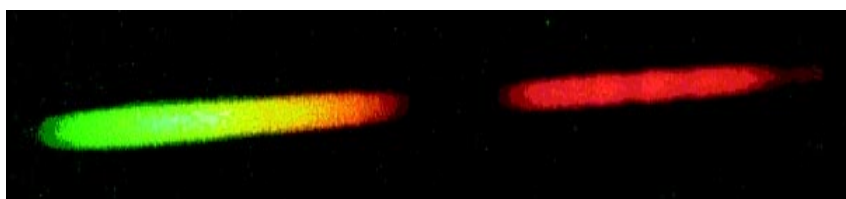


## Vereinfachte Messung optischer Frequenzen

Laser, deren Frequenzen auf Übergänge in Atomen oder Ionen stabilisiert sind, werden zukünftig wohl zu Atomuhren mit bisher unerreichter Genauigkeit führen. In der PTB wurde ein optisches Messsystem entwickelt, mit dem eine beliebige optische Frequenz auf die Frequenz des Primärnormals für Zeit und Frequenz, die Caesium-Atomuhr, zurückgeführt werden kann.

Das neuartige Schema zur phasenkohärenten Messung der Frequenz eines optischen Frequenznormals basiert auf einem Femtosekunden-Titan:Saphir-Laser. Der Einsatz eines solchen einzelnen Oszillators führt zu einer wesentlichen Vereinfachung gegenüber den bisher in der PTB und anderswo eingesetzten komplexen Frequenzketten, die die Frequenzvervielfachung mit vielen Zwischenoszillatoren benutzen (s. PTBnews 96.1). Im Frequenzbereich entspricht die Impulsfolge eines Femtosekundenlasers einem Kamm von einzelnen Frequenzen, deren Abstand gerade der Impulsfolgefrequenz entspricht. Der Kamm, dessen spektrale Breite durch die reziproke Dauer eines einzelnen Impulses gegeben ist, wird in einer neuartigen optischen Mikrostrukturfaser spektral verbreitert und überdeckt nahezu den

gesamten sichtbaren und nahen infraroten Bereich des optischen Spektrums. Die Frequenz einer beliebigen Linie des Kamms kann bestimmt werden durch eine Messung des Linienabstands, d. h. der Repetitionsrate der Impulse, und eine Frequenzmessung, die die Verschiebung des gesamten Kamms gegenüber dem Ursprung der Frequenzachse angibt.

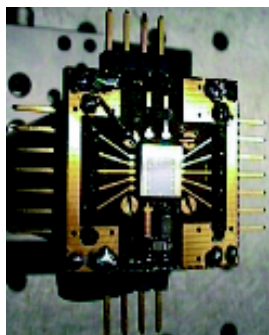


Die Strahlung des Femtosekundenkammgenerators der PTB nach spektraler Zerlegung durch ein optisches Gitter zeigt einen Regenbogen, der große Teile des nahen infraroten und sichtbaren Teils des optischen Spektrums überdeckt. Das Spektrum, das im Bild kontinuierlich erscheint, besteht aus einer großen Zahl dicht benachbarter Spektrallinien mit genau bekannten Frequenzen.

Als erste Anwendung wurde die Frequenz des calciumstabilisierten Lasers neu bestimmt, der für eine der genauesten Realisierungen des Meters benutzt wird. Das Ergebnis stimmte mit früheren Messungen überein. Damit kann die PTB jetzt ein dichtes Raster von Millionen genauestens bekannter optischer Referenzfrequenzen herstellen, die sich über den gesamten sichtbaren und nahen infraroten Teil des Spektrums erstrecken.

Weitergehende Informationen von H. Telle,  
Fax: (05 31) 592-44 23, E-Mail: harald.telle@ptb.de

## Pikosekunden-Spannungsimpulse



Elektronische Schaltung mit photoleitendem Schalter im Zentrum. Zur Erzeugung der Pikosekunden-Spannungsimpulse werden 100 fs kurze Laserimpulse auf den Schalter fokussiert.

