

Physikalisch- Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

Jahresbericht 2003



Vorwort

Im Jahr danach – gemeint ist die Evaluation – haben wir uns nochmals kräftig durchgeschüttelt: Ende dieses Jahres 2003 ist die Neuorganisation der PTB abgeschlossen. Eine Hierarchieebene weniger und flexiblere Strukturen auf der Arbeitsebene kennzeichnen die neue Organisation. Sie soll es uns ermöglichen, auf zukünftige Herausforderungen flexibel und unbürokratisch zu reagieren und diese zu meistern.

Die Erwartungen, die wir in der PTB an die Evaluation und das ausgesprochen positive Gesamturteil geknüpft haben, sind (noch) nicht vollständig erfüllt. Aber auch kleine Erfolge machen Mut, und wir gehen davon aus, dass das, was nicht zuletzt wegen leerer Kassen aufgeschoben wurde, nicht aufgehoben wird. Hier steht der Bundesminister im Wort. Intern haben wir die Empfehlungen der Kommission weitestgehend umgesetzt, so z. B. bei der eingangs erwähnten Strukturreform, der klaren Strukturierung unserer strategischen Prozesse, der Bewertung der erzielten Arbeitsergebnisse unter Einbeziehung unserer Kunden oder der gezielten Förderung des Technologietransfers. Unstrittig hat das Ergebnis der Evaluation auch unsere wissenschaftlich-technische Reputation gestärkt – und das ist wichtig gerade in Zeiten knapper Finanzen, in denen die Ressortforschung oft pauschal und daher auch unqualifiziert angegriffen wird.

Evaluation und Umstrukturierung haben uns einiges abverlangt, Ressourcen beansprucht und insbesondere hat Letztere auch einiges an „Reibungswärme“ erzeugt. Dass sich dennoch die fachliche Arbeit sehen lassen kann, davon wird Sie der vorliegende Jahresbericht überzeugen.

Ich nutzte die Gelegenheit, allen Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern für ihren ungebrochenen Einsatz zu danken. Jetzt soll und wird die fachliche Arbeit wieder absolute Priorität haben. Die Leitung der PTB wird dies mit allen Kräften unterstützen.

Ernst O. Göbel



Foreword

In “the year after” – by which we mean the year after the evaluation –, we have undergone another drastic structural change, but by the end of 2003, the reorganization of the PTB will be completed for good. The new organization is characterized by the elimination of one hierarchical level and more flexible structures on the working level and will allow us to react more flexibly and without a lot of red tape to future challenges and to master them.

The expectations the PTB had of the evaluation and of the excellent overall assessment have not (yet) been met completely. But small successes, too, are an encouragement to us, and we assume that what has been put off – not least because of empty government coffers – will not be completely abandoned. Here the Federal Minister has pledged his word. Internally, we have largely implemented the recommendations of the evaluation commission, for example in the structural reform by clearly structuring our strategic processes and in the assessment of the work results achieved including our customers' opinion –, and by the well-aimed promotion of technology transfer. Undisputably, the result of the evaluation has also strengthened our scientific and technical reputation – which is important especially in times when money is short and state-funded research often attacked wholesale, and thus also in an unqualified way.

Evaluation and restructuring have demanded a great deal of us and have bound resources. Especially the latter has generated a good deal of frictional heat. This report should, however, convince you that we may be proud of our technical work.

I would like to take the opportunity to thank all members of our staff for their undaunted work and commitment. From now on, the technical work will have absolute priority again, and the PTB management will support this with all its might.

Ernst O. Göbel

Inhaltsverzeichnis

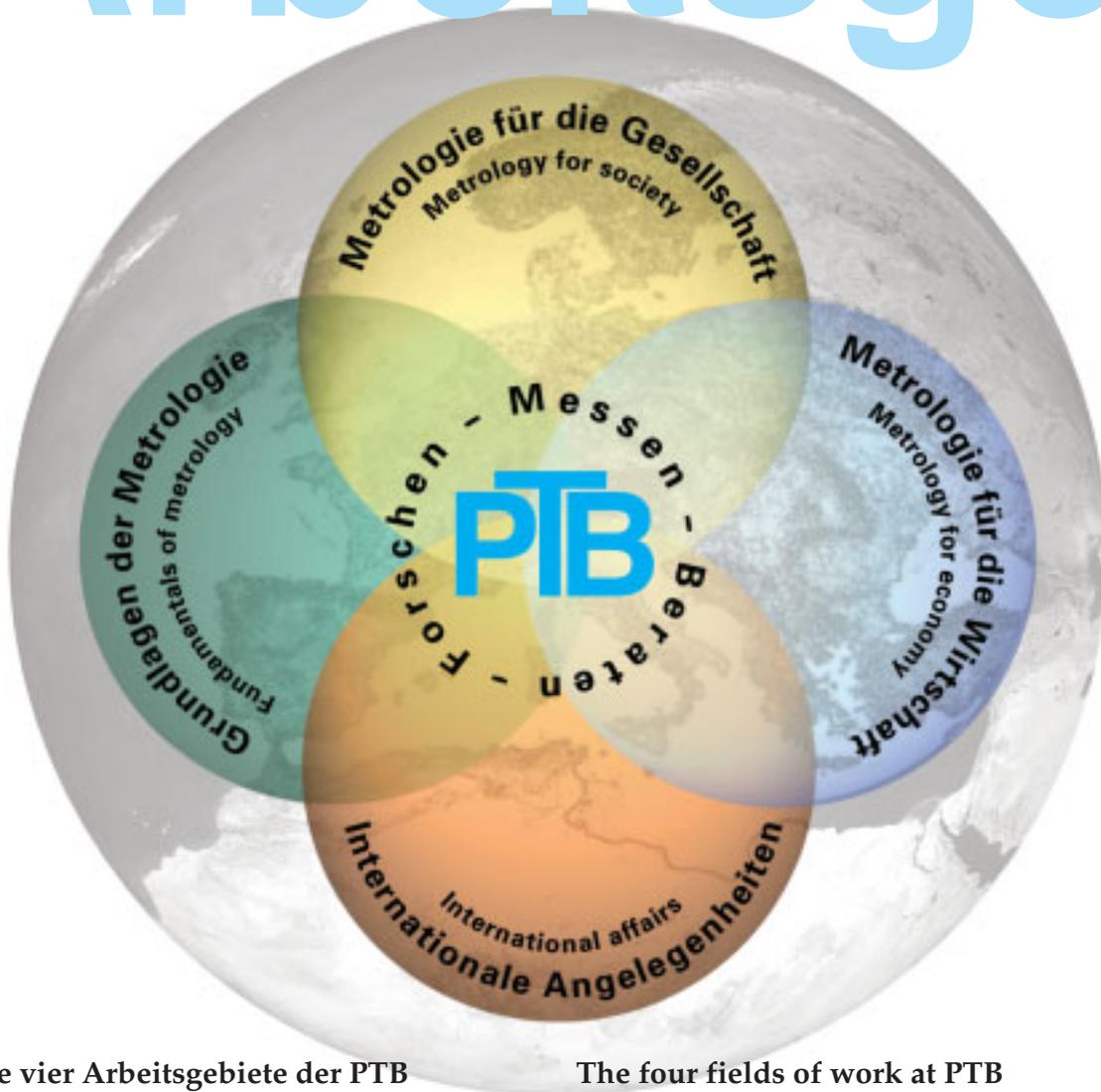
Vorwort • Foreword

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
Thermodynamik und Explosionsschutz	71
Optik	81
Fertigungsmesstechnik	91
Ionisierende Strahlung	101
Temperatur und Synchrotronstrahlung	111
Medizinphysik und metrologische Informationstechnik	123
Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben	133
Der Deutsche Kalibrierdienst	144
Die Anlagen	146
Kuratorium	147
Organigramm	148
Organisatorisches	150
Jahresbericht im Internet	151
Geländepläne	152



PTB
Die

Arbeitsgeb



Die vier Arbeitsgebiete der PTB

Grundlagen der Metrologie

Ziele: Darstellung und Weitergabe der SI-Einheiten

Metrologie für die Wirtschaft

Ziele: Leistungssteigerung der Wirtschaft, Sicherung der Beschäftigung

Metrologie für die Gesellschaft

Ziele: Förderung des Verbraucherschutzes, Sicherung der Lebensbedingungen

Internationale Angelegenheiten

Ziele: Abbau technischer Handelshemmnisse, Vereinheitlichung des Messwesens

The four fields of work at PTB

Fundamentals of metrology

Objectives: realization and dissemination of the SI units

Metrology for economy

Objectives: increasing the efficiency of economy, safeguarding of employment

Metrology for society

Objectives: promotion of consumer protection, safeguarding of living conditions

International affairs

Objectives: removal of technical barriers to trade, unification of metrology

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 73 %.

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 73 % in the last year.



Grundlagen der Metrologie

Der Bereich „Grundlagen der Metrologie“ umfasst die in der Satzung verankerten Arbeiten zur Darstellung, Bewahrung 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, maintenance 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

Forschung ist die Umsetzung von Geld in Wissen – Innovationen sind die Umsetzung von Wissen in Geld.

Unabhängig vom Auf und Ab der Aktienmärkte ist der Trend zur Globalisierung der Märkte ungebrochen. Es ist daher für die nationalen Volkswirtschaften von großer Bedeutung, Rahmenbedingungen zu schaffen, die die Entwicklung und Vermarktung von hochwertigen Technologieprodukten entsprechend fördern, um international wettbewerbsfähig zu bleiben und um neue Märkte zu erschließen. Eine hochentwickelte metrologische Infrastruktur sowie die Verfügbarkeit metrologischen Know-hows auf höchstem Niveau zur Unterstützung der Entwicklung neuer Technologien sind dafür wichtige Komponenten.

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 2003 wurde die Zahl von 300 DKD-akkreditierten Laboratorien überschritten) oder die Kalibrierdienstleistungen durch Aufträge an DKD-Laboratorien vergeben.

Metrology for economy

Research is the translation of money into knowledge – innovations are the translation of knowledge into money.

Despite the ups and downs on the stock markets, the trend towards the globalization of the markets is unbroken. It is therefore of great significance for the national economies that conditions are created which help advance the development and marketing of sophisticated technological products in order to remain internationally competitive and to open up new markets. A highly developed metrological infrastructure and the availability of metrological know-how at the highest level in order to support the development of new technologies here are important components.

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-akkreditated laboratories of their own for the calibration of their working standards or by increasing their number (in 2003, a total number of 300 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. Within the scope of the BMWA promo-

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. Im Rahmen des Förderprogramms des BMWA „Leistungssteigerung der technisch-ökonomischen Infrastruktur zugunsten der deutschen Wirtschaft“ konnte die PTB durch 23 Forschungsk Kooperationen überwiegend mit KMUs durch Know-how Transfer zur Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie beitragen.

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 durchführt, die bei Bedarf durch die PTB mittels Telepräsenz metrologisch fernüberwacht werden können.

