

Radiographie mit schnellen Neutronen

Neuartige Neutronenkameras, die in der PTB entwickelt und an der vorhandenen Beschleunigeranlage erprobt worden sind, können zum Auffinden von Sprengstoff und Drogen in Fluggepäck und Luftfrachtcontainern genutzt werden.

Neutronen sind eine hervorragende Sonde für die zerstörungsfreie Materialuntersuchung. Mit ihnen lassen sich Eigenschaften und Stoffzusammensetzungen erfassen, die mit Röntgenstrahlung nicht oder nur unzureichend aufgelöst werden. Radiographie und Tomographie mit langsamen (thermischen) Neutronen sind bereits verbreitete Methoden zur Messung der Verteilung wasserstoffhaltiger Substanzen in Proben – vorwiegend an stationären Anlagen wie Forschungsreaktoren und Spaltungsquellen. Dagegen sind energiereiche Neutronen, wie sie an der Beschleunigeranlage der PTB erzeugt werden können, in der Radiographie bisher wenig eingesetzt worden. Aufgrund ihrer spezifischen Wechselwirkung mit den Atomkernen der Materie und ihres hohen Durchdringungsvermögens sind sie jedoch besonders geeignet, großvolumige Objekten wie etwa Reisegepäck, Container, schwere Maschinenteile oder Mineralien zu untersuchen. Allerdings verhindern bis heute die Komplexität der Anlagen zur Neutronenerzeugung und die wenig entwickelten bildgebenden Detektionsverfahren einen breiteren Einsatz dieser Methode.

In der PTB werden in Zusammenarbeit mit der Universität Frankfurt und dem Weizmann-Institut in Rehovot/Israel effiziente und hochauflösende Neutronenkameras für die energieaufgelöste Radiographie mit Neutronen im Energiebereich von 2 MeV bis 10 MeV entwickelt. Bisher wurden

mehrere Prototypen solcher Kameras, die auf zwei unterschiedlichen physikalischen Funktionsprinzipien basieren, entwickelt und an der Neutronenanlage der PTB untersucht. In Verbindung mit intensiven, gepulsten Neutronenquellen werden diese Kameras die Messung der Verteilung von leichten Elementen wie C, N und O in Behältern ermöglichen, um damit zum Beispiel Sprengstoffe oder Drogen zu identifizieren.

Für die praktische Anwendung der Methode an Flughäfen, Grenzanlagen oder in der Industrie werden neben den effizienten bildgebenden Neutronen-Detektionsverfahren auch leistungsfähige und kompakte Anlagen zur Neutronenerzeugung benötigt. Deshalb soll nun in einem neuen Projekt mit der Universität Jena untersucht werden, ob sich leistungsfähige Neutronenquellen für diese Anwendung mit Hilfe von Hochleistungslasern realisieren lassen.

Weitergehende Informationen von V. Dangendorf, Tel. (05 31) 592-65 10, E-Mail: volker.dangendorf@ptb.de

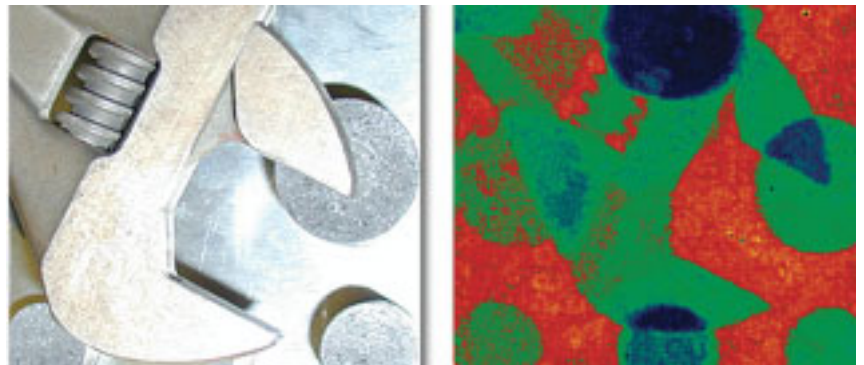


Foto einer Probe aus Stahl und Kohlenstoff. Im Neutronenbild rechts sind auch die von dem Maulschlüssel verdeckten Kohlenstoffscheiben abgebildet.

