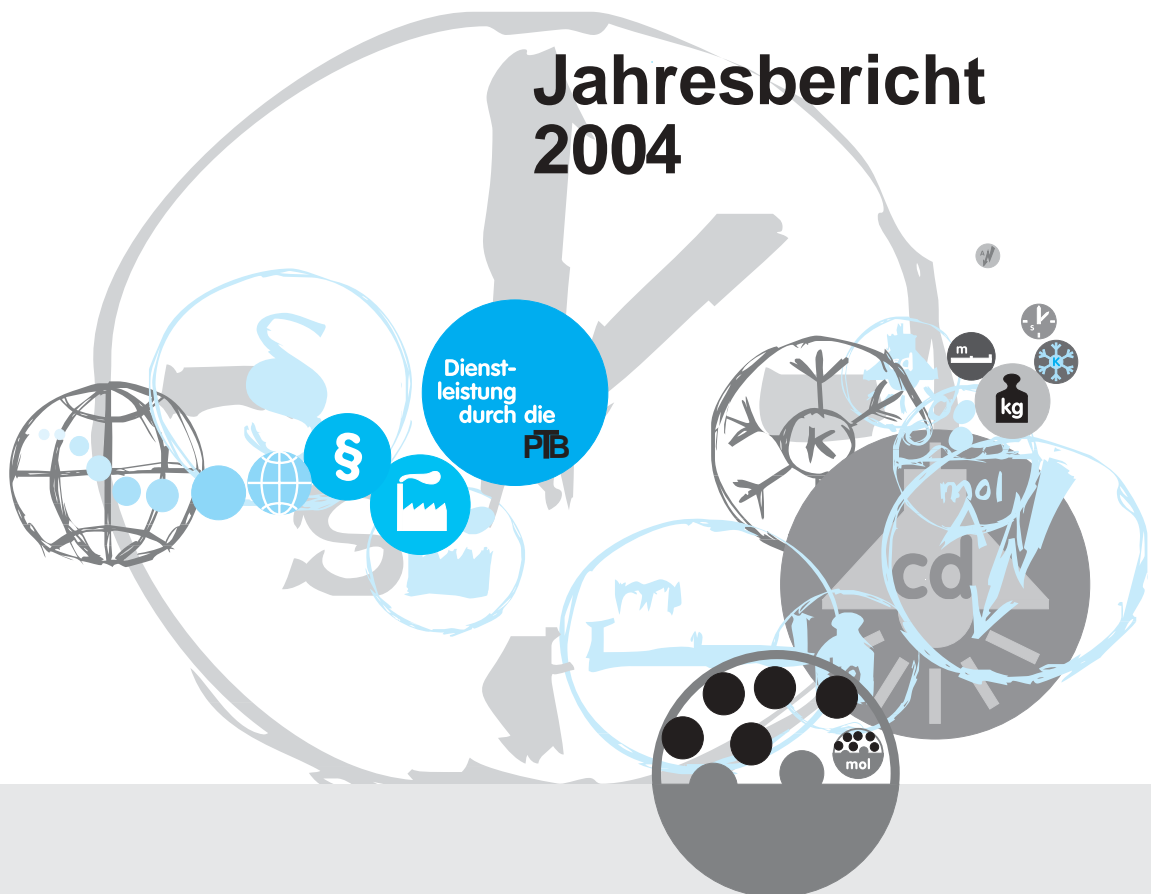


Physikalisch- Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

Jahresbericht 2004



Vorwort

„Wie viele Sorten Forschung gibt es eigentlich?“, werden Sie sich vielleicht im zurückliegenden Jahr angesichts der öffentlichen Diskussion um die „Säulen der deutschen Forschungslandschaft“ auch gefragt haben. Von Grundlagenforschung und angewandter Forschung war da die Rede, von Großforschung, von universitärer Forschung und von Ressortforschung. Und über allem schwebte die Frage, welche organisatorische Heimat die jeweilige Forschung haben sollte oder ob sie – in Bezug auf die Ressortforschung – denn überhaupt so exklusiv nötig sei. Mir erscheint es müßig, die Forschung in Spalten (oder Säulen) zu sortieren und Sinn- und Zweckfragen anhand dieser Sortierung zu diskutieren. Was zählt ist die Qualität, exzellent oder miserabel, mit allen Nuancen dazwischen. Mit dem Abschlussbericht der zeitnahen Evaluierung der PTB im Rücken sehen wir einer Diskussion über die Zukunft der Ressortforschung, wenn diese sich an Qualität orientiert, gelassen entgegen. Gleiches gilt, wenn man nach dem Zweck fragt. Ressortforschung zeichnet sich dadurch aus, dass sie in hohem Maße zweckorientiert ist. Sie dient der kompetenten Erfüllung staatlicher, z. T. hoheitlicher (Dienstleistungs-) Aufträge, die in der Verantwortung unterschiedlicher Ressorts (Ministerien) liegen. Für den Bereich der Metrologie ist dieser hoheitliche Auftrag von Verfassungsrang, gleichgestellt mit der Sicherung und dem Schutz der Währung.

Mit der Ressortforschung wird sich nun in diesem gerade begonnenen Jahr 2005 der Wissenschaftsrat im Auftrag des Deutschen Bundestages auseinandersetzen. Aus der exemplarischen Evaluation einiger ausgewählter Ressortforschungseinrichtungen soll eine Gesamtempfehlung für die Ressortforschung abgeleitet werden. Möge es gelingen!

Für die Arbeit der PTB im vergangenen Jahr, über die der vorliegende Bericht auszugsweise Rechenschaft ablegt, gilt aus meiner Sicht nach wie vor das abschließende Urteil der internationalen Evaluierungskommission: „summarisch betrachtet sind die Fachkompetenz und die Qualität der Arbeiten der PTB-Mitarbeiter exzellent“.

Allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern, die dazu beigetragen haben, gilt mein Dank.

Ernst O. Göbel



Foreword

“How many kinds of research are there, anyway?” You, too, may have asked yourself this in the course of the past year in view of the public discussion concerning the “pillars of German research territory”. Fundamental research and applied research were spoken of, also large-scale research, university research and departmental research. And over everything hovered the question as to which organizational home the respective research should have or whether – in reference to departmental research – it is at all so absolutely necessary. It seems to me to be futile to sort research into columns (or pillars) and to discuss questions of sense and purpose, based on this classification. What counts is the quality, excellent or poor, and all the nuances in between. With the final report of the current evaluation of the PTB behind us, we are looking at a discussion of the future of departmental research with equanimity, if it is orientated towards quality. The same is true when asking about purpose. Departmental research is distinguished by the fact that it is to a great extent object orientated. It serves the competent fulfilment of state – in part also sovereign – (service) commissions which lie within the responsibility of various departments (ministries). For the field of metrology, this sovereign commission has constitutional status, on a par with safeguarding and protecting the currency.

The scientific council will on behalf of the German Federal Parliament now look into departmental research in this year of 2005, just commencing. From the exemplary evaluation of some selected departmental research facilities, an overall recommendation is to be derived for departmental research. May it succeed!

For the work of the PTB in the past year, of which the present report renders a partial account, the final findings of the international evaluation commission apply in my view, then as now: “viewed in summary, the professional competence and the quality of the work of the PTB employees are excellent”.

My thanks are directed towards all employees who have made contributions to this end.

Ernst O. Göbel

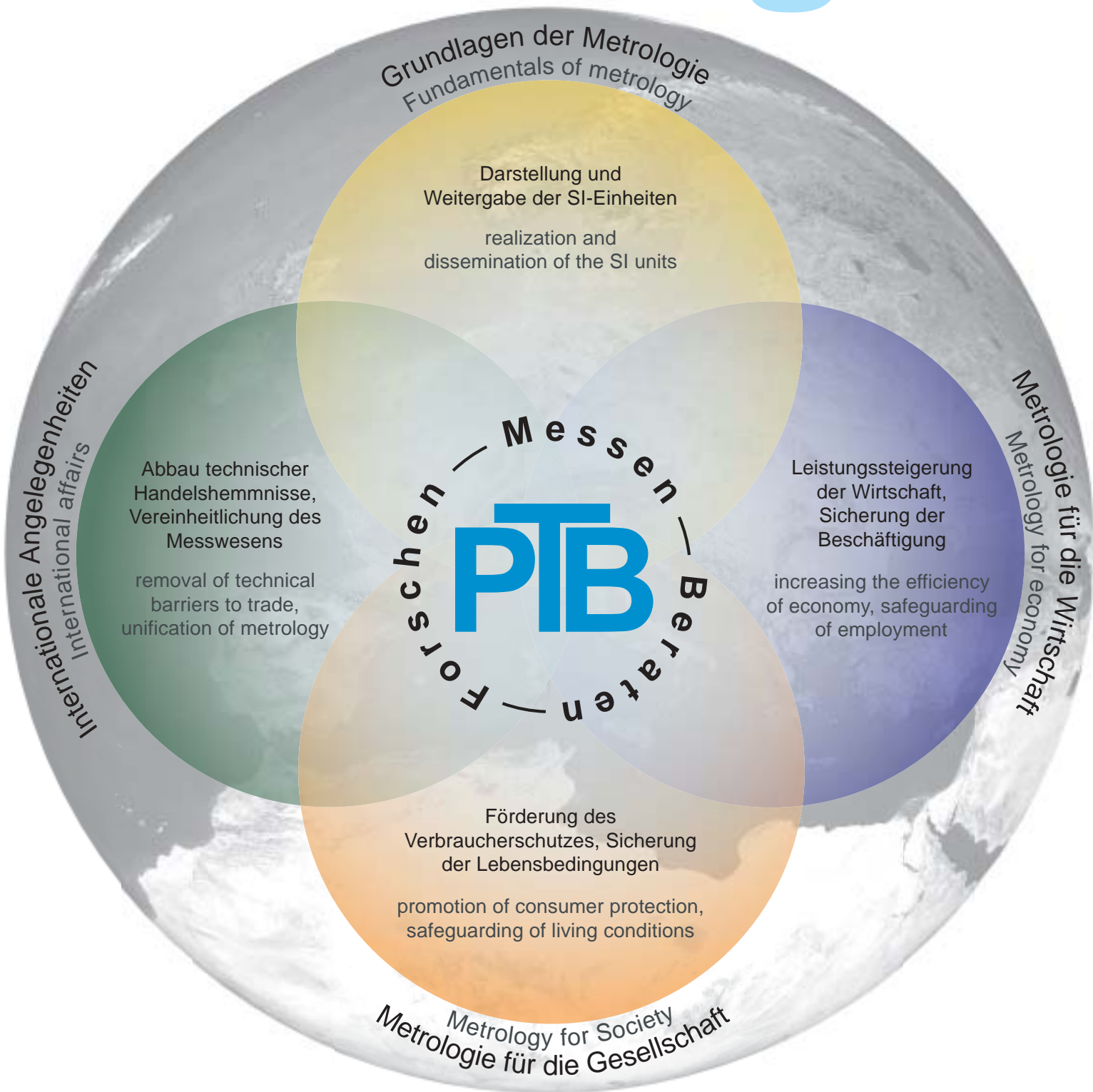
Inhaltsverzeichnis

Vorwort • Foreword

Die PTB	5
Arbeitsgebiete und Ziele • Fields of work and objectives	6
Nachrichten des Jahres • News of the year	16
Zahlen und Fakten • Figures and facts	34
Die Abteilungen	44
Mechanik und Akustik	45
Elektrizität	59
Chemische Physik und Explosionsschutz	71
Optik	81
Fertigungsmesstechnik	93
Ionisierende Strahlung	103
Temperatur und Synchrotronstrahlung	115
Medizinphysik und metrologische Informationstechnik	127
Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben	139
Der Deutsche Kalibrierdienst	148
Qualitätsmanagement	149
Die Anlagen	150
Kuratorium	151
Organigramm	152
Organisatorisches	154
Jahresbericht im Internet	155
Geländepläne	156

PTB
Die

Arbeitsgeb



iete

Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) – das nationale Metrologie-Institut mit wissenschaftlich-technischen Dienstleistungsaufgaben

Für einen modernen Industriestaat ist eine leistungsfähige Infrastruktur für das Messen, Normen, Prüfen und für die Qualitätssicherung eine Grundvoraussetzung. Nur eine optimierte messtechnische Infrastruktur ermöglicht den richtigen Einsatz der Technik zum Wohle des Menschen, die effektive und umweltschonende Nutzung von Energie und Rohstoffen sowie den Austausch von Gütern, auch über Ländergrenzen hinweg. Die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig und Berlin, die zum Dienstbereich des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit* gehört, ist in der Bundesrepublik Deutschland mit dieser Aufgabe betraut.

Der Existenz von Bundesanstalten liegt ein staatlicher Auftrag zugrunde, festgelegt in Gesetzen und Verordnungen. Im Falle der PTB ist dies ein Auftrag von Verfassungsrang, abgeleitet aus der originären Verantwortung des Staates für die Einheitlichkeit des Messwesens sowie für die Sicherheit und den Schutz des Bürgers. Dabei geht es auch um das Vertrauen, das jeder Einzelne, ob als Verbraucher, Behörde oder Firma, in die Zuverlässigkeit und Unparteilichkeit von Messungen haben muss. Der spezifische staatliche Auftrag für die PTB ist es, eine international akzeptierte leistungsfähige messtechnische Infrastruktur für Gesellschaft, Handel und Wirtschaft gleichermaßen bereitzustellen. Forschung und Technologieentwicklung dienen dazu, diesen Auftrag verantwortungsvoll und kompetent auszuführen.

Der Anteil an Forschung und Entwicklung über alle vier nebenstehend graphisch dargestellten Arbeitsgebiete der PTB betrug im Berichtsjahr 63 %.

The Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) – the national metrology institute providing scientific and technical services

An efficient infrastructure for metrology, standardization, testing and quality assurance is a fundamental prerequisite for a modern industrial state. Only an optimized metrological infrastructure makes the proper use of technology for the benefit of man, for the efficient and ecologically compatible use of energy and raw materials and for the exchange of goods possible, even across frontiers. The Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig and Berlin, which comes under the auspices of the *Federal Ministry of Economics and Labour*, has been entrusted with this task in the Federal Republic of Germany.

The existence of federal institutes is based on a mandate given by the state and laid down in laws and ordinances. As regards the PTB, this mandate is of a constitutional nature, derived from the State's original responsibility for uniformity in metrology and for the safety and protection of the citizen. This concerns also the confidence which each individual, be it as a consumer, an authority or firm, must have in the reliability and impartiality of measurements. It is the PTB's specific task, entrusted to it by the State, to make available to the society and to trade and industry an efficient metrological infrastructure recognized on the international level. Research work and the technological development serve to accomplish this task with competence and a sense of responsibility.

The share of research and development in the four areas of work of the PTB represented opposite has been 63 % in the last year.

Grundlagen der Metrologie

Der Bereich „Grundlagen der Metrologie“ umfasst die in der Satzung verankerten Arbeiten zur Darstellung und Weitergabe der SI-Einheiten und der gesetzlichen Zeit. Hierzu gehören insbesondere die Entwicklung und Bereitstellung von Primärnormalen und Normalmesseinrichtungen und der gegebenenfalls für die Weitergabe der Einheiten benötigten Sekundär- und Transfernormale. Mission ist „die Schaffung des Fundaments für das nationale Messwesen, das den heutigen und für die Zukunft absehbaren Anforderungen genügt“.

Eine besondere Herausforderung stellen die Arbeiten zur Rückführung von SI-Einheiten auf Fundamentalkonstanten dar, wie dies für Sekunde, Meter, Volt und Ohm bereits gelungen ist, da man – zumindest nach unserem heutigen Verständnis der Physik – dann von einer von Ort und Zeit unabhängigen Realisierung der jeweiligen Einheit ausgehen kann. Weitere aussichtsreiche Kandidaten, an deren Rückführung auf Fundamentalkonstanten geforscht wird, sind das Ampere, das Kelvin und das Kilogramm. Aber auch bei der Darstellung von Einheiten auf der Basis klassischer Prinzipien, z. B. für die dimensionelle Messtechnik, steigen die Anforderungen an die tolerierbaren Unsicherheiten stetig, so dass Technologien verbessert bzw. neu entwickelt und genutzt werden müssen. Zunehmende Bedeutung gewinnt die Rückführung von Messungen in der analytischen und speziell klinischen Chemie auf international anerkannte Normale oder Normalmesseinrichtungen, die für ausgewählte organische und anorganische Analyte in der PTB und ihren Kooperationspartnern (BAM, UBA, DGKC) entwickelt bzw. betrieben werden. Von besonderer gesellschaftlicher Bedeutung ist die Entwicklung von Normalen und Normalmesseinrichtungen für die medizinische Diagnostik und Therapiekontrolle, beispielsweise für die Dosimetrie ionisierender Strahlung, die Ultraschall-Diagnostik oder optische, bioelektrische, biomagnetische und NMR-Diagnoseverfahren.

Insbesondere aus Sicht moderner Fertigungstechnik gewinnt das Gebiet der Nanometrologie zunehmend an Bedeutung, wobei dies nicht nur die quantitative dimensionelle Vermessung von Mikro- oder Nanostrukturen

Fundamentals of Metrology

The area “Fundamentals of metrology” covers the work as defined in the Statutes for the realization and dissemination of the SI units and of legal time. These activities encompass in particular the development and provision of primary standards and standard measuring devices as well as of the secondary and transfer standards needed for the dissemination of the units. The mission is “the provision of the foundation for the national metrology system, which meets the present and foreseeable future requirements”.

Especially challenging is the task to provide traceability of the SI units to fundamental constants, as has already succeeded for the second, the metre, the volt and the ohm, because, at least to our present understanding of physics, it can then be assumed that the individual units have been realized independently of location and time. Further hopeful candidates whose traceability to fundamental constants is investigated are the ampere, the kelvin and the kilogram. But also for the realization of units on the basis of classical principles, e.g. for dimensional metrology, the requirements for tolerable uncertainties increase permanently so that the existing technologies must be improved or new technologies be developed. Of increasing importance is the traceability of measurements in analytical and especially in clinical chemistry to internationally recognized standards or standard measuring devices developed and operated at the PTB and by its cooperation partners (BAM, UBA, DGKC) for selected organic and anorganic analytes. Of particular importance to society is the development of standards and standard measuring devices for medical diagnostics and therapy follow-up, for example for the dosimetry of ionizing radiation, ultrasound diagnostics or optical, bioelectric, biomagnetic and NMR diagnostic methods.

Especially for modern production engineering, the field of nanometrology increasingly gains in importance, encompassing not only the quantitative dimensional determination of micro or nanostructures with a resolution in the range of a few atomic diameters but also that of macroscopic objects, e.g. lens or mirror systems for lithography with atomic resolution. For these applications, the PTB develops

mit Auflösung im Bereich einiger Atomdurchmesser beinhaltet, sondern auch von makroskopischen Objekten, z. B. Linsen- oder Spiegelsystemen für die Lithografie mit atomarer Auflösung. Hierzu werden in der PTB verschiedene, sich teilweise ergänzende Messverfahren entwickelt bzw. weiter entwickelt, wie z. B. Rastersondenmikroskopie, optische Mikroskopie einschließlich der optischen Nahfeldmikroskopie, Elektronenmikroskopie und Interferometrie.

Die Entwicklung und Herstellung von Normalen für die elektrische Spannung auf der Basis von Supraleitern (Josephson-Effekt) wurde ganz wesentlich durch Arbeiten in der PTB voran gebracht. Durch erfolgreichen Technologietransfer wurde Freiraum geschaffen für neue Herausforderungen, wie z. B. die Entwicklung programmierbarer Spannungsnormale oder die Entwicklung von Elementen und Schaltungen für die Quanten-Informationstechnologie.

Die Liste von zukunftsweisenden Themen aus dem Bereich der Grundlagen der Metrologie ließe sich fast unbegrenzt fortsetzen, von der Darstellung der Kraftskala im Bereich kleinster und extrem großer Kräfte, Frequenzstandards für künftige optische Uhren, verbesserter Normale für die Photometrie, der Dosimetrie ionisierender Strahlung bis zu der Realisierung der Temperaturskala bei sehr tiefen und sehr hohen Temperaturen.

Ganz offensichtlich ist der Anteil an Forschung und Entwicklung in dem Bereich „Grundlagen der Metrologie“ besonders hoch, weit gespannt und deckt wesentliche Bereiche der modernen Natur- und Ingenieurwissenschaften ab. Die Ergebnisse bilden nicht nur die Voraussetzung für die Entwicklung und Realisierung genauer Normale, sondern liefern auch – oft in Kooperation mit universitären und außeruniversitären Partnern – wesentliche Erkenntnisse für die Natur- und Ingenieurwissenschaften im Allgemeinen.

and advances various measurement procedures such as scanning probe microscopy, optical microscopy including optical near field microscopy, electron microscopy and interferometry, which partly supplement one another.

Owing to the work of the PTB, the development and manufacture of voltage standards on the basis of superconductors (Josephson effect) has made significant progress. Due to successful technology transfer, new challenges could be taken up such as the development of programmable voltage standards or of elements and circuits for quantum information technology.

The list of promising topics from the field of “Fundamentals of metrology” could be continued almost endlessly – from the realization of the force scale in the range of very small and extremely great forces to frequency standards for future optical clocks, enhanced standards for photometry and the dosimetry of ionizing radiation to the realization of the temperature scale at very deep and very high temperatures.

In the area “Fundamentals of metrology”, the share of research and development is very large, covering essential fields of modern natural and engineering sciences. The results not only provide the prerequisite for the development and realization of precise standards but also furnish – often in cooperation with university and non-university partners – important findings for the natural and engineering sciences in general.

Metrologie für die Wirtschaft

Für eine exportorientierte Volkswirtschaft, wie die der Bundesrepublik Deutschland, ist eine hochentwickelte metrologische Infrastruktur sowie die Verfügbarkeit metrologischer Know-hows auf höchstem Niveau zur Unterstützung der Entwicklung neuer Technologien eine unabdingbare Voraussetzung.

Die PTB hat seit ihrer Gründung im Jahre 1887 zum Nutzen der deutschen Wirtschaft nicht nur die Basiseinheiten durch metrologische Grundlagenforschung dargestellt, sondern durch technische Entwicklungen von Normalen, Normalmessgeräten und erprobten Messverfahren Grundlagen für genaue und zuverlässige Messungen und Prüfungen in Industrie und Handel geschaffen.

Sie hat immer darauf hingearbeitet, die ihr vom Staat oder anderen Drittmittelgebern zur Verfügung gestellten Ressourcen (Geld) in messtechnisches Know-how (Wissen) umzusetzen und in vielfältiger Form für die Wirtschaft bekannt zu machen. Die Durchdringung der Produktionsprozesse mit einer Messtechnik, die allen internationalen Ansprüchen gerecht wird, ist eine entscheidende Voraussetzung für zuverlässig funktionierende Qualitätsmanagement-Systeme in der Wirtschaft. Dabei ist es unverzichtbar, alle Messergebnisse auf das SI zurückzuführen.

Immer mehr deutsche Firmen setzen diese Forderung konsequent in ihre Praxis um, indem sie entweder selbst DKD-akkreditierte Laboratorien für die Kalibrierung ihrer Betriebsnormale eingerichtet haben bzw. in weiter steigender Zahl einrichten (im Jahr 2004 wurde die Zahl von 350 DKD-akkreditierten Laboratorien überschritten) oder die Kalibrierdienstleistungen durch Aufträge an DKD-Laboratorien vergeben.

Wissenschaft und Wirtschaft enger zu verzahnen ist eine politische Forderung, welche die PTB ernst nimmt. Bei allen Forschungs- und Entwicklungsergebnissen prüft die PTB, ob diese auch als Schutzrechte, Patente bzw. Gebrauchsmuster oder durch Know-how-Verträge für eine Vermarktung durch Innovationen in Anspruch genommen werden sollen. Ein besonderer Technologietransfer gelang 2004 mit der Gründung des Technologieunternehmens ETALON AG ([## Metrology for economy](http://www.etalon-</p></div><div data-bbox=)

For an export-oriented national economy as is the case with the Federal Republic of Germany, a highly developed metrological infrastructure and availability of metrological know-how on the highest level to support the development of new technologies is an indispensable prerequisite.

Since its foundation in 1887, for the benefit of German industry, the PTB has not only realized the base units through basic metrological research but also provided the bases for accurate and reliable measurements and tests in industry and trade by developing standards, standard measuring devices and well-proven measurement methods.

It has always aimed at translating the resources (money) placed at its disposal by the state or other parties into metrological know-how (knowledge) and at making this know-how available to economy. The application of measuring techniques meeting all international demands is a decisive prerequisite for reliable quality systems in economy. In this respect, it is indispensable to trace all measurement results back to the SI.

An ever increasing number of German companies consistently put this requirement into practice either by having DKD-accredited laboratories of their own for the calibration of their working standards or by increasing their number (in 2004, a total number of 350 DKD laboratories was exceeded), or by entrusting DKD laboratories with the calibration.

To interlink science and economy more closely is a political demand the PTB takes seriously. Whenever research and development results are obtained, the PTB checks whether they can be used as property rights, patents or registered designs or through know-how agreements for marketing innovations. In 2004, a special technology transfer was achieved with the foundation of the technology company ETALON AG (www.etalon-ag.com) as a spin-off from the Coordinate Metrology Department. The company will further develop and market two products of the Department until they are ready for market production (News of the year, p. 21). For the time being, the company has rented rooms on the PTB premises as

ag.com) als Spin-Off aus dem Fachbereich Koordinatenmesstechnik. Das Unternehmen wird zwei Entwicklungen des Fachbereiches zu marktreifen Produkten weiter entwickeln und vermarkten (Nachricht des Jahres, S. 21). Das Unternehmen hat zunächst auf dem Gelände der PTB Räume angemietet, da es hier für seine Entwicklungen ideale Startbedingungen vorfindet. Nach den ersten 3–5 Jahren sollen dann Räumlichkeiten außerhalb der PTB bezogen werden, die ein dynamisches Wachstum ermöglichen.

Ein gutes Beispiel für die erfolgreiche Kooperation mit der deutschen Industrie ist die Einrichtung des Nationalen Normals für die Realisierung des Erdgaskubikmeters bei hohen Drücken: Die PTB kooperiert dazu seit mehr als sieben Jahren erfolgreich mit der deutschen Gasindustrie bei der Realisierung eines einheitlichen Erdgaskubikmeters. Zu diesem Zweck wurde zusammen mit der Ruhrgas AG ein nationales Normal „pigsar“ eingerichtet, welches von der Industrie betrieben und metrologisch von der PTB betreut wird. Inzwischen werden an diesem Prüfstand für nationale und ausländische Kunden jährlich etwa 1300 Kalibrierungen von Hochdruckgaszählern durchgeführt.

Erdgashandel ist ein internationales Geschäft. Eine Harmonisierung der nationalen Normale ist daher von großer ökonomischer Bedeutung. 1999 wurde daher ein Abkommen zwischen dem NMI-VSL in den Niederlanden und der PTB dahingehend geschlossen, dass alle Prüfstände in Deutschland und Holland den gleichen Bezugswert für den Erdgaskubikmeter verwenden. Für das Zustandekommen dieses Abkommens war die hohe messtechnische Qualität von „pigsar“ von entscheidender Bedeutung.

Mit dem Beitritt des französischen Bureau National de Metrologie (BNM) zu diesem Abkommen am 4. Mai 2004 in Paris wurde nun ein „Harmonisierter Europäischer Erdgaskubikmeter“ realisiert, der damit von den nationalen Metrologieinstituten, die auf diesem Gebiet arbeiten, gemeinsam metrologisch definiert und gestützt wird. Damit wurde nicht zuletzt auch ein Zeichen gesetzt für weitere Abkommen dieser Art – zum Wohle der Verbraucher in ganz Europa.

these offer ideal starting conditions. After a period of three to five years, the company plans to move into rooms outside PTB which will allow dynamic growth.

A good example of successful cooperation with German industry is the setting-up of the national standard for the realization of the natural gas cubic metre at high pressures: To this end, the PTB has successfully been cooperating with the German gas industry for more than seven years in realizing a uniform natural gas cubic metre. Together with the Ruhrgas AG, a national standard named “pigsar” has been set up: It is operated by industry and, in metrological respect, managed by the PTB. On this test facility, approx. 1300 calibrations of high-pressure gas meters are meanwhile carried out every year for national and international customers.

Trade in natural gas is an international business and the harmonization of the national standards therefore is of great economic importance. In 1999, an agreement was concluded between the NMI-VSL of the Netherlands and the PTB to the effect that all test facilities in Germany and the Netherlands use the same reference value for the natural gas cubic metre. For the realization of this agreement, the high metrological quality of “pigsar” was of decisive significance.

With the accession of the French Bureau National de Métrologie (BNM) to this Agreement on May 04, 2004, in Paris, a “harmonized European natural gas cubic meter” has now been realized which is therewith metrologically defined and supported by the national metrology institutes working in this field. This does not a least set a new mark for further agreements of this kind – for the benefit of consumers in the whole of Europe.

Metrologie für die Gesellschaft

In weiten Bereichen des täglichen Lebens besteht ein besonderes öffentliches Interesse an richtigen Messergebnissen und zuverlässigen Messeinrichtungen. In diesem Geschäftsbereich ist es Aufgabe der PTB (Mission), „Messtechnik und -verfahren zum angemessenen Schutz der Verbraucher im geschäftlichen und amtlichen Verkehr, der arbeitenden Bevölkerung im beruflichen Umfeld, zum Erhalt und der Wiederherstellung der Gesundheit, für die persönliche und industrielle Sicherheit sowie zum Schutz der Natur und Umwelt“ zur Verfügung zu stellen und einzusetzen. Ein Schwerpunkt in diesem Bereich ist noch die Bauartzulassung bzw. Prüfung von Messgeräten im Rahmen nationaler oder europäischer Rechtsvorschriften (im wesentlichen: Eichgesetz), zum Beispiel auf den Gebieten

- Energiemesstechnik für elektrische Energie, Gas und Wasser (Wärme, Kälte)
- Sicherheit im Straßenverkehr (Geschwindigkeitsüberwachung, Atemalkohol)
- Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)
- Umweltmesstechnik (Absolutmessungen in der Schadstoff- und Spurenanalyse, Lärmschutz etc.).

Die meisten Bauartzulassungen erfüllt die PTB auf der Grundlage des Eichgesetzes. Eine Novellierung dieses Gesetzes ist aufgrund der Umsetzung der Europäischen Messgeräterichtlinie in Vorbereitung, zu der die PTB maßgeblich beiträgt, um der Industrie auch künftig das erforderliche Konformitätsbewertungsverfahren anbieten zu können.

Der Erhalt bzw. die Wiederherstellung der Gesundheit der Bürger ist ein elementares Bedürfnis der Gesellschaft. Die PTB ist gemäß Medizinproduktegesetz zuständig für die Sicherstellung der Einheitlichkeit des Messwesens in der Medizin. Sie leistet hierzu durch die Bereitstellung eines hochentwickelten und zuverlässigen Messwesens für die Medizin einen entscheidenden Beitrag. Dazu zählen zum einen die Entwicklung neuer oder die Verbesserung bereits existierender Messverfahren für Diagnostik und Therapiekontrolle. Zum anderen leistet die PTB entscheidende Beiträge durch Entwicklung von Normalen und Normalmeseinrichtungen, beispielsweise für die Dosimetrie ionisierender

Metrology for society

In wide areas of everyday life, the public has a great interest in correct measurement results and reliable measuring facilities. In this area, it is the task of the PTB (its mission) “to make available, and use, measuring techniques and procedures for the reasonable protection of the consumers in commercial and official transactions and of the active population in their job environment, for the conservation and restoration of health, for personal and industrial security as well as for the conservation of nature and the protection of the environment”. One focus in this area still is the type approval and examination of measuring instruments under national or European law (basically: Verification Act), for example in the fields of

- energy measuring technique for electrical energy, gas and water (heat, cold)
- security in road traffic (speed monitoring, breath alcohol control)
- electromagnetic compatibility (EMC)
- environmental measuring techniques (absolute measurements in pollutant and trace analysis, noise protection, etc.).

PTB performs most of the type approvals on the basis of the Verification Act. In view of the implementation of the European Measuring Instruments Directive, an amendment of this Act is under preparation. PTB will considerably contribute to this Directive to be able to continue offering the required conformity assessment procedure to industry also in future.

The conservation and restoration of the citizens' health is an elementary need of society. Under the Medical Devices Act, the PTB is responsible for safeguarding the uniformity of measurement in medicine to which it makes an important contribution by providing a highly developed and reliable metrology system. This contribution encompasses not only the development of new, or the improvement of existing, measurement methods for diagnostics and therapy control and the production of standards and standard measuring devices, for example for the dosimetry of ionizing radiation, ultrasound diagnostics, medical devices with a measuring function but also activities to trace back analytical measurements in the field of clinical chemistry to the SI units and the mole in particular.

der Strahlung, die Ultraschall-Diagnostik, für medizinische Geräte mit Messfunktion sowie durch Arbeiten zur Rückführung von analytischen Messungen in der klinischen Chemie auf die SI-Einheiten, insbesondere auf das Mol.

In Absprache und Kooperation mit der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) ist die PTB auf den wirtschaftlich und vor allem gesellschaftlich wichtigen Gebieten der physikalischen Sicherheitstechnik und des Explosionsschutzes elektrischer Betriebsmittel tätig. Auf Grund ihrer Kompetenz fällt ihr dabei eine internationale Referenzfunktion zu. Gleiches gilt für die Arbeiten auf dem Gebiet des Strahlenschutzes. Hier hat sich die PTB über die eichrechtlich gebotenen Tätigkeiten hinaus eine Kernkompetenz erworben, die national und international anerkannt und genutzt wird.

Die Metrologie für die Gesellschaft umfasst überwiegend Aufgaben, die gesetzlich geregelt sind. In etwa 30 Gesetzen und Verordnungen sind der PTB verschiedene Tätigkeiten zugewiesen. Die besondere Verantwortung der PTB ergibt sich dadurch, dass sie in den meisten dieser Rechtsvorschriften als einzige Stelle genannt ist.

Die Arbeiten in dem Geschäftsbereich „Metrologie für die Gesellschaft“ sind vielfach geprägt durch Kooperation, Koordination und Kontakte mit anderen Instituten, Einrichtungen, Behörden und Ministerien. Darüber hinaus ist die PTB neutrale Schiedsstelle bei gerichtlichen Verfahren und anderen metrologischen Kontroversen mit oft erheblicher gesellschaftlicher Relevanz, beispielsweise bei Fragen der Strahlenbelastung von Personen bei Flügen, Castor-Transporten oder in der Umgebung von Kernkraftwerken.

Zur Beratung der Ministerien hat die PTB ein Positionspapier mit Vorschlägen zur Modernisierung des gesetzlichen Messwesens vorgelegt, in dem auch Wege zur weiteren Privatisierung technischer Aufgaben unter besonderer Berücksichtigung der Bundeseinheitlichkeit aufgezeigt werden. Diese Unterstützung der Ministerien erstreckt sich auch auf die Neuordnung des Anerkennungs- und Akkreditierungswesens, das durch ein Bundesgesetz geregelt werden soll.

In agreement, and in cooperation, with the *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM), the PTB pursues activities in the fields of physical safety engineering and explosion protection for electrical equipment, which are of economic and, above all, social importance. Due to its competence, it here fulfils an international reference function. The same applies to the work in the field of radiation protection. Here the PTB has acquired key competence which goes far beyond the activities under verification law and is recognized and used both on the national and on the international level.

Metrology for society mainly covers tasks which are regulated by law. In about 30 acts and ordinances, different activities are assigned to the PTB. The particular responsibility of the PTB derives from the fact that in most of these legal prescriptions, the PTB is the only body mentioned.

The work in the field of “Metrology for society” is in various ways characterized by cooperation, coordination and contacts with other laboratories, institutes, authorities and ministries. Beyond this, the PTB is a neutral arbitral body in judicial proceedings and other metrological controversies of often considerable societal relevance, for example when it comes to questions of radiation exposure of passengers during flights or Castor transports or in the surroundings of nuclear power stations.

As regards advice to Ministries, the PTB has submitted a position paper with proposals for the modernization of legal metrology which also contains suggestions for further assigning public technical tasks to private bodies with due regard to uniformity throughout the country. This support of the ministries also covers the reorganization of the recognition and accreditation system which is to be regulated by a federal law.

Internationale Angelegenheiten

Durch die zunehmende Globalisierung von Wirtschaft und Handel wächst auch die internationale Bedeutung der Metrologie. Im Geschäftsbereich „Internationale Angelegenheiten“ ist es Aufgabe der PTB (Mission), „zur internationalen Einheitlichkeit des Messwesens und damit zum Abbau nicht tarifärer Handelshemmnisse beizutragen“. Hierzu dienen Kooperationen mit anderen nationalen Metrologieinstituten, maßgebliche Mitarbeit in den internationalen Gremien und technisch-ökonomische Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern.

Wesentliches Element der Kooperation mit Partnerinstituten sind internationale „Key Comparisons“ von Normalen und Normalmesseinrichtungen und sich daraus ableitende F&E-Arbeiten. Im Rahmen der in jüngster Zeit abgeschlossenen internationalen Abkommen zur gegenseitigen Anerkennung von Messergebnissen und Zertifikaten der nationalen Metrologieinstitute und der akkreditierten Prüf- und Kalibrierlaboratorien kommt diesen Vergleichen besondere Bedeutung zu.

Die weltweite Angleichung von Anforderungen und Prüfvorschriften im gesetzlichen Messwesen dient dem Abbau nichttarifärer Handelshemmnisse und damit der exportorientierten deutschen Messgeräteindustrie. Mit diesen Zielen arbeitet die PTB aktiv in OIML und WELMEC mit. Ein internationales Abkommen zur gegenseitigen Anerkennung von Bauartprüfungen (Mutual Acceptance Arrangement (MAA)) ist 2003 verabschiedet worden. Bis zum Wirksamwerden etwa im Jahr 2005 unterstützt die PTB die Wirtschaft mit bilateralen Abkommen.

Die Anforderungen an die Metrologie werden in Zukunft sowohl vom Umfang als auch von der Komplexität her stetig wachsen, so dass ein einzelnes Institut nicht sämtlichen Ansprüchen auf Dauer genügen kann. Koordination und Kooperation bei F&E und Dienstleistungen sind daher unumgänglich. Dies gilt weltweit und insbesondere für Europa.

Die PTB wird bei der Entwicklung und Gestaltung der europäischen und globalen Metrologie weiter eine führende Rolle einnehmen und ihre Erfahrungen aus den nationalen Netzwerken einbringen. Dabei werden die

International Affairs

As a consequence of the increasing globalization of trade and economy, the international importance of metrology is increasing as well. In the field “International Affairs”, it is the task of the PTB (its mission) “to contribute to the international uniformity of metrology and thus to removing non-tariff barriers to trade”. To carry out this task, it cooperates with other national metrology institutes, makes substantial contributions to the work of international bodies and cooperates both in the technical and in the economic field with developing and newly industrialized countries.

One essential element of the cooperation with partner institutes are international key comparisons for standards and standard measuring devices and derived research and development work. Within the scope of the international agreements concluded recently with a view to achieving mutual recognition of measurement results and certificates of the national metrology institutes and accredited test and calibration laboratories, these comparisons are of particular importance.

The global harmonization of requirements and testing regulations in legal metrology serves to remove non-tariff barriers to trade and thus the export-oriented German measuring instrument industry. With these objectives, the PTB actively cooperates in the OIML and in the WELMEC. In 2003, an international Mutual Acceptance Arrangement (MAA) for type approvals was adopted. Until it becomes effective in 2005, PTB will support economy by bilateral agreements.

The requirements to be met by metrology will in future continuously increase as regards their scope and complexity so that an individual institute in the long run cannot satisfy all demands. Coordination and cooperation as regards research and development are therefore indispensable. This is valid worldwide and particularly for Europe.

The PTB will continue to play a leading role in the development and shaping of the European and global metrology system and profit from the experience it has gained in national networks. The plans of the European Commission for the shaping of the European

Pläne der Europäischen Kommission zur Gestaltung der europäischen Forschungslandschaft einbezogen und umgesetzt.

Die PTB arbeitet maßgeblich in allen internationalen Metrologieorganisationen mit, zu einem erheblichen Teil in leitender Funktion. Die PTB betrachtet dies als unverzichtbaren Beitrag zur Sicherung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Wirtschaft und Wahrung der Interessen und Bedürfnisse der Gesellschaft.

Die PTB leistet einen wesentlichen Beitrag zur internationalen Normung durch Mitarbeit in Gremien von ISO, IEC, CEN, CENELEC. Im Jahre 2004 war sie in 286 Vorhaben eingebunden. Die PTB sieht dies als wichtige Aufgabe im Dienste der Gesellschaft und Wirtschaft an.

Einen erheblichen Umfang nimmt die Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern ein. Die PTB gibt ihre Erfahrungen weiter und leistet aktive Hilfe beim Aufbau der technischen Infrastruktur für die Metrologie sowie für das Normen-, Prüf- und Qualitätswesen einschließlich der Akkreditierung und der Zertifizierung. Die finanziellen Mittel werden überwiegend vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (BMZ) sowie weiteren nationalen und internationalen Gebern, wie der EU und der Weltbank, zur Verfügung gestellt.

Im Berichtsjahr wurden 16 Länder in vier Kontinenten durch 22 bilaterale Projekte beim Aufbau ihrer MNPQ-Infrastruktur unterstützt. Weitere Länder profitieren von insgesamt neun regionalen und sektoralen Projekten. Der finanzielle deutsche Beitrag betrug ca. 4 Mio. Euro.

research landscape will be included and put into practice.

The PTB is substantially involved in all international metrology organizations, for a considerable part in leading functions. It considers this to be an indispensable contribution to assuring the competitiveness of the German economy and to safeguarding the interest and needs of society.

The PTB makes also a substantial contribution to international standardization by cooperating in bodies of ISO, IEC, CEN and CENELEC. In 2004, it was integrated in 286 projects. The PTB sees this as an important task in the service of society and economy.

Great importance is attached to technical cooperation with developing and newly industrialized countries. The PTB passes on its experience and lends active support in the setting-up of the technical infrastructure for metrology as well as for standardization, testing and quality assurance, including accreditation and certification. The funds are provided chiefly by the *Federal Ministry for Economic Cooperation and Development* (BMZ) and other national and international donors such as the EU and the World Bank.

In the year under report, 16 countries in four continents have been supported in the establishment of their MSTQ structure by 22 bilateral projects. Additional countries profit from a total of nine regional and sectoral projects. The financial contribution of Germany amounted to 4 million Euro.

Nachrichtener Jahr

Frankreich unterzeichnet das Abkommen zum Erdgas-Kubikmeter

Am 4. Mai wurde der Markt der Erdgas-Lieferungen innerhalb Europas um ein gutes Stück einheitlicher: An diesem Tag trat auch Frankreich einem Abkommen bei, das bereits seit 1999 zwischen Deutschland und den Niederlanden besteht. Damit werden in Zukunft diese drei Staaten exakt dasselbe darunter verstehen, wenn von einem Kubikmeter Hochdruck-Erdgas die Rede ist.

Eine der Abrechnungsgrundlagen für Erdgas ist die Einheit „Kubikmeter“, die mit modernen Messgeräten mit einer Unsicherheit von etwa 0,15 % ermittelt werden kann. Das gilt aber nur innerhalb eines Landes. Wird das Erdgas in ein Nachbarland geliefert, kann die Unsicherheit wachsen, denn in den verschiedenen europäischen Ländern existieren zum Teil höchst unterschiedliche Messverfahren. Dieses Problem gibt es seit 1999 zwischen Deutschland und den Niederlanden nicht mehr. Damals haben die beiden metrologischen Staatsinstitute, die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) und das Nederlands Meetinstituut (NMI), ein Abkommen unterzeichnet, in dem sie ihre Messverfahren gegenseitig anerkennen und aus umfangreichen Vergleichsmessungen – als gewichteten Mittelwert – eine gemeinsame metrologische Einheit bilden.



Das nationale Normal der Bundesrepublik Deutschland für die Durchflussmessung von Erdgas (Quelle: Ruhrgas AG)

France Signs the Natural Gas-Cubic Meter Agreement

On 4th May the natural gas supply market within Europe progressed a step further towards uniformity: On this day, France, too, entered into an agreement which has already been in existence between Germany and Netherlands since 1999. Thus in future, these three states will understand the exact same thing when speaking of a cubic meter of high-pressure natural gas.

One of the bases for invoicing natural gas is the unit “cubic meter”, which can be determined with an uncertainty of approx. 0.15 %, using modern measuring instruments. However, this is true only within a given country. Should the natural gas be delivered to a neighbouring country, the uncertainty can grow, as there are in part highly varying

methods of measurement in the various European countries. This problem has ceased to exist between Germany and Netherlands since 1999. At that time, both national institutes of metrology, the Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) and the Nederlands Meetinstituut (NMI), signed an agreement in which they mutually recognize each other's methods of measure-

The national standard of the Federal Republic of Germany for flow-rate measurement of natural gas. (source: Ruhrgas AG)

ment, and formed, based on extensive comparison measurements – as weighted mean value – a common metrological unit.

Hochpräzise Strommessung an einer Einzelelektronenstromquelle

Ultrakleine Schaltkreise mit Tunnelkontakten im Nanometermaßstab, wie sie im Reinraumzentrum der PTB hergestellt werden, können zur Erzeugung kleinster quantisierter Stromstärken oder Ladungsmengen genutzt werden.

Mit einem in der PTB entwickelten neuen Verfahren ist es gelungen, den von einer so genannten „Einzelelektronen-Pumpe“ gelieferten ultrakleinen Strom von $3,2 \cdot 10^{-13}$ A mit einer Genauigkeit von 0,01 % (erweiterte Messunsicherheit $3,3 \cdot 10^{-17}$ A) zu messen, was einem Ladungsfluss von nur rund 200 Elektronen pro Sekunde entspricht. Dabei stimmte die gemessene Stromstärke innerhalb der Messunsicherheit mit dem quantisierten Wert überein. Diese Präzision bei der Erzeugung von Strömen aus dem gesteuerten Transfer einzelner Elektronen wurde durch eine technologische Innovation im Herstellungsverfahren der Einzelelektronen-Pumpe ermöglicht.

Eine weitere Erhöhung der Transfergenauigkeit für einzelne Ladungsquanten, wie sie für den geplanten Einsatz von Einzelladungsschaltungen in metrologischen Experimenten notwendig ist, kann durch die Erhöhung der Zahl von in Reihe geschalteten Tunnelkontakten in der Schaltung erzielt werden. Diese Entwicklung wird zur Zeit im Fachbereich Quantenelektronik vorangetrieben.

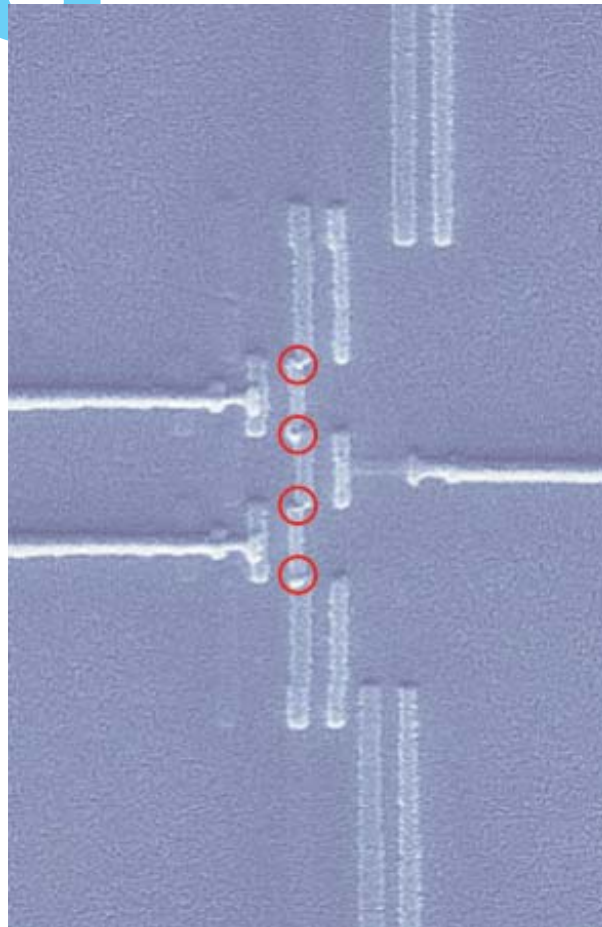
Highly precise current measurement at a single-electron current source

Ultra-small circuits with tunnel contacts on a nanometer scale, as produced in the clean room center of PTB, can be used to produce the smallest quantized currents or charges.

By means of a new method developed at PTB it has been possible to measure the ultra-small current – produced by a so-called “single-electron pump” – of $3.2 \cdot 10^{-13}$ A with an accuracy of 0.01 % (expanded measurement uncertainty $3.3 \cdot 10^{-17}$ A) which is equivalent to a current flow of only approx. 200 electrons per second, whereby the measured current power within the measurement uncertainty was equal to the quantized value. This precision in the generation of currents from

the controlled transfer of single electrons was made possible by a technological innovation in the production process of the single-electron pump.

A further increase in the transfer accuracy of single quantum charges, as is required for the planned employment of single-charge circuits in metrological experiments, can be achieved by increasing the number of tunnel contacts connected in series in the circuit. This development is presently being advanced in the Department of Quantum Electronics.



Einzelelektronenpumpe mit vier Tunnelkontakten (Kreise), dargestellt im Raster-Elektronenmikroskop.

Single electron pump with four tunnel contacts (circuits), displayed in the scanning electron microscope.

Erste internationale Vergleichsmessungen zu klinischen Analyten

Im Rahmen des im Juni 2002 in Paris gegründeten „Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine“ (JCTLM) wurden erstmals weltweite Vergleichsmessungen für Nationale Metrologieinstitute und medizinische Referenzinstitute für eine Anzahl der wichtigsten klinischen Analyte (sowohl auf das SI rückführbare als auch nicht-rückführbare) durchgeführt. Die Vergleichsmessungen kamen unter wesentlicher Mitwirkung der Netzwerkpartner, der Deutschen Vereinten Gesellschaft für Klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin (DGKL) und der PTB zustande und werden von der DGKL organisiert und durchgeführt. Die Messungen sollen in Zukunft jährlich wiederholt werden.

Hintergrund für diese Vergleichsmessungen ist, dass Fragen der Rückführung in der Klinischen Chemie inzwischen auch Eingang in die internationale Rechtsprechung gefunden haben. Die Vergleichsmessungen sind ein Teil der Aktivitäten des vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM), der International Federation for Clinical Chemistry (IFCC) und der International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC) gegründeten Komitees. Das Angebot stellt eine Ergänzung zu den Vergleichsmessungen des BIPM dar und ermöglicht eine regelmäßige, zeitnahe und umfassende Qualitätskontrolle von Laboratorien auf dem Niveau von Kalibrierlaboratorien auf weltweiter Basis. Die Messungen sind eine Grundlage der Empfehlungen des JCTLM für „Referenzmessverfahren und/oder übergeordnete Referenzmaterialien“. Auch die Herstellung einer internationalen Vergleichbarkeit für nicht auf das SI rückführbare, verfahrensspezifische Messgrößen wie z. B. der Enzymaktivität ist so gegeben.

Die Ergebnisse des ersten Ringvergleichs können auf den Internet-Seiten unseres Netzwerkpartners eingesehen werden (<http://www.dgkl-rfb.de/> unter: RELA1/2003 survey).

First International Comparison Measurements for Clinical Analytes

Within the framework of the “Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine” (JCTLM), established in Paris June 2002, world-wide comparison measurements were for the first time carried out for national metrology institutes and medical reference institutes for a number of the most important clinical analytes (both the SI traceable and also the non-traceable). The comparison measurements were accomplished with a substantial contribution by the network partners, the Deutschen Vereinten Gesellschaft für Klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin (DGKL) (German United Association for Clinical Chemistry and Laboratory Medicine) and PTB, and are organized and carried out by the DGKL. In future, the measurements are to be carried out annually.

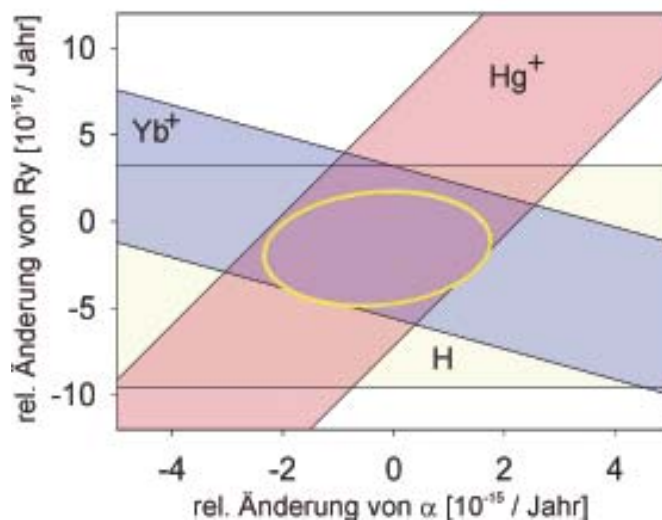
The background for these comparison measurements is that questions concerning traceability in clinical chemistry have meanwhile also found its way into international jurisdiction. The comparison measurements form a part of the activities of the committees established by the Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) (International Bureau of Weights and Measures), the International Federation for Clinical Chemistry (IFCC) and the International Laboratory Accreditation Cooperation (ILAC). This proposal constitutes a supplement to the BIPM comparison measurements and enables a regular, current and comprehensive quality control of laboratories at the level of calibration laboratories on a world-wide basis. The measurements are the basis for the recommendations of the JCTLM for “Referenzmessverfahren und/oder übergeordnete Referenzmaterialien” (Reference measuring methods and/or higher order reference materials). Also the establishing of an international comparability for process-specific measurands not traceable to SI, as e.g. enzyme activity, is thus given.

The results of the first ring comparison can be viewed on our network partner's Internet pages (<http://www.dgkl-rfb.de/> under: RELA1/2003 survey).

Neue Grenze für eine zeitliche Änderung der Feinstrukturkonstanten

Sind die Naturkonstanten wirklich konstant? Die Diskussion über mögliche Variationen von Naturkonstanten war in den letzten Jahren sehr angeregt, da astrophysikalische Beobachtungen auf eine signifikante relative Änderung der Feinstrukturkonstanten α im Bereich 10^{-6} vor etwa 5 bis 10 Milliarden Jahren hinzuweisen scheinen. Da das Postulat der Konstanz von fundamentalen Größen grundlegend für unser physikalisches Weltbild ist und zugleich eine Grundlage der Metrologie darstellt, hat die PTB eine mögliche zeitliche Änderung von α aufzuspüren versucht. Durch den Vergleich von Atomuhren, die auf unterschiedlichen atomaren Übergangsfrequenzen basieren, wurde hierzu ein empfindlicher Test durchgeführt. Das Ergebnis: Für unsere Epoche kann eine zeitliche Änderung von α auf den Bereich unterhalb von $2 \cdot 10^{-15}$ pro Jahr (relative Änderung) eingegrenzt werden.

In der PTB wurde ein optisches Frequenznormal auf der Basis eines gespeicherten Ytterbium-Ions im Abstand von drei Jahren zweimal mit der primären Cäsium-Uhr („Springbrunnenuhr“) CSF1 verglichen. Im Rahmen der kombinierten Unsicherheit stimmten beide Ergebnisse gut überein. Ähnliche Resultate wurden im Zeitraum 1999 bis 2003 auch am NIST (Boulder) mit der optischen Frequenz eines gespeicherten Quecksilber-Ions und in einer Kooperation von MPQ (Garching) und BNM-SYRTE (Paris) bei der Untersuchung atomaren Wasserstoffs gewonnen. Die Kombination dieser Ergebnisse erlaubt es, eine eindeutige Aussage über die Konstanz von α zu treffen, da bei einer Änderung von α während der Beobachtungszeit die drei untersuchten atomaren Frequenzen in charakteristischer Weise von der Cäsium-Uhr abgewichen wären.



Ergebnisse der optischen Frequenzmessungen von Übergängen an Yb- und Hg-Ionen und am H-Atom (mit ihren jeweiligen 1-s-Unsicherheiten).

The results of the measurements of transition frequencies in Yb and Hg ions and in the H atom (with their respective 1 s uncertainties).

New Boundaries for a Temporal Change in the Fine Structure Constants

Are natural constants truly constant? The discussion concerning possible variations of natural constants has been highly stimulating in the past few years, as astrophysical observations seem to indicate a significant relative change in the fine structure constants α in the region 10^{-6} approx. 5–10 billion years ago. As the postulate of the constancy of the fundamental quantities is elementary to our physical world view and at the same time represents a fundamental of metrology, PTB has endeavoured to track down a possible temporal change in α . By means of comparing atomic clocks based on different atomic crossover frequencies, a sensitive test was carried out here. The result: for our era, a temporal change in α can be delimited to the region below $2 \cdot 10^{-15}$ per year (relative change).

At PTB an optical frequency standard was, on the basis of a stored ytterbium ion, compared to the primary caesium clock (“fountain clock“) CSF1 twice in three years. In the scope of the combined uncertainty both results showed good concurrence. Similar results were gained in the period of 1999–2003, also at NIST (Boulder), with the optical frequency of a stored mercury ion and in a cooperation of MPQ (Garching) and BNM-SYRTE (Paris) in the analysis of an atomic hydrogen. The combination of these results allows a clear statement concerning the constant α , as an alteration of α during the observation period would have led to a deviation of the three analysed atomic frequencies from the caesium clock in a characteristic way.

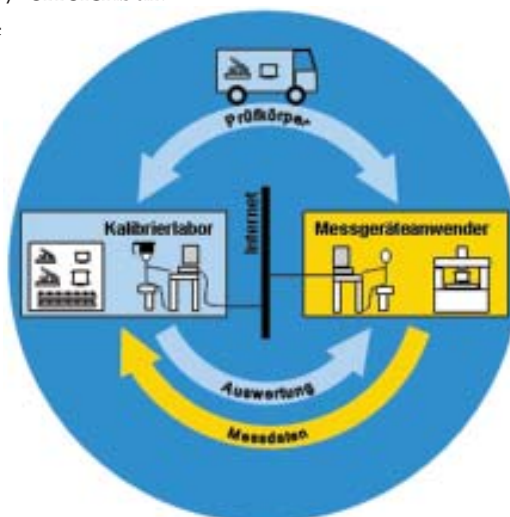
Internetbasierte Überwachung von stationären Messgeräten in der Industrie

Qualitätsmanagementsysteme und sinkende Toleranzen erfordern es, alle qualitätsrelevanten Messgeräte konsequent zu überwachen, um die Rückführbarkeit von Messergebnissen zu sichern – eine Aufgabe für Experten, vor allem bei komplexen stationären Messgeräten. Kleine und mittlere Unternehmen verfügen jedoch meistens weder über Experten noch eine geeignete Infrastruktur. Die Rückführbarkeit in der Industrie ist daher oft unbefriedigend. Zur Verbesserung baut die PTB mit Industriepartnern eine internetbasierte Infrastruktur zur Fernüberwachung auf.

Aufgrund seiner Eigenschaft, den Austausch umfangreicher Datenmengen über große Entfernungen zu ermöglichen, wird das Internet zunehmend in der Metrologie eingesetzt. Der Fachmann braucht nicht mehr zum Messgerät zu reisen, vielmehr kommen die notwendigen Messdaten zu ihm. Anwender und Experte haben über eine Webapplikation (zur computergestützten Datenerfassung und -auswertung) Zugriff auf alle Daten der Messgeräte. Veränderungen der metrologischen Eigenschaften von Messgeräten können so schneller und früher erfasst und negative Auswirkungen auf die Produktqualität minimiert werden.

In Zusammenarbeit mit Projektpartnern aus der Industrie (BMW, Feinmess, Daimler Chrysler, Mahr, MWQ, Werth, Zeiss 3D) hat die PTB eine Webapplikation bestehend aus Server, Datenbank und Auswertemodulen entwickelt, die seit Anfang 2003 erfolgreich als Pilotsystem genutzt wird. Ein Testserver ist unter <http://efendi.ptb.de/> erreichbar. Das Projekt wurde Ende 2004 abgeschlossen. Eine Unternehmensgründung aus der PTB entwickelt das System weiter und bietet es interessierten Experten (Kalibrierlaboratorien) und Messgerätee Anwendern als gemeinsame Plattform zur kommerziellen Nutzung an.

Konzept der internetbasierten Überwachung



Internet-based monitoring of stationary measuring instruments in industry

Quality management systems and sinking tolerances require that all quality-relevant measuring instruments be monitored consistently to ensure the traceability of measurement results – a task for experts, above all in the case of complex stationary measuring devices. Small and medium-sized enterprises have in most cases, however, neither experts nor a suitable infrastructure at their disposal. The traceability in industry is thus often unsatisfactory. To improve on this, PTB, along with partners in industry, are establishing an Internet-based infrastructure for remote monitoring.

Due to its ability to exchange considerable amounts of data over great distances, the Internet is being employed increasingly in metrology. The expert need no longer travel to the measuring instrument, on the contrary the required measuring data comes to him. User and expert alike have access to all data on measuring devices via web application (for computer-aided data acquisition and evaluation). Changes in the metrological properties of measuring instruments can thus be recorded faster and sooner, and negative effects on product quality can be minimized.

In cooperation with project partners from industry (BMW, Feinmess, DaimlerChrysler, Mahr, MWQ, Werth, Zeiss 3D) PTB has developed a web application consisting of servers, databases and evaluation modules which has been used successfully as a pilot system since the beginning of 2003. A test server is available under <http://efendi.ptb.de/>. The project

was completed at the end of 2004. An enterprise established through PTB is further developing the system and offering it to interested experts (calibration laboratories) and measuring device users as a mutual platform for commercial use.

Concept of Internet-based monitoring

Firmenausgründung aus der PTB

Als Folge eines erfolgreichen Projektes im Bereich der Fertigungsmesstechnik kann die PTB ein „Spin-Off“ vermelden. Geschäftsidee der PTB-Mitarbeiter und der externen Investoren ist die Bereitstellung einer internetbasierten Plattform zur Fernüberwachung von komplexen Messgeräten in der Industrie, wie z. B. Koordinatenmessgeräte.

Im Zuge eines vorwettbewerblichen BMWA-Projektes kamen Partner aus der Automobilindustrie, Hersteller von Koordinatenmessgeräten und Dienstleister zusammen, um gemeinsam mit Mitarbeitern der Abteilung Fertigungsmesstechnik die Machbarkeit einer Fernüberwachung von Koordinatenmessgeräten zu evaluieren. Man versprach sich eine regelmäßige Überwachung der Systeme im Feld, bei gleichzeitig gesenkten Kosten.

Das „elektronische System zur Fernwartung und Diagnose – eFENDI“ liefert einen entscheidenden Vorteil: Nicht mehr der Experte, sondern nur noch der kalibrierte Prüfkörper wird zum Standort des Koordinatenmessgerätes geschickt. Der normale Maschinenbediener legt diesen zur Überwachung auf das Gerät – die Messdaten werden dann vom Messgerät per E-Mail an das Internet-System geschickt, das eine Bewertung durchführt und einen Experten des Dienstleisters nur bei Bedarf für die Ferndiagnose einbindet.

Die im Herbst 2004 gegründete Etalon AG hat derzeit 4 Mitarbeiter und beginnt ihre Arbeit unter den marktüblichen Konditionen eines Gründerparks auf dem PTB-Gelände, bevor in etwa 3 Jahren ein Wechsel des Standorts geplant ist. Von der Marktgröße im Bereich Messgeräte zusammen mit den Kostenvorteilen der Fernwartung erhoffen sich die Gründer eine gesunde Wachstumsperspektive für ihr Unternehmen.



Von links nach rechts:
(from left to right):
Dr. Heinrich Iven Schwenke,
Wojciech Specht, Carl-Thomas
Schneider, Dipl.-Ing. Matthias
Franke

A Company Established Through PTB

As a result of a successful project in the field of precision engineering, the PTB can report a “spin-off”. The business idea of PTB staff members and the external investors is to make available an internet-based platform for the remote monitoring of complex measuring instruments in industry, as e.g., coordinate measuring machines.

In the course of a pre-competitive BMWA project, partners from the automobile industry, manufacturers of coordinated measuring instruments and service providers came together to evaluate – together with staff members from the Precision Engineering Department – the feasibility of a remote monitoring of coordinate measuring machines. One was hopeful of a more regular monitoring of the systems in the field, while at the same time lowering costs.

The “elektronische System zur Fernwartung und Diagnose – eFENDI” (electronic system for remote maintenance and diagnosis – eFENDI) provides a crucial advantage: no longer is the expert sent to the site of the coordinate measuring machines, but rather only the calibrated test piece. The customary machine operator lays these on the equipment for monitoring – the measurement data are then sent from the measuring equipment to the Internet system via e-mail to be evaluated and involves a service expert, only if necessary, for the remote diagnosis.

The Etalon AG, established in the autumn of 2004, presently has 4 employees and begins its work on the PTB grounds under the usual market conditions of a founding park; then in about 3 years relocation is planned. The founders are hopeful of sound growth prospects for their enterprise arising from the large measuring instrument market, together with the cost advantages of remote maintenance.

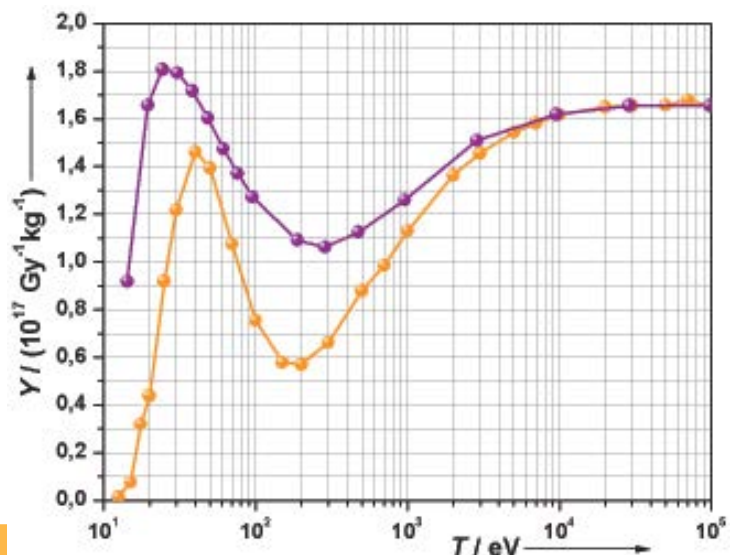
Strahlenbiologie und Nanodosimetrie

Die biologisch relevante Wirkung ionisierender Strahlung auf eine Zelle wird zum großen Teil durch die Erzeugung von Einfach- oder Doppelstrangbrüchen in der DNA eingeleitet. Aus Sicht der Strahlenphysik sind derartige Schädigungen eine Konsequenz der räumlichen Verteilung von Ionisationsereignissen in biologischem Gewebe. Mehrere Ionisationen in einem kleinen DNA-Segment können dabei zu einem Doppelstrangbruch und eine einzelne zu einem Einfachstrangbruch führen. Zum Nachweis der Korrelation zwischen der Erzeugung von DNA-Strangbrüchen und der Anzahl von Ionisationsereignissen wurde die Ionenerzeugung durch Elektronen in nanometrischen Wasserzylindern mit Hilfe der Monte Carlo Methode simuliert und mit der Erzeugung von Einfachstrangbrüchen in der DNA verglichen. Dabei zeigte sich, dass das Verhältnis aus der Häufigkeit für eine einzelne Ionisation zu der im Targetzylinder absorbierten Energie eine sehr ähnliche Abhängigkeit von der Elektronenenergie aufweist wie die Ausbeute an Einfachstrangbrüchen in der DNA. Daher kann man wirklich davon ausgehen, dass die strahlungsinduzierte Schädigung der DNA stark mit der Erzeugung von Ionisationsereignissen in nanometrischen Volumina korreliert ist.



Ausbeute Y an Einfachstrangbrüchen in der DNA in Abhängigkeit von der Elektronenenergie T : (•) DNA-Daten von Friedland et al. (1998), (◊) auf die DNA-Daten normiertes Verhältnis der Häufigkeit für eine einzelne Ionisation zu der in einem nanometrischen Wasservolumen absorbierten Energie

Yield Y of single strand breaks in the DNA as a function of electron energy T : (•) DNA data of Friedland et al. (1998), (◊) ratio of the frequency of a single ionization to the energy absorbed within a nanometric volume of liquid water, normalized to the DNA data



Radiation Biology and Nanodosimetry

The greater part of the radio-biological effect of ionizing radiation to cells is initiated by the production of single or double strand breaks within the DNA. From the point of view of radiation physics, damages of that kind are due to the spatial distribution of ionization events in biological tissue. In the case of several ionizations within a small segment of the DNA a double strand break may be caused, and a single strand break in the case of one ionization. To prove the correlation between the production of DNA strand breaks and the number of ionization events, the ion production in nanometric cylinders of liquid water by electrons was simulated

by using the Monte Carlo method, and compared with the production of single strand breaks within the DNA. It turned out that the ratio of the frequency for producing one single ionization to the energy

absorbed within the target cylinder shows an electron-energy dependence which is very similar to that of the yield of single strand breaks within the DNA. In consequence, it can be really assumed that the radiation induced damage of the DNA is strongly correlated to the production of ionization events within nanometric volumes.

„Mehr Licht“ für die Metrologie

„Mehr Licht“ versprach Prof. Ernst O. Göbel anlässlich des ersten Spatenstichs für das Willy-Wien-Laboratorium am 24. September 2004 – „mehr Licht für Berlin-Adlershof“. Dort wird – gegenüber von BESSY II – das Willy-Wien-Laboratorium der PTB einen weiteren Elektronenspeicherring beherbergen, die Metrology Light Source (MLS), die den Spektralbereich des Speicherrings BESSY II zu niedrigeren Energien hin ergänzt. Mit BESSY II und MLS in Adlershof sowie den Hohlraumstrahlern in Charlottenburg wird die PTB als weltweit einziges nationales Metrologie-Institut über „Standard-Lampen“ mit berechenbarer Intensität vom fernen Infrarot- bzw. THz-Bereich bis zum Röntgengebiet verfügen und damit in der Lage sein, ihre Verpflichtung zur metrologischen Rückführung radiometrischer Einheiten in voller Breite auch gegenüber ihren europäischen Partnern zu erfüllen.

Der spektrale Schwerpunkt der MLS liegt im extremen Ultraviolett (EUV) im Bereich der Wellenlänge von 13 nm, mit der die Photolithographie die nächsten drei Generationen von Speicherchips mit Leitungsbahnen schmäler als 10 nm herstellen will. Die „Roadmap“ der Halbleiterindustrie sieht derzeit vor, die EUV-Strahlung ab Ende dieses Jahrzehnts in der Produktion einzusetzen. Die MLS wird der PTB eine erhebliche qualitative Verbesserung ihrer einmaligen Möglichkeiten zur Charakterisierung von EUV-Optiken für die deutsche und europäische Industrie bieten und zugleich deren Verfügbarkeit deutlich steigern. Außerdem wird der neue Speicherring auch intensive kohärente IR- und THz-Strahlung liefern können, die die PTB in einem entsprechenden metrologischen Kompetenzzentrum zusammen mit Partnern aus Wissenschaft und Industrie nutzen wird.

Prof. Göbel, PTB, Prof. Henn, HENN-Architekten, und Präsident Mausbach, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, beim ersten Spatenstich für das Willy-Wien-Laboratorium.



“More Light” for Metrology

Prof. Ernst O. Göbel promised “more light” on the occasion of the first cut of the spade for the Willy-Wien Laboratory on 24th September 2004 – “more light for Berlin-Adlershof”. There – across from BESSY II – the Willy-Wien Laboratory of PTB will house an additional electron storage ring, the Metrology Light Source (MLS) which will supplement the spectral range of the BESSY II storage ring with lower energies. Due to BESSY II and MLS in Adlershof as well as the cavity radiators in Charlottenburg, PTB will, as the only national metrology institute world-wide, have at its disposal “standard lamps” with calculable intensity from the far infrared, i.e. THz range, to the X-ray region and thus be in a position to also fulfil their obligation to their European partners regarding metrological refeeding of radiometric units in a complete spectrum.

The spectral focus of MLS lies in the extreme ultraviolet (EUV), in the area of the wavelength of 13 nm, with which photo-lithography intends to produce the next three generations of memory chips with conducting pathways narrower than 10 nm. The “roadmap” of the semiconductor industry presently intends to employ EUV radiation in production, starting the end of this decade. The MLS will offer PTB a considerable qualitative improvement of its unique feasibility to characterize EUV optics for the German and the European industries and at the same time clearly increase their availability. Moreover, the new storage ring will also be able to supply intensive coherent IR and THz radiation which PTB will utilize in a corresponding metrological competence center, together with partners from science and industry.

Prof. Göbel, PTB; Prof. Henn, HENN-Architekten; and President Mausbach, Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (Federal Office for Building and Regional Development), at the first cut of the spade for the Willy-Wien Laboratory.

Europäische Messgeräte-richtlinie verabschiedet

Die Europäische Messgeräte-richtlinie (Measuring Instruments Directive, MID) wurde vom Europäischen Parlament und Rat verabschiedet. Sie ist bis zum 30. April 2006 in nationales Recht umzusetzen und ab 30. Oktober 2006 anzuwenden. Die MID beschränkt sich auf Regelungen bis zum Inverkehrbringen bzw. bis zur Inbetriebnahme der Messgeräte. Die Mitgliedstaaten entscheiden in eigener Verantwortung, welche Anwendungen von Messgeräten gesetzlich geregelt werden und welche kompetenten Stellen als benannte Stellen zur Durchführung der Konformitätsbewertungsverfahren tätig werden sollen.

In den mehr als 10jährigen Verhandlungen in Brüssel hat die PTB in den Arbeitsgruppen der Kommission und des Rates sowie im Wirtschaftsausschuss des Europäischen Parlaments beratend mitgewirkt. Diese Unterstützung wurde auch durch WELMEC ergänzt, eine Organisation zur Zusammenarbeit der europäischen Behörden für das gesetzliche Messwesen, in der die PTB die Interessen Deutschlands vertritt. Die nationale Umsetzung der MID erfolgt in Deutschland unter Federführung des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit, dem die PTB ebenfalls beratend zur Verfügung steht. Zur Unterstützung der deutschen Messgeräteindustrie hat sich die PTB darauf vorbereitet, künftig die in der MID genannten Konformitätsbewertungsverfahren durchzuführen. Hierzu wurde eine Zertifizierungsstelle für Messgeräte eingerichtet, welche als benannte Stelle im Sinne der MID die erforderlichen gesetzlichen und normativen Anforderungen erfüllt. Auf diese Weise können den Herstellern die erforderlichen Konformitätsbewertungen der Geräte und Anerkennungen ihrer Qualitätsmanagementsysteme angeboten werden, damit sie rechtzeitig mit dem Inkrafttreten der MID neue Produkte ohne Wettbewerbsnachteile auf dem europäischen Markt anbieten können. Zur Vorbereitung auf diese Entwicklung hat die PTB die Hersteller und Anwender von Messgeräten bereits in verschiedenen Vortragsveranstaltungen informiert.

