

## Mikro-Ionenstrahl für die Radiobiologie

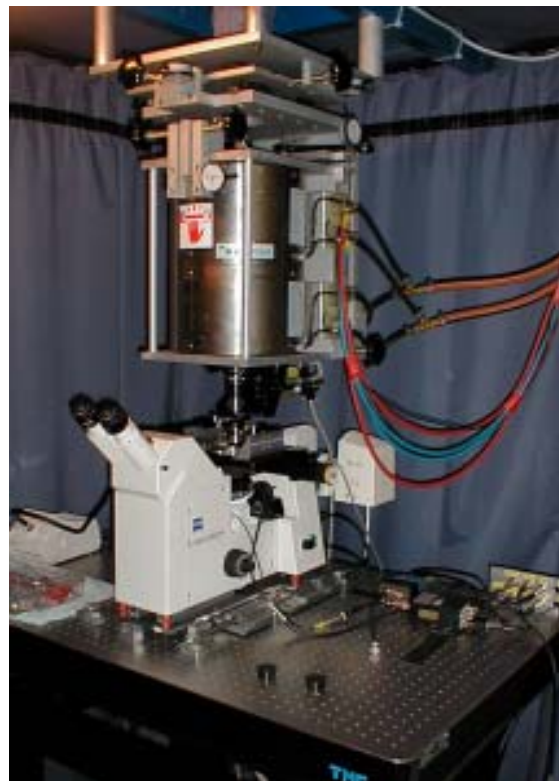
**Eine neue apparative Einrichtung an der Ionenbeschleunigeranlage der PTB erlaubt es, lebende Zellen mit einer definierten Anzahl von Ionen mit subzellulärer Ortsgenauigkeit zu bestrahlen. Solche Mikrostrahllexperimente dienen vor allem radiobiologischen Fragestellungen wie der Tumorentstehung.**

Die Tumorentstehung ist ein komplexer und mehrstufiger Prozess, an dessen Anfang eine Schädigung des Erbgutes einer gesunden Zelle steht. Diese Schädigung kann spontan entstehen oder durch verschiedene Agenzien bewirkt werden, wie z. B. chemische Substanzen, Viren oder ionisierende Strahlung. Um die Mechanismen, die der Krebsentstehung durch ionisierende Strahlung zu Grunde liegen, zu verstehen und Risikoabschätzungen für die berufliche und natürliche Strahlenexposition machen zu können, werden im Experiment lebende Zellen ionisierender Strahlung ausgesetzt. In den letzten Jahren gelang es einigen wenigen Forschungsinstituten, ihre apparativen Einrichtungen derart zu verfeinern, dass Zellen mit einer definierten Anzahl von Ionen mit subzellulärer Ortsgenauigkeit ( $< 5 \mu\text{m}$ ) bestrahlt werden konnten (Mikro-Ionenstrahl). Der Vorteil eines Mikro-Ionenstrahls: Die Zufälligkeit der herkömmlichen Bestrahlung wird ausgeschaltet und wichtige Kontrollparameter wie Dosis, Dosisleistung und Trefferposition können vom Experimentator mit hoher Genauigkeit vorgegeben werden. Hierdurch wird es möglich, die Wirkung geringer Dosen mit höherer Zuverlässigkeit als bisher zu untersuchen.

Am PTB-Ionenbeschleuniger wurde eine derartige Apparatur aufgebaut. Ein Teilchenstrahl aus Protonen oder Alphateilchen wird durch magnetische Linsen auf

einen Durchmesser von etwa  $1 \mu\text{m}$  fokussiert und die Intensität des Strahls auf wenige Teilchen je Sekunde reduziert. Das Auftreffen eines Ions auf der Probe wird mithilfe von dünnen Szintillationsdetektoren mit einer Effizienz von 98 % bis 100 % nachgewiesen. Ein wesentlicher Vorteil gegenüber den bereits existierenden Anlagen ist der weite Energiebereich, der in der PTB zur Verfügung steht. Es können daher Untersuchungen durchgeführt werden, die für die Strahlenwirkung der natürlich vorkommenden Strahlenarten (Alpha-, Beta-, Gamma-Strahlung) relevant sind.

