

Einheitliche Tieftemperaturskala verabschiedet

Nach ihrer Verabschiedung durch das Internationale Komitee für Maß und Gewicht (CIPM) steht mit der PLTS-2000 erstmals eine einheitliche internationale Tieftemperaturskala für den Millikelvinbereich zur Verfügung. Die Skala nutzt den Schmelzdruck des Helium-3 zur Temperaturbestimmung und beruht wesentlich auch auf Arbeiten der PTB.

Die Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) ermöglichte auf der Basis von Temperaturfixpunkten einheitliche Temperaturmessungen mit Standardthermometern und -interpolationsverfahren bisher nur im Bereich oberhalb ihres Endpunkts von 0,65 K. Im Bereich tieferer Temperaturen gab es dagegen keine verbindliche Festlegung, vielmehr waren mehrere Skalen in Gebrauch, die sich insbesondere im Bereich unterhalb von 6 mK unterscheiden. Diese unbefriedigende Situation ist durch Verabschiedung einer Tieftemperaturskala für den Bereich von 0,9 mK bis 1 K nun bereinigt.

Die Tieftemperaturskala basiert auf der Messung der Schmelzdruckkurve von ^3He . Dazu legt die neue Skala den Zusammenhang von Schmelzdruck p und Temperatur T durch ein Polynom $p(T)$ fest.

Bei der Festlegung wurden Messungen mit materialunabhängigen Primärthermometern (Rausch- und Kernorientierungsthermometer) berücksichtigt, die im US-amerikanischen Metrologieinstitut NIST, an der Universität Florida und in der PTB (s. *PTBnews* 97.1) in unterschiedlichen Temperaturbereichen durchgeführt worden waren. Im Bereich oberhalb von etwa 0,3 K ist die neue Skala mit der PTB-Skala identisch. Im unteren Messbereich, wo die verschiedenen gemessenen Werte noch nicht perfekt übereinstimmen, wurde eine Mittelung vorgenommen, um Abweichungen von der idealen thermodynamischen Temperaturskala, die außerordentlich schwierig zu realisieren ist, möglichst gering zu halten. Deshalb trägt die neue Skala den Namen „Vorläufige Tieftemperaturskala“ (Provisional Low Temperature Scale, PLTS-2000).

Die Vereinbarung und der weltweite Gebrauch einer einheitlichen Skala stellen trotz dieser verbleibenden Unsicherheit einen großen Fortschritt dar, weil Tieftemperaturangaben dadurch unmittelbar vergleichbar werden. Sollten künftige Untersuchungen ergeben, dass die Skala noch geringfügig korrigiert werden muss, werden ältere Messwerte einfach umrechenbar sein.

Weitergehende Informationen von M. Kühne,
Fax: (030) 34 81-490,
E-Mail:
michael.kuehne@ptb.de



Kryostateinsatz der PTB zur Erzeugung tiefster Temperaturen. Die Kernentmagnetisierungsstufe am unteren Ende besteht aus etwa 2 kg hochreinem Kupfer (magnetische Induktion beim Start 8 T, Endtemperatur 65 μK bzw. 300 μK im Langzeitbetrieb).

Softwareprüfstelle akkreditiert

Software ist in der PTB nicht nur ein Hilfsmittel für Prüfungen, sondern selbst Prüfobjekt. Um das Vertrauen in die korrekte und zuverlässige Arbeitsweise von Systemen, die wesentlich auf Software basieren, zu gewährleisten, wurde in der PTB eine für Kunden offene Softwareprüfstelle eingerichtet und von der DATECH (Deutsche Akkreditierungsstelle Technik e. V.) akkreditiert.