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. Dieses Konzept der „Harmonisierung der Bezugsgröße Erdgaskubikmeter“ hat sich inzwischen so sehr bewährt, dass vorgesehen ist, den französischen Prüfstand des BNM in die Vereinbarung mit einzubeziehen und damit letztlich einen Europäischen Erdgaskubikmeter zu schaffen.

tion program Increase in efficiency of the technical-economic infrastructure for the benefit of German economy, the PTB could contribute to increasing the competitiveness of German industry by the transfer of know-how and setting up of 23 research cooperations, mainly with SMEs.

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. If required, it can even be remotely monitored metrologically by the PTB.

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. The concept of the „harmonization of the reference quantity of natural gas cubic metre“ has in the meantime proved so useful that it is planned to include into the agreement also the French test facility of the BNM, thus creating a European natural gas cubic metre.

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, 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.).

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 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

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, 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.).

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.

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

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.

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.

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.

So organisierte die PTB im Rahmen der EU-geförderten Studie „Metrology for the European Research Area (MERA)“ im Juni 2003 in Berlin einen internationalen Workshop mit Teilnehmern aus 34 europäischen Ländern. Kernergebnis dieses Treffens, an dem außer den Leitern der nationalen Metrologieinstitute auch erstmals Vertreter zuständiger Ministerien teilnahmen, war die Absicht, im Rahmen des zusammenwachsenden Europas in die Koordinierung der metrologischen Forschungsaktivitäten einzusteigen.

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 2003 war sie in 294 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 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.

research landscape will be included and put into practice.

Within the scope of the EU-funded study “Metrology for the European Research Area (MERA)”, the PTB organized, among other things, an international workshop in Berlin in June 2003 with participants from 34 European countries. The core result of this meeting – in which not only the presidents of the national metrology institutes but also, for the first time, representatives of the ministries in charge took part – was the intention to start coordinating of the metrological research activities within the framework of a Europe growing ever closer.

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 2003, it was integrated in 294 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 review, 16 countries on four continents have been supported by 22 bilateral projects from BMZ funds alone in the development of a technical infrastructure. Further countries profit from regional and sectoral projects. Germany’s financial contribution has amounted to more than four million euro.

Nachrichten

Erste China-Zulassung

Die deutsche Waagenindustrie profitiert von einem Kooperationsabkommen mit China: Von den Zertifizierungsbehörden der Volksrepublik China wurde nun die erste Bauartzulassung für eine deutsche nichtselbsttätige Waage ausgestellt. Grundlage für die Zulassungserteilung ist das am 1. November 2001 in Peking unterzeichnete Kooperationsabkommen (Mutual Recognition Agreement of Test Results) auf dem Gebiet der Wägetechnik zwischen der PTB und dem chinesischen AQSIQ (State Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine).

Die Arbeitsgruppe „Waagen“ der PTB hat in diesem Zusammenhang ein Bauartmuster einer Waage nach den metrologischen Vorschriften der OIML-Empfehlung R76 (Empfehlung der Internationalen Organisation für das Gesetzliche Messwesen) untersucht und ein OIML-Zertifikat einschließlich des vollständigen zugehörigen „Testreports“ ausgestellt. Anschließend leitete der Gerätehersteller das OIML-Zertifikat an die zuständigen chinesischen Zertifizierungsbehörden weiter. Diese Behörden haben ohne weitere messtechnische Prüfung, d. h. lediglich auf der Basis der PTB-Messergebnisse, die Waagen-Bauartzulassung für die Volksrepublik China ausgestellt. Messtechnische Kontakte mit China – bereits jetzt ein wichtiger Handelspartner – werden für deutsche Waagenhersteller in Zukunft erheblich einfacher.

Erste chinesische Bauartzulassung für eine deutsche Waage gemäß dem PTB-AQSIQ-Abkommen über die gegenseitige Anerkennung von Messergebnissen

First approval in China

The German weighing instruments industry benefits from a cooperation agreement with China: The first type approval for a German non-automatic weighing instrument has now been issued by the certification authorities of the People’s Republic of China. The approval is based on the Cooperation Agreement (Mutual Recognition Agreement of Test Results) in the field of weighing technology signed by the PTB and the Chinese AQSIQ (State Administration for Quality Supervision and Inspection and Quarantine) in Beijing on November 1st, 2001.

In this context, the PTB’s “Weighing Instruments” Working Group has examined a weighing instrument type in accordance with the metrological requirements of OIML Recommendation R76 (Recommendation of the International Organization of Legal Metrology) and issued an OIML certificate, including the complete associated “Test Report.” After that, the instrument manufacturer forwarded the OIML certificate to the Chinese certification authorities responsible. These issued the type approval certificate for the People’s Republic of China without further metrological tests, i.e. only on the basis of the PTB’s measurement results. For German weighing instrument manufacturers, metrological contacts to China – which already is an important trade partner – will in future be considerably easier.

First Chinese type approval for a German weighing instrument on the basis of the PTB-AQSIQ Agreement on the mutual recognition of measurement results



Geschwindigkeitsüberwachung mit Digitaltechnik

Erstmals wurde ein Geschwindigkeitüberwachungsgerät zur amtlichen Überwachung des Straßenverkehrs mit digitaler Fotoregistriereinheit und Datenfernübertragung zugelassen. Insgesamt 16 derartige Geschwindigkeitsüberwachungsgeräte wurden installiert, insbesondere auch im Rennsteigtunnel, dem mit einer Gesamtlänge von 7916 m längsten Autobahntunnel Deutschlands, sowie in drei weiteren Tunneln. Die Messergebnisse wurden nach der Inbetriebnahme zunächst in einem mehrmonatigen Probebetrieb in Kooperation zwischen Hersteller, Betreiber, Eichbehörden und der PTB analysiert.

Die Verkehrssituation wird von einer Digitalkamera (mit Blitz) dokumentiert, die Bilddatei wird zusammen mit dem Geschwindigkeitsmesswert in einer Computerdatei im Gerät gespeichert. Von einem Auswerte-PC in einer Zentrale können diese Dateien über eine Netzwerkverbindung abgerufen, angezeigt und ausgewertet werden. Der bei bisher zugelassenen Geräten notwendige Filmwechsel, der aufgrund des Sicherheitsgesamtkonzepts in den Tunneln nicht durchführbar wäre, entfällt.

Ein umfangreicher Teil der Zulassungsprüfung befasste sich mit der Digitalfotografie und der Datensicherheit. Die Spezifikation der Softwareanforderungen und die Überprüfung der Realisierung in der Betriebssoftware wurden in enger Kooperation mit Fachleuten für Softwareprüfung und Datensicherheit durchgeführt.

Geschwindigkeitsüberwachungsgerät mit Digitalfoto und Datenfernübertragung

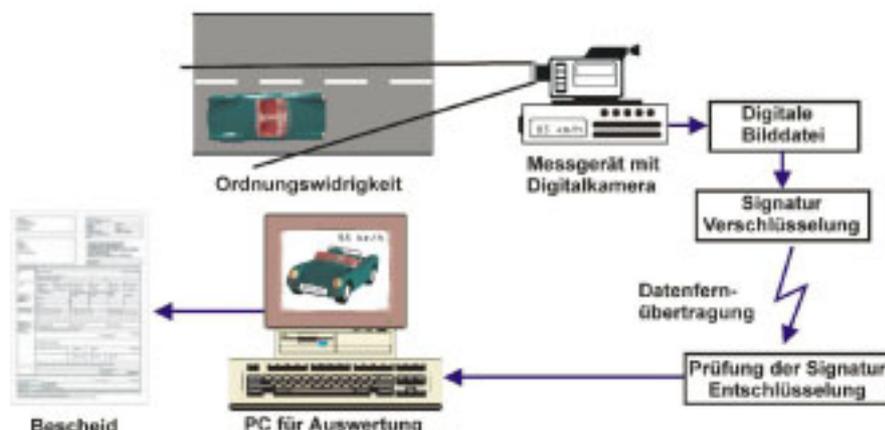
Instrument for speed control with digital photo and remote data transmission

Speed control using digital techniques

For the first time, an instrument for speed control with digital photo recording unit and remote data transmission has been approved for official road traffic control. A total of 16 such speed check instruments were installed, mainly in the Rennsteig tunnel which, with a total length of 7916 m, is the longest motorway tunnel in Germany, as well as in three other tunnels. After putting into service, the measurement results from several months of tests were jointly analyzed by the manufacturer, the operator, verification authorities and the PTB.

The traffic situation is documented by a digital camera (with flash) and the image file is stored, together with the speed value measured, in a computer file in the device. From an evaluation PC in a central unit, these files can be called, displayed and evaluated via a network connection. Film change, which was required for the devices so far approved and would not be possible in view of the overall safety concept for the tunnels, is not necessary.

A considerable part of the approval test was concerned with digital photography and data security. Specification of the software requirements and examination of the realization in the operating software were performed in close cooperation with experts for software testing and data security.



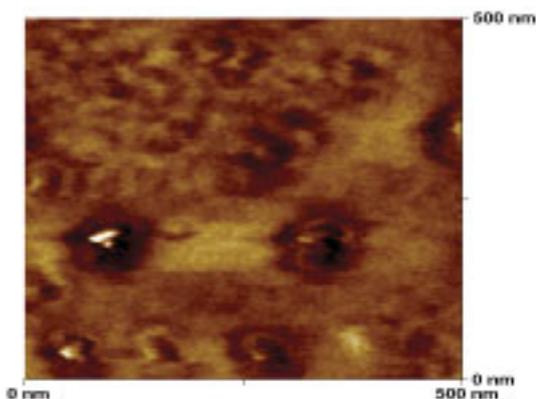
Magnetische Nano-Strukturen sichtbar gemacht

Mit einem neuen Magnetkraftmikroskop, das jetzt in Betrieb genommen wurde, können Magnetfelder nun mit einer räumlichen Auflösung kleiner als 20 nm und einer absoluten Positionierbarkeit von besser als 50 nm gemessen werden.

Bei Messungen an magnetischen Festplatten konnten in den Filmstrukturen magnetische Domänen (kleinste magnetisierbare Bereiche) mit einer Ausdehnung von weniger als 50 nm sichtbar gemacht werden. Dies liegt deutlich unter den Abmessungen, die ein Bit bei heutigen Speichermedien beansprucht.

In Zusammenarbeit mit dem *Max-Planck-Institut für Mikrobiologie* in Bremen und der Abteilung 8 der PTB wurden auch Messungen an quasi-punktförmigen Strukturen – Magnetit-Nanoteilchen mit Durchmessern von 30 nm bis 40 nm, die von einer Lipid-Membran umschlossen sind – durchgeführt. Die Magnetfeldbilder zeigten einzelne gegeneinander abgegrenzte magnetische Domänen, die sowohl von Clustern als auch von einzelnen, isolierten Nanoteilchen herrühren.

Magnetische Nanoteilchen sind die Bausteine zukünftiger Datenspeicher, deren Entwicklung durch einen anerkannten Vergleichsstandard gefördert wird. Dazu will die PTB in Zukunft eine quantitative Magnetkraftmikroskopie realisieren.



Magnetfeld um isolierte Magnetit-Nanoteilchen. Die Nanoteilchen bilden magnetische Dipole.

Magnetic field around isolated magnetite nanoparticles. The nanoparticles form magnetic dipoles.