In Zusammenarbeit mit der medizinischen Fakultät der Universität Göttingen wurden die ersten Zellbestrahlungen durchgeführt. Weitere Anwender sowohl aus der radiobiologischen Forschung als auch beispielsweise aus der Materialforschung wollen die PTB-Anlage ebenfalls für neuartige Experimente nutzen. Zellbestrahlungen werden ab Sommer 2002 im Routinebetrieb möglich sein.



Mikro-Ionenstrahlapparatur mit optischem Mikroskop

Weitere Informationen:  
K.-D. Greif  
Fax: (05 31) 592-72 05  
E-Mail:  
klaus.greif@ptb.de

## Hochpräzise Kristall-Orientierungsapparatur in der PTB vorgestellt

**Der Fehlwinkel zwischen Oberfläche und Netzebenen von Waferscheiben ist für die Halbleiterindustrie eine wichtige Kenngröße die auf SI-Einheiten zurückgeführt werden muss. Auch im Bereich der metrologischen Anwendung von Silicium z. B. für die Neubestimmung der Avogadro-Konstante spielt dieser Winkel eine bedeutende Rolle. Aus diesem Grund wurde eine in der PTB entwickelte und gebaute, hochpräzise Kristall-Orientierungsapparatur in Betrieb genommen.**

Das Verfahren dient dazu, an einkristallinen Proben mittels Röntgenstrahlinterferenzen die Orientierung einer bestimmten Netzebenennormalen des Kristallgitters

in Bezug auf vorgegebene geometrische Richtungen zu bestimmen. Ihre Hauptbestandteile sind ein Röntgen-goniometer mit Drehtisch, Goniometerkopf, Röntgenröhre und Röntgendetektor sowie ein optisches Messsystem mit Autokollimationsfernrohr und Referenzspiegel. Durch Schwenken der Probenhalterung mit Probe um die Goniometerachse wird die maximale Intensität nach Drehung um jeweils  $90^\circ$  aufgesucht, bis die Netzebenennormale parallel zur Goniometerachse ausgerichtet ist. Mit Hilfe optischer Methoden kann dann die Winkelabweichung geometrischer Richtungen zu dieser kristallographischen Richtung bestimmt werden.