Wer Software einsetzt, geht gewisse Gefahren und Risiken ein, die nicht vernachlässigt werden dürfen. So ist es z. B. eine Herausforderung, die Software korrekt, d. h. den funktionalen Anforderungen gemäß, zu implementieren. Soll die Software weiterhin leicht änderbar sein, so reichen die damit verbundenen Risiken bis zur Manipulationsgefahr. Das immer verbleibende (Rest-)Risiko gilt es zu minimieren. Die PTB hat daher eine Softwareprüfstelle eingerichtet, die nun als Prüflaboratorium akkreditiert ist. Mit der Akkreditierung wird die Kompetenz der Prüfstelle bestätigt. Der Akkreditierungsumfang bezieht sich zum einen auf die Prüfung von Software bzgl. Funktionalität, Zuverlässigkeit, Sicherheit und Benutzbarkeit, zum anderen auf die detaillierte Prüfung nach ergonomischen Kriterien.

Neben der Einzelprüfung von Software für Messgeräte, Prüfplätze, Kalibriereinrichtungen usw. gehört die vorbeugende Beurteilung von Softwareentwicklungsprozessen im Rahmen von Audits bei Softwareherstellern ebenfalls zum Leistungsspektrum der Prüfstelle. Von diesem Angebot können nicht nur Prüf- und Kalibrierlaboratorien innerhalb und außerhalb der PTB profitieren, sondern auch die Hersteller von Mess- und Prüfeinrichtungen, insbesondere von kleinen und mittelständischen Unternehmen.

Weitergehende Informationen von N. Greif,
Fax: (030) 34 81-506, E-Mail: norbert.greif@ptb.de,
im Internet: www.softwarepruefstelle.de

Kleinste Dichteunterschiede in Quarzglas

Die Photolithographie benötigt Linsen aus Quarzglas höchster Homogenität. Mit einer in der PTB entwickelten, konzeptionell einfachen Methode gelingt es jetzt, kleinste Dichteunterschiede in Quarzgläsern nachzuweisen.

Mit der Miniaturisierung integrierter elektronischer Bauelemente wachsen zugleich die Anforderungen an die optischen Komponenten. So müssen die Objektive in der Photolithographie beispielsweise aus Quarzglas mit einer extrem homogenen Brechzahl bestehen. Die Brechzahl von hochreinem Quarzglas wird im Wesentlichen über die Struktur des Glases bestimmt und ist mit der Dichte ρ_Q des Glases verknüpft. Ein Dichteunterschied $\Delta\rho_Q$ von $10^{-5} \rho_Q$ entspricht für Quarzglas einem Brechzahlunterschied von $1,5 \cdot 10^{-6}$. So kleine Unterschiede können kaum über optische Methoden nachgewiesen werden. Deshalb wurde die PTB gebeten, einen Nachweis mit Dichtemessungen zu versuchen. Da nur kleine Proben von ca. 1 cm^3 zur Verfügung stehen, lassen sich solche Dichteunterschiede nur mit einem Schweb- oder Flotations-Verfahren messen. Hierbei befinden sich zwei (oder mehr) Proben gleichzeitig in einer Flüssigkeit, deren Dichte ρ_{Fl} fast genauso groß ist wie die Dichte ρ_Q der Proben. Über eine Variation des Drucks in der Flüssigkeit kann erreicht werden, dass jeweils eine der Proben frei in der Flüssigkeit schwebt, also als Spezialfall des Archimedischen Prinzips $\rho_{Fl} = \rho_Q$ gilt.

Die Flotationsapparatur variiert den Flüssigkeitsdruck über zwei Parameter: den hydrostatischen Druck (ausgeübt durch ein mit dem Messgefäß verbundenes Zusatzgefäß) und die Temperatur. Mit



Die Schwebemethode ermöglicht die Messung kleinster Dichteunterschiede von Quarzglasproben. Die Proben haben ein Volumen von ca. 1 cm^3 .

Spezialküvetten wird eine kleine Zeitkonstante des Temperatur-Ausgleichs erreicht. Bei einer erreichbaren Nachweisgrenze von $1 \cdot 10^{-6} \rho_Q$ (für quaderförmige Proben) ergaben erste Messungen an fünf Quarzglasproben relative Dichteunterschiede bis zu $3 \cdot 10^{-5}$. Dabei wurde eine Messunsicherheit von $5 \cdot 10^{-6} \rho_Q$ ($k = 2$) erreicht.