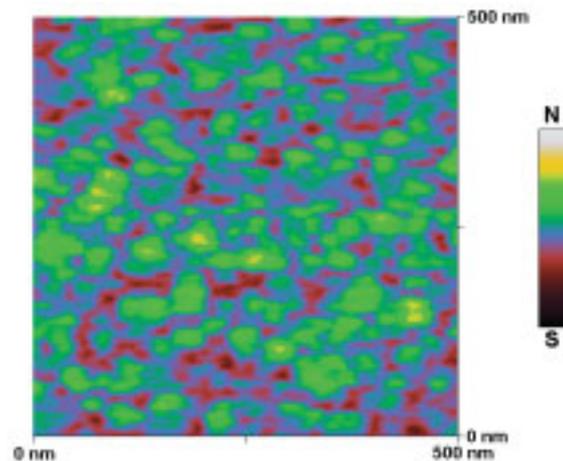
Magnetic nanostructures visualized

A new magnetic force microscope which has now been put into operation allows magnetic fields to be measured with a spatial resolution of less than 20 nm and an absolute positioning of better than 50 nm.

In the measurements on fixed magnetic disks, magnetic domains (smallest areas which can be magnetized) with less than 50 nm could be visualized in the film structures. This is clearly below the dimensions a bit needs in today's storage media.

By cooperation between the *Max Planck Institute for Microbiology* in Bremen and PTB Division 8, measurements were also performed on quasi-punctual structures such as magnetite nanoparticles with diameters between 30 and 40 nm enclosed by a lipid membrane. The magnetic field images showed single magnetic domains delimited against one another and originating from both, clusters and single isolated nanoparticles.

Magnetic nanoparticles are the components of future data storages, whose development is furthered by a recognized reference standard. To this end, the PTB endeavours to realize quantitative magnetic force microscopy.



Magnetische Domänen (helle Flecke) in der Filmstruktur einer Festplatte.

Magnetic domains (bright spots) in the film structure of a fixed disk.

Neues Tabellenwerk „Sicherheitstechnische Kenngrößen“

Ein neu erschienenes Tabellenwerk „Sicherheitstechnische Kenngrößen“ kommt Anwendern aus Industrie, Handel, Handwerk sowie aus Behörden zugute. Es liefert verlässliche, von Fachleuten bewertete Kenngrößen des Brand- und Explosionsschutzes, um Brand- und Explosionsgefahren beim Verarbeiten, Abfüllen, Lagern, Befördern und Entsorgen brennbarer Stoffe beurteilen zu können.

Das Tabellenwerk ist in zwei Bänden erschienen und beruht auf den empfohlenen Werten der Datenbank CHEMSAFE. Der erste Band „Brennbare Flüssigkeiten und Gase“ wurde von der PTB herausgegeben, der zweite Band „Explosionsbereiche von Gasgemischen“ von der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM).

Schon früher hat die PTB Tabellenwerke herausgegeben, die solche Daten zur Verfügung stellten. Darauf aufbauend wurde 1989 (gemeinsam mit der BAM und der DECHEMA) die Datenbank CHEMSAFE erstellt. CHEMSAFE diente nun wieder als Grundlage, um dem Wunsch nach Daten in gedruckter Form nachzukommen.

Band 1 enthält auf ca. 600 Seiten die Daten von über 1900 brennbaren Gasen und Dämpfen. Kenngrößen des Explosionsschutzes sind ebenso tabelliert wie einige wichtige thermophysikalische Größen. Der Tabelle vorangestellt sind eine kurze Einleitung und Definitionen der Kenngrößen. Mehrere Register (CA-Nummern, Summenformel, Synonyme) erleichtern das Auffinden der Daten. Ebenfalls schon erhältlich ist der zweite Band „Explosionsbereiche von Gasgemischen“.

Band 1 der „Sicherheitstechnischen Kenngrößen“; erschienen im Frühjahr 2003 beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven

New “Characteristic Safety Data” tables

The newly published “Safety Data Tables” benefit users from industry, trade, the crafts and authorities. The tables furnish reliable fire and explosion protection data which have been evaluated by experts to allow fire and explosion hazards during processing, filling, storage, transport and disposal of flammable substances to be assessed.

The tables have been published in two volumes and are based on the recommended values of the CHEMSAFE database. The first volume “Flammable Liquids and Gases” was published by the PTB, the second volume “Explosion Ranges of Gas Mixtures” by the *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM).

The PTB has already published tables providing such data before. In 1989, CHEMSAFE was established (together with the BAM and the DECHEMA) on the basis of these data. Now CHEMSAFE is made use of again to meet the wishes for data in a printed form.

On approximately 600 pages, volume 1 contains the data for more than 1900 flammable gases and vapours. Characteristic safety data are tabulated as well as some important thermophysical quantities. A brief introduction and definitions of the characteristic data precede the table.

Several indices (CA numbers, totals formula, synonyms) facilitate data location. The second volume “Explosion Ranges of Gas Mixtures” can also be obtained now.

Volume 1 of the “Characteristic Safety Data”, published in spring 2003 by Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven



Erster Vergleich der optischen Übergangsfrequenzen von zwei gespeicherten $^{171}\text{Yb}^+$ -Ionen

Optische Frequenznormale haben das Potential, die heutigen Mikrowellen-Atomuhren hinsichtlich Genauigkeit und Stabilität erheblich zu übertreffen. Zur Bestimmung systematischer Frequenzverschiebungen und der tatsächlich erreichbaren Genauigkeit wurden in der PTB zwei Frequenznormale aufgebaut, bei denen jeweils ein einzelnes $^{171}\text{Yb}^+$ -Ion in einer Hochfrequenzfalle gespeichert und bei dem der bei 688 THz (entsprechend 436 nm) liegende Quadrupolübergang als Referenzübergang angeregt wird.

Bei den ersten Frequenzmessungen nutzen beide Ionenfallen dieselben Laserquellen. Die Differenz der Frequenzverschiebungen, die dabei dem Anregungslicht aufgeprägt werden, wird als Funktion der Zeit registriert.

Die relative Instabilität der Frequenzdifferenz lag bei einer Mittelungszeit von 1000 s im Bereich von $\sigma_y \approx 1 \cdot 10^{-15}$. Die über den Vergleichszeitraum von ca. 7000 s gemittelte Frequenzdifferenz lag bei 0,2 Hz, entsprechend einer relativen Abweichung von $3 \cdot 10^{-16}$. Im Rahmen der statistischen Messunsicherheit ergibt sich somit kein Hinweis auf eine signifikante systematische Frequenzabweichung. Die damit gezeigte Reproduzierbarkeit ist mindestens so gut wie bei den gegenwärtig besten Mikrowellen-Atomuhren, den Caesium-Atomfontänen, bei gleichzeitig wesentlich erhöhter Kurzzeitstabilität.

Vergleich der Frequenzen zweier unabhängiger optischer Frequenznormale. Die optische Frequenzdifferenz Δ wurde als Funktion der Zeit t registriert. (Einsatzbild: Atomare Anregungswahrscheinlichkeit p als Funktion der optischen Anregungsfrequenz ν).

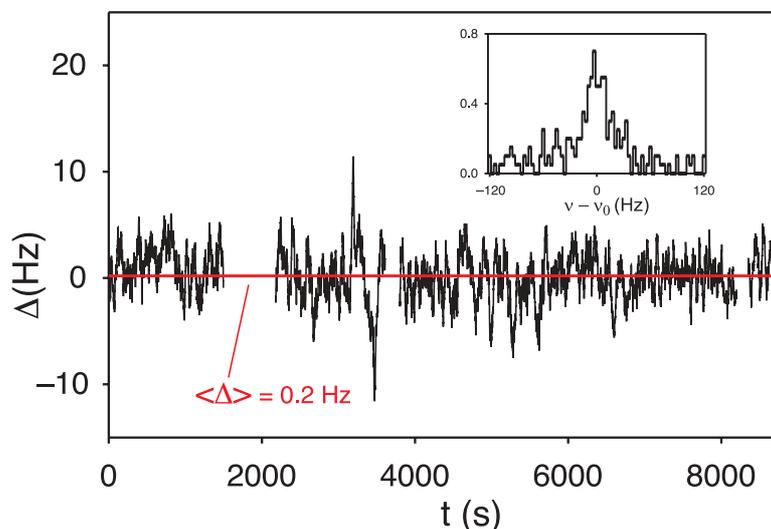
Comparison of the frequencies of two independent optical frequency standards. The optical frequency difference Δ was recorded as a function of time t . (Inset: Atomic excitation probability p as a function of the optical stimulating frequency ν).

First comparison of the optical transition frequencies of two stored $^{171}\text{Yb}^+$ ions

Optical frequency standards have the potential to be considerably more accurate and stable than today's microwave atomic clocks. To determine systematic frequency shifts and the accuracy actually achievable, two frequency standards have been established at the PTB in each of which one single $^{171}\text{Yb}^+$ ion is stored in a high-frequency trap and the quadrupole transition at 688 THz (corresponding 436 nm) is excited as reference transition.

In the first frequency measurements, the two ion traps make use of the same laser sources. The difference of the frequency shifts impressed on the exciting light is recorded as a function of time.

For an averaging period of 1000 s, the relative instability of the frequency difference was in the range of $\sigma_y \approx 1 \cdot 10^{-15}$. The frequency difference averaged over the reference period of approx. 7000 s was about 0.2 Hz which corresponds to a relative deviation of $3 \cdot 10^{-16}$. There is, consequently, no indication of a significant systematic frequency deviation within the scope of the statistical measurement uncertainty. The reproducibility thus demonstrated is at least as good as that of today's best microwave atomic clocks, the caesium atomic fountains, the short-time stability being, however, considerably increased.



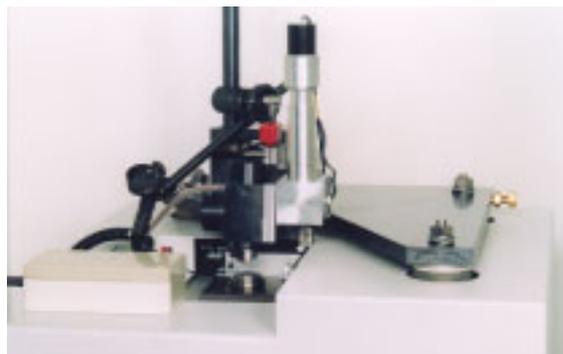
Metrologisches Rasterkraftmikroskop

Ein neues Rasterkraftmikroskop (SFM) wurde in einer Forschungs Kooperation mit der TU Ilmenau und der SIOS Messtechnik GmbH aufgebaut. Die Besonderheit dieses SFM ist sein 3D-Messbereich von 25 mm × 25 mm × 5 mm. Üblicherweise beträgt der Messbereich von Rasterkraftmikroskopen, die vor allem in Forschungseinrichtungen, in der Halbleiter- und optischen Industrie sowie in Bereichen der Mikrosystemtechnik eingesetzt werden, entlang der Bewegungsachsen nicht mehr als 100 µm. Für eine zunehmende Zahl praktischer Anwendungen – auch innerhalb der Metrologie – ist ein solcher Messbereich jedoch zu klein.