European Measuring Instruments Directive Adopted

The European Measuring Instruments Directive (MID) has been adopted by the European Parliament and Council. It is to be transposed into national law by 30th April 2006 and application is to commence starting 30th October 2006. The MID is confined to regulations until the measuring instruments have been put into circulation, i.e. into operation. The member states shall decide for themselves which measuring instrument applications shall be regulated by law and which competent body shall be named to carry out the conformity assessment process.

In the more than 10 years of negotiations in Brussels, PTB has participated in an advisory capacity in the working groups of the Commission and the Council and in the Standing Committee on Industry and Trade of the European parliament. This assistance was also supplemented by WELMEC, an organization for the cooperation of the European authorities for legal metrology, in which PTB represents the interests of Germany. The national conversion of MID is effected in Germany under the auspices of the Federal Ministry of Economics and Labour, where PTB also acts in an advisory capacity. In aid of the German measuring instruments industry PTB is in future prepared to carry out the conformity assessment processes stated in the MID. To this end, a certification body for measuring instruments has been set up, which as named body in terms of the MID, fulfils the required legal and normative requirements. In this way, the manufacturers can be offered the required conformity assessments of their instruments and recognition of their quality management systems so that they will be able to offer new products on the European market in time for the enforcement of MID, without competitive disadvantages. In preparation for this development PTB has already informed the manufacturers and users of measuring instruments of these changes in various lectures.

MID-Software-Richtlinie

Die praktische Umsetzung der Messgeräte-Richtlinie der EU (Measurement Instrument Directive, MID) führt zu beträchtlichen Auswirkungen im Messwesen und bedarf daher in besonders schwierig interpretierbaren Bereichen einer Unterstützung durch Richtlinien. Dies betrifft in besonderem Maße die recht allgemein formulierten softwarebezogenen Aussagen der MID.

Im Jahre 2001 bewilligte die EU das Vorhaben „MID-Software“, in dem unter Federführung der PTB die Aufgabe übernommen wurde, die entsprechenden Aussagen der MID zu interpretieren und in praktisch handhabbare Anforderungen umzusetzen. Die Arbeiten, an denen die PTB maßgeblichen Anteil hatte, wurden im Jahre 2004 nach dreijähriger Arbeit abgeschlossen.

Es liegt nun ein unter den 16 Projektpartnern aus 13 Ländern sowie weiteren interessierten Kreisen abgestimmter Anforderungskatalog vor, der an die WELMEC zur Annahme als offizielle Richtlinie übergeben worden ist.

Der Katalog führt erstmalig IT-bezogene Konfigurationen und Risikoklassen als Strukturierungselemente ein und erlaubt damit eine weitgehend geräteunabhängige Anforderungsdefinition. Er bezieht aktuelle Entwicklungen der Informationstechnik ein und ist darüber hinaus auf Grund seines Konzeptes offen für weitere technische Entwicklungen. Neben den Anforderungen enthält der Katalog Hinweise für die Prüfung und Beispiele von Lösungen, die den Anforderungen entsprechen.

Das vorliegende Ergebnis unterstützt nicht nur den europäischen Harmonisierungsprozess, sondern ist darüber hinaus für die Anwendung bei national geregelten Messgeräten geeignet.

Teilnehmer des abschließenden Arbeitstreffens im Hermann-von-Helmholtz-Bau



suited for use with nationally regulated measuring instruments.

Participants in the concluding workshop in the Hermann-von-Helmholtz Building

MID Software Guideline

The practical application of the EU Measurement Instrument Directive (MID) has a considerable impact on metrology and thus requires support in the form of guidelines for areas especially difficult to interpret. This is especially true for the rather broadly formulated MID statements concerning software.

In 2001 the EU approved the “MID-Software” project in which the task was undertaken, under the auspices of PTB, to interpret the corresponding MID statements and to convert them into practically applicable requirements. The work in which PTB was significantly involved was concluded in 2004, after three years of work.

There is now a catalogue of requirements, coordinated with the 16 project partners from 13 countries and additional interested circles as well, which has been presented to WELMEC for acceptance as the official guideline.

The catalogue introduces for the first time IT-related configurations and risk classes as structural elements, thus enabling a largely instrument-independent definition of requirement. It includes topical developments in information technology and, due to its concept, is also open for further technical developments. In addition to the requirements, the catalogue contains references to testing and examples of solutions which correspond to the requirements.

The present result not only supports the European harmonization process but is also

Die 55. Sitzung des Kuratoriums

Die Themen der Vorträge des wissenschaftlichen Kolloquiums am 29. April waren „Einzелеlektronenschaltungen für Anwendungen in der Metrologie“, „Fertigungsmesstechnik mit Röntgen-Computertomographen“ und „Durchstimmbare Infrarot-Lasersysteme für die Radiometrie“. Im Anschluss wurde über den Stand geplanter großer Baumaßnahmen in der PTB berichtet. Dr. Hans-Michael Kramer informierte die Anwesenden über den „Neubau der Elektronenbeschleuniger-Anlage“ und Dr. Gerhard Ulm gab einen Statusbericht über das geplante „Willy-Wien-Laboratorium“. Danach fanden weitere Fachgespräche in den Abteilungen statt.



Dr. Mackrodt (2. v. r.) informiert über wichtige technische Anwendungen und neuere Entwicklungen auf dem Gebiet der Gasfeuchte-Messtechnik.

Dr. Mackrodt (2nd from right) provides information on important technical applications and newer developments in the field of gas humidity measurement technique.

In der Sitzung am 30. April berichtete der Präsident des Kuratoriums, Dr. Eike Röhling, u. a. über die aktuellen Entwicklungen im BMWA, die sich noch aus der Zusammenlegung mit dem früheren Arbeitsministerium ergeben. Dr. Röhling informierte über die bestehenden Forderungen zur Evaluation aller Ressortforschungseinrichtungen, die Neuordnung des gesetzlichen Messwesens und der damit verbundenen Änderungen für die PTB sowie über den Stand der neuen Zielvereinbarung zwischen PTB und BMWA.

Der Präsident der PTB, Prof. Dr. Ernst O. Göbel, stellte seinen Rechenschaftsbericht auf der Grundlage der vier Geschäftsfelder der PTB vor. Er informierte über den Stand der Arbeiten am optischen Frequenznormal auf der Basis eines einzelnen 171Yb^+ -Ions, über

55th meeting of the Board of Consultants

The subjects of the lectures of the scientific colloquy on April, 29th, were “Single electron circuits for application in metrology”, “Precision engineering with X-ray-computer tomographs” and “Tunable infrared-laser systems for radiometry”. Following the lectures, a report of the progress of the planned large construction works at PTB was given. Dr. Hans-Michael Kramer informed those present of the “new construction of the electron-accelerator facility” and Dr. Gerhard Ulm gave a status report on the planned “Willy-Wien Laboratory”. Following the colloquium, further technical discussions were held at the divisions.

In the meeting on 30th April, the president of the Board of Consultants, Dr. Eike Röhling, reported on, among other things, the current developments in the BMWA, which are still arising from the amalgamation with the former Ministry of Labour. Dr. Röhling presented information on the demands existing for the evaluation of all departmental research facilities, the new order of legal metrology and the resulting changes for the PTB, and also about the progress of the new target agreement between PTB and BMWA.



Dr. Härtig (links) stellt die Genauigkeitssteigerungen in der Verzahnungstechnik durch den „Lasertracer“ vor.

Dr. Härtig (left) presents the enhancements in accuracy by means of the “laser tracer” in gear-cutting technique.

The president of PTB, Prof. Dr. Ernst O. Göbel, presented his report and statement of account on the basis of PTB's four areas of business. He presented information on the progress of the work on the optical frequency standard on the basis of a single 171Yb^+ ion, on the consultancy proposal in the field of



Teilnehmer an der 55. Sitzung des Kuratoriums

Participants in the 55th Meeting of the Board of Consultants

das Beratungsangebot im Bereich des Explosionsschutzes und die Aktivitäten zur Entwicklung des opto-taktilen Tasters. Der gesellschaftliche Bezug zeigt sich deutlich im Bereich „European Measurement Association for Thermal Measurement“ und im Bereich der optischen Mammographie. Weiterhin berichtete Prof. Göbel u. a., dass die PTB mit Förderung des BMZ seit 40 Jahren erfolgreich Projekte der technischen Zusammenarbeit durchführt. Im weiteren Verlauf des Berichtes ging er auf die Personal- und Haushaltsentwicklung der PTB ein, bilanzierte die Zielvereinbarung mit dem BMWA für die Jahre 2000 bis 2003 und informierte über die abgeschlossene Strukturreform.

Die weitere Umsetzung der Evaluationsempfehlungen in der PTB wurde gesondert erörtert. Dr. Röhling stellte fest, dass die PTB durch die Evaluation bekannter geworden und ihr Ansehen im Ministerium deutlich gefestigt worden sei. Das Kuratorium beschloss, eine gemeinsame Resolution an die betroffenen Ministerien zu richten. Darin wird der fortgesetzte Stellenabbau kritisiert, der die Aufgabenerfüllung der PTB gefährdet und nur durch die Bewilligung neuer Stellen kompensiert werden könne.

Im weiteren Verlauf der Sitzung informierte der Schatzmeister des Helmholtz-Fonds e. V., Ruprecht von Siemens, über die positive wirtschaftliche Entwicklung des Fonds.

Persönliches:

Im Berichtsjahr schieden der Präsident des Kuratoriums, Dr. Eike Röhling, sowie die Mitglieder Prof. Dr. Eveline Gottzein und Prof. Dr.-Ing. Hans Kurt Tönshoff aus dem Kuratorium aus.

explosion protection and the activities for the development of the opto-tactile probe. The social

reference is clearly indicated in the “European Measurement Association for Thermal Measurement” field and in the field of optical mammography. Prof. Göbel reports that, among other things, PTB has, with promotion by BMZ, been carrying out projects of technical cooperation successfully for 40 years. Furthermore, he went into the development of personnel and budget at the PTB. In the further course of the report, he balanced the target agreement with the BMWA for the years 2000 to 2003 and provided information on the completed structural reform.

Further implementation of the evaluation recommendations in the PTB was discussed separately. Dr. Röhling observed that the PTB has become more well known through the evaluation and its reputation has clearly been reinforced in the Ministry. The Board of Consultants decided to direct to the respective ministries a common resolution wherein the continued reduction of posts is criticized. This trend endangers PTB's performance of its tasks which could only be compensated by authorizing new posts.

In the further course of the meeting, the treasurer of the Helmholtz-Fonds e. V., Ruprecht von Siemens, presented information on the positive economic development of the fund.

Personal Matters:

In the year under report, Dr. Eike Röhling, president of the Board of Consultants, and also the members, Prof. Dr. Eveline Gottzein and Prof. Dr.-Ing. Hans Kurt Tönshoff, have resigned from the Board.

Internationale Konferenz für das Gesetzliche Messwesen tagt erstmals in Deutschland

Erstmals seit Gründung der Internationalen Organisation für das gesetzliche Messwesen (OIML) im Jahre 1955 fand vom 25. bis 29. Oktober 2004 eine Internationale Konferenz für das gesetzliche Messwesen in Deutschland statt. Mit insgesamt 296 Teilnehmern aus 54 Mitgliedsländern, 40 weiteren Ländern sowie Vertreter von 9 internationalen und regionalen Organisationen verzeichnete diese 12. Internationale Konferenz eine Rekordbeteiligung. Tagungsort war das Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit in Berlin, wo auch weitere Sitzungen stattfanden, wie die 39. Sitzung des Internationalen Komitees für das gesetzliche Messwesen (CIML), das Forum für Entwicklungsländer „Development Council“ und ein Workshop zum Thema "Umsetzung des neuen OIML-Rahmenabkommens" (Mutual Acceptance Arrangement, MAA). Hier die wichtigsten Entscheidungen und Entwicklungen:

- Zukünftig soll die Zusammenarbeit mit anderen internationalen Organisationen, insbesondere mit der Meterkonvention, verstärkt werden.
- Insgesamt wurden 13 neue messtechnische Empfehlungen bestätigt und endgültig verabschiedet.
- Zum OIML-Zertifizierungssystem: Es wurde im Jahr 1992 etabliert, hat sich seitdem gut entwickelt und weltweite Akzeptanz verschafft.
- Zum Mutual Acceptance Arrangement (MAA): Dieses neue, im Jahr 2003 beschlossene OIML-Rahmenabkommen, soll mittelfristig das existierende OIML-Zertifizierungssystem ablösen und hat die weltweite Anerkennung von Prüfergebnissen zum Ziel.
- Zum neuen CIML-Präsidenten ab 2005 und damit als Nachfolger des noch amtierenden CIML-Präsidenten und Vizepräsidenten der PTB, Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Kochsiek, wurde Alan E. Johnston, Präsident des kanadischen Metrologieinstituts „Measurement Canada“ gewählt.

International Conference for Legal Metrology Convenes in Germany for the First Time

For the first time since the International Organization for Legal Metrology (OIML) was established in 1955, an international conference for legal metrology was held in Germany from 25th to 29th October 2004. This 12th international conference showed a record attendance with a total of 296 participants from 54 member countries, 40 additional countries and representatives of 9 international and regional organizations as well. Venue of the conference was the Federal Ministry of Economics and Labour in Berlin, where further meetings were also held, such as the 39th meeting of the International Committee for Legal Metrology (CIML); "Development Council", the forum for developing countries; and a workshop on the subject "Umsetzung des neuen OIML-Rahmenabkommens" (Mutual Acceptance Arrangement, MAA). Here are the most important decisions and developments:

- In future, cooperation with other international organizations, especially with the Meter Convention, is to be intensified.
- A total of 13 new metrological recommendations were confirmed and finally adopted.
- Concerning the OIML certification system: It was established in 1992, has developed well since then and achieved world-wide acceptance.
- Concerning the Mutual Acceptance Arrangement (MAA): This new OIML skeleton agreement concluded in 2003, is to replace, in the medium term, the existing OIML certification system and aims to achieve world-wide recognition of test results.
- Alan E. Johnston, president of "Measurement Canada", the Canadian metrology institute, has been elected the new CIML president, starting in 2005, and thus succeeding the still acting CIML president and vice-president of the PTB, Prof. Dr. Dr. h.c. Manfred Kochsiek.

25 Jahre metrologische Zusammenarbeit der PTB mit China

25 Jahre der Zusammenarbeit zwischen der PTB und chinesischen Metrologieinstituten haben viele Aspekte: Chinesische Gastwissenschaftler in ein PTB-Team integrieren; einen Eindruck von Deutschland vermitteln; anspruchsvolle gemeinsame Seminare durchführen, die sich mit messtechnischen Problemen an der Front metrologischer Forschung befassen; als PTB-Mitarbeiter in China Kontakte aufbauen. Diese 25jährige Zusammenarbeit wurde am 19. November in Peking im festlichen Rahmen mit Grußworten und Vorträgen unter Beteiligung des Präsidenten und Vizepräsidenten der PTB gefeiert.

Im Jahre 1979 wurde das erste Kooperationsabkommen für einen Zeitraum von fünf Jahren in Braunschweig abgeschlossen, dessen regelmäßige Weiterführung fand einen Höhepunkt in diesem Jahr: Am 3. Mai wurde während des Staatsbesuches des chinesischen Ministerpräsidenten Wen Jia Bao die erneute Verlängerung um fünf Jahre im Bundeskanzleramt in Anwesenheit der Regierungschefs beider Länder unterzeichnet. Die Bilanz der 25 Jahre kann sich sehen lassen: Etwa 150 chinesische Gastwissenschaftler und mehr als 50 Delegationen aus China besuchten die PTB, mehr als 100 PTB-Mitarbeiter waren in China, drei große Entwicklungsprojekte des BMZ wurden durch die PTB umgesetzt, mehrere gemeinsame Seminare fanden statt, eine Anzahl deutscher mittelständischer Unternehmen konnte mit Hilfe der PTB im chinesischen Markt Fuß fassen. Nicht nur die wissenschaftlichen Verbindungen haben sich entwickelt und stabilisiert sondern auch gute persönliche Beziehungen zwischen Metrologen beider Länder. Dies ist ein wichtiges und gutes Fundament für die weitere Zusammenarbeit im Interesse der globalen Metrologie und auch der deutschen Industrie.



25 Years of Metrological Cooperation Between PTB and China

Many aspects have crystallized in the 25 years of cooperation between PTB and Chinese metrology institutes: to integrate Chinese guest scientists in a PTB team; to convey an impression of Germany; to hold mutually challenging seminars which concern metrological problems on the metrological research front; to establish contacts in China, as a PTB staff member. These 25 years of cooperation were celebrated in Peking on 19th November in a festive setting with greetings and lectures and with the participation of the president and vice president of PTB.

In 1979, the first cooperation agreement was concluded for a period of five years in Braunschweig whose renewed continuation reached a pinnacle this year: On 3rd May, the repeated prolongation of five years was signed in the Federal Chancellor's office in the presence of the governing heads of both countries during the state visit of the Chinese Minister President Wen Jia Bao. The balance of the 25 years is certainly something to be proud of: About 150 Chinese guest scientists and more than 50 delegations from China have visited PTB, more than 100 PTB staff members have been to China, three large development projects of BMZ have been realized by PTB, several mutual seminars have taken place, a number of German medium-sized enterprises have been able to gain a foothold in the Chinese market with the aid of PTB. Not only have scientific contacts been developed and stabilized but also good personal relations between metrologists of both countries have been established. This is an important and good foundation for continued cooperation in the interest of global metrology, and the German industry as well.

Von links nach rechts
(from left to right):
Liu Xinmin, Ji Zhengkun,
Li Chuanqing (AQSIQ),
Manfred Kochsiek, Wolfgang Hemminger (PTB)

Waagenindustrie stiftet Arbeitsplatz in der PTB

Die Deutsche Waagenindustrie arbeitet seit vielen Jahren erfolgreich mit der PTB zusammen. Auf die Meldung, dass drastische Sparmaßnahmen des Bundes mittlerweile auch auf die mehr als 150 Auszubildenden der PTB durchschlagen und mittlerweile kein einziger Auszubildender nach seiner Ausbildungszeit mehr mit einer festen Anstellung in der PTB rechnen kann, reagierte die Waagenindustrie mit einem ganz besonderen Zeichen privatwirtschaftlicher Initiative: Der Vorstand des Fachverbandes Waagen im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA), entschloss sich, einem frisch Ausgelernten die Anschlussbeschäftigung für ein Jahr in der PTB zu ermöglichen. Mit dem am 5. Dezember 2003 überreichten Scheck über 25000 Euro wurde die auserkorene Physiklaborantin Jessica Schanz für ein Jahr „gesponsert“. Neben der Eröffnung einer Zukunftsperspektive für qualifiziertem Nachwuchs verspricht sich die Waagenindustrie hiervon auch, dass die PTB ihre führende Rolle auf den Gebieten der Zertifizierung und Regelwerkssetzung in Europa und der Welt, trotz der Sparmaßnahmen, weiterhin erfolgreich behaupten kann.

Weighing Machine Industry Donates Post to PTB

The German weighing machine industry has been working together successfully with the PTB for several years. Following the report that drastic federal economy measures meanwhile affect the more than 150 PTB trainees with the result that not even one trainee can now expect a permanent post at PTB after completion of the training period, the weighing machine industry reacted with a very special sign of private-enterprise initiative: the board of directors of the Fachverbandes Waagen im Verband Deutscher Maschinen- und Anlagenbau (VDMA) (trade association for the weighing machine industry in the association of German mechanical engineering and plant engineering and construction) decided to enable a trainee who has just completed training to continue his/her employment at PTB for one year. With the check, amounting to Euro 25000 and presented on 5th December 2003, Jessica Schanz, the selected physics laboratory assistant was “sponsored” for a year. In addition to opening future prospects for qualified young talent, the weighing machine industry here also expects that PTB can continue to successfully maintain its leading role in the fields of certification and setting of the corpus of rules in Europe and the world, in spite of the economy measures.

Scheck für ein Jahr:
Der Vorsitzende des Fachverbandes Waagen im VDMA, Dr. Klaus Wurster (links), und der Geschäftsführer, Georg Berntsen (2.v.l.), überreichen den Scheck in Höhe von 25 000 Euro dem Vizepräsidenten der PTB, Herrn Prof. Dr. Manfred Kochsiek (rechts), sowie der Physiklaborantin Jessica Schanz.



A check for one year:
The chairman of the trade association of the weighing machine industry in the VDMA, Dr. Klaus Wurster (left), and the business manager, Georg Berntsen (2nd from left), present the check amounting to Euro 25 000 to the vice president of PTB, Prof. Dr. Manfred Kochsiek (right), and the physics laboratory assistant, Jessica Schanz.

Simulationsverfahren für die Fertigungsmesstechnik erhält Technologietransferpreis

Der mit 10 000 Euro dotierte Technologietransferpreis der IHK Braunschweig geht in diesem Jahr an fünf Wissenschaftler der PTB: Dr. Franz Wäldele, Matthias Franke, Dr. Frank Härtig, Dr. Heinrich Schwenke und Dr. Eugen Trapet (im Ruhestand) vom PTB-Fachbereich Koordinatenmesstechnik erhalten ihn für das Projekt des „Virtuellen Koordinatenmessgeräts“. Mit dieser Software, mit der sich reale Arbeitsbedingungen simulieren lassen, kann erstmals die Messunsicherheit für jeden vom Gerät bestimmten Messwert angegeben werden. Das Softwarepaket ist seit 2003 Bestandteil des Produktportfolios zweier bedeutender deutscher Hersteller von Koordinatenmessgeräten.

Um die entscheidenden Einflussgrößen zur Messunsicherheit physikalisch zu beschreiben, wurde in der Abteilung Fertigungsmesstechnik ein theoretisches Modell erstellt. Geeignete Analyseverfahren an realen Koordinatenmessgeräten unter Verwendung von PTB-Prüfkörpern als Normale ergeben die Parameter der Simulation. Alle Kenngrößen zusammen simulieren das Verhalten des Koordinatenmessgeräts im Rechner. Mittels eines Monte-Carlo-Zufallsverfahrens können sehr viele und verschiedene Zustände des Gerätes durchgespielt werden. Die Auswertung dieser virtuellen Messwerte ergibt dann eine verlässliche Aussage für die Messunsicherheit. Fehlbewertungen von Bauteilen können so vermieden werden, tatsächliche Fertigungstoleranzen gezielt ausgenutzt werden.



Abtastvorgang eines Koordinatenmessgerätes an einem Motorblock

Probing process of a coordinate measuring machine on a motor block

Simulation Process for Precision Engineering Receives the Technology Transfer Prize

The technology transfer prize of the Braunschweig Chamber of Industry and Commerce, endowed with Euro 10 000, goes to five PTB scientists this year: Dr. Franz Wäldele, Matthias Franke, Dr. Frank Härtig, Dr. Heinrich Schwenke and Dr. Eugen Trapet (retired) of the PTB Department of Coordinate Measurement Technology have been awarded this prize for the “virtual coordinate measuring machine” project. This software, with which it is possible to simulate real working conditions, enables – for the first time – the designation of the measurement uncertainty of any measurement value defined by the machine. The software package has been an integral part of the product portfolio of two major manufacturers of coordinate measuring machines since 2003.

In order to describe these reference values physically, a theoretical model was constructed in the Department of Coordinate Measurement Technology. Suitable analytical methods on real coordinate measuring machines, while using PTB test pieces as standards, yield the parameters of the simulation. All parameters together simulate the behaviour of the coordinate measuring machine in the computer. A great many and various conditions of the machine can be run through with the aid of a Monte-Carlo random process. The evaluation of these virtual measured values result then in a reliable conclusion for the measurement uncertainty. Erroneous evaluations of components can thus be avoided and actual manufacturing tolerances be specifically exploited.

Die maßstäbe kooperieren mit „bild der wissenschaft“

Das wissenschaftsjournalistische Magazin der PTB zieht weite Kreise: Für die im Jahr 2004 erschienene *maßstäbe*-Ausgabe „Kleine Größen“ hat „bild der wissenschaft“ (bdw) eine Jahresempfehlung an die eigenen Abonnenten ausgesprochen. Ein Teil der *maßstäbe*-Auflage wurde zu diesem Zweck von bdw reserviert, um sie interessierten Lesern als zusätzlichen Lesestoff kostenlos anbieten zu können. Im Editorial der Ende 2004 erschienenen bdw-Ausgabe heißt es dazu: „Die gute Arbeit

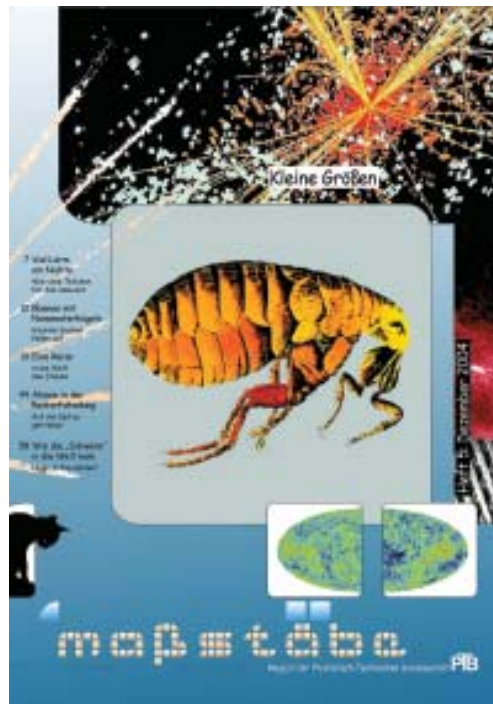
des *maßstäbe*-Teams – also der Presseabteilung einer Behörde – haben wir bei bild der wissenschaft schon länger im Auge, die *maßstäbe* überragen in Form und Inhalt die meisten Printprodukte aus Instituten und Unternehmen.“

Ausgerüstet mit diesem Lob werden die „Kleinen Größen“ für eine noch größere Verbreitung der *maßstäbe* als bisher sorgen und das Anliegen der PTB noch weiter publik machen. Und genau dies ist das Ziel der *maßstäbe*: Eine breite Öffentlichkeit mit Geschichten aus der Wissenschaft ansprechen, um die Metrologie und damit die PTB mehr ins öffentliche Bewusstsein zu rücken.

Auf diesem Weg sind die *maßstäbe* ein gutes Stück vorangekommen. Dies zeigen die seit der ersten Ausgabe im Herbst 2001 stetig ansteigenden Abonnentenzahlen, die zusätzlichen Schul-Bestellungen in Klassensatzstärke und – nicht zuletzt – zahlreiche ermunternde Leserbriefe an die Redaktion. Die bdw-Empfehlung wird helfen, diesen Weg fortzusetzen.

Die „Kleinen Größen“ sind das fünfte Magazin der Reihe *maßstäbe* (Auflage: 40 000 Exemplare). Die Berichte und Geschichten in diesem Magazin haben im weitesten Sinne Nano-Phänomene zum Thema. Die *maßstäbe* können kostenlos bei der Pressestelle der PTB bestellt werden.

The *maßstäbe* cooperate with “bild der wissenschaft”



The popular-science magazine of PTB draws large circles: For the *maßstäbe* edition “Kleine Größen”, published in 2004, the “bild der wissenschaft” (bdw) gave an annual recommendation to their own subscribers. A portion of the *maßstäbe* copies were reserved by bdw for this purpose, to be able to offer them to interested readers as additional reading material, free of charge. Stated in this connection in the editorial of the bdw edition, published at the end of 2004: We at “bild der wissenschaft” have been observing the good work of

the “*maßstäbe*” team – i.e. the press and information office of an administrative body – for quite some time, as the “*maßstäbe*” overtop most of the print products from institutes and enterprises in form and content.

Equipped with this commendation, the “Kleine Größen” will ensure an increasingly broader circulation of the *maßstäbe* than has been the case to date and make the concerns of the PTB still more public. And this is precisely the aim of *maßstäbe*: to address a broad public with scientific stories in order to make the public more conscious of metrology and thus of the PTB.

In this way, the *maßstäbe* have made considerable progress. This is indicated by the number of subscribers increasing steadily since the first edition in autumn of 2001, the additional class-sized school orders and – last but not least – numerous encouraging letters to the editor from our readers. The bdw recommendation will aid in our keeping on track.

The “Kleine Größen” is the fifth magazine of the *maßstäbe* series (print run: 40 000 copies). The reports and stories in this magazine have – in the widest sense – nano-phenomena as their subject. The *maßstäbe* can be ordered free-of-charge at PTB's Press and Information Office.

Promotionen 2004 • doctorates in 2004

Annette Bäker (Q.2)	Frequenzabhängige Leitfähigkeit im Quanten-Hall-Effekt
Dimitri Balashov (2)	Development and investigation of double-barrier Josephson junctions and their implementation in superconductor electronics
Ingo Busch (5.1)	Röntgenreflektometrie und diffuse Röntgenstreuung zur Charakterisierung von Grenzflächenrauheiten und Grenzflächenmorphologien im Bereich der Nanometrologie
Carsten Degenhardt (4)	Freie und gespeicherte Calcium-Atome für ein optisches Frequenznormal
Gerald Fütterer (5.2)	Phasenwinkelmessung mit 193 nm Gitter-Shearing Interferometrie
Nils Haverkamp (4)	Phasenkohärenz in Femtosekunden-Superkontinua aus Mikrostruktur-Glasfasern
Torsten Klaffs (2)	Experimente zur Potential- und Stromverteilung in Quanten-Hall-Systemen mit Einzelelektron-Transistoren
Martin Klann (1)	Mehrdimensionale Messung von Ultraschallfeldern mittels optischer Fabry-Perot-Interferenzbeschichtungen
Michael Lerche (4)	Untersuchungen zum Bau eines Fabry-Perot Interferometers für Mössbauerstrahlung
Ralf Müller (7.2)	Photoelektronenspektroskopie laserpolarisierter Eisen-Atome
Petcharin Pornnoppadol (5.1)	3D-Mikrotaster mit piezoresistiven Elementen
Martin Schmelzer (1.7)	Identifikation der Parameter von Zeitbereichsmodellen linear-viskoelastischer Werkstoffe
Hardo Stoehr (4)	Diodenlaser mit Hertz-Linienbreite für ein optisches Calcium Frequenznormal
Stefan Winter (4.1)	Analyse und Verbesserung der rückführbaren Kalibrierung von Solarzellen

Zahlen und

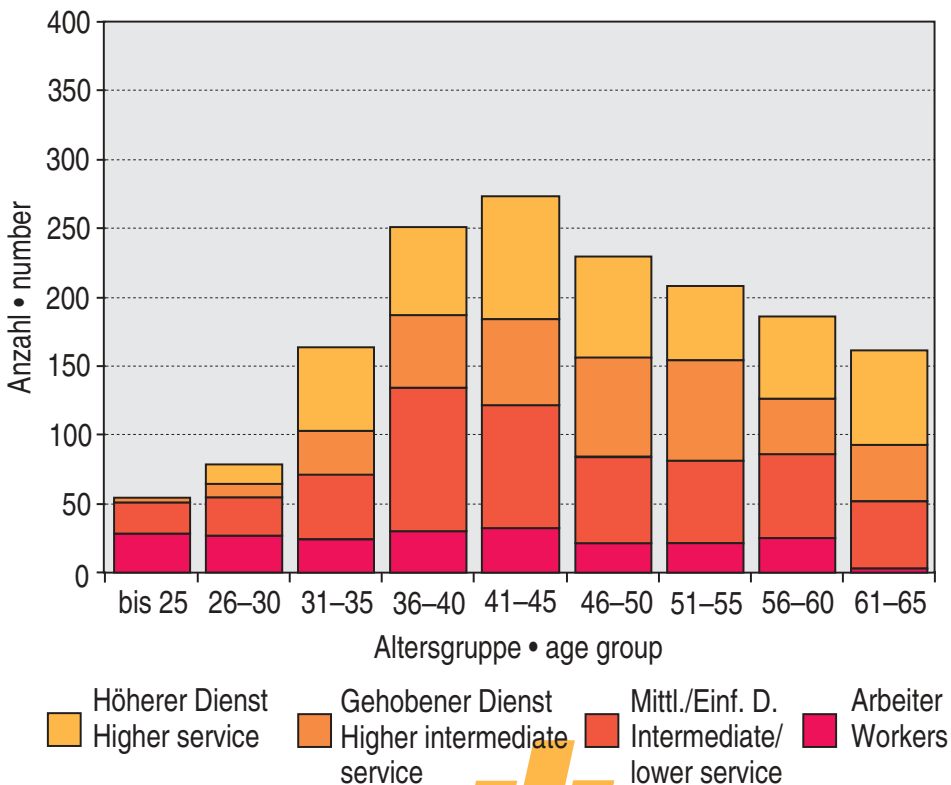
Personal: Entwicklung • Staff: development

Personelle Entwicklung von 1995 bis 2004 (Stand: 31. Dezember 2004) • Development of staff

a) unbefristet • unlimited in time b) zeitlich befristet • limited in time

Beschäftigungsverhältnis	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
a)										
Beamte • civil servants	500	483	483	486	490	501	503	507	506	508
Angestellte • employees	868	869	850	827	821	808	786	767	744	727
Arbeiter • workers	246	242	234	227	223	201	204	201	201	193
Kasinerpersonal • canteen staff	8	8	8	8	6	6	7	7	6	0
gesamt • total	1622	1602	1575	1548	1540	1516	1500	1482	1457	1428
b)										
Auszubildende • trainees	123	133	142	150	151	147	136	138	144	158
Aushilfskräfte temporary staff	22	16	19	35	32	44	52	53	52	61
Drittmittelpersonal staff members financed by third parties	93	104	85	110	70	92	104	106	122	105
Mitarbeiter gesamt staff member total	1860	1855	1821	1843	1793	1799	1792	1779	1775	1752

Personal: Altersstruktur • Staff: age structure



Fakten

Ausbildung • Training (1. November 2004)

	BS	Berlin	
Kommunikationselektroniker	12 (0)	7 (0)	communication electronics technologists
IT-Systemelektroniker	23 (11)	– –	information and telecommunication technologists
Elektroniker/in für Geräte und Systeme	22 (9)	– –	electronics technician for devices and systems
Physiklaboranten	20 (6)	– –	laboratory technicians, physics
Elektroniker für Energie- und Gebäudetechnik	3 (3)	– –	Electronics engineer for electrical and building services engineering
Elektroinstallateure	15 (1)	– –	electrical fitters
Feinwerkmechaniker			Precision instrument maker
Fachrichtung Feinmechanik	12 (6)	6 (2)	speciality: precision mechanics
Feinwerkmechaniker			Precision instrument maker
Fachrichtung Maschinenbau	11 (0)	– –	speciality: mechanical engineering
Fotografen	4 (2)	– –	photographers
Technische Zeichner	5 (2)	– –	draftsmen
Köche	4 (0)	– –	cooks
Tischler	– –	4 (3)	joiners
Fachangestellte für Bürokommunikation	– –	10 (4)	specialists in office communications
gesamt	131 (40)	27 (9)	total

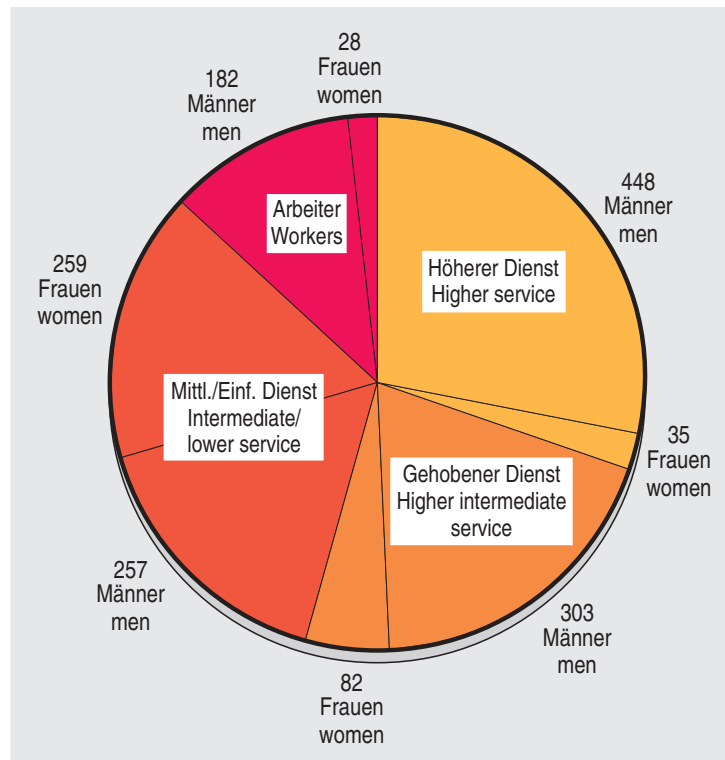
Die PTB gehört zu den größten Ausbildungsbetrieben in der Region. Gegenwärtig sind 158 Auszubildende bei der PTB angestellt. In Klammern sind die Neueinstellungen im Berichtsjahr angegeben.

The PTB is among the most important institutions of the region which provide training. 158 trainees are at present employed by PTB. The figures in parentheses indicate fresh engagements in the year under review.

Personal: Laufbahn Staff: civil service career

Anzahl der Mitarbeiter/innen unterschieden nach Laufbahn und Geschlecht (ohne Auszubildende und Kasinopersonal)

Number of staff members distinguished by civil service career and sex (not including trainees and canteen staff)



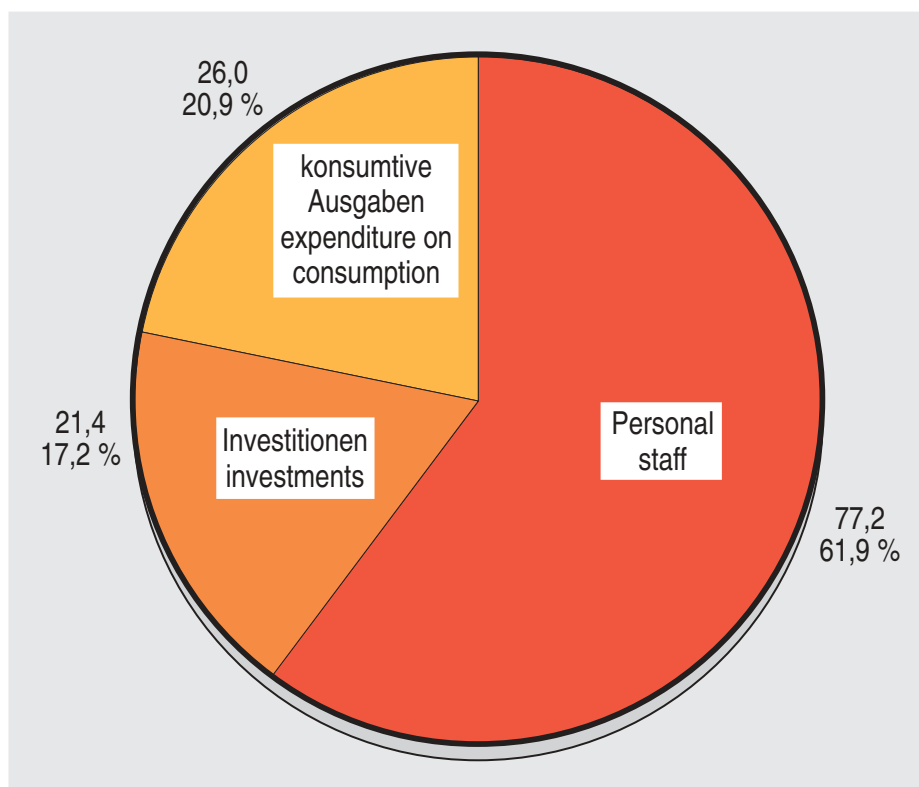
Haushalt: Gebühren • Budget: charges

Das Gebührenaufkommen (Gebühren und tarifliche Entgelte) der PTB im Vergleich der letzten Jahre (in 1000 Euro)

Comparison of the charges received by PTB in the past years (fees and compensation for services according to collective tariff agreement) (in 1000 Euro)

Gebühren	2002	2003	2004	charges
Amtshandlungen und sonstige Gebühren	5812	6232	6492	official acts and repayment work; other fees
Prüfung und Zulassung von Spielgeräten von Prüfstellen (Elektrizität)	1615	1492	1391	tests and approvals of gaming machines of test centres (electricity)
Leistungen im Rahmen des DKD	245	388	233	services rendered within the framework of DKD
gesamt	957	1423	1554	
	8629	9535	9670	total

Haushalt: Ausgabenverteilung • Budget: break-down of expenditure



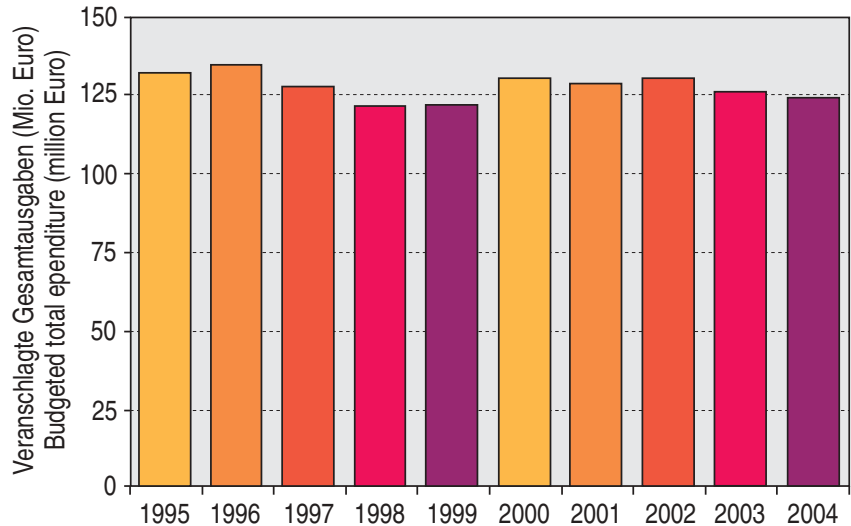
Die Grafik zeigt, wie sich im Berichtsjahr die veranschlagten Ausgaben verteilen (in Mio. Euro). Zum Vergleich nennt die Tabelle die Vergleichszahlen der letzten Jahre.

The chart shows the break-down of the budgeted expenditure (in million Euro) in the year under review. For comparison, the table indicates the figures of the past years.

Ausgaben der PTB (in Mio. Euro) • Expenditure of PTB (in million Euro)

Haushaltsmittel	2002	2003	2004	budgetary means
Personalausgaben	75,8	77,2	77,2	staff costs
Investitionen (Bau und Geräte)	26,3	21,2	21,4	investments (building activities and instruments)
konsumtive Ausgaben	28,5	27,5	26,0	expenditure on consumption
gesamt	130,6	125,9	124,6	total

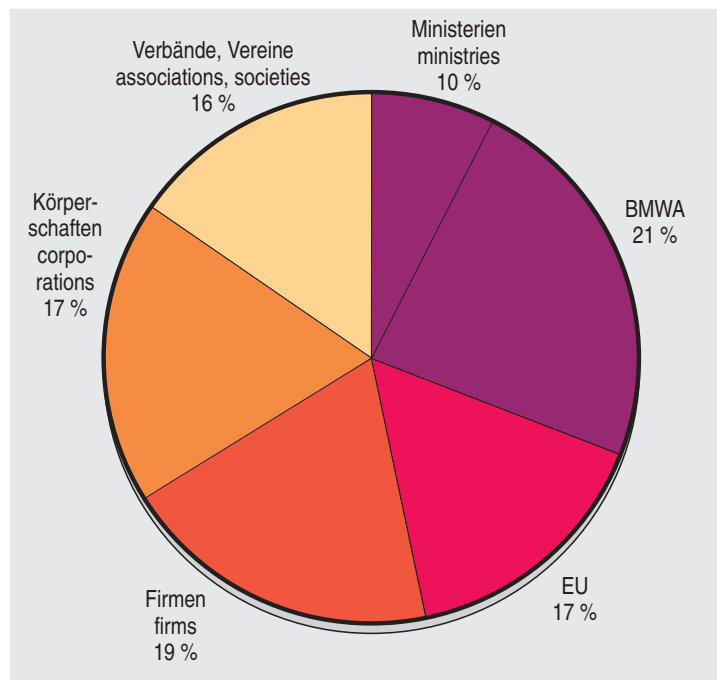
Haushalt: Entwicklung • Budget: development



Entwicklung der Gesamtausgaben im PTB-Haushalt in den letzten zehn Jahren
Development of the total expenditure of the PTB budget in the past ten years

Drittmittel: Forschungsprojekte • Third party funds: research projects

Die Drittmittel für Forschungsvorhaben summieren sich 2004 auf 6,9 Mio. Euro. Die Grafik gibt die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Quellen an. Insgesamt wurden im Berichtsjahr 10,9 Mio. Euro für 298 Drittmittelprojekte (Forschungsvorhaben und Projekte der Technischen Zusammenarbeit) verwendet (davon 2,3 Mio. Euro für 64 Projekte in Berlin). Hinzu kommen 12 Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit einem Gesamtvolumen von 450 000 Euro, davon zwei Sachbeihilfen mit 108 000 Euro in Berlin.



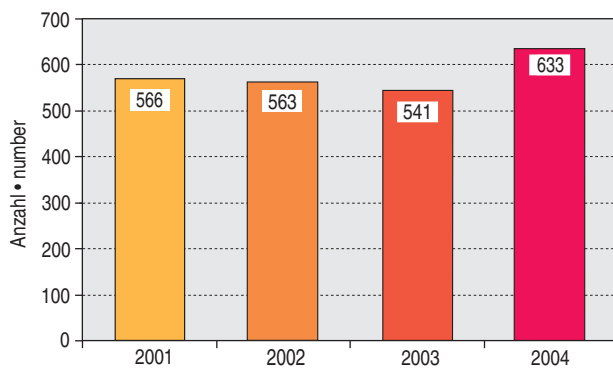
In 2004, the third-party funds for research projects added up to a total of 6.9 million Euro. The chart shows the contributions (in percent) from the different sources. In the year under review, a total of 10.9 million Euro were used for 298 third-party projects (research projects and technical cooperation projects), 2.3 million Euro of these for 64 projects in Berlin. Added to this are 12 contributions in kind from the Deutsche Forschungsgemeinschaft with an overall volume of 450 000 Euro, two of these contributions with a volume of 108 000 Euro for Berlin.

Umwelt: Verbrauchszahlen • Environment: consumption figures

Die Bundesanstalt verbrauchte bzw. es fielen an ... • The Bundesanstalt consumed ...

... in Braunschweig		2002	2003	2004	
elektrische Energie	MWh	21 344	24 731	42 635	electrical energy
Wärme	MWh	23 820	26 380	24 942	heat
Gas	m ³	32 776	35 397	32 144	gas
Wasser	m ³	82 654	94 413	100 477	water
Abfälle:					waste produced:
hausmüllähnliche					
Gewerbeabfälle	t	93	119	111	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	255	275	445	recycled waste
Sonderabfälle	t	10	108	35	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	EUR	149 650	146 430	127 222	waste disposal costs (approx.)
... in Berlin		2002	2003	2004	
elektrische Energie	MWh	3565	3250	4358	electrical energy
Gas	m ³	8643	47 500	12 100	gas
Wasser	m ³	31 510	29 500	33 230	water
Helium, flüssig	l	34 850	29 000	40 550	helium, liquid
Stickstoff, flüssig	l	53 000	61 000	72 771	nitrogen, liquid
Abfälle:					waste produced:
Reststoffe insgesamt (ca.)	t	255	235	62	residues, total (approx.)
hausmüllähnliche					
Gewerbeabfälle	t	26	28	56	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	215	195	62	recycled waste
Sonderabfälle	t	14	12	3	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	EUR	41 000	37 000	37 000	waste disposal costs (approx.)

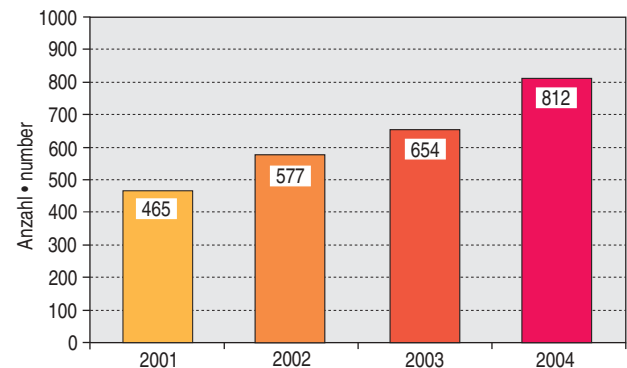
Veröffentlichungen • Publications



Anzahl der Veröffentlichungen der PTB-Mitarbeiter/innen (in wissenschaftlichen Journalen, Büchern, Tagungsbänden etc.) in den Jahren 2001 bis 2004 (vgl. Datenbank im Internet)

Number of publications by PTB staff members (in scientific journals, books, conference digests, etc.) between 2001 and 2004 (cf. database on the web)

Vorträge • Lectures



Anzahl der auswärtigen Vorträge, die PTB-Mitarbeiter/innen in den Jahren 2001 bis 2004 gehalten haben

Number of lectures held by PTB staff members outside PTB between 2001 and 2004

Aus dem Veranstaltungskalender • Events

	2002	2003	2004	
PTB-Seminare	7	11	11	PTB Seminars
Tagungen, Workshops, etc. *	41	75	16	Conferences, workshops, etc. *
Kolloquien	54	86	89	Colloquies

Anzahl der Seminare, Tagungen, Workshops und Kolloquien in den letzten drei Jahren. Diese Veranstaltungen sind ein wichtiges Element sowohl für den Wissenstransfer aus der PTB etwa in die Industrie (z. B. durch PTB-Seminare), als auch umgekehrt in die PTB hinein (durch eingeladene wissenschaftliche Vorträge bei Kolloquien und durch den Erfahrungsaustausch bei Tagungen und Workshops).

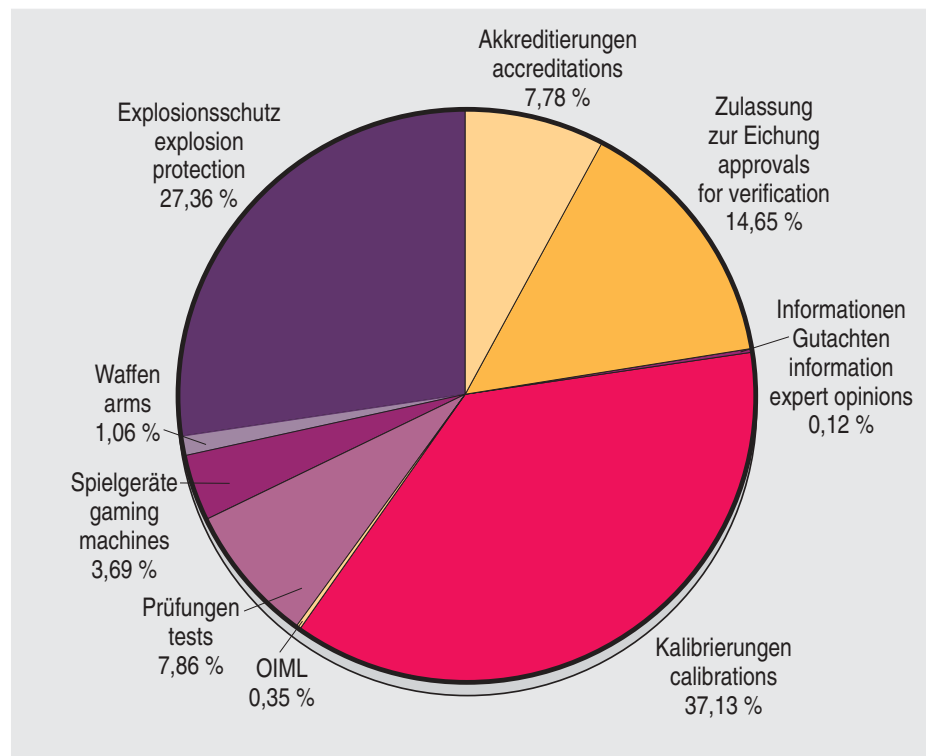
*Ab 2004 werden nur noch große nationale und internationale Veranstaltungen gezählt.

Number of seminars, conferences, workshops and colloquies for the last three years. These events are an important tool for knowledge transfer from the PTB to industry (e.g. through PTB seminars) and vice versa (through invited scientific lectures and colloquies and through the exchange of experience at conferences and workshops).

*From 2004 on, only large national and international events will be counted.

Aufteilung der Einnahmen • Distribution of the income

Aufteilung der Einnahmen im Jahr 2004 auf die verschiedenen Dienstleistungsbereiche der PTB. Gesamteinnahmen: 7,24 Millionen Euro.



Distribution of the income of 2004 among the various service sectors of PTB. Total receipts: 7.24 million euro.

Projektpartner der PTB PTB's project partners



Internationale Zusammenarbeit

Großen Umfang innerhalb des Arbeitsgebiets „Internationale Angelegenheiten“ nimmt die Technische Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern ein. Die PTB gibt ihre Erfahrungen weiter und leistet aktive Hilfe beim Aufbau von Systemen der Konformitätsbewertung mit den Komponenten Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesen, Akkreditierung und Zertifizierung (MNPQ) und Umweltschutz. Die Mittel werden überwiegend vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (BMZ) zur Verfügung gestellt. Im Berichtsjahr wurden 16 Länder in vier Kontinenten durch 22 bilaterale Projekte beim Aufbau ihrer technischen Infrastruktur allein aus Mitteln des BMZ unterstützt. Weitere Länder profitieren von regionalen und sektoralen Projekten. Der finanzielle deutsche Beitrag betrug mehr als 4 Mio. Euro. Die Nationalflaggen bzw. die regionalen Embleme zeigen, wo die PTB ihre Projekte durchführt.

International affairs

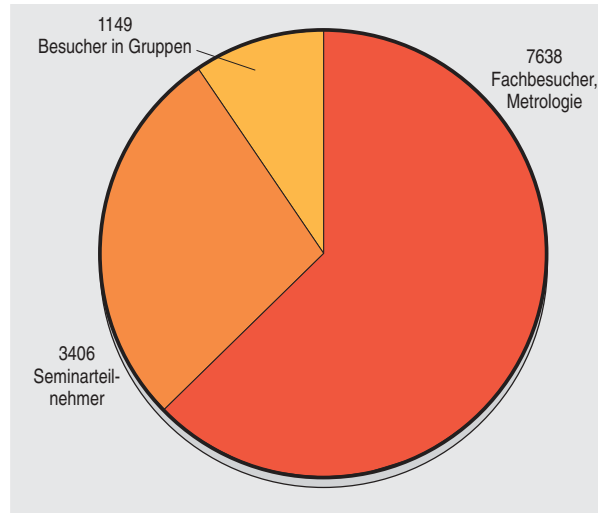
In the area of international affairs, Technical Cooperation with developing and newly industrialized countries is of great importance. The PTB offers its experience and lends active support for setting up conformity testing systems covering metrology, standardization, testing and quality assurance, accreditation and certification (MSTQ) as well as environmental protection. The funds are mainly made available by the *Federal Ministry for Economic Cooperation and Development* (BMZ) and by regional and international donors such as the EU and the World Bank. In the year under report, 16 countries in four continents were assisted within the scope of 22 projects in setting up a technical infrastructure from BMZ funds alone. The financial contribution of Germany amounted to more than to 4 million Euro. The ensigns or regional emblems show where PTB is implementing projects.

Gastwissenschaftler, Gäste und Besucher

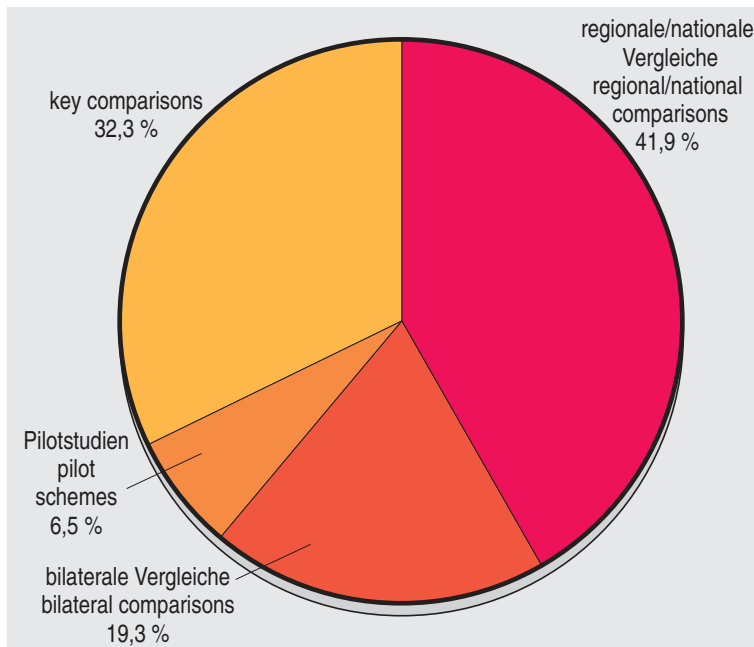
Im letzten Jahr kamen 12193 Besucher aus aller Welt in die PTB (Standort Braunschweig). Den größten Anteil bildeten die metrologischen Fachbesucher aus Wissenschaft und Wirtschaft (7638) sowie die Teilnehmer an unterschiedlichsten Seminaren, Tagungen und Kolloquien (3406). Auch der allgemeine Besucherdienst der PTB, im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit, fand wie gewohnt regen Zuspruch. 1149 Besucher (in 68 Gruppen) schauten den Wissenschaftlern in ihren Laboratorien über die Schultern. Die meisten dieser Besucher waren Schüler und Studenten.

Guest scientists, guests and visitors

Last year, 12193 people from all parts of the world visited PTB (Braunschweig site). Most of them were metrological professionals from science and economy (7638) as well as participants in the most diverse seminars, meetings and colloquia (3406). PTB's general visitor service within the scope of public relations work was also popular as usual. 1149 visitors (in 68 groups) observed the scientists work in their laboratories. Most of these visitors were pupils and students.



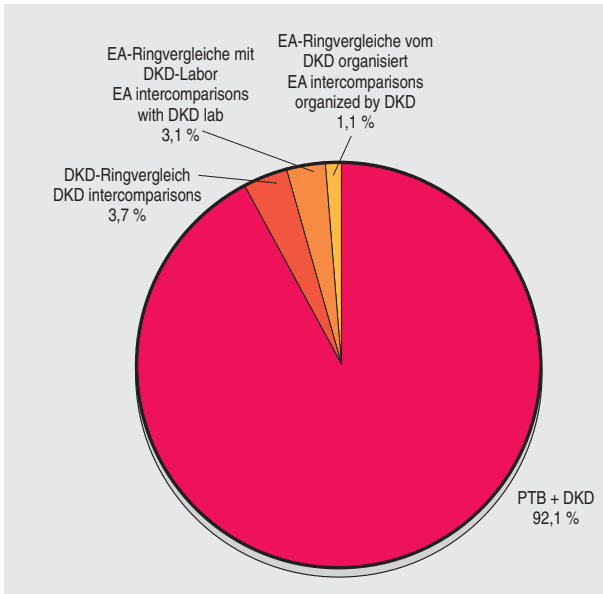
Internationale Vergleichsmessungen • International comparison measurements



In the year under review, the PTB participated in 62 comparison measurements, viz. 20 key comparisons, (organized by the Consultative Committees of the International Committee for Weights and Measures, CIPM), 15 regional/national comparisons, 10 bilateral comparisons and 4 pilot schemes.

Die PTB nahm im Berichtsjahr an 62 Vergleichsmessungen teil und zwar an 20 Schlüsselvergleichen (key comparisons, organisiert von den Beratenden Komitees des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht, CIPM), 26 regionalen/nationalen Vergleichen, 12 bilateralen Vergleichen und 4 Pilotstudien.

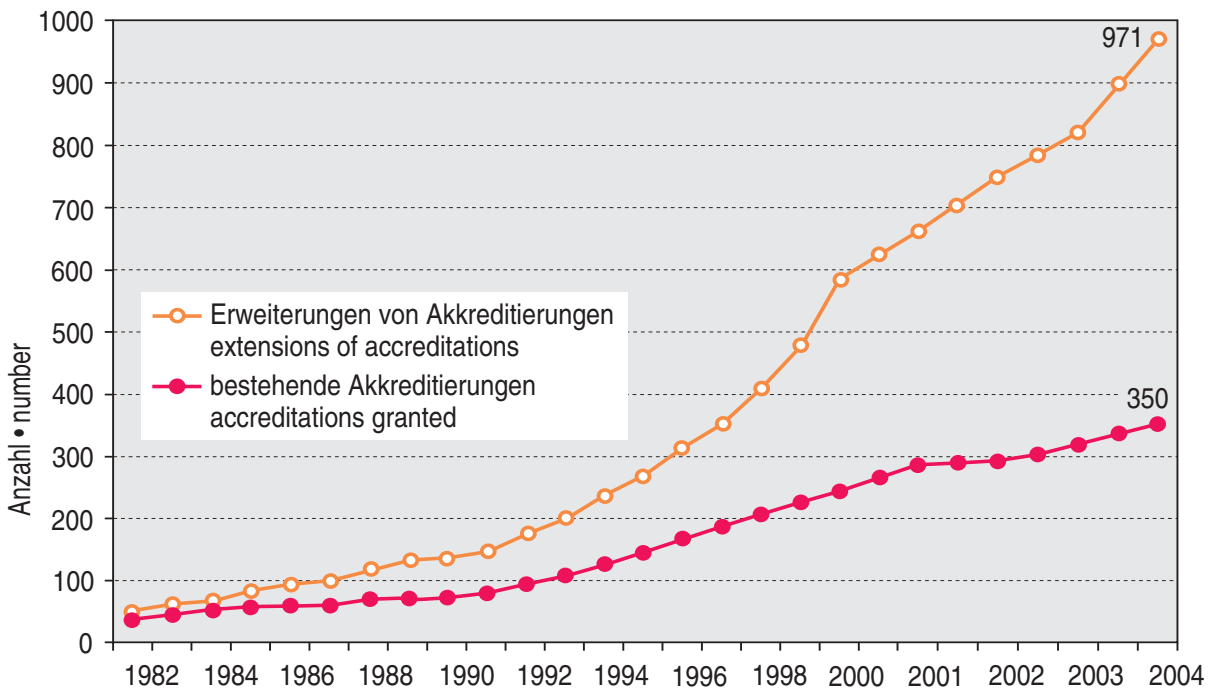
DKD-Vergleichsmessungen • DKD comparison measurements



Die im DKD akkreditierten Laboratorien (DKD-L) nahmen im Berichtsjahr an 190 Vergleichsmessungen teil. Den größten Anteil daran hatten 175 bilaterale Vergleichsmessungen zwischen der PTB und DKD-L, hinzu kommen sieben DKD-Ringvergleiche mit mehreren DKD-L und der PTB als Referenzlaboratorium sowie EA-Ringvergleiche, die entweder vom DKD organisiert sind (2) oder an denen DKD-L teilnehmen (6).

In the year under review, the accredited DKD laboratories (DKDL) participated in 190 comparison measurements, the largest portion (175) being bilateral comparison measurements between PTB and DKDL. Added to this were seven DKD intercomparisons involving several DKDL, with the PTB acting as the reference laboratory, as well as EA intercomparisons, either organized by DKD (2) or involving DKDL (6).

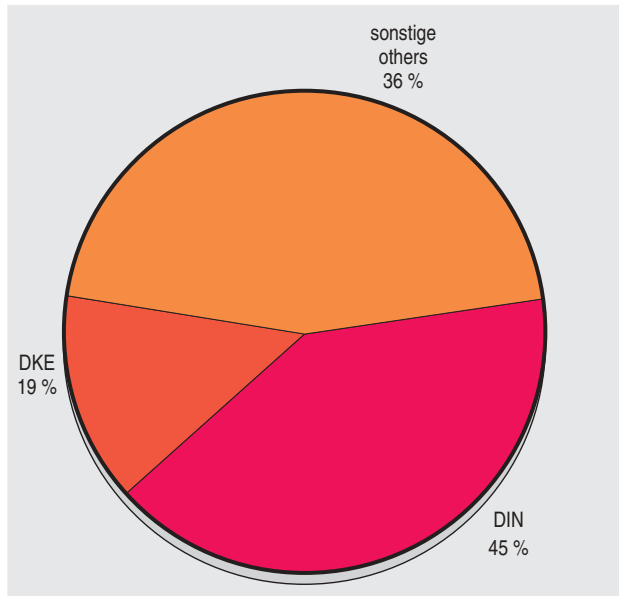
Deutscher Kalibrierdienst (DKD) • German Calibration Service (DKD)



Die Entwicklung des DKD und seine Akzeptanz bei den beteiligten Industriefirmen lässt sich nicht nur an der nach wie vor wachsenden Anzahl der akkreditierten Laboratorien ablesen, sondern auch an deren Erweiterungen. Die DKD-Laboratorien passen ihre Kalibriermöglichkeiten laufend den Erfordernissen des Marktes bzw. den gestiegenen Anforderungen an die Messgenauigkeit an. Die derzeitige Gesamtzahl akkreditierter DKD-Laboratorien resultiert aus 42 Akkreditierungen im Berichtsjahr, denen sechs Rücknahmen der Akkreditierungen, z. B. durch Firmenzusammenschlüsse, gegenüberstanden.

The development of DKD and the acceptance with which it is met by the industrial firms involved cannot only be seen from the increasing number of accredited laboratories but also from the extensions of these. The DKD laboratories constantly adapt their calibration capabilities to the requirements of the market and to the ever more exacting accuracy requirements. The total number of accredited DKD laboratories as it stands today is the result of 42 accreditations granted in the year under review and six cancellations due, for example, to the merger of firms.

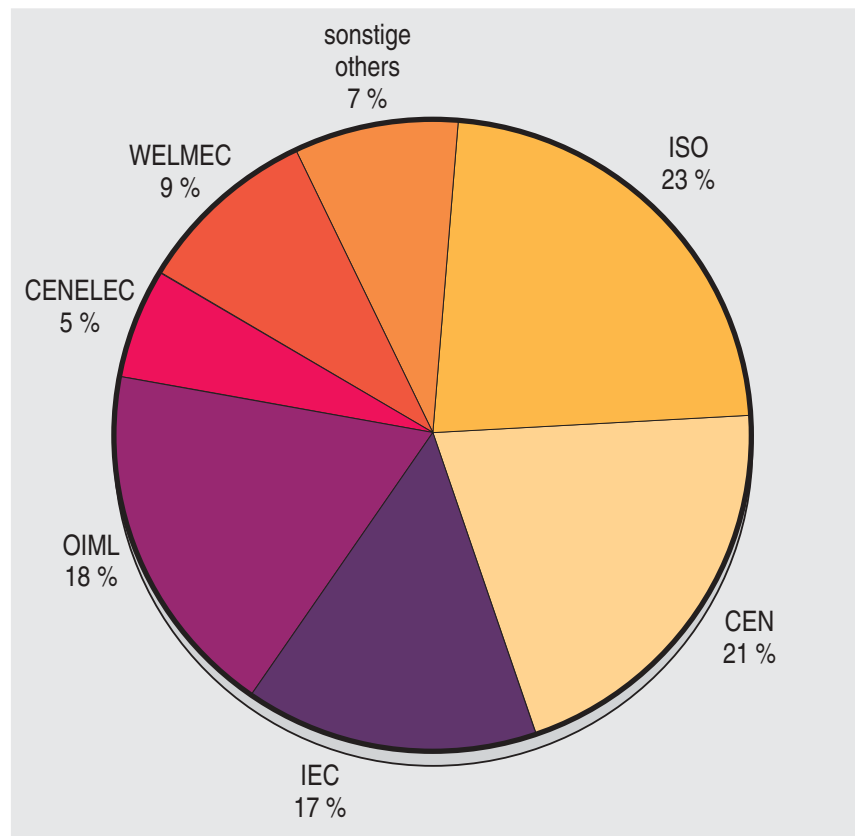
Nationales Messwesen: Gremienarbeit • Metrology on the national level: committee work



Prozentuale Verteilung der Gremienarbeit der PTB bei nationalen Normungsvorhaben. Innerhalb des *Deutschen Instituts für Normung e. V.* (DIN) war die PTB an 180 Normenvorhaben beteiligt, bei der *Deutschen Elektrotechnischen Kommission* (DKE) bei 77 Vorhaben.

Break-up of the PTB's committee work for national standardization projects (in percent). PTB cooperated in 180 projects of the *Deutsches Institut für Normung* (DIN) and in 77 projects of the *Deutsche Elektrotechnische Kommission* (DKE).

Internationales Messwesen: Gremienarbeit • Metrology on the international level: committee work



Prozentuale Verteilung der Gremienarbeit der PTB bei internationalen Normungsvorhaben. Insgesamt arbeitete die PTB im letzten Jahr bei 286 solcher Normungsvorhaben mit. ISO: Internationale Organisation für Standardisierung; CEN: Europäisches Komitee für Normung; IEC: Internationale Elektrotechnische Kommission; OIML: Internationale Organisation für das gesetzliche Messwesen; CENELEC: Europäisches Komitee für elektrotechnische Normung; WELMEC: European Cooperation in Legal Metrology.

Break-up of the PTB's committee work for international standardization projects (in percent). In the past year, the PTB cooperated in 286 standardization projects of this kind. ISO: International Organization for Standardization; CEN: European Committee for Standardization; IEC: International Electrotechnical Commission; OIML: International Organization of Legal Metrology; CENELEC: European Committee for Electrotechnical Standardization; WELMEC: European Cooperation in Legal Metrology.

PTB

Die Abteilungen

Alle Abteilungsleiterberichte finden sich sowohl auf Deutsch als auch auf Englisch im Web-Jahresbericht auf den Internetseiten der PTB (<http://www.ptb.de/>) unter der Rubrik „Publikationen“.

All reports of the heads of Divisions (in German and English) can be found in the Annual Report on the web on the PTB's Internet pages (<http://www.ptb.de/>) under "Publications".

**Mechanik
und
Akustik**



Berichte der Abteilungen

Abteilung



Mechanik u

Die Abteilung 1 *Mechanik und Akustik* besteht aus den sieben Fachbereichen

1.1 *Masse*, 1.2 *Festkörpermechanik*, 1.3 *Kinematik*, 1.4 *Gase*, 1.5 *Flüssigkeiten*, 1.6 *Schall* und 1.7 *Angewandte Akustik*.

Neben der SI-Basiseinheit für die Masse werden abgeleitete Einheiten für Kraft, Drehmoment, Beschleunigung, Durchfluss, Schalldruck und Schallleistung realisiert und zugehörige Grundlagenforschung durchgeführt. Eine wichtige Aufgabe ist die Weitergabe dieser Einheiten an Eichbehörden, Kalibrierlaboratorien (DKD), Industrie und Anwender aus den Bereichen Energie- und Wasserversorgung sowie Umweltschutz und Medizin. Weitere Dienstleistungen sind Geräteprüfungen im Rahmen des industriellen und gesetzlichen Messwesens sowie Beratung in allen Fragen der einschlägigen Messtechnik. Im Rahmen des Mutual Recognition Arrangement (MRA) von metrologischen Staatsinstituten, die der Meterkonvention angehören oder assoziiert sind, werden seit mehreren Jahren in verschiedenen Bereichen CIPM-Schlüsselvergleiche (Key Comparisons) oder regionale Schlüsselvergleiche durchgeführt. Nachfolgend werden wichtige Arbeiten sowie bedeutende Forschungsarbeiten und Entwicklungen aus der Abteilung vorgestellt.

1.1 Masse

Der Fachbereich *Masse* besteht aus den Arbeitsgruppen *Darstellung Masse*, *Waagen*, *Dynamisches Wägen*, *IT-Wägetechnik* und *Gravimetrie*.

Nach über 40-jährigem Einsatz konnte im Dezember 2003 die halbautomatisierte, gleicharmige 50-kg-Balkenwaage durch einen vollautomatisch arbeitenden, kommerziellen 64-kg-Massekomparator der neuesten Generation abgelöst werden (Bild 1). Dieser Komparator ist für die PTB insofern von besonderer Bedeutung, als mit ihm der Masseanschluss von hundert 50-kg-Hauptnormalen erfolgt, mit denen die Masseskala bis 5 t realisiert wird. Der neue Komparator bietet wesentliche Verbesserungen, wie z. B. eine automatische Wechseleinrichtung mit vier Positionen, die Möglichkeit zur Vertauschung der Positionen, eine Verringerung der Standardabweichung auf unter 0,4 mg und die Möglichkeit zur Wägung von größeren Messobjekten. So können auch Belastungskörper, die in Kraftnormalmeseinrichtungen zur Darstellung und Weitergabe der Kraftskala verwendet werden, bis zu einem Durchmesser von maximal 800 mm bestimmt werden.

Die internationale Vergleichsmessung (CIPM-Schlüsselvergleich) CCM.M-K3 für 50-kg-Normale wurde mit 14 Staatsinstituten durchgeführt. Pilotlabor war das BNM-LNE (Frankreich), unterstützt durch das NRC (Kanada) und die PTB. Die Differenzen zwischen den Ergebnissen der einzelnen Staatsinstitute und dem Referenzwert (Median) liegen für alle Teilnehmer innerhalb der angegebenen erweiterten Messunsicherheiten ($k = 2$). Das Ergebnis der PTB überdeckt den Referenzwert mit der unter allen Teilnehmern geringsten erweiterten Messunsicherheit von 3,3 mg.