Weitergehende Informationen von H. Toth,
Fax: (05 31) 592-30 15,
E-Mail: hans.toth@ptb.de

Brechzahl – Rückführung durch Referenzflüssigkeiten

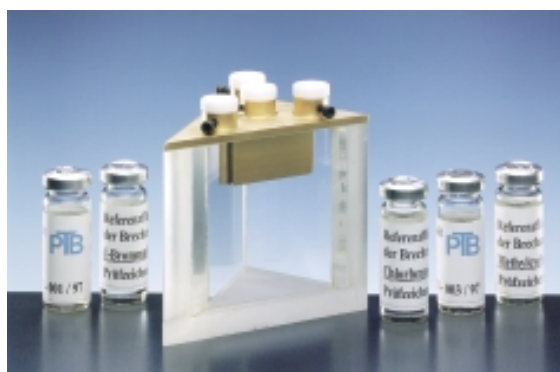
Mit zertifizierten Referenzflüssigkeiten der PTB können Brechzahlmessgeräte in der industriellen Messtechnik und der Verfahrensmesstechnik einfacher und genauer geprüft und kalibriert werden.

Bisher wurde die Brechzahl über Präzisionsglasprismen, die der Kunde der PTB bereitstellen musste, rückgeführt. Dieses Verfahren ist aufwändig und teuer. Alternativ bietet die PTB nun Referenzflüssigkeiten – abgefüllt zum einmaligen Gebrauch in 10-cm^3 -Ampullen – mit besonderen Eigenschaften an:

Sie sind hinreichend chemisch stabil, arbeitsmedizinisch unbedenklich und einfach anzuwenden. Weiterhin überdecken sie einen Brechzahlbereich, der in der Praxis benötigt wird, und sie ermöglichen die Weitergabe der Einheit mit hinreichend kleiner Unsicherheit.

Als Referenzflüssigkeiten haben sich einige bei Zimmertemperatur flüssige Kohlenwasserstoffe als gut geeignet erwiesen, nämlich n-Heptan ($n_D = 1,388$), Isooctan ($n_D = 1,392$), Methylcyclohexan ($n_D = 1,423$), Cyclohexan ($n_D = 1,427$) und Tetrachlorethylen ($n_D = 1,508$). Dabei ist n_D die Brechzahl bei der Spektrallinie D der Quecksilberdampfampe. Die Brechzahlen werden jeweils für sechs Wellenlängen im sichtbaren Spektralbereich zwischen $404,7 \text{ nm}$ und $643,8 \text{ nm}$ in der PTB mit einer Unsicherheit von 10^{-5} kalibriert. Mit diesen Referenzflüssigkeiten können daher Brechzahlmessungen mit einem Refraktometer über nahezu den gesamten sichtbaren Spektralbereich rückgeführt werden – und dies ohne Dispersions-Korrektur der angegebenen Brechzahl, solange die Wellenlänge der Messstrahlung von der im Kalibrierschein angegebenen höchstens um $0,1 \text{ nm}$ abweicht. Solch geringe Unsicherheiten verlangen allerdings, dass die Temperatur während der Kalibrierung höchstens um ein Hundertstel Kelvin um einen wohldefinierten Wert schwankt.

Weitergehende Informationen von H. Winkler,
Fax: (05 31) 592-40 15, E-Mail: hartmut.winkler@ptb.de



Prismatische Küvette mit Vorrichtungen für die Aufnahme von Temperaturfühler zur Messung der Brechzahl und einige Referenzproben

Metrologie mit 13-nm-Strahlung für die EUV-Mikrolithographie

In der Halbleiterfertigung erfordert die photolithographische Erzeugung immer kleinerer Strukturen Strahlung mit immer geringerer Wellenlänge. Das stellt auch an die Metrologie neue Anforderungen. Zur Durchführung von Messungen für die Entwicklung der EUV-Lithographie, eines Verfahrens der „nächsten Generation“, nutzt die PTB in großem Umfang Synchrotronstrahlung im Wellenlängenbereich um 13 nm.