Hochgenaue Längenmessungen im Raum

Mit dem LaserTracer, einem in der PTB entwickelten interferometrischen System, können hochgenaue Längenmessungen im Raum durchgeführt werden. Durch die patentierte Laserstrahlführung konnte die Genauigkeit im Vergleich zu herkömmlichen Lasertrackern um mehr als das Zehnfache gesteigert werden.

Der in der PTB entwickelte LaserTracer gehört in die Kategorie der Lasertracker. Hierbei handelt es sich um laserbasierte 3D-Koordinatenmessgeräte, die durch Messung zweier Raumwinkel und einer interferometrischen Länge Positionen im Raum bestimmen. Nutzt man die Winkelinformationen nicht, so können sie prinzipiell auch für interferometrische Längenmessungen im Raum eingesetzt werden – allerdings mit häufig nicht ausreichender

Messgenauigkeit, beeinträchtigt durch die mechanische Qualität der Bewegungsachsen.

Mit dem neuen LaserTracer lassen sich ausschließlich interferometrische Längenmessungen durchführen, wobei eine neuartige Nachführung des Laserstrahls für erhöhte Genauigkeit sorgt. Eine ortsfeste Präzisionsstahlkugel dient als sphärischer Referenzspiegel, während die gesamte optische Einheit um ihr Zentrum geführt wird. Durch die geringen Formabweichungen der Kugel (< 50 nm) beziehen sich alle interferometrischen Messungen auf den Kugelmittelpunkt. Durch dieses Prinzip lässt sich die Längenmessunsicherheit erheblich senken: Bei einer Messlänge von 5 m

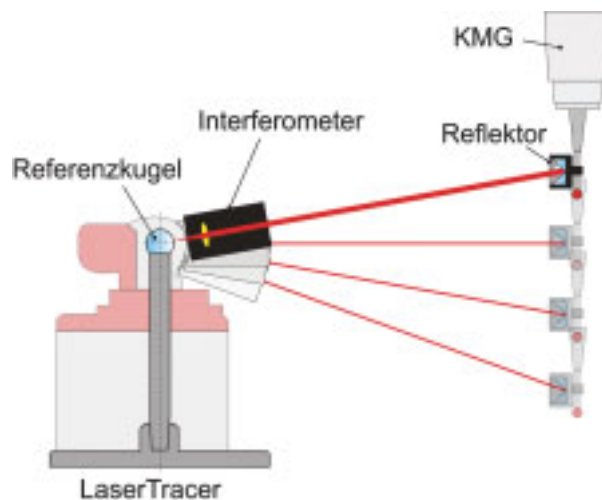
Fortsetzung auf Seite 2

Hochgenaue Längenmessungen im Raum (Fortsetzung von Seite 1)

beträgt die Messunsicherheit eines herkömmlichen Lasertrackers etwa 13 mm, jedoch die des LaserTracers nur 1,5 mm.

Eine Anwendung des LaserTracers ist die Genauigkeitssteigerung von Koordinatenmessgeräten. Durch ein spezielles Verfahren lässt sich beispielsweise bei einer Zahnradmessung die Unsicherheit für die Profilabweichung von 1,5 mm auf 0,8 mm reduzieren. So kann die PTB der Industrie Normale mit deutlich erhöhter Genauigkeit zur Verfügung stellen.

Ein zweites Einsatzgebiet ist die Aufnahme und Korrektur der systematischen Abweichungen von Koordinatenmessgeräten und Fertigungsmaschinen. Dieses zusammen mit dem National Physical Laboratory (NPL) in England entwickelte Verfahren ermöglicht neben den erheblich gesteigerten Verfahrensgenauigkeiten auch eine signifikante Verkürzung der Messzeiten. So wird ein vollständiger Parametersatz für die Korrektur in weniger als vier Stunden aufgenommen. Der LaserTracer und dieses Verfahren werden inzwischen vermarktet.