Die gute und erfolgreiche Zusammenarbeit mit der stark exportorientierten deutschen Waagenindustrie konnte bei der Prüfung und Zertifizierung von Waagen fortgesetzt werden. Dies zeigte sich unter anderem in dem bisher einmaligen „Sponsoring“ eines PTB-Arbeitsplatzes im Fachbereich *Masse*, in weiterhin kurzen Bearbeitungszeiten bei Prüfungen und Zulassungen (wieder konnten 90 % aller Vorgänge innerhalb von drei Mona-

Titelbild
Logo des Harmonisierten Europäischen Erdgas-
kubikmeters

nd Akustik

ten abgeschlossen werden), bei der Anwendung der bilateralen Abkommen zur gegenseitigen Anerkennung von Prüfergebnissen mit Japan, China und Russland sowie der guten Zusammenarbeit in europäischen und internationalen Gremien wie WELMEC und OIML. Wesentliche Schwerpunkte der drei Arbeitsgruppen *Waagen*, *Dynamisches Wägen* und *IT-Wägetechnik* waren die Mitarbeit in den mittlerweile erfolgreich abgeschlossenen EU-GROWTH-Projekten „MID- Automatic Weighing Instruments“ (Leitung: NWML, Großbritannien) und „MID-Software“ (Leitung: PTB), die Arbeiten zur nationalen Umsetzung der 2004 verabschiedeten europäischen Messgeräte-richtlinie (MID) sowie die Arbeiten an der Revision der international sehr bedeutsamen OIML-Empfehlung R 76 für nichtselbsttätige Waagen. Hier wurde vom deutsch-französischen Kosekretariat ein erster Arbeitsentwurf an die Mitglieder der OIML-Arbeitsgruppe TC9/SC1 versandt und Zustimmung zu einigen wesentlichen Neuerungen bzw. Anpassungen an den technologischen Fortschritt erzielt, wie z. B. Softwareanforderungen, Regelungen für PCs als Auswertegeräte sowie Prüfung und Zertifizierung von Waagenfamilien.

Von der neuen Arbeitsgruppe *IT-Wägetechnik* konnte das erste Waagen-Kassen-System mit der Möglichkeit zum eichfähigen Software-Download nach den 2002 verabschiedeten, neuen europäischen WELMEC-Regelungen zertifiziert werden.

In der Arbeitsgruppe *Gravimetrie*, die sich mit der Nutzung von Gravitationsdaten und -modellen für fallbeschleunigungsabhängige Messungen (insbesondere Kraftmessungen und Wägungen) beschäftigt, konnte für ein ca. 8000 km² großes Testgebiet in Norddeutschland erstmals erfolgreich eine so genannte Anomalienkarte mit ausreichender Genauigkeit digitalisiert und somit zur einfachen und genauen Berechnung örtlicher Fallbeschleunigungen nutzbar gemacht werden.

1.2 Festkörpermechanik

Der Fachbereich *Festkörpermechanik* besteht aus den Arbeitsgruppen *Darstellung Kraft*, *Darstellung Drehmoment*, *Periodische Kräfte* und *Ionenakkumulation*.

In der Arbeitsgruppe *Darstellung Kraft* wird die Kraftskala von 1 N bis 16,5 MN dargestellt und durch die Kalibrierung von Kraftmessgeräten weitergegeben. Nachdem durch interne Vergleiche zwischen der neuen 2-MN-Kraft-Normalmesseinrichtung (2-MN-K-NME) und den anderen Kraft-Normalmesseinrichtungen der PTB die angegebene relative Messunsicherheit von $\leq 2 \cdot 10^{-5}$ bestätigt wurde, wird die 2-MN-K-NME seit 2004 wieder für Kalibrierungen und internationale Vergleichsmessungen eingesetzt. Erste bilaterale Vergleichsmessungen mit anderen Staatseinstituten bestätigen z. B. durch Einsatz der Mehrkomponentenkraftmesstechnik, dass die Krafteinleitungseffekte an der 2-MN-K-NME durch konstruktive Verbesserungen optimiert werden konnten. Um zukünftig auch im unteren Kraftbereich weiterhin relative Messunsicherheiten von $\leq 2 \cdot 10^{-5}$ zu gewährleisten, wurde eine neue 2-kN-K-NME aufgebaut, die im Gegensatz zur älteren Anlage den automatischen Betrieb ermöglicht und geringere Krafteinleitungseffekte zeigt.

In der Industrie sind ca. 32 Laboratorien für die Kalibrierung von Kraftmessgeräten und Werkstoffprüfmaschinen akkreditiert. Die meisten Laboratorien kommen aus den Bereichen der Material- und Werkstoffprüfung und insbesondere der Automobilindustrie. Die von diesen Laboratorien benötigten Kraftbereiche werden bisher durch die Kraftskala der PTB abgedeckt.

Mit der zunehmenden Miniaturisierung in der Mikromechanik steigt aber auch der Bedarf nach Rückführungen für Kräfte < 1 N. Auf Grund des Kraftvektors treten aber bei kleinen Kräften erhebliche Rotationseffekte

auf. Dies wurde experimentell in der auf einer Kompensationswaage basierenden Messeinrichtung im Bereich von 10 mN bis 10 N untersucht. Im Vergleich zu der direkten Massewirkung können deutlich höhere Rotations-effekte auftreten, die in der Auswertung entsprechend zu berücksichtigen sind.

In der Arbeitsgruppe *Periodische Kräfte* werden zur Untersuchung der dynamischen Eigenschaften von Kraftmessgeräten neue Messeinrichtungen mit größeren Kraftvektoren realisiert. Mit einem Schwingerregersystem wurden an Kraftsensoren erstmals Untersuchungen mit Kraftamplituden bis 10 kN durchgeführt. Durch den Einsatz von Laservibrometern können die Beschleunigungen an verschiedenen Positionen gemessen und daraus unter Berücksichtigung der Massenverteilung die wirksamen Kräfte berechnet werden.

Mit der 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung wurde der 1993 begonnene Aufbau des Laboratoriums *Darstellung Drehmoment* für die Darstellung der Größe Drehmoment nach zwölf Jahren erfolgreich abgeschlossen. Die nun in der PTB verfügbaren Messeinrichtungen überdecken neun Dekaden der Drehmomentskala und erfüllen weitgehend alle Kalibrieranforderungen aus Industrie und Forschung mit der jeweils erforderlichen Messunsicherheit. Weltweit waren bisher rückführbare Kalibrierungen bis 200 kN · m nur im LNE/Paris möglich.

Im Bereich oberhalb der mit Direktbelastung dargestellten Skala bis 20 kN · m können nun im Einsatz befindliche Messmittel im Messbereich bis 1100 kN · m mit einer Messunsicherheit von 0,1 % hinreichend genau kalibriert werden. Der zur Verfügung stehende Einbauraum der 1,1-MN · m-Dm-NME ermöglicht es außerdem, Messgeräte mit einem noch höheren Nennmoment in die Einrichtung zu adaptieren und diese im Teilbereich zu kalibrieren (derzeitig werden weltweit Aufnehmer bis 2,5 MN · m hergestellt). Erste Kalibrierungen bis 100 kN · m und nachfolgend bis 700 kN · m sowie Testergebnisse bis 1,1 MN · m bestätigten die Funktionsfähigkeit der Einrichtung und des gewählten Funktionsprinzips. Bereits Mitte des Jahres konnte für das Prüffeld von *Siemens Power*

Generation eine spezielle Messwelle kalibriert werden, die zur Leistungsmessung an Prototypen von schweren Kraftwerks-Gasturbinen zum Einsatz kommt (Bild 2).

Im März 2004 tagte die Arbeitsgruppe „Kraft des CCM“ in Pretoria. Dabei wurden Schlüsselvergleiche auf dem Gebiet der Drehmomentmessung vereinbart. Diese sollen im ersten Durchgang den Bereich von 1 kN · m und Messeinrichtungen mit direkter Massewirkung sowie den Bereich 20 kN · m umfassen. Die Messungen sind für 2005 geplant und die Arbeitsgruppe *Darstellung Drehmoment* der PTB wurde als Pilotlabor ausgewählt. Teilnehmer sind Japan, Spanien, Mexiko, Großbritannien, Frankreich, Finnland, China sowie Südkorea und eventuell die Schweiz.

Nach der Wiederinbetriebnahme der Ionenstrahlapparatur im Gauß-Bau (Bild 3) wurden in der Arbeitsgruppe *Ionenakkumulation* erstmals Wismut-Ionenstrahlen mit der neuen CHORDIS-Ionenquelle Ofen-Version erzeugt. Mit einem Ein-Loch-Extraktionssystem wurde ein Wismutionenstrom von 5 mA erzielt. Der Ofen konnte dabei fünf bis sechs Stunden im Dauerbetrieb eingesetzt werden. Ein Steerer zur Einstellung der Ionenstrahlage wurde direkt hinter der Ionenquelle installiert. Des Weiteren wurde eine Kühlfalle für den austretenden Wismutdampf entwickelt und erprobt, mit dem Ziel, unerwünschte Wismutniederschläge in der Strahlführung zu verhindern. Eine neue Druckmessung mit einem dynamischen Bereich von 10^{-9} bis 10^3 mbar wurde in Betrieb genommen. Eine berührungslose Ionen-Strommessung mit einem DC Current Transformer wurde implementiert. Zur Optimierung der Divergenz des Ionenstrahls wurde zusätzlich ein neuer wassergekühlter, verfahrbarer Faradaybecher in die Anlage integriert.

1.3 Kinematik

Der Fachbereich *Kinematik* besteht aus den Arbeitsgruppen *Darstellung Beschleunigung*, *Geschwindigkeitsmessgeräte*, *Dynamische Druckmessung*, *Stoßdynamik* und *Drehdynamik*.

Auf dem Gebiet der Beschleunigungsmessung wurde die Messung der Phasenverschiebung des komplexen Übertragungs-



Bild 1: Der neue 64-kg-Massekomparator



Bild 2: Siemens-Gasturbine, für die eine Messwelle mit der $1,1\text{-MN} \cdot \text{m}$ -Drehmoment-NME kalibriert wurde

Bild 3: Experiment Ionenakkumulation nach dem Umzug in den Gauß-Bau



koeffizienten von Beschleunigungsaufnehmernormalen und -normalmessketten als Schwerpunkt bearbeitet. Dazu wurden alle drei sich ergänzenden Versionen des „Sinusausgleichs-Verfahrens“, das die PTB in die internationale Norm ISO 16063-11 eingebracht hat, erprobt und optimiert:

- (1) Homodyn-Interferometer mit Ausgangssignalen in Quadratur
- (2) Heterodyn-Interferometer mit Ausgangssignalen in Quadratur
- (3) Heterodyn-Interferometer mit Zeitintervallanalysator.

Durch Kombination der drei Versionen konnte ein Frequenzbereich für Phasenmessungen von 0,1 Hz bis 20 kHz mit erweiterter Messunsicherheit von maximal $0,2^\circ$ bis $1,0^\circ$ erreicht werden. Um diese Messunsicherheit experimentell abzusichern, wurden Vergleichsmessungen (bis 10 kHz) mit dem nationalen Metrologie-Institut Südafrikas (CSIR-NML) durchgeführt. Ein repräsentatives Ergebnis dieses ersten internationalen Vergleichs für diese Kenngröße zeigt Bild 4, die Abweichungen der PTB-Ergebnisse von den zugehörigen Referenzwerten (gewichteter Mittelwert beider Laboratorien) sind in allen Fällen kleiner als $0,5^\circ$. Auch wird deutlich, dass Beschleunigungsaufnehmer bereits weit unterhalb ihrer Resonanzfrequenz (im Beispiel 40 kHz) signifikante Phasenverschiebungen aufweisen, die mit der üblichen Modell-Annahme eines Schwingungssystems zweiter Ordnung (3-Parameter-System) nur unzureichend beschrieben werden (siehe berechneter Verlauf).

Zukünftige Geschwindigkeitsmessgeräte für die Verkehrsüberwachung sollten mehrzweckfähig sein, um einen Einsatz auch in der für die Verkehrssicherheit besonders kritischen Situation mit dichtem Verkehr zu ermöglichen. Im Rahmen eines vom *Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit* (BMWA) geförderten Forschungsprojekts wurde in Kooperation mit den Firmen *Robot* aus Monheim und *s.m.s* aus Braunschweig gezeigt, dass dieses Ziel erreichbar ist mit Geräten, die auf der Basis moderner ACC-Radargeräte aus der Fahrzeugindustrie (ACC: automatic cruise control, typischerweise in 77-GHz- oder 24-GHz-Technik mit Pulsbetrieb und/oder Frequenzmodulation) entwickelt wurden.

Zur dynamischen Kalibrierung von piezoelektrischen Druckaufnehmern im Referenzverfahren, für die es Nachfrage im Kfz-Bereich und im Explosionsschutz nach so genannten kalten Gasdruckimpulsen bis zu einem Spitzenwert der Amplitude bis 200 bar und einer Impulsdauer von ca. 1 ms gibt, wurden erfolgreiche Vorversuche realisiert. Dabei wird ein mit einem O-Ring versehener Komprimierkolben aus Tombak in einem Primärlauf mit einer Kartuschenladung beschleunigt und so geführt, dass er beim Übergang in einen am Ende verschlossenen Sekundärlauf die Luft komprimiert (siehe Bilder 5 und 6). Die Druckentspannung erfolgt dann durch Zurückgleiten des Kolbens.

Im Rahmen der Entwicklung eines Detektors für schnelle, mikroskopisch kleine Weltraumpartikel wurden Schussversuche mit Stahlkugeln (Durchmesser von 0,5 mm) bei Geschwindigkeiten bis 2 km/s durchgeführt. Dabei konnte mit einer neuen Hochgeschwindigkeitskamera mit bis zu 50 000 Bildern/s das sehr kurzzeitige Aufblitzen der kleinen Stahlkugel dokumentiert werden. Auch die Richtung der Rückstreupartikel nach dem Aufschlag ließ sich dabei erfassen, was zur Realisierung eines Multidetektors für Weltraumpartikel (Space Debris) benötigt wird. Als eine Komponente dieses Detektors wird eine Einheit zur kalorimetrischen Messung der kinetischen Energie der Weltraumpartikel entwickelt. Dazu wurden verschiedene metallische Absorberstrukturen mit Massen bis in den Sub-Milligrammbereich mittels Erosionsverfahren und Galvanoformung hergestellt, Bild 7 zeigt zwei Beispiele. Experimente mit Absorbern auf Thermopile-Sensoren zeigten, dass ein derartig aufgebauter Detektor in der Lage ist, Energieeinträge von weniger als $0,5 \cdot 10^{-6}$ J zu detektieren. Dies entspricht beispielsweise der kinetischen Energie eines mit 10 km/s einschlagenden Partikels von 10^{-14} kg Masse (Partikelgröße etwa ein bis zwei Mikrometer). Diese Forschungsarbeiten wurden für das von der ESA geförderte Projekt „Assessment of In-situ Impact Detectors“ durchgeführt.

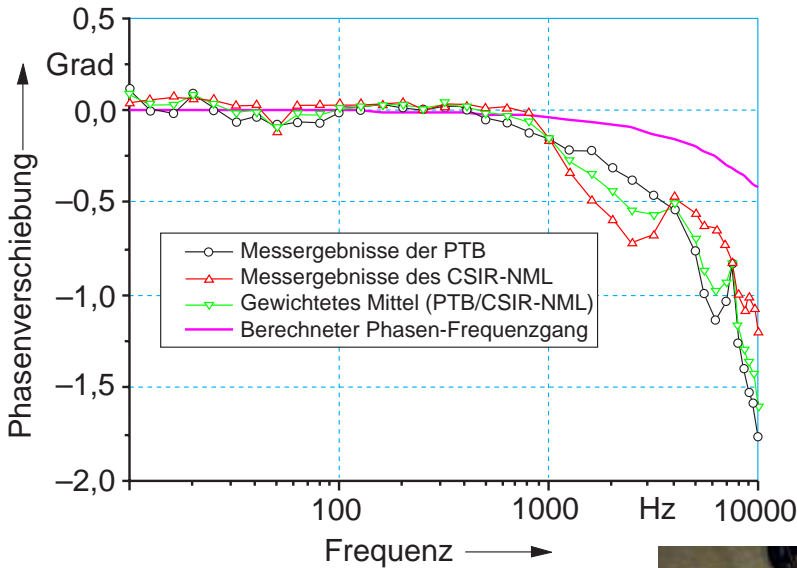


Bild 4: Ergebnisse von bilateralen Vergleichsmessungen der Phasenverschiebung eines Beschleunigungsaufnehmer-Bezugsnormal

Bild 5: Gasdruckmessapparatur mit Erzeugung von halbsinusförmigen Druckluftimpulsen

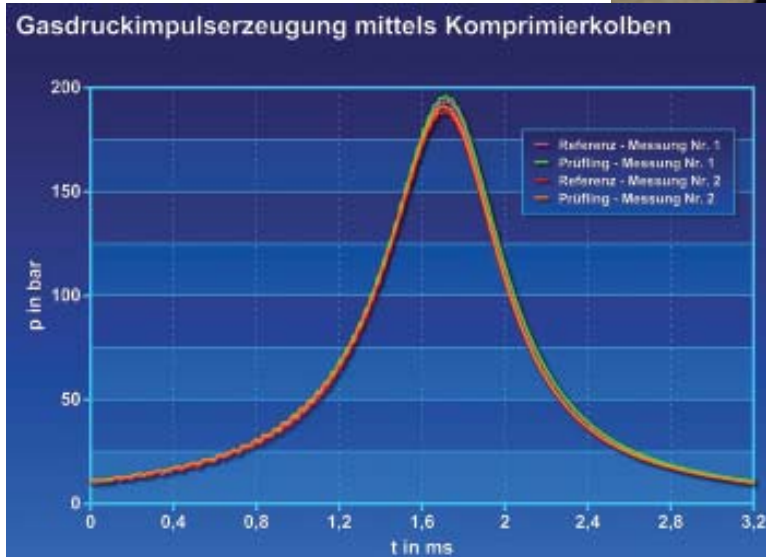
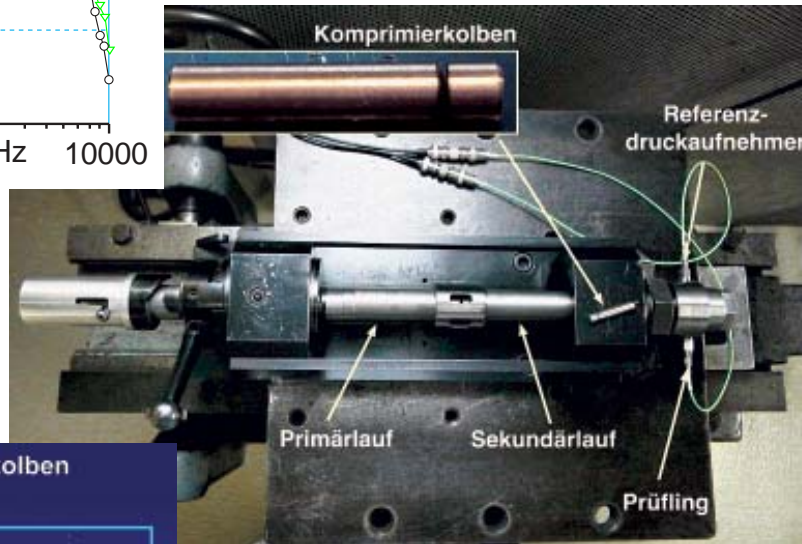
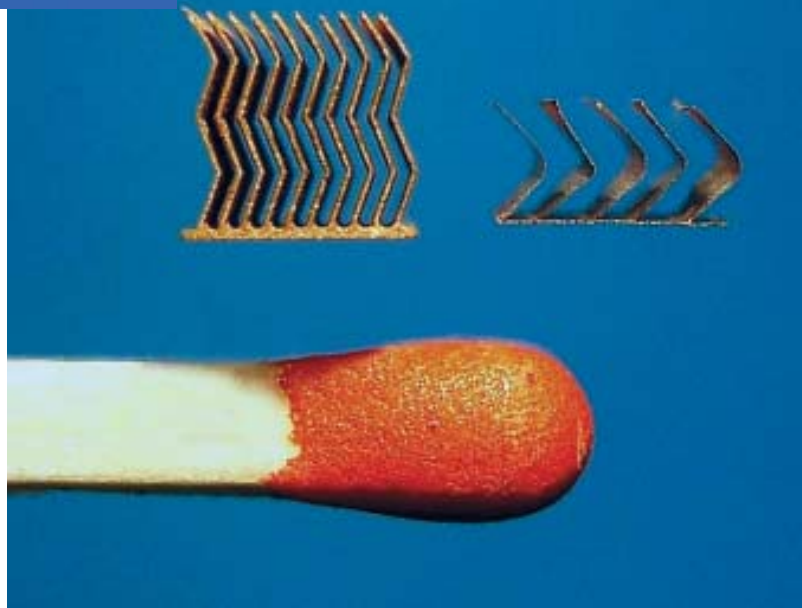


Bild 6: Verlauf der Druckluftimpulse bei zwei aufeinander folgenden Vergleichsmessungen

Bild 7: Metallische Absorberstrukturen zur Messung der kinetischen Energie schneller, mikroskopisch kleiner Weltraumpartikel (im Größenvergleich mit einem Streichholz)



1.4 Gase

Der Fachbereich *Gase* besteht aus den Arbeitsgruppen *Strömungsmesstechnik*, *Gasmessgeräte* und *Pigsar*.

Im Fachbereich *Gase* gab es 2004 einige wesentliche Aktivitäten zu verzeichnen, die insbesondere für den Bereich Darstellung und Weitergabe der Einheit für Hochdruck-Erdgas Weichenstellungen für die nächsten Jahre bedeuten. Hier sind vor allem die Arbeiten zur Sicherstellung der messtechnischen Basis (Rohrprüfstrecke) und zum neuen optischen Normal auf dem Hochdruckprüfstand PIGSAR sowie die Forschungen an kritischen Düsen als Transfernormale herauszuheben.

Nachdem im vergangenen Jahr in dem Erweiterungsbau des Hochdruckprüfstands PIGSAR die Rohrprüfstrecke als bereits bestehende Primärrealisierung des Kubikmeters integriert und die technische Infrastruktur für ein neues optisches Primärnormal als LDA-Basis (Laser-Doppler-Anemometer) geschaffen wurde, sind diese Anlagen dieses Jahr in den Praxistest überführt worden.

Mit der Rohrprüfstrecke konnte auch in der neuen Umgebung die Rekalibrierung des Prüfstands PIGSAR erfolgreich und im Vergleich zu früheren Rekalibrierungen mit erheblich reduziertem zeitlichen Aufwand und Stillstandzeiten für den Prüfstand durchgeführt werden. Darüber hinaus ist die Verwendbarkeit des Primärnormals auf Grund eines optimierten gasdynamischen Verhaltens der Anlage im unteren Durchflussbereich deutlich verbessert und erweitert worden. In Kombination mit kritischen Düsen als Durchflussgeber wurden dabei systematische Effekte erkannt und korrigiert.

Das optische Normal konnte den Testbetrieb aufnehmen. Die LDA-Profilmessung wurde in Prototypform angewendet und damit die prinzipielle Funktionsfähigkeit der Anlage nachgewiesen. Erste Ergebnisse in Form von Strömungsprofilen wurden auf nationalen und internationalen Konferenzen vorgestellt.

Im Bereich des Einheitentransfers ist besonders an der Thematik „kritische Düsen“ gearbeitet worden. Durch eine Vielzahl von Untersuchungen sowohl messtechnischer als

auch theoretischer Art sowie Einbeziehung von numerischer Strömungssimulation in Kooperation mit Industrie und Universitäten konnten die Grundlagen für die Verwendung von kritischen Düsen zum Einheitentransfer über größere Druckbereiche und für verschiedene Gasarten neu definiert werden. Diese Arbeiten sind noch nicht abgeschlossen und lassen für das kommende Jahr weitere Fortschritte erhoffen.

Alle diese Arbeiten haben insbesondere dadurch ein besonderes Gewicht, dass am 4. Mai auch Frankreich dem bereits bestehenden Vertrag zwischen PTB und NMi (Niederlande) zur Bildung eines harmonisierten Kubikmeters für den Bereich Hochdruck-Erdgas beigetreten ist. Die oben genannten Aktivitäten sind die Grundlage für eine starke Position der PTB innerhalb dieses Abkommens. Der ökonomisch sehr wichtige und sensible Bereich der Einheitendarstellung und -weitergabe im Bereich Hochdruck-Erdgas wird damit in Zukunft noch besser abgesichert.

1.5 Flüssigkeiten

Der Fachbereich *Flüssigkeiten* besteht aus den Arbeitsgruppen *Flüssigkeitsmessgeräte*, *Hydrodynamisches Prüffeld* und *Transfernormale*.

In der Arbeitsgruppe *Flüssigkeitsmessgeräte* werden Bauartzulassungen im Rahmen des Eichgesetzes bearbeitet. Im Hinblick auf die im Frühjahr 2004 in Kraft getretene neue Europäische Messgerichtlinie MID waren gemeinsam mit den zuständigen Arbeitsausschüssen der Vollversammlung drei Anlagen zur Eichordnung komplett zu überarbeiten und anzupassen. Ebenso wurden in der neu gebildeten WELMEC-Arbeitsgruppe 11 „Utility meter“ große Anstrengungen unternommen, um im Interesse der deutschen Messgerätehersteller eine europaweit einheitliche Interpretation der konkreten messtechnischen Anforderungen aus der MID zu erreichen.

Ein wichtiger Schritt in der Arbeitsgruppe *Hydrodynamisches Prüffeld* war die Durchführung eines CIPM-Schlüsselvergleichs auf dem Gebiet der Mengen- und Durchflussmessung von Wasser im Bereich bis $165 \text{ m}^3/\text{h}$, an dem neben der PTB auch die metrologischen

Staatsinstitute von Korea (Pilotlabor), Mexiko, Japan und Großbritannien teilnahmen. Obwohl die endgültige Auswertung dieser Vergleichsmessungen erst 2005 zu erwarten ist, haben die in der PTB erzielten Messergebnisse gezeigt, dass das Hydrodynamische Prüffeld über eine ausgezeichnete Stabilität seiner messtechnischen Parameter verfügt. Das verwendete Transfornormal-Paket, bestehend aus je einem Turbinen-, Coriolis- und Ultraschall-Durchflussmessgerät sowie definierten Gleichrichtern und Zwischenrohren, stellt die beste derzeit verfügbare Vergleichsnorm-Messtechnik auf diesem Gebiet dar. Selbst mit dieser Spitzentechnik war es nicht möglich, signifikante Streuungen oder Abweichungen des PTB-Prüfstands festzustellen.

Ergänzend zum Hydrodynamischen Prüffeld steht jetzt für kleinere Durchflüsse auch der so genannte Experimentier- und Wasserzählerprüfstand zur Verfügung. Der Durchflussbereich erstreckt sich von $0,02 \text{ m}^3/\text{h}$ bis $35 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer erweiterten Messunsicherheit von $0,05 \%$. Im Rahmen neuer Testverfahren für Wasserzähler im Einbauzustand und der Entwicklung entsprechender Transfernormale arbeiten PTB und Eichbehörden in einem gemeinsamen Forschungsvorhaben zusammen, wobei der neue Prüfstand seine Eignung in einem entsprechenden Ringversuch mit allen Beteiligten eindeutig unter Beweis gestellt hat.

Auch der Pipetten-Prüfstand für kleine statische Volumina zwischen einem Liter und 100 Litern war 2004 an zwei internationalen Vergleichen beteiligt. Der CIPM-Schlüsselvergleich CCM.FF-K4 wurde mit drei Edelstahl-Pipetten (Fassungsvermögen jeweils 20 Liter) durchgeführt. Für das EUROMET-Projekt 691 wurde ein 5-Liter-Eichkolben aus Glas in insgesamt 18 Ländern untersucht. Festgestellt werden konnten überdurchschnittlich gute Reproduzierbarkeiten der Messergebnisse, in der PTB mit Standardabweichungen deutlich unter $1 \cdot 10^{-5}$, was etwa nur ein Drittel der von den anderen Staatsinstituten erreichten Werte ist.

1.6 Schall

Der Fachbereich *Schall* besteht aus den Arbeitsgruppen *Darstellung Schalleinheit*, *Ultraschall und Medizin* und der Arbeitsgruppe *Schallfelder*.

Das Aufgabenspektrum des Fachbereichs erstreckt sich von der Darstellung und Weitergabe der Einheit des Schalldrucks und der Schallleistung über Prüfungen, Kalibrierungen und Zulassungen bis hin zu Forschungsaufgaben mit medizinischen und sicherheitsrelevanten Zielsetzungen. Arbeitsschwerpunkte sind zurzeit die Diagnostizierung von Hörschäden bei Neugeborenen mit Hilfe der Hirnstamm-Audiometrie, die Schallintensitätsmessung an Sonographiegeräten mit thermoakustischen Sensoren und die Simulation nichtlinearer Schallfelder.

Wenn bei einem Neugeborenen mit Hilfe der Hirnstamm-Audiometrie und von Rechteckimpulsen ein Hörschaden diagnostiziert wurde, muss möglichst bald danach eine eingehendere Gehöruntersuchung mit Tonimpulsen durchgeführt werden. Nur mit Hilfe dieser länger dauernden Untersuchung kann dann entschieden werden, ob eventuell das Hören des Kleinkinds mit Hilfe eines Hörgerätes verbessert werden kann und auch sollte. Im Rahmen der Untersuchungen der Arbeitsgruppe *Darstellung Schalleinheit* wurden die Bezugshörschwellen für diese Tonimpulse für zwei Kopfhörer bestimmt und der internationalen Normungsorganisation ISO zur Einarbeitung in eine zurzeit entstehende Norm zugesandt.

Die Messung der Schallabgabe von diagnostischen Ultraschallgeräten ist im Hinblick auf die Patientensicherheit von großer Bedeutung. Üblicherweise werden die Schallfeldcharakterisierung mit Hilfe von Hydrophonomessungen im Rasterverfahren und die Bestimmung der insgesamt ausgesendeten Schallleistung mit Hilfe der Schallstrahlungskraftmessung durchgeführt. Die Bestimmung der örtlichen, zeitlich gemittelten Ultraschallintensität – eine Größe, die vor allem zur Abschätzung des thermischen Gefährdungspotentials benötigt wird – erfordert insbesondere bei den kombinierten Bildgebungsmodi moderner Sonographiegeräte mit sehr komplizierten Impulssendefolgen einen hohen technischen Aufwand bei der Hydrophonmessung.

Thermoakustische Sensoren stellen hier eine deutlich weniger aufwendige Alternative zur Intensitätsbestimmung dar. Aufgrund des thermischen Messprinzips führen die Senso-

ren inhärent eine zeitliche Mittelung über alle einfallenden Schallereignisse durch, ohne dass eine Synchronisation auf einzelne Impulse notwendig wäre. Das in der Arbeitsgruppe *Ultraschall und Medizin* entwickelte thermoakustische Messverfahren wurde erstmalig für die Exposimetrie an Sonographiegeräten eingesetzt. Die Intensitätsmessungen haben die vorteilhafte Einsetzbarkeit des Verfahrens belegt und der Vergleich mit den Ergebnissen aus Hydrophonmessungen zeigt eine gute Übereinstimmung.

Numerische Verfahren gewinnen in der Akustik zunehmend an Bedeutung. Sie werden zum einen zur Simulation der Schallausbreitung und zum anderen zur Berechnung von Schallfeldern auf der Basis experimenteller Daten eingesetzt. Aktuell ist die Arbeitsgruppe *Schallfelder* mit der Entwicklung geeigneter Verfahren zur Simulation nichtlinearer Schallfelder befasst. Bild 8 zeigt typische Schallfelder eines fokussierenden Wandlers für die Anregungsfrequenz und für die beiden ersten durch die nichtlineare Schallausbreitung entstehenden Harmonischen. Derartige Nichtlinearitäten treten z. B. in den Schallfeldern medizinischer Diagnosegeräte auf. Die Simulationen sollen zur Optimierung eines in der PTB entwickelten Impuls-Kalibrierverfahrens für Hydrophone eingesetzt werden.

1.7 Angewandte Akustik

Der Fachbereich *Angewandte Akustik* besteht aus den Arbeitsgruppen *Bauakustik*, *Geräuschesstechnik*, *Raumakustik* und *Wärmeleitung*.

Nachdem mit Hilfe der Modellmesstechnik die Auswirkung von Luftdruck- und Temperaturschwankungen auf die Schalldämmung quantifiziert werden konnte, werden im Fachbereich nun auch weitere grundlegende bauakustische Phänomene anhand von verkleinerten Prüfstandsmodellen untersucht (siehe Bild 9). Im Mittelpunkt stehen dabei

Dämpfungseinflüsse sowie Möglichkeiten und Grenzen der messtechnischen Bestimmung der Längsdämmung. Für diese Aktivitäten stehen seit letztem Jahr auch wesentlich verbesserte Messmöglichkeiten in Form eines vielkanaligen akustischen Mess- und Analyzesystems zur Verfügung. Darüber hinaus wurde im vergangenen Jahr vom *Bundesverband deutscher Fertigungsbau* (BDF e. V.) ein Prüfstand zur Messung der von sanitären Anlagen verursachten Geräusche in der PTB erbaut (siehe Bild 10). Er ist in Leichtbauweise errichtet und wird in Zukunft dazu verwendet, die Anregung, Weiterleitung und Abstrahlung von Sanitärgeräuschen eingehend zu untersuchen.

Im Fachbereich *Angewandte Akustik* wurde weiterhin ein neuer automatisierter Messplatz entwickelt, mit dem schon jetzt Schallpegelmessers entsprechend den neuen Normen DIN EN 60651 und DIN EN 61672-2 akustisch überprüft werden können. Im Rahmen dieser akustischen Tests werden die Frequenzbewertung sowie die Richtcharakteristik von Schallpegelmessern im Freifeldraum bestimmt. Mit dem neuen Messplatz verfügt die PTB für die akustischen Prüfungen von Schallpegelmessern und Mikrofonen im Freifeldraum über einen Messplatz mit kurzen Prüfzeiten, der zugleich höchste messtechnische Anforderungen erfüllt.

Im Rahmen der Analyse akustischer Schallfelder wurde die Modalanalyse eingesetzt, um das Schallfeld vor dem Prüfling in bauakustischen Wandprüfständen messtechnisch zu erfassen. Dies dient der Untersuchung von Fehlereinflüssen bei der Messung der Schalldämmung von Bauteilen. Die ermittelten stehenden Wellen (Resonanzen), die eine sehr ungleichmäßige Schallbeaufschlagung der Prüfwand verursachen, konnten eindeutig der Raumgeometrie zugeordnet werden. Dies wurde auch mittels eines rechnerischen Simulationsprogramms nachgewiesen.

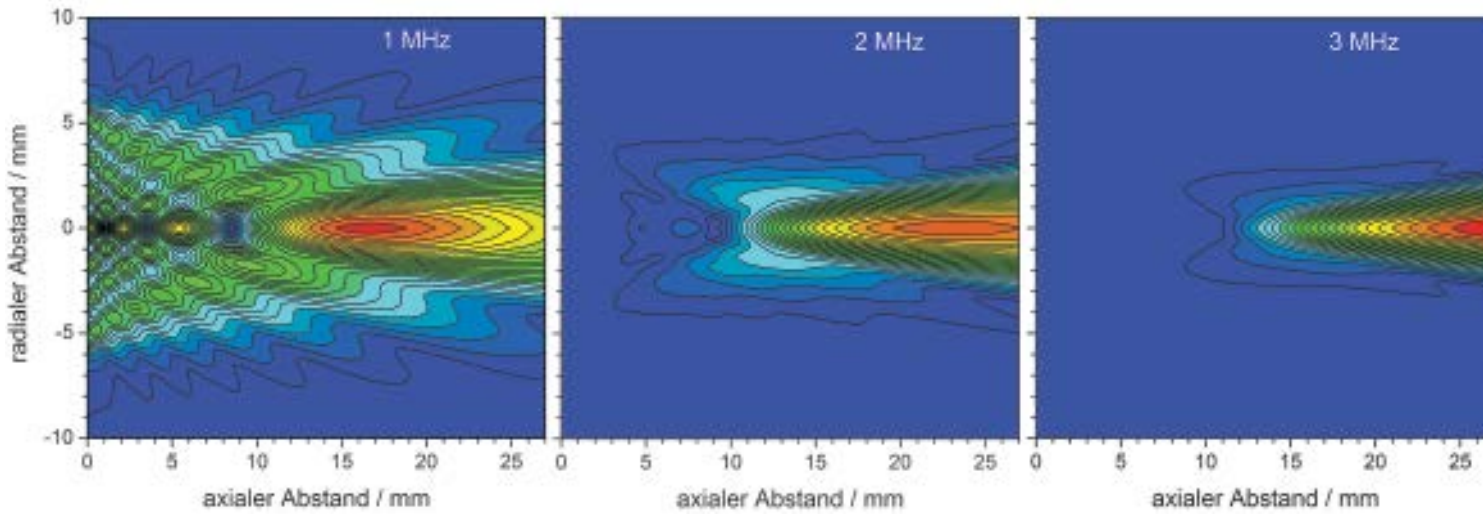


Bild 8: Axiale Längsschnitte des Druckes im Schallfeld eines fokussierenden Wandlers bei nichtlinearer Ausbreitung in Wasser (Wanderradius: 6 mm; Well-

lenlänge der Anregungsfrequenz: 1,5 mm) für: a) Anregungsfrequenz 1 MHz; b) 1. Harmonische 2 MHz; c) 2. Harmonische 3 MHz



Bild 9: Im Maßstab 1:10 verkleinerter bauakustischer Wandprüfstand aus Acrylglas

Bild 10: Leichtbau-Prüfstand zur Bestimmung der von sanitären Anlagen verursachten Geräusche

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Generationswechsel im Bereich der 50-kg-Massekomparatoren

Nach über 40-jährigem Einsatz wird die für den Aufbau der Masseskala und die Weitergabe der Masseneinheit wichtige 50-kg-Balkenwaage der PTB durch einen modernen, vollautomatischen 64-kg-Massekomparator der neuesten Generation abgelöst.

(M. Borys, AG 1.11, michael.borys@ptb.de)

Erzeugung von 5-mA-DC-Wismutstrom

Mit der Erzeugung von 5-mA-DC-Wismutstrom aus der CHORDIS-Ionenquelle ist eine wesentliche Voraussetzung für die Machbarkeit des Experiments Ionenakkumulation sichergestellt. Der Ofenbetrieb an der Ionenquelle konnte bereits über 5 bis 6 Stunden aufrecht erhalten werden. (C. Schlegel, AG 1.24, christian.schlegel@ptb.de)

Neue Messeinrichtung für periodische Kräfte

Es wurde eine neue Messeinrichtung für periodische Kräfte bis 10 kN aufgebaut und erprobt. Die Anlage besteht aus einem Schwingerregersystem mit einem maximalen Sinuskraftvektor von 17,8 kN. Die wirksamen Kräfte werden aus der wirksamen Masse und ihrer Beschleunigung ermittelt, die mittels Beschleunigungsaufnehmer oder noch exakter direkt mit Laservibrometern und zugehöriger Auswertetechniken gemessen werden. (R. Kumme, AG 1.23, rolf.kumme@ptb.de)

Erfolgreiche erste Testphase des optischen Normals für Hochdruck-Erdgas

Mit der ersten Testphase des optischen Normals für Hochdruck-Erdgas wurden die Grundlagen für die Verwendung kritischer Düsen als Transfornormale über große Druckbereiche und verschiedene Gase entscheidend verbessert.

(H. Müller, AG 1.41, harald.mueller@ptb.de)

Erste internationale Bewährungsprobe für das Hydrodynamische Prüffeld

Die im Rahmen des CCM-FF-K1-Vergleichs gewonnenen Messergebnisse waren gleichzei-

tig auch Grundlage für den Nachweis und die internationale Akzeptanz der ausgezeichneten Reproduzierbarkeit der mit dem Hydrodynamischen Prüffeld realisierten messtechnischen Parameter.

(R. Engel, AG 1.52, rainer.engel@ptb.de)

Schallfeld vor einem Prüfling im bauakustischen Wandprüfstand

Die Schallverteilung vor der Wand wurde mittels Modalanalyse bestimmt und aus dem Ergebnis die reale Beaufschlagung des Prüflings ermittelt. So können gravierende Fehler bei der Bestimmung des Schalldämmmaßes von Raumtrennwänden durch stehende Wellen im Prüfstand vermieden werden.

(K. Wogram, AG 1.73, klaus.wogram@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Inbetriebnahme der 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung

Mit der Inbetriebnahme der 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung stehen in der PTB Messeinrichtungen über neun Dekaden zur Verfügung, die weitgehend alle Anforderungen aus Industrie und Forschung mit der erforderlichen Messunsicherheit abdecken können. Weltweit waren bisher rückführbare Kalibrierungen nur bis 200 kN · m im LNE/Paris möglich.

(D. Peschel, AG 1.22, diedert.peschel@ptb.de)

Messung der Momentangeschwindigkeit bei der Kraftstoß-Normal-Messeinrichtung

Zur hochpräzisen, berührungslosen Messung der Momentangeschwindigkeit der Stoßkörper an der Kraftstoß-Normal-Messeinrichtung der PTB mit einem Heterodyn-Interferometer wird neuerdings ein auf den Körper geklebtes Si-Reflexionsgitter als Retroreflektor eingesetzt. Es eliminiert das sonst stets vorhandene Specklerauschen auf dem Photodetektor. Zur Geschwindigkeitsermittlung muss dann dessen frequenzmoduliertes Signal digital demoduliert werden. Dafür wurden nun verschiedene Verfahren auf ihr spezifisches Verhalten hin untersucht.

(Th. Bruns, AG 1.34, thomas.bruns@ptb.de)

Rekalibrierung des Hochdruck-Prüfstandes PIGSAR

Die turnusgemäße Rekalibrierung des Hochdruck-Prüfstandes PIGSAR wurde erfolgreich und mit erheblich reduzierten Stillstandszeiten sowie gesteigerter Qualität durchgeführt.

(B. Mickan, AG 1.42, bodo.mickan@ptb.de)

Kurzprüfverfahren für das Trittschallverbesserungsmaß

Die derzeit sehr aufwendige Bestimmung des Trittschallverbesserungsmaßes von Fußbodenbelägen kann in Zukunft durch Anwendung eines Kurzprüfverfahrens wesentlich vereinfacht werden. (V. Wittstock, AG 1.71, volker.wittstock@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Software-Download in ein eichfähiges Waagen-Kassen-System mit Standard-PC-Hardware

Nach Verabschiedung einer entsprechenden WELMEC-Regelung im Jahr 2002 wurde jetzt das erste Waagen-Kassen-System mit der Möglichkeit zum eichfähigen Software-Download zugelassen.

(M. Link, AG 1.14, marcus.link@ptb.de)

PTB-Anforderungen für Lasergeschwindigkeitsmessgeräte

Um der PTB und den Herstellern von Lasergeschwindigkeitsmessgeräten, Videonachfahrsystemen und Video-Uhren eine transparente Basis für die Zulassungspraxis zu liefern, wurden umfassende PTB-Anforderungen entsprechend dem Stand der Technik erstellt.

(F. Jäger, AG 1.32, frank.jaeger@ptb.de).

Neuzulassungen von Abschussbechern für pyrotechnische Munition

Seit Inkrafttreten des neuen Beschussgesetzes müssen Abschussbecher für pyrotechnische Munition als Zusatzgeräte von Signalwaffen von der PTB zugelassen werden. Da dies sogar für den Altbestand gilt, war eine Vielzahl von Prüfungen des Gasdrucks und der Geschwindigkeit mit Simulationskörpern durchzuführen.

(E. Franke, AG 1.33, ernst.franke@ptb.de).

Neuer Experimentier- und Wasserzählerprüfstand in Betrieb genommen

Mit der Fertigstellung des so genannten „kleinen“ Wasserzählerprüfstands steht der PTB nun erstmals auch eine leistungsfähige und vielseitig verwendbare Messeinrichtung für den Wohnungs- und Hauswasserzählerbereich zur Verfügung, die sich bereits im Rahmen eines nationalen Ringversuchs erfolgreich beweisen konnte. (G. Wendt, FB 1.5, gudrun.wendt@ptb.de)

Differenzierung von Hörschäden bei Neugeborenen

Die für die Differenzierung von Hörschäden bei Neugeborenen benötigten Bezugs-Hörschwellen von Tonimpulsen wurden aus den Bezugs-Hörschwellen der konventionellen Reinton-Audiometrie hergeleitet.

(U. Richter, AG 1.61, utz.richter@ptb.de)

Untersuchungen zur Eignung von elektrostatischen Anrege-Elektroden für die Kalibrierung von Mikrofonen im Ultraschallbereich

Die Weitergabe der Schalldruckeinheit für Luft-Ultraschall mittels elektrostatischer Anrege-Elektroden ist im Frequenzbereich von 100 Hz bis 160 kHz mit hinreichender Genauigkeit möglich und realisiert worden.

(T. Fedtke, AG 1.61, thomas.fedtke@ptb.de)

Schallintensitätsmessung an Sonographiegeräten mit thermoakustischen Sensoren

Kalibrierte thermoakustische Sensoren können erstmalig zur Ultraschallintensitätsmessung an Sonographiegeräten eingesetzt werden und erlauben eine deutliche Vereinfachung der Exposimetrie vor allem bei komplizierten Impulsendefolgen.

(V. Wilkens, 1.62, volker.wilkens@ptb.de)

Eine Kamera für Ultraschall

Ein in der PTB entwickeltes optisches Verfahren ermöglicht räumlich-zweidimensionale Messung von Ultraschallfeldern „in Echtzeit“

(Ch. Koch, AG 1.62, christian.koch@ptb.de)

Statistisch abgesicherte Kriterien für die Anerkennung bauakustischer Prüfstellen und Messergebnisse

Die verschiedenen in der Bauakustik auftretenden Unsicherheiten sowie die daraus resultierenden Konsequenzen für die Anerkennung von Prüfstellen und Messergebnissen wurden in einem durch das *Deutsche Institut für Bautechnik* finanzierten und in der PTB durchgeführten Projekt umfassend untersucht. (V. Wittstock, AG 1.71, volker.wittstock@ptb.de)

Akustische Prüfungen von Schallpegelmessern gemäß der Norm DIN EN 61672-2

Noch bevor die entsprechende Norm herausgegeben worden ist, verfügt die PTB jetzt über einen automatisierten Messplatz zur akustischen Prüfung von Schallpegelmessern und Mikrofonen im Freifeldraum, der höchste messtechnische Anforderungen erfüllt. (D. Ratschko, AG 1.72, dirk.ratschko@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

CCM key comparison CCM.M-K3 (Masse 50 kg)

Die internationalen Vergleichsmessungen zur Massebestimmung von 50-kg-Normalen mit Beteiligung von 14 Staatsinstituten wurden erfolgreich abgeschlossen. (M. Borys, AG 1.11, michael.borys@ptb.de)

Abkommen zur Schaffung eines harmonisierten Kubikmeters für Hochdruck-Erdgas.

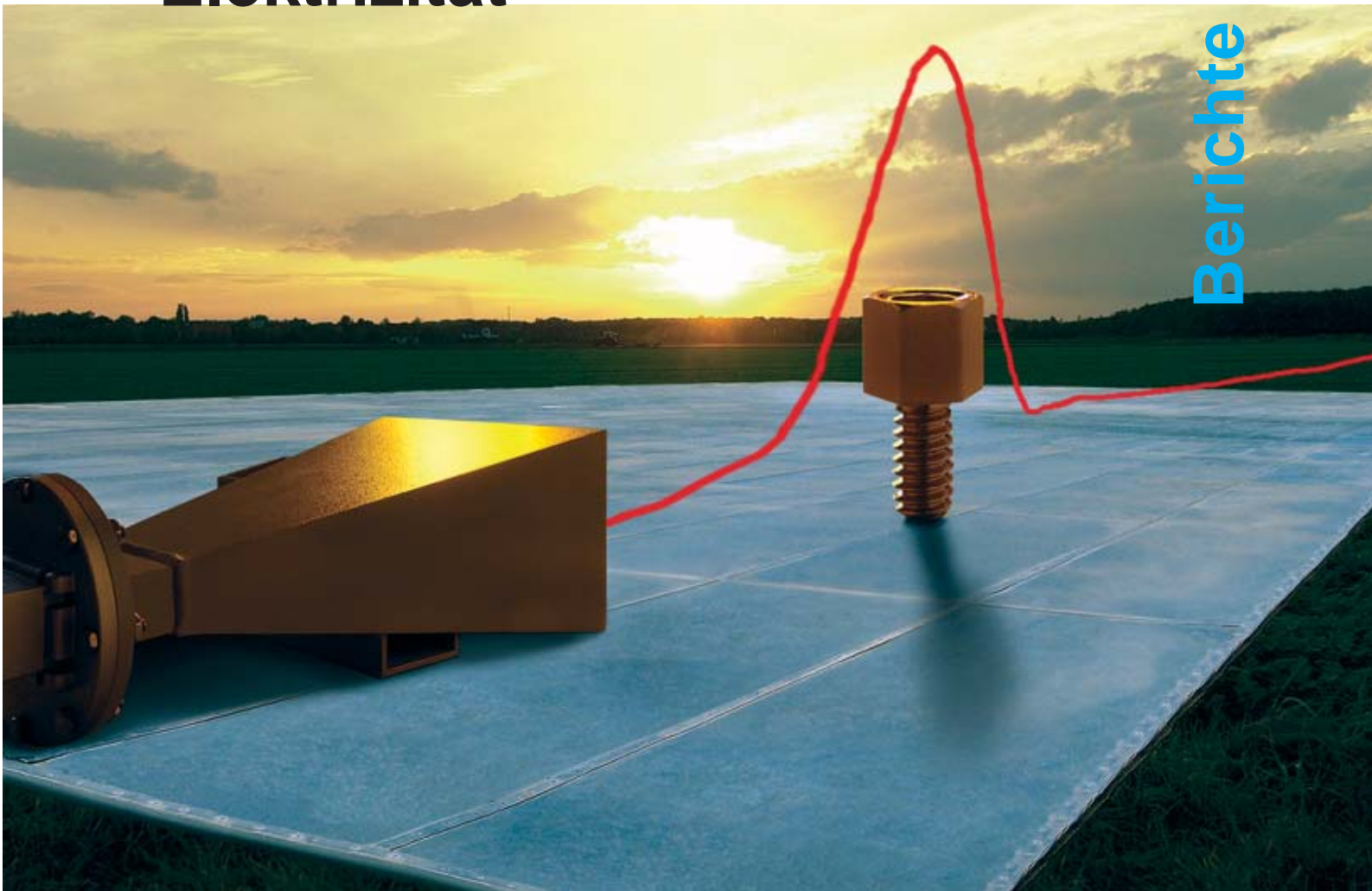
Frankreich unterzeichnete am 4. Mai das Abkommen zur Schaffung eines harmonisierten Kubikmeters für Hochdruck-Erdgas. (D. Dopheide, FB 1.4, dietrich.dopheide@ptb.de)

Erfolgreiche Teilnahme am EUROMET-Ringvergleich, Projekt 691

Die PTB nahm sehr erfolgreich an einem Ringvergleich zur Volumenbestimmung mit insgesamt 18 beteiligten europäischen Metrologieinstituten teil. Die Standardabweichung der Volumenbestimmung eines als Transfernormal verwendeten 5-Liter-Eichkolbens aus Glas auf dem Pipettenprüfstand der PTB lag deutlich unter den Werten der anderen Teilnehmer und stellt einen internationalen Spitzenwert dar. (H. Többen, AG 1.53, helmut.toebben@ptb.de)

Elektrizität

Berichte der Abteilungen



Elektrizität

Ziel der Abteilung ist es, elektrische Messtechnik auf höchstem Niveau zu betreiben und ständig weiter zu entwickeln. Dabei ist sie bestrebt, ihre starke Stellung in Europa und weltweit zu erhalten sowie ihre Kenntnisse und Fähigkeiten in Form von Dienstleistungen, Technologietransfer und Erfahrungsaustausch an die deutsche Industrie weiterzugeben, um auch deren Stellung regional und global zu stützen.

Nachdem im vergangenen Jahr die neue Struktur der Abteilung und die Arbeitsgebiete ihrer sechs Fachbereiche behandelt worden sind, werden dieses Mal einige Tätigkeitsfelder vorgestellt, in denen im Berichtsjahr gute Fortschritte gemacht worden sind.

Herstellung von Mikrostrukturen

Ein wesentliches Herausstellungsmerkmal der Abteilung ist ihre starke Stellung im Bereich fundamentaler Technologien auf dem Gebiet der supra- und halbleitenden Quantenschaltungen. Hierfür bietet das Reinraumzentrum der PTB hervorragende Randbedingungen. Zusammen mit der Leitung der PTB ist die Abteilung bemüht, die Anlagen auf einem hohen Stand zu halten, was durch eine Reihe bereits realisierter oder bewilligter Größtgeräte auch gelungen ist.

Elektronenstrahlolithographiesysteme sind in der PTB seit etwa zwölf Jahren im Einsatz, um Strukturen und Photomasken im Sub- μm -Bereich zu erzeugen. Im Rahmen einer Modernisierungsmaßnahme wurde das vorhandene Gerät durch ein System ersetzt, das minimale Strukturbreiten von 10 nm bei gleichzeitig erhöhter Schreibfrequenz ermöglicht (Bild 1).

Titelbild

Messanordnung zur Zeitbereichsspektroskopie zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften ausgedehnter metallischer Flächen, beispielsweise von Freifeldmesseinrichtungen zur Kalibrierung von Antennen

Das entspricht der dreifachen Auflösung des alten Systems und erlaubt gleichzeitig einen größeren Probendurchsatz. Durch die Neubeschaffung wird es der PTB möglich sein, auch in Zukunft die notwendigen Anforderungen im Bereich der Nanolithographie zu erfüllen.

Wesentliche Schwierigkeiten bei der Herstellung komplexerer Rapid-Single-Flux-Quantum(RSFQ)-Schaltungen ergeben sich aus der zeitgenauen Bereitstellung der Taktimpulse an den einzelnen Gattern und der schnellen Übertragung von Flussquantenimpulsen von der Supraleitungselektronik auf die Halbleiterelektronik. Das erste Problem lässt sich mit extern geschunteten Josephsonkontakten lösen, die variable Pulsverzögerungszeiten und damit einen asynchronen Betrieb der RSFQ-Schaltungen erlauben. Für den Übergang von der Supraleiterelektronik auf die Halbleiterelektronik wurde ein Spannungstreiber mit einer vierfachen Verstärkung entwickelt, der den Signalpegel entsprechend anhebt und für Halbleiterschaltungen verarbeitbar macht.

RSFQ-Schaltungen werden als vielversprechende komplementäre Elektronik zu Netzwerken mit Josephson-Quantum-Computing-Strukturen angesehen, um Kontrolle, Auslesen und Verarbeitung von Information in Josephson-Qubit-Systemen zu ermöglichen. Unter den hohen technologischen Herausforderungen zur Kopplung von RSFQ- und Qubit-Schaltungen werden die von den Shuntwiderständen einer RSFQ-Schaltung rückwirkenden Rauscheinflüsse als größtes Problem angesehen, was ernsthafte Auswirkungen auf die Dekohärenz eines Qubits hat. In der PTB entwickelte nichtlineare Shunts in Form von SIN-Tunnelelementen, die im spannungslosen Zustand verschwindendes Leitungsvermögen besitzen – was zu geringer Rückwirkung von Rauscheinflüssen auf Qubits führt – und die bei anliegender Biasspannung hohes Leitungsvermögen aufweisen – was hinreichend hohe Dämpfung der

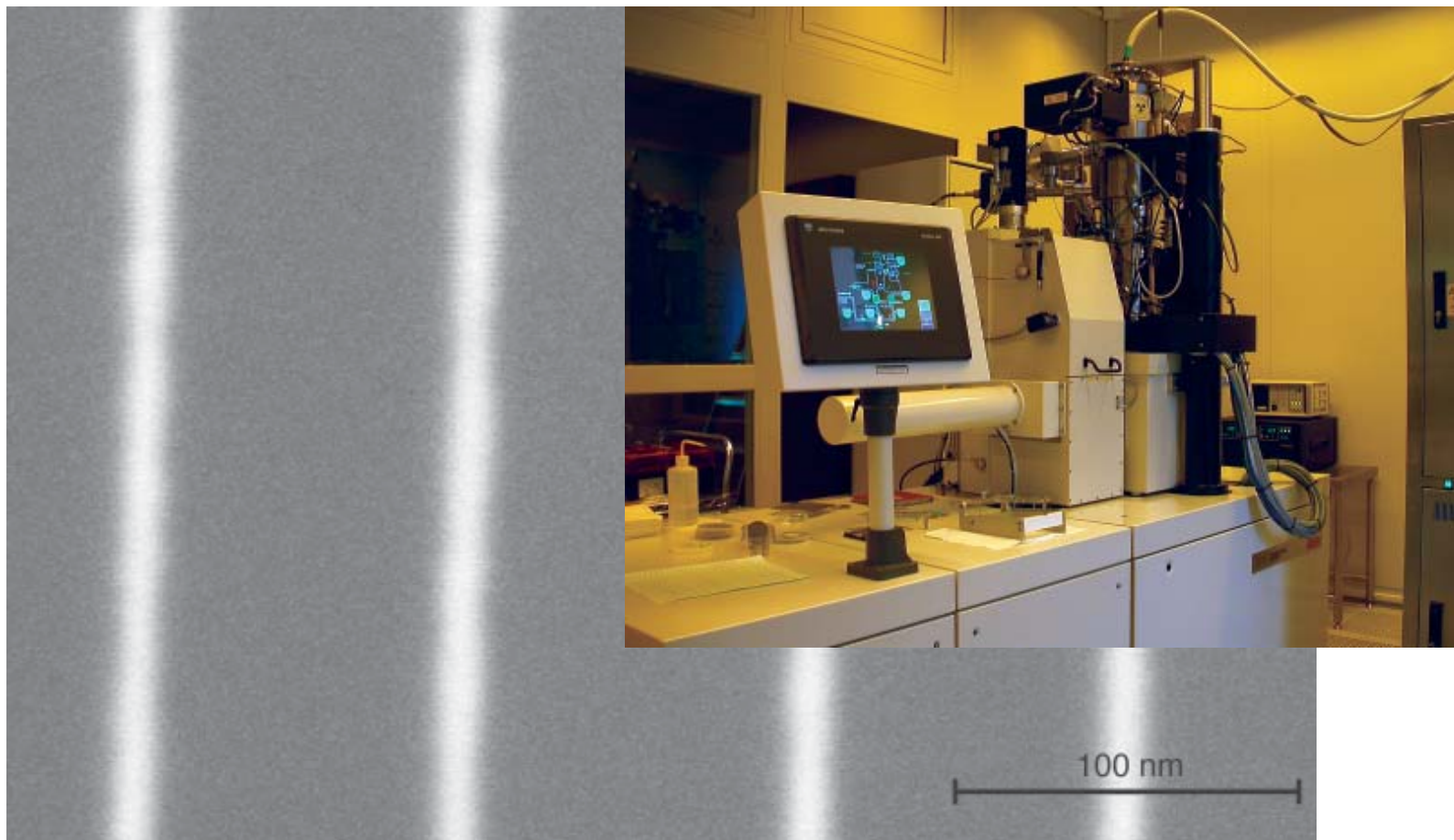


Bild 1: Elektronenstrahlolithographiesystem Leica EBPG 5000+ (rechts) und 10 nm breite Linien, hergestellt bei einer ersten Belichtungsprobe (links)

Josephsonelemente und damit Hysterese-freiheit ermöglicht – können dieses Problem lösen und sind mit Erfolg getestet worden.

Schaltungen mit kleinen Tunnelkontakten erlauben die Manipulation einzelner Ladungsquanten und werden für Quantennormale der elektrischen Stromstärke oder für Qubit-Schaltungen eingesetzt. Üblicherweise werden solche Bauelemente in Schrägbedampfungstechnik aus Aluminium hergestellt. Die Verwendung von Niob anstelle von Aluminium ist aufgrund der höheren Energielücke und der damit verbundenen größeren Ladungsenergie (E_C) für viele Anwendungen von Vorteil, da die Bedingung $E_C \gg k_B T$ leichter eingehalten werden kann. Auf der Basis der in der PTB vorhandenen langjährigen Erfahrungen mit der Nb/AlOx/Nb-Technologie wurden Tunnelkontakte mit Abmessungen unterhalb von $100 \text{ nm} \times 100 \text{ nm}$ entwickelt (Bild 2), die aufgrund ihrer geringen Kapazität eine sehr gut ausgeprägte Coulomb-Blockade zeigen.

Rastersondenmikroskopie für elektromagnetische Felder

Magnetische Speichermedien der Zukunft werden Datendichten in der Größenordnung TBit/inch² aufweisen. In der PTB wird deshalb an der Entwicklung eines quantitativen Messverfahrens für die Analyse magnetischer Eigenschaften von Strukturen im Nanometerbereich gearbeitet. Dafür soll das bereits aufgebaute Magnetkraftmikroskop eingesetzt werden. Bereits jetzt können Magnetfeldverteilungen mit einer räumlichen Auflösung von besser als 20 nm qualitativ abgebildet werden (Bild 3).

Zur Detektion ultraschneller elektrischer Signale bieten sich optische Messverfahren an, da sich mit ihnen größere Bandbreiten erzielen lassen als mit herkömmlicher Elektronik. In der PTB wurde eine auf dem Franz-Keldysh-Effekt basierende optische Messmethode entwickelt, um ultraschnelle elektrische Felder in Halbleitern quantitativ zu messen. Der neu entwickelte Messaufbau ist insbesondere für eine hohe zeitliche und räumliche Auflösung konzipiert worden. Zurzeit werden eine zeitliche Auflösung von 150 fs und eine räumliche Auflösung von 1,5 μm erreicht.

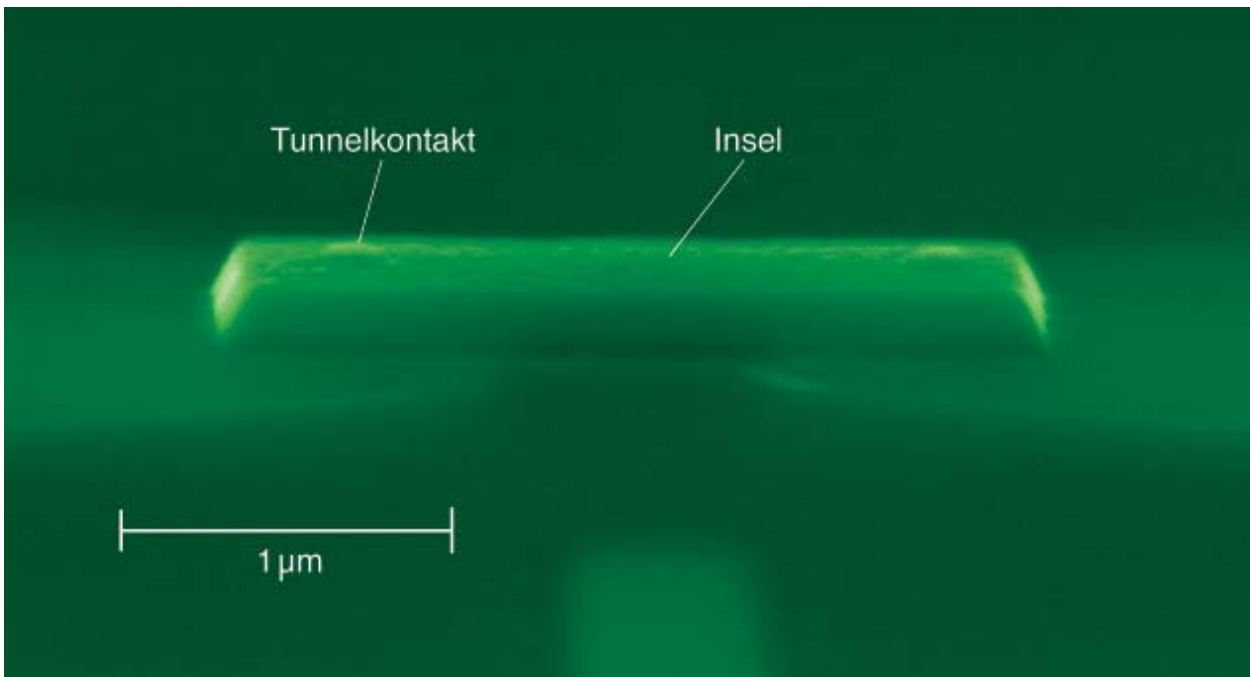


Bild 2: Rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines SET-Transistors mit zwei Tunnelkontakten

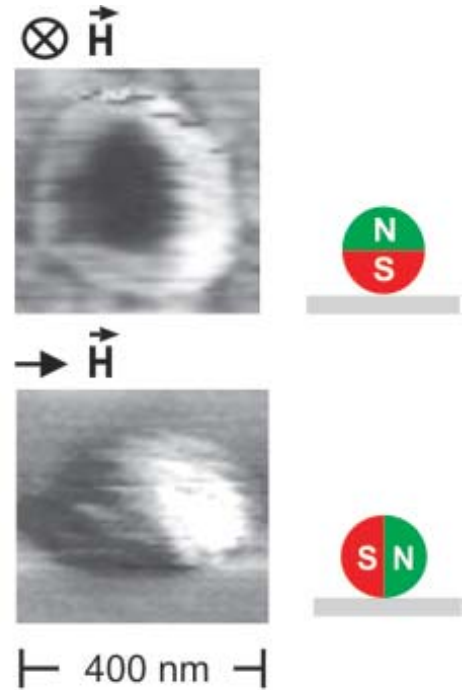
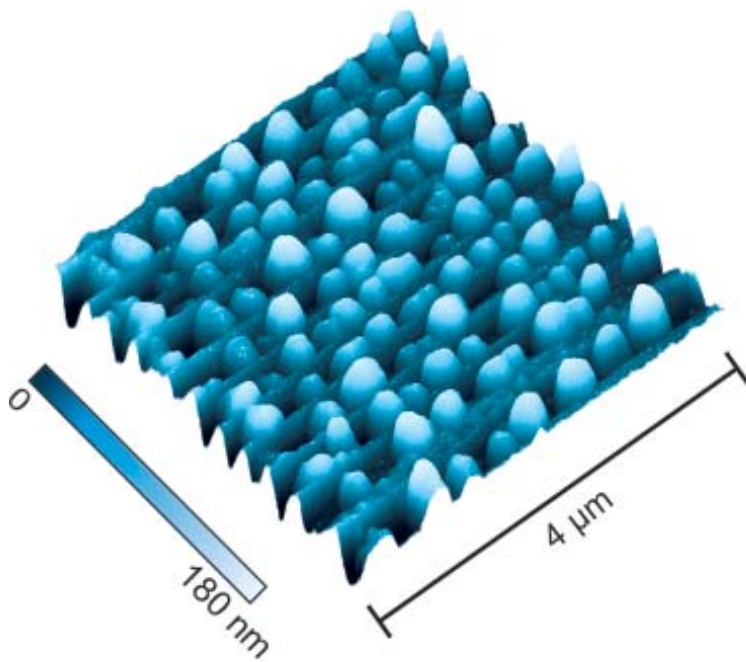
Quantenmetrologie

In einer Kooperation mit dem National Physical Laboratory (NPL) in Großbritannien sind schnelle Josephson-D/A-Umsetzer mit Umschaltzeiten von 250 ns entwickelt worden. Im Vergleich mit herkömmlichen Thermokonvertern hat sich gezeigt, dass mit dem Josephson-D/A-Umsetzer sehr präzise Sinusschwingungen erzeugt werden können, wobei die gemessenen Abweichungen für Frequenzen bis etwa 1 kHz noch unter $1 \cdot 10^{-6}$ liegen. Bei tiefen Frequenzen unterhalb 50 Hz ist der Josephson-D/A-Umsetzer schon jetzt dem Thermokonverter überlegen. Umgekehrt lassen sich mit dem Josephson-D/A-Umsetzer auch die dynamischen Eigenschaften von Analog-Digital-Umsetzern (integrale Nichtlinearität, Hysterese und Rauschen) untersuchen. Die Messmethode basiert auf dem Abtasten der quantisierten Spannungsplateaus einer mit dem Josephson-D/A-Umsetzer synthetisierten Wechselspannung.

Einzelladungseffekte sind bereits seit mehreren Jahren Gegenstand der Forschung in der Abteilung, unter anderem die Erzeugung quantisierter Ströme mit Hilfe spezieller Ladungspumpen oder der gezielte Transfer von Elektronen über eine Potentialbarriere mit Hilfe akustischer Oberflächenwellen. Jetzt ist es erstmals gelungen, einen gepumpten Strom von nur 0,32 pA in einer ultrapräzisen Strommessung direkt mit einer konventionellen Stromquelle mit einer relativen Unsicherheit von nur $1 \cdot 10^{-4}$ zu vergleichen. Innerhalb

dieser Unsicherheit konnte keine Abweichung vom quantisierten Wert der Stromstärke ($I = e \cdot f$) festgestellt werden (Bild 4, siehe auch Rubrik „Nachrichten des Jahres“).

Mit akustischen Oberflächenwellen können bei sehr tiefen Temperaturen einzelne Elektronen mit genau bekannter, sehr hoher Frequenz durch einen eindimensionalen Halbleiterkanal geführt werden. Der Effekt erlaubt es, die Stromstärkeinheit Ampere auf eine Naturkonstante, die Elementarladung, zurückzuführen. Störstellen in diesem eindimensionalen Kanal wirken wie ein null-dimensionales System, ein Quantenpunkt, der durch kleine Barrieren von den Zuleitungen getrennt ist. Das elektrische Potential der akustischen Oberflächenwelle moduliert diese Barrieren in einer Weise, dass abwechselnd Ein- und Ausgang des Quantenpunkts etwas geöffnet werden, so dass die Ladungsträger von dem als Welle laufendem Potential einzeln durch den Bereich hindurchgeschleust werden. Die Wirkungsweise ist ähnlich der eines Drehkreuzes an einem Supermarkteingang, das immer nur von einer Person passiert werden kann. Das gezielte Einbringen von Störstellen erscheint als ein aussichtsreicher Weg, die Fehlerquote beim „Abzählen“ der Elektronen weiter herabzusetzen.



Hochfrequenz und Felder

Auf Initiative der PTB wurde mit der Errichtung eines regionalen Kompetenzzentrums für Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV) begonnen, in dem neben der PTB die regionalen Hochschulen und Forschungseinrichtungen sowie die RegTP vertreten sind. Die Mitglieder sind bereit, ihre vorhandenen Kompetenzen, Aktivitäten und Einrichtungen regional zu bündeln und damit ein in Europa einmaliges Zentrum für EMV zu schaffen, mit der Zielsetzung, elektromagnetische Feldgrößen auf SI-Einheiten rückzuführen, die Eigenschaften der verschiedenen Feldgeneratoren zu charakterisieren und Forschung und Entwicklung durch gemeinsame Vorhaben und Nutzung der zur Verfügung stehenden Einrichtungen zu koordinieren.

Zur Prüfung der elektrischen Eigenschaften ausgedehnter metallischer Flächen wurde eine Methode der Zeitbereichsspektroskopie entwickelt (s. Titelbild). Derartige Flächen treten als reflektierender Untergrund bei Freifeldmessplätzen zur Kalibrierung von Antennen oder in Teilabsorberhallen auf. Diese metallischen Flächen mit Abmessungen von mehreren 10 m werden aus einzelnen, verschraubten oder verschweißten Platten aufgebaut. Lokale Diskontinuitäten auf oder in diesen Flächen beeinträchtigen die Messergebnisse und müssen daher vermieden werden. Sie können mit dem neu entwickelten Verfahren lokalisiert und quantitativ ausgewertet werden. Dieses Verfahren unter-

Bild 3: Co-Nanopartikel auf einer facettierten Oberfläche (links) und remanent magnetisierte Fe-Nanopartikel nach Anlegen eines Magnetfelds (rechts)

stützt die Planung und Errichtung eines Freifelds für Antennenmessungen und den Ausbau der Antennenmesstechnik.

Der seit Jahren zu beobachtende Trend in Richtung größerer und komplexerer integrierter Schaltkreise führt zu neuen Herausforderungen im Chipdesign, wobei infolge höherer Taktfrequenzen der Einfluss der Verbindungsstrukturen an Bedeutung gewinnt. Auch wenn seit längerem bekannt ist, dass Substrateffekte in leitfähigem Silizium zu frequenzabhängigen Leitungseigenschaften führen, ist bisher die Auswirkung verschiedener Masseleitungsanordnungen auf das Interconnect-Verhalten noch nicht systematisch untersucht worden. In Zusammenarbeit mit dem Laboratorium für Informationstechnologie der *Technischen Universität Hannover* ist es gelungen, den Einfluss verschiedener Masseleitungsgeometrien auf die frequenzabhängigen Eigenschaften von Interconnects in einer für die Produktion von Speicherchips verwendeten 110-nm-CMOS-Technologie der Firma *Infineon Technologies* sowohl durch Simulationen als auch durch Messungen im Frequenzbereich bis 50 GHz nachzuweisen (Bild 5).

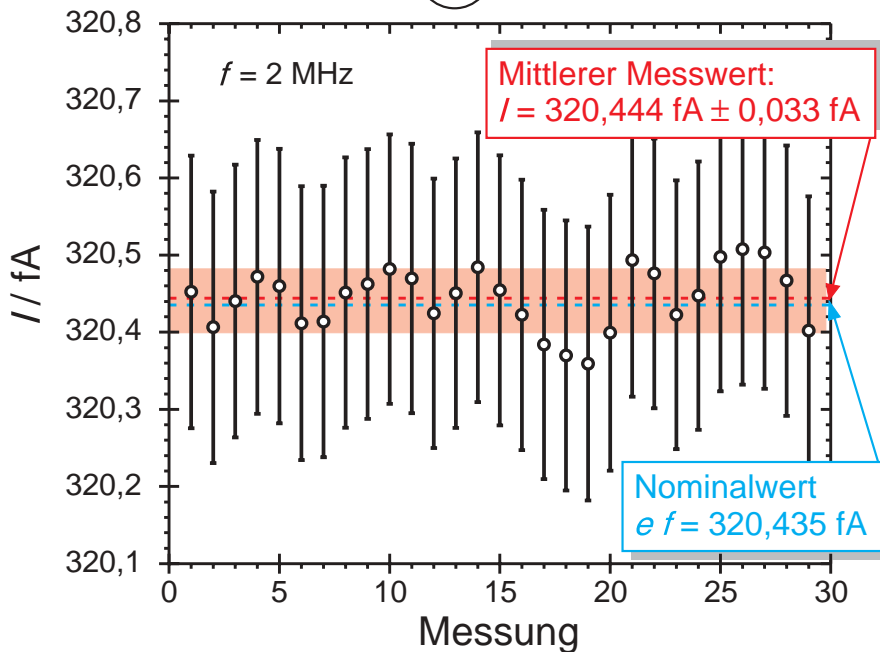
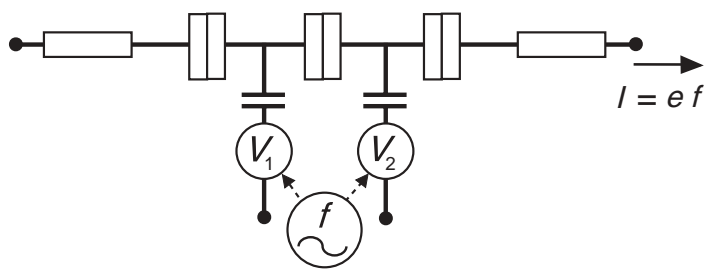


Bild 4: Vergleich einer SET-Pumpe mit einer konventionellen Stromquelle. Der gemittelte Wert stimmt im Rahmen der Messunsicherheit sehr gut mit dem quantisierten Wert überein.