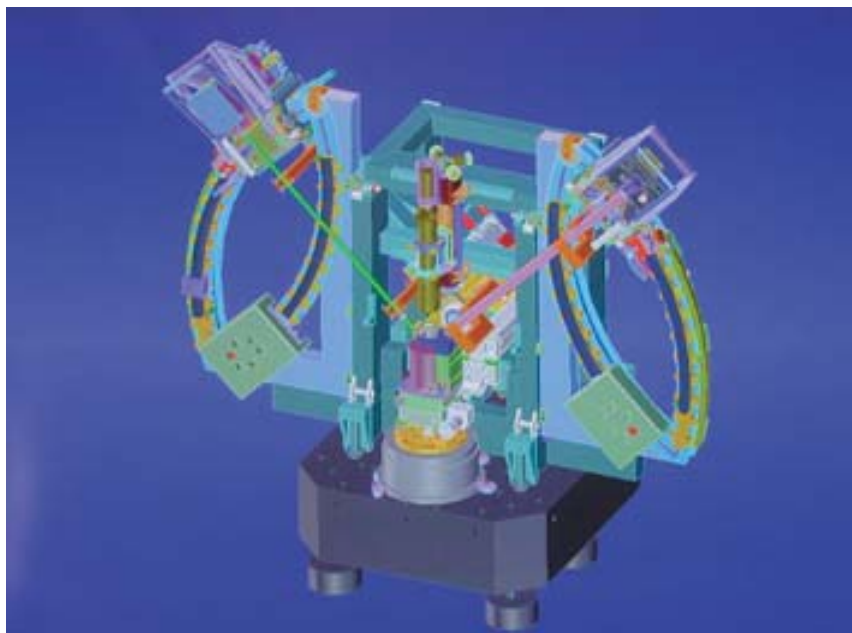
Fortsetzung auf Seite 2

Fortsetzung von Seite 1

### Hochpräzise Kristall-Orientierungsapparatur...

So wird die Anlage, die in einem klimatisierten Laborraum aufgestellt ist, für die Prüfung des sogenannten Off-Winkels zwischen Waferoberfläche und Netzebene an ausgewählten Referenzproben aus Si, Ge und GaAs eingesetzt. Die geforderte Präzision des Verfahrens liegt je nach Anwendung in einem Bereich zwischen 1" und 25" (Winkelsekunden) und unterschreitet damit die bislang erreichten Messunsicherheiten vergleichbarer Messverfahren (DIN 50 433) um mehr als eine Größenordnung.

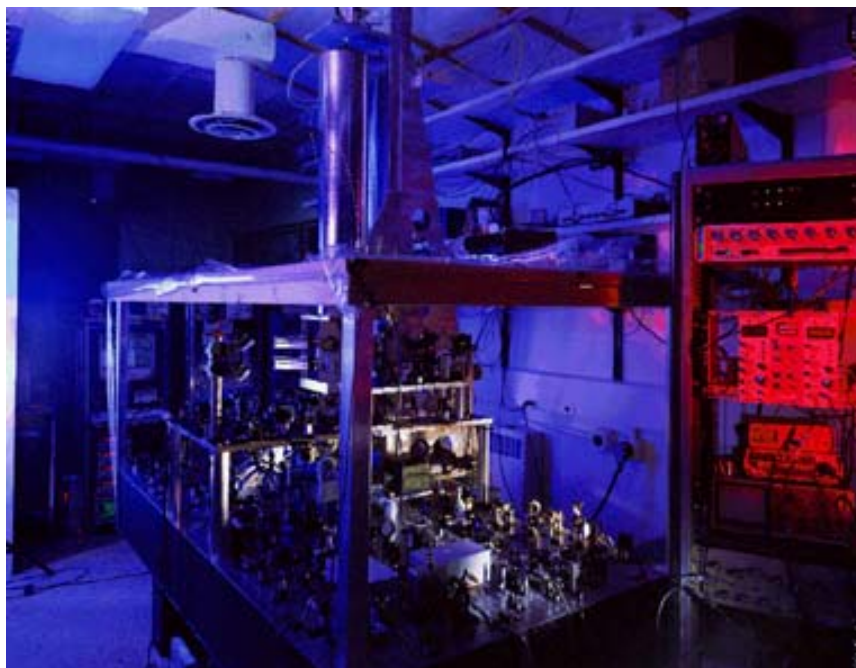
In der Halbleiterindustrie ist die präzise Angabe der Orientierung von Waferscheiben für den Aufbau epitaktischer Schichten notwendig und von großer wirtschaftlicher Bedeutung.



Orientierungsapparatur für Einkristalle  
geometrische Abmessung etwa 2 m x 2 m, Masse ungefähr 1 Tonne

Weitergehende Informationen von  
D. Schulze, Fax: (05 31) 592-60 15  
E-Mail: dieter.schulze@ptb.de

## Hochgenaue Vergleiche von Fontänenfrequenznormalen



Fontänenfrequenznormal: NIST-F1

**Beim Vergleich zweier Caesiumfontänen über eine Zeitspanne von einigen Wochen ergab sich eine relative Abweichung von weniger als  $0,5 \cdot 10^{-15}$ , also deutlich unter der für beide Frequenznormale abgeschätzten Unsicherheit von jeweils  $1,5 \cdot 10^{-15}$ . Diese Abweichung konnte mit einer sehr geringen Messunsicherheit von  $0,6 \cdot 10^{-15}$  bestimmt werden.**