Die Charakterisierung und Kalibrierung elektronischer Geräte mit immer höheren Verarbeitungsgeschwindigkeiten erfordern ultrakurze Triggerimpulse mit einer Dauer von wenigen Pikosekunden. In der PTB können jetzt 1,4 ps breite Spannungsimpulse mit Halbleiterschaltern unter Verwendung von Laserimpulsen eines Femtosekundenlasers erzeugt werden.

Die Pikosekunden-Spannungsimpulse werden in Mikrostrukturen erzeugt, die lithographisch aus Halbleiterfilmen gefertigt werden. Diese photoleitenden Schalter besitzen eine 10 µm breite halbleitende Unterbrechung einer Leiterbahn, über die eine Spannung angelegt wird. Bei Beleuchtung der halbleitenden Unterbrechung mit 100 fs kurzen Laserimpulsen werden freie Ladungsträger erzeugt und ein elektrischer Strom beginnt zu fließen. Die

Verwendung von Halbleitermaterialien mit Ladungsträgerlebensdauern von wenigen Pikosekunden stellt sicher, dass der Strom rasch wieder abklingt und dadurch ultrakurze Spannungsimpulse entstehen. Die Zeitstruktur der Spannungsimpulse wird mit Abtasttechniken bestimmt, die ebenfalls 100 fs kurze Laserimpulse verwenden.

Zur Zeit können Spannungsimpulse mit einer vollen Halbwertsbreite von 1,4 ps und einer Anstiegszeit von 1,0 ps erzeugt werden. Als erste Anwendung werden die Pikosekunden-Spannungsimpulse zur Kalibrierung der Zeitauflösung von 50-GHz-Speicheroszilloskopen benutzt, die zur Charakterisierung von Hochgeschwindigkeitselektronik zunehmend wichtig werden.

Weitergehende Informationen von U. Siegner,  
Fax: (05 31) 592-42 72, E-Mail: uwe.siegner@ptb.de

# »Josephson-Präzision« jetzt auch für Wechselstrom

Mit dem Einsatz eines neuartigen Josephson-Spannungsnormals als schnell umpolbare Spannungsquelle können thermoelektrische Effekte in Thermokonvertern sehr genau ermittelt werden. Dadurch wird die relative Unsicherheit der Messung von Wechselspannungen und -stromstärken auf weniger als  $10^{-7}$  verringert.

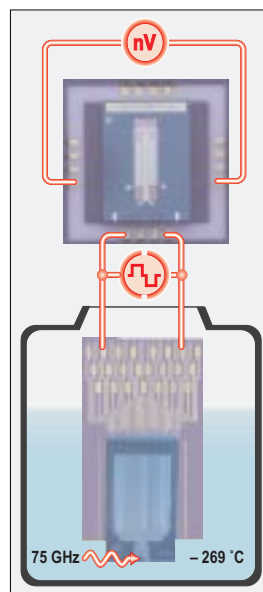
Die präzise Messung von Wechselspannungen und Wechselstromstärken wird mit Thermokonvertern durchgeführt. Dabei wird die von der Wechselgröße erzeugte Joulesche Wärme in einem Widerstand mit der von einem bekannten Gleichstrom über die Messung seiner Temperaturerhöhung verglichen. Thermoelektrische Effekte wie der Thomson-Effekt verändern allerdings das Temperaturprofil bei Gleichstrom. Diese Effekte können mit Hilfe einer schnell umpolbaren Gleichspannungsquelle nach der »Fast-Reversed-DC-Methode« (FRDC) bestimmt werden. Sie beruht darauf, dass der Thomson-Effekt stromrichtungsabhängig ist und das Temperaturprofil sich mit der thermischen Zeitkonstanten des Konverters verschiebt. Kehrt man die Stromrichtung um, so wird die Veränderung der Temperatur mit zunehmender Frequenz unterdrückt. Damit kann durch Variieren der Reversierfrequenz der Thomson-Effekt messtechnisch ermittelt werden.