Der Test integrierter Mikrowellenschaltungen und schneller digitaler Schaltkreise erfordert hochohmige, breitbandige Prüfspitzen mit möglichst geringer Rückwirkung auf den zu prüfenden Schaltkreis. Dabei ist die Annahme einer frequenzunabhängigen, konstanten Lastimpedanz insbesondere bei sehr schnellen Signalen nicht mehr zulässig. In einer zusammen mit der High Speed Microelectronics Group am *National Institute of Standards and Technology* (NIST) in Boulder (Colorado, USA) durchgeführten Untersuchung wurde der frequenzabhängige Störeinfluss hochohmiger Prüfspitzen in komplexen Schaltungsumgebungen mit Multiport-S-Parameter-Messungen ausgewertet.

Energiemesstechnik

Die mittelfristige Entwicklung dieses Bereichs wird in starkem Maße durch die Richtlinie 2004/22/EG (MID) der Europäischen Gemeinschaften und die damit einher gehende Neufassung des Eichgesetzes und seiner Anlagen bestimmt. Nach Beendigung der Übergangsfrist im Herbst 2006 wird die PTB direkt in Konkurrenz zu anderen Benannten Stellen in Europa stehen. Der Fachbereich ist bei der Bauartzulassung von Wirkverbrauchszählern, sofern sie in Haushalt, Gewerbe und leichter

Industrie eingesetzt werden, direkt betroffen. Die übrigen Elektrizitätsmessgeräte (Wirkverbrauchszähler der Klasse 0,2, Blindverbrauchszähler, Tarifierungs-Zusatzeinrichtungen und Messwandler) werden auch weiterhin der nationalen Gesetzgebung unterliegen und in Anlehnung an die MID-Regeln behandelt werden.

Die Abteilung hat eigens eine Arbeitsgruppe für Bauartzulassung und Konformitätsbewertung in der Elektrischen Energiemess-technik eingerichtet, um einerseits den Anforderungen der MID Rechnung tragen zu können und andererseits Bauartzulassungen so kundenfreundlich wie möglich durchzuführen. Ein erstes Beispiel dafür ist die parallele Bauartzulassung für verschiedene Hersteller von elektronischen Haushaltszählern, die auf dem Konzept des Lastenhefts des *Verbandes der Netzbetreiber* (VDN) beruhen. Damit wird eine annähernd zeitgleiche, vom Hersteller unabhängige Markteinführung unterstützt. Zur Reduzierung der Bearbeitungszeiten in diesem Parallelverfahren wurde eine Arbeitsteilung mit externen Prüfinstituten für die Teilbereiche EMV-, Richtigkeits- und Umweltprüfung vereinbart.

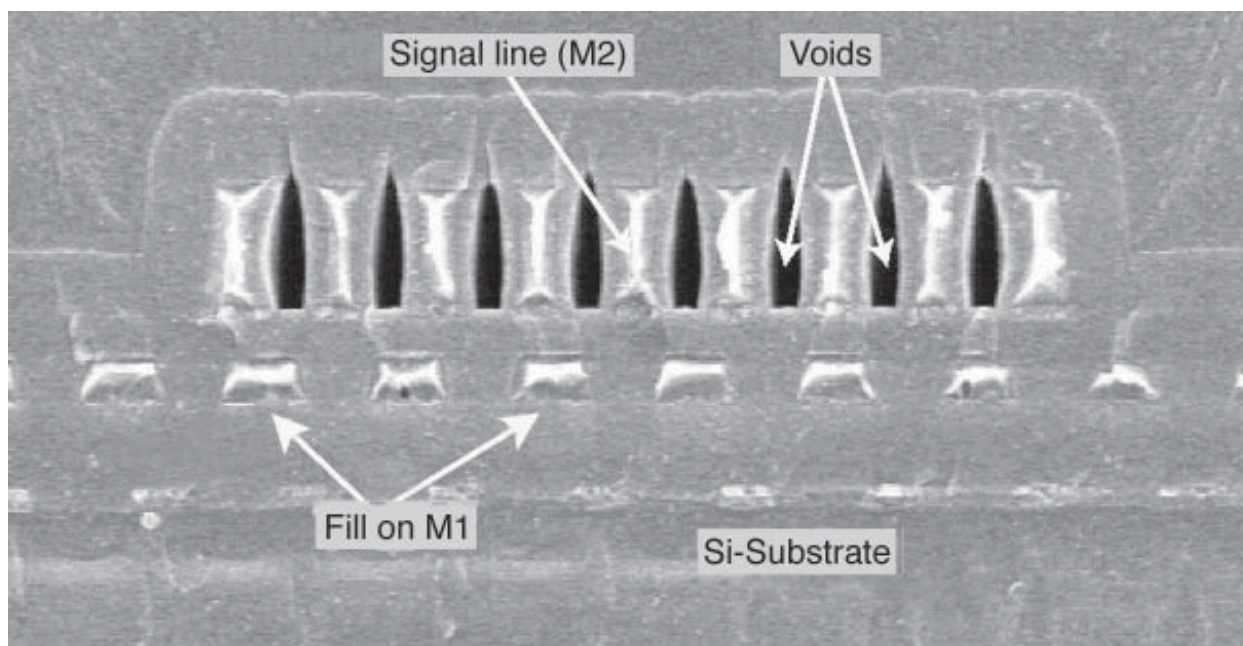


Bild 5: Querschnitt einer Teststruktur in 110-nm-Technologie der Firma Infineon (REM-Aufnahme)

Digitale Brücken ermitteln die Messabweichung und den Fehlwinkel von elektronischen Messwandlern mit Digitalausgang durch Vergleich mit Normalwandlern mit Analogausgang. Zur Kalibrierung dieser Brücken werden die Ausgangsgrößen der digitalen und analogen Messwandler elektronisch generiert und an die Brücke angelegt. Durch Variation des analogen Signals bezüglich Amplitude und Phase kann die Brücke im gewünschten Arbeitsbereich kalibriert werden. Die in der PTB entwickelte Messschaltung verwendet eine digitale Doppel-Wechselspannungsquelle zur Generierung der Referenz- und Kalibriersignale. Ein Pattern-Generator erzeugt den digitalen Datenstrom mit berechneten Abtastwerten einer idealen Sinusschwingung. Da alle Vorgänge aus dem Systemtakt der Doppelspannungsquelle abgeleitet werden, sind die digitalen und analogen Signale phasenstarr miteinander gekoppelt.

Magnetische Messungen

Die Aktivitäten der Abteilung auf diesem Gebiet umfassen die Darstellung der magnetischen Einheiten sowie ein umfangreiches Dienstleistungsangebot auf den Gebieten „Messung magnetischer Felder“, „Makroskopische Eigenschaften magnetischer Materialien“ und „Referenzmaterialien für magnetische Datenspeicher“. Mit Auslaufen der vertraglichen Vereinbarungen mit der ISO im Jahre 2008 wird die Bereitstellung von Referenzmaterialien für magnetische Datenspeicher eingestellt, nicht zuletzt auch deswe-

gen, weil sich die deutsche Industrie aus diesem Geschäftsfeld zurückgezogen hat. Das Dienstleistungsangebot auf den Gebieten „Felder“ und „Magnetische Materialien“ wurde durch eine Kundenbefragung überprüft, um den zukünftigen Bedarf festzustellen und das Dienstleistungsangebot entsprechend anpassen zu können. Im Zuge der Neuordnung des Bereichs *Magnetische Messungen* sollen die Gebiete „Felder“, „Magnetische Materialien“ und „Referenzmaterialien“ in einer Arbeitsgruppe zusammengefasst werden.

Für die Kalibrierung magnetischer Messgeräte mit Hilfe von in Spulen erzeugten magnetischen Gleichfeldern wurde eine Stromquelle mit einer auf Kernresonanz (NMR) basierenden Regelung entwickelt. Damit konnten für Stromstärken bis 1 A eine bisher nicht erreichte Auflösung ($0,3 \mu\text{A}$) und zeitliche Stabilität ($0,3 \mu\text{A}/\text{h}$) erreicht werden. Eine temperaturkompensierte Feldspule zusammen mit einem Marginaloszillator als Detektor für die Protonenresonanz bestimmen hauptsächlich die endgültig erzielten Spezifikationen der neuen Anlage.

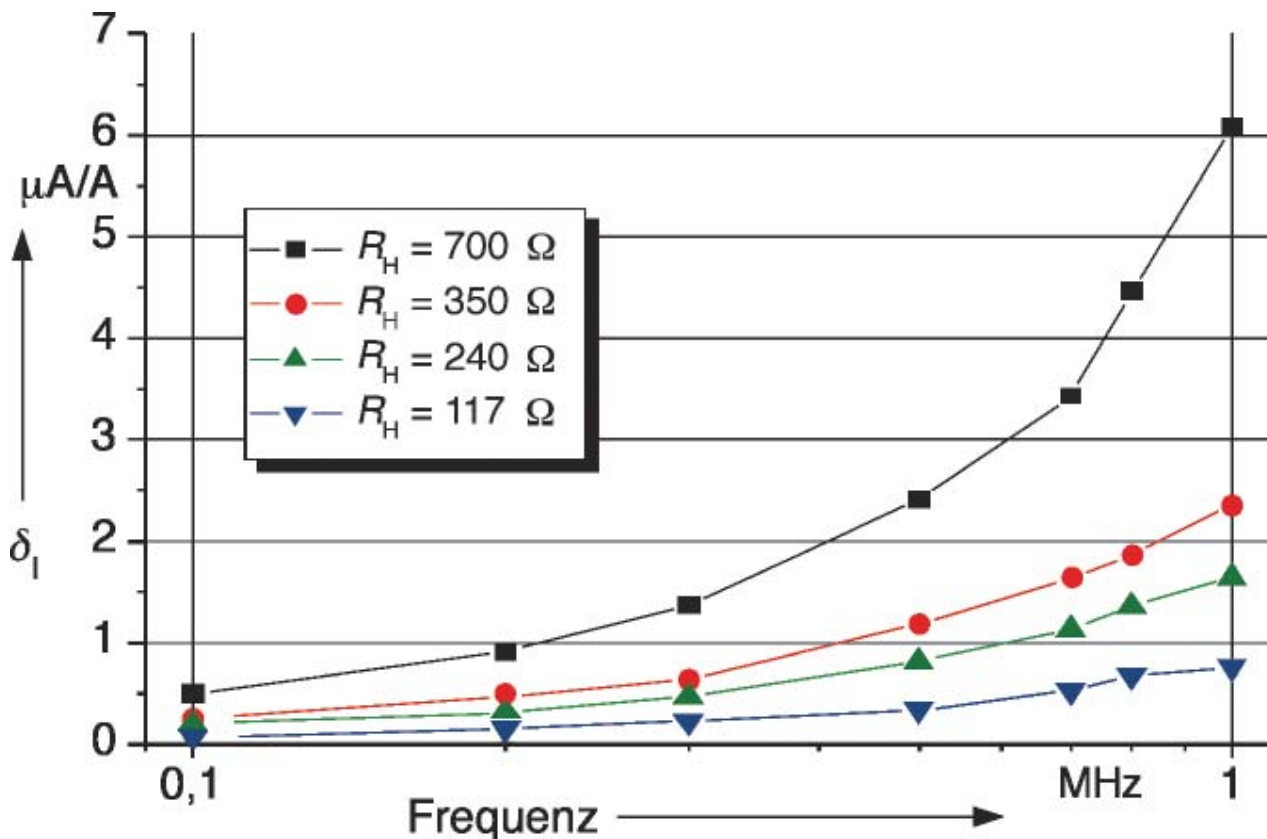


Bild 6: Transferdifferenzen planarer Thermo-konverter in Abhängigkeit vom Heizwiderstand

Gleichstrom und Niederfrequenz

Bislang bildeten dreidimensionale Vielfachthermokonverter in der PTB die Grundlage für den Wechselstrom-Gleichstromstärketransfer. Die Transferdifferenz eines solchen Thermokonverters ist berechenbar und liegt in einem weiten Frequenzbereich noch unter $1 \cdot 10^{-6}$. Die Herstellung ist allerdings sehr aufwendig und wurde eingestellt, nachdem planare Vielfachthermokonverter in Zusammenarbeit mit dem *Institut für Physikalische Hochtechnologie e. V. (IPHT)* entwickelt worden waren, allerdings um den Preis, dass die Transferdifferenzen nicht mehr berechnet werden konnten, sondern auf dreidimensionale Thermokonverter zurückgeführt werden mussten. Mit der Verwendung von Quarz als Substrat für planare Vielfachthermokonverter konnten die für den Frequenzgang der Transferdifferenz verantwortlichen Parameter wie Kapazitäten und dielektrische Verluste hinreichend klein und messbar gemacht werden, so dass sie in einer Computersimulation zur Berechnung der Transferdifferenzen verwendet werden konnten. In dem Modell sind Kapazitäten, Induktivitäten sowie der Einfluss des Skin-Effekts in den Zuleitungen berücksichtigt (Bild 6). Die Transferdifferenzen liegen selbst in einem erweiterten Frequenzbereich noch deutlich unter denen bisheriger Thermokonverter.

In der elektrischen Energiemesstechnik dienen Verlustfaktormessungen zur Beurteilung der Qualität von Hochspannungsgeräten wie Kondensatoren, Transformatoren, Isolatoren und Kabeln. Dafür werden Verlustfaktor-Messgeräte sowie hochwertige Kondensatoren als Normale mit möglichst kleinen und bekannten Verlustfaktoren benötigt. Zur gleichzeitigen absoluten Bestimmung des Verlustfaktors von Kondensatoren und der Zeitkonstante von Widerständen wurde eine neuartige Multifrequenz-Methode entwickelt. Sie basiert auf der Messung des Impedanzverhältnisses von Kondensator und Widerstand bei zwei oder mehreren Frequenzen. Aus mehreren Messungen bei unterschiedlichen Frequenzen lassen sich die absoluten Werte für Verlustfaktor und Zeitkonstante bestimmen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Messung der integralen dynamischen Nicht-linearität hochauflösender Analog-Digital-Umsetzer

Ein mit Josephson-Binärarrays synthetisiertes Wechsellspannungssignal erlaubt die Charakterisierung der dynamischen Eigenschaften von Analog-Digital-Umsetzern. Die Methode stellt ein Schlüsselverfahren für die Bewahrung und Weitergabe der Einheiten für Wechselstromgrößen im Niederfrequenzbereich mittels Abtastverfahren dar.

(W. G. Kürten Ihlenfeld, AG 2.32, guilherme.ihlenfeld@ptb.de)

Abgezählte Elektronen für ein neues Kapazitätsnormal

Die Ladung eines Kondensators mit einer genau bekannten Zahl von Elektronen und die Messung der damit erzeugten Spannung mit Hilfe eines Josephson-Spannungsnormals kann zur Darstellung der Kapazitätseinheit herangezogen werden. Gute Fortschritte wurden bei der Erzeugung und Charakterisierung kleinster Stromstärken erzielt. (H. Scherer, AG 2.45, hansjoerg.scherer@ptb.de)

Entwicklung von Schaltungen für den Josephson-Synthesizer

Im Rahmen eines europäischen Vorhabens wurden verschiedene Josephson-Reihenschaltungen mit SINIS-Kontakten für einen Synthesizer zur Erzeugung beliebiger Wellenformen entwickelt, hergestellt und erfolgreich getestet. Eine deutliche Erhöhung der Ausgangsspannung verspricht der Einsatz von SNS-Kontakten, für die ein neuartiger Herstellungsprozess entwickelt wurde. (J. Kohlmann, AG 2.43, johannes.kohlmann@ptb.de)

Neues Elektronenstrahlolithographiesystem im Reinraumzentrum der PTB

Im Rahmen einer Modernisierungsmaßnahme wurde ein neues Elektronenstrahl-Lithographiesystem in Betrieb genommen und erfolgreich getestet. In ersten Belichtungsversuchen konnten Strukturen mit einer Linienbreite von nur 10 nm geschrieben werden, was einer um den Faktor drei höheren Auflösung gegenüber dem alten System entspricht. (T. Weimann, AG 2.44, thomas.weimann@ptb.de)

Ein Einzel-Elektronen-Drehkreuz mit akustischen Oberflächenwellen

Mit Hilfe akustischer Oberflächenwellen lassen sich einzelne Elektronen durch einen eindimensionalen Halbleiterkanal transportieren. Dieser Ansatz eröffnet die Möglichkeit, ein Quantennormal für die Einheit der elektrischen Stromstärke Ampere zu schaffen. Neueste Messungen bestätigen, dass Störstellen den Transport stark beeinflussen. Der gezielte Einbau von Störungen stellt einen weiteren Ansatzpunkt zur Optimierung dieser Quantenelemente dar. (F. J. Ahlers, AG 2.53, franz-josef.ahlers@ptb.de)

Messung ultraschneller elektrischer Felder in Halbleitern mittels des Franz-Keldysh-Effektes

Zur zeitaufgelösten Detektion ultraschneller elektrischer Signale bieten sich optische Messverfahren an, da sie größere Bandbreiten besitzen als herkömmliche Elektronik. Die PTB hat daher eine neue, auf dem Franz-Keldysh-Effekt basierende optische Messmethode entwickelt, um ultraschnelle elektrische Felder in Halbleitern zu messen. (M. Bieler, AG 2.54, mark.bieler@ptb.de)

AC-Messungen des Quanten-Hall-Widerstands

Für Wechselstrommessungen des Quanten-Hall-Widerstands ist die Qualität der Proben entscheidend. In Zusammenarbeit mit dem NRC in Kanada und METAS in der Schweiz werden zurzeit Kriterien entwickelt, nach denen sich die Qualität der verwendeten Proben beurteilen lässt.

(J. Schurr, AG 2.62, juergen.schurr@ptb.de)

Präzise Synthese von Sinusschwingungen mit einer 1-V-SINIS-Josephson-Schaltung

Binär unterteilte Josephson-Reihenschaltungen können als Digital-Analog-Wandler mit fundamentaler Genauigkeit eingesetzt werden. Erstmals konnten in Zusammenarbeit mit dem NPL in Großbritannien digitalisierte Wechsellspannungen auf der Basis von Josephson-Schaltungen mit einer Auflösung von 14 Bit und Unsicherheiten von unter 10^{-6} im Frequenzbereich bis 1 kHz synthetisiert werden.

(R. Behr, AG 2.63, ralf.behr@ptb.de)

Asynchrone Logikgatter für RSFQ-Schaltungen

Die zeitlich korrekte Bereitstellung der Taktimpulse stellt bei komplexeren RSFQ-Schaltungen ein schwieriges Problem dar. Josephson-Kontakte mit externen Shunts bieten die Möglichkeit, durch Einstellung verschiedener Werte der Shuntwiderstände flexible Gate-Delays asynchroner Logikgatter zu erreichen. (F.-Im. Buchholz, AG 2.42, friedrich-im.Buchholz@ptb.de)

Spannungstreiber für Einzelflussquanten-elektronik-Schaltungen

An der Schnittstelle zwischen Supraleitungs- und Halbleiterelektronik werden üblicherweise SFQ/DC-Konverter eingesetzt, die den SFQ-Pulsen inhärente digitale Information in analoge Spannungspulse konvertieren. Es wurden Spannungstreiber in RSFQ-Logik entwickelt mit denen diese Impulse verstärkt und damit für die Halbleiterelektronik besser verarbeitbar gemacht werden können. (M. Khabipov, AG 2.42, marat.khabipov@ptb.de)

Sub-100-nm-Nb/AlOx/Nb-Trilayer-Kontakte für SET- und Qubit-Anwendungen

Kleine supraleitende Tunnelkontakte ermöglichen die Manipulation einzelner Cooper-Paare und können sowohl als Quantennormale für die Stromstärke als auch zur Erzeugung von Qubits eingesetzt werden. Auf der Grundlage der in der PTB vorhandenen Erfahrung mit der Niob-Technologie wurden jetzt Tunnelkontakte geringer Kapazität mit Abmessungen unter 100 nm gefertigt. (R. Dolata, AG 2.45, ralf.dolata@ptb.de)

Josephson-Tunnelemente mit nichtlinearer Dämpfung für RSFQ-Qubit-Schaltungsanwendungen

RSFQ-Schaltungen besitzen ein hohes Potential, um Kontrolle, Auslesen und Verarbeitung von Information in Josephson-Qubit-Systemen zu ermöglichen. Allerdings haben die von den RSFQ-Schaltungen rückwirkenden Rauscheinflüsse ernsthafte Auswirkungen auf die Dekohärenz der Qubits. Josephson-Kontakte mit nichtlinearen, von der Biasspannung abhängigen Shunts vermindern diese Rückwirkung bei unveränderter Funktionalität der RSFQ-Schaltungen.

(A. Zorin, AG 2.45, alexander.zorin@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Neues Primärnormal für den Wechselstrom-Gleichstromstärke-Transfer

Planare Vielfachthermokonverter auf kristallinem Quarzsubstrat gestatten es, die für den Frequenzgang der Transferdifferenz bestimmenden Parameter wie Kapazitäten und dielektrische Verluste im Substrat hinreichend klein und messbar zu machen. Sie konnten in einer Computersimulation zur Berechnung der Transferdifferenzen verwendet werden und erlauben damit einen Stromstärketransfer mit verringerter Messunsicherheit.

(T. Funck, AG 2.12, torsten.funck@ptb.de)

Messabweichungen nach nichtidealer LRL- oder TRL-Kalibrierung eines Netzwerkanalysators

Die fehlerhafte LRL- oder TRL-Kalibrierung eines HF-Netzwerkanalysators kann zu beträchtlichen Messabweichungen der S-Parameter von Messobjekten führen. In einer umfangreichen theoretischen und experimentellen Studie wurden diese Abweichungen als Funktion der Abweichungen der S-Parameter der für die Kalibrierung benutzten nicht-idealen Kalibrierelemente von ihren Idealwerten bestimmt.

(U. Stumper, FB2.2, ulrich.stumper@ptb.de)

Zeitbereichsspektroskopie zur Untersuchung der elektrischen Eigenschaften ausgedehnter metallischer Flächen

Zur Prüfung der elektrischen Eigenschaften ausgedehnter metallischer Flächen wurde eine Methode der Zeitbereichsspektroskopie entwickelt, mit der sich lokale Diskontinuitäten lokalisieren und quantitativ bewerten lassen. Diese Methode besitzt den Vorteil, dass sich Störungen detektieren lassen, die aus den Daten im Frequenzbereich nicht erkannt werden. (T. Schrader, AG 2.21, thorsten.schrader@ptb.de)

Einfluss von Masseleitungsanordnungen auf die frequenzabhängigen Eigenschaften von Interconnects in 110-nm-CMOS-Technologie

In Zusammenarbeit mit der *Universität Hannover* ist es gelungen, den Einfluss verschiedener Masseleitungsanordnungen auf die frequenzabhängigen Eigenschaften von Interconnects in einer für die Produktion von Speicherchips verwendeten 110-nm-CMOS-Technologie der Firma *Infineon Technologies*

in einem Frequenzbereich bis 50 GHz messtechnisch nachzuweisen.

(U. Arz, AG 2.23, uwe.arz@ptb.de)

Charakterisierung des Störeinflusses hochohmiger Prüfspitzen in komplexen Schaltungsumgebungen mit Hilfe von Mehrtor-Streuparametermessungen

In Zusammenarbeit mit der High-Speed Microelectronics Group des NIST/USA wurde der Störeinfluss hochohmiger Prüfspitzen in komplexen Schaltungsumgebungen unter Zuhilfenahme von Mehrtor-Streuparametermessungen messtechnisch charakterisiert.

(U. Arz, AG 2.23, uwe.arz@ptb.de)

Modernisierte Messeinrichtung für Hochspannungsimpulse

Für den Kalibrierplatz für Hochspannungsimpulsmesssysteme wird jetzt ein speziell für Hochspannungsmessungen entwickelter 14-Bit-Digitalrecorder eingesetzt. Die Messunsicherheit des Gesamtsystems konnte damit deutlich verringert werden. Die Rückführung auf nationale Normale erfolgt durch statische Kalibrierung des Recorders mit Gleichspannung und dynamische Kalibrierung mit Sprungspannungen durch ein synchronisiertes Abtastverfahren.

(W. Lucas, AG 2.31, wolfgang.lucas@ptb.de)

Gleichstromquelle mit hoher zeitlicher Stabilität

Für Messeinrichtungen zur Kalibrierung magnetischer Messinstrumente mit Referenzfeldern, die in Spulen mittels Gleichströmen erregt werden, wurde eine Stromquelle mit auf Kernresonanz (NMR) basierender überlagerter Regelung entwickelt. Damit werden für Stromstärken im Bereich von 0,3 A bis 1 A eine nachweisbare Einstellungsauflösung von 0,3 μ A und eine zeitliche Driftrate von etwa 0,3 μ A/h erreicht.

(K. Weyand, AG 2.51, kurt.weyand@ptb.de)

Magnetkraftmikroskopie an selbstorganisierten magnetischen Nanostrukturen

Die PTB arbeitet an der Weiterentwicklung der Magnetkraftmikroskopie, die eine wichtige Analysemethode bei der Entwicklung neuer magnetischer Datenspeichermedien mit höchster Aufzeichnungsdichte darstellt. Mit dieser Methode wurden die magnetischen Eigenschaften von Eisen- und Kobalt-Nanopartikeln untersucht, die an der *Universität Göttingen* mit einem innovativen, auf Selbst-

organisation beruhenden Verfahren hergestellt werden. (M. Albrecht, AG 2.52, martin.albrecht@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

PTB-Kalibriereinrichtung für digitale Brücken zum Vergleich von elektronischen Messwandlern mit Analog- und Digital-Ausgang

Digitale Brücken ermitteln die Messabweichung von elektronischen Messwandlern mit digitalem Ausgang durch Vergleich mit Normalwandlern mit Analogausgang. In der PTB wurde eine auf einem digitalen Abtastverfahren basierende Methode entwickelt, mit der sich die Messbrücken für diesen zukunftsweisenden Wandlertyp kalibrieren lassen.

(G. Ramm, AG 2.12, guenther.ramm@ptb.de)

Absolutbestimmung des Verlustfaktors von Kondensatoren und der Zeitkonstante von Widerständen mittels Multifrequenz-Methode

Verlustfaktormessungen sind ein wichtiges Beurteilungskriterium für die Qualität von Hochspannungsgeräten wie Transformatoren, Isolatoren, Kabeln und Kondensatoren. Dafür werden Messgeräte und Normale mit kleinen und genau bekannten Verlustfaktoren benötigt. Mit der neu entwickelten Multifrequenz-Methode lassen sich der Verlustfaktor von Kondensatoren und die Zeitkonstante von Widerständen absolut mit geringer Unsicherheit bestimmen.

(G. Ramm, AG 2.12, guenther.ramm@ptb.de)

Zulassung der elektronischen Haushaltszähler „eHZ“

Die PTB ist in die Planungen des groß angelegten Feldversuchs des *Verbands der Netzbetreiber* für die Einführung standardisierter elektronischer Haushaltszähler (eHZ) eingebunden. Das Engagement besteht vor allem im Aufbau von Kooperationen mit anderen Prüfinstituten zur Durchführung der Zulassungsprüfungen und in der Entwicklung effizienter, optimierter Zulassungsverfahren mit parallel ablaufenden Prüf- und Bewertungsprozessen für die „eHZ“-Ausführungen der verschiedenen Hersteller. (H.-G. Latzel, AG 2.34, hans-georg.latzel@ptb.de)



Chemische Physik und Explo- sions- schutz



Berichte der Abteilungen

Abteilung

3

Chemische Explosions

Aufbau von Rückführungsstrukturen für chemisch-analytische Messungen in der Medizin

Zuverlässige und vertrauenswürdige Messergebnisse haben in der Medizin eine ganz unmittelbare, persönliche Bedeutung für jeden einzelnen Menschen. Darüber hinaus besteht ein gesellschaftliches Interesse an richtigen und genauen „medizinischen Messergebnissen“, da sie wesentlich zur Kostendämpfung im Gesundheitswesen beitragen können (z. B. durch die Vermeidung von Wiederholungsmessungen). Aber auch der globale Warenverkehr im Bereich pharmazeutischer Produkte benötigt international vergleichbare und anerkannte Messergebnisse, was für die exportorientierte deutsche Industrie von Wichtigkeit ist.

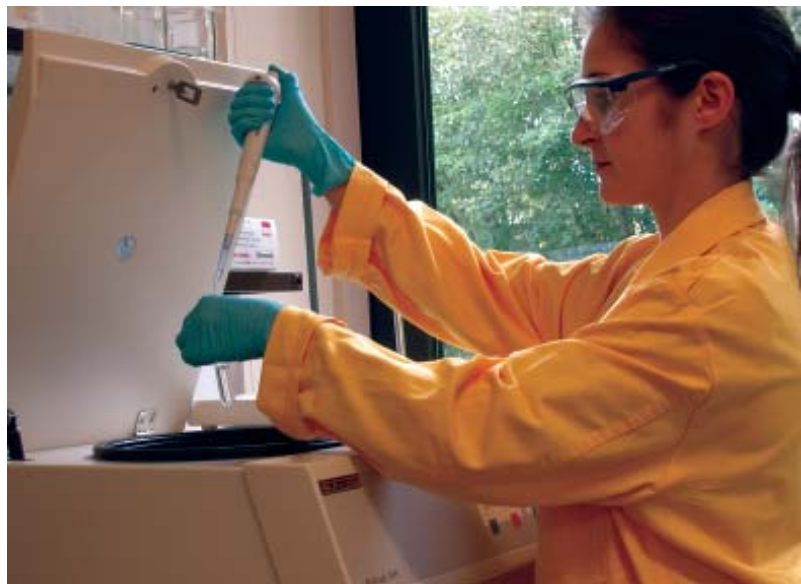
Beim Aufbau einer messtechnischen Infrastruktur für die Metrologie in der Chemie in Deutschland spielt die Medizin deshalb eine zentrale Rolle. Besonders wichtig sind zuverlässige Konzentrationsmessungen von bestimmten Analyten in Blutserum. Solche Messwerte sind Grundlage jeder umfangreicheren medizinischen Diagnose beim Hausarzt ebenso wie bei klinischen Untersuchungen. Dazu gehören auch Reinheitsuntersuchungen von medizinisch relevanten Substanzen, die z. B. als Referenzmaterialien für in-vitro-diagnostische Untersuchungen oder als Ausgangssubstanzen für die pharmazeutische

Produktion benötigt werden. Besonders wichtig ist dabei das Reinstwasser, das z. B. als Prozesswasser oder als Ingredienz (z. B. für Injektionszwecke) in allen Bereichen benötigt wird. Dessen Qualität muss dabei in der Pharmaindustrie oft während des Produktionsprozesses überwacht werden.

Der hohe Stellenwert international vergleichbarer Messungen in der Medizin war deshalb schon am Anfang weltweiter Bemühungen um den Aufbau der Metrologie in der Chemie anerkannt. Die Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) hat Anfang der 1990er Jahre mit der Gründung des Konsultativkomitees für die Stoffmenge (CCQM) damit begonnen, den Aufbau von Rückführungsstrukturen in der Chemie weltweit systematisch voranzutreiben. Dabei ist die Medizin bald zu einem Hauptbetätigungsfeld dieser Bemühungen geworden. Die PTB und ihr nationaler Partner in diesem Bereich, die *Deutsche Vereinigte Gesellschaft für Klinische Chemie und Laboratoriumsmedizin* (DGKL), sind an diesem Prozess aktiv und wesentlich mitgestaltend beteiligt.

Titelbild

Magnetische Flotation zur Präzisionsbestimmung der Wasserdichte. In dem mit Wasser gefüllten Quarzgefäß befindet sich ein Gehänge mit Auftriebskörper (Quarzkugel, oben im Bild), Kompensationsgewichten und einem abnehmbaren kalibrierten Senkkörper (im Bild unten). Das Gehänge wird durch ein Magnetfeld in einer definierten Schwebeposition gehalten. Die Differenz der Stärke des Magnetfelds bei der Messung mit und ohne Senkkörper ist ein Maß für die Auftriebskraft, die auf den Senkkörper wirkt, und damit ein Maß für die Dichte des Wassers.



Physik und Schutz

Normative Grundlagen

Der stark gestiegene Bedarf an zuverlässigen und vertrauenswürdigen Messungen in der Medizin hat dazu geführt, dass in Deutschland verbindliche Regelungen zur Rückführung medizinischer Messungen getroffen wurden. Ihre Durchführung ist in der „Richtlinie der Bundesärztekammer (BÄK) zur Qualitätssicherung quantitativer laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen“ (kurz: RiLiBÄK) geregelt. Grundlage der Richtlinie ist das 2. Medizinprodukteänderungsgesetz, das am 1.1.2002 in Kraft gesetzt wurde. Die zeitgleich eingeführte Richtlinie ist im Einvernehmen mit der PTB sowie in Zusammenarbeit mit den zuständigen medizinischen Fachgesellschaften, mit den Eichbehörden und den zuständigen Industrieverbänden erarbeitet worden. In dieser Richtlinie werden Mindestanforderungen an die Qualitätssicherung, insbesondere an die Messgenauigkeit von quantitativen laboratoriumsmedizinischen Analysen festgelegt. Ziel ist die Verbesserung der Zuverlässigkeit und der gegenseitigen Akzeptanz klinisch-chemischer Messergebnisse, die für diagnostische oder therapeutische Zwecke in den zahlreichen Laboratorien des deutschen Gesundheitssystems ermittelt werden.

Rückführungsstruktur in Deutschland

Vertrauen in die Richtigkeit der Messergebnisse wird durch den Nachweis der Rückführbarkeit der Messergebnisse auf anerkannte Normale erreicht, so weit möglich basierend auf SI-Einheiten. Dazu wurde ein strukturiertes Rückführungssystem implementiert, welches das in der RiLiBÄK beschriebene Quali-

tätssicherungssystem für die klinischen Laboratorien unterstützt. Ähnlich wie in anderen Bereichen der Metrologie gibt es auch in der klinischen Chemie eine Gliederung in drei Ebenen:

1. Primärnormale werden als nationale Normale von der PTB als nationalem Metrologieinstitut (NMI) und ihrem Partner, dem Referenzinstitut für Bioanalytik der DGKL, bereitgestellt.
2. An diese Normale werden die von der *Bundesärztekammer* bestellten Referenzlaboratorien durch Vergleichsmessungen angeschlossen.
3. Die Vielzahl der klinisch-chemischen Feldlaboratorien weist ihre Messfähigkeit im Rahmen so genannter „externer Qualitätskontrollen“ gegenüber den Referenzlaboratorien nach.

Die innere Struktur der drei Ebenen und der Ablauf der Weitergabe bzw. der Rückführung sind durch die besonderen Anforderungen der RiLiBÄK speziell auf die klinische Chemie zugeschnitten und auf andere Gebiete der analytischen Chemie nicht unmittelbar übertragbar. Bedingt durch Umfang und Komplexität der Aufgabe einerseits und die begrenzten Ressourcen andererseits handelt die PTB auf der Ebene der nationalen Normale sowohl in der klinischen Chemie als auch in anderen Bereichen der Metrologie in der Chemie nicht allein. In der Regel wird ein Fachinstitut als Partnerinstitution in ein nationales Netzwerk der Metrologie in der Chemie mit eingebunden. Diese Partnerinstitutionen stellen nationale Normale in den Bereichen zur Verfügung, die die PTB nicht allein abdecken kann. In der Praxis delegiert die PTB die Aufgabe der Darstellung und Bereithaltung solcher nationalen Normale in ausgewählten Bereichen an ihre Partner. Grundlage hierfür ist der Abschluss eines bilateralen Kooperationsver-

Bild 1: Probenvorbereitung für die organische Analytik

trags, dem ein Kompetenznachweis voraus geht. Dazu gehört, dass die Partner die Qualität ihrer Messfähigkeit national und international nachweisen. Dies geschieht u. a. durch bilaterale Vergleiche mit der PTB, die Teilnahme an internationalen Vergleichsmessungen auf der Ebene der metrologischen Staatsinstitute und die Bereithaltung eines Qualitätsmanagementsystems gemäß ISO 17025. Im Vertrag selbst wird, neben der Verpflichtung zu einer kontinuierlichen Qualitätskontrolle, der Aufgabenbereich des Netzwerkpartners genau definiert. Neben dem Effizienzgewinn ermöglicht diese Struktur eine besonders zeit- und praxisnahe Einschätzung des metrologischen Bedarfs, der kontinuierlich mit den Anwendern abgestimmt wird.

Nationale Normale werden beispielsweise in der klinischen Chemie somit nicht nur von der PTB, sondern auch vom Referenzinstitut für Bioanalytik der DGKL bereitgestellt. Die Zusammenarbeit ist vertraglich so geregelt, dass Normale komplementär bereitgestellt werden. Die Frage der Zuständigkeit für ein bestimmtes Normal ist deshalb in allen Fällen eindeutig beantwortet.

Die mittlere Ebene der Referenzlaboratorien hat eine Multiplikatorfunktion zur Weitergabe der von nationalen Normalen abgeleiteten Referenzmesswerten an die Vielzahl der klinischen Laboratorien und unterscheidet sich in dieser Hinsicht nicht wesentlich von der Ebene der DKD-Kalibrierlaboratorien in anderen Bereichen der Metrologie. Hinzu kommt hier die Harmonisierung mit den Regeln der BÄK und des Medizinproduktegesetzes. Die Referenzlaboratorien werden durch die BÄK bestellt. Die Bestellung erfolgt gemäß RiLiBÄK auf Vorschlag einer Referenzinstitution in Zusammenarbeit mit den fachlich zuständigen, wissenschaftlichen medizinischen Fachgesellschaften für die Dauer von jeweils vier Jahren. Die Eignung eines Referenzlaboratoriums wird durch Akkreditierung als Kalibrierlaboratorium nach ISO 17025 bzw. als Referenzmesslaboratorium nach ISO 15195 festgestellt. Im Rahmen dieser Akkreditierungen müssen diese Laboratorien die Rückführbarkeit ihrer Messergebnisse auf das SI nachweisen, was in der Regel durch Vergleichsmessungen mit dem nationalen Normal des NMI geschieht.

Dazu wird vom nationalen Metrologieinstitut eine Laborprobe des Referenzlaboratoriums analysiert und dieser ein Referenzwert zugewiesen. Die zu akkreditierenden Laboratorien müssen nun den (ihnen unbekanntem) Referenzwert innerhalb eines zuvor festgelegten Streubereichs um den Referenzwert treffen. Dieser Kompetenznachweis muss im Rahmen der Akkreditierung durch Wiederholungsmessungen in regelmäßigen Zeitabständen bestätigt werden. Diese Testprobe (mit dem vom NMI zertifizierten Wert) wird dann vom akkreditierten Kalibrierlaboratorium als Referenzprobe für die eigene Arbeit verwendet. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem Transfer von Referenzmaterialien besteht darin, dass diese Proben exakt den Analytmatrizes im Kalibrierlaboratorium entsprechen. Diese Kalibrier- und Referenzlaboratorien sind gemäß RiLiBÄK zuständig für die so genannte „externe Qualitätssicherung“ der Vielzahl der klinischen Laboratorien. Sie dient der objektiven Überwachung der Qualität von Ergebnissen quantitativer laboratoriumsmedizinischer Untersuchungen und ergänzt die so genannte „interne Qualitätssicherung“ mit Referenzproben, die zum Teil in Abständen von wenigen Stunden durchgeführt werden muss und die zeitliche Konstanz der Messeinrichtungen sicherstellen soll.

Im Rahmen der „externen Qualitätssicherung“ müssen die klinischen Laboratorien ihre messtechnische Eignung in Ringvergleichen nachweisen, die von den Referenzlaboratorien in regelmäßigen Abständen veranstaltet werden (sechsmal pro Jahr). Dabei werden gut charakterisierte, kalibrierte Testproben der Referenzlaboratorien verwendet, für die Messwerte einer Kenngröße mit bekannter Messunsicherheit vorliegen, die auf ein Primärnormal rückgeführt werden können und deren Messwerte den klinischen Laboratorien nicht bekannt sind. Die erfolgreiche Teilnahme an den Ringvergleichen ist Voraussetzung für die kassenärztliche Zulassung der Laboratorien. Gegenwärtig werden in Deutschland jährlich ca. 30 000 Messungen zur Qualitätssicherung in etwa 4000 Laboratorien durchgeführt. Die Referenzwerte der Ringvergleichs-Testproben können nach Abschluss der Ringvergleiche veröffentlicht und die Testproben als Kalibratoren zur Verfügung gestellt werden.



Bild 2: Thermionen-Massenspektrometer für die Elementanalytik

Die Bedeutung der Rückführungsstruktur zeigt sich unter anderem in den komplementären Aufgaben der Laboratorien auf den verschiedenen Ebenen des Rückführungssystems sehr klar. Auf der nationalen Ebene und auch auf der Zwischenebene ist eine möglichst geringe Messunsicherheit gefragt, die mit hohem apparativen und zeitlichen Aufwand und entsprechend hohen Kosten pro Messung verbunden ist. Hier werden in der Regel massenspektrometrische Verfahren eingesetzt (Bild 2). Im Gegensatz dazu steht auf der Ebene der klinischen Laboratorien ein möglichst hoher Probendurchsatz bei gleichzeitig kostengünstigen und zuverlässigen Messungen im Vordergrund. Die gänzlich unterschiedliche Zielsetzung der Laboratorien wird besonders an der Probendurchsatzzahl der klinischen Laboratorien deutlich, die bei über 10 000 Probenmessungen pro Tag und Labor liegen kann. Auf dieser Ebene werden deshalb häufig so genannte „Testkits“ zur Analyse verwendet (z. B. Enzymimmuntests

über Antigene). Die Sicherstellung der Richtigkeit der Resultate dieser Messungen mit einer für den medizinisch-diagnostischen Zweck zulässigen Abweichung erfolgt durch die Rückführungskette.

Auswahl der Messgrößen

Für die wichtigsten Analyte in Blutserum ist eine Rückführung auf die nationalen Normale im Anhang A der Richtlinie der Bundesärztekammer verbindlich vorgeschrieben (Bild 3). Die Toleranzen für die Messgenauigkeit sind nach medizinischen Gesichtspunkten festgelegt.

Ebenso wie in anderen Bereichen der Metrologie in der Chemie ist der Aufbau von Rückführungsstrukturen für alle klinisch relevanten Analyte noch nicht möglich. Prioritäten werden hier durch die Richtlinie der Bundesärztekammer gesetzt. In der Anlage 1 zur RiLiBÄK sind dazu ca. 50 Messgrößen aufgelistet. Kriterien für die Aufnahme einer Messgröße in diese Anlage sind vor allem die Häufigkeit der Untersuchung und deren medizinische Bedeutung nach dem Stand der Wissenschaft. Die Liste der Messgrößen unterliegt somit einer fortlaufenden Überprüfung und Aktualisierung. Auch die dort festgelegten maximal zulässigen Messunsicherheiten richten sich nach den medizinischen Erfordernissen unter Berücksichtigung des Stands der Analysetechnik und werden bei Bedarf dem anerkannten Stand der medizinischen Wissenschaft und der Analysetechnik angepasst. Aber auch für die dort nicht aufgelisteten Messgrößen wird empfohlen, ebenfalls Qualitätssicherungsmaßnahmen entsprechend dieser Richtlinie anzuwenden.

Bild 3: Ausschnitt aus dem Anhang A der Richtlinie der Bundesärztekammer

1	2	3	4	5	6	7	8
Lfd. Nr.	Analyt	Größenart	Zielwert	Maximal zulässige Unpräzision	Maximal zulässige Unrichtigkeit	Maximal zulässige Abweichung des Einzelwertes	Messbereich
15	Eisen	Stoffmengenkonzentration, Massenkonzentration	SW	4 %	6 %	14 %	
16	Protein-Fractionen (Elektrophorese) - Albumin - Gamma-Globulin	Massenverhältnis Massenverhältnis	SW SW	4 % 9 %	6 % 14 %	14 % 32 %	
17	Estradiol, 17-beta	Stoffmengenkonzentration, Massenkonzentration	RMW	13 %	18 %	44 %	

Zurzeit werden nationale Normale als primäre Normale für folgende Analyte angeboten:

- PTB
Metabolite und Substrate: Cholesterol, Creatinin, Glucose, Harnsäure
Hormone: Cortisol, Progesteron
Pharmazeutika: Digitoxin
Elektrolyte: Li, Na, K, Mg, Ca, Cl
- DGKL
Metabolite und Substrate: Harnstoff, Triglycerid, Bilirubin, Lactat, Enzyme (Messgröße ist die Enzymaktivität)
Hormone: Aldosteron, Estradiol, Estriol, Testosteron, Thyroxin
Pharmazeutika: Theophyllin, Digoxin
Protein: (Gesamtanteil)

In den meisten Fällen wird die Isotopen-Verdünnungs-Massenspektrometrie (Isotope dilution mass spectrometry, IDMS) als primäre Verhältnismethode zur Darstellung der primären Normale verwendet. Eine Ausnahme ist Natrium in Blutserum, das gravimetrisch bestimmt wird, da stabile Isotope des Natriums nicht existieren.

Aufgrund des schnellen Fortschritts in der diagnostischen Medizin muss die messtechnische Kompetenz der PTB fortlaufend den veränderten Rahmenbedingungen angepasst und vorausschauend entwickelt werden. Ein Schlüsselthema ist dabei der quantitative Nachweis der so genannten diagnostischen Marker, meist „großer“ Moleküle, wie z. B. von Proteinen, die unter anderem als „Gesundheitsanzeiger“ bei Herzerkrankungen quantitativ nachgewiesen werden müssen. Solche Proteine sind Gegenstand von Forschungsarbeiten in der PTB (Bild 4).

Internationale Rückführung

Wie auch in anderen Bereichen der Metrologie wird die internationale Vergleichbarkeit der Messungen durch Schlüsselvergleiche (Key comparisons) der metrologischen Staatsinstitute im Rahmen des CCQM des CIPM festgestellt. Diese dienen auch zur Absicherung der Einträge der Messkompetenzen (Calibration and Measurement Capabilities; CMC) der metrologischen Staatsinstitute in der Datenbank beim BIPM (KCDB, Appendix C).

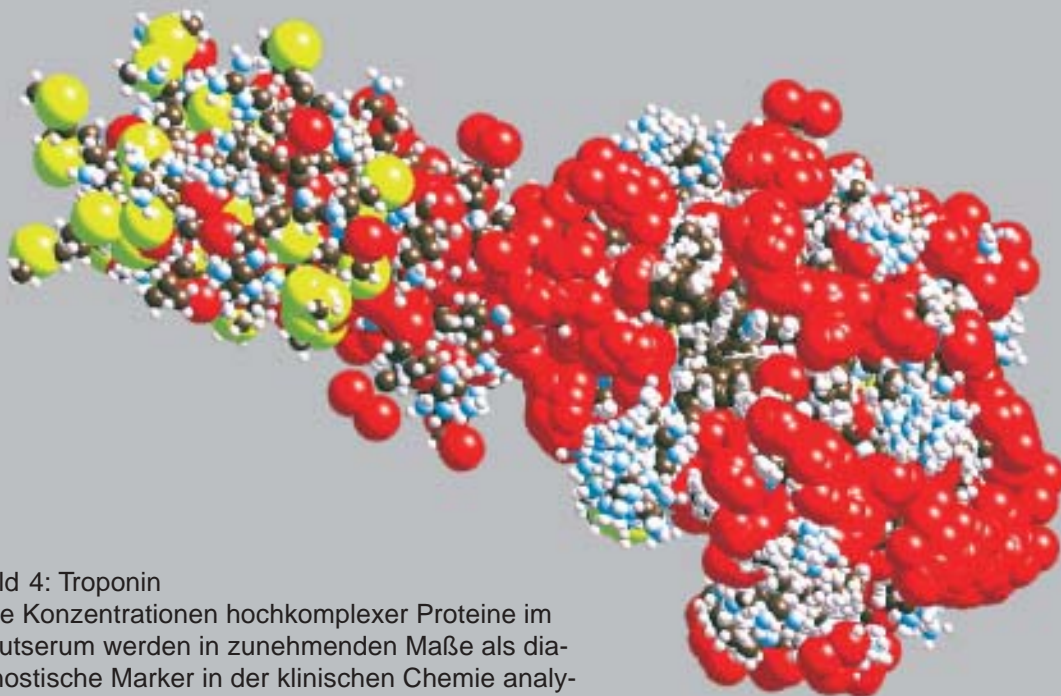


Bild 4: Troponin

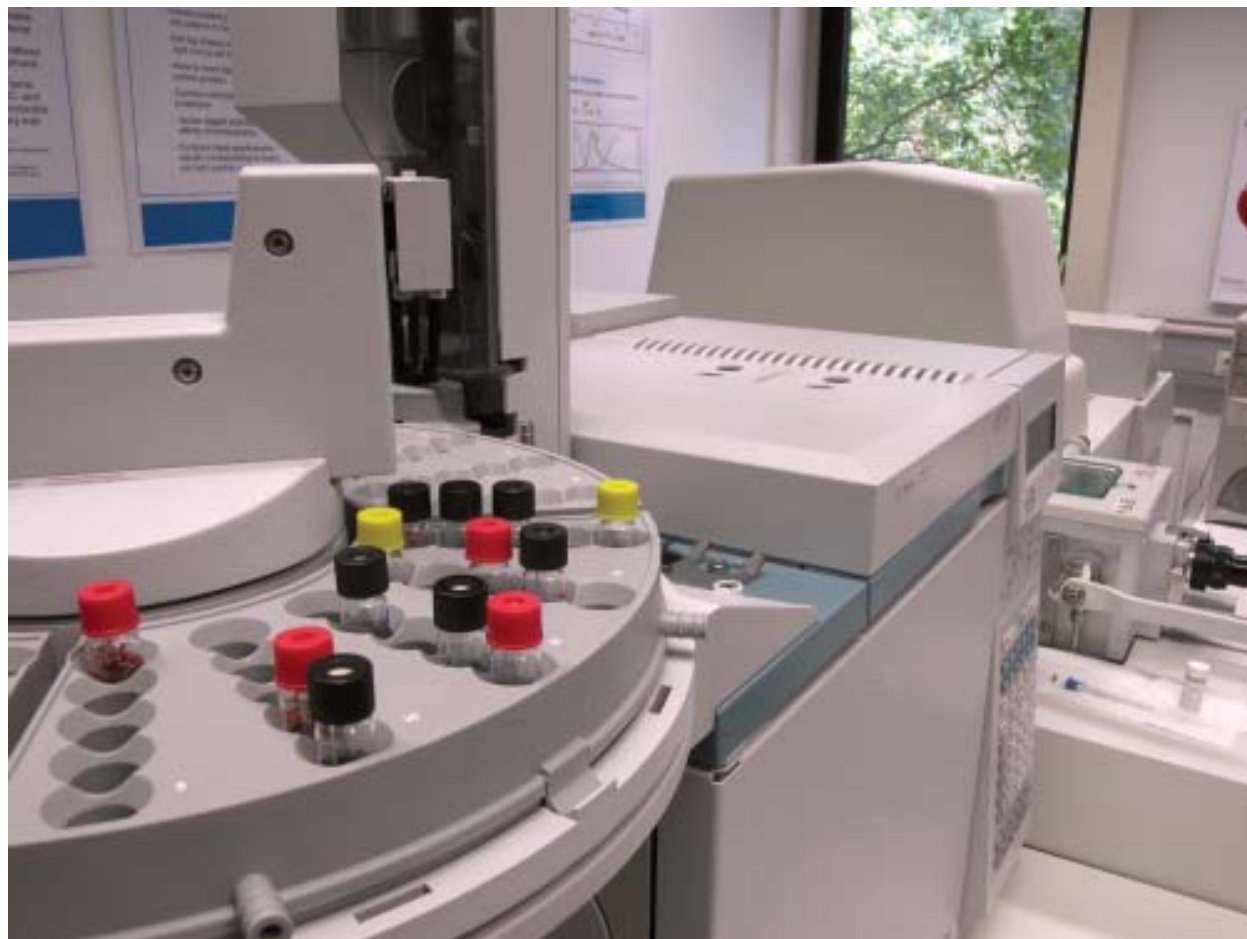
Die Konzentrationen hochkomplexer Proteine im Blutserum werden in zunehmenden Maße als diagnostische Marker in der klinischen Chemie analysiert. Das hier dargestellte Troponin ist ein sehr spezifischer Marker für Herzerkrankungen.

Inzwischen hat aber die Frage der Rückführung auch Eingang in die internationale Rechtsprechung gefunden. Hier heißt es in der Richtlinie 98/79/EC (IVD-Richtlinie) der EU: „Die Rückführbarkeit der dem Kalibriermaterial und/oder dem Kontrollmaterial zugeschriebenen Werte muss durch verfügbare Referenzmessverfahren und/oder übergeordnete Referenzmaterialien gewährleistet sein.“

Dabei blieb die Frage nach der inhaltlichen Definition von „Referenzmessverfahren und/oder Referenzmaterialien“ zunächst offen. Das Ziel, diese Definition zu erarbeiten, war eine Motivation zur Gründung des „Joint Committee on Traceability in Laboratory Medicine“ (JCTLM) im Rahmen eines Treffens beim BIPM im Juni 2002. Auf der Qualitätsebene von Referenz-/Kalibrierlaboratorien sollen hier eine größere Zahl von Laboratorien, Messverfahren und Referenzmaterialien zertifiziert und als „übergeordnete“ Referenzlaboratorien, -verfahren und -materialien z. B. der EU-Kommission empfohlen werden. Voraussetzung ist hier also nicht unbedingt der Einsatz primärer Messverfahren, wohl aber der Nachweis einer Rückführung auf das SI, wo dies möglich ist. Träger des JCTLM

sind das *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM), die *International Federation for Clinical Chemistry and Laboratory Medicine* (IFCC) und die *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC). Grundlage der Empfehlungen sind, neben verschiedenen internationalen Normen (ISO/FDIS 15193 und 15194), jährlich durchgeführte Ringvergleiche an einer größeren Auswahl von Analyten. Auch hier war die Liste der RiLiBÄK ein wichtiger Orientierungspunkt. Diese Aktivitäten ermöglichen eine zeitnahe und umfassende Einschätzung der Qualität auf internationaler Ebene. Auch die Herstellung einer internationalen Vergleichbarkeit von nicht auf das SI rückführbaren, verfahrensspezifischen Messgrößen, wie z. B. der Enzymaktivität, ist so gegeben. Dieses Forum kann auch als ein zeitnahes Instrument zur Durchführung von Vergleichsmessungen zwischen NMI und Referenzinstituten zu Akkreditierungszwecken genutzt werden (s. auch Bild 5).

Bild 5: LC-MS-Quadrupol-Massenspektrometer mit automatischer Probenzuführung



Reinheitsuntersuchungen an Wasser für pharmazeutische Produkte

Neben der Rückführung diagnostischer Messungen in Körperflüssigkeiten sind Reinheitsuntersuchungen an Referenzsubstanzen für medizinische und pharmazeutische Zwecke von großer Bedeutung. In den wachsenden Märkten der Biotechnologie/Life Sciences und „Pharma“ spielt dabei Wasser als Reinstwasser nach wie vor die entscheidende Rolle und ist bei weitem wichtiger als andere Ingredienzien von Pharmaprodukten. Es muss je nach Verwendungszweck zu gereinigtem Wasser (PW), hoch gereinigtem Wasser (HPW) oder Wasser für Injektionszwecke (WFI) aufbereitet werden. Da die Bedingungen, unter denen Pharmazeutika produziert werden dürfen, gesetzlich geregelt sind, gelten für die unterschiedlichen Wasserqualitäten besondere Qualitätsanforderungen. Diese Anforderungen sind in den amerikanischen (USP) und europäischen (Ph. Eur.) Arzneibüchern (Pharmacopöen) festgelegt. Bei Pharmaprodukten, die für den amerikanischen Markt bestimmt sind, überwacht die Food and Drug Administration (FDA, U.S.-Nahrungs- und Arzneimittelaufsicht) die Einhaltung der USP-Vorgaben. Wasser in unterschiedlicher Reinheit wird bei der Herstellung dieser Produkte und zum Reinigen von Produktionsanlagen verwendet. Die elektrische Leitfähigkeit ist neben dem TOC (total organic carbon)-Gehalt und der Keimzahl der entscheidende Parameter, mit dem die Güte des gereinigten Wassers und des Wassers für Injektionszwecke überwacht wird. Bis 1996 sah die USP Tests für Chlorid, Calcium, Ammonium, Nitrat/Nitrit und Kohlenstoffdioxid vor. Mit der USP 23 wurde diese Vielzahl von Tests auf ionische Verunreinigungen durch die „pauschale“ Messung der elektrischen Leitfähigkeit ersetzt. Die Leitfähigkeit kann kontinuierlich im laufenden Betrieb gemessen werden (so genannte „In-line-Messung“). Alle im Wasser gelösten Ionen werden summarisch erfasst. Bei einer Leitfähigkeit von $1,3 \mu\text{S}/\text{cm}$ und einem pH-Wert von 7,0 enthält das Wasser bei 25°C unter anderem noch $1,3 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ Chlorid- und $5,8 \cdot 10^{-5} \text{ mol/L}$ Natrium-Ionen. Wie die Leitfähigkeitsmessungen durchzuführen sind, ist genau vorgeschrieben. Die dafür erforder-

lichen Messeinrichtungen müssen nach entsprechenden Vorschriften kalibriert und die Rückführung der Messwerte auf ein nationales Normal nachgewiesen werden. Die Pharmacopöen schreiben z. B. für Wasser für Injektionszwecke einen Wert von $1,3 \mu\text{S}/\text{cm}$ vor. Für gereinigtes Wasser ist eine Beurteilung der Messergebnisse in drei Stufen vorgeschrieben. Dabei müssen auch die Wassertemperatur und der pH-Wert berücksichtigt werden. Die Leitfähigkeit von Reinstwasser wird immer direkt im Wasserkreislauf gemessen. Bisher erfolgt die Kalibrierung aber extern. Für die Kalibrierung im Bereich geringer Leitfähigkeiten von $< 2 \mu\text{S}/\text{cm}$ gibt es keine zuverlässigen Referenzlösungen, da die Leitfähigkeit z. B. durch das in der Atmosphäre vorhandene Kohlenstoffdioxid verändert wird. Bisher werden Referenzlösungen höherer Leitfähigkeit zur Kalibrierung der Feldmessgeräte eingesetzt, dabei wird vorausgesetzt, dass diese Kalibrierung auch in einem um drei Größenordnungen kleineren Messbereich noch Gültigkeit hat. Die PTB hat sich das Ziel gesetzt, eine primäre Durchflussmesszelle als nationales Normal zu entwickeln, um die Leitfähigkeit von Reinstwasser (theoretischer Wert $0,055 \mu\text{S}/\text{cm}$) auf die SI-Einheiten rückgeführt messen zu können. Es soll eine Kalibrierhierarchie aufgebaut werden, die die heutigen Unsicherheiten bei der Kalibrierung der Feldmessgeräte beseitigt und die strengen Anforderungen der Pharmacopöen und damit der FDA erfüllt. Die innovative Idee ist, Reinstwasser selbst als Referenzmaterial zur Kalibrierung in einem geschlossenen Kreislauf aus Wasseraufbereitung, primärer Zelle und sekundärer Transferzelle zu verwenden. Die auf diese Weise ermittelte Zellkonstante der Transferzelle kann dann verwendet werden, um kommerzielle Messzellen ebenfalls im Wasserkreislauf zu kalibrieren. Dafür muss die Temperaturabhängigkeit der Leitfähigkeit von Reinstwasser bestimmt werden, für die es bisher nur verschiedene theoretisch begründete Annahmen gibt. Es muss nachgewiesen werden, dass die geometrische Zellkonstante einer primären Durchflusszelle mit zwei nacheinander angeordneten konzentrischen Elektroden auf die Längeneinheit rückführbar gemessen werden kann.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Wärme- und Wärmestromkalibrierung dynamischer Differenzkalorimeter

Untersuchungen zeigen, dass bei dynamischen Differenzkalorimetern unabhängig vom Messprinzip signifikante Unterschiede zwischen Wärme- und Wärmestromkalibrierfaktoren auftreten, die eine der Messaufgabe entsprechende Kalibrierung der Kalorimeter unabdingbar machen. (M. Müller-Wiegand, AG 3.31, michael.mueller-wiegand@ptb.de)

Messung der Wasserdichte mit magnetischer Flotation

Mit einer neu aufgebauten Apparatur zur Dichtebestimmung nach der magnetischen Flotationsmethode wurde bei der Messung der Wasserdichte eine relative statistische Unsicherheit ($k = 1$) von $0,3 \cdot 10^{-6}$ erreicht. (H. Wolf, AG 3.32, henning.wolf@ptb.de)

Langzeitstabilität der Dichtenormale der PTB

Die Dichte-Änderung der Silizium-Dichtenormale der PTB wurde über einen Zeitraum von mehr als sieben Jahren mit Hilfe von Primäranschlüssen und Dichtevergleichsmessungen bestimmt. Es konnte bei einer Messunsicherheit von ca. 0,025 ppm/Jahr ($k = 1$) keine signifikante Drift festgestellt werden.

(H. Bettin, AG 3.33, horst.bettin@ptb.de)

Vergleich von Dichtedifferenzmessungen der PTB und des NMIJ

Die Dichteunterschiede von drei kleinen Siliziumproben wurden sowohl in der PTB als auch im NMIJ mit Hilfe der Druckflotationsmethode gemessen. Außerdem wurde mit dieser Methode die Dichte der 1-kg-Siliziumkugel AVO#1 in beiden Instituten durch Vergleich mit einem nationalen Primärnormal bestimmt und mit Ergebnissen anderer Methoden verglichen. Der größte Unterschied zwischen den Ergebnissen beträgt nur 0,18 ppm.

(H. Toth, AG 3.33, hans.toth@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

DIN-Kurs zur Messunsicherheit in der Chemie etabliert

Gemeinsam mit dem *Deutschen Institut für Normung* (DIN), dem *Landesamt für Mess- und Eichwesen Thüringen* (LMET) und der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) wurde ein Workshop für Testlaboratorien zur Messunsicherheit in der Chemie organisiert und durchgeführt.

(B. Güttler, FB 3.1, bernd.guettler@ptb.de)

Erste internationale Vergleichsmessungen des JCTLM erfolgreich abgeschlossen

Im Rahmen des im Jahr 2002 gegründeten „Joint Committee for Traceability in Laboratory Medicine“ (JCTLM) wurden erstmals weltweite Vergleichsmessungen für nationale Metrologieinstitute und medizinische Referenzinstitute für eine Anzahl der wichtigsten klinischen Analyte (sowohl auf das SI rückführbare als auch nicht-rückführbare) durchgeführt.

(B. Güttler, FB 3.1, bernd.guettler@ptb.de)

Nationale Normale für die Messgrößen Harnstoff und Harnsäure in Serum und anderen Körperflüssigkeiten etabliert

Für Harnstoff und Harnsäure wurden im laufenden Jahr zwei weitere Messverfahren für klinisch wichtige Analyte in die PTB-Praxis übernommen und stehen für Zwecke des Messvergleichs bzw. der Kalibrierung auf höchstem metrologischem Niveau zur Verfügung.

(A. Henrion, AG 3.12, andre.henrion@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Erste vollständige Rückführungskette in der analytischen Chemie – Elementkalibrierlösungen

Mit der Akkreditierung des chemisch-analytischen Laboratoriums der Firma *Merck* als Kalibrierlaboratorium des DKD konnte die erste vollständige Rückführungskette in der chemischen Analytik, die das Messergebnis im Feld mit der SI-Einheit Mol verknüpft, realisiert werden.

(D. Schiel, AG 3.11, detlef.schiel@ptb.de)

Kooperation mit der Deutschen Landwirtschafts-Gesellschaft e. V. (DLG)

Es wurde eine Kooperation mit der DLG hinsichtlich der Überprüfung von Kalibriermodellen von Getreidefeuchtemessgeräten im Rahmen der Zulassung zur innerstaatlichen Eichung vereinbart.

(P. Ulbig, FB 3.2, peter.ulbig@ptb.de)

Transfornormale in der Gasanalytik – BMWA-Projekt mit den Partnern BAM und Wösthoff Messtechnik GmbH

Es wurde die Eignung von Gasmischpumpen zur dynamisch-volumetrischen Herstellung von hochgenauen Kalibriergasgemischen untersucht. Unter Beachtung des Funktionsprinzips können mit Hilfe der Gasmischpumpen relative Unsicherheiten der Gasgemischzusammensetzung von $\leq 0,5\%$, unter Verwendung einer speziellen Peripherie sogar relative Unsicherheiten von $\leq 0,2\%$ erreicht werden.

(D. Knopf, AG 3.21, dorothea.knopf@ptb.de)

Viskosimetrische Daten umweltverträglicher Schmierstoffe

Die Viskosität unter Druck bis 100 MPa wurde an zehn Motorölen gemessen, daneben Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit und Dichte. Die Ermittlung dieser Stoffeigenschaften im Rahmen eines BMWA-Projekts mit der BAM und vier Industriepartnern eröffnet die Möglichkeit des Einsatzes nicht umweltgefährdender Schmierstoffe in der Fahrzeugtechnik und ist daher ein nachhaltiger Beitrag zum Umweltschutz.

(R. Schmidt, G. Klingenberg, AG 3.34, roland.schmidt@ptb.de)

Flammendurchschlagsverhalten von langsamen Deflagrationen

Im Rahmen der Normung von Flammendurchschlagsicherungen wurde das unerwartete Durchschlagsverhalten bei milden Belastungen mit langsamen Deflagrationen diskutiert. An einer transparenten Modellsicherung konnte das genannte Phänomen reproduziert werden. Aus gleichzeitigen Aufnahmen des Explosionsdrucks und des Flammenfortschritts mit einer Hochgeschwindigkeitskamera ergaben sich entscheidende Hinweise auf die notwendigen Randbedingungen und die zugrundeliegenden Mechanismen für den ungewöhnlichen Flammendurchtritt.

(H. Förster, AG 3.42, hans.foerster@ptb.de)

Quantitative NO-LIF Messungen in heißen reaktiven Strömungen

Durch eine neuartige Auswertungsmethode können aufgrund von berechneten Korrelationen quantitative Messungen der Mischungsprozesse von heißem Abgas mit unverbranntem explosionsfähigem Gasgemisch durchgeführt werden, mit deren Hilfe die dabei ablaufenden Zündprozesse detailliert untersucht werden können.

(D. Markus, AG 3.52, detlef.markus@ptb.de)

Zündfähigkeit von hochfrequenten Hochspannungsvorentladungen und Funken im explosionsgefährdeten Bereich

Hochfrequente Hochspannungsvorentladungen und Funken wurden hinsichtlich ihrer Zündwirksamkeit mit verschiedenen Methoden untersucht. Das Temperaturfeld um eine Entladung wurde mit Rayleighstreuung gemessen und der Energieeintrag in die Gasphase aus dem aufgeheizten Volumen berechnet. Die Messungen dienen der Bewertung des Gefahrenpotenzials von elektrischen Maschinen im explosionsgefährdeten Bereich; gleichzeitig sollen die Messwerte mit numerischen Simulationsrechnungen verglichen werden.

(F. Lienesch, AG 3.72, frank.lienesch@ptb.de)

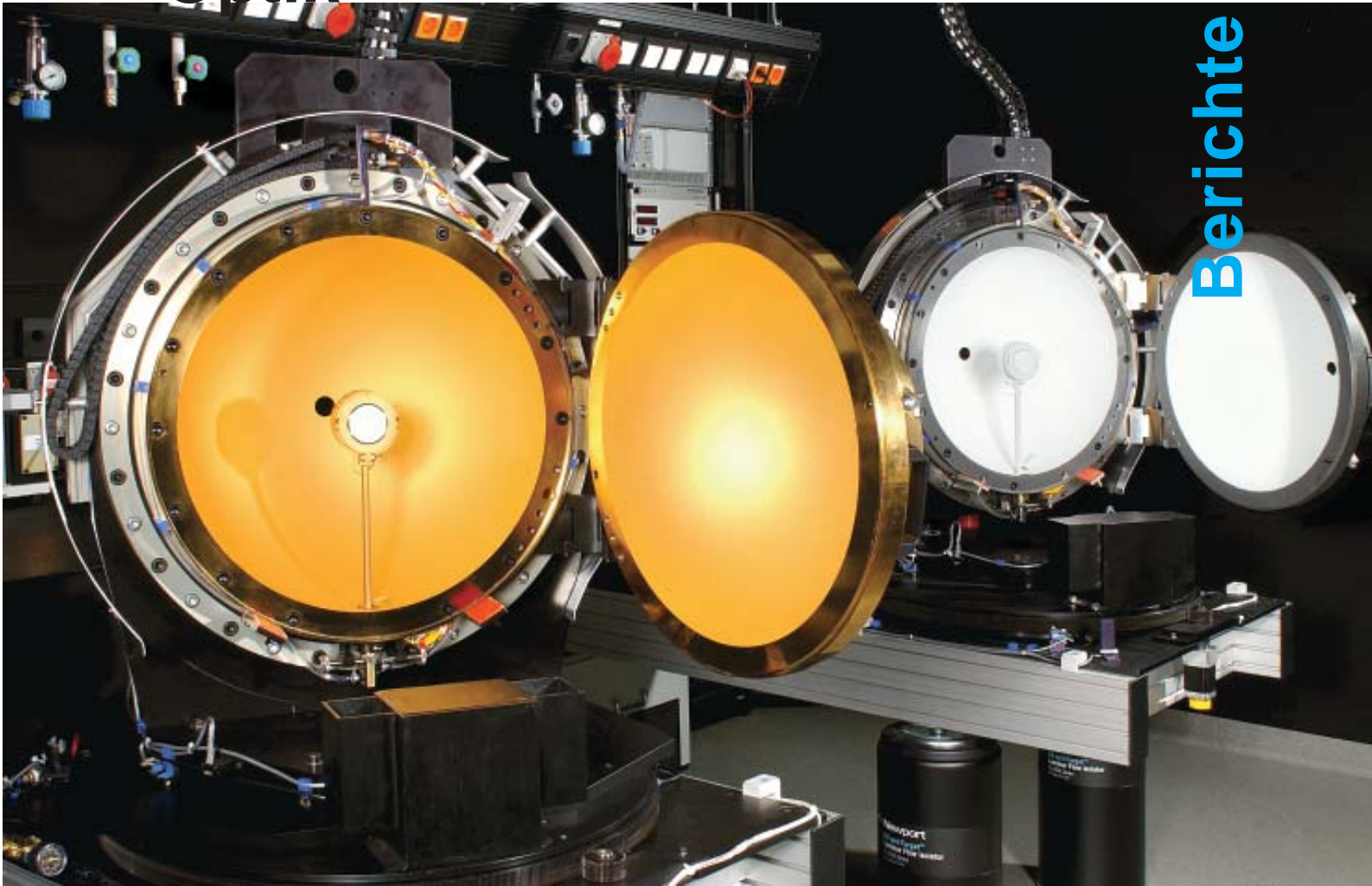
Internationale Angelegenheiten

Zuverlässigkeit des in der PTB entwickelten primären Verfahrens zur Messung der elektrolytischen Leitfähigkeit auch für geringe Leitfähigkeiten bestätigt

Die Zuverlässigkeit der in der PTB entwickelten neuartigen primären Messzelle zur Bestimmung der elektrolytischen Leitfähigkeit wurde auch für den Bereich kleiner Leitfähigkeiten in internationalen Vergleichsmessungen bestätigt.

(P. Spitzer, AG 3.13, petra.spitzer@ptb.de)

Optik



Berichte der Abteilungen

Abteilung



4

Optik

Die Abteilung *Optik* bearbeitet in ihren fünf Fachbereichen *Photometrie und angewandte Radiometrie*, *Bild- und Wellenoptik*, *Längeneinheit und Quantenoptik*, *Zeit und Frequenz* sowie *Optische Technologien* ein breites Spektrum von Aufgaben aus den vier Geschäftsfeldern der PTB: Grundlagen der Metrologie, Metrologie für die Wirtschaft, Metrologie für die Gesellschaft und Internationale Angelegenheiten.

Zu den Aufgaben gehört in besonderem Maße die Darstellung und Weitergabe der Einheiten im Messwesen, bei der die Abteilung *Optik* mit der Sekunde, dem Meter und der Candela drei von sieben Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) sowie die davon abgeleiteten Einheiten darstellt und weitergibt. Dabei kommt neben der Entwicklung höchstgenauer Normale der kostengünstigen und zuverlässigen Weitergabe der Einheiten höchste Bedeutung zu und zwar mit der von den unterschiedlichen Kunden benötigten Genauigkeit. Ein zweiter Schwerpunkt liegt in der Entwicklung neuartiger optischer Messmethoden für ausgesuchte Gebiete mit besonderer volkswirtschaftlicher oder gesellschaftlicher Bedeutung. Unter dem gleichen Ziel steht die Beratung von Kunden und Politikern auf nationaler und internationaler Ebene im Rahmen eines weltweit einheitlichen Messwesens.

Die wichtigsten Entwicklungen und Fortschritte in diesen Bereichen im Jahr 2004 werden im Folgenden nach Fachbereichen gegliedert dargestellt.

Photometrie und angewandte Radiometrie

Die Darstellung, Bewahrung und Weitergabe verschiedenster untereinander verknüpfter photometrischer und dazugehöriger radiometrischer Einheiten im Wellenlängenbereich oberhalb von etwa 200 nm sind Hauptaufgaben des Fachbereichs. Weitere radiometrische Aufgaben, besonders im kurzwelligeren Spektralbereich und im Zusammenhang mit der Strahlungsthermometrie, werden in der Abteilung *7 Temperatur und Synchrotronstrahlung* der PTB bearbeitet. Aus der angewandten Radiometrie werden hier Schwerpunkte der Arbeit im Bereich der Laserradiometrie, der Photovoltaik und der UV-Dosimetrie vorgestellt.

In Deutschland als einem der weltweit größten Hersteller von Industrielasern kommt der Laserradiometrie bei verschiedenen Wellenlängen und besonders hoher Leistung und Energie besondere Bedeutung zu. Im Jahr 2004 wurde ein vom BMBF gefördertes Vorhaben „Energie und Leistungsmessung von UV-Lasern unterhalb von 200 nm“ erfolgreich abgeschlossen. In dessen Verlauf wurde ein neues Empfängernormal für die Messung der Laserleistung bei 157 nm entwickelt (Bild 1), das bis zu mittleren Leistungen von 0,8 W mit einer relativen Unsicherheit von 1 % eingesetzt werden kann.