Der Laserstrahl des LaserTracers folgt automatisch einem Reflektor, der an dem Taster eines Koordinatenmessgerätes (KMG) bzw. an der Werkzeugaufnahme einer Fertigungsmaschine befestigt ist.

Weitergehende Informationen von K. Kniel, Tel. (05 31) 592-53 88, E-Mail: karin.kniel@ptb.de

Hochfeld-Mikrokelvinanlage erreicht 25 mK

Mit der Fertigstellung und erfolgreichen Erprobung der Berliner Mikrokelvinanlage besteht nun in der PTB die Möglichkeit, Temperaturen von nur einigen millionstel Grad über dem absoluten Nullpunkt zu erzeugen. Darüber hinaus kann in diesem Temperaturbereich das Verhalten kondensierter Materie in hohen Magnetfeldern untersucht werden.

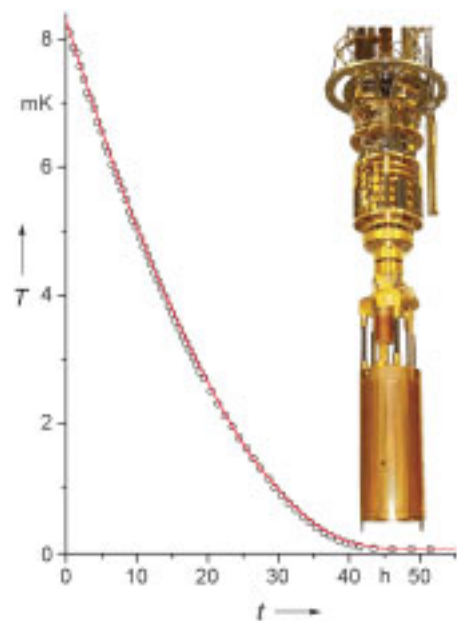
Die neuartige Dreifach-Kernstufe, die in Kooperation mit dem Dresdener Max-Planck-Institut für Physik komplexer Systeme entwickelt worden ist, besteht aus konzentrisch angeordneten Zylindern aus hochreinem Kupfer und Aluminium. Mit ihr erreicht man mittels adiabatischer Entmagnetisierung der Kernmomente von 8,5 Tesla auf einige Millitesla die Abkühlung einer „Nutzlast“ auf Temperaturen im unteren Mikrokelvinbereich.

In ersten Tests konnten mit Hilfe einer thermodynamisch optimierten Entmagnetisierungsfunktion bereits Festkörpertemperaturen von unter 25 mK erzielt und für mehrere Stunden aufrecht erhalten werden. Aufwendige Maßnahmen zur Schwingungsdämpfung und HF-Schirmung sowie das durch geeignete Materialauswahl minimierte interne Wärmeleck haben den Wärmeeintrag auf weniger als 1,5 nW reduziert.

Der konzentrische Aufbau der Dreifach-Kernkühlstufe erlaubt durch eine effektivere Ausnutzung des Feldes des ersten Magneten den Einsatz eines zweiten großen Magneten unterhalb der Kernstufe. In diesem Magneten mit hoher Feldhomogenität kann dann das Verhalten ultrakalter Materie in Magnetfeldern bis zu 9 Tesla untersucht

werden – eine in dieser Form derzeit einzigartige Experimentierumgebung.

Im Fokus der Untersuchungen mit Kooperationspartnern aus Dresden, Heidelberg und Berlin stehen magnetfeldinduzierte makroskopische Quanteneffekte und grundlegende metrologische Fragen zur Definition und Messung der Basisgröße Temperatur sowie ihrer quantenmechanischen Grenzen.



Festkörpertemperaturen, die an der 105-mol-Kupfer-Kernstufe der Berliner Mikrokelvinanlage mittels Pt-NMR gemessen wurden. Die erreichte Minimaltemperatur beträgt 23,3 mK. Die rote Linie zeigt den für die thermodynamisch optimierte Entmagnetisierungsfunktion berechneten Temperaturverlauf.

