntnis des Emissionsgrades der dotierten Lasermaterialien. In Kooperation mit dem Max-Born-Institut wurde erstmals der Emissionsgrad von GaAs-Laserbarren bestimmt, wie sie auch in kommerziellen Lasern Verwendung finden. Die besondere Schwierigkeit lag darin, den Emissionsgrad an semitransparenten Proben mit sehr geringen Abmessungen zu bestimmen. (C. Monte, FB 7.3, christian.monte@ptb.de)

Messung von Temperaturdifferenzen bei Wärmezählern

Die Messung der Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf erfolgt bei Wärmezählern mit Platin-Widerstandsthermometern in den jeweiligen Heizungsleitungen. Die Prüfungen dieser beiden Thermometer erfolgen durchweg in denselben Messeinrichtungen, woraus sich eine starke Korrelation bei den Messunsicherheiten der beiden Thermometer ergibt. Das komplexe Verfahren zur Paarung geeigneter Fühler wurde mathematisch sowohl analytisch als auch mit einem Monte-Carlo-Verfahren modelliert. Beide Verfahren kommen zu übereinstimmenden Ergebnissen: Die Berücksichtigung der Korrelation führt zu einer deutlichen Reduzierung der Messunsicherheit für

die Temperaturdifferenz. Der notwendige messtechnische Aufwand zur Paarung der Fühler kann somit realistischer beurteilt werden. (E. Tegeler, FB 7.4, erich.tegeler@ptb.de)

Praktisches Rauschthermometer für den Tieftemperaturbereich

Ein in Kooperation der Fachbereiche 7.4, 7.5 und der *Universität Heidelberg* entwickeltes magnetisches Fluktuations-Rauschthermometer wurde erfolgreich für den praktischen Einsatz im Temperaturbereich von 4,2 K bis 0,007 K getestet. Das Thermometer besitzt eine lineare Kennlinie. Es ist kompakt, robust, schnell und ermöglicht eine sehr gute thermische Kopplung an die jeweiligen Messobjekte. Unterhalb 1 K betragen die Abweichungen von der aktuellen Temperaturskala PLTS-2000 weniger als 1 % für Messzeiten kleiner als 200 s. Das Thermometer wird zukünftig in Kooperation mit der Firma Magnicon kommerziell angeboten. (J. Engert, FB 7.4, jost.engert@ptb.de)

Neue Beschleunigte Abnutzungsprüfung

In Kooperation mit dem Verband der deutschen Wasser- und Wärmezähler-Industrie wurde eine neue Beschleunigte Abnutzungsprüfung zur Prognose der Messbeständigkeitsdauer von Wärme- und Kältezählern entwickelt und validiert. Der neue Test, der Bestandteil der EN 1434 (2008) wird, erlaubt durch rasche Lastwechsel die Verkürzung der Prüfzeit von sechs Monaten mit dem herkömmlichen Verfahren auf nunmehr etwa zwei Wochen. (J. Rose, FB 7.6, juergen.rose@ptb.de)

Durchbruch bei der laseroptischen Volumenstrommessung

Im Rahmen eines ProInno-Projektes wurde gemeinsam mit der Fa. Intelligent Laser Applications GmbH ein laseroptischer Volumenstromsensor entwickelt, validiert und patentiert. Der Sensor erlaubt durch direkte Integration des laseroptisch vermessenen Strömungsfeldes in einem Rohr die Bestimmung des Volumenstroms mit Unsicherheiten $U(k=2) < 0,2 \%$, selbst wenn die Strömung im Rohr stark gestört und zeitlich variabel ist. (T. Lederer, FB 7.6, thomas.lederer@ptb.de)

Neue Herangehensweise zur Charakterisierung von Volumenstrom-Sensoren für Wärmemengenzähler