Das nun entwickelte Rasterkraftmikroskop genügt selbst in diesem großen Messbereich metrologischen Spitzenanforderungen. Es fußt auf einem hochgenauen Positioniersystem, bei dem idealerweise der Bezugspunkt der Lageregelung mit dem Ort der Abtastspitze übereinstimmt und so Messfehler minimiert werden. Ein zusätzlicher Piezo-Hubtisch mit einem Bewegungsbereich von 2 µm verringert die erforderliche Bewegungsenergie erheblich und verbessert die dynamischen Eigenschaften des SFM. Das Positionieren des Messobjektes erfolgt über Regelkreise, in die Laserinterferometer und Winkelmesssysteme mit einem Auflösungsvermögen von 0,1 nm bzw. 0,001" integriert sind.

Das SFM erlaubt die Analyse von Oberflächen im nm-Bereich über Flächen, die bisher weit jenseits der Messmöglichkeiten lagen. Zum Charakterisieren des SFM wurden erfolgreiche Untersuchungen u. a. an Ebenheits-, Stufenhöhen-, Gitter- und Raunormalen durchgeführt. An 1D-Gitterstrukturen (Gitterperiode 416 nm) z. B. stimmten über einen Messbereich von 1,3 mm die Ergebnisse bis auf 10 pm mit Ergebnissen diffraktometrischer Messungen überein.

Das metrologische Rasterkraftmikroskop mit erweitertem Messbereich im Reinraumzentrum der PTB



Metrological scanning force microscope

A new scanning force microscope (SFM) has been set up in a research cooperation project with the Ilmenau Technical University and SIOS Messtechnik GmbH. The special feature of this SFM is its 3D measuring range of 25 mm × 25 mm × 5 mm. The measuring range of scanning force microscopes, which are used particularly in research centres, semiconductor and optical industry as well as in some areas of microsystem technique, usually does not exceed 100 µm along the axes of motion. Such a measuring range is, however, too small for an increasing number of practical applications, also in the field of metrology.

The scanning force microscope now developed meets highest metrological requirements even in this large measuring range. It is based on a high-precision positioning system in which the reference point of the position control ideally coincides with the position of the scanning tip so that measurement errors are minimized. An additional vertically adjustable piezo table with a range of motion of 2 µm considerably reduces the motive energy required and improves the dynamic properties of the SFM. The object to be measured is positioned with the aid of control circuits into which laser interferometers and angle measuring systems with a resolution of 0.1 nm or 0.001" are integrated.

The SFM allows surfaces in the nm range to be analyzed over areas which have so far been far beyond what was measurable. For characterization of the SFM, successful investigations have been performed on flatness, step-height, grating and roughness standards. On 1D grating structures (grating period: 416 nm), for example, the results agree over a measuring range of 1.3 mm exact to 10 pm with the results of diffractometric measurements.

The metrological scanning force microscope with extended measuring range in the PTB's Clean Room Centre

Das elektronische Personendosimeter PTB DOS-2002

Im Fachbereich „Neutronenstrahlung“ wurde das elektronische Dosimeter PTB DOS-2002 fertiggestellt, die wesentlichen Prinzipien patentiert und fünf Prototypen an das *Bundesamt für Strahlenschutz* geliefert, das dieses Projekt zwei Jahre mit einer Drittmittelstelle unterstützt hat. Das kleine, batteriebetriebene Dosimeter zeigt direkt ablesbar die Personendosis in gemischten Neutronen- und Photonenfeldern an. Die Energie-Nenngebrauchsbereiche sind 25 meV bis 15 MeV für Neutronenstrahlung und 70 keV bis 7 MeV für Photonenstrahlung. Die untere Nachweisgrenze für Photonenstrahlung liegt bei 16 nSv, die für Neutronenstrahlung bei 10 μ Sv.

Das Dosimeter enthält nur einen Halbleiterzähler mit dünner epitaktischer Schicht zur gleichzeitigen Bestimmung von Neutronen- und Photonendosis. Mit Hilfe von optimierten Konverter- und Absorberschichten aus Polyäthylen, Lithiumfluorid und Borplastik werden durch Bestrahlung mit Photonen und Neutronen geladene Teilchen (Elektronen und Ionen) erzeugt, die in der Verarmungszone des Halbleiter-p-n-Übergangs Energie deponieren.

Das Personendosimeter hat seine Eignung für Überwachungsaufgaben in kerntechnischen Anlagen durch Vergleichsmessungen im Transportbehälterlager Gorleben unter Beweis gestellt. Es erfolgten Messungen an verschiedenen Typen von CASTOR-Behältern.

- a) Pulshöhenspektren bei Bestrahlung mit Photonen (farbige Kurven) und Neutronen (Quadrate)
- b) Das elektronische Neutronen/Photonendosimeter PTB DOS-2002
- c) Vergleichsmessungen im Transportbehälterlager Gorleben

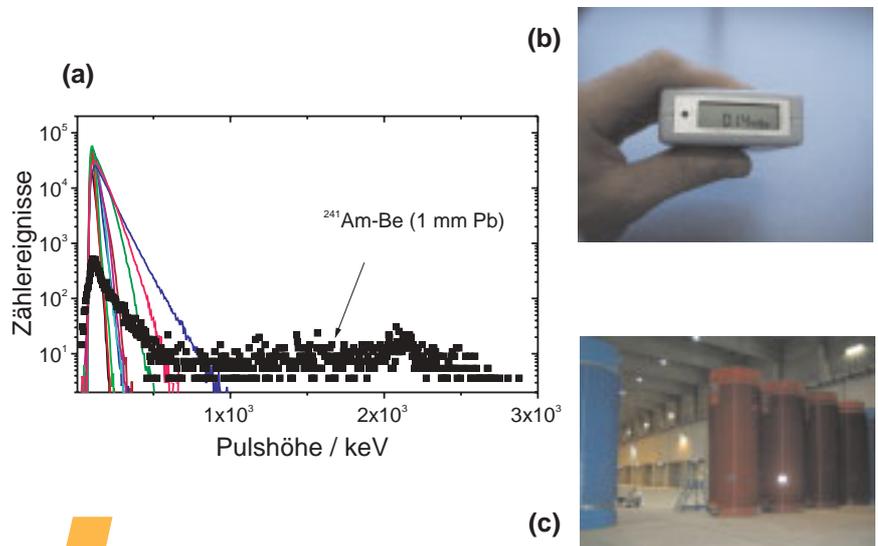
- a) Pulse height spectra for irradiation with photons (coloured curves) and neutrons (squares)
- b) The electronic neutron/photon dosimeter PTB DOS-2002
- c) Comparison measurements at the Gorleben transport container repository

The electronic personal dosimeter PTB DOS-2002

At the “Neutron Radiation” Department, the electronic dosimeter PTB DOS-2002 was completed, the most important principles were patented and five prototypes were supplied to the *Bundesamt für Strahlenschutz* which supported the project with third-party funds for a two-year period. The small, battery-operated dosimeter displays the personal dose for direct reading in mixed neutron and photon fields. The rated ranges of use of the energy are 25 meV to 15 MeV for neutron radiation and 70 keV to 7 MeV for photon radiation. For photon radiation, the lower detection limit lies at approx. 16 nSv, for neutron radiation at 10 μ Sv.

The dosimeter contains only a semiconductor meter with a thin epitaxial layer for simultaneous determination of the neutron and photon dose. With the aid of optimized converting and absorbing layers of polyethylene, lithium fluoride and boric plastics, charged particles (electrons and ions) are generated by irradiation with photons and neutrons, which deposit energy in the depletion zone of the semiconductor p-n transition.

The personal dosimeter has proved its suitability for monitoring tasks in nuclear plants by the comparison measurements at the Gorleben transport container repository. The measurements were carried out on different types of CASTOR containers.



50 Jahre „Institut Berlin“ der PTB

Am 26. September 2003 feierte die PTB in ihrem Institut Berlin den 50. Jahrestag der Unterzeichnung des Abkommens zwischen der Bundesrepublik Deutschland und dem Land Berlin über die „Übernahme der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, auf die Bundesrepublik Deutschland und ihre Vereinigung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig“. Mit diesem Schritt begann die Wiedervereinigung des in der Folge des Zweiten Weltkriegs über ganz Deutschland zerstreuten Messwesens, die erst 1990 mit der deutschen Vereinigung durch die Integration des Messwesens der ehemaligen DDR ihren Abschluss fand.

Prof. Dr. Ernst O. Göbel zeichnete in der Feierstunde die Geschichte dieses historischen Prozesses nach. Für den kurzfristig verhinderten Staatssekretär Dr. Alfred Tacke überbrachte Dr. Jäkel vom *Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit* die Glückwünsche der Bundesregierung, auch zu der kürzlich erfolgreich bestandenen Evaluation. Für den Senat von Berlin sprach der Staatssekretär der Wirtschaftsverwaltung Volkmar Strauch und für den Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf der stellvertretende Bezirksbürgermeister Klaus-Dieter Gröhler. Dr. Terry Quinn, Direktor des BIPM, erinnerte an die Bedeutung von PTR und PTB für die internationale Metrologie und ihre historisch engen Beziehungen zu seiner Institution. In seinem fesselnden Festvortrag „Die Zukunft der Forschung – Forschung für die Zukunft“ zeigte Prof. Dr. Joachim Treusch, Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Jülich und langjähriger Kurator der PTB, die drängenden Weltprobleme auf, denen sich die Forschung zu stellen hat und die nur mit ihrer Hilfe lösbar erscheinen.

Dr. Terry Quinn, Direktor des BIPM, im Hörsaal des Hermann-von-Helmholtz-Baus in Berlin



PTB's Berlin Institute 50 years old

At its Berlin Institute on the 26th of September 2003, the PTB celebrated the 50th anniversary of the signing of the agreement between the Federal Republic of Germany and the Land Berlin on the take-over of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, by the Federal Republic of Germany and its merger with the Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig. This step initiated the reunification of the metrology system which, as a consequence of World War Two, had been scattered all over Germany, and was completed only in 1990 with the German reunification and integration of the metrology institutes of the former GDR.

In the ceremony, Prof. Dr. Ernst O. Göbel outlined the history of this process. Dr. Jäkel from the *Federal Ministry of Economics and Labour* expressed the congratulations of the Federal Government, also for the successful evaluation of the PTB, for State Secretary Dr. Alfred Tacke who was unable to attend. Mr. Volkmar Strauch, State Secretary in the Economic Administration, spoke for the Berlin Senate, and Mr. Klaus-Dieter Gröhler, deputy mayor of the district, for the Charlottenburg-Wilmersdorf district. Dr. Terry Quinn, Director of the BIPM, commemorated the importance of the PTR and the PTB for international metrology and the traditionally close relations with his institution. In his captivating lecture “The future of research – research for the future”, Prof. Dr. Joachim Treusch, Chairman of the Board of the Jülich Research Centre and for many years consultant of the PTB, illustrated the urging global problems research has to face and which can probably be solved only with the aid of research.