Bisher wurde die umpolbare Spannungsquelle mit Halbleiterbauelementen realisiert, wobei positive und negative Amplitude genau abgeglichen werden mussten. Jetzt wurde sie erstmals mit einem Josephson-Array der Schichtenfolge Supraleiter-Isolator-Normalleiter-Isolator-Supraleiter (SINIS) aufge-

baut. Diese SINIS-Spannungsquelle zeichnet sich dadurch aus, dass sie mit der Präzision eines Quantennormals exakt gleiche Amplituden in beiden Polaritäten liefert. Zum Wechseln der Polarität wird jetzt der Biasstrom der Josephson-Elemente umgepolt. Wegen der Kennlinien-Hysterese erlauben herkömmliche Josephson-Elemente dagegen keine eindeutige Spannungseinstellung durch den Biasstrom.

Messungen an zwei unterschiedlichen planaren Vielfachthermokonvertern mit Reversierfrequenzen bis zu 200 Hz zeigten thermoelektrische Effekte von weniger als  $0,2 \mu\text{V}/\text{V}$ . Wegen der quantisierten Spannung der Josephson-Schaltung ist die Streuung der Messwerte sehr gering.

Die Verwendung der Josephson-Spannungsquelle eröffnet zum einen die Möglichkeit, zukünftig Transfermessungen mit Thermokonvertern mit geringerer Messunsicherheit durchführen zu können. Zum anderen steigert die gute Übereinstimmung dieser neuen FRDC-Quelle mit einer bisher verwendeten Halbleiterquelle das Vertrauen in das FRDC-Messverfahren.



Josephson-Chip in einem Messaufbau zur Ermittlung der thermoelektrischen Effekte in Thermokonvertern. Der mit 75 GHz betriebene Chip befindet sich in flüssigem Helium (unten). Die umpolbare Biasstromquelle (Bildmitte) versorgt den Chip und den zu prüfenden Thermokonverter (oben), dessen Ausgangsspannung mit dem Nanovoltmeter erfasst wird.

Weitergehende Informationen von T. Funck,  
Fax: (05 31) 592-21 05,  
E-Mail:  
torsten.funck@ptb.de

## Anerkennung von Prüfungen im Explosionsschutz

Auf Einladung der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE) und der PTB fand im September 2000 in Braunschweig eine Konferenz mit 55 Delegierten aus 20 Ländern statt. Es wurden Beschlüsse zur weiteren globalen Harmonisierung im IECEx-Zertifizierungsschema mit dem Ziel der gegenseitigen Anerkennung von Prüfungsergebnissen und Zertifizierungen gefasst.

Die Anerkennung von Prüfungen und Zertifizierungen ist in Europa durch die Richtlinie 94/9/EG geregelt. Ein wichtiges Instrument für die weltweite Harmonisierung ist das IECEx-Schema, das gegenseitige Anerkennungen von Prüfungen und Zertifikaten zwischen den Mitgliedsländern auf der Grundlage von IEC-Normen und einheitlichen Verfahrensregeln vorsieht. Hierbei wird eine zweistufige Konformitätsbewertung in Form einer Baumusterprüfung des Produkts sowie einer Bewertung des Qualitätsmanagementsystems beim Her-

steller durchgeführt. Mitglieder mit abweichenden nationalen Anforderungen sind während einer Übergangszeit von 10 Jahren zur vollständigen Übernahme der IEC-Normen als nationale Normen verpflichtet.

Die anerkannten Zertifizierungsstellen des IECEx-Schemas können nationale Baumusterprüfbescheinigungen auf der Grundlage von »Assessment and Test Reports« (ATRs) anderer Länder ausstellen. Um die Bewertung der Qualitätsmanagementsysteme nicht wiederholen zu müssen, beschloss die Konferenz die Einführung des »Quality Assurance Reports« (QARs). Außerdem wurden die Verfahren für die Erstellung und Bewertung der ATRs weiter harmonisiert und vereinfacht. Somit kann die PTB künftig ATRs und QARs ausstellen, die als Grundlage für Zertifizierungen in anderen Ländern dienen. Durch Vermeidung von Doppelprüfungen werden die Zulassungsverfahren in den Importländern erheblich vereinfacht, so dass deutsche und andere europäische Hersteller explosionsgeschützter Geräte einen erleichterten Zugang zu den Weltmärkten erhalten. Weitergehende Informationen von H. Wehinger,  
Fax: (05 31) 592-34 05, E-Mail: gerlinde.haas.@ptb.de