Mit lasergekühlten Caesiumatomen kann man derzeit die genauesten Atomuhren bauen. Wegen der geringen und wohldefinierten Geschwindigkeit dieser Atome sind sowohl die Stabilität als auch die Genauigkeit von

Caesiumfontänen um mindestens eine Größenordnung höher, als es jahrelang mit Caesiumatomuhren mit thermischem Atomstrahl zu erreichen möglich war. In der PTB funktioniert die Fontäne CSF1 seit 1999. Ihre Stabilität konnte durch den Vergleich mit einem aktiven Wasserstoffmaser der PTB bestätigt werden. Als zwei Monate lang die beiden Caesiumfontänen des amerikanischen NIST und der PTB in Betrieb waren, ergab sich die Gelegenheit, zwei gleichartige und ähnlich genaue, aber nach unterschiedlichen Prinzipien der Realisierung aufgebaute Uhren zu vergleichen.

Der Vergleich von NIST-F1 und CSF1 wurde zunächst an beiden Orten relativ zu je einem aktiven Wasserstoffmaser durchgeführt. Diese Maser wurden wiederum über verschiedene Verfahren miteinander verglichen. Dabei handelt es sich einmal um die Laufzeitmessung von Zeitsignalen, die zwischen den beteiligten Instituten über Telekommunikationssatelliten ausgetauscht werden, zum anderen um eine Weiterentwicklung des seit Jahren gebräuchlichen Verfahrens, die Ankunftszeit von Signalen des Global Positioning System (GPS) zu registrieren. Für den betrachteten Zeitraum ergaben die beiden Verfahren ein Ergebnis, mit einer Differenz von  $0,3 \cdot 10^{-15}$ , was in der angegebene Messunsicherheit berücksichtigt ist. Einen Hinweis auf systematische Unterschiede zwischen den beiden Fontänen kann daraus nicht abgeleitet werden. Beide zeigen also sehr genau, was die Stunde geschlagen hat. Die kleine Messunsicherheit ist insofern bemerkenswert, als die beiden Fontänen 9000 km voneinander entfernt arbeiten.

Weitergehende Informationen von A. Bauch,  
Fax: (05 31) 592-44 79, E-Mail: andreas.bauch@ptb.de

# Charakterisierung von Analog-Digital-Umsetzern

**Die Nutzer von Analog-Digital-Umsetzern (ADU) sind sich oft nicht darüber im Klaren, wie entscheidend die Genauigkeit der Digitalisierung von der Beschaltung der ADU-Bausteine abhängt, insbesondere bei hoher Signalbandbreite und -dynamik.**

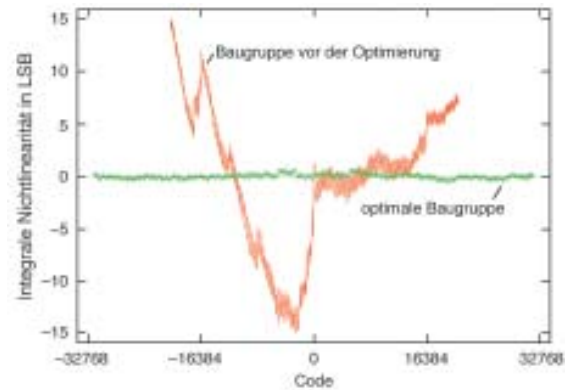
Ein in der PTB entwickelter Messplatz ermöglicht jetzt sowohl für Analog-Digital-Umsetzer als auch für vollständige ADU-Baugruppen eine messtechnisch hochwertige Charakterisierung.