Dr. Terry Quinn, Director of the BIPM, in the auditorium of the Hermann von Helmholtz Building in Berlin

Europäischer Verband nationaler Metrologieinstitute für Wärmemessung

Im Februar 2003 hat die PTB zusammen mit den nationalen Metrologieinstituten (NMIs) von Österreich, Schweden, Norwegen, Dänemark und der Schweiz die „European Metrology Association for Thermal Energy Measurement (EMATEM e. V.)“ gegründet. Die Gründung erfolgte auch im Hinblick auf die Europäische Messgeräte-richtlinie (MID), die den europäischen Binnenmarkt für Wärmemesser vollendet und dabei die Rollen von Herstellern, Versorgungsunternehmen, Verbrauchern und NMIs verändert.

EMATEM dient dem Aufbau von drei Netzwerken:

Das erste Netzwerk hat zum Ziel, die jeweiligen Messmöglichkeiten der Mitglieder gemeinsam besser auszunutzen und das gemeinsame Know-how den Herstellern, Versorgungsunternehmen und Verbrauchern europaweit zur Verfügung zu stellen.

Ein zweites Netzwerk schafft für alle Betroffenen ein Forum zur technischen Umsetzung der MID.

Ein drittes Netzwerk fördert gemeinsame Forschungs- und Entwicklungsarbeiten. Als Ergebnis eines EMATEM-Workshops sind mit Beteiligung führender Hersteller bereits zwei Projekte zur Entwicklung von Transfernormen für den Durchfluss von Wasser aufgenommen worden.

European Association of National Metrology Institutes for Thermal Energy

In February 2003, the PTB founded the “European Metrology Association for Thermal Energy Measurement (EMATEM e. V.)” together with the National Metrology Institutes (NMIs) of Austria, Sweden, Norway, Denmark and Switzerland. One reason of the foundation was the European Measuring Instrument Directive (MID) which completes the Single European Market for heat meters and thereby leads to a change in the roles of manufacturers, supply companies and NMIs.

EMATEM serves the establishment of three networks:

The first network is aimed at achieving better joint utilization of the relevant measurement capabilities of the member states and at making the joint know-how available to manufacturers, utilities and consumers throughout Europe.

A second network creates a forum for all parties involved in the technical implementation of the MID.

A third network promotes joint research and development work. As a result of an EMATEM workshop, two projects for the development of transfer standards for the flowrate of water have already been started in cooperation with leading manufacturers.



Mit ihren einzigartigen Messmöglichkeiten spielt die kürzlich fertig gestellte Volumenstrom-Messanlage der PTB für Durchflüsse bis 1000 m³/h von Wasser mit Temperaturen zwischen 3 °C und 90 °C eine wichtige Rolle auch für die anderen EMATEM-NMIs.

With its unique measurement capabilities, the PTB's volume flowrate measuring facility for water flowrates up to 1000 m³/h with temperatures between 3 °C and 90 °C, which has recently been completed, also plays an important part for the other EMATEM NMIs.

Laserimpuls-Mammographie

Seit Anfang 2001 wird im Rahmen eines von der Abteilung 8 koordinierten europäischen Forschungsvorhabens „OPTIMAMM“ das diagnostische Potenzial der zeitaufgelösten optischen Mammographie durch klinische Studien ermittelt. In Kooperation mit der *Robert-Rössle-Klinik* Berlin-Buch wurden bisher mehr als 150 Patientinnen untersucht.

Die retrospektive Auswertung von optischen Mammogrammen von 72 Patientinnen mit einem Tumor ergab, dass in 52 Fällen der Tumor sowohl in kraniokaudaler als auch mediolateraler Projektion detektiert wurde. In 8 Fällen konnte der Tumor nur in einer der beiden Projektionen erkannt werden und in 12 Fällen wurde der Tumor optisch nicht nachgewiesen.

Zur besseren Differenzierung gutartiger von bösartigen Läsionen wurden aus optischen Mammogrammen die Streu- und Absorptionseigenschaften von 50 Tumoren bei zwei Wellenlängen (670 nm, 785 nm) bestimmt. Bei allen optisch detektierten Tumoren war die Absorption im Vergleich zum gesunden Gewebe um einen Faktor 2 bis 4 erhöht, während die Streuung sich nicht oder nur geringfügig unterschied. Die aus den Absorptionskoeffizienten berechnete totale Hämoglobinkonzentration ist bei allen Tumoren erhöht, während die Sauerstoffsättigung des Blutes im Tumor teilweise erhöht, zum Teil jedoch auch verringert war. Die graphische Darstellung der ermittelten Sauerstoffsättigung und der zugehörigen totalen Hämoglobinkonzentration zeigt, dass eine Diskriminierung zwischen Tumor- und gesundem Gewebe möglich ist. Zur Verbesserung der Genauigkeit des Messverfahrens wurde im Rahmen einer vom BMWA geförderten Kooperation mit der Fa. PicoQuant GmbH ein Mehrkanal-Laserimpuls-Mammograph mit verbesserter spektraler Auflösung aufgebaut, der optische Mammogramme unter mehreren Projektionswinkeln zur besseren Lokalisierung von Tumoren aufzunehmen gestattet.

Laser Pulse Mammography

Since early in 2001, the diagnostic potential of time-resolved, optical mammography has been determined by clinical studies within the scope of the European research project “OPTIMAMM” coordinated by Division 8. In cooperation with the *Robert Rössle Clinic* in Berlin-Buch, more than 150 patients have so far been examined.

The retrospective evaluation of optical mammograms of 72 patients with a tumour showed that in 52 cases, the tumour was detected in both, craniocaudal and medio-lateral projection. In eight cases, the tumour could be detected only in one of the two projections and in 12 cases, the tumour was not optically detected at all.

For better differentiation of non-malignant and malignant injuries, the scattering and absorption properties of 50 tumours were determined from optical mammograms at two wavelengths (670 nm, 785 nm). In the case of all optically detected tumours, absorption was increased by a factor of 2 to 4 compared with the unaffected tissue, whereas there was no difference or only a slight one in the scattering. The total haemoglobin concentration calculated from the absorption coefficient is increased in all tumours, whereas the oxygen saturation of the blood in the tumour was sometimes increased and sometimes reduced. The graphical representation of the oxygen saturation determined and of the associated total haemoglobin concentration shows that a distinction between tumour and unaffected tissue can be made. To improve the accuracy of the measuring procedure, a multi-channel laser pulse mammograph with improved spectral resolution was set up within the scope of a cooperation with PicoQuant GmbH supported by the BMWA; this mammograph allows optical mammograms to be recorded under various projection angles to improve tumour localization.

Numerische Modellierung des Herzens

Die PTB übernimmt in einem vom BMBF geförderten Verbundvorhaben mit der *Charité* Berlin und der *Schering AG* die Entwicklung von numerischen Modellen der elektro-physiologischen Funktion des Herzens. Dabei wird das Ziel verfolgt, klinische Modellvorstellungen zur Entstehung von Herzfehlfunktionen, ausgelöst durch Myokarditis, zu simulieren und deren Auswirkung auf die messbaren Biosignale zu berechnen.

Die Modellierung wurde auf drei Ebenen durchgeführt: (i) das Modell einer Herzzelle mit einem Satz von mehr als 30 gewöhnlichen Differentialgleichungen; (ii) ein darauf aufbauendes Modell bestehend aus gekoppelten partiellen Differentialgleichungen, das die Erregungsausbreitung in einem ca. 1 mm³ großen Gewebestück beschreibt und (iii) ein 3D-Modell des gesamten Herzventrikels beruhend auf der Methode der finiten Elemente (FEM).

Die Herausforderungen an Soft- und Hardware sind beträchtlich. Selbst mit den hier verwendeten modernsten Algorithmen und dem Einsatz von Parallelrechnern dauert die Berechnung für einen Herzschlag eines humanen Herzmodells mehrere Tage.

Die Arbeitsgruppe der PTB kooperiert eng mit international führenden Kollegen der *University of Calgary* und der *Universität Graz* und hat wesentlich zur Effizienzsteigerung der Algorithmen beigetragen. Das Projekt wird eines der Themen des geplanten neuen Fachbereichs „Mathematische Modellierung und Datenanalyse“ bilden.

3D-Herzmodell mit überlagerter Verteilung des Membranpotentials in Fehlfarbandarstellung, grün: Repolarisation, rot: Depolarisation.

3D heart model with superimposed distribution of the membrane potential in pseudo-colours, green: repolarization, red: depolarization.

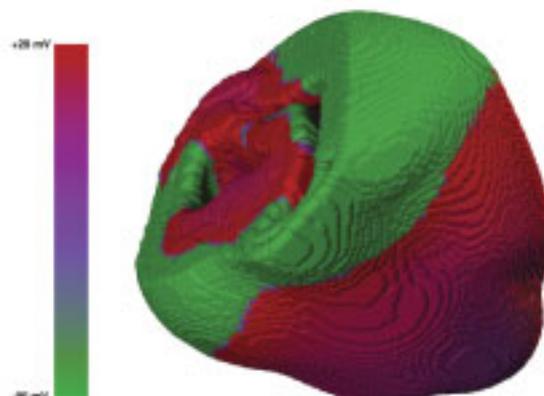
Numerical modelling of the heart

In a joint venture project with the *Charité* Berlin and the *Schering AG* supported by the BMBF, the PTB has taken over the development of numerical models of the electro-physiological function of the heart. The activities are aimed at simulating clinical concepts for the genesis of cardiac malfunctions caused by myocarditis and at calculating their effects on the measurable biosignals.

Modelling was performed at three levels: (i) the model of a heart cell with a set of more than 30 ordinary differential equations; (ii) a model based on the first model, but composed of simultaneous partial differential equations which describes the excitation propagation in a piece of tissue of approx. 1 mm³ and (iii) a 3D model of the total heart ventricle based on the Finite Element Method (FEM).

Considerable challenges have to be met by software and hardware. Even with the most recent algorithms applied here and use of parallel computers, the calculation for one beat of a human heart model takes several days.

The PTB working group closely cooperates with internationally leading colleagues of the *University of Calgary* and the *Graz University* and has considerably contributed to increasing the efficiency of the algorithms. The project will be one of the subjects of the planned new “Mathematical Modelling and Data Analysis” Department.



Vier Jahrzehnte Technische Zusammenarbeit

Vor 40 Jahren startete die PTB ein Programm zur Unterstützung des nationalen Metrologieinstitutes in Argentinien. Was zunächst als Förderung der Metrologie begonnen hatte, wurde zu einem umfassenden Konzept zum Aufbau des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens, der Akkreditierung und Zertifizierung (MNPQ) ausgebaut, um wirtschaftliche und soziale Entwicklungen nachhaltig zu fördern und Voraussetzungen zur Teilnahme am internationalen Handel zu verbessern. Das sind Ziele einer Strategie der Entwicklungszusammenarbeit zur Reduzierung der Armut.

Der Zugang zu den Märkten der Industrienationen ist für die Entwicklungsländer schwierig. Neben Zöllen und festgelegten Quoten für ihre Produkte sind es vor allem technische Handelsbarrieren in Form von Vorschriften und Normen über Gesundheits-, Hygiene-, Umwelt- oder Sicherheitsanforderungen, die nachweislich eingehalten werden müssen. Für solche Konformitätsnachweise fehlen häufig die notwendigen MNPQ-Dienstleistungen. Hier setzen die PTB-Projekte an. Erfolge zeigen sich unter anderem in der Akkreditierung von Laboratorien der Partner nach internationalen Kriterien, ihrer Teilnahme an internationalen Vergleichsmessungen und ihren Dienstleistungen für die heimische Wirtschaft.