# Neues Verfahren zur Erdgasabrechnung

Die Abrechnung von Erdgasen zwischen Versorgungsunternehmen und Verbrauchern erfolgt in Deutschland auf der Basis der gelieferten Energiemenge. Um nicht an jedem Verbrauchsort sämtliche die Energie bestimmenden Gasbeschaffheitsdaten aufwändig messen zu müssen, werden auch in komplexen Gasversorgungsnetzen sogenannte Zustandsrekonstruktionssysteme eingesetzt. Dabei werden der Brennwert und weitere Gasbeschaffheitsdaten nur an verhältnismäßig wenigen repräsentativen Stellen im Fernleitungsnetz gemessen. Daraus bestimmt ein in der Bauartzulassung erfasstes Programmsystem die Daten für die Verbrauchsorte.

Zustandsrekonstruktionssysteme kombinieren die von Messstationen ermittelten Werte von Volumenstrom, Normdichte, Druck, Temperatur und Brennwert mit detaillierten Angaben zur Netztopologie (Geometrie der Rohrleitungen, Ein- und Auspeisestellen, Schieber, Ventile, Speicher, Verdichter usw.) in einem Programmsystem zur Ermittlung der verteilten Volumenströme. Damit können der Brennwert und weitere Gasbeschaffheitsdaten für jeden Verbrauchsort zeitabhängig berechnet werden, so dass an den einzelnen Verbrauchsstellen lediglich noch die gelieferte Gasmenge gemessen werden muss.

Die Richtigkeit der für einen Verbrauchsort relevanten Daten wurde bisher durch zugelassene Messgeräte und nicht eichpflichtige Zusatzeinrichtungen gewährleistet, wobei letztere einschließlich des Programmsystems durch die Eichbehörden überwacht wurden. Insbesondere die hierbei erkannte begrenzte Prüfbarkeit der komplexen Systeme wurde nunmehr durch

Festlegung harmonisierter Anforderungen an Konstruktion und Betrieb der Systeme erheblich verbessert. Diese werden damit als komplexe Messeinrichtungen einschließlich Hard- und Software behandelt und können einer Bauartzulassung unterworfen werden. Wesentliche Anforderungen betreffen die Software, die Datenübertragung und -speicherung sowie die Prüfung durch Probenahmen an wechselnden Orten, um

die richtige Funktion des gesamten Systems durch den Vergleich gemessener und berechneter Werte beurteilen zu können. Die harmonisierten Anforderungen und Regeln dienen den Gasversorgungsunternehmen für Planung, Erstellung und Betrieb der Zustandsrekonstruktionssysteme sowie den Eichbehörden für einen einheitlichen Vollzug zum Schutz der Verbraucher.

Weitergehende Informationen von S. Sarge,  
Fax: (05 31) 592-32 05,  
E-Mail: stefan.sarge@ptb.de



Erdgasfernleitungsnetz in Deutschland (Bild: BGW)

PTBnews 00.3  
Deutsche Ausgabe  
Dezember 2000

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

Chefredakteur Burkhard Wende  
PTB, Abbestr. 2-12  
10587 Berlin  
Telefon: (030) 3481-480  
Fax: (030) 3481-503  
Email: ptbnews@ptb.de