Kalibrierungen bei höherer Leistung bis 3,2 W sind mit Hilfe eines Sekundärnormals möglich. Damit bietet die PTB als einziges europäisches metrologisches Institut bei allen kommerziellen Excimerlaserlinien Kalibriermöglichkeiten an. Auch für die World PhotoVoltaic Scale (WPVS) ist die PTB in Europa das einzige „standardisierte Labor“. Die WPVS ist eine Skala für Messungen der Eigenschaften von photovoltaischen Referenzzellen, die durch Ringvergleiche einer Gruppe primärer Referenzzellen etabliert wurde und auf das Internationale Einheitensystem rückführbar ist.

Titelbild
Messplatz zur Bestimmung des spektralen Strahl-
dichtefaktors mit integrierenden Kugeln für den
infraroten und sichtbaren Spektralbereich

Technische Anwendungen von UV-Strahlung bei hohen Bestrahlungsstärken bis in den Bereich mehrerer kW/m^2 , wie bei der Entkeimung von Wasser oder dem Härten von Kunststoffen, benötigen in immer stärkerem Maße eine quantitative und rückführbare Messtechnik. Im Ergebnis der Befragung potentieller Anwender, Hersteller und nach Abstimmung mit anderen Metrologieinstituten ergab sich der dringende Bedarf für eine solche UV-Dosimetrie. Neben den unmittelbaren Vorarbeiten kommt dem Einstieg in die UV-Dosimetrie zugute, dass die PTB bereits auf mehreren überlappenden Arbeitsbereichen erfolgreich tätig ist, wie der Solarzellenradiometrie oder der Hochleistungs-Laser-radiometrie, und im neu bezogenen Albert-Einstein-Bau jetzt hervorragende Messmöglichkeiten besitzt.

Vom 5. bis 8. Oktober 2004 wurde von der PTB erstmalig ein Photometrie-Seminar durchgeführt (Bild 2), um dem auch von der Agenda für die optischen Technologien des 21. Jahrhunderts angemahnten steigenden Bedarf an qualifizierter Aus- und Weiterbildung in diesem Zukunftsfeld Rechnung zu tragen. Der Intensivkurs für Wissenschaftler und Ingenieure mit je einem zweitägigen Theorie- und Praxisteil war der erste seiner Art im deutschen Sprachraum. Die Laborversuche während des Praxisteils wurden an den im letzten Jahr eingerichteten neuen Messplätzen des Albert-Einstein-Baus durchgeführt. Die große Nachfrage mit einem beträchtlichen Teil von Teilnehmern außerhalb Deutschlands belegen den kontinuierlichen Bedarf einer solchen Veranstaltung, die fortgesetzt werden soll.

Bild- und Wellenoptik

Im Fachbereich werden Grundlagenuntersuchungen und neuartige Messverfahren zur ultrapräzisen optischen Formmessung von Planflächen, Sphären, Asphären und Freiformflächen entwickelt mit Unsicherheiten in der Größenordnung von nm und Sub-nm an optischen Oberflächen. Für die quantitative Mikroskopie mit der Rückführung auf die SI-Einheit Meter werden Oberflächenstrukturen im μm - und Sub- μm -Bereich charakterisiert und kalibriert. Darüber hinaus werden spezifische Messaufgaben zur optischen Übertragungsfunktion, bei der analogen und digitalen Bildgebung in der Medizin sowie bei der

Transmission von strahlformändernden optischen Komponenten sowie in Polarimetrie und Refraktometrie wahrgenommen. Sowohl im Bereich der genauen Messung der Form großer Messflächen als auch bei der quantitativen Bestimmung mikroskopischer Strukturen wurden wesentliche Fortschritte erzielt.

Ein prinzipielles Problem der optischen Mikroskopie stellt die im Vergleich zu den immer kleiner werdenden Mikro- und Nanostrukturen, die mit optischer Strahlung charakterisiert werden sollen, „zu große“ Wellenlänge der Strahlung dar. Obwohl die Elektronenmikroskopie, Rasterkraftmikroskopie und Verfahren, die Röntgenstrahlung nutzen, höhere Auflösungen erlauben und in breitem Maß eingesetzt werden, wird beispielsweise bei empfindlichen Proben aus dem Bereich der Lebenswissenschaften oder der Lithographie vorzugsweise optische Strahlung verwendet, um Objektschädigungen zu vermeiden.

In Kooperation mit Partnern aus Industrie und Forschung hat die PTB zu dieser Problemstellung im Jahr 2004 ein vom *Bundesministerium für Forschung und Bildung* gefördertes Projekt erfolgreich abgeschlossen. Im Projekt wurden Korrekturverfahren entwickelt, die auf rigorosen Rechnungen unter Einschluss der physikalisch-optischen Effekte beruhen, um beispielsweise den Einfluss von Polarisation, Streufeldresonanzen oder Materialabhängigkeiten auf das erzeugte Bild quantitativ zu bestimmen und zu korrigieren. In einem anderen Projekt der PTB mit Industriepartnern werden rückgeführt kalibrierte Strukturbreitennormale und neue Teststrukturen für die mit verschiedenen neuen Mikroskopietechniken erreichte Auflösungen entwickelt und charakterisiert.

Für die genaue Messung von nahezu ebenen Flächen, Asphären oder Freiformflächen wurden im Fachbereich in jüngster Zeit verschiedene neue Messmethoden mit kleinen Unsicherheiten entwickelt (s. Jahresberichte 2002 und 2003). Gegenwärtig werden mehrere dieser Verfahren in Messeinrichtungen erprobt (Bild 3) oder in Kooperationen mit der Industrie direkt für den industriellen Einsatz weiterentwickelt.

Bei der Messung der Form größerer optischer Funktionsflächen werden häufig Verfahren

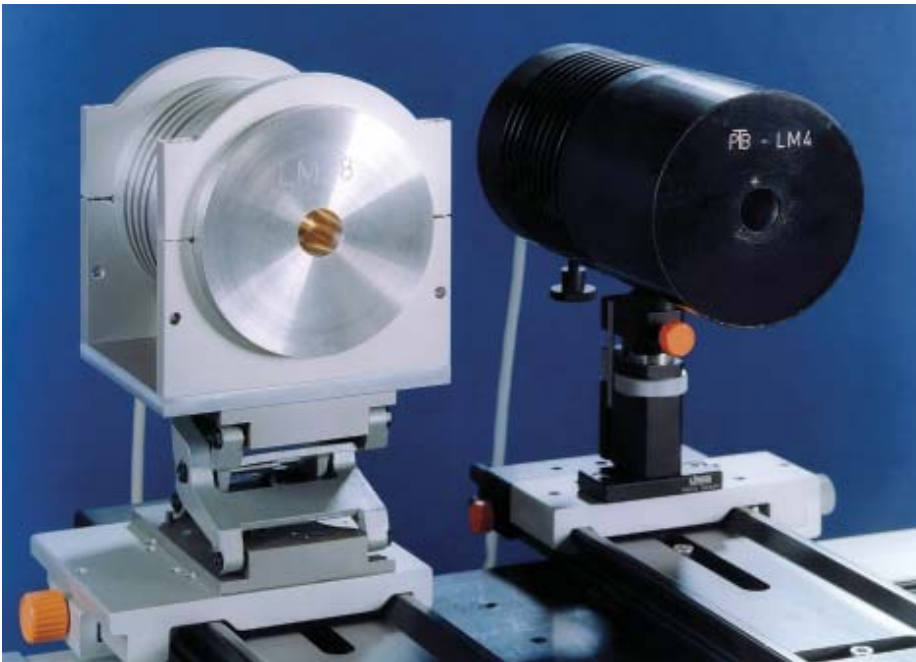


Bild 1: Empfängernormale zur Messung der mittleren Leistung von Fluorid- und Excimerlasern
links: LM8 für 157 nm (F₂-Laser)
rechts: LM4 für Excimerlaser (193 nm, 248 nm, 308 nm, 351 nm)



Bild 2: Teilnehmer des Photometrie-Seminars



Bild 3: Messeinrichtung zur Charakterisierung von Ebenheitsnormalen

eingesetzt, die die Gesamtfläche mit Sensorsystemen abrastern und dabei Teilflächen untersuchen, die anschließend die Form der Gesamtfläche ergeben sollen. Um die dabei oft verfälschenden Fehlereinflüsse des Sensors und der Verschiebeeinheit zu vermeiden, wurde in der PTB ein neues Multisensor-Prinzip entwickelt, das einen zusätzlichen Winkelsensor nutzt. Für lineare Scansysteme wurde ein angepasstes Auswerteverfahren entwickelt, von dem gezeigt wurde, dass Fehler von Sensorensystem und Führung in erster Ordnung die Messung nicht verfälschen. Da modellmäßige Abschätzungen Messunsicherheiten im Nanometer- und Subnanometerbereich erwarten lassen, wird das Verfahren in eine neue Messeinrichtung der PTB für große Referenzflächen implementiert werden.

Längeneinheit und Quantenoptik

Der Fachbereich stellt Wellenlängen- und Frequenznormale vom optischen bis in den röntgenoptischen Bereich bereit und entwickelt neuartige Methoden der Längenmessung und -weitergabe. Seit die Längeneinheit „Meter“ über die Festlegung des Wertes der Lichtgeschwindigkeit an die Zeiteinheit gekoppelt wurde, dienen frequenzstabilisierte Laser einerseits als Wellenlängennormale für die genauesten praktischen Längenmessungen im Labormaßstab. Andererseits erwartet man, dass sie zukünftig als optische Uhren eine weiter verbesserte Zeit- und Frequenzdarstellung erlauben. Daher werden optische Frequenznormale gemeinsam mit dem Fachbereich *Zeit und Frequenz* bearbeitet.

Mit Frequenzkämmen, die aus den kohärenten Impulsen eines Femtosekundenlasers erzeugt werden, lassen sich aus optischen Frequenzen wie in einem „Uhrwerk“ Sekundenimpulse erzeugen. Gleichzeitig lassen sich optische Frequenzen über den ganzen optischen Spektralbereich direkt miteinander vergleichen. Damit wird die Verknüpfung von optischen Uhren und Wellenlängenstandards für die Längeneinheit noch enger. Die Kombination aus einem frequenzstabilen Oszillator im Mikrowellen- oder optischen Spektralbereich und einem Femtosekundenfrequenzkamm stellt eine Uhr dar und genügt prinzipiell, um die unterschiedlichen, früher gebräuchlichen Wellenlängennormale zu ersetzen.

Bei der Verfolgung dieses Konzepts sind Femtosekundenlaser auf der Basis von Faserlasern den bisher benutzten Ti:Saphir-Lasern hinsichtlich Preis, Energieverbrauch, Größe und Dauerbetriebsfestigkeit überlegen. In Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Leitenstorfer von der *Universität Konstanz* wurde daher ein modengekoppelter erbiumdotierter Faserlaser für diesen Einsatz optimiert. Einen Durchbruch in der optischen Frequenzmetrologie stellt die mit diesem Laser durchgeführte direkte Kopplung der optischen Frequenz eines Lasers einer (roten) Wellenlänge von 657 nm mit der eines Infrarotlasers bei 1,5 μm mit tagelangem unterbrechungsfreien Betrieb dar (Bild 4).

Damit rücken die dauerbetriebsfesten optischen Atomuhren näher, die nach heutiger Kenntnis den gegenwärtig gebräuchlichen Caesiumatomuhren, die im Mikrowellenbereich arbeiten, überlegen sein werden. Für optische Uhren gibt es ein neues Konzept, das die Vorteile von Systemen, die ein einzelnes Ion benutzen, und solchen, die mit einem Ensemble von neutralen Atomen arbeiten, vereinigt. Um lange Wechselwirkungszeiten und hohe Stabilität zu erhalten, werden dabei die Atome in einem optischen Gitter gespeichert, dessen so genannte „magische“ Wellenlänge so gewählt wird, dass die beiden Energiezustände, die durch den Uhrenübergang gekoppelt werden, exakt gleich verschoben werden. Diese magische Wellenlänge wurde in der PTB für den Uhrenübergang des Calciumfrequenznormals (657 nm) erstmals gemessen. Nachdem zusätzlich gezeigt werden konnte, dass die in zwei Stufen bis auf etwa ein hunderttausendstel Grad über dem absoluten Nullpunkt gekühlten Atome in eine Dipolfalle transferiert werden können, sind die prinzipiellen Schwierigkeiten für das Konzept der optischen Gitteruhr überwunden.

Die im Vergleich zu optischer Strahlung um Größenordnungen geringere Wellenlänge der Röntgenstrahlung stellt einen Maßstab im Nanometerbereich dar, der prinzipiell die Messung von Längenänderungen mit sonst unbekannter Auflösung und Genauigkeit erlaubt. In verschiedenen Industriekooperationen wird gegenwärtig die Nutzung von Röntgeninterferenzen für Messaufgaben untersucht, die mit anderen Methoden nicht

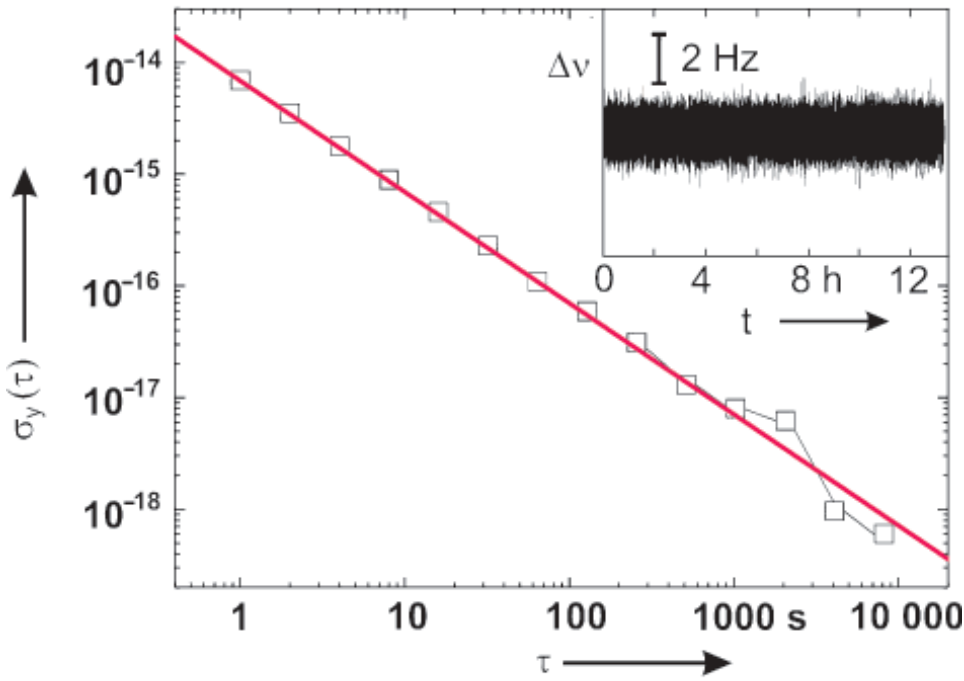


Bild 4: Restliche Schwankungen der Frequenz zweier über einen Frequenzkamm phasengekoppelter Laser (Einsatzbild) und daraus abgeleitete relative Instabilität

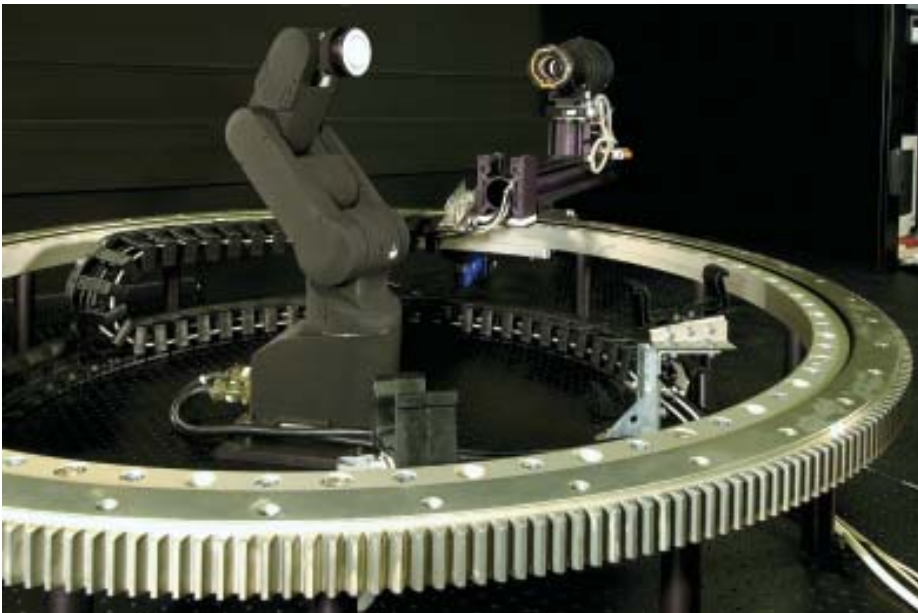


Bild 5: Gonioreflektometer zur Messung der optischen Eigenschaften von reflektierenden Materialien



Bild 6: Prototyp einer Messeinrichtung zur Prüfung reflektierender Oberflächen

bearbeitet werden konnten. Bei der Messung größerer Verschiebungen stellte bisher die mit der Röntgeninterferometrie verbundene geringe Verfahrensgeschwindigkeit von wenigen Nanometern in der Sekunde ein Problem dar, das von den geringen Photonenflüssen typischer Laborröntgenquellen herrührt. Durch eine Änderung der Datenaufnahme und -analyse konnte die Messgeschwindigkeit um mehr als zwei Größenordnungen gesteigert werden. Bei dem neuen Verfahren wird die Autokorrelationsfunktion der mit konstanter Geschwindigkeit sequentiell aufgenommenen Photonenraten bestimmt. Von dem Verfahren werden zukünftig besonders Messungen an zweidimensionalen Strukturen profitieren, da solche Messungen jetzt in vielen Fällen erst praktisch möglich werden.

Zeit und Frequenz

Die höchste Genauigkeit der Messungen physikalischer Größen in den unterschiedlichsten Bereichen von Forschung und Technologie wird immer dann erreicht, wenn diese auf Zeit- und Frequenzmessungen zurückgeführt werden können. Durch das Zeitgesetz der Bundesrepublik Deutschland von 1978 wurde der PTB eine besondere Stellung bei der Darstellung und Weitergabe der gesetzlichen Zeit zugewiesen. Die PTB erfüllt diese Verpflichtung dadurch, dass sie sowohl die genauesten Uhren weiterentwickelt als auch die damit erzeugte Zeit und Frequenz verlässlich, kostengünstig und in technisch möglichst einfacher Weise weitergibt.

In Deutschland und Europa wird die Zeit durch die PTB mit verschiedenen Methoden verbreitet. Dazu gehören die Zeitinformation über das öffentliche Telefonnetz, über das Internet mit mehr als 10 Millionen Zugriffen pro Tag oder über den Langwellensender DCF77 in der Nähe von Frankfurt/Main, der etwa 20 Millionen Empfänger in Europa erreicht. Damit stellt die PTB überall in Deutschland die Zeitinformation für Gesellschaft, Wirtschaft und private Nutzer mit unterschiedlichen Genauigkeitsanforderungen praktisch kostenlos oder sehr preisgünstig zur Verfügung, mit hohem Nutzen für Infrastruktur und Volkswirtschaft. Der Nachweis der verlässlichen langjährigen Bereitstellung der Zeitinformation über DCF77 hat jüngst dazu geführt, dass in einem Feldversuch im Auftrag des *Innenministeriums*

erkundet wurde, inwieweit der Zeitzeichensender auch für die Aussendung von Warnhinweisen an die Bevölkerung genutzt werden kann. Eine alternative Methode der Zeitverbreitung, nämlich über Satellitennavigationssysteme, wird auf Grund der immer preisgünstigeren Empfänger und des geplanten rein zivilen europäischen Systems GALILEO in immer stärkerem Maß die bisherigen Methoden ergänzen und neue Möglichkeiten bieten. Gegenwärtig ist die PTB an der Ausarbeitung der Konzepte und den entsprechenden Tests für die wesentlichen Subsysteme für die Zeitskalenerstellung und -verteilung in GALILEO aktiv beteiligt.

Die Atomuhren der PTB tragen wesentlich zur koordinierten Weltzeit (UTC) bei. Die steigenden Anforderungen an UTC, z. B. durch die Satellitennavigationssysteme, machen es notwendig, die Zeitskalen der einzelnen Zeitinstitute weltweit in regelmäßigen Abständen immer genauer zu vergleichen. Die bisher beste Methode mit den kleinsten Unsicherheiten stellen so genannte Zweiwegzeit- und Frequenzvergleiche über Satelliten dar, bei denen die Zeitsignale von den beteiligten Instituten zur gleichen Zeit über den gleichen Satelliten übertragen werden. Die PTB war in den letzten Jahren an prominenter Stelle in solche Vergleiche eingebunden (s. Jahresbericht 2002). Allerdings gibt es für solche Messungen bisher keine regelmäßige direkte Satellitenverbindung zwischen Europa und dem fernen Asien, die an die Qualität der Verbindungen zwischen Europa und den USA oder den USA und dem pazifischen Raum heranreicht. Nachdem im Jahr 2004 eine Verbindung zwischen der PTB und dem taiwanesischen Institut erfolgreich getestet wurde, soll jetzt darauf aufbauend eine dauerhafte Verbindung zwischen dem asiatisch-pazifischen Raum und der PTB realisiert werden.

In der Grundlagenforschung hat die Entwicklung immer genauerer Uhren und Frequenznormale von jeher neue Untersuchungen erlaubt, die das Vertrauen in die Gültigkeit physikalischer Theorien verbesserten oder zum Ausschluss bestimmter Hypothesen führten. Die Erfolge bei der Darstellung und Weitergabe der Maßeinheiten in den letzten Jahrzehnten war im Wesentlichen darin begründet, dass diese auf Naturkonstanten

zurückgeführt werden konnten. In diesem Sinne ist es von wesentlicher Bedeutung für die Metrologie, inwieweit diese Naturkonstanten zeitlich konstant sind, da neuere Theorien, die versuchen die Gravitation mit den anderen Wechselwirkungen zu vereinigen, eine Zeitabhängigkeit erlauben oder gar fordern. Der Vergleich der Frequenzen verschiedener Frequenznormale, bei denen die Übergangsfrequenz des Uhrenübergangs in unterschiedlicher Weise von den Naturkonstanten abhängt, könnte einen ersten Hinweis auf deren mögliche Zeitabhängigkeit geben. Aus dem Vergleich der Frequenzen verschiedener optischer Frequenznormale, darunter dem Yb^+ -Einzelionennormal der PTB, konnte gezeigt werden, dass sich beispielsweise die Sommerfeldsche Feinstrukturkonstante, durch die die Energien der Niveaus in der Atomhülle bestimmt werden, in der Gegenwart um weniger als $2 \cdot 10^{-15}/\text{Jahr}$ ändert (s. Nachrichten des Jahres).

Optische Technologien

Der im Rahmen der Strukturreform der PTB neu eingerichtete Fachbereich *Optische Technologien* greift neben seinen Aufgaben im Bereich der Messtechnik für optische Reflexion, Streuung und Transmission neue Aufgaben in der mikrooptischen Messtechnik auf. Auf beiden unterschiedlichen Feldern wurden im vergangenen Jahr wesentliche Erfolge erzielt.

Die genaue Kenntnis der diffusen Reflexion von Licht an den unterschiedlichsten Materialien hat eine hohe wirtschaftliche Bedeutung in der Papier-, Textil- oder Farbenindustrie. Für die genaue Rückführung der Messgrößen werden so genannte „Weißstandards“ eingesetzt, die in standardisierten Messgeometrien kalibriert werden. Im Albert-Einstein-Bau der PTB, dem neuen Gebäude für die Optik, konnten nun zwei neue Messplätze entwickelt und in Betrieb genommen werden. In einem werden die Proben im Innern einer reflektierenden Kugel aus einem Halbraum diffus bestrahlt und die reflektierte Strahlung unter einem kleinen Winkel zur Probenoberfläche gemessen (Titelbild). Diese Kugel deckt den sichtbaren Spektralbereich und das nahe UV bis herab zu etwa 250 nm ab; mit der zweiten goldbeschichteten Kugel sind Reflexionsmessungen bis etwa 5 μm möglich.

Im einem so genannten Gonioreflektometer (Bild 5) dagegen befindet sich die Probe dreh- und schwenkbar auf einem Roboterarm. Dabei wird sie aus einer frei wählbaren Richtung bestrahlt und der von der Probe in eine definierte Richtung reflektierte Strahlungsanteil bestimmt. Mit den neuen Messplätzen mit ihrem hohen Automatisierungsgrad ist die PTB für die zukünftigen Anforderungen hinsichtlich der erforderlichen kleineren Unsicherheiten bestens gerüstet, da diese auch die Durchführung von besonderen Messaufgaben in den verschiedensten Aufgabenfeldern erlauben. Anwendungen im vergangenen Jahr reichten von der quantitativen Charakterisierung des Glanzes von Edelstahloberflächen als Vorstufe einer automatischen Qualitätssicherung bis zur Nutzung der optischen Reflexionseigenschaften von Münzoberflächen als Selektionskriterium in Münzprüfern (Bild 6).

In der Arbeitsgruppe *Mikrooptische Messtechnik* kombiniert die PTB ihr messtechnisches Know-How für neue anspruchsvolle Anwendungen auf den optischen Zukunftsfeldern. Ein durch einen Femtosekundenlaser erzeugter und in einer mikrostrukturierten Faser spektral verbreiteter Frequenzkamm stellt neben seiner Nutzung als optischer Frequenzteiler eine „neue Art von Weißlicht“ dar, dessen Anwendungspotential für die präzise Messtechnik bisher noch nicht annähernd ausgelotet worden ist. Neben der Phasenkohärenz zwischen Frequenzkomponenten in sehr unterschiedlichen Spektralbereichen erlaubt dieses Licht die Trennung von Spektralkomponenten mit Genauigkeiten, wie sie sonst nur aus der Frequenzmetrologie im Mikrowellenbereich bekannt sind.

Eine neue Einsatzmöglichkeit ergibt sich für die chemische Bildgebung, bei der die Schwingungsenergien bestimmter Molekülarten selektiv durch Laserstrahlung angeregt werden können. Das so genannte „Coherent Anti-Stokes-Raman Spectroscopy“ (CARS)-Signal, das gegenüber der Frequenz des anregenden Laserstrahls um die entsprechende Frequenz blau verschoben ist, ist ein Maß für die Konzentration des betreffenden Stoffs. Ein in der PTB neu entwickeltes Prinzip zur Steigerung der Empfindlichkeit durch Heterodyndetektion wurde in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe von Prof. Riedle an der

Ludwig-Maximilians-Universität München experimentell umgesetzt. Bei diesem Konzept wird die Kohärenz zwischen dem anregenden und dem CARS-Signal ausgenutzt, indem das letztere durch Schwebung mit einem zum anregenden Feld phasenkohärenten Lokaloszillatorsignal detektiert wird. Die Methode hat mehrere Vorteile; sie erlaubt eine Detektion bei hohen Frequenzen, hohem Lokaloszillatorsignal und kleiner Detektionsbandbreite, was zu geringem technischen Rauschen, wenig Hintergrundsignal und geringem Quantenrauschen führt. Ausgehend von einem Superkontinuum eines spektral verbreiterten Frequenzkamms, wurden im Experiment gleichzeitig selektiv drei Spektralbereiche verstärkt. Die ersten beiden erzeugen das CARS-Signal, dessen Schwebungsfrequenz mit dem dritten erzeugt wurde. Dabei konnte nachgewiesen werden, dass die Superkontinuumserzeugung mit anschließender parametrischer Verstärkung die Kohärenz erhält (Bild 7), was nun auch die technische Realisierung eines praktischen Heterodyn-CARS-Mikroskops erlaubt.

In Kombination mit einer speziellen zeitverzögerten Detektionsmethode wurde gezeigt, dass die neue Methode beim Nachweis spezieller gelöster Substanzen sowohl der konventionellen als auch der CARS-Mikroskopie überlegen ist. Diese Arbeiten sollen hinsichtlich einer technischen Realisierung und auch mit Blick auf eine Anwendung für die quantitative Mikroskopie in den Lebenswissenschaften weiter verfolgt werden.

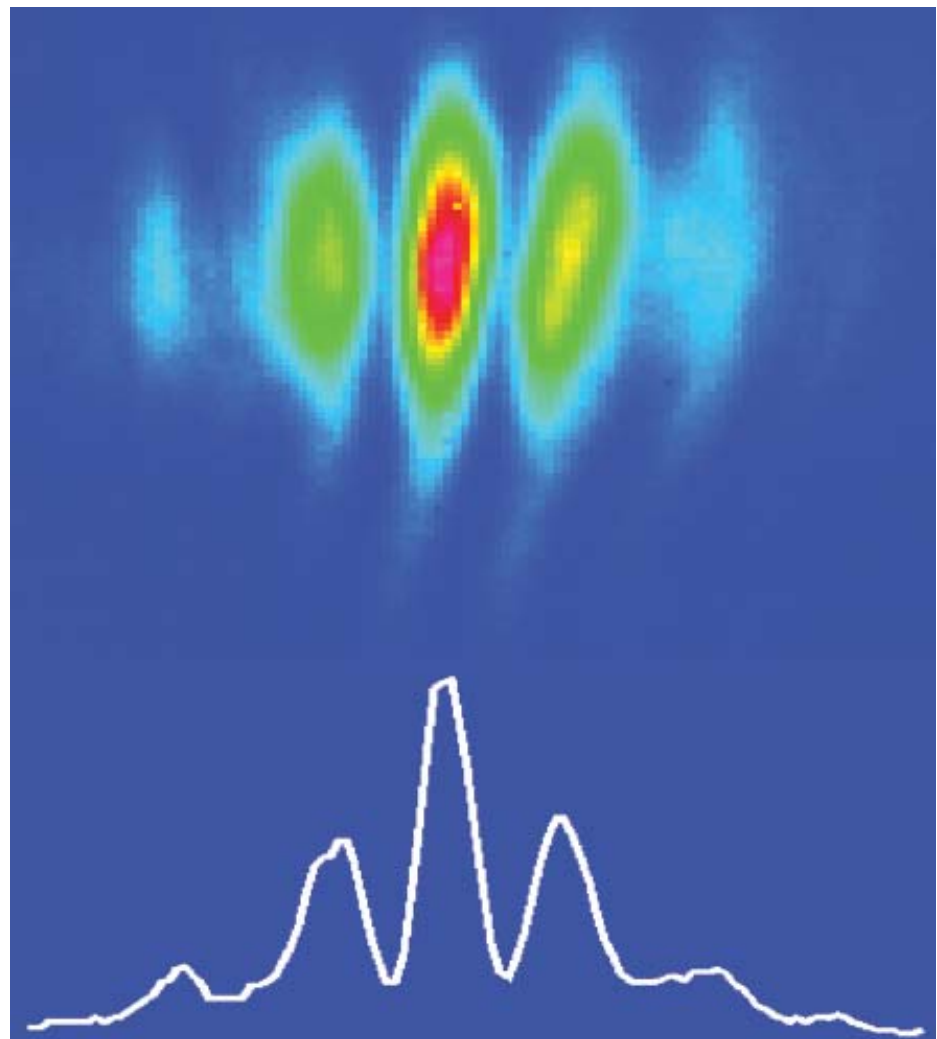


Bild 7: Typisches Interferogramm, wie es durch Überlagerung von Anti-Stokes- und Überlagerungssignalen entsteht. Das Anti-Stokes-Signal stammt aus der Anregung der symmetrischen C-D-Streckschwingung von Deuterobenzol (C_6D_6). Der Frequenzabstand zwischen Stokes- und Überlagerungssignal betrug ca. 140 THz.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Atome zählen – mit Rohsilizium aus Russland

Das internationale Avogadroprojekt geht mit angereichertem Silizium aus Russland in die entscheidende Phase um eine Neudefinition des Kilogramms.

(P. Becker, AG 4.34, peter.becker@ptb.de)

Fasergestützter Nahinfrarot-Femtosekundenfrequenzkamm erreicht Dauerbetriebsfestigkeit

In Zusammenarbeit mit der *Universität Konstanz* wurde ein fs-Er:Faserlaser bei 1,5 μm aufgebaut. Mit diesem Laser wurde die Frequenz eines resonatorstabilisierten Diodenlasers über einen Zeitraum von 84 Stunden ohne Unterbrechung aufgenommen. Damit ist eine wesentliche Voraussetzung für ein dauerbetriebsfestes Uhrwerk zum Betrieb einer optischen Uhr realisiert.

(H. Schnatz, AG 4.31, harald.schnatz@ptb.de)

Auf dem Weg zu einer „optischen Gitteruhr“

Optische Uhren mit Neutralatomen sind in ihrer Genauigkeit und Stabilität wesentlich durch die endliche Wechselwirkungszeit aufgrund der ballistischen Expansion der Atomwolke begrenzt. Für das optische Calciumfrequenznormal der PTB wurde die so genannte „magische Wellenlänge“ bestimmt, bei der die Calciumatome in optischen Gittern ohne Beeinflussung des Uhrenübergangs gespeichert werden können, um so dieser Begrenzung zu entgehen.

(U. Sterr, AG 4.32, uwe.sterr@ptb.de)

Interferenz einzelner Röntgenphotonen

Röntgenverschiebeinterferometer erreichen jetzt 100-fach höhere Messgeschwindigkeit.

(U. Kuetgens, AG 4.33, ulrich.kuetgens@ptb.de)

Primäre Caesium-Atomuhren

Die PTB betreibt drei primäre Cs-Atomuhren, darunter eine Fontänenuhr (CSF1). Zweiweg-Satelliten-Zeitvergleiche mit zwei Fontänenuhren im BNM SYRTE, Paris, zwischen Juli 2003 und Anfang 2004 ergaben im Rahmen der Vergleichsgenauigkeit keine signifikanten Gangunterschiede zwischen den Uhren.

(R. Wynands, AG 4.41, robert.wynands@ptb.de)

Japan und China im Visier

Bislang fehlt praktisch eine Verbindung zwischen Europa und Asien für Zeitvergleiche höchster Genauigkeit mittels des so genannten „Two-Way Satellite Time and Frequency Transfer“ über geostationäre Telekommunikationsatelliten. Im Jahr 2004 wurde probeweise eine solche Verbindung zum *Taiwanesischen Institut TL* hergestellt, zum Test für eine jetzt geplante dauerhafte Verbindung zu den Zeitinstituten in Japan und China. (A. Bauch, AG 4.42, andreas.bauch@ptb.de)

Lichtverstärkung in räumlichen Solitonen

Räumliche optische Solitonen können Licht verstärken. Ähnlich wie beim Laserverstärker wird dabei Energie aus einem „Reservoir“ gesammelt und konzentriert. Mögliche Anwendungen liegen in der optischen Nachrichtentechnik.

(C. O. Weiss, AG 4.44, carl.weiss@ptb.de)

Neue Messplätze für die diffuse Reflexion

Es wurden zwei neue vollautomatisierte Kugelmessplätze entwickelt, mit denen jetzt Kalibrationen des Strahldichtefaktors an Reflexionsnormalen in hemisphärisch-gerichteter Geometrie in einem erweiterten Spektralbereich von 250 nm bis 5 μm durchgeführt werden können.

(A. Höpe, AG 4.52, andreas.hoepe@ptb.de)

Neuartige chemische Bildgebung mit phasenkohärenten Superkontinua

In Zusammenarbeit mit der *Ludwigs-Maximilians-Universität München* wurde eine Weiterentwicklung der spektroskopischen Methode der Coherent Anti-Stokes Raman Spectroscopy (CARS), das Heterodyn-CARS, als eine neue Anwendung optischer Superkontinua demonstriert. Es erlaubt eine kontrastreiche, molekulspezifische und hintergrundfreie Bildgebung und eröffnet dadurch neue Anwendungsfelder, etwa in der Mikroskopie oder bei der Untersuchung von Verbrennungsprozessen. (M. Greve, AG 4.22 und 4.53, marco.greve@ptb.de)

Ultraschnelles optisches Abtast-Oszilloskop für höchstbitratige Telekommunikationssysteme

Mit der wachsenden Datenrate in optischen Telekommunikationssystemen steigt auch der Bedarf an neuen, ultraschnellen Charakterisierungsmethoden. In der PTB wurde deshalb ein optisches Abtast-Oszilloskop mit einer bisher unerreichten Zeitauflösung von unter 100 fs aufgebaut.

(E. Benkler, AG 4.53, erik.benkler@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

UV-Dosimetrie als neue Aufgabe

Die UV-Dosimetrie – vereinfacht formuliert die UV-Radiometrie bei sehr hohen Bestrahlungsstärken – ist ein komplexes Gebiet der angewandten Radiometrie, das weltweit bisher nur teilweise bearbeitet wird. Gestützt auf die Ergebnisse eines speziellen PTB-Seminars und auf eine Kundenbefragung wird sich die PTB zukünftig in diesem Gebiet engagieren. (J. Metzdorf, FB 4.1, juergen.metzdorf@ptb.de)

Erstes Photometrie-Seminar der Abteilung Optik

Mit dem Ziel, eine Brücke zwischen der angewandten Messtechnik in photometrischen Laboratorien der Industrie und der Messkompetenz der PTB zu schlagen, fand Anfang Oktober das erste praxisorientierte Photometrie-Seminar statt.

(A. Sperling, AG 4.12, armin.sperling@ptb.de)

Laserradiometrie für UV- und VUV-Laser

Laserleistungskalibrierungen sind jetzt bis herab zum vakuum-ultravioletten Spektralbereich bei der Fluorid-Laserwellenlänge von 157 nm mit Laserleistungen bis zu 3,2 W bei 200 Hz Repetitionsrate bzw. bis zu Laserimpulsenergien von 20 mJ möglich. Abhängig von den Bedingungen beträgt die Messunsicherheit ($k = 2$) minimal 2 %.

(S. Kück, AG 4.13, stefan.kueck@ptb.de)

Neuartiges rückführbares Multisensor-System zur hochgenauen Formmessung

Systeme gekoppelter Abstandssensoren werden oft eingesetzt, um die Form großer Oberflächen in Rasterschritten zu erfassen wie z. B. bei der Technik der Stitching-Interferometrie. Der sphärische bzw. quadratische Anteil der Oberflächenform blieb dabei allerdings bisher unbestimmt. In Zusammenarbeit mit der Ar-

beitsgruppe 8.42 *Messdatenanalyse und Messunsicherheit* wurde ein neuartiges Sensorprinzip entwickelt, das mittels eines zusätzlichen Winkelsensors dieses Problem für lineare Scansysteme löst. Das System kann auf die Basisgrößen Länge und Winkel rückgeführt werden und ist in erster Ordnung völlig frei von Fehlereinflüssen der Führung und der Sensoren.

(M. Schulz, AG 4.21, michael.schulz@ptb.de)

Erweiterte Kalibriermöglichkeit für große optische Planflächen

Um das steigende Kundenbedürfnis nach einer kostengünstigen Kalibrierung größerer Planflächen mittelfristig zu befriedigen, wurde das vorhandene Interferometer-Messsystem von 150 mm auf 300 mm Messdurchmesser erweitert. Die Messunsicherheit beträgt in der ersten Ausbaustufe derzeit 40 nm ($k = 2$).

(M. Schulz, AG 4.21, michael.schulz@ptb.de)

Neue Kalibrierstrukturen für die höchstauflösende Mikroskopie

Bei der Produktion hochintegrierter Schaltkreise sind in naher Zukunft routinemäßig Strukturabmessungen zu erwarten, die kleiner als 100 nm sind. Im Rahmen eines BMBF-Projekts wurden erste Muster nanoskaliger, kalibrierter Breitenmaßverkörperungen für höchstauflösende Inspektionsverfahren entwickelt. (W. Mirandé, AG 4.22, werner.mirande@ptb.de)

Bessere quantitative Messungen in der dimensionellen Mikroskopie

Rigoreuse Modellrechnungen in der quantitativen dimensionellen Mikroskopie berücksichtigen die Vektoreigenschaften elektromagnetischer Felder sowie die dreidimensionale Ausdehnung realer Strukturen und erlauben eine verbesserte Quantifizierung der Einflüsse von Struktur- und Messinstrumentparametern auf die Messergebnisse. Durch Anwendung solcher Korrekturen in einem Ringvergleich von Strukturbreitenmessungen an Lithographiemasken konnten die unkorrigierten Messabweichungen verschiedener Systeme von ursprünglich bis zu 200 nm auf zum Teil weniger als 10 nm reduziert werden.

(B. Bodermann, AG 4.22, bernd.bodermann@ptb.de)

Zeit für Galileo

In parallelen Aktionen, die von der *Europäischen Raumfahrtagentur* ESA und *Galileo Joint Undertaking* koordiniert werden, entstehen gegenwärtig die Konzepte für das Zeitsystem für Galileo. Die PTB ist sowohl bei dem Design der Precise Timing Station PTF wie auch des Galileo Time Service Provider GTSP beteiligt.

(A. Bauch, AG 4.42, andreas.bauch@ptb.de)

Wellenlängennormale für die Spektrometrie

In aufwendigen Vergleichsmessungen wurde die Linienlage der Absorptionsminima eines Holmiumoxid-Flüssigkeitsfilters bestimmt. Es stehen jetzt sehr genau bekannte Wellenlängenreferenzen im sichtbaren und ultravioletten Spektralbereich zur Kalibrierung von Spektralphotometern zur Verfügung.

(A. Schirmacher, AG 4.51, alfred.schirmacher@ptb.de)

Optische Prüfung metallischer Oberflächen anhand spektraler Reflexionseigenschaften

In einem vom *Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit* (BMWA) geförderten Projekt werden die spektralen Reflexionseigenschaften von Münzoberflächen als ein mögliches zusätzliches Prüfkriterium untersucht, um durch solche zusätzlichen Parameter die herkömmliche elektromagnetisch-induktive Münzprüfung in Automaten zu erweitern und so die Annahmesicherheit zu erhöhen.

(A. Höpe, AG 4.52, andreas.hoepe@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Rückführung eines transportablen Referenzspektroradiometers auf das primäre Bestrahlungsstärkenormal der PTB

Das im Rahmen des europäischen Forschungsprojekts „Quality Assurance of Spectral Ultraviolet Measurements in Europe through the Development of a Transportable Unit“ (QASUME) entwickelte portable Referenzspektroradiometer B5503 machte im Juni 2004 Station in der PTB. Mit Hilfe von Messungen vor einem Hochtemperatur-Hohlraumstrahler, dem Primärnormal der PTB für die spektrale Bestrahlungsstärke, konnte die Rückführung des Referenzspektroradiometers über Transfornormale der PTB unmittelbar verifiziert werden.

(P. Sperfeld, AG 4.11, peter.sperfeld@ptb.de)

Neuartige Kalibrierung besonders großflächiger Referenzsolarzellen

Der neue DSR-Messplatz der PTB (DSR: Differential Spectral Responsivity) zur Kalibrierung von Referenzsolarzellen für die Solarenergieumwandlung und von großflächigen Empfängern für Photometrie und Radiometrie wurde im Jahr 2004 für die neue Realisierung, Bewahrung und Weitergabe der World PhotoVoltaic Scale (WPVS) eingesetzt, für die die PTB in Europa das alleinige „qualifizierte WPVS-Laboratorium“ ist. Nach Erweiterung des Messplatzes steht er auch zur Kalibrierung von Referenzsolarzellen für moderne Photovoltaik-Technologien zur Verfügung, die aufgrund ihrer Größe, ihres Spektralverhaltens oder wegen etwaiger Nichtlinearitäten weltweit bisher nicht spektral kalibriert und vollständig charakterisiert werden konnten.

(S. Winter, AG 4.12, stefan.winter@ptb.de)

Streustrahlung täuscht überhöhte Leistungsfähigkeit von Röntgenbilddetektoren vor

Zur Charakterisierung der Ortsauflösung digitaler Röntgenbilddetektoren werden häufig semitransparente Kantenobjekte verwendet. Neueste Untersuchungen haben gezeigt, dass die im Testobjekt unvermeidlich entstehende Streustrahlung zu einer Aufsteilung des Kantenübergangs und damit zu einer drastischen Überschätzung der Ortsauflösung führen.

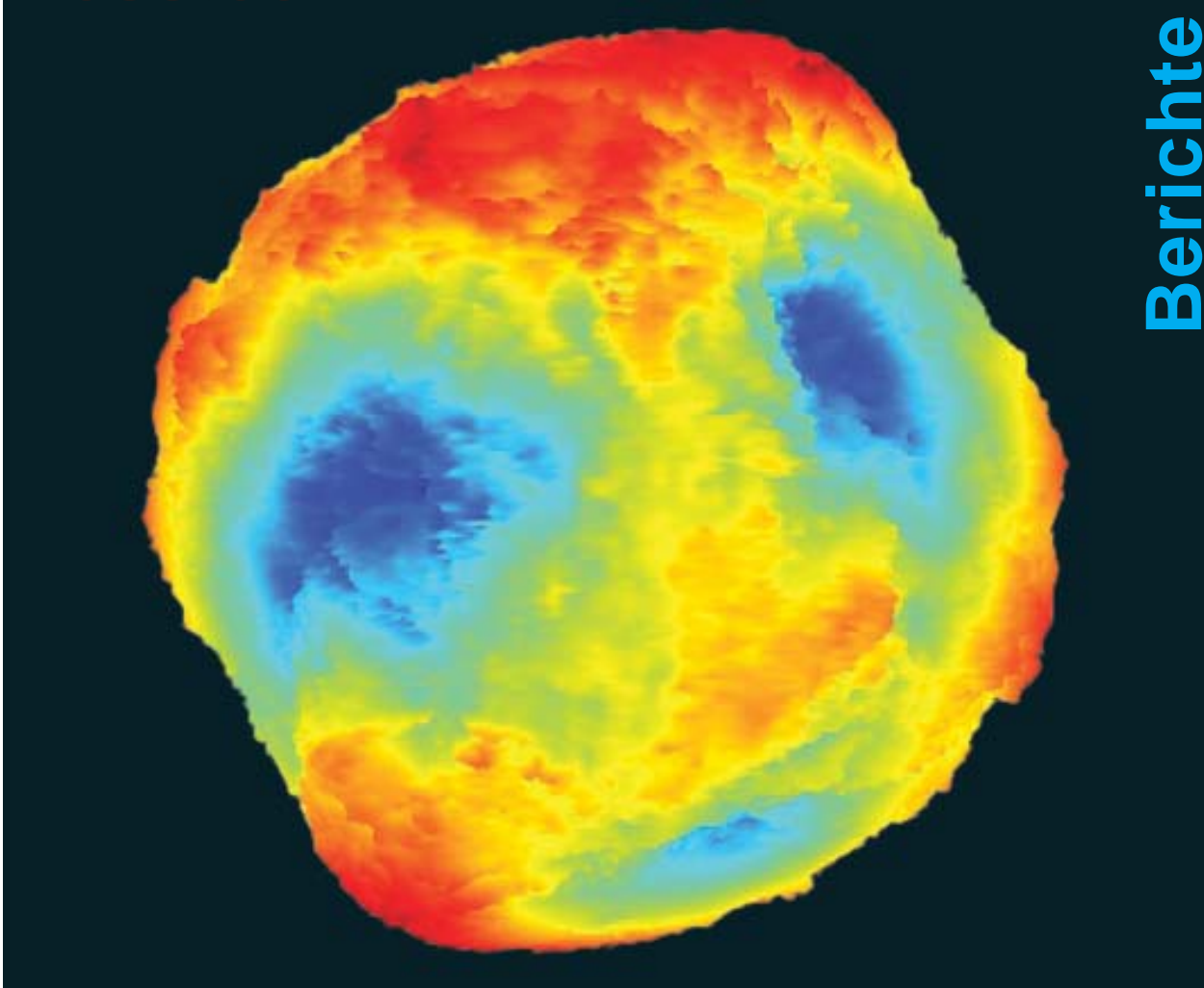
(E. Buhr, AG 4.23, egbert.buhr@ptb.de)

Bevölkerungswarnung mit DCF77

Bislang wurden in den ersten vierzehn Sekunden jeder Minute mit dem Zeitzeichensender DCF77 nur Statusinformationen, aber keine Zeitinformation übertragen. Im Auftrag des *Bundesinnenministeriums* wurde untersucht, ob stattdessen im Gefahrenfall Warnhinweise gesendet werden könnten. Der Mitte 2004 vorgelegte Abschlussbericht favorisiert eine solche erweiterte Nutzung des Zeitzeichensenders.

(A. Bauch, AG 4.42, andreas.bauch@ptb.de)

Fertigungs- messtechnik



Berichte der Abteilungen

Fertigungs

Die Abteilung *Fertigungsmesstechnik* bearbeitet einige herausfordernde Forschungsaufgaben, die innerhalb der PTB dem Tätigkeitsbereich Grundlagen der Metrologie zuzuordnen sind. Dazu gehört als Teil des international bearbeiteten Avogadro-Projekts die Bestimmung des Volumens von Silizium-Kugeln. Zu den Grundlagen der Metrologie kann man aber auch die als aussichtsreich eingeschätzten theoretischen und experimentellen Untersuchungen zur diffusen Röntgenstreuung zählen, deren messtechnischer Teil überwiegend in Kooperation mit dem Fachbereich *Photonenradiometrie* an den leistungsfähigen Anlagen bei *BESSY II* in Berlin erfolgt.

Der Hauptteil des Potentials der Abteilung richtet sich – mit eher zunehmendem Anteil – auf den Tätigkeitsbereich Metrologie für die Wirtschaft. Kennzeichnend für die Wirtschaft ist, dass die Globalisierung sich spürbar auf die immer anspruchsvoller werdenden Wettbewerbsbedingungen und einen wachsenden Leistungsdruck auswirkt. Zu den Folgen zählen wirtschaftlichere, flexiblere Produktionsabläufe, kürzere Innovationsraten und wachsende Anforderungen an die Produktqualität, die ihren Niederschlag nicht zuletzt in immer engeren Fertigungstoleranzen finden, in einem inzwischen vorhandenen Milliardenmarkt Mikrosystemtechnikproduktion, in neuen Produktionstechniken – bei denen Deutschland weltweit führend ist –, in der Folge adäquate Messtechniken, verstanden als Bestandteil optimierter Produktionsketten und schließlich praxisbezogenen metrologi-

Titelbild

Durchmesserverteilung der Silizium-Einkristallkugel Avo#2. Die Abweichungen von der idealen Kugelform sind mehr als einmillionenfach überhöht dargestellt. Das Auftreten dieser eher kubischen Form wird verursacht durch das Kristallgitter des Siliziums, das für die verschiedenen Raumrichtungen unterschiedliche Elastizitätsmoduln aufweist und somit dem Polieren richtungsabhängig unterschiedlichen Widerstand entgegengesetzt.

schen Anforderungen, die hinsichtlich der Werkstückgröße vom Makrobereich bis in den Mikrobereich, messtechnisch über die Mikromesstechnik bis in die Nanomesstechnik reichen.

Dies ist der Grund, weshalb im folgenden Bericht sowohl auf den erreichten Fortschritt beim Beitrag zum Avogadroprojekt und zur diffusen Röntgenstreuung eingegangen wird als auch auf ausgewählte Beiträge zur Rückführung von Ergebnissen der Mikro- bzw. Nanomesstechnik.

Volumenbestimmung mit dem Kugelinterferometer der PTB bestätigt Dichtekonzanz des Avogadrokristalls

Der Abteilung *Fertigungsmesstechnik* kommt die Teilaufgabe zu, im Rahmen des internationalen Avogadro-Projekts das Volumen einer aus einem Si-Isotop hergestellten Kugel mit einer relativen Messunsicherheit von $1 \cdot 10^{-8}$ zu bestimmen. Im Vorfeld wurden aus dem Silizium-Einkristall WASO 04 mit natürlicher Isotopenzusammensetzung drei hochpräzise Avogadrokugeln gefertigt. Die im CSIRO, Australien, mit sehr geringen Rundheitsabweichungen gefertigten Kugeln mit Durchmessern von etwa 93,6 mm wurden den Staatsinstituten in Australien (CSIRO), Italien (IMGC) und Deutschland (PTB) übergeben. Ein Problem bei der Charakterisierung eines Kristalls ist immer die Beurteilung der Kristallperfektion entlang der Achse des Stabs. Mit dem Kugelinterferometer der PTB konnte nun durch eine Volumenbestimmung der Avogadrokugeln Avo#1 (PTB) und Avo#2 (IMGC) ein direkter Dichtevergleich zweier Kristallpositionen durchgeführt werden.

Mit dem in der Abteilung *Fertigungsmesstechnik* entstandenen Kugelinterferometer (Bild 1) ist es möglich, simultan etwa 15 000 Durchmesser einer Kugel in einem 60°-Segment zu messen, so dass die gesamte Kugeloberfläche durch etwa 500 000 Messungen charakteri-

messtechnik

siert wird. Die gemessenen Durchmesser wurden den ihren absoluten Polarkoordinaten entsprechenden Positionen zugeordnet und dann in einem in φ und $\cos\theta$ gleichmäßigen Gitter diskretisiert. Es konnte gezeigt werden, dass das durch diese Stützpunkte aufge-spannte Volumen mit einer Unsicherheit in der Größenordnung von $\Delta V/V \approx 10^{-11}$ berechnet werden kann. Damit weist dieses Verfahren deutliche Vorteile gegenüber herkömmlichen Methoden mit geringerer Messdatenzahl auf.

Ein bewertender Vergleich der Durchmesser bzw. Volumina ist nicht möglich, da es keine unabhängige Messmethode mit vergleichbarer Unsicherheit gibt und da die beiden Avogadro-Kugeln naturgemäß unterschiedliche Durchmesser aufweisen. Es wurde daher mit den Daten der Wägung die absolute Dichte jeder Kugel berechnet. Nach dem Unsicherheitsbudget nach GUM resultiert zurzeit eine Gesamtunsicherheit von etwa $8 \cdot 10^{-8}$. Die beiden Avogadro-Kugeln weichen nur um $3 \cdot 10^{-8}$ in ihrer Dichte voneinander ab – somit ist der Avogadrokristall im Rahmen der Messunsicherheit als homogen anzusehen.

Messungen zur Grenzflächenmorphologie an Dünnschichtsystemen

Die Morphologie innerer Grenzflächen ist während der Wachstumsphase einer komplexen Dynamik unterworfen. Ihre endgültige Struktur besitzt weitreichende Auswirkungen auf die in Dünnschichtsystemen ablaufenden

physikalischen Prozesse, insbesondere den elektrischen und optischen Transportvorgängen. Die Untersuchung der Grenzflächenmorphologien und ihre Korrelationen mit den typischen Transportparametern sind bereits seit geraumer Zeit Gegenstand der Forschung.

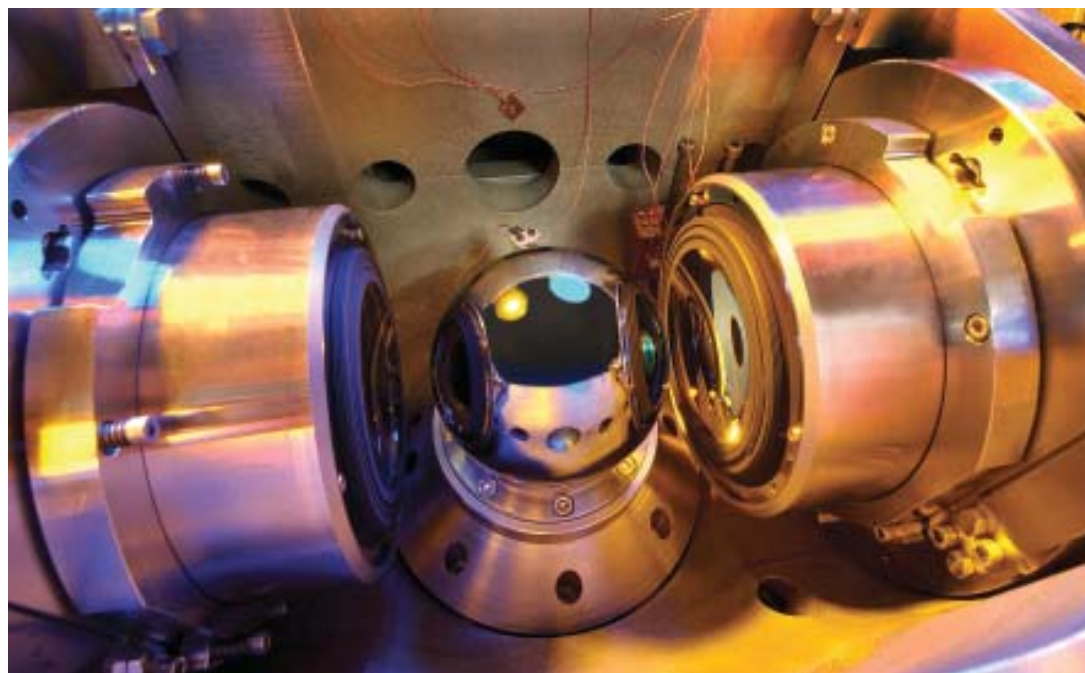


Bild 1: Kugelinterferometer

In Zusammenarbeit mit der AG 7.13 sind im BESSY-Laboratorium der PTB Messungen mit der diffusen Röntgenstreuung (DXRS) an verschiedenen Testsystemen durchgeführt worden. Die Untersuchung innerer Grenzflächen gelingt in der Regel nur mit großem Präparationsaufwand, bei dem die Proben zerstört werden. Im Gegensatz dazu erlaubt die DXRS die zerstörungsfreie Messung der Grenzflächenrauheit und der Korrelation von Topologien, sowohl lateral als auch vertikal zur Grenzfläche.

Im vorliegenden Fall werden mittels Molekularstrahlepitaxie (MBE, AG. 2.53) hergestellte Proben analysiert, deren Morphologie der Grenzflächen durch Einfügen von Pausen

nach dem Aufwachsen der jeweiligen Festkörperschicht (Wachstumsunterbrechungen) modifiziert sind (2-dimensionale Diffusion).

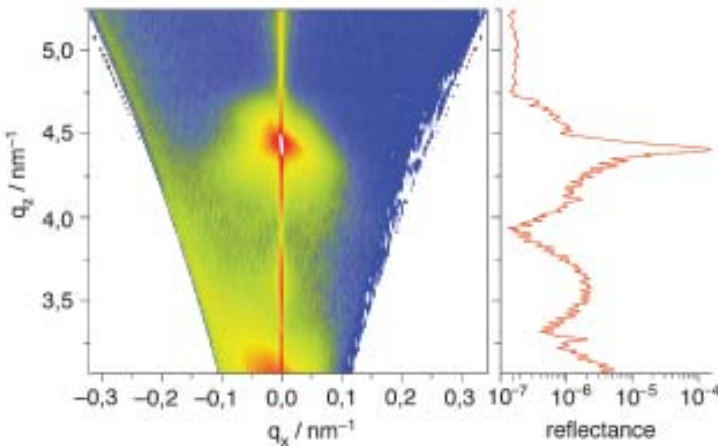


Bild 2: Space Map eines GaAs/AlAs-Vielschichtsystems mit einer Wachstumsunterbrechung von 50 s nach jeder AlAs-Schicht

In Bild 2 ist das Streubild im reziproken Raum (Space Map) eines GaAs/AlAs-Multilayers gezeigt, bei dem nach Aufwachsen der AlAs-Schicht eine Wachstumsunterbrechung eingefügt ist. Die Messungen ergeben eine Zunahme der lateralen Korrelationslänge durch die verlängerte Diffusion an der Grenzfläche während der Wachstumsunterbrechung. Weitere Messungen im 4. Quartal schließen diesen ersten Messzyklus ab und bilden die Grundlage für ausführliche Untersuchungen zur Wachstumsdynamik und den Transportvorgängen an dünnen Festkörpersystemen.

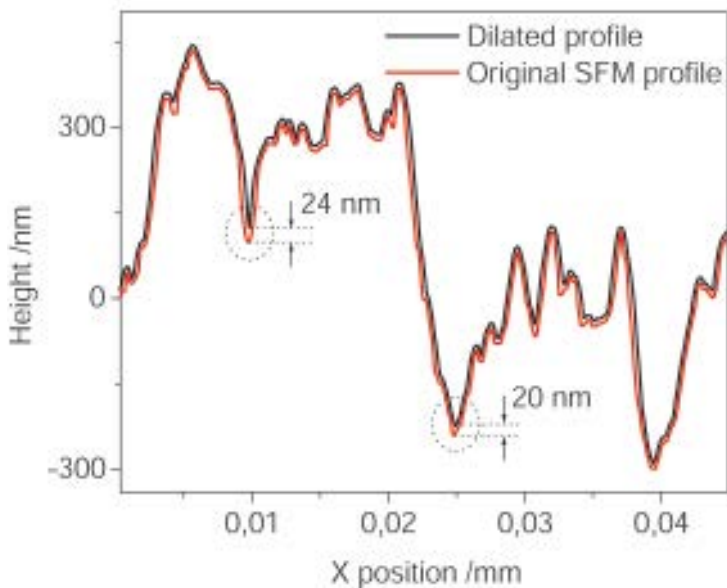


Bild 3: Vergleich der an derselben Messstelle mit beiden Messgeräten ermittelten Profile

Charakterisierung der Mikrorauheit mit dem metrologischen Rasterkraftmikroskop mit erweitertem Messbereich

Die in den vergangenen Jahren unternommenen Anstrengungen zum Einsatz von Rasterkraftmikroskopen (SFM) für die Bestimmung von Rauheitsparametern führten zur Integration von Auswertalgorithmen in die Messsoftware kommerziell erhältlicher Geräte. Leider existierte bei bisher üblichen lateralen Messbereichen der SFM von ca. 100 µm keine Möglichkeit einer normgerechten Bestimmung der Rauheitsparameter (minimale Messlänge bei üblichen Mikrorau-normalen: 0,4 mm bis 4 mm). Daher sind die mit diesen SFM ermittelten Werte nur eingeschränkt mit den Ergebnissen etablierter leistungsfähiger Profilometer vergleichbar.

Mit dem seit 2003 in der PTB verfügbaren metrologischen SFM mit erweitertem Messbereich (s. PTB-Jahresbericht 2003) wurde ein neues Verfahren für die Untersuchung der Mikrorauheit erarbeitet und erfolgreich getestet. Die Besonderheiten dieses Messgeräts wie die hohe laterale und vertikale Auflösung, der kleine Spitzenradius des verwendeten Abtastsystems sowie die im Vergleich zu Tastschnittgeräten kleinere Auflagekraft verbunden mit seinem 3-D-Messbereich von 25 mm × 25 mm × 5 mm wurden bereits bei ersten Untersuchungen an Mikro- und Nanostrukturen offenbar bewiesen. Durch weitere speziell auf die Anforderungen von Rauheitsmessungen ausgerichtete Modifikationen am Messgerät (Realisierung von Scans mit einer Profillänge bis in den Millimeterbereich, Möglichkeiten zur Charakterisierung der Spitzengeometrie u. a.) konnten Voraussetzungen zur Bestimmung der Rauheitskenngrößen an Mikro- und Nanostrukturen geschaffen werden.

Durchgeführte Untersuchungen am SFM ergaben, dass es sich durch einen geringen Rauschpegel (Messungen an einer Planglasplatte ergaben den Wert von Ra = 0,58 nm) sowie durch eine sehr gute Reproduzierbarkeit der Messergebnisse auszeichnet.

Nach vorbereitenden Untersuchungen zum Einfluss des Spitzenradius des SFM und den in Abhängigkeit von den Profilparametern zu wählenden Filterwerten fanden Messungen an Mikrorau-normalen mit dem SFM und einem für die Bestimmung der Rauheitskenn-

größen ausgewiesenen leistungsfähigen Tastschnittgerät statt. Das Ziel war, die Vergleichbarkeit der mit beiden Geräten ermittelten Kennwerte bei Berücksichtigung der dazugehörigen internationalen Normen ISO 4288 und 11562 zu untersuchen. Aus diesem Grunde wurden auf dem Messobjekt geeignete Messstellen ausgewählt und Profile bei vergleichbaren Messparametern mit beiden Geräten erfasst. Bild 3 zeigt einen Ausschnitt der aus Wiederholungsmessungen ermittelten Oberflächentopographie an einer ausgewählten Messstelle nach phasenkorrekter Filterung. Bemerkenswert ist hierbei die gute Übereinstimmung der Messkurven beider Messgeräte. Die geringfügigen Unterschiede – die Strukturen aus der SFM-Messung erscheinen schmaler und tiefer – sind durch die unterschiedliche Spitzengeometrie der Antastelemente (der Radius der SFM-Spitze ist ca. 100-mal kleiner) begründet. Durch eine mathematische Dilation (morphologische Filterung) beider Profile mit einer kreisförmigen Referenz (Radius der Spitze des Tastschnittgerätes) erhält man eine Topographie, in der die durch die Unterschiedlichkeit der Spitzengeometrie bedingten Einflüsse kompensiert sind (Bild 4).

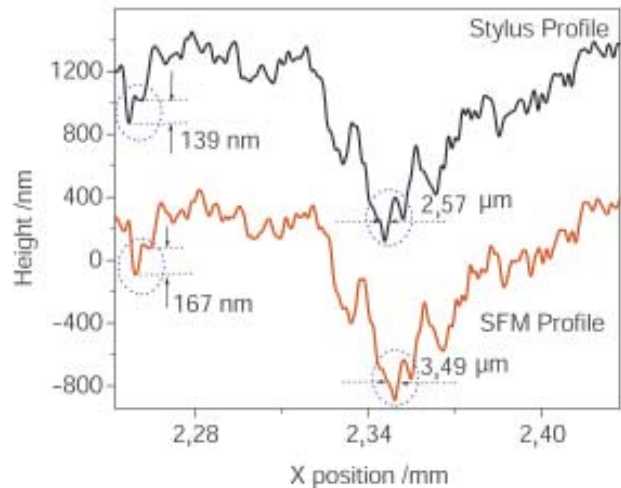


Bild 4: Einfluss der Dilation auf das Profil

durchgeführt, und aus der gemessenen Durchbiegung und der bekannten Biegesteifigkeit werden die Antastkräfte berechnet. Die Formabweichung der Normaloberfläche, die infolge der Oberflächenbearbeitung entstandenen Eigenspannungen sowie die Eigenlast des Cantilevers bewirken bereits ohne Antastung eine Auslenkung des Cantilevers. Diese Nulllastbiegung muss bei Verwendung des Normals von der gemessenen Biegung subtrahiert werden.

Die Tabelle zeigt die mit der Referenzsoftware der PTB aus den Messdaten ermittelten Rauheitskennwerte für das Tastschnittgerät sowie für das SFM bei unkorrigierten (SFM) und mittels Dilation (D-SFM) korrigierten Messwerten. Die daraus erkennbare sehr gute Übereinstimmung der Werte von Ra, Rq und Rp zwischen dem Tastschnittgerät und den korrigierten Ergebnissen des SFM bestätigt die Eignung des SFM mit erweitertem Messbereich für Mikrorauheitsmessungen.

Zur Kalibrierung der Biegesteifigkeit wurde eine Mikrokraftmesseinrichtung bestehend aus Präzisionsverstelleinrichtung (PIFOC) und Präzisionswaage (Sartorius SC2, 1 nN Auflösung, 2,5 nN Reproduzierbarkeit, 9 nN Linearitätsabweichung, 0,1 µN Unsicherheit) verwendet (Bild 5). Mit einem Kontaktstift

Kalibrierung von Mikrokraft-Einstellnormalen

Mikrokraft-Einstellnormale aus Silizium werden zur Rückführung der Antastkraftmessung bei Tastschnittgeräten verwendet. Mit dem zu untersuchenden Tastschnittgerät werden auf diesem Normal Profilmessungen

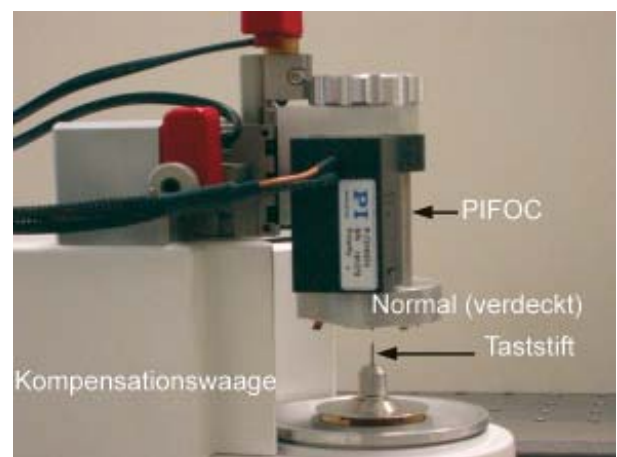


Bild 5: Mikrokraft-Kalibriereinrichtung

Tabelle: Vergleich der mit dem Tastschnittgerät und dem SFM ermittelten Rauheitskennwerte

Methode	Rp (nm)	Rv (nm)	Rmax (nm)	Rz (nm)	Ra (nm)	Rq (nm)	Rt (nm)
Tastschnittgerät	431,9 ± 13,0	760,5 ± 22,8	1366,8 ± 41	1200,4 ± 60	176,9 ± 5,3	222,6 ± 13	1366,8 ± 41
SFM	433,6	795,6	1346,8	1229,1	179,2	225,8	1348,8
D-SFM	431,1	789,1	1360,3	1220,3	177,0	223,4	1360,3

wird der Biegebalken des Mikrokrafteinstellnormals, das auf der Kompensationswaage aufliegt, definiert angetastet. Die resultierende Auslenkung und die dazu benötigte Kraft werden gemessen. Die Position der Waagschale bleibt bei der verwendeten Kompensationswaage während der Kalibrierung konstant, d. h. die Verschiebung des Anstaststifts entspricht der Auslenkung des zu kalibrierenden Biegebalkens. Aufgrund von Nichtlinearitäten der gemessenen Kraft-Weg-Kurven unterhalb von $15 \mu\text{N}$ wurde die Federkonstante im Kraftbereich $15 \mu\text{N} < F < 850 \mu\text{N}$ ermittelt. Die relative Unsicherheit der gemessenen Federkonstante (10 N/m) betrug 2 %. Die Nulllastbiegung ($1 \mu\text{m}$) wurde berührungslos optisch mit einer relativen Unsicherheit von 5 % gemessen.

Zukünftige Arbeiten werden sich auf die Reduzierung der Messunsicherheit konzentrieren.

Entwicklung von Rauheitssensoren für die Messung in Mikrostrukturen mit hohem Aspektverhältnis

Das Messen in kleinen Bohrungen und Nuten stellt eine besondere Herausforderung an die dimensionelle Messtechnik dar. Darüber hinaus ergeben sich Probleme beim Messen von Strukturen mit großem Aspektverhältnis. Im Rahmen einer Kooperation mit dem *Institut für Halbleitertechnik der Technischen Universität Braunschweig* wurden zur Lösung dieser Probleme besonders lange Silizium-Biegebalken für die Anwendung als Rauheitssensor entwickelt und erprobt. Erste monolithisch hergestellte Prototypen mit integrierter Tastspitze weisen eine Länge von 5 mm, eine

Breite von $200 \mu\text{m}$ und eine Tiefe von $50 \mu\text{m}$ auf (Bild 6).

Außer der „einfachen“ pyramidenförmigen Tastspitze sind Modifizierungen möglich, die auch die Messung von Hinterschnitten, Defekten, Formabweichungen und Fußkreisradien an Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis ermöglichen

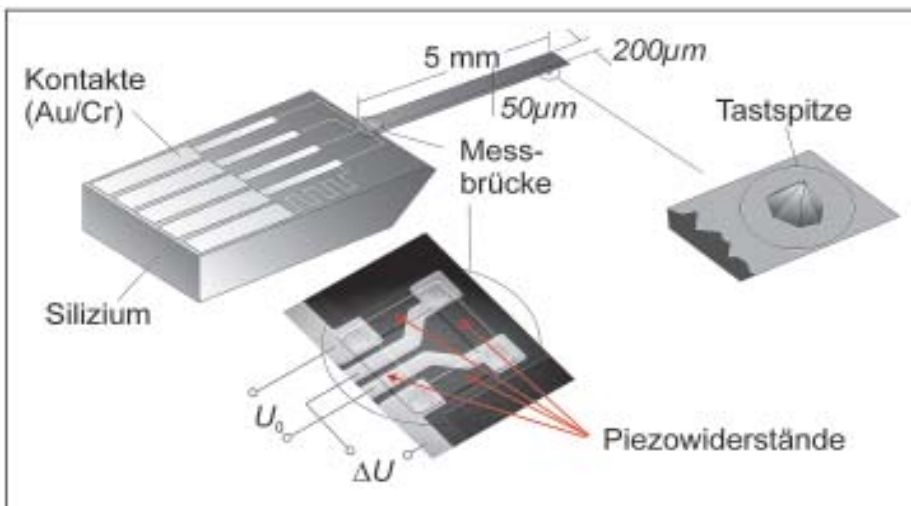


Bild 6: Übersicht über den Rauheitssensor sowie derzeit realisierte Abmessungen

chen (Bild 7). Im Rahmen einer Industriekooperation sollen zukünftig über das Ende des Cantilevers hinausragende, abgewinkelte Spitzen entwickelt werden und für dimensionelle Messungen an Mikrostrukturen zum Einsatz kommen.

Formmessung mit dem taktil-optischen Mikrotaster

Der taktil-optische Mikrotaster wurde bisher nur zur Einzelpunktantastung eingesetzt, um Geometrien an Mikroteilen (z. B. Bohrungen, Zahnradflanken) zu erfassen. Um mit diesem Taster auch Formmessungen durchzuführen, wurde er in ein Rundheitsmessgerät integriert (Bild 8). Da bei dieser Anwendung die Tastkugel das rotierende Messobjekt ständig antastet, wurde zur Erfassung der Bilder ein

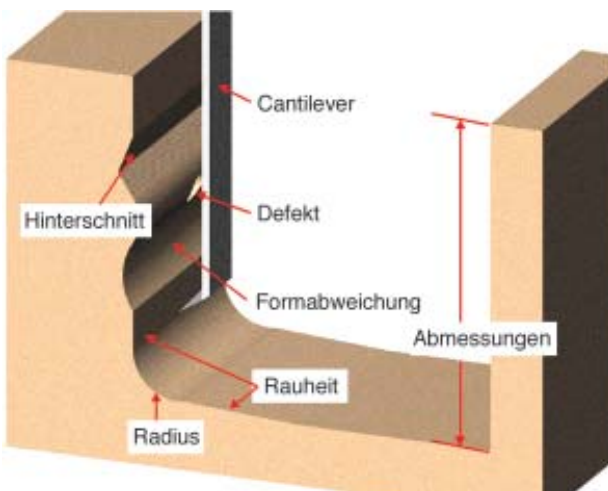


Bild 7: Herausforderungen und Messaufgaben der dimensionellen Mikrosystem-Messtechnik

schneller Bildrekorder verwendet, der bis zu ca. 30 Bilder/s speichern kann. Die Lokalisierung der Tastkugel in den Bildern erfolgte offline mit Hilfe der Software eines optischen Koordinatenmessgeräts.