Seit der EXPO 2000 präsentieren staatliche und nichtstaatliche Institutionen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit eigene wie auch gemeinsame Initiativen unter dem One-World-Logo.

Since the EXPO 2000, governmental and non-governmental institutions of the German Development Cooperation have presented their own as well as joint initiatives under the One World Logo.

Four decades of Technical Cooperation

Forty years ago, the PTB launched a program to support the national metrology institute in Argentina. What started as support for metrology developed into a comprehensive concept for establishing the metrology, standardization, testing, quality, accreditation and certification (MSTQ) system to lastingly further the economic and social development and help meet the conditions for participation in international trade. These objectives are part of a development cooperation strategy aimed at reducing poverty.

For developing countries, access to the markets of the industrialized states is difficult. In addition to customs duties and fixed quotas for their products, technical barriers to trade in particular must be overcome and proof of compliance with regulations and standards for health, hygiene, environmental and safety requirements must be furnished. Frequently, the MSTQ services required for such conformity statements are lacking. It is here where the PTB projects start. Results can be seen among other things in the accreditation of laboratories of the partners in accordance with international criteria, their participation in international comparison measurements and the services rendered to the domestic economy.



Die 54. Sitzung des Kuratoriums

Das Kuratorium kam am 6. und 7. Mai 2003 in Braunschweig zu seiner 54. Jahrestagung zusammen.

Am 6. Mai fand nach der Besichtigung von ausgewählten Experimenten und Messplätzen am Nachmittag ein wissenschaftliches Kolloquium statt. Es trugen Dr. Thomas Bruns über „Neue dynamische Mess- und Kalibrierverfahren im Bereich der Festkörpermechanik“, Dr. Karin Kniel über „Selbstnachführendes Laserinterferometer für die Koordinatenmesstechnik“ sowie Dr. Wolfgang Kilian über „Hyperpolarisiertes ^{129}Xe Gas als Kontrastmittel für die in vivo Kernspin-Tomographie“ vor. Im Anschluss fanden Fachgespräche in den Abteilungen statt.



Dr. Förster (4. v. l.) erklärt den Versuchsaufbau zur Zündung von Kerosin-Spraywolken.

Dr. Förster (4th from the left) explains the test set-up for ignition of kerosene spray clouds.

In der Sitzung am 7. Mai berichtete der Präsident des Kuratoriums, Herr Dr. Eike Röhling u. a. über die Veränderungen, die sich nach der Zusammenlegung mit dem früheren Arbeitsministerium ergeben und zum neuen Namen des Ministeriums (Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit – BMWA) geführt haben. Neben der Technologiepolitik sprach er ausführlich die Zukunft des Akkreditierungswesens sowie den Stand der Messgeräte-richtlinie der EU an. Der Bericht des Präsidenten der PTB, Herr Prof. Dr. Ernst O. Göbel, orientierte sich an den vier Geschäftsbereichen der PTB. Insbesondere informierte er über den Stand der Arbeiten im Avogadro-Projekt, die Aktivitäten im Bereich „Sicherer Elektronischer Messdaten Austausch“ (SELMA) sowie die Kundenbefragung im Rahmen

54th meeting of the Board of Consultants

On the 6th and 7th of May 2003, the Board of Consultants held its 54th annual meeting in Braunschweig.

In the afternoon of the 6th of May, a scientific colloquium took place after selected experiments and measuring arrangements had been presented. Lectures were given by Dr. Thomas Bruns (New dynamic measuring and calibration procedures in the field of solid mechanics), Dr. Karin Kniel (Self-tracking laser interferometer for coordinate metrology) and Dr. Wolfgang Kilian (Hyperpolarized ^{129}Xe gas as a contrast medium for in vivo nuclear magnetic resonance tomography). Following the colloquium, technical discussions took place at the divisions.

At the meeting on the 7th of May, Dr. Eike Röhling, president of the Board of Consultants, reported, among other things, on the changes which amalgamation with the former Ministry of Labour has produced and which gave rise to the Ministry's new name (Ministerium für Wirtschaft und Arbeit, BMWA (Federal Ministry of Economics and Labour)). In addition to technology policy, he spoke in detail about the future of accreditation and the state of the EU's Measuring Instrument Directive. The report of Prof. Dr. Ernst O. Göbel, president of the PTB, started from the PTB's four areas of business. He informed in particular about the state of work in the



Dr. Peschel (rechts) erläutert den Herren Prof. Dr. Beckervordersandforth (links) und Dr. Pilz (Mitte) den Aufbau der 2-MN-Kraft-Normalmesseinrichtung.

Dr. Peschel (on the right) explains to Prof. Dr. Beckervordersandforth (on the left) and Dr. Pilz (in the centre) the set-up of the 2 MN Force Standard Machine.



Teilnehmer an der 54. Sitzung des Kuratoriums

Participants in the 54th meeting of the Board of Consultants

Avogadro Project, the activities in the field of "Secure Electronic Exchange of Measurement

des EU-finanzierten Projektes „Metrology for the European Research Area“ (MERA). Weiterhin ging er auf die Personal- und Haushaltsentwicklung der PTB ein. Er wies insbesondere darauf hin, dass aufgrund der Festbeschreibung des Gesamthaushalts die steigenden Personalkosten immer größere Teile des Sachhaushalts binden.

Die Ergebnisse der Evaluation der PTB wurden in einem gesonderten Tagesordnungspunkt erörtert. Das Kuratorium befürwortete den Evaluationsbericht und teilte ausdrücklich die außerordentlich gute Bewertung der fachlichen Kompetenz der Mitarbeiter der PTB. Das Kuratorium forderte die PTB und das BMWA auf, die Empfehlungen zügig und im Rahmen der Möglichkeiten umzusetzen. Die Empfehlungen des Evaluationsberichtes insbesondere die Empfehlung zur Neuordnung der Kompetenzen, Befugnisse und Zuständigkeiten von PTB-Leitung, BMWA sowie die Rolle des Kuratoriums wurden ausführlich diskutiert.

Im weiteren Verlauf der Sitzung berichtete Herr Dr. R. Weiß über die Aufgaben und Arbeiten der Abteilung „Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben“ sowie in Vertretung des Schatzmeisters des Helmholtz-Fonds e. V., Herr Prof. Dr. Manfred Kochsiek über die Entwicklung des Fonds.

Persönliches:

Im Berichtsjahr schieden die Mitglieder Prof. Dr. Manfred Grasserbauer sowie Dipl.-Ing. Herbert Kircher aus dem Kuratorium aus.

Data" (SELMA) and the customer attitude survey within the scope of the "Metrology for the European Research Area" (MERA) project funded by the EU. Furthermore, he reported on the development of staff and budget at the PTB. He pointed out in particular that the increasing staff expenses tie up ever larger parts of the materials and equipment budget due to the freezing of the overall budget.

The results of the evaluation of the PTB were discussed under a separate item of the agenda. The Board of Consultants approved the evaluation report and explicitly shared the extraordinarily positive evaluation of the technical competence of the PTB staff. The Board of Consultants asked the PTB and the BMWA to speedily implement the recommendations within the bounds of possibility. The recommendations of the evaluation report, in particular the recommendation for a rearrangement of competencies, authorities and responsibilities of the PTB management and the BMWA, as well as the role of the Board of Consultants were discussed in detail.

In the course of the meeting, Dr. R. Weiss informed about the activities of the "Scientific-technical Cross-sectional Tasks" Division and in the place of the treasurer of the Helmholtz Fonds e. V., Prof. Dr. Manfred Kochsiek about the development of the Fund.

Personal matters:

In the year under report, Prof. Dr. Manfred Grasserbauer and Herbert Kircher, B.Sc. (Eng.), resigned from the Board of Consultants.

Doppelspitze im internationalen Messwesen

Die PTB übernimmt die Präsidentschaft bei den beiden wichtigsten internationalen Zusammenschlüssen des Messwesens. Prof. Dr. Ernst O. Göbel wird ab dem 1. Juli 2004 der Präsident des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht (CIPM) – dieses Wahlergebnis fiel auf der 22. Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM), die im Oktober 2003 in Paris stattfand. Professor Manfred Kochsiek wurde zum Präsidenten der Internationalen Organisation für das Gesetzliche Messwesen (OIML) ernannt – so das Ergebnis des jährlichen OIML-Treffens, das im November 2003 in Kyoto, Japan, stattfand. Dass beide Präsidentschaften nunmehr „nahezu synchron“ der PTB zufallen, ist ein Zeichen für die große Anerkennung, welche die PTB durch ihre hervorragende metrologische Arbeit vor allem auch auf internationalem Parkett genießt.



In die beiden präsidentialen Amtszeiten sowohl von Prof. Göbel als auch von Prof. Kochsiek fallen eine Reihe schwerwiegender Aufgaben. So hat der CIPM-Präsident Göbel die Umsetzung eines Abkommens zum Abbau nicht tarifärer Handelshemmnisse ebenso vor sich wie eine anstehende

Neuausrichtung der Laborarbeiten des BIPM, das sich trotz knapper Ressourcen neuen Anforderungen – wie zum Beispiel der Metrologie in der Chemie – stellen muss. In die Zeit von Kochsiefs OIML-Präsidentschaft fällt ein Thema, das auf der Agenda der OIML weit oben steht: die internationale Harmonisierung, zu der in Kyoto eine Vereinbarung getroffen wurde: Es gilt das verabschiedete Mutual Acceptance Arrangement (MAA) in den kommenden ein bis zwei Jahren auch praktisch in den 110 Mitgliedsländern umzusetzen.

Internationaler Treffpunkt der OIML wird im kommenden Jahr Deutschland sein: Zu ihrer Internationalen Konferenz werden sich die Vertreter der OIML vom 25. Oktober bis zum 29. Oktober 2004 in Berlin, im Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, treffen.

Two leading positions in international metrology

The PTB takes over the presidency of the two most important international metrology associations. From July 01, 2004, Professor Dr. Ernst O. Göbel will be president of the International Committee of Weights and Measures (CIPM) – this election was held at the 22nd General Conference on Weights and Measures (CGPM) which took place in Paris in October 2003. Professor Manfred Kochsiek was appointed president of the International Organization of Legal Metrology (OIML) – this is the result of the annual OIML meeting which was held in Kyoto, Japan, in November 2003. The fact that the two presidencies have now been assigned to the PTB “almost synchronously,” is an indication of the great acceptance the PTB enjoys due to its excellent metrological work, also and in particular on the international level.

In the two presidential terms of both, Professor Göbel and Professor Kochsiek, a number of difficult tasks will have to be handled. As CIPM president, Professor Göbel has to implement an agreement on the removal of non-tariff barriers to trade and ensure the re-orientation of the laboratory work of the BIPM which has to meet new demands (for example: metrology in chemistry) despite shortage of funds. In the period of Professor Kochsiek’s OIML presidency, a subject which is high on the OIML agenda will have to be dealt with: international harmonization on which an agreement has been concluded in Kyoto. In the next one or two years, the Mutual Acceptance Arrangement (MAA) will have to be implemented by the 110 member states also in practical respects.