Der Fortschritt in der Halbleiterfertigung lässt sich zum Beispiel an den Strukturbreiten von Speicherbausteinen für Computer ablesen: Diese Breiten konnten seit drei Jahrzehnten etwa alle fünf Jahre halbiert werden. Nach den Vorgaben der alljährlich fortgeschriebenen „International Technology Roadmap for Semiconductors“, an der sich die Entwicklungsarbeiten orientieren, soll dies auch weiterhin zumindest für die nächsten fünfzehn Jahre erreicht werden und schließlich zu Strukturbreiten von etwa 20 nm führen.

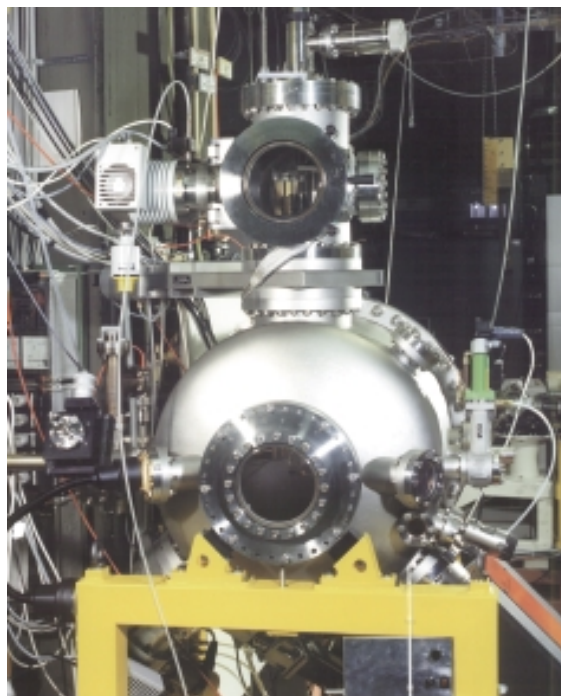
Neben der Elektronenstrahl-Projektionslithographie wird die Photolithographie im Extrem-UV-Spektralbereich (EUV) als zukünftige Technologie zur Erzeugung von Halbleiterstrukturen mit Breiten von 70 nm und weniger angesehen. Die Entwicklung dieses Verfahrens erfordert in großem

Umfang „at-wavelength“-Messungen, d. h. Messungen bei Wellenlängen um 13 nm. Der PTB stehen dazu in ihrem Synchrotronstrahlungslabor am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof mehrere Messplätze zur Verfügung, die wegen der starken Nachfrage überwiegend im Mehrschichtbetrieb genutzt werden. Derzeit werden vor allem die folgenden Aufgabenstellungen bearbeitet:

- Messung des Reflexionsgrades und der Homogenität von Mo/Si-Multilayerspiegeln, die für die Projektion der Maskenstrukturen auf den Wafer eingesetzt werden, mit typischen relativen Messunsicherheiten von 0,2 %
- Untersuchung der Degradation von EUV-Optiken, Filtern und Detektoren bei intensiver EUV-Bestrahlung
- Entwicklung von Systemmesstechnik für EUV-Projektionsoptiken
- Kalibrierung von Messeinrichtungen wie Spektrographen und Filter-Photodioden-Kombinationen, die zur Charakterisierung von EUV-Strahlungsquellen eingesetzt werden, mit Messunsicherheiten bis hinab zu 1 %.

Die Arbeiten werden in national und international geförderten Kooperationen mit Industrieunternehmen und Forschungseinrichtungen durchgeführt.