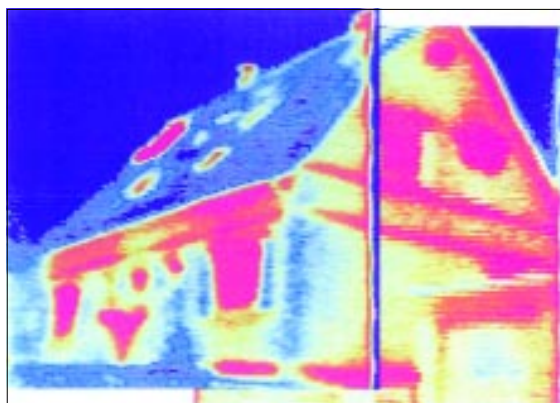
## Wärmeleitfähigkeit von Baustoffen

**Außenwände bestimmen wesentlich den Heizenergieverbrauch eines Gebäudes. Schlechte Dämmung verursacht hohe Heizkosten und belastet die Umwelt durch erhöhten CO<sub>2</sub>-Ausstoß der Heizung. Entscheidend für den Wärmedurchlass einer Mauer ist ihre Wärmeleitfähigkeit. Diese kann nun speziell für Lochziegel mit einem neuartigen Gerät wesentlich schneller und damit preisgünstiger als mit herkömmlichen Verfahren bestimmt werden.**

Nach dem deutschen Bauproduktengesetz muss für jeden wärmedämmenden Ziegeltyp die Wärmeleitfähigkeit nach festgesetzten Richtlinien ermittelt werden. Diese erlauben entweder die Messung an entsprechend errichteten Wandprüfkörpern oder am Scherben, d. h. am Vollmaterial. Hierzu wird die Wand bzw. der Scherben auf der einen Seite so lange gleichmäßig erwärmt und auf der anderen gekühlt, bis sich ein stationärer Wärmestrom einstellt. Dieser ist das Maß für die Wärmeleitfähigkeit. Beide Verfahren sind zeit- und bedienungsintensiv und damit teuer.

Abhilfe schafft hier ein von der PTB entwickeltes Messgerät. Ein dünner, stromdurchflossener Nickelstreifen, der zwischen die beiden Teile eines halbierten Ziegels gelegt wird, dient dabei als Wärmeleitfähigkeitssensor. Über eine 4-Punkt-Widerstandsmessung mit großer Stromstärke wird für etwa fünf Minuten sein Temperaturanstieg bestimmt. Aus der Steigung des Signals ergibt sich die Wärmeleitfähigkeit. Da dieses so genannte THS (transient hot strip)-Gerät neben dem Nickelstreifen nur eine Stromquelle, ein Voltmeter und einen PC benötigt, ist der Aufwand sehr gering. Das Gerät, mit dem die Wärmeleitfähigkeit mit einer Unsicherheit von 2,6 % gemessen werden kann, ist mittlerweile für die bauaufsichtliche Überwachung von Lochziegeln amtlich zugelassen.

Diese Entwicklung wird zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit sowohl von Prüfinstituten als auch von Ziegelherstellern beitragen. Darüber hinaus eröffnet der große Messbereich des THS-Geräts weitere Anwendungsfelder, wie z. B. die Untersuchung von Kunst- und Wärmedämmstoffen für Fensterrahmen. Weitergehende Informationen von U. Hammerschmidt, Fax: (05 31) 592-32 05, E-Mail: ulf.hammerschmidt@ptb.de



Thermogramm eines Hauses (aus zwei Einzelaufnahmen zusammengesetzt), in dem die Wärmebrücken (rot) erkennbar sind

# Baudenkmal wird Laborgebäude

Am 20. Oktober 2000 konnte die PTB an ihrem Standort Berlin-Charlottenburg ein modernes Laborgebäude einweihen, das zugleich ein bekanntes Baudenkmal ist: Das Gebäude des ehemaligen Deutschen Arbeitsschutz-Museums wurde als Hermann-von-Helmholtz-Bau wiedererrichtet.

Das in den Jahren 1900 bis 1903 erbaute Museum war im 2. Weltkrieg schwer beschädigt worden und blieb später lange Zeit ungenutzt, ehe die PTB vor rund einem Jahrzehnt mit der Wiedererrichtung des inzwischen denkmalgeschützten Gebäudes begann. Es trägt jetzt den Namen des ersten Präsidenten der PTR und wird als modernes Laborgebäude für Aufgaben der Medizinmesstechnik (Biomagnetismus), der Energiemesstechnik (thermische Energie) und der Informationstechnologie genutzt.