Moderne Mess- und Datenerfassungssysteme stellen zunehmend anspruchsvollere Anforderungen an die Auflösung und Linearität von ADU-Baugruppen bei hoher Bandbreite. Deshalb kommen immer höher auflösende ADU-Bausteine auf den Markt. Der Ersatz eines 12-bit-Umsetzers durch einen 16-bit- oder gar 24-bit-ADU wird allerdings in der Praxis meist nicht zu entsprechend verbesserter Genauigkeit führen: Unterschätzt wird oft die mit größerer Auflösung zunehmende Bedeutung der Beschaltung des eigentlichen ADU-Bausteins. Je höher die geforderte Genauigkeit ist, desto wichtiger werden z. B. die stabile und saubere Masse- und Spannungsversorgung, die korrekte Leitungsführung der kritischen Signale, das exakte Timing, Beschaltungen zur Störungsunterdrückung und eine Abschirmung oder Teilabschirmung wichtiger Komponenten.

Auch das notwendige Austesten der ADU-Baugruppen wird immer aufwändiger. Besonders schwierig ist bei hohen Abtastraten die dynamische Prüfung von Baugruppen mit zeitlich veränderlichen Testsignalen. Angepasst werden muss auch der zur Prüfung erforderliche

Messadapter als Bindeglied zwischen ADU-Baugruppe und Messplatz.

Oft können die Schaltungsentwickler diese wichtigen Messungen nicht selbst durchführen, weil ihnen eine geeignete messtechnische Ausstattung nicht zur Verfügung steht. An einem in der PTB entwickelten Messplatz kann jetzt die metrologisch hochwertige Untersuchung und Prüfung sowohl von ADU-Bausteinen als auch von vollständigen Baugruppen erfolgen. Solche Untersuchungen von ADU-Baugruppen eines Messdatenerfassungssystems wurden unter anderem bereits für die KFZ-Industrie durchgeführt. In den meisten Fällen tragen die Messergebnisse markant zur Verbesserung der ADU-Baugruppen bei.



*Verbesserung einer 16-bit-Datenerfassungskarte durch Schaltungsoptimierung*  
Dargestellt ist die in der PTB gemessene integrale Nichtlinearität einer 16-bit-ADU-Datenerfassungskarte. Die rote Kurve zeigt das Verhalten des ersten Modells der Baugruppe. Mit Hilfe dieser Messergebnisse konnten die Fehlerquellen ermittelt und die Datenerfassungskarte optimiert werden. Die grüne Kurve zeigt das Optimierungsergebnis mit sehr guter Linearität. Eine integrale Nichtlinearität von 0 LSB (least significant bit) im gesamten Codebereich ist der theoretische Grenzwert für einen idealen ADU.

Weitergehende Informationen von A. Schnabel  
Fax: (030) 34 81-490  
E-Mail: [allard.schnabel@ptb.de](mailto:allard.schnabel@ptb.de)

## Wärmeleitfähigkeit von Wasser und Eis

**Mit einer sehr einfachen Apparatur lässt sich nun die Wärmeleitfähigkeit von Wasser und Eis in einer einzigen Kurzzeitmessung bestimmen.**

Für die Messung der Wärmeleitfähigkeit von Feststoffen existiert bereits das instationäre Heizstreifenverfahren (s. PTBnews 2.2000). Hierbei wird ein dünner Metallstreifen zwischen zwei quaderförmige Probenhälften geklemmt und mit Hilfe einer Vierleiter-Widerstandsmessung mit großem Strom sein Temperaturanstieg – als Maß der Wärmeleitfähigkeit – aufgezeichnet.

Spannt man den Streifen der Länge nach in ein verschließbares Rohr, so lassen sich auch Flüssigkeiten und Gase untersuchen. Mit einer derartig einfachen Messzelle ist es erstmals gelungen, die Wärmeleitfähigkeit gleichzeitig von Wasser und von Eis zu messen. Das Wasser wird zunächst auf  $-3\text{ }^{\circ}\text{C}$  abgekühlt und die Wärmeleitfähigkeit des Eises gemessen. Bricht man das Experiment am Gefrierpunkt nicht ab, so beginnt das Eis am Heizstreifen zu schmelzen. Die hierbei erzeugte Phasengrenze „fest – flüssig“ wird von der nach außen strebenden Wärme allmählich durch die Probe geschoben, bis sie schließlich die Rohrwandung erreicht. Dieser Vorgang benötigt Umwandlungswärme, die dem Streifen laufend entzogen wird. Dessen Signal ist entsprechend verändert und liefert nun ein Maß für die Wärmeleitfähigkeit von Wasser und dessen Umwandlungswärme.