Der Fachbereich 7.6 bietet zur Charakterisierung von Strömungszuständen erstmalig Computational-Fluid-Dynamic-(CFD)-Simulationen an, die mittels laseroptischer Verfahren und direkter Messungen des Sensors an den Normalmessanlagen der PTB validiert werden. Das Verfahren bietet Einblicke in die Wirkmechanismen der im Sensor verwendeten Messtechnik und liefert so wichtige Daten für Verständnis und Weiterentwicklung der Sensoren. (T. Lederer, FB 7.6, thomas.lederer@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

PTB-NIST-Vergleiche im Bereich UV- und VUV-Radiometrie

Im PTB-Laboratorium am Speicherring BESSY II wurden die Messungen zu zwei bilateralen Vergleichen zwischen der PTB und dem *National Institute of Standards and Technology* (NIST) auf dem Gebiet der Radiometrie mit Synchrotronstrahlung weitgehend abgeschlossen. Die Vergleiche beziehen sich auf die spektrale Strahlstärke von Deuteriumlampen und die spektrale Empfindlichkeit von Photodetektoren im Spektralbereich von UV- und VUV-Strahlung. (M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

CCPR-Pilotvergleich der spektralen Empfindlichkeit im EUV

Die Unterstützung der europäischen Halbleiterindustrie bei der Entwicklung der Halbleiter-Lithographie mit Strahlung einer Wellenlänge von 13,5 nm im extremen UV (EUV) erfordert

international anerkannte Messverfahren. Im Sommer 2007 wurden die jeweils mit Synchrotronstrahlung durchgeführten Messungen für den CCPR-Pilotvergleich der spektralen Empfindlichkeit im Spektralbereich von 11,5 nm bis 20 nm unter Leitung der PTB als Pilotlabor erfolgreich abgeschlossen. An dem Vergleich nahmen neben der PTB das NIST und das NMIJ teil. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Vergleichsmessungen von Kupferfixpunktzellen unter Verwendung von Pt/Pd-Thermoelementen

Die Erstarrungstemperaturen der Kupferfixpunkte (1085 °C) von 13 europäischen Metrologie-Instituten wurden im Rahmen eines Euromet-Projektes mit der PTB als Pilotlabor verglichen. Dazu wurden in der PTB zwei thermoelektrisch stabile Pt/Pd-Thermoelemente gefertigt und metrologisch untersucht. Die an den Kupferpunkten gemessenen Thermospannungen stimmten für 10 von 13 Teilnehmern innerhalb eines Temperaturäquivalents von $\pm 0,06$ K überein. Für zwei weitere Teilnehmer konnte eine Temperaturkorrektur ermittelt werden. Die sehr gute thermoelektrische Stabilität der verwendeten Pt/Pd-Thermoelemente ($\pm 0,02$ K am Kupferpunkt) unterstreicht die Eignung dieser Thermoelemente als Transfernormale für die Weitergabe von Temperaturen im Temperaturbereich bis mindestens 1100 °C. (F. Edler, FB 7.4, frank.edler@ptb.de)

Europäischer Ringvergleich an den Erstarrungspunkten von Aluminium und Silber

Die PTB war Pilotlabor des Schlüsselvergleichs EUROMET-T.K4, bei dem von 24 europäischen Staatsinstituten mit Hilfe von Standard-Platinwiderstandsthermometern die Temperaturen der jeweiligen lokalen Realisierungen der Temperaturfixpunkte von Al und Ag verglichen wurden. Am Al-Erstarrungspunkt war die Übereinstimmung in der Regel besser als 4 mK. Am Ag-Erstarrungspunkt traten erhebliche Probleme mit der Stabilität der verwendeten Hochtemperatur-Thermometer auf. Aufgrund redundanter Messungen war jedoch eine teilweise Korrektur der Drifterscheinungen möglich, so dass jetzt die Ergebnisse doch noch zur Bestätigung der CMC-Einträge der einzelnen Institute herangezogen werden können. Zukünftige Vergleichsmessungen am Ag-Erstarrungspunkt sollten jedoch bevorzugt mit Fixpunktzellen oder Au/Pt-Thermoelementen durchgeführt werden. (E. Tegeler, D. Heyer, FB 7.4, erich.tegeler@ptb.de)