Weitergehende Informationen von P. Strehlow, Tel. (030) 3481-74 29 E-Mail: peter.strehlow@ptb.de

Rein optisch generierte Terahertz-Strompulse

In der PTB ist es gelungen, durch rein optische Anregung elektrische Ströme in Halbleiterstrukturen zu erzeugen. Verwendet wurde ein Verfahren, das bisher nur in wenigen Labors in der Welt realisiert wurde. Die Besonderheit dieses Verfahrens besteht darin, dass kein elektrisches Feld benötigt wird, in dem Ladungsträger beschleunigt werden. Im übertragenen Sinn entspricht dies einem Stromfluss ohne Spannungsquelle. Solche Methoden können künftig unter anderem in der hochfrequenten Signalverarbeitung wichtig werden.

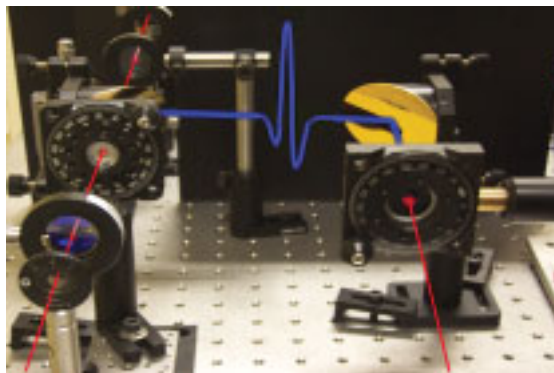
Für die Charakterisierung von Höchsthäufigkeitskomponenten ist es wünschenswert, ultrakurze Strompulse zu erzeugen, deren zeitliche Form man beliebig variieren kann. Bisherige Methoden zur Erzeugung von wenigen 100 fs langen Strompulsen basieren auf einer Kombination von elektronischen und optischen Verfahren und lassen diese Möglichkeit nicht zu. Der PTB ist es nun gelungen, ultrakurze Strompulse mit rein optischen Methoden zu erzeugen. Mit diesem Verfahren ist eine Variation der Form dieser Strompulse prinzipiell möglich.

Zur Erzeugung der rein optisch generierten Ströme wurden spezielle Halbleiternanostrukturen in der PTB hergestellt und unter Beachtung bestimmter Symmetriebedingungen mit kurzen optischen Pulsen angeregt. Durch Ausnutzung nichtlinearer optischer Prozesse entsteht dabei ein Stromfluss im Halbleiter. Hierbei werden die Ladungsträger – anders als bei einem normalen Stromfluss – nicht in einem vorhandenen elektrischen Feld beschleunigt.

Nachgewiesen werden die Ströme über die gleichzeitig auftretende elektromagnetische Strahlung:

Die Ströme erzeugen eine Polarisationsänderung, die als Quelle für in den freien Raum abgestrahlte elektromagnetische Wellen wirkt. Durch den kurzen optischen Anregungspuls sind die Strompulse und damit auch die abgestrahlten elektromagnetischen Pulse nur wenige 100 fs lang. Solche kurzen Pulse beinhalten Frequenzkomponenten von mehreren Terahertz, weshalb üblicherweise von THz-Pulsen gesprochen wird. Mittels elektrooptischer Methoden werden die in den freien Raum abgestrahlten THz-Pulse messtechnisch charakterisiert.

In weiteren Versuchen soll die Einkopplung von rein optisch generierten Strompulsen in planare Wellenleiter untersucht werden. Solche Wellenleiter sind wichtig für die Weiterleitung der ultrakurzen Strompulse, um damit Höchsthäufigkeitskomponenten charakterisieren zu können.



Ein Teil des experimentellen Aufbaus. Die Propagationswege der Laserimpulse bzw. der THz-Pulse (rote und blaue Linien) sowie ein typischer Zeitverlauf eines THz-Pulses sind farblich markiert.

Weitergehende Informationen von M. Bieler, Tel. (05 31) 592-25 40, E-Mail: mark.bieler@ptb.de

Nicht-invasive Messung der Hirndurchblutung

Mit einem in der PTB entwickelten Messverfahren der Nahinfrarotreflektometrie und -spektroskopie lässt sich unterscheiden, ob Durchblutungsveränderungen in der Großhirnrinde oder in darüber liegenden Gewebeschichten (Haut, Knochen) ablaufen. So kann die Hirndurchblutung von Schlaganfallpatienten optisch und somit nicht-invasiv überwacht werden.