Spannt man im Rohr parallel zum Streifen einen dünnen Platindraht, so lässt sich mit diesem zusätzlichen Temperatursensor auch noch die Temperaturleitfähigkeit der Probflißigkeit bestimmen. Trotz des einfachen Messaufbaus aus Streifen, Stromquelle, Voltmeter und PC lassen sich Unsicherheiten von 3 % erreichen.

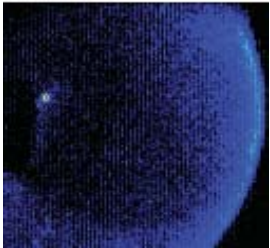
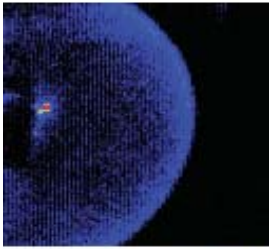
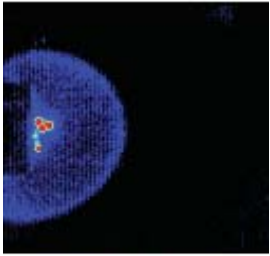
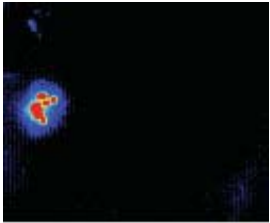
Mit dem skizzierten Experiment an der Modellsubstanz Wasser konnte die Theorie der Wärmeleitung mit Phasenänderung eindrucksvoll bestätigt werden. Die nun möglichen Messungen „durch die Phasengrenze“ können darüber hinaus schnell und zuverlässig oft benötigte thermische Transportgrößen aus diesem schwer zugänglichen Temperaturintervall liefern, z. B. für das schonende Einfrieren von Lebensmitteln oder auch den Transport und die Verarbeitung von Erdöl.



Bildquelle: [blickwinkel.de/Saier/Schnizler](http://blickwinkel.de/Saier/Schnizler)

Weitergehende Informationen von  
U. Hammerschmidt  
Fax: (05 31) 592-32 05  
E-Mail: [ulf.hammerschmidt@ptb.de](mailto:ulf.hammerschmidt@ptb.de)

# Zündung durch Laserbestrahlung



Entzündung eines Ethen/Luft-Gemisches durch Beschuss eines Absorbers mit einem Laserpuls (Absorber ist gelb markiert)

**In zwei internationalen Projekten, an denen auch die PTB beteiligt war, wurden zum ersten Mal Grenzwerte für Laserstrahlung in explosionsgefährdeter Umgebung ermittelt.**

Wegen der vielfältigen Anwendungen von Lasern in Forschung und Industrie – beispielsweise bei der Materialbearbeitung oder der Datenübertragung – ist es zu einer wichtigen Aufgabe des Explosionsschutzes geworden, Empfehlungen für den eigensicheren Gebrauch optischer Strahlung in explosionsgefährdeten Bereichen auszuarbeiten. In einer solchen Umgebung kann optische Strahlung zur Zündquelle werden, wenn die Bestrahlungsstärke einen kritischen Wert überschreitet. Die PTB hat sich deshalb im Rahmen zweier Projekte der Europäischen Gemeinschaft an der Ermittlung von Grenzwerten optischer Strahlung beteiligt.