Next year, Germany will be an international meeting place for the OIML: Between the 25th and 29th of October, 2004, the OIML representatives will meet at the Federal Ministry of Economics and Labour in Berlin for their international conference.



Helmholtzpreis für NMR-Tomographie

Der Helmholtz-Preis wurde im Jahr 2003 an Dr. Dr. Wolfgang Rudolf Bauer und seine Arbeitsgruppe an der Medizinischen Universitäts-Klinik Würzburg verliehen. Die Gruppe erhielt den europaweit ausgeschriebenen und mit 15000 Euro dotierten Preis für die Weiterentwicklung der Nuclear-Magnetic-Resonance-(NMR)-Tomographie, mit der sich in einer bislang nicht gekannten Qualität Bilder vom Herzen erzeugen lassen. Unterschiedliche Komponenten der Herzmuskeldurchblutung können mit diesem bildgebenden Verfahren sensitiv gemessen werden. Die Preisverleihung fand im Rahmen einer Festveranstaltung am 30. Juni 2003 im Eichensaal des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit in Berlin statt.

Am Tag nach der Verleihung des Helmholtz-Preises richtete die PTB im Institut Berlin das 7. Hermann-von-Helmholtz-Symposium aus. Das Thema „Physikalische Messungen bei der Erdbeobachtung“ wurde in vier Vorträgen beleuchtet. Die Themen und die Vortragenden waren: „Physik auf der Suche nach Öl und Gas“ (Dr. Martin Lüling, Schlumberger-Riboud, Clamart, Frankreich); „Reichweiteberechnung von Bodenschätzen“ (Dr. Friedrich-Wilhelm Wellmer, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover); „Quantitative Feuererkennung aus dem Orbit“ (Dr. Dieter Oertel, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin-Adlershof); „Globale Atmosphärensondierung mittels GPS-Radiookkultation“ (Dr. Georg Beyerle, Geoforschungszentrum, Potsdam).

Der Preisträger des Helmholtz-Preises 2003, Dr. Dr. Wolfgang R. Bauer (2. v. r.), zusammen mit dem Vorsitz der Verwaltungsrats des Helmholtz-Fonds, Prof. Dr. Ernst O. Göbel (links), dem parlamentarischen Staatssekretär im BMWa, Dr. Ditmar Staffelt (2. v. l.), und dem Schatzmeister des Helmholtz-Fonds, Dipl.-Ing. Ruprecht von Siemens.

The laureate of the Helmholtz award 2003, Dr. Dr. R. Bauer (second from the right) together with the chairman of the Administrative Council of the Helmholtz Fund, Prof. Dr. Ernst O. Göbel (on the left), Dr. Ditmar Staffelt (second from the left) Parliamentary State Secretary at the BMWa and Dipl.-Ing. Ruprecht von Siemens, treasurer of the Helmholtz Fund.

Helmholtz award for NMR tomography

In 2003, the Helmholtz award was granted to Dr. Dr. Wolfgang Rudolf Bauer and his working group from the Würzburg Medical University Hospital. The group was given the award which had been announced in the whole of Europe and was endowed with 15000 euro for the further development of Nuclear Magnetic Resonance (NMR) Tomography which allows images of the heart to be formed in a quality so far unknown. Different components of the myocardial blood flow can be sensitively measured with this imaging procedure. The presentation of the award took place within the scope of an event celebrated in the Eichensaal of the Federal Ministry of Economics and Labour in Berlin on the 30th of June 2003.

The day after the Helmholtz award was granted, the PTB organized the 7th Hermann von Helmholtz Symposium at its Berlin Institute. The subject “Physical measurements for earth observation” was dealt with in four lectures. Subjects and lecturers: “Physics in search of oil and gas” (Dr. Martin Lüling, Schlumberger-Riboud, Clamart, France); “Calculation of the range of natural resources” (Dr. Friedrich-Wilhelm Wellmer, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover); “Quantitative fire detection from the orbit” (Dr. Dieter Oertel, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt, Berlin-Adlershof); “Global atmosphere probing by means of GPS radiooccultation” (Dr. Georg Beyerle, Geoforschungszentrum, Potsdam).



Schlanke Organisation für die PTB

Von der Evaluationskommission unterstützt, vom Kuratorium begrüßt, vom Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit genehmigt: zum Jahreswechsel 2003/2004 erhält die Aufbauorganisation der PTB ein neues Gesicht. An die Stelle der bisherigen Fachbereiche und Laboratorien treten neu konzipierte Fachbereiche. Innerhalb der Fachbereiche können die Abteilungen selber Arbeitsgruppen von unterschiedlicher Größe und Dauer bilden oder auch einzelne herausragende Wissenschaftler als „Senior Scientists“ mit besonders hochwertigen wissenschaftlichen Aufgaben beauftragen. Für Infrastruktur-Aufgaben bleibt es bei der Basisorganisation Referat.

Mit der Reform sind drei wesentliche Ziele verbunden:

- Wir wollen unsere Steuerungs- und Informationswege verbessern, indem wir die Hierarchieebenen reduzieren.
- Wir wollen unsere Effizienz sichern, indem wir die organisatorische Flexibilität auf der Arbeitsebene erhöhen und die Arbeitsgruppen von Aufgaben der Dienstaufsicht entlasten.
- Wir wollen die Führungskompetenz der Vorgesetzten verbessern, indem wir Aufgaben der Dienstaufsicht auf weniger Vorgesetzte konzentrieren, die Vorgesetzten für ihre jeweilige Führungsaufgabe systematisch vorbereiten und sie begleitend schulen.

In der bisherigen PTB-Struktur mit 34 Fachbereichen sowie 100 Laboratorien und Projekten (mit ca. je 12 Mitarbeitern) war die disziplinarische Verantwortung auf etwa 170 Köpfe verteilt. In der neuen Struktur mit bis zu 55 Fachbereichen (mit ca. je 22 Mitarbeitern) tragen nur noch 80 OE-Leiter disziplinarische Verantwortung.

Bei dem Zuschnitt der neuen Fachbereiche haben wir die Konsequenzen der gesetzlichen Stelleneinsparungen berücksichtigt. Trotz dieses Personalabbaues ist es gelungen, die von den Evaluatoren empfohlenen neuen fachlichen Arbeitsschwerpunkte organisatorisch abzubilden.

Lean organization for the PTB

Supported by the evaluation commission, welcomed by the Board of Consultants, approved by the Federal Ministry of Economics and Labour: by the turn of the year 2003/2004, the PTB's organizational structure will get a new face. The former departments and laboratories will be replaced by newly arranged departments. Within the departments, the divisions may establish working groups of different size and duration or assign scientific tasks of particularly high value to outstanding scientists who will act as "senior scientists". As the basic organization, the "Section" will remain responsible for infrastructural tasks.

The reform is aimed at achieving three essential objectives:

- We want to improve our control and information channels by reducing the hierarchy levels.
- We want to ensure our efficiency by an increase in organizational flexibility on the working level and a relief of the working groups from administrative supervision tasks.
- We want to improve the management capabilities of the superiors by concentrating the administrative supervision tasks on fewer superiors, by systematically preparing them for their management tasks and providing training measures for them.

In the former PTB structure with 34 departments and 100 laboratories and projects (each with approx. 12 members), the disciplinary responsibility was borne by approx. 170 heads. In the new structure with up to 55 departments (each with approx. 22 members), only 80 heads of organizational units will bear disciplinary responsibility.

The consequences of the legally prescribed reduction of staff have been taken into account in the layout of the new departments. Despite this reduction of staff, we have succeeded in realizing the new focal areas of work which have been recommended by the evaluators in such a way that they are reflected in the new organization plan.

Promotionen 2003 • doctorates in 2003

Rolf Behrens (6.31)	Wenig-Kanal-Spektrometer zur Messung von Elektronen- und Photonenpektren in ultrakurz gepulsten Strahlungsfeldern
Mark Bieler (2.54)	Ultrafast Optoelectronic Switches: Physics of Pulse Generation and Applications to High-Frequency Device Characterization
Fidel Fernandez (3.23)	Erzeugung von Spurenkonzentrationen von Wasserdampf in Gasen mit Hilfe eines coulometrischen Verfahrens
Daniel Hagedorn (2.4)	Physikalische und technologische Limitierungen von SNS-Josephson-Kontakten für hochintegrierbare Tieftemperatur-Supraleiterschaltungen
Lars-Henning Hiss (8.21)	Sensorkonfiguration und Informationsgehalt – Untersuchungen zur Elektro- und Magnetoneurographie
Klaus Piester (4.4)	Nanostrukturen in Halbleiterbauelementen
Erol Sagol (2.5)	Space and Time-Resolved Measurements at the Breakdown of the Quantum Hall Effect
Luciana Scarioni (2.1)	High Frequency Thin-Film Thermal Converter on a Quartz Crystal Chip
Dieter Richard Taubert (7.21)	Radiometrische Messung thermodynamischer Temperaturen und Vergleich mit der Internationalen Temperaturskala (ITS-90) im Bereich von 419 °C bis 660 °C
Rodrigo Weber dos Santos (8.2)	Modelling cardiac electrophysiology

Zahlen und

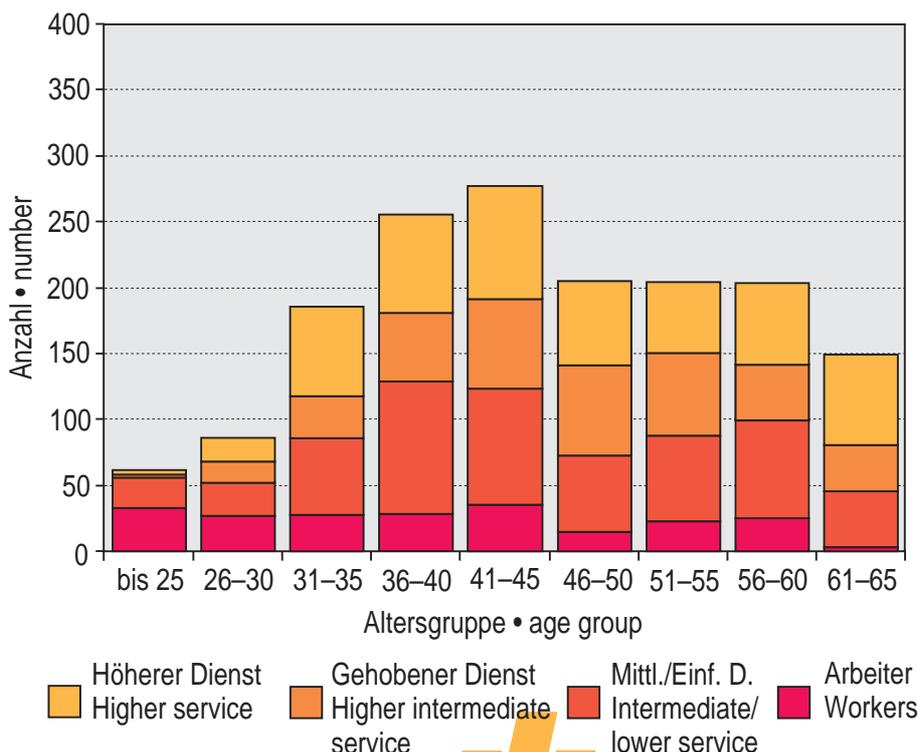
Personal: Entwicklung • Staff: development