Weitergehende Informationen von G. Ulm,
Fax: (030) 34 81-550, E-Mail: gerhard.ulm@ptb.de



Reflektometer der PTB für die Charakterisierung optischer Komponenten (Spiegel, Gitter, Filter) in monochromatischer Synchrotronstrahlung

In eigener Sache

Mit der vorliegenden Ausgabe beginnt für die PTBnews der sechste Jahrgang. Das wissenschaftliche Nachrichtenblatt der PTB hat sich in den vergangenen fünf Jahren neben den anderen Publikationen der PTB etabliert und findet erfreuliche Resonanz, wie die vielen Anfragen zu zahlreichen Beiträgen zeigen.

Derzeit werden die PTBnews weltweit an mehr als 6000 Adressen versandt.

Mit dem Beginn des neuen Jahrgangs sind die PTBnews auch gleich zweifach im Internet vertreten: Unter der Adresse www.ptb.de finden sich im Bereich Publikationen/Download die jeweils aktuelle Ausgabe und ein Archiv aller bisher erschienenen Ausgaben als PDF-Dokumente zum Herunter-

laden. Ganz neu: Alle Artikel der PTBnews sind von nun an im Bereich Publikationen/Periodika auch im HTML-Format einzeln verfügbar.

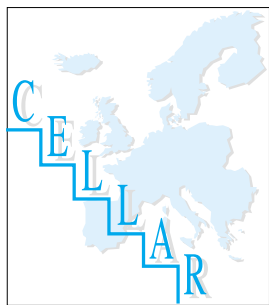
Mit dem Jahreswechsel hat sich die Zusammensetzung der Redaktion geändert. Der bisherige Chefredakteur Prof. Dr. Burkhard Wende hat diesen Posten an Dr. Dr. Jens Simon, den Pressesprecher der PTB, übergeben. Damit zieht auch das Redaktionsbüro, bisher von Frau Monika Korte geführt, von Berlin nach Braunschweig um. Außerdem verlässt Dr. Fritz Riehle, Redakteur der „ersten Stunde“, die Redaktion, um mehr Zeit für andere Aufgaben zu haben.

Die Redaktion dankt ihren ausscheidenden Mitgliedern für fünf Jahre nicht immer leichte aber immer wertvolle Redaktionsarbeit und dafür, dass sich die PTBnews zu dem entwickelt haben, was sie jetzt sind.

Europäisches Netzwerk unterirdischer Laboratorien

Die PTB unterzeichnete ein Kooperationsabkommen für ein Netzwerk europäischer Laboratorien, die Zugang zu unterirdischen Messplätzen für ultraniedrige Radioaktivität- und Dosismessungen haben.

Die Messungen sehr niedriger Zählraten aus radioaktiven Zerfällen in der Grundlagenphysik, für technologische Anwendungen und in den biomedizinischen Wissenschaften benötigen eine möglichst strahlungsfreie Umgebung. Der an der Erdoberfläche vorhandene Untergrund kosmischer Strahlung, hauptsächlich von Myonen, kann bestmöglich in unterirdischen Experimenten unterdrückt werden. Dazu betreibt die PTB ein Untergrundlabor im Salzbergwerk Asse, nahe ihrem Standort in Braunschweig. In einer Tiefe von 925 m sind in einer reinen Steinsalzumgebung nur geringste spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide wie beispielsweise ^{40}K vorhanden. Damit ist hier die Umgebungsdosis gegenüber der Oberfläche auf etwa 1 % reduziert, der Myonenfluss



Collaboration of European Low-level underground Laboratories

sogar um mehr als fünf Größenordnungen. Er kann daher für die meisten Anwendungen vernachlässigt werden. Das PTB-Labor hat in der Vergangenheit erfolgreich an mehreren internationalen Vergleichen höchstempfindlicher Detektorsysteme teilgenommen. Es besitzt Messmöglichkeiten zur Kalibrierung der Dosis und von Dosisratenmessgeräten bei geringsten Dosisraten. Zugleich kann im Untergrundlabor über abgeschirmte Germaniumdetektorsysteme auch niedrige Radioaktivität mit einem γ -Strahlungsspektrometer gemessen werden.