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass eine Blitzbeleuchtung der Tastkugel erforderlich ist, um auch bei schnellen Tasterbewegungen scharfe Tasterbilder zu erhalten. Diese schnellen Bewegungen werden durch Stick-Slip Effekte zwischen Messobjekt und Taster hervorgerufen.



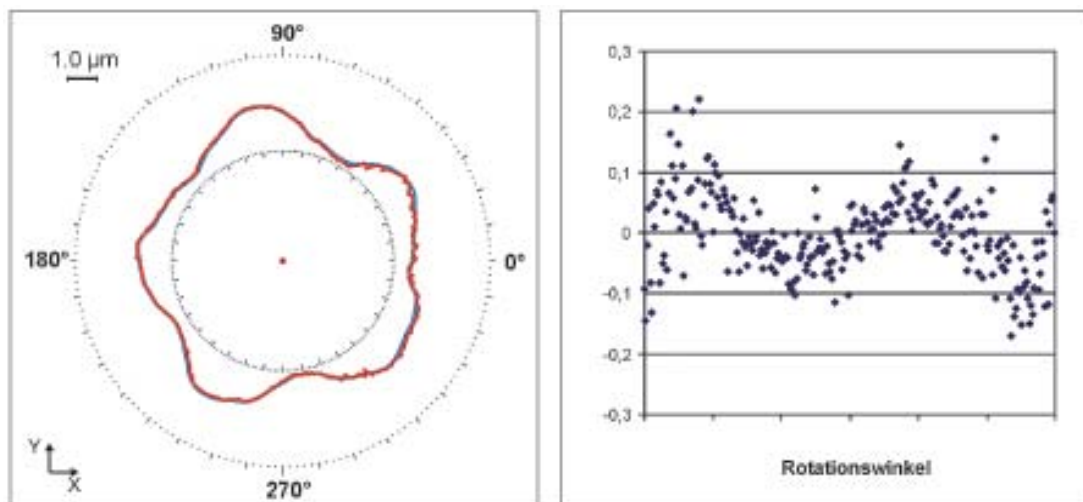
Bild 8: Messanordnung zur Formmessung mit dem taktil-optischen Taster
rechts: im linken Bild markiertes Detail (Messbeispiel: Messung der Rundheit einer Kugel mit 1 mm Durchmesser)

Bild 9 zeigt beispielhaft das Ergebnis der Messung des Außendurchmessers einer Lichtwellenleiter-Ferrule (Außendurchmesser 2,5 mm). Die Abweichungen der taktil-optischen Messung von der rein taktilen Referenzmessung betragen max. 0,22 µm.

Mikroprüfkörper für Streifenprojektionsmessgeräte

Optisch flächenhaft messende Mikromessgeräte wie z. B. Streifenprojektionsmessgeräte und taktile Mikromessverfahren wie etwa der sog. Fasertaster besitzen ein großes Anwendungsspektrum in der Fertigungsmesstechnik. Zu den Messobjekten zählen u. a. Werkzeuge wie Schneidplatten, Senker und Reibahlen, Bauteile der Mikro-Systemtechnik, Zahnflanken und Gewindeprofile. Besondere Anforderungen stellen einerseits geringe nachzuweisende Toleranzen im Bereich von wenigen 10 µm, aber insbesondere die komplexe Geometrie der meisten Messobjekte. Regelgeometrien sind die Ausnahme, daher ist der Begriff „Mikro-Freiformkörper“ für eine Vielzahl von Messobjekten zutreffend. Daraus resultieren auch der häufig

Bild 9: Rundheitsmessung des Außendurchmessers einer Lichtwellenleiter-Ferrule (Ø 2,5 mm)
links: Rundheitsprofil (rot: taktil-optische Messung, blau: Referenzmessung mit hochgenauem Rundheitsmessgerät), rechts: Abweichungen der taktil-optischen Messung von der taktilen Referenzmessung



notwendige Vergleich der Ist-Geometrie mit den CAD-Daten oder gar die Digitalisierung von Bauteilen beim Reverse Engineering.

Zur Prüfung und Überwachung solcher Messgeräte wurde von der PTB ein Mikroprüfkörper entwickelt. Die verkörperten Geometrielemente sind mit einer Anzahl von mehr als 100 jedoch wesentlich zahlreicher und die verkörperten Geometrien wesentlich kleiner als im Konturnormal von 2002. So werden etwa Radien von 2 mm bis herunter zu 0,07 mm verkörpert. Eine Besonderheit ist die Aufteilung des Körpers in neun prinzipiell auch unabhängig nutzbare Bereiche mit unterschiedlichen Geometrielementen. So

kann der Prüfkörper auch von Messgeräten mit Messfeldern von nur 1 mm × 1 mm genutzt werden. Das Herstellungsverfahren der Drahterosion führt zu einer diffus reflektierenden Oberfläche, die für viele optisch antastende Messverfahren vorteilhaft ist.

Weil der Prüfkörper den im Jahre 2002 erstmals vorgestellten Konturnormalen prinzipiell ähnelt, ist auch das im letzten Jahr vorgestellte und inzwischen patentierte Kalibrierverfahren anwendbar. (Bild 10)

Ein Technologietransfer der Herstellung des Prüfkörpers in die Industrie ist geplant.

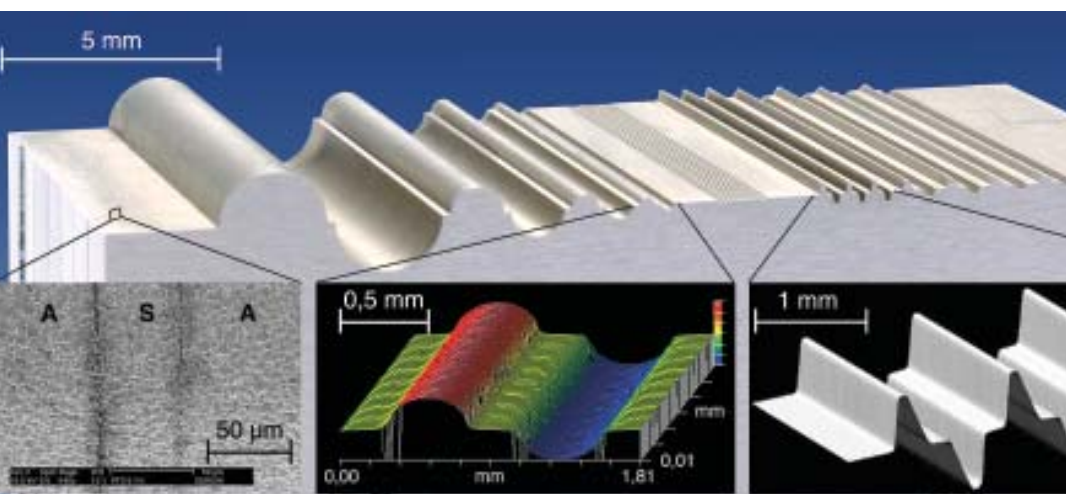


Bild 10: Mikroprüfkörper mit neun verschiedenen Zonen. Die drei Inletbilder zeigen Messdaten unterschiedlicher Messverfahren von drei gekennzeichneten Zonen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Erweiterung der Messmöglichkeiten des Präzisionsinterferometers

Im PTB-Präzisionsinterferometer kann jetzt auch an Proben mit zylindrischem Querschnitt die Länge als Funktion der Temperatur und des Drucks mit sub-nm-Messunsicherheit gemessen werden. Dies wird durch eine neue Methode zur Positionsbestimmung der Probe innerhalb der Phasentopographie ermöglicht.

(R. Schödel, AG 5.41, rene.schoedel@ptb.de)

Wellenfrontmessung bei großen Durchmessern

Für die Wellenfrontmessung von Objektiven großen Durchmessers wurde ein neues sub-apertures Wellenfrontmessverfahren vorgestellt. Ein kommerzieller Shack-Hartmann-

Sensor scannt mit großem Überlappungsbereich die zu messende Wellenfrontfläche. Die Wellenfront wird jedoch nicht aus den einzelnen Bildern berechnet, sondern mittels eines speziellen Algorithmus aus den Spotverschiebungen der Einzelbilder unter Nutzung der redundanten Informationen ermittelt. (A. Nicolaus, AG 5.41, arnold.nicolaus@ptb.de)

Entwicklung eines Absolutinterferometers mit Diodenlasern

Ein Interferometer zur Messung absoluter Distanzen wurde hinsichtlich der die Messunsicherheiten limitierenden Faktoren untersucht und optimiert. (V. Burgarth, AG 5.42, volker.burgarth@ptb.de und A. Abou-Zeid, FB 5.4, ahmed.abou-zeid@ptb.de)

Zweifarbigen-Interferometrie zur Kompensation der Luftbrechzahl

Mit Hilfe eines frequenzverdoppelten Nd:YVO₄-Lasers wurde durch gleichzeitige Verwendung der Grundwellenlänge von 1064 nm und der Oberwelle von 532 nm der Einfluss der Luftbrechzahl ohne Messung der Umweltparameter kompensiert. (K. Meiners-Hagen, AG 5.42, karl.meiners-hagen@ptb.de)

Kegelförmige Mikrobohrungen unter Einsatz eines UV-Lasersystems

Durch die Anwendung einer speziellen Bohrstrategie mit einem Nanosekunden-UV-Lasersystem (Pulslänge: 20 ns, Wellenlänge: 355 nm) wird es möglich, eine Qualität bei Mikrobohrungen (70 µm bis 250 µm) zu erzielen, die sich mit Ergebnissen von Femtosekunden-Lasersystemen (Pulslänge: 120 fs, Wellenlänge: 800 nm) vergleichen lässt. (C. Siewert, AG 5.54, carsten.siewert@ptb.de)

Fertigung rund profilierter Mikro-Nuten in monochristallinem Silizium

Es wurde ein neues mehrstufiges Verfahren zur Herstellung runder Nutengeometrien ($R = 100 \mu\text{m}$) entwickelt, mit dem aufgrund der speziellen Läpp-Kinematik hohe Oberflächengüten ($R_t < 50 \text{ nm}$) auf Längen von mehreren Zentimetern erzielt werden können. (R. Meeß, AG 5.56, rudolf.meess@ptb.de)

Messgerät zur Präzisionsbestimmung der Orientierung von Kristallen

Zur Bestimmung der Orientierung von ausgewählten Netzebenennormalen des Kristallgitters in Bezug auf eine vorgegebene Richtung mittels Röntgenstrahlbeugung wurde eine Silizium-Orientierungsapparatur konstruiert, gefertigt und erfolgreich in Betrieb genommen. (V. Jäger, AG 5.52, valentin.jaeger@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Mikrorauheitssensor für die Messung in Mikrostrukturen mit hohem Aspektverhältnis

Im Rahmen einer Industriekooperation werden Silizium-Biegebalken-Rauheitssensoren mit abgewinkelten Spitzen für Messungen in Mikrostrukturen mit großem Aspektverhältnis entwickelt. (U. Brand, AG 5.11, uwe.brand@ptb.de)

Kalibrierverfahren für Mikrokraft-Einstellnormale im µNewton-Kraftbereich

Ein Kalibrierverfahren für Mikrokraft-Einstellnormale, die zur Messung der Antastkräfte von Tastschnittgeräten eingesetzt werden, wurde entwickelt und im µN-Bereich erstmals erfolgreich angewendet. (U. Brand, AG 5.11, uwe.brand@ptb.de)

Entwicklung eines kombinierten Interferenzmikroskop-Objektivs mit kompaktem SPM-Kopf

Das kombinierte System, bestehend aus einem Interferenzmikroskop-Objektiv und einem kompakten Rasterkraftmikroskopie-Messkopf, ermöglicht quantitative und sogar rückführbare dimensionelle Messungen an Mikro- und Nanostrukturen. (H.-U. Danzebrink, AG 5.15, hans-ulrich.danzebrink@ptb.de)

Interpolationsabweichung des Interferometers am Nanometerkomparator

Durch den Einsatz eines neuen Maßstabhalters und eines hochauflösenden inkrementalen Messsystems der Firma *Dr. Johannes Heidenhain GmbH* konnten die Eigenschaften des Vakuum-Laserinterferometers am Nanometerkomparator genauer bestimmt werden. Das Rauschen in der Differenz beider Messsysteme betrug maximal $\pm 0,4 \text{ nm}$ und die Nichtlinearität der Interpolation des Interferometers wurde innerhalb von $\pm 0,2 \text{ nm}$ bestimmt. (J. Flügge, AG 5.21, jens.fluegge@ptb.de)

Winkelinterferometer am Nanometerkomparator einsatzbereit

Nach Neujustage der optischen Fasern am Nanometerkomparator sind die Vakuum-Interferometer zur Bestimmung der Winkelabweichungen bei Bewegung des luftgelagerten Messschlittens einsatzbereit. Bei nicht bewegtem Messschlitten lag die Standardabweichung der Winkelmessung, bestimmt aus 2000 über einen Zeitraum von 10 s erfassten Einzelmesswerten, bei unter $0,01 \mu\text{rad}$ bzw. $0,002 \text{ Winkelsekunden}$. (J. Flügge, AG 5.21, jens.fluegge@ptb.de)

Strukturbreitenmessung auf Lithographiemasken mittels Rasterelektronenmikroskopie

Zur Bestimmung der Breite von Linienstrukturen auf Lithographiemasken mittels des elektronenoptischen Metrologiesystems der

PTB wurden auf physikalischen Modellen beruhende Kantenalgorithmen entwickelt, die nunmehr die Kalibrierung der oberen Breite von Linienstrukturen mit geringeren Messunsicherheiten ermöglichen. (H. Bosse, FB 5.2/AG 5.22, harald.bosse@ptb.de)

Untersuchung von Normalen zur Tastspitzencharakterisierung von Rastersondenmikroskopen

Zur Bestimmung der Form von rastersondenmikroskopischen Tastspitzen sind verschiedene Normale kommerziell verfügbar. Es wurde beispielhaft anhand eines in der Rastersondenmikroskopie häufig eingesetzten Typs von Silizium-Cantilever systematisch untersucht, wie die an verschiedenen Normalen bestimmten Spitzenformen im vordersten Bereich der Tastspitze übereinstimmen. (H. Bosse, FB 5.2/AG 5.22, harald.bosse@ptb.de)

Abweichungsermittlung bei Koordinatenmessgeräten und Werkzeugmaschinen durch parametrische Multilateration

Zusammen mit dem *National Physical Laboratory* (NPL) in Großbritannien wurde ein neuartiges Verfahren zur Ermittlung von geometrischen Abweichungen von Koordinatenmessgeräten und Werkzeugmaschinen entwickelt und patentiert. Die Erprobung an Geräten unterschiedlicher Baugröße zusammen mit Industriepartnern hat die hohe Genauigkeit und Praktikabilität des Verfahrens demonstriert. (H. Schwenke, AG 5.32, heinrich.schwenke@ptb.de)

Durchführung eines Softwaretests im Bereich Verzahnung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens mit sieben beteiligten Firmen wurde ein Softwaretest entwickelt und durchgeführt. Mit ihm können Verzahnungsauswertungen für evolventische Zylinderräder überprüft werden. Die Grundlage dieses Testes bilden Referenzdatensätze und -algorithmen der PTB. Die ersten Zertifikate wurden während des 202ten PTB-Seminars überreicht. (F. Härtig, AG 5.33, frank.haertig@ptb.de)

Test eines absolutmessenden Laserinterferometers am 50-m-Komparator der PTB

Ein absolutmessendes Laserinterferometer (Entwickler *Uni Greifswald/TEM Hannover*) wurde auf dem 50-m-Komparator der PTB

einem Vergleichstest mit einem kommerziellen zählenden Laserinterferometer unterzogen. Auf Distanzen bis 55 m wurde eine längenabhängige Messunsicherheit von $< 10^{-6} \cdot L$ nachgewiesen.

(G. Sparrer, 5.44, gerald.sparrer@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

EUROMET.L-S11-Ringvergleich über Rauheitskennwerte

Der umfangreiche EUROMET.L-S11-Ringvergleich über die wichtigsten Rauheitskennwerte bestätigte zahlreiche Institute in ihren Messungen, zeigte andererseits aber auch einige Problemstellen in der Messtechnik und der Normung. (L. Koenders, AG 5.14, ludger.koenders@ptb.de)

Internationaler Maßvergleich von Winkelnormalen

In Zusammenarbeit mit dem *Nationalen Metrologischen Institut von Japan* (AIST/NMIJ) und der Firma *Dr. Johannes Heidenhain GmbH* wurde ein Maßvergleich von Winkelnormalen mit einem hochauflösenden inkrementalen Winkelencoder als Vergleichsmesssystem durchgeführt.

(R. Probst, AG 5.23, reinhard.probst@ptb.de)

Internationale Vergleichsmessung an Konturnormalen

Es wurde erstmals eine internationale Vergleichsmessung von Konturnormalen durchgeführt. An der Vergleichsmessung waren 14 Teilnehmer mit insgesamt 25 Messgeräten unterschiedlicher Messtechnik beteiligt. Die Ergebnisse zeigen, dass Konturnormale sowohl mit Koordinatenmessgeräten als auch mit Konturenmessgeräten mit hinreichender Messunsicherheit gemessen werden können.

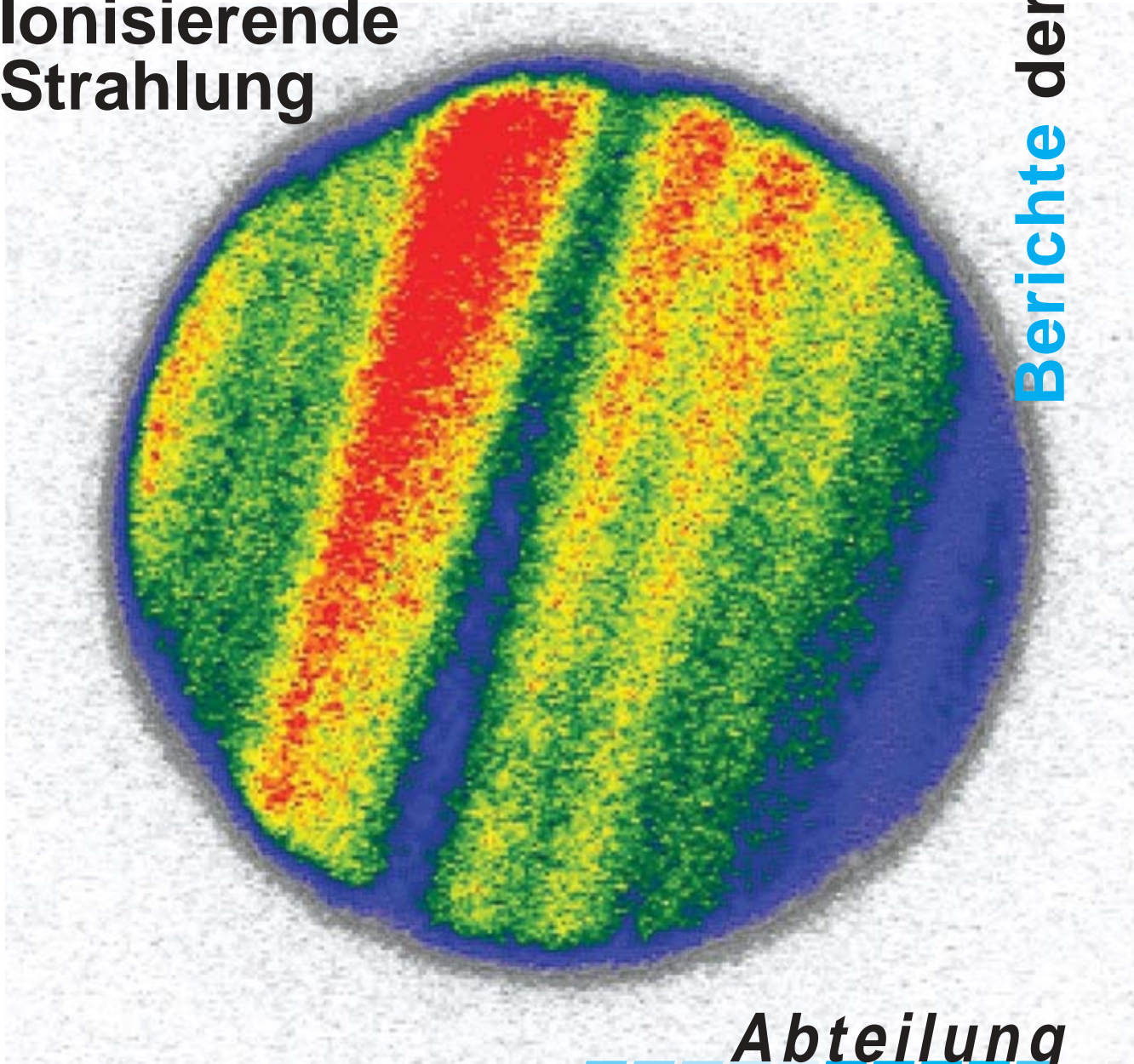
(O. Jusko, AG 5.31, otto.jusko@ptb.de)

Untersuchung eines Ersatznormals für Zahnprofilmessungen

Die *Technische Universität Kyoto* (Japan) hat ein Ersatznormal zu Profilmessung an Zahnradern entwickelt. Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurden von der PTB Verfahren entwickelt, mit denen das Ersatznormal auf Koordinatenmessgeräten mit der geforderten Genauigkeit kalibriert werden kann.

(F. Härtig, AG 5.33, frank.haertig@ptb.de)

**Ionisierende
Strahlung**



Berichte der Abteilungen

Abteilung



6

Ionisierende

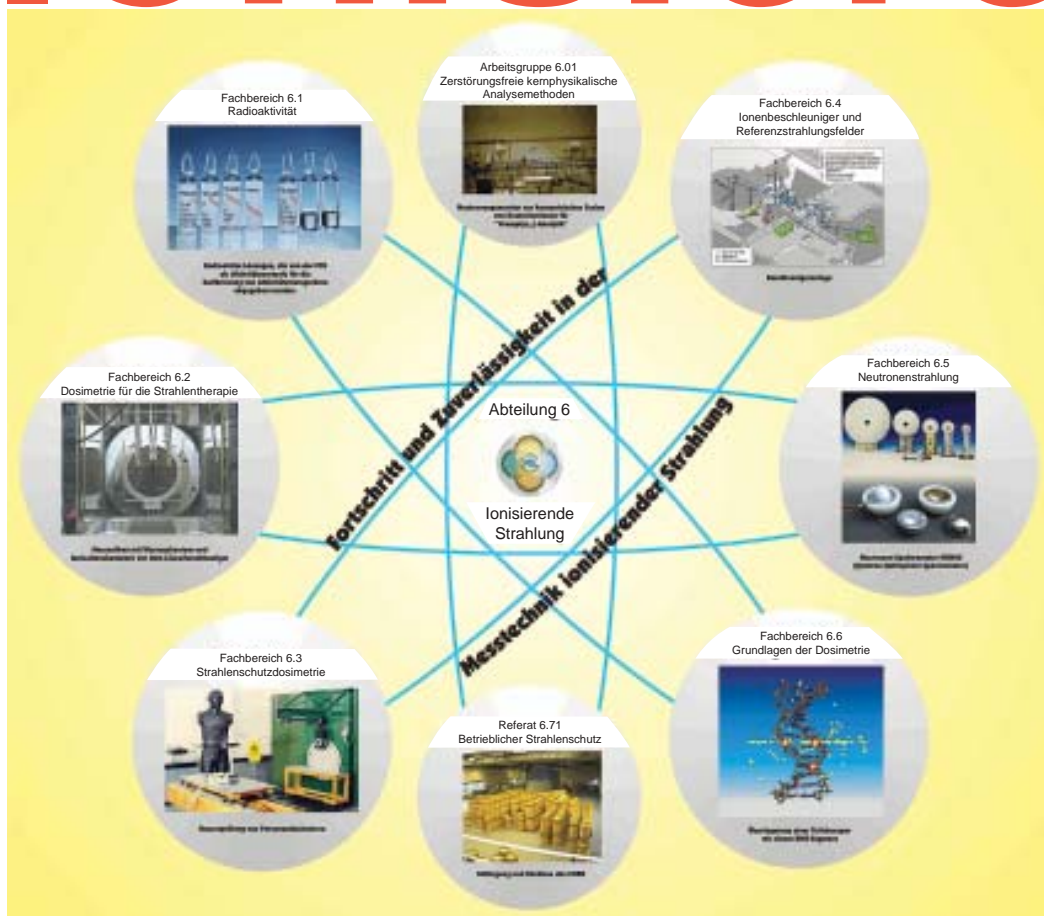


Bild 1: Auftrag der Abteilung Ionisierende Strahlung

Einleitung

Der Auftrag der Abteilung 6, Fortschritt und Zuverlässigkeit in der Messtechnik der ionisierenden Strahlung zu gewährleisten, ist in Bild 1 visualisiert. Man erkennt die zum 1. Juli 2003 eingeführte neue Struktur mit den sechs Fachbereichen, einem Referat (6.71) und einem Senior Scientist (Arbeitsgruppe 6.01). Im Anschluss an diese Einleitung wird jeweils über ein im Jahr 2004 besonders bedeutsames Ergebnis aus den Bereichen berichtet. Weitere Informationen finden sich in den darauf folgenden Schlagzeilen.

Titelbild

Aktivitätsverteilung des radioaktiven Isotops Au-198 in einer Goldfolie, die mit thermischen Neutronen bestrahlt wurde. Hohe Aktivitätswerte sind in der durch digitale Autoradiographie gewonnenen Aufnahme rot dargestellt. Der Durchmesser des Neutronenstrahls betrug etwa 20 mm.

In einem Gespräch Anfang Januar 2004 kamen die Präsidenten des BfS und der PTB überein, die Kontakte zwischen dem BfS und der PTB weiterhin zu pflegen und ggf. zu intensivieren. Dies betrifft insbesondere die Abteilung 6. In informellen Gesprächen sollte erkundet werden, wo vorhandene Ressourcen besser (gemeinsam) genutzt werden können und bei welchen Forschungszielen effizienter, evtl. unter Beteiligung Dritter, zusammengearbeitet werden kann. Daraufhin fanden im Juni 2004 je ein Treffen im BfS beim Fachbereich *Strahlenschutz und Gesundheit* in Neuherberg und in der PTB mit dem Fachbereich *Strahlenschutz und Umwelt* in Braunschweig statt.

Bei den Treffen herrschte ein konstruktives, offenes und freundliches Gesprächsklima. Ein Bericht über die Ergebnisse der Treffen mit den möglichen Feldern der Zusammenarbeit von BfS und PTB wurde den Präsidenten des BfS und der PTB übersandt.

e Strahlung

Die Abteilung hat sich kontinuierlich mit der Frage auseinanderzusetzen, welche (innovativen) Bereiche sie in ihr Aufgabenspektrum aufnehmen soll bzw. welche auslaufen sollen. Die Hochleistungslaserphysik hat in den vergangenen Jahren immer mehr Bedeutung erlangt, und Hochleistungslaser führen zu vollkommen neuartigen Teilchen- und Röntgenstrahlungsquellen, die industriell relevant werden können. Es wurde deshalb zusammen mit der Abteilung 4 ein PTB-Seminar organisiert, um den Stand der Technik darzustellen und zu erörtern, ob sich die PTB auf diesem Gebiet einbringen sollte. In der abschließenden Podiumsdiskussion äußerten die Vertreter der auswärtigen Institute große Bereitschaft, mit der PTB zusammenzuarbeiten.

Das große Bauprojekt der Abteilung 6, der Neubau der Elektronenbeschleunigeranlage, hat eine wichtige Hürde genommen: Ende Juli erfolgte die Auftragsvergabe für die Elektronenbeschleuniger. Die Firma *ELEKTA GmbH*, Hamburg, wurde als Generalunternehmer mit der Errichtung der Beschleunigeranlagen beauftragt. Sie wird zwei medizinische Linearbeschleuniger liefern. Der in Bild 2 gezeigte medizinische Linearbeschleuniger ist vom gleichen Typ wie die zu liefernden. Als Sub-Unternehmer wird die Firma *Accel Instruments GmbH*, Bergisch-Gladbach, hinzugezogen. Von *Accel* wird ein in dieser Form bisher noch nicht gebauter Linearbeschleuniger geliefert, der einen Elektronen-Nadelstrahl mit Energien von 0,5 MeV bis 50 MeV liefert.

Am 19.2.2004 wurde der Betrieb des vom *Niedersächsischen Umweltministerium* genehmigten PTB-internen Zwischenlagers für sonstige radioaktive Reststoffe aus der Stilllegung und dem Abbau des *Forschungs- und Messreaktors Braunschweig* (FMRB) mit der Einlagerung des ersten Abfallfasses aufgenommen. Die Einrichtung eines Zwischenlagers war erforderlich geworden, weil eine Anlage des Bundes zur Sicherstellung und

Endlagerung radioaktiver Abfälle derzeit nicht zur Verfügung steht.

Im Verlauf einer sechswöchigen Einlagerungskampagne wurden 492 Abfallgebinde in das Zwischenlager eingelagert. Sämtliche Gebinde waren zuvor von zwei unabhängigen Sachverständigen auf ihre Zwischen- und Endlagerfähigkeit hin begutachtet worden. Jeder Einlagerungsvorgang wurde detailliert durch den von der Genehmigungsbehörde beauftragten Sachverständigen begleitet (siehe Bild 3). Die Einlagerung der Abfallgebinde erfolgte reibungslos. Nach Beendigung der Einlagerungskampagne betrug die Gesamtaktivität 1,4 TBq.

Das Zwischenlager wird radiologisch, brandschutztechnisch, hinsichtlich der Luftfeuchte, auf Einbruch und auf Wassereintrich überwacht. Eine Gefährdung von Mensch und Umwelt durch das Zwischenlager kann aufgrund der getroffenen Sicherheitsvorkehrungen nicht eintreten.

Im Berichtszeitraum wurden das Maschinenhaus (bis auf die Lüftungszentrale), das Laborgebäude sowie sämtliche Freiflächen der Anlage FMRB aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen. Für die restlichen

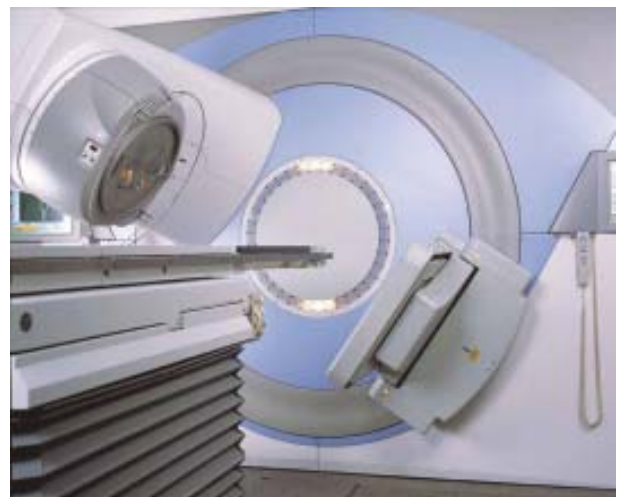


Bild 2: Medizinischer Linearbeschleuniger vom Typ des von der PTB in Auftrag gegebenen Modells

Gebäudebereiche wurden zu einem großen Teil bereits Freimessungen durch die PTB durchgeführt. Weitere Anträge zur Entlassung von Gebäudebereichen der Anlage FMRB aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes wurden beim *Niedersächsischen Umweltministerium* gestellt. Es wird davon ausgegangen, dass die Freimessaktivitäten bis Ende des Jahres 2004 abgeschlossen sein werden und der Standort der Anlage FMRB im 1. Quartal 2005 insgesamt aus dem Geltungsbereich des Atomgesetzes entlassen sein wird.

Aufbau eines Deuterium-Fusions-Neutronengenerators

Zur zerstörungsfreien Isotopenanalyse nach der Art der Isotope und ihren Konzentrationen in festen, flüssigen und gasförmigen Stoffen kann die prompt(n, γ)-Spektroskopie nach dem Einfang thermischer Neutronen als kernphysikalische Methode verwendet werden. Für die Erzeugung des Neutronenflusses wurde ein konzentrischer Deuterium-Fusions-Neutronengenerator (basierend auf der Reaktion $D(d, n)^3\text{He}$) zu Testzwecken aufgebaut (siehe Bild 4).

Erste EUROMET-Vergleichsmessung auf dem Gebiet der Umweltradioaktivität

Das radioaktive Edelgas Radon (Rn-222) und seine Zerfallsprodukte verursachen fast die Hälfte der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch natürliche Strahlenexposition. Nach dem Rauchen stellt die Belastung durch Radon und seine Zerfallsprodukte die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs dar. Mit der Entwicklung eines Primärnormal für die Radon-in-Gas-Aktivität und den Ergebnissen der Forschungs- und Entwicklungsarbeiten an der großen Radonnormal-Kammer und deren Instrumentierung sind wichtige, sich aus der Strahlenschutzverordnung ergebende Anforderungen an die Radon- und Radonfolgeprodukt-Messtechnik erfüllt.

Im Rahmen einer internationalen EUROMET-Vergleichsmessung (Projekt 657), die von der PTB organisiert und ausgewertet wurde, haben sich europäische Metrologie-Institute mit ihren Radon-Kalibriereinrichtungen verglichen. Dazu zirkulierte zwischen zwölf Instituten aus neun Ländern ein Referenzgerät zur Messung der Aktivitätskonzentration von Radon in der Luft, das von den Teilnehmern



Bild 3: Aufsichtsbesuch im Zwischenlager



Bild 4: Deuterium-Fusions-Neutronengenerator

mit eigenen Hilfsmitteln kalibriert werden sollte. Bild 5 zeigt die teilnehmenden Institute und veranschaulicht die starke Stellung der PTB im europäischen Raum als Quelle der Rückführbarkeit von Radon-Aktivitätsmessungen auf die Normale der Bundesrepublik Deutschland.

Relative biologische Wirksamkeit von Photonenstrahlung

In enger Zusammenarbeit der PTB (Abteilungen 6 und 7) mit dem *Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit* (GSF, Neuherberg) wurde die relative biologische Wirksamkeit (RBW) von Photonenstrahlung mit (mittleren) Energien im Bereich von etwa 1,8 keV bis

3 MeV untersucht. Die RBW ist definiert als Quotient der Energiedosis einer Referenzstrahlung und der Energiedosis der interessierenden Strahlungsart bei gleicher beobachteter biologischer Wirkung.

Die Experimente erfolgten mit monochromatisierter Synchrotronstrahlung, in Röntgenstrahlungsfeldern, in ^{60}Co -Feldern und in den Photonenstrahlungsfeldern eines Linearbeschleunigers. Alle Untersuchungen wurden am menschlichen Blut desselben Spenders durchgeführt. Der biologische Endpunkt war die Bildung von dizentrischen Chromosomen in Lymphozyten. Wegen der geringen Eindringtiefe niederenergetischer Photonenstrahlung wurden die Bestrahlungen im unteren Energiebereich, d. h. für monoenergetische Strahlung mit einer Energie bis einschließlich 10 keV, an Monolayern von Lymphozyten durchgeführt.

Bild 6 zeigt die ermittelten Werte der RBW in Abhängigkeit von der Photonenenergie bzw. der mittleren Photonenenergie. Referenzstrahlung (RBW = 1) ist 220-kV-Röntgenstrahlung (Filterung 4,05 mm Al + 0,5 mm Cu). Nach einem ausgeprägten Maximum bei etwa 7 keV folgt ein Abfall bis zur Energie der ^{60}Co -Gammastrahlung, gefolgt von einem erneuten Anstieg bei 3 MeV. Die Resultate bei der Energie von 17,4 keV aus zwei unterschiedlichen Präparationsmethoden stimmen innerhalb der Unsicherheiten gut miteinander überein (siehe Punkte im Bild 6). Noch nicht abschließend geklärt sind die Unterschiede zwischen den Resultaten für monoenergetische Photonenstrahlung und gefilterte Röntgenbremsstrahlung etwa gleicher mittlerer Energie (z. B. bei 17,4 keV – siehe Punkte und Sterne im Bild 6). Der hier gezeigte Datensatz ist der erste seiner Art, bei dem die Variabilität der Strahlungsempfindlichkeit unterschiedlicher Spender und unterschiedliche Präparationsmethoden keine Rolle spielen.

Regelmäßige Vergleichsmessungen von Personendosimetern

In Deutschland werden für die gesetzlich vorgeschriebene Überwachung von beruflich strahlenexponierten Personen passive Personendosimeter eingesetzt, die von Dosimetrieinstellen ausgegeben und ausgewertet werden. Die PTB ist dabei zuständig für die Qualitätskontrolle. Diese erfolgt zweistufig. In der



Bild 5: Euromet-Vergleichsmessung von zwölf teilnehmenden Instituten aus neun Ländern

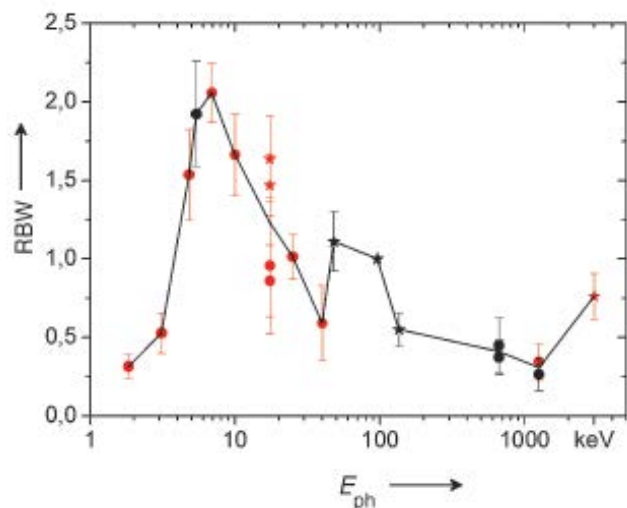


Bild 6: Relative biologische Wirksamkeit (RBW) für monoenergetische Photonen- und Gammastrahlung (Punkte) und gefilterte Röntgenbremsstrahlung (Sterne) als Funktion der Energie bzw. der mittleren Energie E_{ph} . Referenzstrahlung (RBW = 1) ist 220-kV-Röntgenstrahlung (Filterung: 4,05 mm Al + 0,5 mm Cu, mittlere Energie: 96 keV). Die roten Punkte und roten Sterne wurden in der PTB gemessen, die anderen in der GSF. Die durchgezogene Linie verbindet die Mittelwerte gemessener Punkte.

ersten Stufe werden die Bauarten einer sorgfältigen Überprüfung ihrer Eigenschaften unterzogen, bevor das Dosimeter eingesetzt werden darf. Bei Photonendosimetern ist dies eine Zulassung zur Eichung gemäß Eichordnung, bei Beta- und Neutronendosimetern erfolgt dies gemäß einer Richtlinie.

In der zweiten Stufe wird der Routinebetrieb in den Dosimetriestellen jährlich durch so genannte „regelmäßige Vergleichsmessungen“ überprüft. Dabei werden die Dosimeter von der PTB mit einer genau bekannten Dosis bestrahlt, hier mit H_{PTB} bezeichnet. Dann werten die Dosimetriestellen die Dosimeter aus und ermitteln ihren Messwert H_{MST} , natürlich ohne den Wert H_{PTB} zu kennen. Als Maß für die Qualität dient der Quotient H_{MST}/H_{PTB} , der für ein ideales Dosimeter gleich 1,0 sein sollte. Die Bilder 7 bis 9 zeigen die Werte dieser Quotienten in Abhängigkeit von der Dosis für die Vergleichsmessungen der letzten Jahre; für Photonenstrahlung in Bild 7, für Betastrahlung in Bild 8 und für Neutronenstrahlung in Bild 9. Die eingezeichneten Linien geben die zulässigen Grenzen für diesen Quotienten an. Zu hohen Dosen hin verengen sich diese Grenzen auf Grund der Erfordernisse des Strahlenschutzes.

Die Bedingung für das Bestehen der jährlichen Vergleichsmessungen ist, dass 90 % aller Quotienten für jede Bauart des Dosimeters einer Messstelle innerhalb dieser Grenzen liegen müssen. Wird diese Anforderung bei der Vergleichsmessung von einer Dosimeterbauart nicht erfüllt, so wird im Allgemeinen, bei Photonendosimetern im Einvernehmen mit dem zuständigen Eichamt, eine Wiederholung für dieses Dosimeter durchgeführt. Dies war in den letzten Jahren seit 1998 bei drei Photonen-Dosimetern und bei einem Neutronen-Dosimeter der Fall. In allen vier Fällen konnten die Ursachen für Qualitätsmängel gefunden und abgestellt werden, so dass zusammenfassend festgestellt werden kann, dass diese Art der zweistufigen Qualitätskontrolle wirksam und notwendig ist.

Charakterisierung und Qualitätssicherung des thermischen Neutronenfelds an der „Geesthacht Neutron Facility“ (GeNF)

Zur Vorbereitung von Bestrahlungen mit thermischen Neutronen im Kalibrierfeld der PTB am GKSS-Forschungsreaktor in Geesthacht wird routinemäßig eine vollständige Bestimmung der Feldeigenschaften durchgeführt. Eine wesentliche Rolle spielt dabei ein ${}^6\text{Li}$ -Glas-Szintillationsdetektor zur Absolutbestimmung des Neutronenflusses, zur Kalibrierung des ${}^3\text{He}$ Transmissionsstrahlmonitors sowie zur Messung von Flugzeitspektren. Der so bestimmte Fluss thermischer

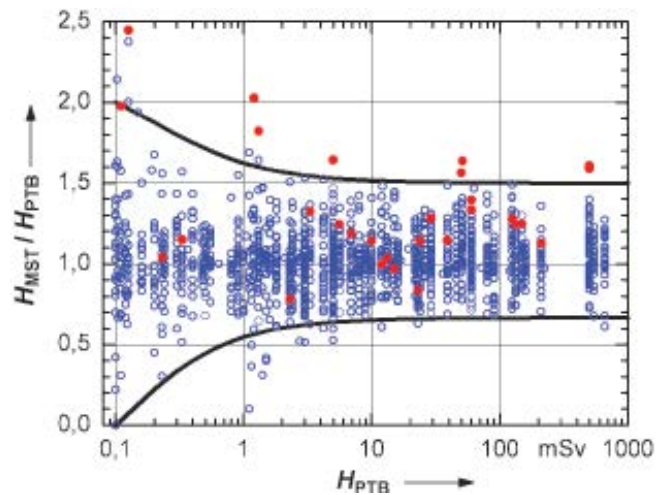


Bild 7: Ergebnisse der Photonen-Vergleichsmessungen von 1998 bis 2003. Die drei im ersten Versuch nicht bestandenen Vergleichsmessungen sind durch ausgefüllte rote Kreise gekennzeichnet.

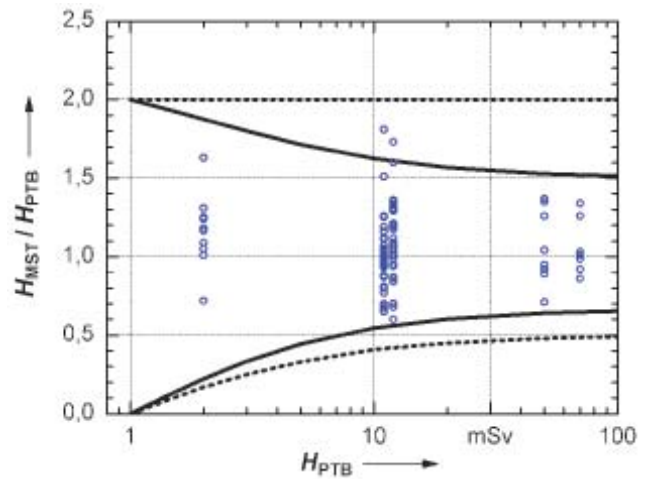


Bild 8: Ergebnisse der Beta-Vergleichsmessungen von 2002 bis 2003. Diese Vergleichsmessungen wurden erst 2002 begonnen. Die gestrichelten unteren und oberen Grenzen gelten für die sehr niederenergetische Strahlung von Promethium-147. Es gab keine Überschreitungen.

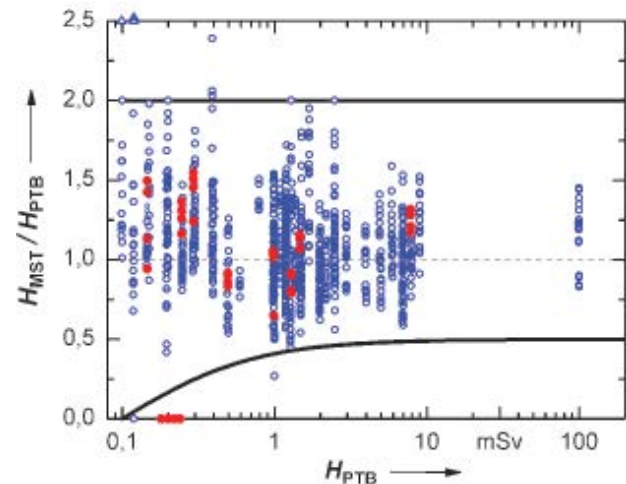


Bild 9: Ergebnisse der Neutronen-Vergleichsmessungen von 1998 bis 2003. Die im ersten Versuch nicht bestandene Vergleichsmessung ist durch ausgefüllte rote Kreise gekennzeichnet.

Neutronen von ca. 10^6 s^{-1} an der Referenzposition kann mit Hilfe einer variablen Blende um bis zu zwei Größenordnungen reduziert werden, ohne die Strahldivergenz zu verändern. Die spektrale Verteilung mit einer mittleren Neutronenenergie von 45 meV, die mit der Flugzeitmethode (Flugstrecke 6,6 m) bestimmt wurde, zeigt keine Abhängigkeit vom eingestellten Neutronenfluss und kann durch eine Maxwellverteilung beschrieben werden (Bild 10).

Im Rahmen der Qualitätssicherung wurden zusätzlich Aktivierungsmessungen an dünnen Goldfolien (Dicke ca. $20 \mu\text{m}$) zur Flussbestimmung durchgeführt (siehe Titelbild). Die Messanordnung zur Aktivitätsbestimmung erforderte dabei eine reduzierte Strahldivergenz, die mit Hilfe einer weiteren Lochblende ca. 2 m vor der Bestrahlungsposition realisiert wurde. Mit den Aktivierungsmessungen sind die Neutronenflussmessungen an das nationale Primärnormal der PTB für die Aktivitätseinheit angeschlossen. Die Ergebnisse dieser beiden Methoden zur Flussbestimmung stimmen innerhalb von 2 % überein, wobei die Standardunsicherheiten der Ergebnisse der einzelnen Messmethoden nur geringfügig höher liegen.

Charakteristisch für den Neutronenstrahl sind weiterhin ein geringer Gamma-Untergrund sowie ein vernachlässigbar kleiner Anteil von epithermischen Neutronen mit einem Cd-Verhältnis von $3,3 \cdot 10^4$. Es sind somit optimale Voraussetzungen zur Kalibrierung von Strahlenschutzmessgeräten in einem thermischen Neutronenfeld gegeben.

EURADOS

Seit 1999 führt die *Europäische Strahlungsdosimetrie-gruppe* (European Radiation Dosimetry Group, EURADOS) in der PTB Braunschweig ihre Jahrestagung durch. Schwerpunkte der Tätigkeit sind die Koordination von Forschungsaktivitäten im Bereich Dosimetrie und die Harmonisierung von Regelungen für die Strahlenschutzdosimetrie in Europa. EURADOS besteht aus 50 Mitgliedsinstitutionen aus 24 Ländern und wird seit vielen Jahren durch die Europäische Kommission gefördert.

Vom 8. bis 11. März 2004 wurde die Tagung erstmals gemeinsam mit der Europäischen Projektgruppe für Späteffekte (European Late Effects Project Group, EULEP) durchgeführt. Die PTB war somit wiederum Gastgeber von Experten aus zahlreichen Ländern Europas, die sich mit dem Problem der Dosimetrie von ionisierender Strahlung beschäftigen. Diesmal nahmen 90 Wissenschaftler aus 19 Ländern teil. In Besprechungen zahlreicher Arbeitsgruppen wurden spezifische Fragestellungen bearbeitet, und es wurden die Generalversammlungen der beiden Organisationen abgehalten. Helmut Schuhmacher (PTB) wurde dabei zum neuen Vorsitzenden von EURADOS gewählt.

Von besonderer Bedeutung für die künftige Arbeit von EURADOS ist ein Antrag auf eine Koordinierungsaktivität, der im 6. Rahmenprogramm der Europäischen Kommission eingereicht wurde. Der Antrag wurde positiv begutachtet und die Vertragsverhandlungen befinden sich unmittelbar vor dem Abschluss.

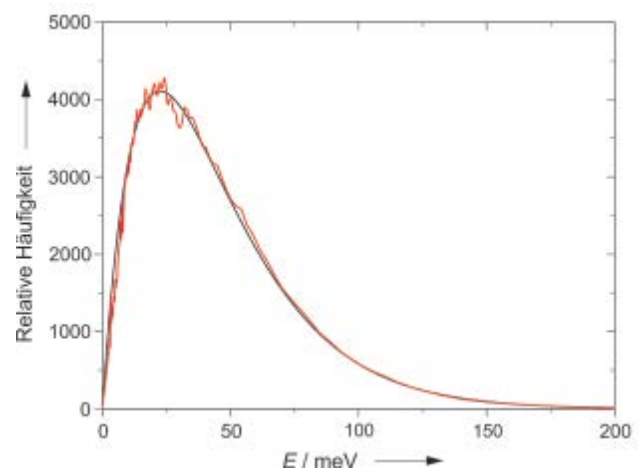


Bild 10: Gemessene spektrale Verteilung der thermischen Neutronen (rot), normiert auf einen Neutronenfluss von 10^6 s^{-1} . Eine Maxwellverteilung mit $kT = 22,5 \text{ meV}$ zeigt bei gleicher Normierung eine gute Übereinstimmung mit den aus Flugzeitmessungen gewonnenen Daten

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(auch im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Neue Beschreibung der Totschicht von Germaniumdetektoren in der Gammaskpektrometrie

Gammaskpektrometrische Messungen mit p-Typ-Germanium-Detektoren in Nahgeometrie zeigen bei einer speziellen Klasse von Radionuklidern (z. B. ^{133}Ba und ^{152}Eu) ungewöhnliche Linienformen im gemessenen Gammastrahlungsspektrum, verursacht durch Koinzidenzsumationen von Gamma- und Röntgenstrahlung. Die Verbreiterung (Tailing) der gemessenen Linien auf der höherenergetischen Seite lässt sich durch eine Struktur der Totschicht erklären und mit Hilfe des Monte-Carlo-Programms GESPECOR modellieren. (D. Arnold, 6.1, dirk.arnold@ptb.de)

Normalmesseinrichtung für die Aktivität von I-125 zur Verwendung im internationalen Vergleich des BIPM 2004

Für Aktivitätsbestimmungen von I-125, das eine wichtige Rolle in der Nuklearmedizin, der Biochemie und der Gammaskpektrometrie spielt, wurde ein Normalmessverfahren entwickelt und im Rahmen eines im Jahr 2004 vom BIPM organisierten internationalen Vergleichs eingesetzt. Mit zwei in Koinzidenz geschalteten NaI(Tl)-Detektoren werden, in unterschiedlichen Abständen zu einer sorgfältig präparierten Quelle, die emittierten Photonen gemessen. (H. Schrader, 6.1, heinrich.schrader@ptb.de)

NaI-Detektor-Sekundärmesseinrichtung zur Herstellung von gasförmigen ^{222}Rn -Aktivitätsnormalen

Für die Herstellung von Aktivitätsnormalen des natürlichen radioaktiven Edelgases ^{222}Rn , das einen großen Beitrag zur Strahlenbelastung der Bevölkerung leistet, wurde eine Sekundärmesseinrichtung mit einem NaI-Detektor etabliert. Das System kann mit nur geringfügig erhöhter Messunsicherheit als Alternative zu den aufwendigen Primärnormalmessungen oder als qualitätssichernde Ergänzung eingesetzt werden. (R. Dersch, 6.1, rainer.dersch@ptb.de)

Präzise Dosisbestimmung mit Alanin bei einer Energiedosis bis 5 Gy

Eine Sekundärnormal-Messeinrichtung für die Wasser-Energiedosis in Strahlungsfeldern hoher Energie befindet sich im Aufbau. Mit Hilfe eines Relativ-Messverfahrens, bei welchem das ESR-Spektrum der Alanin-Dosimetersonden gleichzeitig mit dem einer Referenzsubstanz erfasst wird, konnten Dosen von 5 Gy mit einer relativen Standard-Messunsicherheit von 0,5 % ermittelt werden. (M. Anton, 6.2, mathias.anton@ptb.de)

Neue Bestrahlungsvorrichtung für ^{60}Co -Gammastrahlung

Eine neue Bestrahlungsvorrichtung für ^{60}Co -Gammastrahlung wurde in Betrieb genommen. Die Anlage wird u. a. für die Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis und zur Kalibrierung von Dosimetern eingesetzt. Die Messunsicherheiten sind geringer als bei Messungen an der alten Bestrahlungsvorrichtung. (R.-P. Kapsch, 6.2, ralf-peter.kapsch@ptb.de)

Bestimmung von Rückstrefaktoren für die Beta-Dosimetrie

Rückstrefaktoren für die Beta-Dosimetrie wurden sowohl experimentell mit Hilfe neuartiger ultradünner Thermolumineszenz-Detektoren (ca. 15 μm dünne LiF-Pulverschicht auf einem 50 μm dicken Kaptonträger) als auch mittels der Monte-Carlo-Rechnung bestimmt. Durch diese Bestimmung konnte insbesondere die relative Standard-Messunsicherheit des Korrektionsfaktors für die Rückstreuung reduziert werden. Sie ist bei der Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis von Beta-Brachytherapiequellen von Bedeutung. (M. Bambynek, 6.2, markus.bambynek@ptb.de)

EU-Projekt DOSMAX beendet

Das EU-Forschungsprogramm DOSMAX (Untersuchung der Strahlenexposition in Flughöhen im Bereich des Maximums der Sonnenaktivität) wurde erfolgreich abgeschlossen.

(F. Wissmann, 6.3, frank.wissmann@ptb.de)

UDO zieht um

Das Untergrundlaboratorium der PTB (UDO) in der Asse, einem ehemaligen Salzbergwerk, zieht einige Stockwerke höher: von der 925-Meter-Sohle, die in diesem Jahr verfüllt werden soll, auf die 490-Meter-Sohle. Auch dort herrschen noch Mess-Bedingungen, die die weltweit herausragende Stellung des Labors erhalten, so dass die PTB ihre Arbeiten auf dem Gebiet der Dosimetrie und Spektrometrie in vollem Umfang weiterführen kann. (S. Neumaier, 6.3, stefan.neumaier@ptb.de)

Messung von neutroneninduzierten Reaktions-Wirkungsquerschnitten für Cu- und Zn-Proben und Neutronenenergien zwischen 8 MeV und 14 MeV

Die gemessenen (n, p)- und (n, 2n)-Wirkungsquerschnitte von Kupfer- und Zink-Isotopen füllen einen für praktische Anwendungen wichtigen Energiebereich, in dem bisher kaum Daten vorliegen. Trotz messtechnischer Schwierigkeiten (nicht-monoenergetische Neutronenquelle, Nachweis der Positronen-Vernichtungsstrahlung) wurden mittels ausgefeilter Korrekturverfahren äußerst präzise Daten ermittelt.

(W. Mannhart, 6.4, wolf.mannhart@ptb.de)

Wirkungsquerschnitte für die neutroneninduzierte Spaltung von ^{235}U , ^{238}U , ^{209}Bi und $^{\text{nat}}\text{Pb}$ im Energiebereich von 30 MeV bis 200 MeV

Die Wirkungsquerschnitte für neutroneninduzierte Spaltung von ^{235}U , ^{238}U , ^{209}Bi und $^{\text{nat}}\text{Pb}$ wurden im quasimonoenergetischen Neutronenstrahlungsfeld im Energiebereich zwischen 30 MeV und 200 MeV gemessen. Diese Daten werden für die Metrologie hochenergetischer Neutronen und für die Planung von Experimenten zur Transmutation radioaktiver Abfälle benötigt.

(R. Nolte, 6.4, ralf.nolte@ptb.de)

Messung von W-Werten für hochenergetische Protonen und ^4He -Ionen in Luft, Stickstoff und Argon

Bei der Strahlentherapie mit Protonen und Schwerionen werden für die Dosimetrie mit Ionisationskammern als Basisgrößen die W-Werte der Teilchen in Luft benötigt. Zur Reduzierung der existierenden Unsicherheiten ist an den Teilchenbeschleunigern der PTB eine neue Messapparatur aufgebaut und erfolgreich in Betrieb genommen worden.

(U. Giesen, 6.4, ulrich.giesen@ptb.de)

Neutronenspektrometer für die gleichzeitige Messung von DD- und DT-Neutronenspektren am JET/Culham

Im Rahmen einer internationalen Kollaboration wurde ein NE213-Flüssigszintillationspektrometer für das europäische Fusionsexperiment JET (Joint European Torus) in Culham, England entwickelt. Dieses Spektrometer wurde erfolgreich eingesetzt, um bei verschiedenen Heizmechanismen des Fusionsplasmas aus der Halbwertsbreite der Neutronenspektren bei 2,5 MeV und 14 MeV die Iontemperatur im Plasma zu bestimmen. (A. Zimbal, 6.5, andreas.zimbal@ptb.de)

Entwicklung eines ortsempfindlichen Detektors für Inspektionsverfahren mit schnellen Neutronen

Zerstörungsfreie Inspektionsverfahren mit schnellen Neutronen stellen eine vielversprechende Alternative zu bekannten Röntgenverfahren dar, insbesondere wenn es um die Verteilung oder das Auffindung von Elementen mit niedriger Kernladung (H, C, N, O) in großen Objekten wie Koffern, Cargo-Containern, Metallbehältern oder Gesteinen geht. Für diese Anwendungen wurde in der PTB ein ortsempfindlicher und energieselektiver Neutronendetektor entwickelt, der einen „Gas-Elektronen-Vervielfacher“ (GEM) als zentrales Messsystem einsetzt. (V. Dangendorf, 6.5, volker.dangendorf@ptb.de)

Von der Nanodosimetrie zur Strahlenbiologie

Der nächste Schritt in die Zukunft: Für Elektronen im Energiebereich zwischen 10 eV und 100 keV wurde der Nachweis erbracht, dass die Erzeugung von Ionisationsclustern in einem nanometrischen Wasserzylinder eng mit der Erzeugung von Strangbrüchen in der DNA korreliert ist. (B. Großwendt, 6.6, bernd.grosswendt@ptb.de)

Zusammenarbeit mit dem Weizmann-Institut (Israel) im Bereich Nanodosimetrie

Eine sehr komplexe Messapparatur zur Untersuchung von Teilchenspurrstrukturen wird zurzeit noch am Weizmann-Institut betrieben und wird bald von der PTB kostenfrei übernommen und weiterentwickelt. Im Rahmen einer Zusammenarbeit wurden mit dieser Apparatur im Juli und August 2004 schon eine große Anzahl von Untersuchungen durchgeführt.

(E. Gargioni, 6.6, elisabetta.gargioni@ptb.de)

Neue Referenzdaten zur Messung von Elektronenstreuquerschnitten

Mit Hilfe einer neu entwickelten Molekularstrahl-Messmethode wurden die elastischen Streuquerschnitte von Helium und Argon für Elektronen mit Energien zwischen 10 eV und 1 keV absolut gemessen. Auf Grund ihrer Vollständigkeit sind die neuen Datensätze von großer praktischer Bedeutung und können zur Qualitätssicherung bei anderen Elektronen-Streuxperimenten dienen. (W. Y. Baek, 6.6, woonyong.baek@ptb.de)

Direkter Vergleich der Freiluftkammern der PTB und des NPL

Die Freiluft-Ionisationskammern (kurz: Freiluftkammern) des *National Physical Laboratory* (NPL), Großbritannien, und der PTB zur Darstellung der Einheit der Luftkerma für Röntgenstrahlungen mit Erzeugerspannungen von 40 kV bis 300 kV wurden in den Röntgenstrahlungsfeldern der PTB direkt miteinander verglichen. (L. Büermann, 6.6, ludwig.bueermann@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Elektronisches Personendosimeter für Neutronen und Photonen: Industrietransfer

Mit der Firma *Synodys* wurde Ende des Jahres 2003 eine weltweite exklusive Lizenz für die Fertigung und den Verkauf von Neutronendosimetern, basierend auf den Patenten der PTB, abgeschlossen. Testmessungen mit ersten Prototypen des neuen Dosimeters für gemischte Gamma-/Neutronenfelder (DMC2000GN) wurden in den Referenzfeldern der PTB durchgeführt, um die dosimetrischen Eigenschaften sicherzustellen. (M. Luszik-Bhadra, 6.5, marlies.luszik-bhadra@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Auftragsvergabe Elektronenbeschleuniger

Eines der beiden laufenden großen Bauprojekte der PTB hat eine wichtige Hürde genommen: Ende Juli erfolgte die Auftragsvergabe für die Elektronenbeschleuniger. Die Firma *Elekta GmbH*, Hamburg, wurde als Generalunternehmer mit der Errichtung der Beschleunigeranlagen beauftragt. Sie wird zwei medizinische Linearbeschleuniger liefern. Als Nach-Unternehmer wird die Firma *Accel Instruments GmbH*, Bergisch-Gladbach, hinzugezogen. Von *Accel* wird ein in dieser Form bisher noch nicht gebauter

Linearbeschleuniger geliefert, der einen Elektronen-Nadelstrahl mit Energien von 0,5 MeV bis 50 MeV liefert. (H.-M. Kramer, 6.2, hans-michael.kramer@ptb.de)

Flugkoffer im Dauereinsatz

In Zusammenarbeit mit der Lufthansa wurde ein Messgerät zur Dauermessung der Strahlendosis in Flugzeugen, der „Flugkoffer“, an Bord einer Passagiermaschine installiert. Bis Juli 2004 wurde damit auf etwa 190 Flügen weltweit die Strahlendosis gemessen. (F. Wissmann, 6.3, frank.wissmann@ptb.de)

Prüfung von Dosis-Ermittlungsprogrammen

In Zusammenarbeit mit dem Luftfahrtbundesamt erfolgt die Prüfung von Programmen zur Dosis-Ermittlung für das fliegende Personal durch den Fachbereich 6.3, AG 6.33 *Umgebungsdosimetrie* und die *Softwareprüfstelle* der PTB (Fachbereich 8, AG 8.51). Bisher wurden zwei Programme geprüft, die auch vom Luftfahrtbundesamt zugelassen wurden. (F. Wissmann, 6.3, frank.wissmann@ptb.de)

Optimierung des Mikro-Ionenstrahls

Durch die Installation einer elektrostatischen Ablenkeinheit und durch Verbesserungen bei der automatischen Bilderfassung konnte die experimentelle Geschwindigkeit der Anlage um einen Faktor 10 erhöht werden. Der Routinebetrieb konnte nach dem Umbau ohne Verzögerungen wieder aufgenommen werden und erlaubt nun die gezielte Bestrahlung von bis zu 40 000 Zellen pro Stunde. Die Kooperation mit der *Universität Duisburg-Essen* im Rahmen eines EU-geförderten Projekts wurde mit Fortschritten weitergeführt und neue Kooperationen mit der GSF Neuherberg und dem DLR Köln wurden gestartet. (K.-D. Greif, 6.4, klaus.greif@ptb.de)

Untersuchung von radiobiologischen Phänomenen im niedrigen Dosisbereich mit dem Mikro-Ionenstrahl

Die Zellkerne von primären humanen Hautfibroblasten wurden mit verschiedenen Anzahlen (Dosen) von Protonen und Alpha-Teilchen bestrahlt und das Überleben der Zellen gemessen. Es konnten bei diesem Zelltyp keine negativen Bystander-Effekte mit dicht- und locker-ionisierenden Teilchen gemessen werden. Bei locker-ionisierenden Protonen beobachtet man jedoch im Niedrig-Dosisbereich eine positive Strahlenreaktion. (K.-D. Greif, 6.4, klaus.greif@ptb.de)

Bestimmung von Ansprechfunktionen von Dosimetern mit Hilfe von Entfaltungsverfahren

Die experimentelle Ermittlung der vollständigen Ansprechfunktion eines Neutronendosimeters erfordert eine ausreichende Anzahl von Messungen mit monoenergetischen Neutronenstrahlen im gesamten Energiebereich. Dies ist in der Praxis nicht möglich, da im intermediären Energiebereich keine monoenergetischen Neutronenstrahlen zur Verfügung stehen. Daher wurde eine neue Methode der Datenanalyse entwickelt, bei der mit Bayesschen Verfahren die Daten aus Messungen mit monoenergetischen Neutronen und mit breiten Spektren kombiniert werden. (M. Reginatto, 6.5, marcel.reginatto@ptb.de)

Beschaffung, Spezifikation und Einbau einer neuen ^{252}Cf -Quelle

Für Kalibrierungen und Bestrahlungen von Neutronen-Dosimetern wurde eine neue ^{252}Cf -Quelle mit einer fünfmal größeren Quellstärke im Vergleich zu den vorhandenen Quellen angeschafft, um die notwendigen Intensitätsanforderungen für Bestrahlungen und Kalibrierungen zu erfüllen. Durch einen Relativvergleich gegen vorhandene Quellen konnte gezeigt werden, dass alle Quellstärken unter Berücksichtigung des zeitlichen Abfalls innerhalb von 0,2 % mit den berechneten Werten übereinstimmen. (A. Zimbal, 6.5, andreas.zimbal@ptb.de)

Untersuchung von Geräten zur nicht-invasiven Messung der Röhrenspannung an diagnostischen Röntgenanlagen

Der Einfluss der Variation der Eigenfilterung von Röntgenröhren auf das Ansprechvermögen von Geräten zur nicht-invasiven Messung der Röhrenspannung in der diagnostischen Radiologie wurde untersucht. (L. Büermann, 6.6, ludwig.bueermann@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Messung sehr kleiner ^{60}Co -Aktivitäten in Untergrundlaboratorien des CELLAR-Netzwerks

CELLAR (Collaboration of European Low-level underground LABoratories) ist ein Zusammenschluss von neun europäischen

Untergrundlaboratorien, in denen mit sehr untergrundarmen Gammaskpektrometern noch geringste Aktivitäten in Umweltproben nachgewiesen werden können. Mit diesen Messeinrichtungen wurden in mehreren Stahlproben aus Hiroshima und Tokaimura zerstörungsfrei, das heißt ohne chemische Kobalt-Anreicherung, kleinste ^{60}Co -Aktivitäten gemessen, die durch Neutronenstrahlung induziert wurden.

(D. Arnold, 6.1, dirk.arnold@ptb.de)

Teilnahme am EUROMET-Projekt 721 zur Bestimmung der Photonen-Emissionswahrscheinlichkeiten von ^{65}Zn

Im Rahmen des EUROMET-Projekts 721 zur Bestimmung der Emissionswahrscheinlichkeiten der Gamma- und Röntgenstrahlung von ^{65}Zn wurden in der PTB Aktivitätsmessungen mit drei verschiedenen Messmethoden sowie Messungen der Photonenstrahlung mit Halbleiterspektrometern durchgeführt. Darüber hinaus wird zurzeit die Halbwertszeit von ^{65}Zn durch Messung des Abklingverhaltens mit einer 4π - γ -Ionisationskammer bestimmt.

(K. Kossert, 6.1, karsten.kossert@ptb.de)

Automatisches Dosimetrie-Messsystem für internationale Vergleichsmessungen

Für internationale Vergleichsmessungen wurden im Fachbereich 6.3 transportable Messsysteme entwickelt, mit denen die extrem kleinen Ströme (etwa 0,1 pA) aus Ionisationskammern gemessen und mit allen notwendigen Korrekturen versehen werden können. Das gesamte System einschließlich der angeschlossenen Ionisationskammer wird automatisch überprüft.

(G. Buchholz, 6.3, gerd.buchholz@ptb.de)

Aufbau und Charakterisierung eines Flüssig-Szintillationsdetektors

Die Responsematrix eines Szintillationsdetektors wurde in einem Neutronenfeld mit kontinuierlicher Energieverteilung experimentell bestimmt. Diese Methode erlaubt eine detailliertere Charakterisierung der Detektoreigenschaften als das bisher in der PTB verwendete Verfahren.

(R. Nolte, 6.4, ralf.nolte@ptb.de)

Charakterisierung des IRSN-Referenzfelds CANEL/T400 durch internationale Vergleichsmessung

Die Kalibrierung von Orts- und Personendosimetern für Neutronenstrahlung erfolgt entweder mit Referenz-Radionuklidquellen wie z. B. ^{252}Cf oder $^{241}\text{AmBe}$ oder in Referenzfeldern, die typische Neutronenfelder an Arbeitsplätzen simulieren. Im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit (EUROMET-Projekt Nr. 670) haben vier europäische Institute (IRSN, NPL, UAB und PTB), koordiniert vom IRSN, die Energieverteilung der Neutronen mit unterschiedlichen Spektrometern gemessen.

(B. Wiegel, 6.5, burkhard.wiegel@ptb.de)

Weitere Informationen

Modernisierung der Sektor- und Detektorwagensteuerung

Durch die Modernisierung der Sektor- und Detektorwagensteuerung an der Bestrahlungseinrichtung des MP5 im Chadwick-Bau konnte die Handhabung der Steuerung vereinfacht werden. Es besteht die Möglichkeit, die Wagen ohne Verlust der Positionsdaten im ausgeschalteten Zustand der Anlage zu verschieben. Durch eine netzunabhängige Fernbedienung ist auch eine Positionierung der Sektor- und Detektorwagen von einem beliebigen Punkt der Messhalle aus möglich.

(W. Beverung, 6.4, wolfgang.beverung@ptb.de)

Temperatur und Synchrotronstrahlung

Berichte der Abteilungen



Abteilung



Temperatur Synchrotron

Institut Berlin

Eine der großen Maßnahmen zur Sicherung der Zukunftsfähigkeit der PTB in diesem Jahrzehnt – so das Kuratorium in einer Entscheidung auf seiner 52. Sitzung im Jahre 2001 – wird nunmehr im Institut Berlin der PTB verwirklicht. Am 24. September nahmen Ernst O. Göbel, Präsident der PTB, und Präsident Mausbach vom *Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung* den ersten Spatenstich für das Willy-Wien-Laboratorium der PTB in Berlin-Adlershof vor. Unmittelbar danach begannen die Bagger mit dem Aushub für die 60 cm starke Bodenplatte (Bild 1), die inzwischen in einem Stück gegossen wurde.

Wichtig für die PTB ist der „Metrology Light Source“ (MLS) genannte Elektronenspeicherung, den das Willy-Wien-Laboratorium beherbergen soll, nicht nur, weil mit ihm die PTB ihre weltweit führende Position unter den nationalen Metrologieinstituten mit dem breitesten berechenbaren Spektrum elektromagnetischer Strahlung vom fernen Infraroten bis zum Röntgengebiet (Bild 2) ausbauen kann. Die PTB erhält damit auch eine eigene Adresse in Europas größtem Wissenschafts- und Technologiepark und unterstreicht ihre Stellung als gesuchter Partner der optischen Industrie und Wissenschaft. Eine solche „Einbindung in das gesamte Forschungssystem“, die in Adlershof durch das Umfeld erheblich begünstigt wird, wurde von der Evaluationskommission ausdrücklich empfohlen. Über die Organisation der Nutzung der Synchrotronstrahlung der MLS durch die Partner der PTB wird derzeit mit der *BESSY GmbH* verhandelt.

Das Institut Berlin entwickelte sich im Berichtsjahr weiter zu einem Treffpunkt für die interessierte Öffentlichkeit und zum Veranstaltungsort in Berlin für die ganze PTB. Eine neue „Visitenkarte“ (Bild 3) verbessert die Sichtbarkeit vom Ernst-Reuter-Platz her. Die Tafel enthält Bezüge sowohl auf die historische PTR als auch auf die aktuellen Arbeitsgebiete von beiden Berliner Fachabteilungen. Neben Besuchen von hochrangigen Delegationen aus Algerien, China, Indien und der Mongolei tagte der Bund-Länder-Ausschuss für Forschung und Technologie im Werner-von-Siemens-Bau. Die Unterzeichnung des Vertrags mit den russischen Lieferanten für hochreines angereichertes ^{28}Si zur Rückführung des Kilogramms auf die atomare Masseneinheit durch ein internationales, von der PTB geleitetes Projekt wurde im Hermann-von-Helmholtz-Bau feierlich vollzogen. Die fast schon zur Routine gewordene Teilnahme an der „Langen Nacht der Wissenschaften“ gewann durch die starke Beteiligung von Arbeitsgebieten aus dem Braunschweiger Teil der PTB an besonderem Reiz und wurde um einen Schülertag erweitert mit dem Ziel, die Jugendlichen für naturwissenschaftliche Forschung zu begeistern. Die Teilnehmer und Delegierten der 12th „International Legal Metrology Conference“ der OIML waren zur Laborbesichtigung und anschließenden Abendveranstaltung im Hermann-von-Helmholtz-Bau zu Gast. In diesen Tagen schließlich wurde eine Ausstellung von aktuellen Arbeiten eines Studentenjahrgangs der *Kunsthochschule Burg Giebichenstein* bei Halle unter dem Titel „art meets science – Ungehinderte Überlagerung“ (Bild 4) eröffnet, in der junge Künstler ihre Eindrücke von der Auseinandersetzung mit Methoden, Zielen und Ergebnissen der biomagnetischen Forschung am Menschen mit Hilfe von höchstempfindlichen SQUIDS (entwickelt im Fachbereich *Tiefemperaturthermodynamik und -technologie*) vorstellen.