Bei der Nahinfrarotreflektometrie macht man es sich zunutze, dass Licht im Spektralbereich von 650 nm bis 900 nm mehrere Zentimeter tief in biologisches Gewebe eindringt. So lässt es sich als spektroskopische „Sonde“ für medizinisch-diagnostische Zwecke einsetzen. Es erreicht beispielsweise durch Haut und Knochen hindurch die Großhirnrinde und man kann Veränderungen der Durchblutung sowie der Sauerstoffsättigung des

Blutes messen. Mit kurzen Laserpulsen lässt sich aus der Verweildauer (Flugzeit) der Photonen im Gewebe auf die Tiefe schließen, in der Photonen absorbiert worden sind. Die Zeitauflösung des Verfahrens liegt dabei im Subnanosekunden-Bereich.

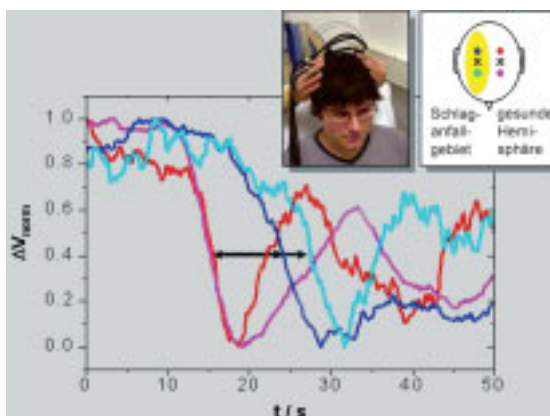
Eine aussichtsreiche Anwendung dieser Methode ist die Überwachung der Hirndurchblutung von Schlaganfallpatienten. Ist infolge eines Schlaganfalls die Durchblutung bestimmter Areale der Großhirnrinde verringert, so lässt sich dies erfassen und verfolgen, weil ein intravenös verabreichtes optisches Kontrastmittel verzögert dort eintrifft. Dies konnte in Kooperation mit der Neurologischen Klinik der Charité im Rahmen des vom BMBF geförderten Berlin Neuroimaging Centers (BNIC) gezeigt werden.

Fortsetzung auf Seite 4

Nicht-invasive Messung der Hirndurchblutung

(Fortsetzung von Seite 3)

In einem vom BMWA geförderten Projekt wird derzeit in Kooperation mit den Firmen PicoQuant GmbH und Loptek GmbH ein bildgebendes System auf der Basis des entwickelten Messverfahrens aufgebaut. Das Ziel ist es, die Änderungen der Hirndurchblutung in einem größeren Bereich der Kopfoberfläche räumlich lokalisieren zu können.



Die Varianz (DV) der Photonen-Laufzeitverteilung ändert sich (Pfeile). Dies lässt darauf schließen, dass das optische Kontrastmittel (Indocyaningrün) verzögert eintrifft. Offensichtlich ist das betreffende Hirnareal nach akutem Gefäßverschluss minderdurchblutet.

Weitergehende Informationen von H. Wabnitz,
Tel. (030) 34 81-72 93,
E-Mail:
heidrun.wabnitz@ptb.de

Galileo geht in die nächste Runde

PTBnews 05.2
Deutsche Ausgabe
August 2005
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/>
Dort finden Sie die PTBnews
unter „Publikationen“ als pdf-
oder html-Datei.

Nach langer Vorbereitungs- und Konzeptionszeit hat unter Beteiligung der PTB die Aufbauphase für Galileo, das europäische Satellitennavigationssystem, begonnen. Noch in diesem Jahr soll der erste Testsatellit die Erde umkreisen und Galileo-Signale zu empfangen sein.