Zusammen mit der PTB haben jetzt die sieben Institute IRMM (Belgien), IAEA (Österreich), LN Gran Sasso (Italien), LSCE (Frankreich), Universität von Island, MPI Heidelberg und VKTA Rossendorf (Deutschland) eine Vereinigung europäischer Untergrundlabors „CELLAR“ (Collaboration of European Low-level underground Laboratories) gegründet. Der Verbund soll neue Untersuchungen in angewandter Physik stimulieren, Messprogramme und Vergleichsmessungen koordinieren sowie den Zugang zu Untergrundlaboratorien für Wissenschaft und Industrie erleichtern. Weitergehende Informationen von S. Neumaier, Fax: (05 31) 592-62 62, E-Mail: stefan.neumaier@ptb.de

PTBnews 01.1
Deutsche Ausgabe
März 2001

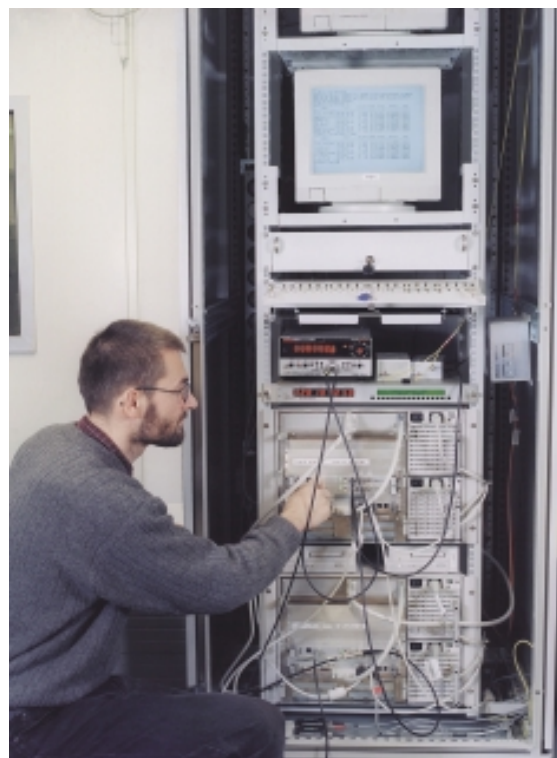
Herausgegeben von der
Physikalisch-Technischen
Bundesanstalt (PTB)
Braunschweig und Berlin

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

PTB-Zeit im Internet

Die Zeit aus den Atomuhren der PTB synchronisiert via Internet immer mehr Rechnersysteme weltweit: Über 2,5-millionenmal pro Tag greifen externe Rechner von wissenschaftlichen Einrichtungen und Industriebetrieben, von kleinen Unternehmen und Privatpersonen auf die zwei öffentlich erreichbaren Zeitserver der PTB zu. Die Streuung der abgegebenen Zeitsignale beträgt dabei typischerweise lediglich 20 μs .

In der Informationstechnik (z. B. zur Prozesssteuerung, zur Datierung von Messdaten oder zur Protokollierung von Ereignissen) ist es häufig notwendig, die verwendeten Serversysteme untereinander zu synchronisieren und deren Betriebssystemzeit an die Koordinierte Weltzeit UTC anzubinden. Das Network Time Protocol (NTP) ist ein im Internet etabliertes Standard-Protokoll, das sich für diesen Zweck anbietet und zum Aufbau eines hierarchisch gegliederten Systems aus Zeitservern geeignet ist. Hierzu werden zwei Server unter den Internet-Adressen ptbtime1.ptb.de und ptbtime2.ptb.de betrieben. Zur praktischen Nutzung der zur Verfügung gestellten NTP-Zeitinformation wird ein Software-Paket benötigt, das das NTP-Protokoll unterstützt. Geeignete Software gibt es für alle gängigen Betriebssysteme. Dieser Dienst ergänzt die übliche Zeitübertragung mittels DCF77-Funkuhren oder GPS-Empfänger.



Zeitserver der PTB

Weitergehende Informationen von D. Sibold,
Fax: (05 31) 592-84 06, E-Mail: dieter.sibold@ptb.de