Dabei wurde in verschiedenen Gas-Luft-Gemischen jeweils die niedrigste zündfähige Leistung naher Infrarotstrahlung bestimmt. Für gepulste und kontinuierliche Strahlung müssen verschiedene Grenzwerte angesetzt werden, weil es dabei verschiedene Zündmechanismen gibt. Im ersten Fall wurden Nanosekundenpulse und modulierte Mikrosekundenpulse aus Lasern im Einsatz mit und ohne festen Absorber verglichen. Es zeigte sich, dass beim Einsatz eines festen Absorbers die zur Zündung notwendigen Pulsenergien deutlich geringer sind. Beim Vergleich verschiedener Absorbermaterialien wurden mit einem brennbaren Material niedrigste zündfähige Energien gefunden, die im Bereich der elektrischen Mindestzündenergie der untersuchten Gase liegen, diese aber in keinem Falle unterschreiten. Unbrennbares Material zündet bei deutlich höheren Temperaturen, wurde

aber als optimaler Absorber für die Zündung bei kontinuierlicher Bestrahlung ermittelt.

Mit allen untersuchten Brennstoffen und Gasgemischzusammensetzungen konnte keine Entzündung unterhalb einer Grenze von 50 mW kontinuierlicher Strahlungsleistung erreicht werden. Unter Einhaltung eines adäquaten Sicherheitsabstandes ergibt sich damit ein empfohlener Grenzwert von 35 mW Strahlungsleistung, der nicht überschritten werden sollte. Dieser Wert gilt für den Einsatz von nicht brennbaren oder normal brennbaren Absorbieren und für den Wellenlängenbereich vom nahen Infrarot bis zum sichtbaren Licht. Bei Lasern mit großem Strahldurchmesser ( $> 7 \text{ mm}^2$ ) kann er auf einen weniger restriktiven Wert, und zwar eine Bestrahlungsstärke von  $5 \text{ mW/mm}^2$ , angehoben werden.

Im Einzelfall kann anhand der erzielten Ergebnisse für eine bestimmte Strahl-/Absorber-Kombination ein weniger restriktiver Grenzwert ermittelt werden. Anstelle der Eigensicherheitsbetrachtung ist in manchen Fällen auch der Einschluss der Strahlung durch entsprechende Kapselungsmaßnahmen sinnvoll. Die Ergebnisse dieser Arbeit gehen in die internationale Normung ein, beispielsweise in eine Norm für den Einsatz von Geräten im Bergbau.

Weitergehende Informationen von S. Schenk  
Fax: (05 31) 592-33 05  
E-Mail: sabine.schenk@ptb.de

## Handelserleichterungen für Waagenexporteure

Deutsche Waagenexporteure werden von jetzt an deutliche Erleichterungen bei ihrem Handel mit China spüren. Professor Manfred Kochsiek, Vizepräsident der PTB, unterzeichnete am 1. November in Peking ein Abkommen zwischen der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) und mehreren chinesischen Partnerinstituten zur gegenseitigen Anerkennung von Messergebnissen, zunächst für Waagen und Wägezellen. Neben Japan, mit dem ein entsprechendes Abkommen seit 1999 besteht, wird damit auch China in Zukunft von der PTB durchgeführte messtechnische Prüfungen anerkennen und umgekehrt. Die deutsche Messtechnik, die weltweit eine Spitzenstellung einnimmt, wird davon profitieren. Gleichzeitig könnte dieses Abkommen ein Signal für zukünftige, multilaterale Vereinbarungen mit weiteren Ländern der Welt setzen.

Die Unterzeichnung des Abkommens fand im Rahmen der zweiten Ministertagung des Deutsch-Chinesischen Hochttechnologie – Dialogforums in Peking statt – eine Tagung, zu der Bundeskanzler Gerhard Schröder und Wirtschaftsminister Werner Müller mit einer hochrangigen Wirtschaftsdelegation anreisten.



Das „Mutual Recognition Agreement of Test Results“ zwischen den metrologischen Instituten Deutschlands und China unterzeichneten Manfred Kochsiek, PTB (links) und Xuan Xiang, AQSIQ (State General Administration of People's Republic of China for Quality Supervision and Inspection and Quarantine) (rechts).

Weitergehende Informationen von P. Zervos,  
Telefon: (05 31) 592-11 40  
E-Mail: panagiotis.zervos@ptb.de

PTBnews 01.3  
Deutsche Ausgabe  
Dezember 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