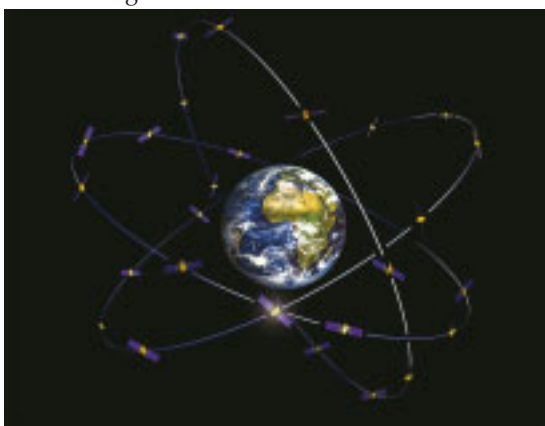
Galileo wird ein Satellitennavigationssystem unter ziviler europäischer Kontrolle, das von den existierenden Systemen GPS (Global Positioning System, USA) und GLONASS (dem russischen Pendant) unabhängig ist. Wenn Galileo fertiggestellt ist, werden 30 Satelliten in 24 000 km Höhe die Erde umkreisen. Jeder von ihnen hat mehrere Atomuhren an Bord und sendet unablässig Zeitsignale zur Erde. Per Laufzeitmessung können sie dazu genutzt werden, zentimetergenau einen Ort zu bestimmen. In seinen technischen Eigenschaften ähnelt Galileo dem amerikanischen und dem russischen System sehr stark, so dass gegenwärtig Verhandlungen mit dem Ziel stattfinden, die drei Systeme „inter-operabel“ zu machen. Mit einem einzigen Empfänger sollen die Signale aller Satelliten der drei Systeme zu empfangen sein und die Positionsbestimmung erlauben.

Im Dezember 2003 war die Vorbereitungsphase mit der so genannten Galileo-Gesamtdefinition ab-

geschlossen und die Phase von Detailentwicklung, Aufbau, Test und Überprüfung begann. In dieser Phase sollen bis Ende 2007 die ersten vier Satelliten der späteren Konstellation in den Orbit geschickt werden und eine erste Ausbaustufe des Bodensegments entstehen. Von diesem Bodensegment aus wird der Betrieb der Satelliten kontrolliert. Außerdem sollen hier die Zeitsignale der Satelliten erzeugt und kontrolliert werden – unter anderem mit Hilfe einer „Precise Time Facility“, in der die Galileo-Systemzeit (GST) erzeugt wird. Die PTB berät die Europäische Raumfahrtagentur und die beteiligte Industrie bei der GST-Realisierung und beim Design der Precise Time Facility.

Jedes Satellitennavigationssystem ist zugleich ein System zur Zeitverbreitung. An bekanntem Ort kann der Empfang der Satellitensignale für die Übertragung von GST zum Anwender benutzt werden. GST soll in sehr guter Übereinstimmung mit der Koordinierten Weltzeit UTC gehalten und diese Beziehung dem Nutzer bekannt gemacht werden. Dies wurde als zusätzliche attraktive Eigenschaft von Galileo angesehen, das jedoch nicht unmittelbar mit der primären Aufgabe begründbar ist. Daher wird eine unabhängige Einrichtung ins Leben gerufen, die dem Galileo-System die benötigte Zeitinformation liefert. Dieser so genannte Galileo Time Service Provider wird vom Galileo Joint Undertaking, Brüssel, einem Mischunternehmen in öffentlicher und privater Trägerschaft, mit Mitteln der Europäischen Kommission aufgebaut.

In Zusammenarbeit mit dem NPL (National Physical Laboratory, Großbritannien) und dem IEN (Istituto Elettrotecnico Nazionale Galileo Ferraris, Italien) hat die PTB die Anforderungen an Organisation und Funktion des Time Service Provider festgelegt. Ein wichtiger Teil seiner Aufgabe werden Organisation und Durchführung von Zeitvergleichen zwischen den verschiedenen beteiligten Stellen sein. Hier liegt der Arbeitsschwerpunkt der PTB in den kommenden drei Jahren.



(Quelle: ESA)

30 Galileo-Satelliten werden die Erde umkreisen, so dass man an jedem Ort die Zeit-Signale von mindestens vier Satelliten empfangen kann.

Weitergehende Informationen von A. Bauch,
Tel. (05 31) 592-43 20,
E-Mail:
andreas.bauch@ptb.de