Titelbild

Das künftige Willy-Wien-Laboratorium der PTB in Berlin-Adlershof – das Gelände an der Magnusstraße und die Innenansicht im Modell

Metrologie mit Synchrotronstrahlung

Während ein erheblicher Teil der Ressourcen des Fachbereichs *Photonenradiometrie* gemeinsam mit der *BESSY GmbH* für den Aufbau des Willy-Wien-Laboratoriums eingesetzt wird, dürfen die Forschungstätigkeit sowie die Kooperationen und Dienstleistungen an den PTB-Strahlrohren am Speicherring *BESSY II* nicht beeinträchtigt werden. So wurden nach der Aufklärung der optischen Anomalie von CaF_2 nun die optische Stabilität dieses und anderer Materialien für den Einsatz unter intensiver Laserbestrahlung von 193 nm Wellenlänge untersucht.

Für die deutsche optische Industrie wurde das Reflexionsvermögen von Multilayer-Spiegeln für das α -Tool für die EUV-Lithographie (Bild 5) mit hoher Präzision bestimmt, das der Prototyp für die künftige Belichtung von Wafern mit Hilfe von 13-nm-Strahlung für die nächsten drei Generationen von Computer-Chips werden soll. Ein neuer Messplatz für ortsaufgelöste Reflektometrie mit einer räumlichen Auflösung von 10 μm , die u. a. zur Bestimmung der Oberflächenhomogenität dieser Multilayer-Spiegel dient, konnte in Betrieb genommen werden.

Eine referenzprobenfreie Methode zur Schichtdickenbestimmung von Dünnschichtsystemen auf Siliziumwafern wurde entwickelt und mit Röntgenreflektometrie verglichen. Eine weitere Anwendung für die Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wurde in Totalreflexion zur Untersuchung von Kontaminationsprofilen auf Silizium- und SiC-Wafern eingesetzt, ein für die Waferhersteller hochinteressantes Verfahren zur Qualitätskontrolle ihrer Produktion.

In Zusammenarbeit mit dem *Deutschen Elektronensynchrotron* (DESY) in Hamburg und dem *Ioffe-Institut* in St. Petersburg wurde ein Detektor für hochintensive Vakuum-UV-Strahlung (VUV) entwickelt (Bild 6), der auf der Photoionisation von Edelgasen basiert und eine Zeitauflösung von einigen ns besitzt. Seine Nachweisdynamik ist über viele Größenordnungen so linear, dass er mit Strahlung von *BESSY II* bei Leistungen um 1 μW kalibriert und zum Nachweis von Pulsleistungen bis zu 150 MW am *VUV-Freie-Elektronen-Laser* bei *DESY* eingesetzt werden konnte. Das Messprinzip ist zum Patent angemeldet.

Metrologie für die Weltraumforschung

Durch ihre langjährigen Kooperationen mit ESA und NASA haben verschiedene Arbeitsgruppen der Abteilung 7 die Messergebnisse von Weltraummissionen in unterschiedlichen Spektralbereichen auf radiometrische PTB-Normale zurückgeführt. So wurden für die europäische Raumsonde „Mars-Express“ fünf Infrarot-Miniaturstrahler mit dem PTB-Primärnormal für spektrale Strahldichte, einem Hochtemperatur-Hohlraumstrahler, kalibriert. Einer dieser Miniaturstrahler befindet sich derzeit für Inflight-Kalibrierungen des kurzwelligen Kanals des Planeten-Fourier-Spektrometers auf der Marsumlaufbahn. Mit diesem Spektrometer konnte der Nachweis der Absorptionsbande von Wassereis am Südpol des Mars abgesichert werden (Bild 7).

Für die internationale Sonnenbeobachtungsmission Solar B wurde im Rahmen einer Zusammenarbeit mit dem *Rutherford Appleton Laboratory* deren EUV Imaging Spectrometer mittels einer Hohlkathodenplasmaquelle charakterisiert. Für die geplante ESA-Mission XEUS (X-ray Evolving Universe Spectroscopy)



Bild 1: Baubeginn beim Willy-Wien-Laboratorium

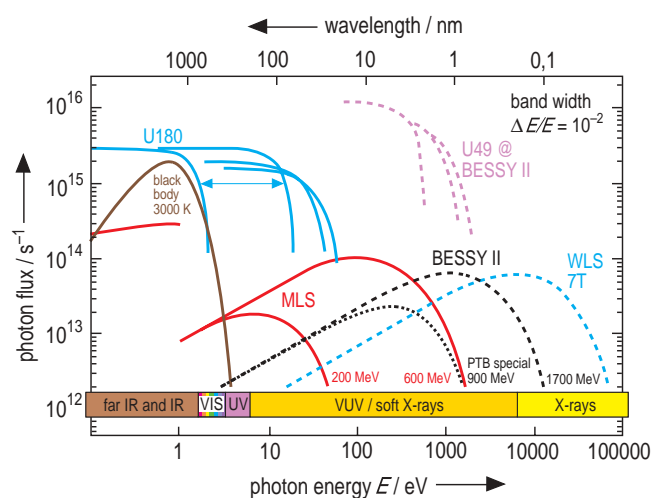


Bild 2: Berechenbare Emissionsspektren von Hohlraumstrahlern der PTB, der geplanten Metrology Light Source und dem Speicherring BESSY II



Bild 3: Neue Informationstafel auf dem Institutsgelände, vom Ernst-Reuter-Platz aus gesehen



Bild 4: Einladung zur Ausstellung „Ungehinderte Überlagerung“ im Hermann-von-Helmholtz-Bau

py) wurden Röntgenspiegel aus gestapelten Siliziumwafern untersucht. In Zusammenarbeit mit der *Universität Bonn* wurden die hochempfindlichen Lyman-Alpha-Photodetektoren der NASA-Mission TWINS (Two Wide-angle Imaging Neutral-atom Spectrometers), deren Start 2005 vorgesehen ist, kalibriert (Bild 8). Die Kooperationen zeigen beispielhaft die führende Rolle der PTB bei der Untersuchung und Charakterisierung von optischen Komponenten für den Einsatz im Weltraum. Diese Position wird durch den Aufbau eines vakuumtauglichen IR-Normalstrahlungsthermometers weiter ausgebaut, das bei reduziertem Strahlungshintergrund Präzisionskalibrierungen u. a. von Detektoren für das Remote Sensing aus dem Orbit erlaubt.

Temperatur-Metrologie

Auf dem 9. internationalen Temperatursymposium TEMPMEKO 2004 wurden die primären Verfahren diskutiert, mit deren Hilfe eine materialunabhängige neue Definition der Temperatureinheit Kelvin durch Präzisionsmessung der Boltzmann-Konstanten k_B und ihre anschließende Festlegung erreicht werden könnte. Die PTB kann dazu mit der Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometrie und der spektralen Strahlungsthermometrie beitragen. Durch die kürzlich publizierte erhebliche Verringerung der Unsicherheit der Berechnungen für die statische elektrische Polarisierbarkeit des Arbeitsgases Helium wird auch die Unsicherheit der Bestimmung der thermodynamischen Temperaturen mit Hilfe der Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometrie so verbessert, dass die PTB eine Temperaturskala zwischen 4 K und 27 K mit Unsicherheiten zwischen 0,3 mK und 0,6 mK aufstellen konnte, die sich von der ITS-90 bei 14 K signifikant um 0,8 mK unterscheidet. Durch Erweiterung des Messbereichs bis zum Tripelpunkt des Wassers und eine in Zusammenarbeit mit den zuständigen Arbeitsgruppen der PTB vorgesehene Verbesserung der Kapazitäts- und Druckmessung eröffnet sich die Chance zu einer erheblichen Verbesserung des Wertes der Boltzmann-Konstanten aus dem Jahre 1988. Eine Roadmap dazu soll mit den anderen sich beteiligenden führenden NMIs auf einem EUROMET-Workshop in Berlin Anfang kommenden Jahres verabredet werden.

Ein Arbeitsgebiet mit großem internationalen Engagement ist die Entwicklung von neuen Temperaturfixpunkten aus Metall-Kohlenstoff-Eutektika für den Temperaturbereich oberhalb von 1100 °C. Ziel ist dort eine Verringerung der Unsicherheit der Temperaturskala bis 3000 °C, die durch die Fehlerfortpflanzung aufgrund der Anbindung der Strahlungsthermometrie an den Goldpunkt verursacht wird. Die PTB hat hierzu eine neuartige Kombi-Fixpunktzelle (Bild 9) entwickelt und zum Patent angemeldet, die den direkten Vergleich von Berührungs- und Strahlungsthermometern ermöglicht. Aus den verschiedenen Eutektika, die weltweit untersucht werden, wurde die Kombination Kobalt – Kohlenstoff ausgewählt und damit eine Zelle als Transfornormal bei der Temperatur 1324 °C entwickelt, die zur Kalibrierung von Hochtemperatur-Thermoelementen eingesetzt werden kann. Die Ergebnisse wurden mit dem brasilianischen Staatsinstitut INMETRO verglichen.

Eine besondere Schwierigkeit besteht in der Präzisionsbestimmung von Oberflächentemperaturen mit Berührungsthermometern wegen deren Rückwirkung auf das Messobjekt durch lokale Wärmeableitung. Ein in der PTB entwickeltes Verfahren zur Vermeidung dieses Messfehlers wurde nunmehr durch internationale Vergleiche mit den Staatsinstituten Frankreichs und Ungarns validiert und damit die weltweite Anerkennung der Ergebnisse der nach diesem Verfahren arbeitenden DKD-Laboratorien gesichert.

Das „European Virtual Institute for Thermal Metrology evitherm“ (Bild 10), eine EU-geförderte Einrichtung zum Informationsaustausch und zur zielgerichteten Kontaktaufnahme zwischen Forschungseinrichtungen, Industrie und Anwendern auf dem Gebiet thermischer Messverfahren, hat die Startphase mit Erfolg beendet. Die rechtliche Organisationsform ist inzwischen gefunden. Die allgemeinen Informationen sind im Internet sichtbar. In diesen Tagen ist die Entscheidung gefallen, dass die PTB den Zuschlag für die Funktion des verantwortlichen Editors für die Webseiten des Internetportals erhält. Die fachlichen Inhalte der Datenbank müssen ausgewählt und vor der Freigabe geprüft werden. Ein wesentliches Argument für die erfolgreiche Bewerbung der PTB war das internationale Renommee der Datenbankexperten der Abteilung 8.

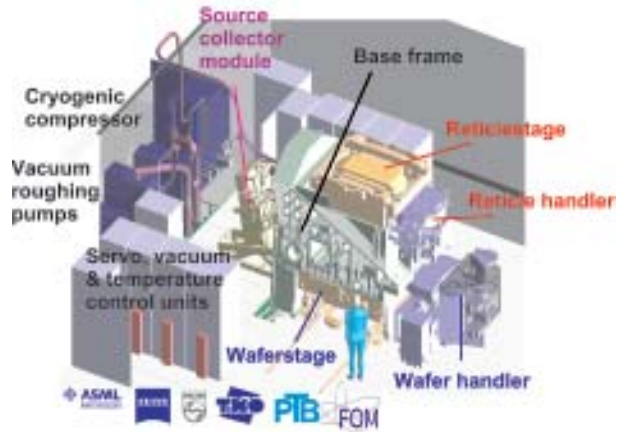


Bild 5: α -Tool für die EUV-Lithographie

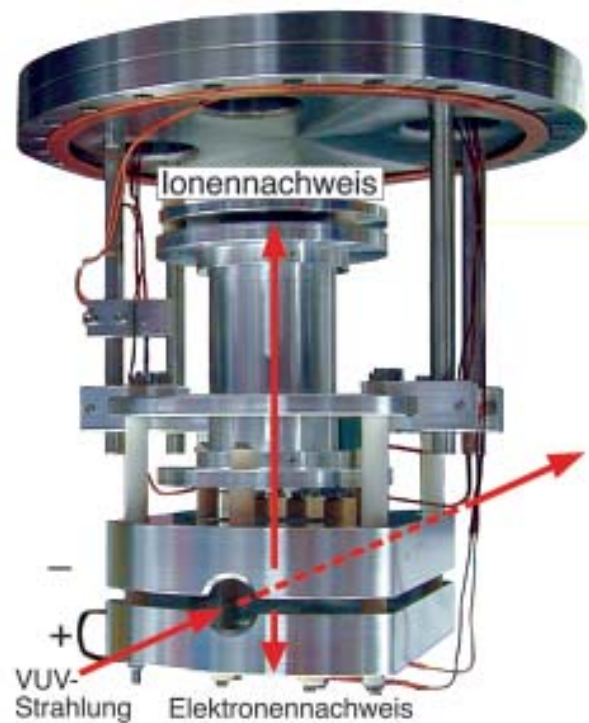


Bild 6: VUV-Strahlungsdetektor mit gleichzeitigem Nachweis der sekundären Ionen und Elektronen

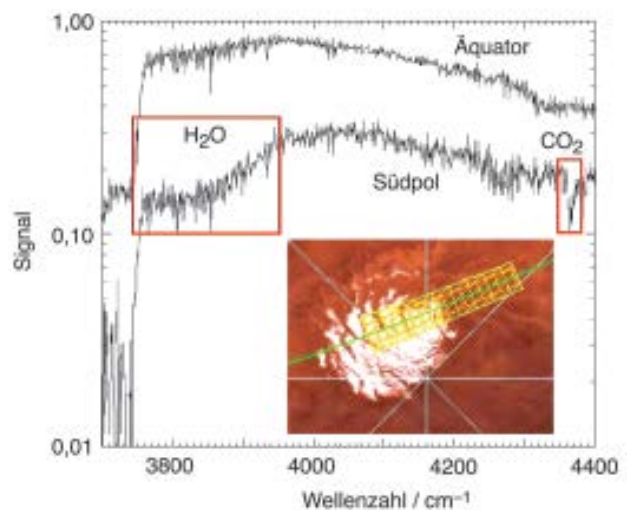


Bild 7: Absorptionsbanden von Wassereis sind am Südpol vom Mars nachweisbar, nicht jedoch am Äquator. Die Einblendung zeigt den Südpol im sichtbaren Spektrum mit der Flugbahn von Mars Express.

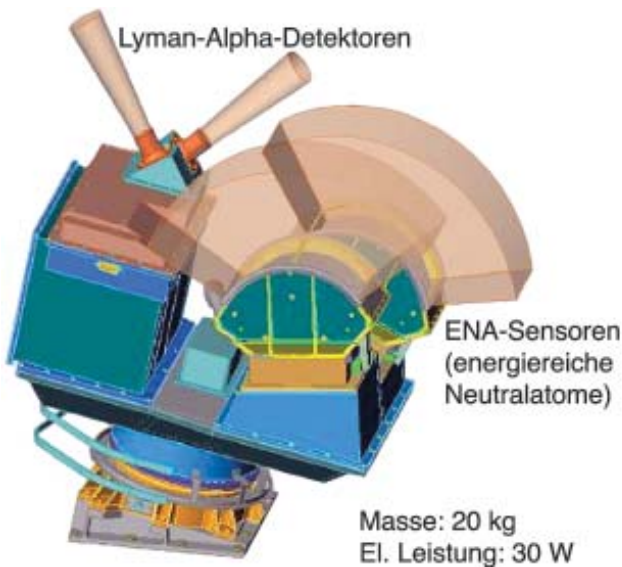


Bild 8: Instrumentierung der NASA-Mission TWINS



Bild 9: Hochtemperatur-Fixpunktzelle für den Vergleich von Berührungs- und Strahlungsthermometern

Tiefe und ultratiefe Temperaturen

Metrologie bei tiefen Temperaturen ist seit vielen Jahren eine besondere Stärke der PTB. Im Rahmen eines EU-Projekts „ULT Dissemination“ hat eine holländische Firma ein „fixed point device“ mit zehn supraleitenden Referenzproben im Temperaturbereich von 15 mK bis 1,2 K entwickelt, deren Sprungpunkte mit Unsicherheiten zwischen 10 μ K und 100 μ K angegeben werden können. Diese Referenztemperaturen müssen individuell kalibriert werden, was weltweit mit dieser Unsicherheit nur in der PTB möglich ist. Auf diese Weise kann die überwiegend auf Arbeiten der PTB beruhende Tieftemperaturskala PLTS-2000 erstmals kommerziell weitergegeben werden.

Im Rahmen eines vom BMWA geförderten Projekts entwickelte SQUID-gestützte supra-leitende Stromsensoren haben sich bei der Auslesung von Tieftemperaturdetektoren beispielsweise für die Strahlungsdetektion oder andere mikrokalorimetrische Verfahren als konkurrenzlos erwiesen. Kombiniert mit Feldaufnahmespulen, sind diese Sensoren auch als magnetische Messsysteme in der medizinischen Diagnostik, bei Materialuntersuchungen oder in der geologischen Prospektion verwendbar. Ihr gradiometrisches Konzept (Bild 11) macht sie sehr flexibel und robust gegen Störfelder, so dass sie weitgehend ungeschirmt und bis zu Millikelvintemperaturen eingesetzt werden können. Einen wesentlichen Teil ihrer Alleinstellung erreichen die Sensoren durch eine in Zusammenarbeit mit einer Firma entwickelte Auslese-Elektronik. Sie ist die derzeit weltweit schnellste kommerziell verfügbare. Das Gesamtsystem wurde beim Tag der offenen Tür des BMWA in der „Straße der Innovationen“ der interessierten Öffentlichkeit vorgestellt.



Bild 10: Das europäische virtuelle Institut „evitherm“

Das neuartige Prinzip der im vergangenen Jahr in Betrieb genommenen konzentrisch angeordneten Dreifach-Kernentmagnetisierungsstufe hat sich als erfolgreich erwiesen. In ersten Testläufen, die in diesem Temperaturbereich trotz der niedrigen Wärmelecks von einigen Nanowatt Monate benötigen, wurden ein massives, aus Vollmaterial gefertigtes Pt-NMR-Thermometer (Bild 12) erprobt und mit dem Betrieb nur der ersten Kernstufe bisher $100\ \mu\text{K}$ erreicht. Die große Homogenität des angelegten Wechselfelds gestattet es, das NMR-Signal und das thermische Verhalten des Platinmaterials zu berechnen und daraus durch die Messung der Relaxationszeit ein primäres Thermometer zu entwickeln.

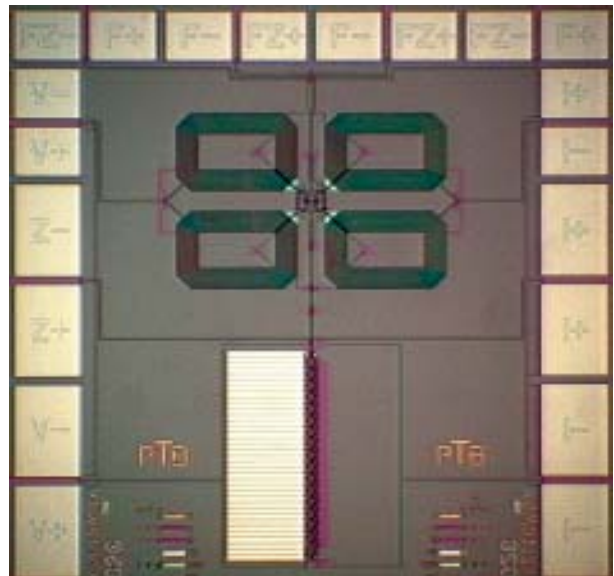
Internationale Vergleiche

Außer den bereits erwähnten internationalen Vergleichsmessungen wurden im Rahmen eines EU-finanzierten, aufwendigen Vergleichs (HIMERT-Projekt) in der PTB 15 Metall-Kohlenstoff-Fixpunktzellen aus fünf unterschiedlichen Materialien im Temperaturbereich von $1100\ \text{°C}$ bis $2500\ \text{°C}$ auf höchstem metrologischen Niveau untersucht. An der Messung beteiligte Staatsinstitute waren das britische NPL, das französische BNM-INM und das japanische NMIJ. Das russische VNIIOFI ist im Rahmen einer Kooperation mit seinen Fixpunktzellen beteiligt. Bild 13 zeigt die hervorragende Übereinstimmung der Plateaus des ReC-Fixpunkts von Zellen des NPL und des NMIJ.

Im Tieftemperaturbereich zwischen $0,65\ \text{K}$ und $25\ \text{K}$ wurde der Schlüsselvergleich CCT-K1 zwischen sieben NMIs mit Unsicherheiten zwischen $0,2\ \text{mK}$ und $0,3\ \text{mK}$ erfolgreich abgeschlossen. Er bestätigt die PTB-Skala mit ihren Unsicherheiten, da sie an den gemessenen Temperaturwerten weniger vom Referenzwert abweicht, als ihre erweiterte Unsicherheit angibt.

Bild 11 (oben): Spezielles SQUID-Design für höchstempfindliche Stromsensoren in abgeschirmter Umgebung

Bild 12 (unten): Platin-NMR-Thermometer für μK -Temperaturen (im Vordergrund) mit Platinprobe, montiert auf der vergoldeten Kupferkernentmagnetisierungsstufe (im Bild unten), und Magnet im Niobschirm, aufgehängt an der Mischkammer (im Bild oben)

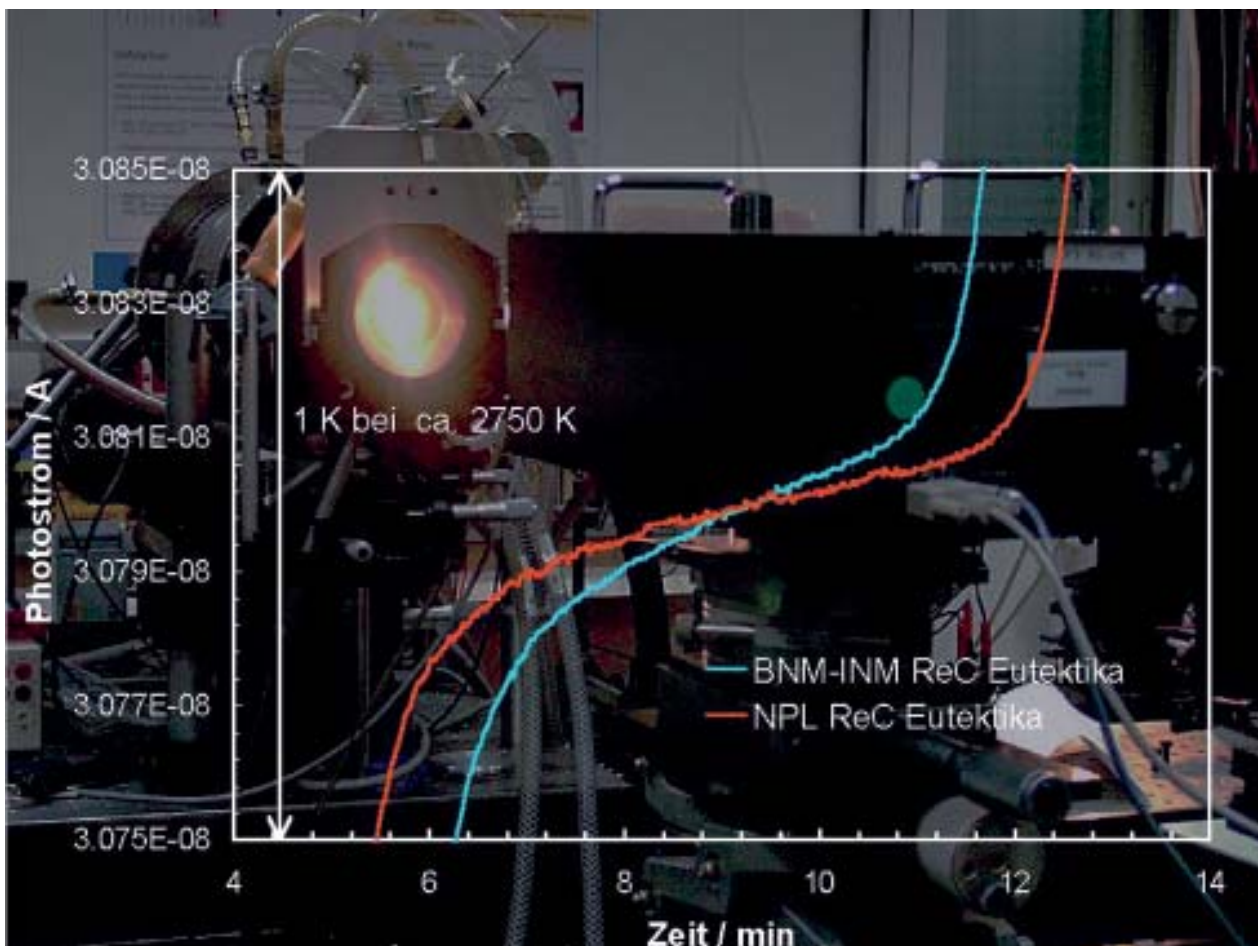


Ein vergleichbar gutes Ergebnis für die PTB wurde beim Schlüsselvergleich der spektralen Empfindlichkeit CCPR-K2.b erreicht, der im Bereich zwischen 450 nm und 1000 nm eine deutlich bessere Übereinstimmung zwischen den 17 Teilnehmern als bei einem ähnlichen Vergleich im Jahre 1993 erbrachte. Zwischen 300 nm und 400 nm konnte eine solche Verbesserung noch nicht erreicht werden.

In einem EUROMET-Schlüsselvergleich wurden die nationalen Normale von sieben Teilnehmern für Vakuumdrücke zwischen $3 \cdot 10^{-4}$ Pa und 0,9 Pa verglichen. Das mexikanische CENAM wurde in einem bilateralen Vergleich angeschlossen. Die Übereinstimmung der Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer mit dem Referenzwert ist überwiegend sehr gut ausgefallen. Nur wenige Messwerte von drei Laboratorien lagen außerhalb der kombinierten Unsicherheiten.

Erstmalig wurde zur Absicherung des QM-Systems der PTB unter den deutschsprachigen Mitgliedern von EUROMET ein internationales Audit durchgeführt. Dabei wurde das neu errichtete nationale Normal für Volumen von Wasser im Temperaturbereich von 3 °C bis 90 °C und im Volumenstrombereich bis 1000 m³/h vom österreichischen BEV geprüft. Die erweiterte Gesamtunsicherheit von $4 \cdot 10^{-4}$ konnte im gesamten Temperaturbereich für Durchflüsse > 200 m³/h bestätigt werden.

Bild 13: Internationaler Vergleich von eutektischen Hochtemperaturfixpunkten, hier am Beispiel von ReC



In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(diese und weitere Nachrichten ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Mars Express findet Wasser und Methan

Die europäische Raumsonde Mars Express hat Anfang 2004 am Südpol des Roten Planeten erhebliche, bisher unbekannte Mengen von Wasser als „Permafrost“-Eis entdeckt. Kürzlich gelang zudem mit einem der Messgeräte, dem Planeten-Fourier-Spektrometer (PFS), der Nachweis von Methan. Einen Beitrag zu diesen Entdeckungen hat auch die PTB geleistet: Die radiometrische Kalibrierung des kurzwelligen PFS-Kanals (1,2 μm bis 4,8 μm) – nicht nur vor dem Start, sondern auch in der Mars-Umlaufbahn – ist auf PTB-Normale rückgeführt. Dazu wurden die spektralen Strahlstärken von fünf Infrarot-Miniaturstrahlern der PFS-Kalibriereinrichtung über den gesamten Spektralbereich des Kanals bestimmt. Die Strahler dienten zunächst zur „Preflight“-Kalibrierung des PFS. Einer der kalibrierten Infrarotstrahler wurde in das PFS integriert und erlaubt jetzt in der Mars-Umlaufbahn die regelmäßige „Inflight“-Kalibrierung des kurzwelligen Kanals. (J. Hollandt, FB 7.3, joerg.hollandt@ptb.de)

Kalibrierung des EUV Imaging Spectrometer der Solar-B-Mission

Bei der radiometrischen Charakterisierung von Sonnenteleskopen im Vakuum-Ultraviolett-Spektralbereich konnte die PTB Mitte der neunziger Jahre durch den Einsatz des Elektronenspeicherrings BESSY I als primäres Strahlernormal berechenbarer Synchrotronstrahlung bei der Kalibrierung der Spektrometer SUMER und CDS der SOHO-Mission der Europäischen Weltraumorganisation ESA einen weltweit beachteten Durchbruch erzielen. Im Rahmen einer neuen Forschungskooperation mit dem britischen Rutherford Appleton Laboratory wurde mit einer Hohlkathodenplasmaquelle als Transferstrahlernormal nun auch das EUV Imaging Spectrometer (EIS) der internationalen Sonnenbeobachtungsmision Solar B erfolgreich charakterisiert. (M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

Bestimmung des Massen-Energieabsorptionskoeffizienten von Luft

In Zusammenarbeit mit dem Fachbereich 6.6 *Grundlagen der Dosimetrie* wurde der Massen-

Energieabsorptionskoeffizient von Luft im Photonenenergiebereich von 3 keV bis 10 keV mit kleinen Unsicherheiten bestimmt. Dazu wurden am Vierkristallmonochromator-Strahlrohr bei BESSY II Messungen durchgeführt mit zwei Freiluft-Ionisationskammern, die als Primärnormale der Luftkerma verwendet werden, und zwei Photodioden als Transfernormalen, die zuvor gegen ein Kryoradiometer als primäres Empfängernormal kalibriert wurden. Erstmals wurde dabei auch der Verlauf des Massen-Energieabsorptionskoeffizienten im Bereich der Ar-K-Absorptionskante experimentell ermittelt. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

Neue Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometerskala der PTB

Durch die Verringerung der relativen Unsicherheit des berechneten Werts für die statische elektrische Polarisierbarkeit von Helium unter $1 \cdot 10^{-6}$ kann die Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometrie (DCGT) nun sowohl für interpolierende als auch für primäre Thermometrie eingesetzt werden. Die erneute Auswertung der für den Temperaturbereich von 3,8 K bis 30 K vorliegenden PTB-Messdaten gestattete die Aufstellung einer neuen Tieftemperaturskala, deren Standardunsicherheit von 0,3 mK bei 4 K bis 0,6 mK bei 27 K reicht. Die Ergebnisse zeigen, dass die gegenwärtige Temperaturskala ITS-90, die auf Gasthermometrie konstanten Volumens basiert, nahe 14 K um etwa 0,8 mK zu tief liegt. (B. Fellmuth, FB 7.4, bernd.fellmuth@ptb.de)

Weitergabe der PLTS-2000

Der Einsatz von supraleitenden Referenzpunktproben ist das Mittel der Wahl zur Weitergabe der Tieftemperaturskala PLTS-2000 mit kleinsten Unsicherheiten. Das im Rahmen des EU-Projekts „Dissemination of the European ultra low temperature scale“ von der niederländischen Firma *Hightech Development Leiden* (www.xs4all.nl/~hdleiden) neu entwickelte System SRD1000 gestattet es, zehn Referenztemperaturen im Temperaturbereich von 1,2 K bis 0,015 K mit einer Unsicherheit von einigen 10 μK bis zu einigen 100 μK zu realisieren. Die Tests des SRD1000 wurden 2004 in der PTB erfolgreich abgeschlossen. Nach dem Start der Serienproduktion bietet

die PTB für Nutzer mit besonderen Anforderungen Kalibrierungen von SRD1000-Systemen gegen die PLTS-2000 auf höchstem metrologischen Niveau (s. Jahresbericht 2003) an. (J. Engert, FB 7.4, jost.engert@ptb.de)

Erfolgreiche Tests der Mikrokkelvinanlage

Erste Tests zur Kernspinkühlung an der 105-mol-Kupferstufe der Mikrokkelvinanlage MKA 3 konnten erfolgreich abgeschlossen werden. Obwohl der Anfangswert (die so genannte „Startpolarisation“) $B/T = 6 \text{ T}/10 \text{ mK}$ noch um 80 % erhöht werden kann, konnten mit Hilfe einer thermodynamisch optimierten Entmagnetisierungsfunktion und präziser Magnetfeldsteuerung bereits Festkörpertemperaturen von $100 \mu\text{K}$ erzielt und für mehrere Stunden aufrecht erhalten werden. Durch die aufwendigen Maßnahmen zur Schwingungsdämpfung und HF-Schirmung reduzierte sich das Wärmeleck der Anlage bereits nach vier Wochen Betriebszeit auf 3 nW.

(P. Strehlow, FB 7.5, peter.strehlow@ptb.de)

Neue Probenform für Pt-NMR-Thermometrie

An der Mikrokkelvinanlage MKA 3 konnten erstmalig an einer massiven zylindrischen Platinprobe tiefste Temperaturen bis zu $100 \mu\text{K}$ erfolgreich bestimmt werden. Die neue Probenform, die im Gegensatz zum üblichen Bündel aus Platindrähten durch große Homogenität des angelegten Wechselfelds ausgezeichnet ist, gestattet es, das NMR-Signal sowie das thermische Verhalten des Platins nach dem Puls berechenbar und damit überprüfbar zu machen. Damit eröffnet sich durch Messung der Relaxationszeit auch die Möglichkeit zur Entwicklung eines Primärthermometers. (D. Hechtfisher, FB 7.5, dieter.hechtfisher@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

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 bei BESSY II fortgesetzt und erweitert. Unter anderem wurde im Rahmen einer Auftragsforschung für die CZ-SMT AG der Reflexionsgrad von Mo/Si-Multilayerspiegeln für ein EUVL- α -tool, das 2005 an Kunden in der Halbleiterindustrie ausgeliefert werden soll, gemessen. Die Zahl der Messungen am EUV-Reflektometer konnte

gegenüber dem Vorjahr wiederum deutlich gesteigert werden.

(F. Scholze, 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Gründung eines VDI/VDE-Ausschusses

Im Bereich der Röntgen- und EUV-Optik ist in den letzten Jahren eine Vielzahl von Komponenten entwickelt worden, die inzwischen auch kommerziell vertrieben werden. Hierzu gehören z. B. Multilayer-Spiegel, Glas-Kapillaroptiken und Zonenplatten. Zur Erstellung einer einheitlichen Terminologie zur Beschreibung der Eigenschaften dieser Komponenten und zur Definition von einheitlichen Prüfverfahren wurde der VDI/VDE Ausschuss „Röntgenoptische Systeme“ gegründet, in dem neben der PTB vor allem deutsche Hersteller dieser Komponenten vertreten sind. Ziel ist die Erstellung einer Richtlinie „Röntgenoptische Systeme“, die zunächst grundlegende Definitionen und eine Beschreibung der am weitesten verbreiteten Optiken beinhalten soll. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

Referenzprobenfreie Bestimmung der Dicke von Nanoschichten

Die Leistungsfähigkeit der referenzprobenfreien Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) wurde im Vergleich zur Röntgenreflektometrie anhand mehrerer auf Siliziumwafern deponierter Dünnschichtsysteme von Übergangsmetallen im Nanobereich untersucht. Die dafür erforderlichen Messungen wurden im PTB-Labor bei BESSY II durchgeführt. Im Rahmen ihrer jeweiligen relativen Unsicherheiten stimmen die Ergebnisse der beiden Methoden sehr gut überein. Die Nutzung der RFA kann bei inhomogenen Proben, Mehr-element- oder Mehrfachschichten vorteilhaft sein. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

EVITHERM – Informationssystem zur thermischen Metrologie online

Zur Unterstützung insbesondere auch der mittelständischen Industrie in Deutschland und in der übrigen EU beteiligt sich die PTB aktiv bei der Gründung einschlägiger virtueller Institute. Mit evitherm (European virtual institute for thermal metrology) sollen der rasche, europaweite Informationsaustausch und Wissenstransfer sowie die zielgerichtete Kontaktaufnahme zwischen den Anwendern thermischer Technologien, vor allem in der Industrie, und den auf diesem Gebiet tätigen

Metrologie- und Forschungsinstituten mit Hilfe eines „Internet-Portals“ ermöglicht werden. Seit kurzem ist der kostenfrei abrufbare Teil der Inhalte unter www.evitherm.org verfügbar. Damit wird ein umfassender Zugang zu Informationen über thermometrische und thermophysikalische Messverfahren, die entsprechenden Dienstleistungen und Daten und andere aktuelle Inhalte wie einem Literatur- und Weiterbildungsangebot und einem Tagungskalender angeboten.

(Dr. J. Fischer, FB 7.4, joachim.fischer@ptb.de)

Kobalt-Kohlenstoff-Fixpunktzelle zur Kalibrierung von Hochtemperatur-Berührungsthermometern

Eutektische Fixpunkte mit Metall-Kohlenstoff-Verbindungen als Fixpunktmaterialien verbessern die Genauigkeit und Rückführbarkeit von Temperaturmessungen oberhalb von 1100 °C. Insbesondere Eisen-, Kobalt- und Nickel-Kohlenstoff-Eutektika bieten sich auch für die Kalibrierung von Berührungsthermometern an, weil ihre Verwendung im Temperaturbereich zwischen 1100 °C und 1550 °C eine erhebliche Reduzierung von Interpolationsunsicherheiten erlaubt. Deshalb wurde eine Kobalt-Kohlenstoff-Fixpunktzelle (Schmelztemperatur 1324 °C) zur Kalibrierung von Thermoelementen entwickelt. Die Eignung der Zelle (Temperaturstabilität besser als 0,2 °C) wurde im Rahmen eines vom BMBF geförderten deutsch-brasilianischen Vorhabens durch Vergleichsmessungen mit dem brasilianische Staatsinstitut INMETRO bestätigt. (F. Edler, FB 7.4, frank.edler@ptb.de)

Kombi-Fixpunktzelle zum Patent angemeldet

Zur vereinfachten Darstellung der Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90) im Hochtemperaturbereich wurde eine Kombi-Fixpunktzelle entwickelt, mit der erstmals die gleichzeitige Kalibrierung von Hochtemperatur-Thermoelementen und Strahlungsthermometern an ein und demselben Fixpunkt nach den Vorgaben der ITS-90 möglich ist. Darüber hinaus erlaubt die kompakte und kostengünstige Konfiguration den direkten Vergleich von Berührungs- und Strahlungsthermometern auch mit neuartigen eutektischen Fixpunkten bei Temperaturen oberhalb von 1100 °C. Bisher standen hier keine geeigneten Fixpunktzellen zur Verfügung. (F. Edler, FB 7.4 Temperatur, frank.edler@ptb.de, J. Hartmann, FB 7.3, dr.j.hartmann@ptb.de)

SQUID-Stromsensoren kommerziell erhältlich

SQUID-basierte Stromsensoren sind praktisch konkurrenzlos bei der Auslesung von niederohmigen Tieftemperaturdetektoren. In den letzten zwei Jahren hat die PTB im Rahmen eines vom BMWA geförderten Vorhabens SQUID-Stromsensoren entwickelt, mit deren jüngster Version eine sehr hohe Stromempfindlichkeit bei gleichzeitiger Unempfindlichkeit gegenüber magnetischen Umgebungsstörungen erzielt wurde. Das ermöglicht in vielen Fällen den für Anwender besonders interessanten magnetisch ungeschirmten Betrieb der Sensoren. Mit der Firma *Magnicon* wurde eine SQUID-Elektronik entwickelt, mit der die SQUID-Stromsensoren, aber auch andere SQUID-Magnetometer mit einer Bandbreite von bis zu 20 MHz in einer Flussregelschleife betrieben werden können. Sowohl die Sensoren als auch die Elektronik – nach unserer Kenntnis die derzeit schnellste auf dem Markt verfügbare SQUID-Elektronik weltweit – sind kommerziell erhältlich. (T. Schurig, FB 7.5, thomas.schurig@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Normen für Strahlungsthermometer und Thermographiegeräte

Die zunehmende Verfügbarkeit und der ständig wachsende Einsatz von Strahlungsthermometern und Thermographiegeräten führen derzeit auch zu intensiver nationaler und internationaler Normungstätigkeit für diese Geräte. Die PTB ist dabei – oft federführend – stark engagiert und bringt ihre Kompetenz auch im Interesse der deutschen Hersteller ein. In jüngster Zeit hat sie in diesem Bereich bei folgenden Normungsvorhaben mitgewirkt:

- DIN 54190 Zerstörungsfreie Prüfung – Thermografische Prüfung
- VDI/VDE-Richtlinie 3511: Technische Temperaturmessungen
- IEC Technical Document 62322 Specification for radiation thermometers
- OIML-Dokument Procedures for calibration and verification of the main characteristics of thermovision instruments
- DIN EN 12470 Medizinische Thermometer (J. Hollandt, FB 7.3, joerg.hollandt@ptb.de, J. Hartmann, FB 7.3, dr.j.hartmann@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Höchste Temperaturen genauestens vermessen

Im Rahmen des EU-geförderten Projekts HIMERT fand Mitte 2004 im Institut Berlin der PTB die bisher umfangreichste und aufwendigste Untersuchungskampagne seit Entdeckung der eutektischen Metall-Kohlenstoff-Fixpunkte im Jahre 1999 statt. Die speziellen Legierungen könnten als Hochtemperaturfixpunkte für verbesserte Messgenauigkeiten bei Temperaturen oberhalb von 1100 °C sorgen, wenn ihre Qualität und Eignung zweifelsfrei nachgewiesen werden. Deshalb kamen Wissenschaftler des französischen, britischen und japanischen Staatsinstituts (BNM-INM, NPL und NMIJ) zur PTB, um 15 Zellen mit fünf unterschiedlichen Fixpunktmaterialien zu untersuchen. Dafür standen zwei Spezialöfen des NMIJ und hochwertige Strahlungsthermometer des BNM-INM und der PTB zur Verfügung. Die PTB bestimmt jetzt die thermodynamischen Phasenübergangstemperaturen für ausgesuchte Fixpunkte des internationalen Vergleichs. Weitere Untersuchungen auf diesem Gebiet führt die PTB in Kooperation mit dem russischen VNIIOFI durch.

(J. Hartmann, FB 7.3, dr.j.hartmann@ptb.de)

Schlüsselvergleich im Tieftemperaturbereich abgeschlossen

Mit dem Schlüsselvergleich CCT-K1, den das britische *National Physical Laboratory* koordinierte, wurden im Temperaturbereich von 0,65 K bis 25 K die Realisierungen bzw. Approximationen der ITS-90 von sieben nationalen metrologischen Instituten verglichen. Die PTB hat sich daran mit einer Approximation der ITS-90 beteiligt, die auf einer auf Widerstandsthermometern bewahrten Darstellung der Helium-Dampfdruckskalen und auf interpolierender Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometrie basiert. Ihre Abschätzung der Standardunsicherheit (von 0,18 mK bei 0,65 K bis 0,30 mK bei 25 K) wurde durch den Schlüsselvergleich im gesamten Temperaturbereich bestätigt. Damit sind die geringen Unsicherheiten für die Kalibrierung von Präzisions-Widerstandsthermometern abgesichert, die die PTB in ihrem Kalibrierangebot spezifiziert hat. (Dr. B. Fellmuth, FB 7.4, bernd.fellmuth@ptb.de)

Schlüsselvergleich der spektralen Empfindlichkeit von Strahlungsempfängern bestätigt PTB-Unsicherheitsabschätzung

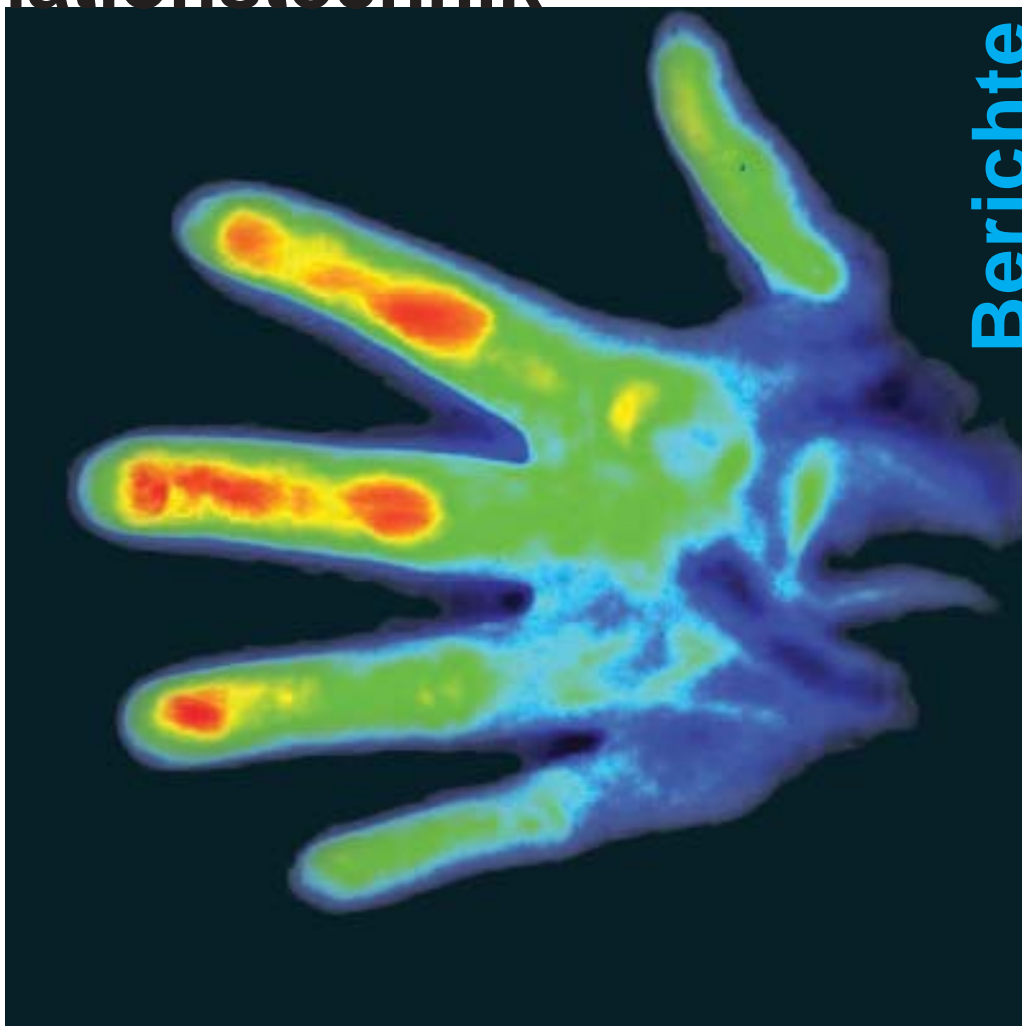
Als erster von drei Schlüsselvergleichen der spektralen Empfindlichkeit von Strahlungsdetektoren, die zusammen den Wellenlängenbereich von 200 nm bis 1600 nm abdecken, ist der Vergleich CCPR-K2.b für den Bereich von 300 nm bis 1000 nm (der insbesondere auch die sichtbare Strahlung umfasst) abgeschlossen worden. Insgesamt ergab sich unter den 17 Teilnehmern von 450 nm bis 1000 nm eine deutlich bessere Übereinstimmung als bei einem ähnlichen Vergleich 1993, die die Fortschritte auf dem Gebiet der detektorgestützten Radiometrie in den letzten zehn Jahren widerspiegelt. Zwischen 300 nm und 400 nm ist jedoch keine solche Verbesserung gegenüber 1993 erreicht worden. Die durchweg sehr geringen Unsicherheiten, die die PTB angegeben hatte, werden durch den Vergleich bestätigt. Die Ergebnisse sollen jetzt in die Messunsicherheitsangaben im Rahmen des „Mutual Recognition Arrangement“ der nationalen Metrologieinstitute einfließen. (L. Werner, FB 7.2, lutz.werner@ptb.de)

Erfolgreicher Abschluss von Schlüsselvergleichen im Vakuumdruckbereich von $3 \cdot 10^{-4}$ Pa bis 0,9 Pa

Die Arbeitsgruppe Vakuummetrologie der PTB führte als Pilotlabor einen regionalen Schlüsselvergleich innerhalb von Euromet (Euromet.M.P-K1.b) und einen entsprechenden bilateralen Vergleich mit dem CENAM in Mexiko (SIM-Euromet.M.P-BK3) durch. Beide Vergleiche wurden im Vakuumdruckbereich von $3 \cdot 10^{-4}$ Pa bis 0,9 Pa durchgeführt. Teilnehmer im Euromet-Vergleich waren das BNM-LNE (Frankreich), CEM (Spanien), IMGC-CNR (Italien), IMT (Slowenien), NPL (Großbritannien), UME (Türkei) und die PTB. Die Ergebnisse der meisten Laboratorien, auch die des CENAM, zeigen gute bis sehr gute Übereinstimmung mit dem errechneten Euromet-Referenzwert. Bei drei Laboratorien lagen einige Werte signifikant außerhalb der kombinierten Unsicherheiten. Alle normalisierten Abweichungen E_n der PTB waren kleiner als 0,5.

(K. Jousten, FB 7.3, karl.jousten@ptb.de)

Medizinphysik und metrologische Informationstechnik



Abteilung



Medizinphysik metrologische Information

Interdisziplinarität

Medizinphysik und Informationstechnik zählen zu den wichtigsten Zukunftsthemen der wirtschaftlichen und gesellschaftlichen Entwicklung. Dementsprechend widmet sich die PTB – also nicht nur die Abteilung 8 – seit einigen Jahren verstärkt der Anwendung der Metrologie in diesen Disziplinen. Eine weitere Facette stellt die mathematische Modellierung und Datenanalyse dar, die durch den in diesem Jahr neu gegründeten Fachbereich 8.4 abgedeckt wird. Alle drei Themen zeichnen sich durch betont interdisziplinären Charakter und zum Teil neuartige metrologische Herausforderungen aus.

Aufgrund dieses ausgeprägt fachübergreifenden Charakters ist zur Bearbeitung der metrologischen Fragestellungen auf diesen Gebieten eine Öffnung der PTB über das übliche Maß hinaus erforderlich, um zusätzliche Kompetenz in Kooperationen einzubeziehen und externe Expertise, Ressourcen oder „Messobjekte“ gewinnbringend nutzen zu können.

Im Folgenden soll an einigen Beispielen aus dem Arbeitsprogramm des vergangenen Jahres dieser interdisziplinäre Aspekt illustriert werden, der oft entscheidend für eine erfolgreiche Projektbearbeitung war.

Titelbild

Darstellung der Fluoreszenzintensitätsverteilung (in Falschfarben, rot: hohe Intensität) zur Abbildung der Verteilung eines optischen Kontrastmittels (Fluoreszenzfarbstoff) in der Hand eines Probanden zum Nachweis früher Stadien rheumatischer Gelenkentzündungen

Multimodalität

Schon im gesetzlichen Auftrag für die Metrologie in der Medizin, im § 32 des Medizinproduktegesetzes, wird die Zuständigkeit der PTB für die Einheitlichkeit des Messwesens in der Heilkunde betont. Ein Musterbeispiel zur Vergleichbarkeit von Messergebnissen in der Medizin wird seit nunmehr zwei Jahren von der PTB im Rahmen des BMBF/DFG-Schwerpunkts „Berlin NeuroImaging Centre“ (BNIC) zusammen mit Neurologen der Charité bearbeitet: die neurovaskuläre Kopplung. Darunter wird der Zusammenhang zwischen der elektrophysiologischen Aktivität einzelner Gehirnzentren und ihrer Blutversorgung verstanden. Diese Frage ist aus medizinischer Sicht von erheblicher Relevanz, etwa für die Diagnostik und das bessere Verständnis der Vorgänge beim Schlaganfall.

Aber auch aus messtechnischer Hinsicht ist die neurovaskuläre Kopplung von grundsätzlicher Bedeutung: Es geht um die Frage, ob zwei wichtige Verfahren der neurologischen Funktionsdiagnostik, das EEG (Elektroencephalogramm) und das fMRI (funktionale Magnetresonanzbildgebung), vergleichbare Ergebnisse liefern und inwiefern prinzipielle Diskrepanzen vorliegen. Das in der Hirnforschung und -diagnostik häufig eingesetzte fMRI ist ein bildgebendes Verfahren, das die Veränderung des Blutsauerstoffgehalts in den versorgenden Gefäßen darstellt. Es ist dabei noch nicht genau geklärt, in welcher zeitlichen und räumlichen Beziehung diese vasculäre Reaktion zu der direkten bioelektrischen Reizantwort des Gehirns steht, die das EEG oder sein magnetisches Äquivalent, das MEG (Magnetencephalogramm) widerspiegelt.

Eine simultane Aufzeichnung von fMRI, EEG und MEG zur Klärung dieses Sachverhalts ist aus Kompatibilitätsgründen (geschaltete HF-Magnetfelder des MRT) nicht möglich. Die Nahinfrarot-Spektroskopie (NIRS) ist aber so-

Physik und

Medizin

Medizinstechnik

wohl mit fMRI als auch mit EEG und MEG verträglich und kann daher als messtechnische Brücke zwischen den Messmodalitäten dienen.

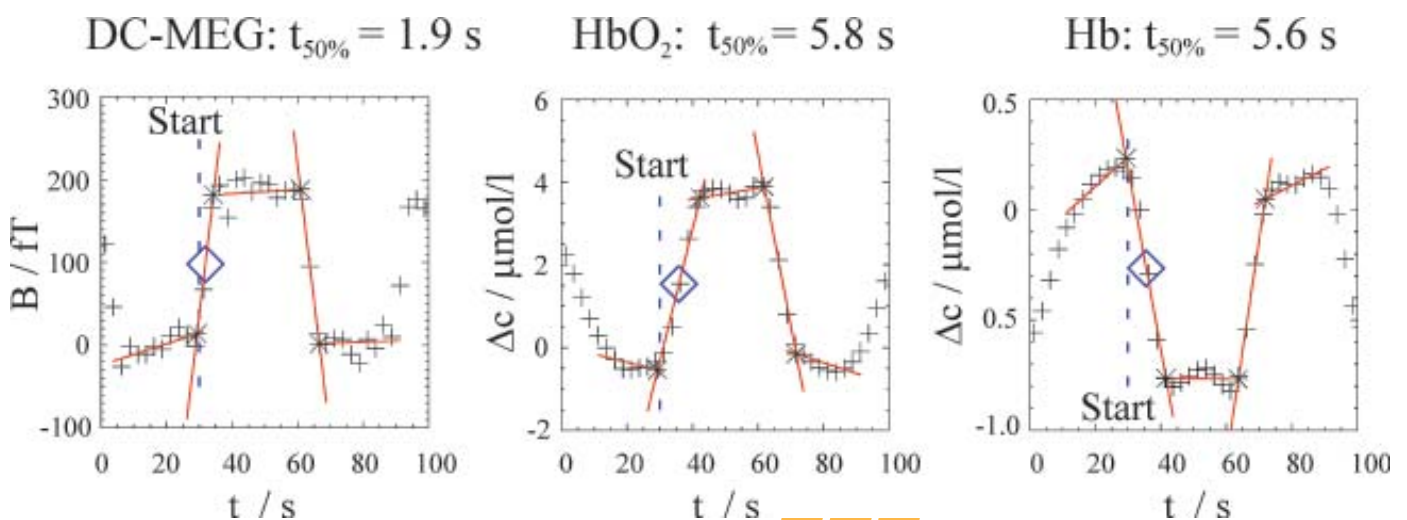
Vor diesem Hintergrund wurde die Gehirnaktivität bei motorischer Stimulation mit den drei verschiedenen Messmodalitäten DC-MEG, DC-EEG und NIRS simultan aufgezeichnet. Die bioelektrische Reaktion der Neuronenpopulationen wird vom DC-MEG und DC-EEG erfasst. Die damit verbundene Veränderung der Durchblutung und Sauerstoffversorgung des betreffenden Hirnareals wird mittels Nahinfrarot-Spektroskopie verfolgt. Die Simultanmessungen zeigen einen klaren Unterschied zwischen dem Einsetzen der neuronalen Aktivität und der Reizantwort im Blutgefäßsystem. Der Nachweis dieses markanten Unterschieds war erst mit Messungen in der neuen magnetischen Abschirmkabine (BMSR-2) und mit dem neuen SQUID-Vektormagnetometersystem der PTB möglich.

Bild 1 zeigt das quantitativ unterschiedliche Antwortverhalten der elektrophysiologischen MEG- und der vaskulären NIRS-Funktion.

Der andere Brückenschlag betrifft die Verknüpfung der NIRS mit der Kernspintomographie. Hier sind am 3-T-Ganzkörpertomographen der PTB zwei experimentelle Aufbauten entstanden. Während der eine Aufbau eine simultane optische und MR-Mammographie ermöglicht, können mit dem zweiten gleichzeitig NIRS- und fMRI-Messungen am Kopf vorgenommen werden.

Bild 2a zeigt die Versuchsanordnung mit der NMR-Spule und den Lichtleitfaserbündeln am Hinterkopf des Probanden. Eine visuelle Stimulation über eine Spiegelanordnung oberhalb der Augen ruft im fMRI des visuellen Kortex, also am Hinterkopf, Aktivitätssignale hervor (Bild 2b), gleichzeitig wurde eine schwache Änderung der NIRS-Signale beobachtet (Bild 2c).

Bild 1: Simultane MEG- und NIRS-Messungen zur neurovaskulären Kopplung: Die elektrophysiologische Reizantwort aus der MEG-Messung (links) weist eine deutlich kürzere Zeitkonstante auf als die mit NIRS ermittelte Durchblutungsänderung (Mitte: Oxyhämoglobin, rechts: Gesamthämoglobin) der zugehörigen Hirnregion.



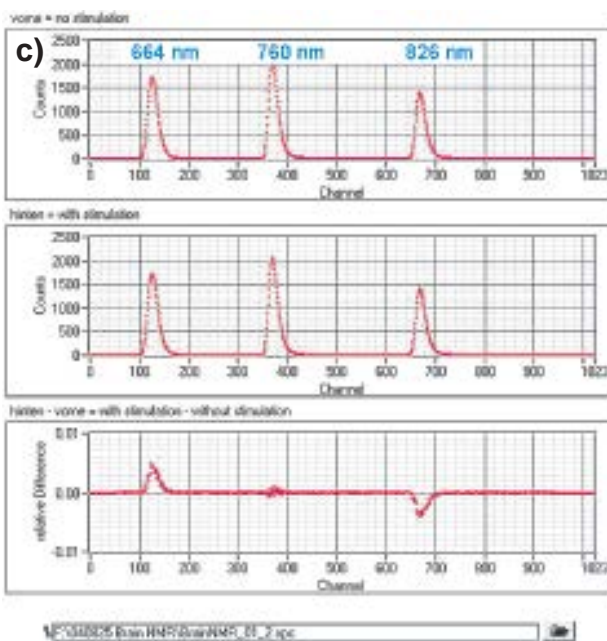


Bild 2: Simultane fMRI- und NIRS-Messung: a) Versuchsaufbau, b) Reizantwort im visuellen Kortex (fMRI) und c) NIRS-Signale für drei Wellenlängen ohne (oben) und mit (Mitte) visuellem Reiz; unten: Differenz-Signal

Eine physikalische und/oder physiologische Deutung der Zusammenhänge wird eine intensive interdisziplinäre Analyse der Messergebnisse im Rahmen des BNIC-Forschungsverbundes erfordern. Für die PTB stehen dabei jeweils der messtechnische Methodenvergleich (MEG – fMRI – NIRS) und die korrekte Deutung der Messergebnisse im Vordergrund. Dies kann aber nur gelingen, wenn gleichzeitig für die beteiligten Partner aus der Neurologie wissenschaftlich attraktive Ergebnisse erzielt werden, die oft weit von den Kernaufgaben der PTB entfernt liegen. Ein Spagat, der nicht immer einfach zu meistern ist.

Modellverifikation

Ein anderes Beispiel für eine erfolgreiche interdisziplinäre Zusammenarbeit betrifft die numerische Herzmodellierung. Der reale Mensch oder das Surrogat der Tiermodelle (z. B. „Knockout-Mäuse“) sind aus ethischen und vielen anderen Gründen nicht das ideale „Prüfnormal“ für die Metrologie in der Medizin. Das BMBF-geförderte Herzmodellierungsprojekt (Partner: Schering AG, Charité, PTB) verfolgt die PTB mit dem Ziel, der Vision des „virtual human“ näher zu kommen. Der virtuelle, also durch mathematische Modellierung nachgebildete Mensch wäre das ideale „Normal“ für die Metrologie in der Medizin, da in ihm nicht nur der Idealgesunde modelliert wäre, sondern auch mögliche Pathologien berücksichtigt werden können.

Numerische Modelle können nur dann sinnvoll sein, wenn sie realitätsnah sind, d. h. sie müssen verifiziert werden. In Zusammenarbeit mit Physiologen der *University of San Diego*, USA, und der *University of Calgary* (Kanada) wurde das gemeinsam mit der PTB entwickelte numerische Rattenherzmodell mit Eingangsparametern, die an einem perfundierten Rattenherz gemessen wurden, angepasst (Bild 3). Sodann wurden mittels eines Medikaments, von dem bekannt ist, dass es gezielt bestimmte Ionenkanäle der Myokardzellmembranen blockiert, die Herzfunktion verändert und das EKG an den perfundierten Herzen gemessen. Die Simulation am numerischen Herzmodell ergab nahezu übereinstimmende Resultate mit den experimentellen Ergebnissen an perfundierten Herzen.

Nach dieser Validierung des numerischen Rattenherzmodells wurde eine aus der jüngsten Literatur entnommene Hypothese verfolgt, wonach bei Mäusen mit induzierter Myokarditis, also einer Virusinfektion des Herzmuskels, ebenfalls ein bestimmter Ionenkanal blockiert wird. Nun ist bekannt, dass die elektrophysiologischen Vorgänge in verschiedenen Tierherzen und in Menschenherzen sehr verschieden ablaufen, da die vielen Ionenkanalarten einer Zelle von Spezies zu Spezies sehr unterschiedlich verteilt sind und miteinander agieren.

Die Blockade einer bestimmten Ionenkanalart im Mäuseherzen hat ein anderes EKG-Muster zur Folge als die Blockade des gleichen Kanals beim Menschenherzen. Der Vorteil numerischer Herzmodelle – sofern sie denn realitätsnah sind – wäre es, von einer am Tiermodell verifizierten Änderung auf die Art der Änderung beim Menschen schließen zu können.

Dass dieses möglich sein könnte, deuten die Ergebnisse an, die durch Blockade derselben Ionenkanalart, die bei Myokarditis-Mäusen blockiert ist, beim humanen numerischen Herzmodell auftreten. Eine Änderung in der so genannten J-Welle des simulierten EKG tritt in ähnlicher Weise in der J-Welle des MKG von Myokarditis-Patienten auf, die im Rahmen des BMBF-Vorhabens (Verbund: Schering AG, Charité, PTB) in der Charité, Campus Benjamin Franklin, untersucht werden.

Molekulare Medizin

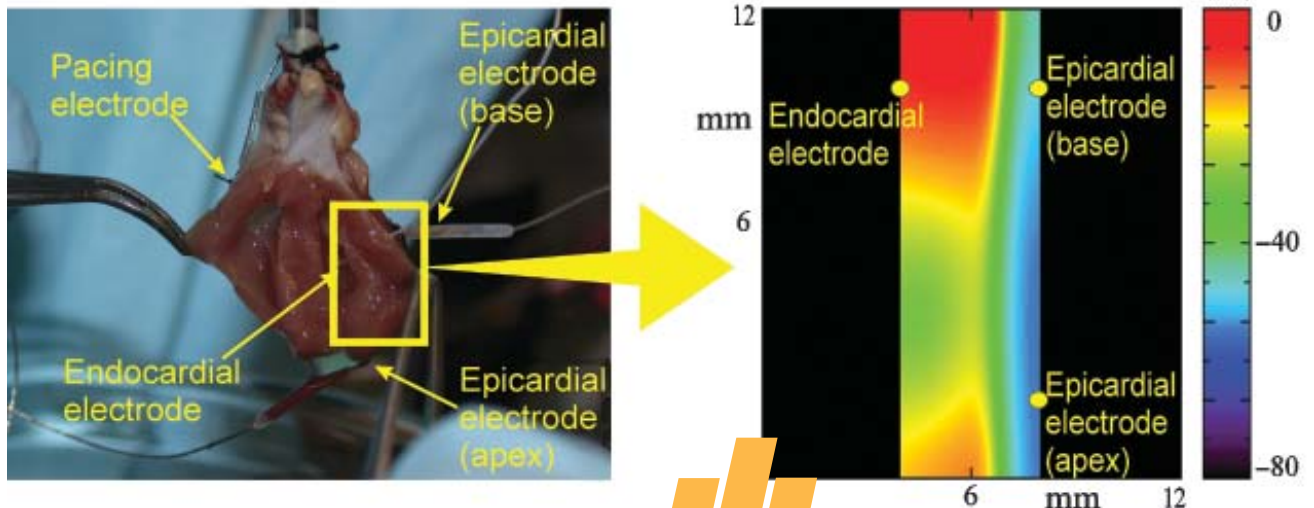
Ein Zukunftsthema, dem sich die Abteilung verstärkt zuwenden will, ist die Metrologie in der molekularen Medizin. Exemplarisch sei die Fluoreszenzdiagnostik an einzelnen Zellen beschrieben, die bisher in der molekularen Medizin nahezu ausschließlich qualitativ betrieben wird. Bild 4a zeigt das Mikroskopbild eines Monozyten, der mit Antikörpern belegt ist, die über angekoppelte fluoreszierende Marker (Chromophore) detektiert werden können.

Eine wichtige quantitative Frage wäre die Bestimmung der genauen Zahl der an die Zellmembran gebundenen Antikörper. Diese Kalibrationsaufgabe wurde in der PTB für den in Bild 4a gezeigten Fall gelöst, indem an wenigen Chromophoren durch Ausbleichexperimente die Fluoreszenzintensität eines Chromophors bestimmt und durch andere statistisch-experimentelle Verfahren die durchschnittliche Zahl der Chromophore pro Antikörper ermittelt wurde.

Bild 3: Verifikation des numerischen Herzmodells durch EKG-Messung an perfundierten Rattenherzen:

links: Elektrodenanordnung an der Myokardwand (Das Herz wurde erst nach dem Experiment aufgeschnitten.)

rechts: simulierte elektrische Erregungsausbreitung über dem entsprechenden Wandquerschnitt (Farbskalierung des Erregungspotentials. Die Kreise markieren die Elektrodenpositionen.)



Metrologische IT

Im klassischen, engeren Sinne umfasst die Metrologie neben der Darstellung der Einheiten die Erfassung und korrekte Analyse von Messdaten. Dagegen ist im Zeitalter der Informations- und Kommunikationstechnik die sichere Übertragung von Messdaten ein neuer, zunehmend wichtiger werdender Aspekt der Metrologie. Beispiele sind die Zählerdaten der Versorgungsunternehmen als Basis für die Gebührenabrechnung mit den Kunden.

Hier setzt ein weiteres Schlüsselprojekt an, das nur durch interdisziplinäre Zusammenarbeit erfolgreich vorangebracht werden konnte: das vom BMWA geförderte SELMA-Vorhaben (Sicherer Elektronischer Messdatenaustausch). Im Projekt arbeiten Experten der IT- und Datensicherheit, der Kommunikationstechnik, der Messtechnik für verschiedene Messgerätearten, der Energieversorgung und des Eichrechts zusammen, um Lösungen für den Einsatz moderner Kommunikationsmittel in Messsystemen zu erarbeiten, die kompatibel mit eichrechtlichen Bestimmungen sind. Das Konsortium besteht aus Vertretern der Messgeräte- und Systemhersteller, der Energieversorger, Eichbehörden, der PTB und von Universitäten. Das BSI ist beratend tätig. Mit dem Abschluss der SELMA-Messgeräte- und Systementwicklung steht eine komplexe Versuchsumgebung mit ca. 160 Messgeräten für die Übertragung von Messdaten über offene

Bild 4a: Fluoreszenzbildgebung eines mit Antikörpern belegten Monozyten

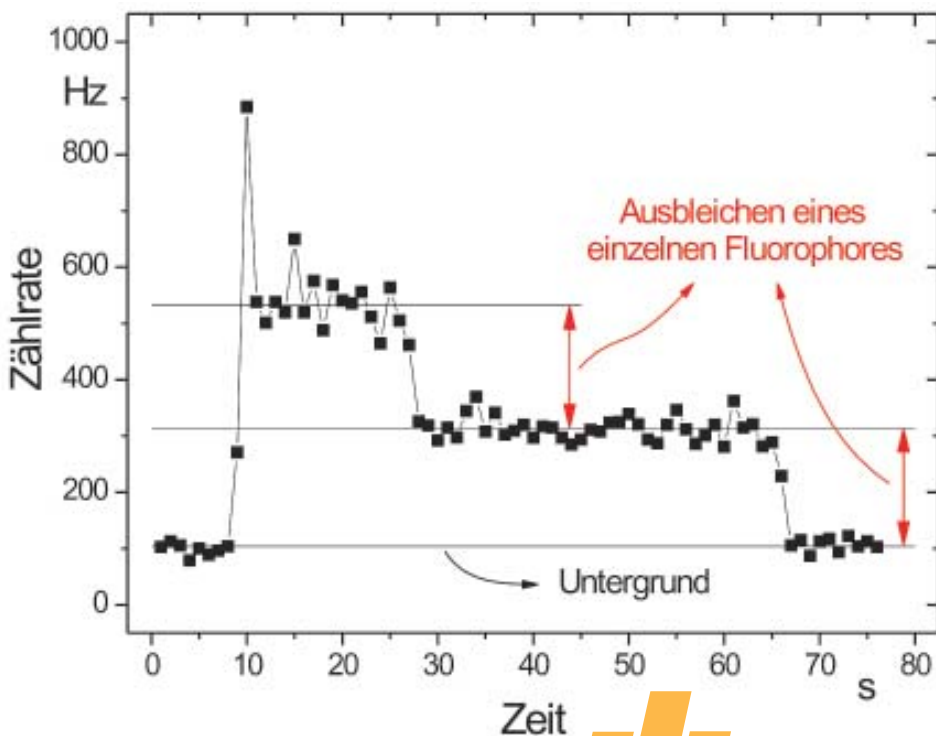
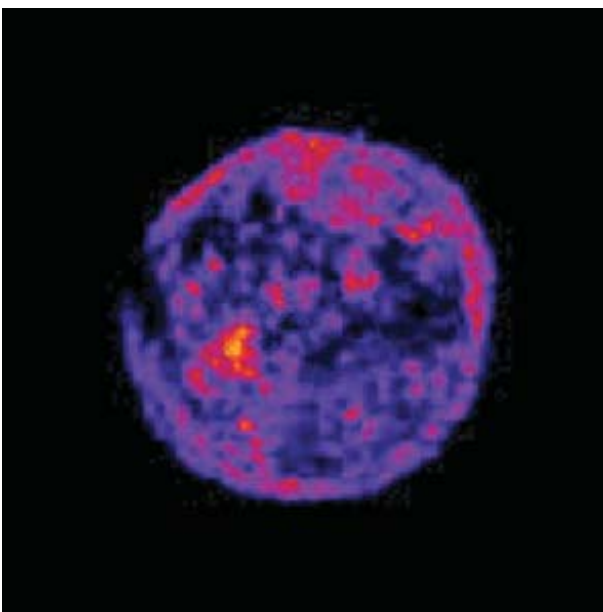


Bild 4b: Zeitabhängigkeit der Laser-induzierten Fluoreszenz eines Streptavidin-Alexa-647-Komplexes. Das Ausbleichen einzelner Alexa-647-Farbstoffmoleküle verursacht die stufenförmige Abnahme der Zählrate.

Kommunikationswege zur Verfügung. Im August 2004 wurde mit einem auf sechs Monate ausgelegten Feldversuch begonnen, in dem die technische Stabilität und die Betriebsprozesse im Energieversorgungsbereich beim Einsatz der SELMA-Technik untersucht werden (Bild 5). Es wird erwartet, dass nach Abschluss des Feldversuchs ausreichend Erfahrungen vorliegen, die einen Realeinsatz der SELMA-Messgeräte erlauben.

Ein ähnliches Projekt, das die sichere Erfassung, Weitergabe und Auswertung von hochsensiblen „Messdaten“ (Wahlstimmen) behandelt, ist das ebenfalls vom BMWA geförderte Vorhaben zur Entwicklung von Prüfverfahren für Online-Wahlssysteme. Hier ist als erstes bedeutendes Ergebnis ein Anforderungskatalog für Online-Wahlssysteme erarbeitet, interdisziplinär abgestimmt und von der PTB im April 2004 herausgegeben worden. Die gesamte Ausarbeitungsphase wurde von Beratungen in zwei bundesweiten Arbeitsgruppen begleitet, eine für Fragen der Prüfung und Zertifizierung und die andere für rechtliche Rahmenbedingungen von Online-Wahlen. Diese Arbeiten bildeten den Hintergrund dafür, dass die PTB von der Bundesregierung beauftragt wurde, Deutschland in einem aus Verfassungs- und Wahlrechtlern sowie Technikern und Informatikern zusammengesetzten Projekt des Europarats zu vertreten, in dem rechtliche und technische Mindeststandards für den Einsatz elektroni-

scher Wahlsysteme erarbeitet worden sind. Diese Mindeststandards sind im September 2004 durch das Ministerkomitee des Europarates verabschiedet worden.

Neue Abteilungsstruktur

Wichtig ist die interdisziplinäre Zusammenarbeit nicht nur mit externen Partnern, sondern fachbereichs- und abteilungsübergreifend auch innerhalb der PTB.

Ein Instrument zur Verbesserung derartiger Querschnittsaktivität war die Strukturreform der PTB, die in der Abteilung *Medizinphysik und metrologische Informationstechnik* zur Bildung dreier medizinphysikalischer, eines mathematischen und eines informationstechnischen Fachbereichs geführt hat. Gerade die letztgenannten IT-Fachbereiche wollen weiterhin PTB-weit in bewährter Weise Querschnittsaufgaben bei mathematischen und/oder informationstechnischen Fragen der Metrologie wahrnehmen und ihre abteilungsübergreifende Unterstützung ausweiten.

Fazit: Eine moderne Metrologie ohne interdisziplinäre Zusammenarbeit ist nicht zukunftsfähig. Und: interdisziplinäre Zusammenarbeit profitiert von der Metrologie!