Die Fertigstellung des Hermann-von-Helmholtz-Baus stellt für die Konzentration der PTB in Berlin auf den Standort Charlottenburg einen wichtigen Meilenstein des Modernisierungs- und Erweiterungsprogramms dar, das das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie und die PTB nach der deutschen Vereinigung eingeleitet haben. Die



Der Blick in die Halle des Hermann-von-Helmholtz-Baus der PTB in Berlin-Charlottenburg zeigt die filigrane Trägerkonstruktion des ehemaligen Deutschen Arbeitsschutz-Museums.

Konzentration wird die Schließung des Standorts Berlin-Friedrichshagen ermöglichen, den die PTB 1990 zusammen mit dem Bereich Meßwesen des DDR-Amtes für Standardisierung, Meßwesen und Warenprüfung übernommen hat.

## Mikroliter-Dosierung von Humanserum

**Blut ist für medizinische Analyse-Laboratorien ein alltäglicher, aber dennoch schwer einzuschätzender Stoff. Ein Problem ist bereits, Humanserum genau zu dosieren. Eine einfache Methode zur Dichtebestimmung von Humanserum, die bei einer jetzt abgeschlossenen Studie der PTB entdeckt wurde, kann diese Situation deutlich verbessern. Damit ist es möglich, handelsübliche Volumendosiergeräte gravimetrisch mit Serum zu kalibrieren. Mikroliter-Dosierungen von Humanserum sind in Zukunft präziser möglich.**

Die medizinische Analytik hat die Möglichkeiten zur Diagnose deutlich verbessert, indem die Anzahl von Einzelanalysen am Serum eines Patienten

erhöht wurde. Um den Patienten nicht durch zu große Blutabnahmemengen zu belasten, werden zunehmend sehr kleine Flüssigkeitsvolumen von wenigen Mikrolitern analysiert, die mit Kolbenhubpipetten und Mikroliterspritzen dosiert werden. Die Geräte werden mit Wasser kalibriert. Das entspricht geltenden Normen, doch sind Zweifel an der Gültig-

keit dieser Kalibrierungen für die Dosierung von Serum aufgekommen.

Die PTB hat deshalb eine entsprechende Studie durchgeführt und erstmals die Abweichungen im Dosierverhalten von Wasser und Humanserum quantifiziert. Bei Kolbenhubpipetten mit Direktverdrängung macht sich der Wechsel der Dosierflüssigkeit nicht sehr stark bemerkbar. Für Nennvolumen von mehr als 10 µl wurden relative Volumenabweichungen von weniger als 1 %, teilweise sogar weniger als 0,1 % gefunden. Bei Kolbenhubpipetten mit Luftpolster sind die Abweichungen mit etwa 5 % dagegen so groß, dass zumindest für diese Geräte eine Kalibrierung mit dem zu dosierenden Humanserum selbst dringend geboten ist.

Um allerdings Dosiergeräte durch Wägung gravimetrisch mit Serum kalibrieren zu können, muss dessen jeweilige Dichte genau bekannt sein. Bisher wusste man lediglich, dass diese Dichte um einen Mittelwert von etwa 1,024 g/cm<sup>3</sup> schwankt. Die PTB-Studie zeigt nun einen einfachen Weg zur Bestimmung der Dichte auf: Sie ergibt sich mit einer relativen Unsicherheit von nur 2 · 10<sup>-4</sup> bereits aus dem Gehalt an Eiweiß und Kochsalz, den Hauptbestandteilen von Serum nach Wasser. Da Eiweiß- und Kochsalzkonzentration ohnehin bei nahezu jeder Serumanalyse gemessen werden, ist keine zusätzliche aufwändige Dichtemessung erforderlich. Weitergehende Informationen von H. Wolf, Fax: (05 31) 592-32 09, E-Mail: [henning.wolf@ptb.de](mailto:henning.wolf@ptb.de)



In medizinischen Laboratorien wie hier in der Medizinischen Hochschule Hannover werden täglich mehrere tausend Humanserumproben analysiert.