Bild 5: Demonstrationsoption des SELMA-Projekts während der Konferenz „Metering Europe 2004“

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(diese und weitere Nachrichten ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Erfolgreicher Abschluss des EU-Vorhabens OPTIMAMM

In dem von der PTB koordinierten Forschungsvorhaben „Optical Mammography: Imaging and Characterisation of Breast Lesions by Pulsed Near-Infrared Laser Light“ (OPTIMAMM) wurde in den vergangenen dreieinhalb Jahren in Kooperation von neun Partnern aus sechs europäischen Ländern u. a. der Nutzen der zeitaufgelösten optischen Mammographie in klinischen Studien an insgesamt etwa 350 Patientinnen untersucht. Die Ergebnisse dieser Studie wurden im Mai dieses Jahres auf einem von der PTB gemeinsam mit der *Robert-Rössle-Klinik* der *Charité Universitätsmedizin* Berlin und dem *Institut für Lasertechnologien in der Medizin und Messtechnik* an der *Universität Ulm* organisierten internationalen Workshop „Applied Medical Photonics: From Tissue Characterization to Optical Mammography“ vorgestellt. (D. Grosenick, AG 8.31, dirk.grosenick@ptb.de)

Hochsensitives ^3He -SQUID-Magnetometer

Zur Suche nach einem möglichen elektrischen Dipolmoment des Neutrons benötigt man u. a. ein hochgenaues Magnetometer. Hierzu wurden in Zusammenarbeit mit Prof. W. Heil (*Universität Mainz*) an einem SQUID-System der PTB Messungen an hyperpolarisiertem ^3He durchgeführt, welche zeigten, dass ein derartiger Aufbau die momentan genaueste Magnetfeldmessung über einen Zeitraum von etwa zehn Minuten darstellt. (W. Kilian, AG 8.11, wolfgang.kilian@ptb.de)

Elektromagnetische Feldverteilungen von Spulen-Arrays für die 7-Tesla-Magnetresonanztomographie

Die in der PTB etablierten Simulationsverfahren zur Berechnung der elektromagnetischen Felder von Hochfrequenz-Spulen für die Magnetresonanztomographie (MRT) konnten auf spezielle Spulensysteme für die Höchsfeld-(7 Tesla)-MRT angepasst werden. Aufgrund von Wellenausbreitungsphänomenen im menschlichen Körper bei der betrachteten Hochfrequenz von 300 MHz erweisen sich die berechneten Feldverteilungen als sehr

komplex. Mit Hilfe dieser Simulationen können nun Designkriterien für diese neuartigen Spulensysteme aufgestellt und die tatsächliche Leistungssteigerung gegenüber einer 3-Tesla-MRT quantifiziert werden. (F. Seifert, AG 8.11, frank.seifert@ptb.de)

EKG-Datensatz der PTB im PHYSIONET

PHYSIONET ist ein Service des *Massachusetts Institute of Technology* (MIT), USA, mit dem medizinische Datensammlungen über das Internet der Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt werden. Diese Daten dienen häufig in wissenschaftlichen Veröffentlichungen als „benchmark“ z. B. für neu entwickelte Auswertalgorithmen. Die kürzlich erfolgte Aufnahme des EKG-Datensatzes der PTB in die Datensammlung des PHYSIONET (<http://www.physionet.org/physiobank/database/ptbdb>) ist bereits auf interessierte Zustimmung von wichtigen Arbeitsgruppen gestoßen, die Auswertalgorithmen für EKG-Daten entwickeln. (M. Bär, FB 8.4, markus.baer@ptb.de)

Gekoppeltes Abstands- und Winkelmesssystem zur hochgenauen Formmessung optischer Oberflächen

In Kooperation mit der Arbeitsgruppe 4.21 wurde ein neuartiges, gekoppeltes Abstands- und Winkelmesssystem zur hochgenauen Formmessung optischer Oberflächen konzipiert, das es erstmals ermöglicht, sowohl durch die Führung des Systems verursachte Messabweichungen als auch systematische Messabweichungen der Abstandssensoren zu eliminieren. Dadurch werden sehr präzise Formmessungen großer Oberflächen mit hoher lateraler Auflösung ermöglicht. (C. Elster, AG 8.42, clemens.elster@ptb.de)

Analyse evozierter Einzelereignisse im MEG

Mit einem in der PTB entwickelten, nicht-parametrischen Verfahren konnte die für gemittelte Reizantworten bekannte Frequenzabhängigkeit von Latenzen akustisch stimulierter MEG-Signale bereits für individuelle Reizantworten bestimmt werden. (A. Link, AG 8.42, alfred.link@ptb.de)

Sternversuch zur Messung der magnetischen Suszeptibilität

Im Rahmen des Schwerpunktprogramms „Kolloidale magnetische Flüssigkeiten“ der DFG wurde ein Sternversuch initiiert, in dem von vier Arbeitsgruppen (*Innovent Jena, TU Clausthal, ZARM (Zentrum für Angewandte Raumfahrttechnik und Mikrogravitation), Bremen* und PTB) die Anfangssuszeptibilität einiger Ferrofluide mit verschiedenen Messgeräten bestimmt wurde. Durch die Aufstellung eines Messunsicherheitsbudgets gemäß des GUM (Guide to the Uncertainty of Measurements) konnten die verschiedenen Messverfahren harmonisiert werden. (D. Eberbeck, AG 8.21, dietmar.eberbeck@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Messung einer neuartigen oktaedrischen Kopfspule im 4-Kanal-Betrieb

Am 3-Tesla-MR-Tomographen der PTB wurde erstmals ein neuartiges MR-Spulenkonzept erprobt, das von Th. Riemer (*Interdisziplinäres Zentrum für klinische Forschung der Universität und MPI für Kognitions- und Neurowissenschaften, Leipzig*) entwickelt wurde. Die Spule basiert auf einer oktaedersymmetrischen Anordnung einzelner Leiterbahnen. Mit Hilfe des 4-kanaligen Sendetrakts des PTB-Tomographen konnte die theoretisch erwartete Steuerbarkeit der Verteilung der NMR-wirksamen Magnetfeldkomponenten am Phantom demonstriert werden. Th. Riemer wurde für diese Entwicklung mit dem Innovationswettbewerb zur Förderung der Medizintechnik 2004 des BMBF ausgezeichnet und plant die Ausgründung einer kleinen Technologiefirma auf Basis des neuen Spulenkonzepts. (F. Seifert, AG 8.11, frank.seifert@ptb.de)

Großes Interesse an der SELMA-Technik

Über 140 Vertreter der deutschen Industrie und Wissenschaft hatten im Oktober 2003 während des 2. SELMA-Workshop „Sichere Übertragung von Messdaten über offene Kommunikationsnetze“ die SELMA-Technik erörtert. Im Rahmen der Konferenz „Metering Europe 2004“ im September 2004 in Berlin wurde 800 internationalen Teilnehmern der SELMA-Versuchsaufbau für einen Prüfplatz vorgeführt.

(N. Zisky, AG 8.52, norbert.zisky@ptb.de)

Bestimmung des Übertragungsverhaltens von Beschleunigungsaufnehmern für hochintensive Stoßbeschleunigungen

Ein in der PTB entwickeltes Verfahren zur Modellierung von Beschleunigungsaufnehmern wurde angewendet, um deren Übertragungsverhalten bei hochintensiven Stoßbeschleunigungen zu bestimmen. Der verwendete Modellansatz beschreibt das Übertragungsverhalten des Beschleunigungsaufnehmers durch eine lineare Differentialgleichung 2. Ordnung. Als Ergebnis konnte für Kalibriermessungen mit Stoßbeschleunigungen, deren Spitzenwerte im Bereich von 10 km/s^2 bis 80 km/s^2 lagen, das angenommene lineare Übertragungsverhalten eines Beschleunigungsaufnehmers mit einer relativen Messunsicherheit $< 1 \%$ überprüft und bestätigt werden.

(A. Link, AG 8.42, alfred.link@ptb.de)

Neue Normale für die rotatorische Leistungsmessung

Im Berichtszeitraum wurde das neue nationale Normal für die rotatorische Leistungsmessung in Dienst gestellt. Es weist eine maximale Messunsicherheit von $0,3 \%$ im Leistungsbereich bis 1000 W auf und halbiert damit den Wert des bisherigen nationalen Normals. Weiterhin wurde erstmals ein Bezugsnormale für die rotatorische Leistungsmessung eines Prüflabors messtechnisch rückgeführt. Dieses Normal ermöglicht die Kalibrierung mobiler Messstände für die messtechnische Kontrolle von Ergometern. Durch diese Maßnahme, die auch mit einem Know-how-Transfer verbunden war, wurde dem Ziel Rechnung getragen, klein- und mittelständische Unternehmen zu stärken.

(H. Pfeiffer, AG 8.12, harald.pfeiffer@ptb.de)

Prototyp eines Mehrkanal-Laserimpuls-Mammographen fertiggestellt

Im Rahmen eines vom BMWA finanzierten Projekts wurde in Kooperation mit der Firma *PicoQuant GmbH* ein Prototyp für einen Laserimpuls-Mammographen mit vier Laserwellenlängen und acht Datenerfassungskanälen entwickelt. Das Instrument zeichnet sich durch verbesserte spektrale Messmöglichkeiten sowie durch eine bessere räumliche Erfassung von Brusttumoren aus, wodurch sich physiologische Parameter wie die Hämoglobin-

globinkonzentration und die Sauerstoffsättigung von Tumoren präziser bestimmen lassen und eine bessere Differenzierung gegen gesundes Gewebe ermöglicht wird. Nachdem der fertiggestellte optische Mammograph die erforderliche technische Unbedenklichkeitsprüfung bestanden hatte, wurde er in Zusammenarbeit mit der *Robert-Rössle-Klinik* in Berlin-Buch bereits an ersten Patientinnen erfolgreich erprobt und eingesetzt.
(M. Möller, AG 8.31, michael.moeller@ptb.de)

Softwarequalitätssicherung für die automatische Generierung von Kalibrierscheinen
In enger Zusammenarbeit zwischen einem Hersteller von Drucksensoren, dem DKD und der Softwareprüfstelle der PTB wurde die Software zur Berechnung von Messunsicherheiten, die Bestandteil einer komplexen Kalibrierstrecke ist, einer Prüfung gemäß ISO/IEC 17025 unterzogen. Der Hersteller strebt an, seine Anlage für die Fertigung und Kalibrierung bestimmter Messgeräte so zu erweitern, dass der Kalibrierschein während des Fertigungsprozesses automatisch erzeugt, unterschrieben und versendet werden kann.
(N. Greif, AG 8.51, norbert.greif@ptb.de)

Forschungsverbund zur Entwicklung eines Fluoreszenz-gestützten Mess- und Bildgebungsverfahrens zum Nachweis entzündlich rheumatischer Gelenkveränderungen gegründet
Nach der erfolgreichen Erprobung unspezifischer Kontrastmittel zum Nachweis von frühen Stadien rheumatischer Veränderungen am Tiermodell wurde ein Verbundprojekt zur Entwicklung eines fluoreszenzgestützten Mess- und Bildgebungsverfahrens zum Nachweis entzündlich rheumatischer Gelenkveränderungen unter Beteiligung von vier Berliner Partnern (*Schering AG, Lasertechnik in Berlin GmbH, Charité* und PTB, AG 8.31) eingerichtet. Die Arbeiten des Verbunds werden finanziell von der *Investitionsbank Berlin* unterstützt. Im Vorhaben soll innerhalb von drei Jahren ein kompaktes, transportables NIR-Fluoreszenzbildgebungssystem mit einer entsprechenden Bildverarbeitungssoftware entwickelt werden.
(B. Ebert, AG 8.31, bernd.ebert@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Magnetokardiographische Diagnose einer gefährlichen Herzerkrankung bei einem ungeborenen Kind

Das ungeborene Kind einer Schwangeren, die an einer vererbaren gefährlichen Herzerkrankung („Long QT-Syndrom“) litt, wurde in der neuen magnetisch geschirmten Kabine BMSR-2 mit einem 16-Kanal-Vektor-Magnetometersystem untersucht. Die damit aufgezeichneten Herzsignale von Mutter und Kind wurden mit speziellen Rechenverfahren entmischt, so dass eine eindeutige Diagnose für das Kind gestellt werden konnte und die entsprechende Behandlung eingeleitet wurde.
(M. Burghoff, AG 8.21, martin.burghoff@ptb.de)

Erste Ergebnisse zur Hb-Bestimmung nach AHD-Reaktion

Derzeit werden Referenzwerte für die Hämoglobinkonzentration im Blut nach der Cyanhämoglobin-Methode bestimmt. Da dieses Verfahren die Verwendung von Reagenzien hoher Reinheit voraussetzt und damit in Ländern der dritten Welt nicht eingesetzt werden kann, soll auf Bestreben der WHO als alternative Referenzmethode die AHD-Reaktion (alkalisches Hämatin und Detergenz) weltweit eingeführt werden. In der PTB wurden daher erste Vergleichsmessungen zu beiden Methoden durchgeführt. Bei frischen Blutproben liefern beide Verfahren übereinstimmende Werte, während bei Kontrollblutproben für Ringversuche zur externen Qualitätssicherung beim Kleinen Blutbild Abweichungen auftreten.
(J. Neukammer, AG 8.32, joerg.neukammer@ptb.de)

PTB und Charité erfinden empfindliches Messverfahren zur Detektion der Fluoreszenzsignale eines Farbstoff-Bolus im Gehirn Erwachsener

Es wurde ein zeitaufgelöstes optisches Messverfahren entwickelt und erprobt, mit dem die Passage eines intravenös verabreichten Farbstoff-Bolus im Gehirn eines Erwachsenen nicht-invasiv und in vivo anhand der laserinduzierten Fluoreszenz des Farbstoffs verfolgt werden kann. Das gemeinsam erfundene Messverfahren wurde zum Patent ange-

meldet. Es bietet u. a. die Möglichkeit für eine empfindliche Überwachung der zerebralen Perfusion, z. B. bei Schlaganfallpatienten am Krankenbett. Darüber hinaus eröffnen sich bisher ungeahnte Perspektiven zur Realisierung von molekularen Bildgebungsverfahren zur Untersuchung des Gehirns. (H. Wabnitz, AG 8.31, heidrun.wabnitz@ptb.de)

Verfahren zur fluoreszenzgeführten Biopsie erfolgreich zu Erkennung von Tumorstufen im Dickdarm eingesetzt

Gemeinsam mit der Gastroenterologie der *Charité Mitte* wurde ein lasergestütztes endoskopisches Verfahren entwickelt und erprobt, das es erlaubt, bei einer Dickdarmentzündung (Colitis Ulcerosa) Tumorstufen (Dysplasien) gezielt anhand der erhöhten Fluoreszenz des körpereigenen Farbstoffs Protoporphyrin IX zu erkennen und diese gezielt zu biopsieren. Durch den Einsatz des Verfahrens konnte die Trefferquote der Biopsien um das Fünffache gesteigert werden. (B. Ebert, AG 8.31, bernd.ebert@ptb.de)

Modellierung von Diffusion und Strukturbildung in biologischen Membranen

Membranen lebender Zellen sind zweidimensionale, mehrkomponentige Flüssigkeiten. Je nach Zusammensetzung und äußeren Bedingungen mischen sich ihre Lipidkomponenten oder ordnen sich in Domänen (Phasenseparation). Es wurde ein Modell entwickelt, das die Steuerung der Domänenbildung durch membrangebundene Proteine sowie durch regulierende Enzyme und den Transport von Proteinen und Lipiden durch Diffusion beschreibt. Neben stationären Domänen werden für hinreichende biochemische Aktivität auch oszillierende und sich bewegende Domänen gefunden. In-vitro-Experimente zur Lipid-Protein-Wechselwirkung werden derzeit zur Verifikation der Modellvorhersagen von der AG *Weiche Materie* der *Universität Leipzig* durchgeführt.

(M. Bär, AG 8.41, markus.baer@ptb.de)

Neurotransmitter im Hippocampus wird durch Lithiumtherapie beeinflusst

In Zusammenarbeit mit der Universitätsmedizin der *Charité Berlin* wurde bei 20 Depressiven und 19 gesunden Kontrollpersonen der Botenstoff Glutamat im Gehirn in vivo mittels

eines in der PTB entwickelten magnetresonanzspektroskopischen Verfahrens bei 3 Tesla bestimmt. Dabei konnte eine positive Korrelation der Li-Konzentration im Blutserum mit der Neurotransmitterkonzentration in einem bestimmten Hirnareal (linker Hippocampus) von Patienten nachgewiesen werden. Dieser Befund könnte dazu beitragen, den Wirkungsmechanismus der vielfach erfolgreichen Li-Therapie auf molekularer Ebene aufzuklären. (F. Schubert, AG 8.11, florian.schubert@ptb.de)

Genauere Bestimmung der Messunsicherheit von Metaboliten im Gehirn

Gegenwärtig wird als Qualitätsmaß bei der Quantifizierung von Metabolitkonzentrationen aus in vivo gemessenen NMR-Spektren üblicherweise nur die Messunsicherheit der Metabolitamplituden angegeben. In Kooperation von 8.11 und 8.42 wurde ein Verfahren zur Bestimmung der Unsicherheit der Anpassung des Spektrenuntergrundes entwickelt, das eine realistischere Schätzung der Gesamtmessunsicherheit der Metabolitbestimmung erlaubt und zeigt, dass bisherige Verfahren die Messunsicherheit wesentlich unterschätzen. (F. Schubert, AG 8.11, florian.schubert@ptb.de)

MEG zur Untersuchung von Gesichtblindheit (Prosopagnosie)

Aufbauend auf den Arbeiten der letzten Jahre zur Charakterisierung der Gesichterverarbeitung im MEG (Magnetoencephalogramm) wurde in Zusammenarbeit mit Medizinern und Genetikern der *Charité* und der *Universität Münster* eine Patientenstudie zur Untersuchung der Prosopagnosie durchgeführt. Prosopagnosie ist die wahrscheinlich meist angeborene Unfähigkeit, Personen anhand ihrer Gesichter schnell zu unterscheiden und wieder zu erkennen. Die Zahl der von diesem Defizit tatsächlich Betroffenen ist weitgehend unbekannt. Die durchgeführte Studie zeigt bei 170 ms nach der Präsentation eines Gesichtes klare Unterschiede im MEG zwischen Prosopagnostikern und einer gesunden Kontrollgruppe. Solche Unterschiede werden es in Zukunft wahrscheinlich ermöglichen, eine Prosopagnosie ohne aufwendige psychologische Tests diagnostizieren zu können.

(L. Trahms, AG 8.21, lutz.trahms@ptb.de)

Neue magnetisch geschirmte Kabine BMSR-2 ermöglicht direkte DC-MEG-Messungen

Langsam veränderliche elektrophysiologische Gehirnaktivitäten mit Zeitkonstanten im Bereich von Sekunden (so genannte DC-Aktivitäten) ließen sich bisher messtechnisch nicht korrekt erfassen. Im neuen magnetischen Abschirmraum BMSR-2 wurden Magnetencephalogramme (MEG) bei motorischen Prozessen (Fingerbewegungen) über einen Zeitraum von 30 s mit einem neu entwickelten rauscharmen 16-Kanal-Vektormagnetometer gemessen. Damit war es jetzt erstmals möglich, den schnellen Anstieg von dem langsameren Abklingen der Erregung der Hirnrinde zu unterscheiden. (M. Burghoff, AG 8.21, martin.burghoff@ptb.de)

Referenzverfahren zur Bestimmung der Konzentration der Leukozyten

Im Arbeitsausschuss C6 „Hämatologie“ im Normenausschuss Medizin des DIN wurde unter Federführung der PTB die Norm DIN 58932-4, in der die Referenzwertermittlung der Leukozyten beschrieben ist, fertig gestellt. Damit sind die Voraussetzungen geschaffen, bei der Bewertung von Ringversuchen nicht nur für die Konzentration der Erythrozyten, sondern auch für die Konzentration der Leukozyten Referenzwerte zugrunde zu legen. (J. Neukammer, AG 8.32, joerg.neukammer@ptb.de)

Softwareprüfung für den Strahlenschutz des fliegendes Personals

Die gegenwärtig auf dem Markt erhältlichen Programme für die Berechnung der Strahlenbelastung bei Flügen wurden im Jahr 2004 durch die PTB geprüft und anschließend durch das *Luftfahrtbundesamt* zugelassen. In Ergänzung zur funktionalen Prüfung in der Abteilung 6 bildeten Zuverlässigkeit und Manipulationssicherheit sowie Bedienbarkeit und Dokumentation den Prüfgegenstand der Softwareprüfstelle. (N. Greif, AG 8.51, norbert.greif@ptb.de)

Neues technisches Konzept für die Spielverordnung

Das BMWA, aber auch alle anderen an der Novellierung der Spielverordnung beteiligten Seiten haben sich auf das von der PTB entwickelte neue technische Konzept für eine Spielverordnung verständigt. Das Konzept bietet zuverlässigeren Schutz für die Spieler, mehr Transparenz für den Vollzug und gestattet gleichzeitig mehr Flexibilität bei der Entwicklung.

(D. Richter, FB 8.5, dieter.richter@ptb.de)

OIML-Software-Empfehlungen

Von der Arbeitsgruppe des OIML-TC 5/SC2, bestehend aus Vertretern von PTB, LNE (Frankreich) und MIRS (Slowenien) ist ein Entwurf für Software-Empfehlungen erarbeitet und in die Abstimmung mit den OIML-Gremien gebracht worden. Die Empfehlungen sollen die weltweite Harmonisierung der Softwareanforderungen im Rahmen der OIML, die zurzeit recht unterschiedlich sind, fördern.

(U. Grottker, AG 8.53, ulrich.grottker@ptb.de)

Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben

Berichte der Abteilungen



Abteilung



Wissenschaft technische Querschnitt

Die Abteilung Q unterstützt die Fachabteilungen durch wissenschaftliche, technische und infrastrukturelle Dienstleistungen. Zu ihren Aufgaben gehört auch die wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern.

Die Absicht der *TU Braunschweig* und der PTB, ihre Zusammenarbeit weiter auszubauen und zukünftig auch gemeinsame Berufungsverfahren durchzuführen, wurde durch Unterzeichnung einer Ergänzungsvereinbarung zu der bereits bestehenden Rahmenvereinbarung aus dem Jahr 1990 bekräftigt. Im Februar 2004 begann mit der Veröffentlichung der Ausschreibung einer Professur für Theoretische Physik an der TU Braunschweig und der Leitung des Fachbereichs Q.2 *Theoretische Grundlagen* der PTB das erste gemeinsame Berufungsverfahren. Eine wichtige Aufgabe dieses Fachbereichs ist die kommunikative Brückenfunktion zwischen der physikalischen Grundlagenforschung und der experimentellen Metrologie in der PTB.

Titelbild
Europäische Richtlinie für Messgeräte verabschiedet

Die Europäische Richtlinie für Messgeräte (Measuring Instruments Directive, MID) wurde nach Diskussion im Rat der Europäischen Union und im Europäischen Parlament im März 2004 verabschiedet und trat am 30. April in Kraft. Sie harmonisiert den europäischen Markt für zehn Messgerätearten und ist ab dem 30. Oktober 2006 von allen Mitgliedsstaaten anzuwenden.

Mit Beginn des Jahres 2004 hat die im Vorjahr eingerichtete zentrale Zertifizierungsstelle für Messgeräte planmäßig ihren Betrieb aufgenommen. Die PTB erfüllt damit die mit ihrer Notifizierung als Benannte Stelle für die Europäische Messgeräte-Richtlinie (MID) verbundenen normativen Forderungen. Die Umsetzung der Empfehlung der Evaluationskommission, den Technologietransfer zu stärken, wurde durch Einstellung eines wissenschaftlichen Mitarbeiters im Fachbereich Q.3 *Gesetzliches Messwesen und Technologietransfer* weiter vorangetrieben. Erste Erfolge des neuen Konzepts zum Technologietransfer zeichnen sich bereits ab.

Die technischen und infrastrukturellen Dienstleistungen zur Unterstützung der Fachabteilungen, die den Schwerpunkt der Tätigkeiten in der Abteilung Q ausmachen, eignen sich naturgemäß weniger für eine Berichterstattung in diesem Rahmen. Daher stehen auch in diesem Jahr wieder Arbeiten in den drei Geschäftsbereichen Grundlagen der Metrologie, Metrologie für die Gesellschaft und Internationale Angelegenheiten im Mittelpunkt dieses Berichts.

Grundlagen der Metrologie

Zu den zentralen Querschnittsaufgaben des Fachbereichs Q.2 *Theoretische Grundlagen* gehören Fragen zur Auswertung von Messungen, insbesondere zur Ermittlung der Messunsicherheit. Eines der wichtigsten metrolo-

haftlich- tsaufgaben

gischen Dokumente der letzten Dekade ist der Leitfaden Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM). Er regelt nach internationaler Übereinkunft die Ermittlung der Messunsicherheit bei den meisten in der Praxis auftretenden messtechnischen Aufgaben. Um auch diejenigen Auswertungsaufgaben behandeln zu können, auf die das Verfahren des GUM nicht unmittelbar anwendbar ist, werden am BIPM in Paris Ergänzungsdokumente zum GUM erstellt. Sie betreffen insbesondere den Fall der gemeinsamen Auswertung mehrerer Messgrößen auf der Basis derselben Daten oder auch die Darstellung numerischer Methoden wie der Monte-Carlo-Methode, die in komplizierteren Fällen zur Berechnung der Messunsicherheit herangezogen werden müssen. Die PTB ist in dem für diese Ergänzungen verantwortlichen internationalen Gremium vertreten.

Die im Zusammenhang mit dem GUM gewonnenen Erkenntnisse wurden in jeweils zweitägigen Seminaren mit insgesamt etwa 140 Teilnehmern weitergegeben. Des Weiteren wurden Probleme untersucht, die im Zusammenhang mit Neutronenfeldern an Reaktoren auftreten. Bei der Ermittlung der Kovarianzmatrix für ein entfaltetes Neutronenspektrum werden im Allgemeinen nur die den Messwerten beigeordneten Unsicherheiten betrachtet. Eine Machbarkeitsstudie ergab, dass die Bayessche Methode sich hervorragend dafür eignet, auch die Kovarianzmatrix der Antwortfunktion des Neutronenspektro-

mers zu berücksichtigen. Es wird erwartet, dass die Anwendung dieses Verfahrens zu deutlich realistischeren Kovarianzmatrizen für entfaltete Neutronenspektren führt.

Theoretische Untersuchungen des elektronischen Transports in niedrigdimensionalen Strukturen bilden einen weiteren Schwerpunkt im Rahmen der metrologischen Grundlagenforschung. Derzeit konzentrieren sich die Arbeiten hauptsächlich auf zweidimensionale Elektronenschichten, welche vor allem in Halbleiter-Heterostrukturen auftreten. Diese zeigen in starken Magnetfeldern bei niedrigen Temperaturen den Quanten-Hall-Effekt, der für die Darstellung der Widerstandseinheit Ohm weltweit metrologisch genutzt wird. Dabei wird die präzise Quantisierung des Hall-Widerstandes in Einheiten der Naturkonstanten h/e^2 als Funktion der magnetischen Flussdichte beobachtet, wobei h die Planck-Konstante und e die elektrische Elementarladung bedeuten.

Bei der Erklärung des integralen Quanten-Hall-Effekts kann die gegenseitige Wechselwirkung der Elektronen in erster Näherung vernachlässigt werden. Dagegen spielen elektrostatische Potentiale, an denen die Ladungsträger streuen, eine wesentliche Rolle. Diese Unordnungspotentiale, hervorgerufen durch Fremdatome, strukturelle Störungen des Kristallgitters und der Grenzflächen, führen bei sehr tiefen Temperaturen zum Verschwinden des elektrischen Stroms. Das

Material wird zum Isolator. Der mikroskopische Mechanismus, welcher den Übergang von der Quanten-Hall-Flüssigkeit in den Isolator verursacht, wurde untersucht. Mit Hilfe eines ungeordneten zweidimensionalen Kontinuum-Modells konnte gezeigt werden, dass sich die stromtragenden Zustände mit abnehmendem Magnetfeld zu höheren Energien hin verschieben. Diese Verschiebung wird durch die unordnungsinduzierte Wechselwirkung benachbarter Landaubänder vermittelt. Sind nach und nach alle Zustände über das Ferminiveau gewandert, können keine Ladungsträger mehr zum elektrischen Strom beitragen. Im Rahmen einer Zweiband-Näherung wurde gefunden, dass die maximale Verschiebung der Energie der stromtragenden Zustände von der Stärke der Unordnung abhängt.

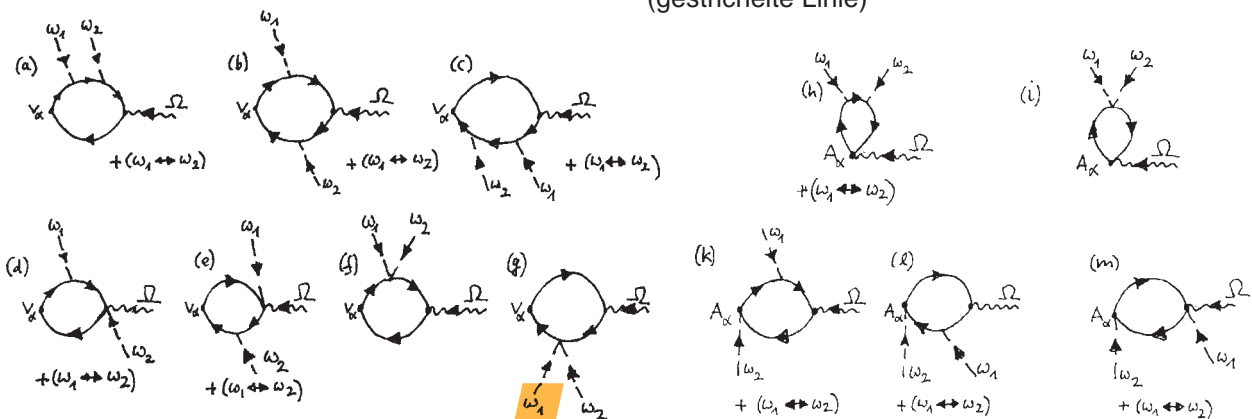
Hochreine Quanten-Hall-Systeme zeigen unter Mikrowellenbestrahlung neuartige widerstandslose Zustände, die im Experiment im Bereich schwacher Magnetfelder als Oszillationen des spezifischen Widerstands mit der Mikrowellenfrequenz beobachtet werden. Eine der vorgeschlagenen Erklärungen beschreibt das Phänomen klassisch, als eine durch die Mikrowellen verursachte inhomogene Elektronendichte. Ein anderer Vorschlag vermutet dagegen die Ursache in einem Quanteneffekt, einer mikrowelleninduzierten Änderung der Streurate. Um diesem Problem genauer auf den Grund zu gehen, wurden ausführliche Modellrechnungen begonnen, die es gestatten, klassische und Quanteneffekte von einander zu trennen. Die Berechnung basiert letztendlich auf der Auswertung von Graphen (s. Bild), die in zweiter Ordnung der Kopplung des Mikrowellenfelds auftreten.

Im Falle des fraktionalen Quanten-Hall-Effekts spielt die Elektron-Elektron-Wechselwirkung die dominante Rolle. Dafür kann hier meist der Einfluss der Unordnung vernachlässigt werden. In Quanten-Hall-Systemen, deren Ladungsträgerdichten einem halb gefüllten Landau-Niveau entsprechen, verhalten sich die Quasiteilchen wie composite fermions. Das sind neuartige, aus einem Elektron und zwei magnetischen Flussquanten zusammengesetzte Teilchen. Experimentell gibt es eine Reihe von Hinweisen auf die Existenz dieser composite fermions. Bisher ist es aber noch nicht gelungen, dieses Konzept zweifelsfrei theoretisch zu formulieren und die Eigenschaften der Quasiteilchen quantitativ zu bestimmen. Im Fachbereich Q.2 wird versucht, mit der Selbstenergie als Funktion von Frequenz und Wellenvektor, die Einteilcheneigenschaften der Quasiteilchen in einer modifizierten Random Phase Approximation zu berechnen. Dabei wird ein Ansatz für die Selbstenergie verwendet, der Frequenzsummen analytisch auszuwerten erlaubt. Erste numerische Ergebnisse sind vielversprechend und reproduzieren die Form der Spektralfunktion für das Coulombproblem in zwei Dimensionen.

Metrologie für die Gesellschaft

Die Diskussion im Rat der Europäischen Union und im Europäischen Parlament im Zusammenhang mit dem Entwurf einer Messgeräterichtlinie (Measuring Instruments Directive, MID), an der die PTB mit großer Intensität teilgenommen hat, konnte erfolgreich beendet werden. Die wesentlichen Vorschläge des Parlaments wurden vom Rat akzeptiert, so dass die Richtlinie angenom-

Graphen in zweiter Ordnung im Mikrowellenfeld (gestrichelte Linie)



men und veröffentlicht werden konnte. Sie ist innerhalb von zwei Jahren in nationales Recht umzusetzen und von allen Mitgliedsstaaten der EU ab 30. Oktober 2006 anzuwenden. Entsprechend dem Subsidiaritätsprinzip beschränkt sich die Richtlinie auf die Regelungen bis zum Inverkehrbringen bzw. zur Inbetriebnahme der Messgeräte. Die Mitgliedsstaaten entscheiden weiterhin in eigener Verantwortung, welche Anwendungen von Messgeräten gesetzlich geregelt werden und welche kompetenten Zertifizierungsstellen als Benannte Stellen zur Durchführung der Konformitätsbewertungsverfahren tätig werden sollen.

Die nationale Umsetzung der Richtlinie erfolgt in Deutschland unter Federführung des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit*, dem die PTB beratend zur Verfügung steht. Auswirkungen auf die PTB bestehen dadurch, dass sie die bisherigen Verfahren zur Bauartzulassung modifizieren muss und sich außerdem als künftige Benannte Stelle auf die Anerkennung und Überwachung von Qualitätsmanagementsystemen bei den Herstellern für die Konformitätsbewertungsverfahren B + D und H1 vorbereiten muss. Die hierfür gegründete *Zertifizierungsstelle für Messgeräte* hat bereits den Betrieb aufgenommen und bearbeitet Bauartzulassungen nach dem geltenden Eichrecht, wobei trotz des angewandten Vier-Augen-Prinzips durch eine optimierte Ablauforganisation keine nennenswerten Zeitverzögerungen bei der Erteilung der Zulassungen auftreten. Parallel dazu wurden unter Federführung der Zertifizierungsstelle die Grundsätze und Abläufe der künftigen Konformitätsbewertungsverfahren festgelegt, um die Forderungen der Messgeräte-Richtlinie und der einschlägigen Normen zu erfüllen.

Zur Unterstützung der europäischen Harmonisierung im gesetzlichen Messwesen hat WELMEC (European Cooperation in Legal Metrology) eine größere Bedeutung erlangt. Aufgrund der erfolgreichen Vorbereitung bei der Erarbeitung von Entwürfen zu den technischen Anforderungen in der Messgeräte-Richtlinie sieht die Europäische Kommission WELMEC als wichtigen Partner. Da für die Interpretation und praktische Anwendung der MID weitere Leitfäden erforderlich sind, hat WELMEC messgerätespezifische Arbeitsgruppen gegründet, die z. T. unter deutscher

Leitung stehen. In Zusammenarbeit mit der Europäischen Kommission sollen diese Leitfäden rechtzeitig zur Anwendung der MID fertiggestellt sein.

Die internationale Harmonisierung des gesetzlichen Messwesens im Rahmen der Organisation Internationale de Métrologie Légale (OIML) soll durch das nunmehr verabschiedete Abkommen zur Anerkennung von Bauartprüfungen (Mutual Acceptance Arrangement, MAA) beschleunigt werden. Von diesem Abkommen werden vorerst die nicht-selbsttätigen Waagen und die Wägezellen erfasst. Das Abkommen soll der verstärkten Anerkennung von Prüfberichten im Zusammenhang mit nationalen Bauartzulassungen dienen. Zu den teilnehmenden Institutionen wird auch die PTB zählen. Zur Umsetzung sind von den teilnehmenden Mitgliedsstaaten Erklärungen zur gegenseitigen Anerkennung zu unterzeichnen. Da in diesem Zusammenhang noch viele Fragen offen sind, zu denen auch finanzielle Aspekte zählen, ist mit einer Anwendung des Abkommens erst im Jahr 2005 zu rechnen. Die OIML hat auch ihre Zusammenarbeit mit WELMEC verstärkt, um gemeinsam mit dem europäischen Normungsgremium CEN die Umsetzung der MID weitgehend auf der Grundlage messgerätespezifischer internationaler Dokumente zu unterstützen.

Einen weiteren Aspekt der Metrologie für die Gesellschaft stellt der Technologietransfer dar mit dem Ziel, die wissenschaftlichen Ergebnisse der PTB enger mit der Wirtschaft zu verzahnen. Bereits in der Vergangenheit hat eine Vielzahl bestehender Kooperationen mit der Industrie für einen Transfer von Technologien gesorgt. Zur Verstärkung dieses Transfers wurde in der PTB die Technologietransferstelle erweitert, um die Anzahl der verwertungsfähigen Patente zu steigern, durch Lizenzeinnahmen für einen finanziellen Rückfluss zu sorgen und somit auch motivierend auf die Mitarbeiter der PTB zu wirken. Bei der Patentverwertung kann bereits eine Steigerung der Einnahmen verzeichnet werden. Außerdem wurden die infrastrukturellen Voraussetzungen geschaffen, um eine erste Firmenausgründung von PTB-Mitarbeitern zu realisieren und weitere Ausgründungen vorzubereiten.

Internationale Angelegenheiten

Der Schwerpunkt der Aktivitäten der Abteilung im Geschäftsbereich „Internationale Angelegenheiten“ liegt im Bereich der Technischen Zusammenarbeit. Durch Projekte zum Auf- und Ausbau technischer Infrastrukturen des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens, der Akkreditierung und Zertifizierung (MNPQ) werden die Voraussetzungen für die wirtschaftliche und soziale Entwicklung verbessert und die Teilnahme von Entwicklungsländern am Welthandel erleichtert. Diese Ziele werden zunehmend durch regionale Projekte verfolgt, die die Realisierung regionaler Märkte unterstützen und den Aufbau regionaler MNPQ-Strukturen fördern. Von den insgesamt 29 vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (BMZ) finanzierten Projekten verfolgen neun einen regionalen oder sektoralen Ansatz.

Wie auch in den vergangenen Jahren erfolgt eine Zusammenarbeit mit den ehemaligen Ländern der Sowjetunion mit finanzieller Unterstützung des *Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit*. Intensive Arbeitsbeziehungen sind mit Kasachstan, Georgien und der Ukraine zu verzeichnen. Durch ein EU-finanziertes so genanntes Twinning-Projekt wird Litauen im Bereich Metrologie in der Chemie gefördert.

Neben der Projektarbeit wurden Instrumente der Technischen Zusammenarbeit weiter entwickelt. Als Reaktion auf die Schwerpunkts- und Programmorientierung der deutschen Entwicklungszusammenarbeit wurde eine Strategie erarbeitet, die den beteiligten Partnern die Bedeutung von MNPQ zur Erreichung der jeweiligen Ziele deutlich macht. Die Strategie wurde im Rahmen eines Projekts mit auswärtiger Unterstützung erarbeitet und dokumentiert. Mit Vertretern anderer deutscher MNPQ-Organisationen unterstützte der Fachbereich Q.5 *Technische Zusammenarbeit* das BMZ bei der Überarbeitung des MNPQ-Sektorkonzeptes, das jetzt in aktualisierter Form vorliegt.

Erwähnenswert sind auch Studien zur Einschätzung der Metrologie bzw. des MNPQ-Wesens, die in Argentinien und Thailand durchgeführt wurden und Empfehlungen für den weiteren Ausbau enthalten. Für Georgien sind die entsprechenden Arbeiten noch nicht abgeschlossen.

Der Leiter des Fachbereichs Q.5 wurde zum Vorsitzenden einer permanenten Arbeitsgruppe für Entwicklungsländer der Internationalen Organisation für Gesetzliches Messwesen ernannt und hatte in dieser Funktion ein Forum „Metrology – Trade Facilitator“ im Zusammenhang mit der 12. Generalkonferenz der OIML im Oktober 2004 in Berlin durchgeführt.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich im Web-Jahresbericht unter www.ptb.de)

Grundlagen der Metrologie

Mikrowellen-induzierte Oszillationen des spezifischen Widerstands eines zweidimensionalen Elektronengases

Die im Experiment beobachteten Oszillationen des spezifischen Widerstands mit der Mikrowellenfrequenz werden in einer Modellrechnung theoretisch untersucht. (M. Weyrauch, Q.23, michael.weyrauch@ptb.de)

Unordnungsabhängige Levitation der kritischen Quanten-Hall-Zustände

Im Rahmen eines Zweiband-Kontinuummodells konnte gezeigt werden, dass im Grenzfall einer verschwindenden magnetischen Flussdichte die Energie der stromtragenden elektronischen Zustände eine endliche und von der Stärke der Unordnungspotentiale abhängige Verschiebung erfährt. (L. Schweitzer, Q.24, ludwig.schweitzer@ptb.de)

Grid Computing

Wissenschaftliche Berechnungen und Simulationen erfordern Computer mit sehr hoher Rechenleistung. Grid Computing bietet die Möglichkeit, brach liegende Ressourcen verschiedener Arbeitsplatzrechner dafür zu nutzen. (S. Hackel, Q.4, siegfried.hackel@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Europäische Richtlinie für Messgeräte verabschiedet

Das Europäische Parlament und der Rat haben eine neue Richtlinie für zehn Messgeräteearten beschlossen, die den Europäischen Markt für zehn Messgerätearten harmonisiert und ab dem 30. Oktober 2006 von allen Mitgliedsstaaten anzuwenden ist. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

Vollversammlung für das Eichwesen 2003

Die Vollversammlung war im allgemeinen Teil durch Vorträge im Zusammenhang mit der Veröffentlichung der Europäischen Messgeräte-Richtlinie gekennzeichnet. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

PTB-Seminar über die Europäische Richtlinie für Messgeräte (MID)

Zur Vorbereitung der Hersteller und Verwender auf die ab Oktober 2006 anzuwendende Europäische Richtlinie für Messgeräte führte die PTB das Seminar „Die Europäische Richtlinie für Messgeräte (MID): Ein effizienter Marktzugang im gesetzlich geregelten Bereich“ durch. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

Erfolgreicher Betriebsstart der Zertifizierungsstelle Messgeräte

Mit Beginn des Jahres 2004 hat die im Jahr 2003 eingerichtete zentrale Zertifizierungsstelle für Messgeräte planmäßig ihren Betrieb aufgenommen.

(H. Stolz, Q.32, harry.stolz@ptb.de)

Technologietransfer durch Patente

Patente sind ein wichtiger Teil des Technologietransfers in die Wirtschaft. Nahezu alle in der PTB bearbeiteten physikalischen Themengebiete werden durch PTB-Patente erfasst.

(B. Smandek, Q.3, bernhard.smandek@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Mittelstandsforum (KMU)

Das Konzept eines PTB-Portals wurde weiter entwickelt (Stichwort KMU-Forum) und Elemente davon wurden im Intranet erprobt.

(K. Guckelsberger, Q.46, kurt.guckelsberger@ptb.de)

MELODI

Im Bereich der Metrologischen Dienstleistungen (MELODI) konnte ein weiterer Geschäftsprozess in das in SAP R/3 abgebildete Fachverfahren überführt werden.

(J. Vogel, Q.43, joachim.vogel@ptb.de)

Topic Maps

Topic Maps bieten die Möglichkeit, große unstrukturierte Dokumentenmengen mit Hilfe einer Wissensstruktur zugänglich zu machen und inhaltlich zu erschließen.

(K. Guckelsberger, Q.46, kurt.guckelsberger@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Netzgestützte Metrologie

Das Kollaboratorium „VirTeL“ (Virtuelles Test-Labor) erlaubt Wissenschaftlern von jedem Punkt der Erde, mit Internetanschluss den laufenden Betrieb zu überwachen.

(K. Guckelsberger, Q.46,
kurt.guckelsberger@ptb.de)

Die technische Zusammenarbeit in Zahlen

Im Berichtsjahr wurden 16 Länder in vier Kontinenten durch 22 bilaterale Projekte beim Aufbau ihrer MNPQ-Infrastruktur unterstützt. Weitere Länder profitierten von insgesamt neun regionalen und sektoralen Projekten. Der finanzielle deutsche Beitrag betrug ca. 4 Mio. EUR. Etwa 1536 Fachkräften aus 36 Ländern wurde eine Fortbildung in Fachinstituten in Deutschland und anderen Ländern ermöglicht. Mehr als 102 Teilnehmer aus 25 Ländern konnten an speziellen Fortbildungsseminaren durch Projektförderungen teilnehmen.

(E. Seiler, Q5, eberhard.seiler@ptb.de)

Nationale Metrologielaboratorien in Kroatien akkreditiert

Das Projekt „Aufbau eines kundenorientierten Messwesens und Akkreditiersystems“ in Kroatien befindet sich in der Abschlussphase. Fünf von insgesamt acht nationalen Laboratorien wurden bisher erfolgreich vom *Deutschen Kalibrierdienst* akkreditiert. Für die ausstehenden drei Laboratorien läuft das Akkreditierverfahren.

(A. Kögler, Q.51, annette.koegler@ptb.de)

Beginn der Technischen Zusammenarbeit mit Georgien

Die PTB führt in Georgien eine Studie zur vorhandenen MNPQ-Infrastruktur durch und erarbeitet Vorschläge zu deren Anpassung an die Erfordernisse der georgischen Wirtschaft. Das Interesse des Partners zielt auf eine Verbesserung der Exportchancen und die Erfüllung der Verpflichtungen als WTO-Mitglied. (A. Pfaff, Q.51, anna.pfaff@ptb.de)

Förderung der regionalen Zusammenarbeit für den Aufbau von MNPQ-Strukturen

Die PTB unterstützt den Aus- und Aufbau nationaler und regionaler MNPQ-Infrastruk-

turen in den Mitgliedsländern der South Asian Association for Regional Cooperation (SAARC), (U. Diekmann, Q.52, ulrich.diekmann@ptb.de), der Ostafrikanischen Gemeinschaft (S. Wallerath, Q.52, stefan.wallerath@ptb.de) und der Südafrikanischen Entwicklungsgemeinschaft (K. Stoll-Malke, Q.52, kai.stoll-malke@ptb.de).

Neues Projekt in Costa Rica

Die PTB unterstützt den nationalen Qualitätsrat in Costa Rica (Consejo Nacional para la Calidad – CONAC) bei der Entwicklung des nationalen Qualitätssystems. (D. Schwohnke, Q.53, dieter.schwohnke@ptb.de)

Strahlenschutz in Uruguay verbessert

Finanziert aus Mitteln des Studien- und Fachkräftefonds des BMZ, wurde die nationale Strahlenschutzbehörde Uruguays auf dem Gebiet der Therapien mit ionisierender Strahlung durch die PTB und andere deutsche Fachinstitutionen beraten. Qualitätssichernde Strategien bei der Strahlentherapie und -emission wurden konzipiert und in Uruguay eingeführt.

(U. Flach, Q.53, ursula.flach@ptb.de)

Richtungsweisende Studie für Metrologie in Argentinien

Unter Leitung des ehemaligen Präsidenten der PTB, Dieter Kind, erstellte ein Expertenteam eine Studie zur zukünftigen Entwicklung der Metrologie in Argentinien.

(U. Flach, Q.53, ursula.flach@ptb.de)

Unterstützung der Fachabteilungen

Wissenschaftliche Bibliotheken

Die Bibliotheken der PTB stehen kurz vor dem Abschluss der Migration zum größten deutschen Bibliotheksverbund, dem Gemeinsamen Bibliotheksverbund (GBV) mit Sitz in Göttingen. Am Standort Braunschweig erfolgten bereits die Katalogisierung, die Recherche und die Ausleihe mit dem PICA-System des GBV. (J. Meier, Q.11, joachim.meier@ptb.de)

Datennetz

99,99 % Verfügbarkeit des zentralen Gebäude-Backbone sind erreicht. (H.-J. Herrmann, Q.41, juergen.herrmann@ptb.de)

Modernisierung der Datenspeicher-Infrastruktur

Durch die Einführung eines Storage Area Network (SAN) an den Standorten Braunschweig und Berlin wurden die Datenspeicher-Infrastrukturen modernisiert und den gewachsenen Anforderungen angepasst.
(D. Sibold, Q.42, dieter.sibold@ptb.de)

Verbesserung der Datenbank-Infrastruktur

Die SAP R/3-Systeme wurden auf das Release 4.7 Enterprise sowie die webbasierte Katalogbestellung auf den Stand EBP 4.0 gebracht.
(J. Vogel, Q.43, joachim.vogel@ptb.de)

Der Deutsche Kalibrierdienst

Aufgaben des DKD in der PTB

In Deutschland ist die PTB zentraler Ansprechpartner für die Industrie in Fragen der Messtechnik. Die Weitergabe der Einheiten wird durch die Akkreditierungen des DKD größtenteils auf die Ebene der industriellen Messtechnik verlagert. Diese Entlastung ermöglicht es den PTB-Laboratorien, sich auf hochgenaue Kalibrierungen zu beschränken, damit Forschungsarbeiten und gesetzliche Aufgaben konzentriert bearbeitet werden können.

Die Sicherstellung der Qualität der externen Kalibrierungen ist über den DKD gegeben. Die DKD-akkreditierten Kalibrierlaboratorien werden kompetent überwacht und durch den DKD in wichtigen nationalen und internationalen Gremien vertreten, wobei die Ausrichtung der messtechnischen Anforderungen innerhalb der PTB abgestimmt wird. Die Orientierung an den Interessen der beteiligten Wirtschaftskreise wird durch den Beirat und über die Fachausschüsse sichergestellt.

Vor dem Hintergrund der Globalisierung der stark exportorientierten deutschen Wirtschaft soll auch zukünftig gewährleistet sein, dass DKD-Kalibrierscheine weltweit anerkannt werden.

Da die Unternehmen der Messtechnik und somit auch die DKD-akkreditierten Laboratorien überwiegend im Bereich kleiner und mittlerer Unternehmen (KMU) angesiedelt sind, besteht weiterhin die Notwendigkeit der Vertretung durch eine von privatwirtschaftlichen Interessen unabhängige Stelle, für die Kompetenz in der Messtechnik an erster Stelle steht.

Der *Deutsche Kalibrierdienst* (DKD) ist ein wesentlicher Bestandteil des Technologietransfers auf dem Gebiet der Metrologie in Deutschland. Am geplanten deutschen Akkreditierungsgesetz arbeitet der DKD konstruktiv mit.

Zur Anzahl der DKD-Laboratorien und den durchgeführten Vergleichsmessungen: siehe die Grafiken unter „Zahlen und Fakten“.

Qualitäts- management

Weiterentwicklung in der PTB

Das Qualitätsmanagement-System (QMS) wurde entsprechend den gestiegenen Anforderungen nach Reform der Aufbauorganisation der PTB sowie der nationalen und internationalen Anforderungen im Zusammenhang mit dem CIPM-MRA weiterentwickelt.

Im Zuge dieser Maßnahmen wurde die interne Organisation des QM reformiert. Die Aufgabe des Qualitätsmanagers wurde dem Leiter der Arbeitsgruppe *Zentrales Qualitätsmanagement* übertragen. Er untersteht der Fachaufsicht des *Präsidiums*. In seiner Tätigkeit wird er durch die verantwortlichen Vertreter für das QM der Abteilungen, Zertifizierungs- und Akkreditierungsstellen der PTB beraten. Zur zentralen Koordinierung des QM wurden quartalsmäßige Arbeitssitzungen unter Beteiligung aller Verantwortlichen und damit verbunden ein Berichtssystem zum QM etabliert. Im Rahmen der jährlichen Arbeitsplanung wurde das gesamte QMS einer Bewertung durch das *Präsidium* unterzogen. Effektivität und Effizienz des QM wurden bestätigt.

Die Zusammenarbeit der nationalen Metrologieorganisationen im Bereich des QM konnte weiter ausgebaut werden. Es erfolgte eine nationale Abstimmung und Koordinierung zwischen der BAM (*Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*), dem UBA (*Umweltbundesamt*) und der PTB hinsichtlich des künftigen Berichtswesens zum QM im Rahmen von EUROMET. Der erarbeitete gemeinsame Vorschlag fand Eingang in die internationale Diskussion und wurde als Grundlage für die Beurteilung der dauerhaften Wirksamkeit der Systeme des QM von EUROMET akzeptiert.

Die internationale Anerkennung des deutschen Metrologiesystems im Rahmen des CIPM-MRA wurde aufrechterhalten. Dabei wurde die Kompetenz durch ein verlässliches QM auf der Grundlage der DIN EN ISO/IEC 17025 untermauert.

Gemeinsame Audits BEV/METAS/PTB

Die Zusammenarbeit der deutschsprachigen nationalen Metrologieinstitute BEV (*Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen*, Österreich), METAS (*Bundesamt für Metrologie und Akkreditierung*, Schweiz) und PTB wurde im QM mit der Durchführung gemeinsamer interner Audits in den Bereichen Nanometrologie, Temperatur, Elektrizität und Wärme vertieft. Ziel dabei war der Ausbau gegenseitigen Vertrauens in die technische Kompetenz und Wirksamkeit der QMS im Rahmen des CIPM-MRA. Dieses Ziel wurde uneingeschränkt erreicht. Parallel dazu ergab sich ein reger Austausch von Wissen und Erfahrungen sowohl zu technischen Aspekten als auch zu Fragen des QM. Im Rahmen eines Workshops von EUROMET sollen die Ergebnisse dieser internen Audits vorgestellt werden. Dieser Workshop ist zusammen mit dem QS-Forum (Beratungsgremium in Fragen QM) für das Frühjahr 2005 geplant.

Zentrale Aus- und Fortbildung im Qualitätsmanagement

Als erste Stufe einer zentralen internen Aus- und Fortbildung im QM wurde das Schulungsmodul „Qualitätsassistent für metrologische Laboratorien“ auf der Basis der DIN EN ISO/IEC 17025 entwickelt und erfolgreich durchgeführt. Das entsprechende Seminar wird auch künftig angeboten werden. Die Schulung richtet sich dabei an Personal, das Kalibrier- und Prüfverfahren entwickelt und/oder Kalibrierungen/Prüfungen durchführt. Im Rahmen dieser Schulung wird Fachwissen im QM vermittelt, das die Teilnehmer befähigt, im Laboratorium bei der Aufrechterhaltung des QMS unterstützend tätig zu sein.

PTB

Die Anlagen

Kuratorium

Mitglieder

Präsident des Kuratoriums

Ministerialdirektor Dr. jur. Eike Röhling
Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit,
Berlin

Stellvertretender Präsident des Kuratoriums

Prof. Dr. h. c. Dr. rer. nat. Klaus von Klitzing
Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

Dr.-Ing. Axel Anderlohr

Geschäftsführer TÜV Pfalz GmbH, Kaiserslautern

Prof. Dr. rer. nat. Gisela Anton

Physikalisches Institut IV der Universität Erlangen

Prof. Dr.-Ing. habil. Monika Auweter-Kurtz

Institut für Raumfahrtssysteme
Universität Stuttgart

Prof. Dr. Christian Paul Beckervordersandforth

Direktor Ruhrgas AG

Prof. Dr. h. c. mult. Dr. phil. Peter Fulde

Direktor am Max-Planck-Institut für
Physik Komplexer Systeme, Dresden

Dipl.-Ing. Helmwart Fülles

Geschäftsführer
National Rejectors Inc. GmbH, Buxtehude

Prof. Dr.-Ing. Eveline Gottzein (bis 07.2004)

Prof. Dr. rer. nat. Axel Haase

Lehrstuhl „Experimentelle Physik V“,
Universität Würzburg

Prof. Dr. rer. nat. Theodor W. Hänsch

Sektion Physik
Ludwig-Maximilians-Universität, München

Prof. Dr. rer. nat. Jürgen Mlynek

Präsident der Humboldt-Universität, Berlin

Prof. Dr.-Ing. Volker Pilz

Prof. Dr. rer. nat. Frank Pobell

Wissenschaftlicher Direktor
Forschungszentrum Rossendorf

Dr.-Ing. habil. Joachim Scheuren

Geschäftsführer der Müller-BBM, Planegg

Prof. Dr. sc. nat. Joachim P. Schoenes

Technische Universität, Braunschweig

Dr. rer. nat. Wolfgang Schwitz

Direktor des Eidgenössischen Amtes für
Messwesen, Bern-Wabern (Schweiz)

Dr. rer. nat. Thomas Sesselmann

Geschäftsführer
Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut

Dr. rer. nat. Augustin Siegel

Carl Zeiss, Oberkochen

Ind.-Kfm. Peter von Siemens

Mitglied des Aufsichtsrats
Siemens AG, München

Dr.-Ing. Peter Maximilian Stehle

Mitglied der Unternehmensleitung
Freudenberg und Co., Weinheim

Prof. Dr. h. c. Dr. med. Günter Stock

Mitglied des Vorstandes der Schering AG, Berlin

Prof. Dr. phil. Hans Tiziani

Institut für Technische Optik, Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. E. h. mult. Dr.-Ing. Hans Kurt

Tönshoff (bis 07.2004)
Institut für Fertigungstechnik & Spanende Werkzeugmaschinen, Universität Hannover

Prof. Dr. h. c. Dr. rer. nat. Joachim Treusch

Vorsitzender des Vorstandes
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Dr. rer. nat. Martin Winterkorn

Mitglied des Konzernvorstandes
Volkswagen AG, Wolfsburg

Dr.-Ing. Klaus Rudolf Wurster

Geschäftsführer Bizerba GmbH & Co. KG,
Balingen

Ehrenkurator

Prof. Dr. h. c. mult. Dr. rer. nat. Heinz-Georg Wagner

Institut für Physikalische Chemie,
Universität Göttingen

Neu berufen (ab 2005):

Dr. rer. nat. Markus Gerhard Dilger

General Manager Advanced Mash Technology
Center GmbH & Co. KG, Dresden

Dr.-Ing. Klaus-Dieter Sommer

Direktor Landesamt für Mess- und Eichwesen
Thüringen, Ilmenau

Präsidium

Präsident
Prof. Dr. E. O. Göbel

☎ 10 00

Vizepräsident
Prof. Dr. Dr. h. c. M. Kochsiek

☎ 20 00

Mitglied des Präsidiums
Prof. Dr. M. Kühne

☎ 30 00

Abteilung 1
Mechanik und Akustik
Prof. Dr. M. Peters

☎ 10 10

Abteilung 2
Elektrizität
Dr. H. Bachmair

☎ 20 10

Abteilung 3
**Chemische Physik
und Explosionsschutz**
Dr. W. Hemminger

☎ 30 10

Abteilung 4
Optik
Dr. F. Riehle

☎ 40 10

Abteilung 5
Fertigungsmesstechnik
Prof. Dr. K. Hasche

☎ 50 10

Fachbereich 1.1
Masse
Dr. R. Schwartz

☎ 11 00

Fachbereich 1.2
Festkörpermechanik
Dr. M. Gläser

☎ 12 00

Fachbereich 1.3
Kinematik
Dr. F. M. Jäger

☎ 13 00

Fachbereich 1.4
Gase
Prof. Dr. Dr. D. Doppeide

☎ 14 00

Fachbereich 1.5
Flüssigkeiten
Dr. G. Wendt

☎ 15 00

Fachbereich 1.6
Schall
Dr. Ch. Koch

☎ 16 00

Fachbereich 1.7
Angewandte Akustik
Prof. Dr. W. Scholl

☎ 17 00

Fachbereich 2.1
**Gleichstrom und
Niederfrequenz**
Dr. M. Klonz

☎ 21 00

Fachbereich 2.2
Hochfrequenz und Felder
Dr. U. Stumper

☎ 22 00

Fachbereich 2.3
Elektrische Energiemesstechnik
*Dr. M. Kahmann

☎ 23 00

Fachbereich 2.4
Quantenelektronik
Dr. J. Niemeyer

☎ 24 00

Fachbereich 2.5
**Halbleiterphysik und
Magnetismus**
Dr. U. Siegner

☎ 25 00

Fachbereich 2.6
Elektrische Einheiten
Dr. J. Melcher

☎ 26 00

Fachbereich 3.1
Metrologie in der Chemie
Dr. B. Güttler

☎ 31 00

Fachbereich 3.2
**Analytische Messtechnik
und Druck**
Dr. P. Ulbig

☎ 32 00

Fachbereich 3.3
**Chemisch-physikalische
Stoffeigenschaften**
Dr. H. Bauer

☎ 33 00

Fachbereich 3.4
**Grundlagen des
Explosionsschutzes**
Dr. H. Bothe

☎ 34 00

Fachbereich 3.5
Zünddurchschlagsprozesse
Dr. U. Klausmeyer

☎ 35 00

Fachbereich 3.6
System- und Eigensicherheit
Dr. U. Johannsmeyer

☎ 36 00

Fachbereich 3.7
Zündquellsicherheit
Dr. H. Wehinger

☎ 37 00

Fachbereich 4.1
**Photometrie und angewandte
Radiometrie**
Prof. Dr. J. Metzdorf

☎ 41 00

Fachbereich 4.2
Bild- und Wellenoptik
Dr. K. Stock

☎ 42 00

Fachbereich 4.3
**Quantenoptik und
Längeneinheit**
Dr. P. Becker

☎ 43 00

Fachbereich 4.4
Zeit und Frequenz
Dr. C. O. Weiss

☎ 44 00

Fachbereich 4.5
Optische Technologien
*Dr. F. Riehle

☎ 40 10

Fachbereich 5.1
Nano- und Mikrometrologie
Dr. G. Wilkening

☎ 51 00

Fachbereich 5.2
Längen- und Winkelteilungen
Dr. H. Bosse

☎ 52 00

Fachbereich 5.3
Koordinatenmesstechnik
Dr. F. Wäldele

☎ 53 00

Fachbereich 5.4
Längenmaße und -messmittel
Dr. A. Abou-Zeid

☎ 54 00

Fachbereich 5.5
Wissenschaftlicher Gerätebau
Dr. F. Löffler

☎ 55 00

Deutscher Kalibrierdienst

Akkreditierungsstelle des
Deutschen Kalibrierdienstes
Dr. W. Bosch



☎ 19 00

Fachaufsicht: BMWA

Benannte Stellen nach europäischen Richtlinien (Nummer: 0102)

Zertifizierungsstelle für
nichtseltbsttätige Waagen
EG-Richtlinie 90/384/EWG
Dr. R. Schwartz
im Fachbereich 1.1

☎ 11 00

Zertifizierungsstelle für
Explosionsschutz
EG-Richtlinie 94/9/EG
Dr. H. Wehinger
im Fachbereich 3.7

☎ 37 00

Organigramm

Stand: 1. Oktober 2004

Präsidentale Stabsstelle
Dr. J. Stenger

☎ 10 09

**Presse- und
Öffentlichkeitsarbeit**
Dr. Dr. J. Simon

☎ 30 05

**Vertreter des Präsidenten
in Berlin**
Dr. W. Buck
☎ [Ch] 454

Qualitätsmanager
Dr. A. Odin
☎ 83 30

Abteilung 6
Ionisierende Strahlung
Dr. J. Böhm

☎ 60 10

Abteilung 7
**Temperatur und
Synchrotronstrahlung**
Dr. W. Buck

☎ [Ch] 454

Abteilung 8
**Medizinphysik und metrolo-
gische Informationstechnik**
Prof. Dr. H. Koch

☎ [Ch] 343

Abteilung Q
**Wissenschaftlich-technische
Querschnittsaufgaben**
Dr. R. Weiß

☎ 80 10

Abteilung Z
Verwaltungsdienste
C. Tampier

☎ 90 10

Fachbereich 6.1
Radioaktivität
Dr. H. Janßen

☎ 61 00

Fachbereich 6.2
**Dosimetrie für die
Strahlentherapie**
Dr. H.-M. Kramer

☎ 62 00

Fachbereich 6.3
Strahlenschutzdosimetrie
Dr. P. Ambrosi

☎ 63 00

Fachbereich 6.4
**Ionenbeschleuniger und
Referenzstrahlungsfelder**
Dr. H. Klein

☎ 64 00

Fachbereich 6.5
Neutronenstrahlung
Dr. H. Schuhmacher

☎ 65 00

Fachbereich 6.6
Grundlagen der Dosimetrie
Dr. B. Großwendt

☎ 66 00

Referat 6.7.1
Betrieblicher Strahlenschutz
Dr. R. Simmer

☎ 67 10

Fachbereich 7.1
Photonenradiometrie
Dr. G. Ulm

☎ [Ch] 312

Fachbereich 7.2
Detektorradiometrie
*Dr. J. Seidel

☎ [Ch] 418

Fachbereich 7.3
**Hochtemperatur- und
Vakuumphysik**
Dr. J. Seidel

☎ [Ch] 418

Fachbereich 7.4
Temperatur
Dr. J. Fischer

☎ [Ch] 473

Fachbereich 7.5
**Tiefemperaturthermodynamik
und -technologie**
*Dr. W. Buck

☎ [Ch] 454

Fachbereich 7.6
Wärme
*Dr. T. Lederer

☎ [Ch] 230

Fachbereich IB.T
**Technisch-wissenschaftliche
Infrastruktur Berlin**
Dr. F. Melchert

☎ [Ch] 446

Fachbereich 8.1
Medizinische Messtechnik
Dr. B. Iltermann

☎ [Ch] 318

Fachbereich 8.2
Biosignale
Prof. Dr. H. Koch

☎ [Ch] 343

Fachbereich 8.3
Biomedizinische Optik
Dr. R. Macdonald

☎ [Ch] 542

Fachbereich 8.4
**Mathematische Modellierung
und Datenanalyse**
Dr. M. Bär

☎ [Ch] 687

Fachbereich 8.5
**Metrologische
Informationstechnik**
Prof. Dr. D. Richter

☎ [Ch] 479

Referat Q.11
**Wissenschaftliche
Bibliotheken**
Dr. J. Meier

☎ 81 31

Fachbereich Q.2
Theoretische Grundlagen
*Dr. R. Weiß

☎ 80 10

Fachbereich Q.3
**Gesetzliches Messwesen und
Technologietransfer**
Dr. W. Schulz

☎ 83 00

Fachbereich Q.4
Informationstechnologie
Dr. S. Hackel

☎ 84 00

Fachbereich Q.5
Technische Zusammenarbeit
Dr. E. Seiler

☎ 82 00

Referat Q.61
Technischer Dienst
M. Frühauf

☎ 91 70

Referat Z.11
Haushalt
H. Paetz

☎ 91 10

Referat Z.12
Personal
S. Wiemann

☎ 91 20

Referat Z.13
Beschaffung, Justitariat
M. Gahrens

☎ 91 30

Referat Z.14
Organisation
Dr. J. Jaspers

☎ 91 40

Referat Z.15
Verwaltung Berlin
A. Lubinus

☎ (Ch) 449

Referat Z.16
Innerer Dienst
M. List

☎ 91 60

Referat Z.17
Ausbildung
U. Benstem

☎ 92 41

Gesamtpersonalrat

R. Thomas ☎ (Ch) 360
Örtlicher Personalrat Braunschweig
U. Meyer ☎ 10 90
Örtlicher Personalrat Berlin
R. Thomas ☎ (Ch) 360
Gleichstellungsbeauftragte
C. Krügener ☎ 91 33

Gesamtvertretung der Schwerbehinderten

T. Quandt ☎ 10 97
Vertretung der Schwerbehinderten Braunschweig
T. Quandt ☎ 10 97
Vertretung der Schwerbehinderten Berlin
H.-J. Ertel ☎ (Ch) 355

Zeichenerklärung

☎ (05 31) 592-0 Braunschweig
Durchwahl 592 ...
☎ (030) 34 81-1 Berlin-Charlottenburg
[Ch] Durchwahl 34 81 ...
* wahrgenommen durch

Ja

Anschriften der PTB

Hausadressen

Braunschweig:
Bundesallee 100
38116 Braunschweig
☎ (05 31) 592-0
Durchwahl 592-....
Telefax: (05 31) 592-92 92

Postfach-Adresse
Postfach 33 45
38023 Braunschweig

Berlin-Charlotteburg:
Abbestraße 2–12
10587 Berlin
☎ (030) 34 81-1
Durchwahl 34 81-... [Ch]
Telefax: (030) 34 81-490

Internet
<http://www.ptb.de>
E-Mail: poststelle@ptb.de

Impressum

Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Braunschweig, März 2005

Satz, Gestaltung: PTB, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Übersetzung: PTB, Sprachendienst

Druck: Saxoprint, Dresden

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Jahresbericht im Internet

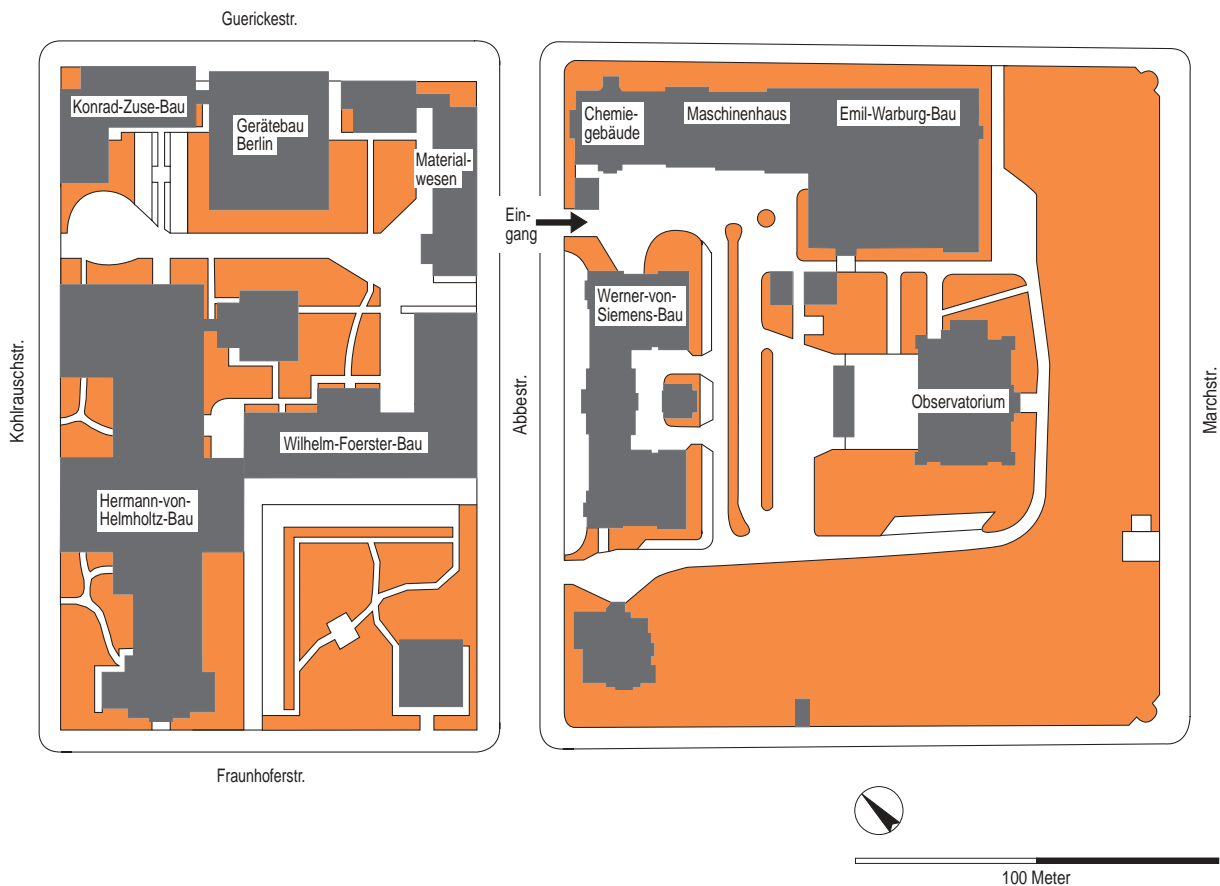
Der gedruckte Teil des Jahresberichts liefert Ihnen in überschaubarer Form einen Überblick über die PTB im Jahre 2004. Den kompletten Jahresbericht mit Nachrichten und speziellen Listen finden Sie auf den Internetseiten der PTB (unter www.ptb.de im Bereich „Publikationen“).

Außerdem führen wir Sie von dort zur Datenbank Publica, in der bibliographische Angaben zu sämtlichen Veröffentlichungen und Vorträgen von PTB-Mitarbeitern gesammelt werden, und liefern Ihnen zu jeder Fachabteilung der PTB zusätzlich einen Auszug aus dieser Datenbank (Veröffentlichungen des Jahres 2004).

Inhalt:

- **Vorwort**
- **Arbeitsgebiete und Ziele**
- **Nachrichten des Jahres**
- **Aus den Abteilungen**
 - Abteilungsleiterberichte
 - Nachrichten
 - Tätigkeitsbereiche
 - Forschungsvorhaben
 - Kooperationen
- **Zahlen und Fakten**
 - Aktuelle Statistiken
- **Anhang**
 - Nationale/Internationale Normungsgremien
 - Seminare/Workshops/Konferenzen
 - Kolloquien
 - Zulassungen des Eichwesens
 - Externe Lehrtätigkeit
 - Promotionen
- **Datenbank Publica**
 - Veröffentlichungen

Geländeplan Berlin-Charlottenburg



Legende zum Geländeplan Braunschweig

Präsidium

Zentralgebäude

Abteilung Z

Verwaltung und Betrieb

Annahme- und Versandgebäude
 Betriebswerkstätten
 Elektrozentrale
 Fahrbereitschaft
 Feuerwehr
 Gästehaus
 Hauptwerkstatt mit Materiallager
 Kasino
 Kohlrusch-Bau
 Vieweg-Bau
 Wache
 Wirtschaftsgebäude
 Zentralgebäude

Abteilung 1

Mechanik und Akustik

Abbe-Bau
 Bessel-Bau
 Bunsen-Bau
 Gauß-Bau
 Helmholtz-Bau I
 Helmholtz-Bau II
 Leibniz-Bau
 Mineralölzähler-Laboratorium
 Prandtl-Bau

Abteilung 2

Elektrizität

Heisenberg-Bau
 Hertz-Bau
 Kohlrusch-Bau
 Max-Wien-Turm
 Meißner-Bau
 Ohm-Bau
 Prandtl-Bau
 Reinraumzentrum
 Schering-Bau

Abteilung 3

Thermodynamik und Explosionsschutz

Abbe-Bau
 Bunsen-Bau
 Explosionsprüfstand
 Nernst-Bau
 Planck-Bau
 Raumzellen-Bau IV
 Sicherheitstechnik

Abteilung 4

Optik

Einstein-Bau
 Giebe-Bau
 Kösters-Bau
 Kopfermann-Bau
 v.-Laue-Bau
 Paschen-Bau
 Reinraumzentrum
 Vieweg-Bau

Abteilung 5

Fertigungsmesstechnik

Abbe-Bau
 Bessel-Bau
 Hauptwerkstatt
 Kohlrusch-Bau
 Ohm-Bau
 Paschen-Bau
 Reinraumzentrum

Abteilung 6

Ionisierende Strahlung

Bothe-Bau
 Chadwick-Bau
 Elster-Geitel-Bau
 Geiger-Bau
 Hahn-Bau
 Meitner-Bau
 Röntgen-Bau

Abteilung Q

Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben

Bibliothek
 Bothe-Bau
 Hahn-Bau
 Kohlrusch-Bau
 Meitner-Bau
 Vieweg-Bau
 Zentralgebäude

PÖ

Zentralgebäude

unterstrichen: Sitz Abteilungsleitung