Personelle Entwicklung von 1994 bis 2003 (Stand: 31. Dezember 2003) • Development of staff

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

Beschäftigungsverhältnis	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
a)										
Beamte • civil servants	502	500	483	483	486	490	501	503	507	506
Angestellte • employees	877	868	869	850	827	821	808	786	767	744
Arbeiter • workers	259	246	242	234	227	223	201	204	201	201
Kasino­personal • canteen staff	8	8	8	8	8	6	6	7	7	6
gesamt • total	1646	1622	1602	1575	1548	1540	1516	1500	1482	1457
b)										
Auszubildende • trainees	124	123	133	142	150	151	147	136	138	144
Aushilfskräfte temporary staff	44	22	16	19	35	32	44	52	53	52
Drittmittelpersonal staff members financed by third parties	92	93	104	85	110	70	92	104	106	122
Mitarbeiter gesamt staff member total	1906	1860	1855	1821	1843	1793	1799	1792	1779	1775

Personal: Altersstruktur • Staff: age structure



Altersstruktur der Mitarbeiter/innen unterschieden nach Laufbahngruppen (ohne Auszubildende)

Age structure of staff distinguished by civil service groups (not including trainees)

Fakten

Ausbildung • Training (8. Oktober 2003)

	BS	Berlin	
Kommunikationselektroniker	18 (0)	6 (0)	communication electronics technologists
IT-Systemelektroniker	17 (6)	- -	information and telecommunication technologists
Elektroniker/in für Geräte und Systeme	13 (13)	2 (2)	electronics technician for devices and systems
Physiklaboranten	18 (6)	- -	laboratory technicians, physics
Mikrotechnologen	1 (0)	- -	microtechnologists
Elektroinstallateure	14 (5)	- -	electrical fitters
Feinmechaniker	9 (3)	6 (0)	precision mechanics
Maschinenbaumechaniker	15 (5)	- -	machine construction mechanics
Fotografen	4 (2)	- -	photographers
Technische Zeichner	5 (1)	- -	draftsmen
Köche	5 (1)	- -	cooks
Tischler	- -	2 (0)	joiners
Fachangestellte für Bürokommunikation	- -	9 (3)	specialists in office communications
gesamt	119 (43)	25 (6)	total

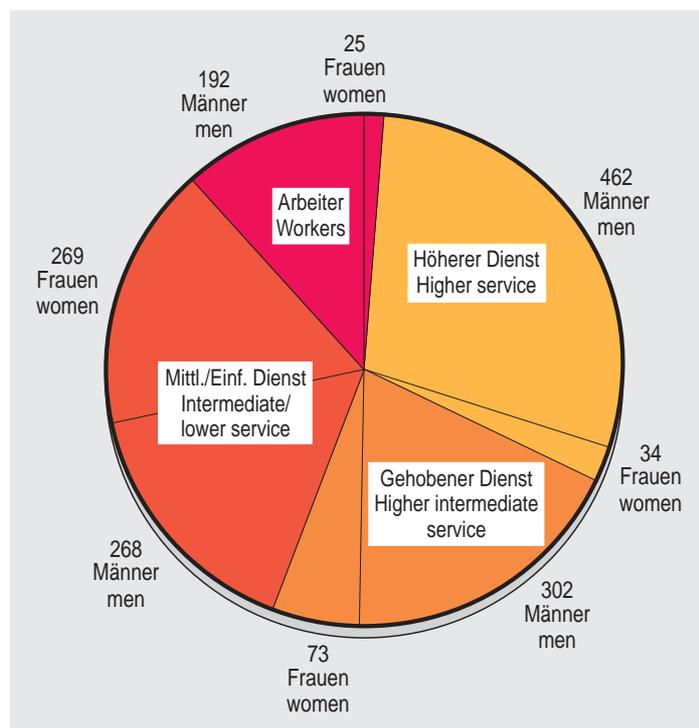
Die PTB gehört zu den größten Ausbildungsbetrieben in der Region. Gegenwärtig sind 144 Auszubildende bei der PTB angestellt (Stand: 8. Oktober 2003). Die Übersicht zeigt die Verteilung auf die einzelnen Ausbildungsberufe. In Klammern sind die Neueinstellungen im Berichtsjahr angegeben.

The PTB is among the most important institutions of the region which provide training. 144 trainees are at present employed by PTB (as of October 8, 2002). The survey shows the assignment to the individual trainee occupations. 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)



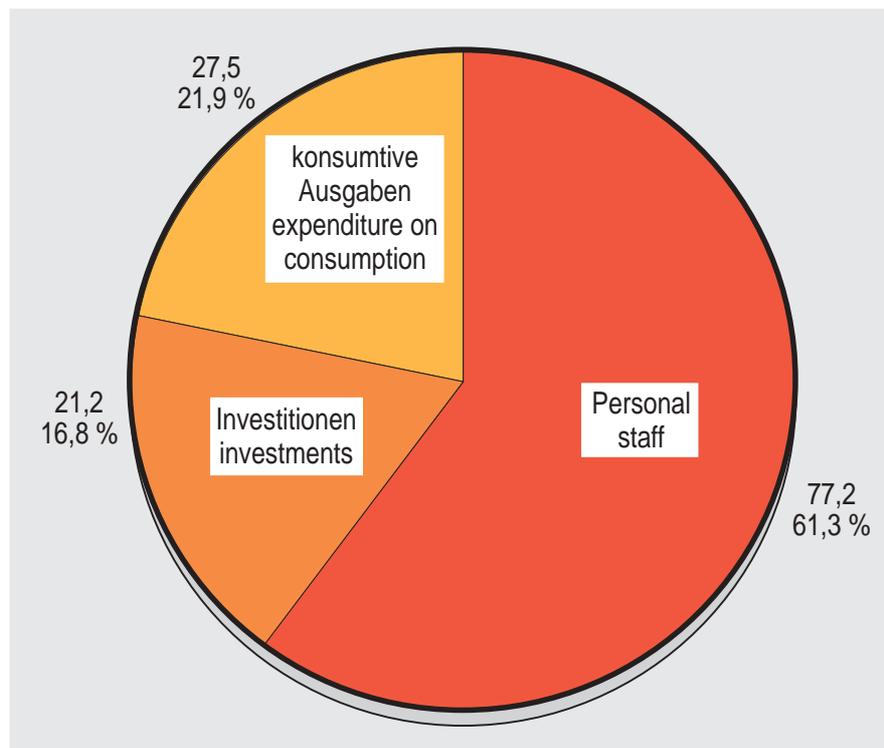
Haushalt: Gebühren • Budget: charges

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	2001	2002	2003	charges
Amtshandlungen und sonstige Gebühren	5874	5812	6232	official acts and repayment work; other fees
Prüfung und Zulassung von Spielgeräten von Prüfstellen (Elektrizität)	1523	1615	1492	tests and approvals of gaming machines of test centres (electricity)
Leistungen im Rahmen des DKD	334	245	388	services rendered within the framework of DKD
gesamt	1003	957	1423	
	8734	8629	9535	total

Haushalt: Ausgabenverteilung • Budget: break-down of expenditure



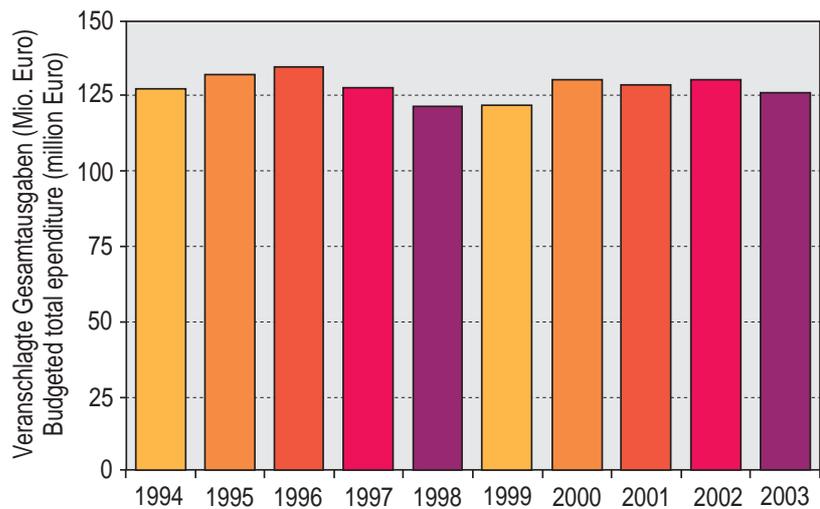
Die Grafik zeigt, wie sich im Berichtsjahr die veranschlagten Ausgaben verteilen (in Mio. Euro). Zum Vergleich nennt die Tabelle die Vergleichszahlen der letzten Jahre.

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	2001	2002	2003	budgetary means
Personalausgaben	73,7	75,8	77,2	staff costs
Investitionen (Bau und Geräte)	25,6	26,3	21,2	investments (building activities and instruments)
konsumtive Ausgaben	29,4	28,5	27,5	expenditure on consumption
gesamt	128,7	130,6	125,9	total

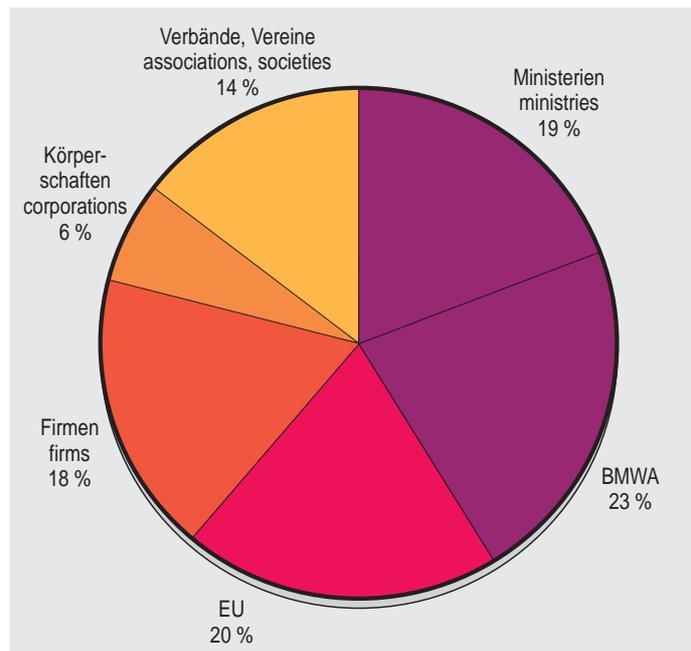
Haushalt: Entwicklung • Budget: development



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 2003 auf 5,8 Mio. Euro. Die Grafik gibt die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Quellen an. Insgesamt wurden im Berichtsjahr 9,8 Mio. Euro für 254 Drittmittelprojekte (Forschungsvorhaben und Projekte der Technischen Zusammenarbeit) verwendet (davon 2,3 Mio. Euro für 51 Projekte in Berlin). Hinzu kommen 20 Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit einem Gesamtvolumen von 650 000 Euro, davon 5 Sachbeihilfen mit 54 000 Euro in Berlin.



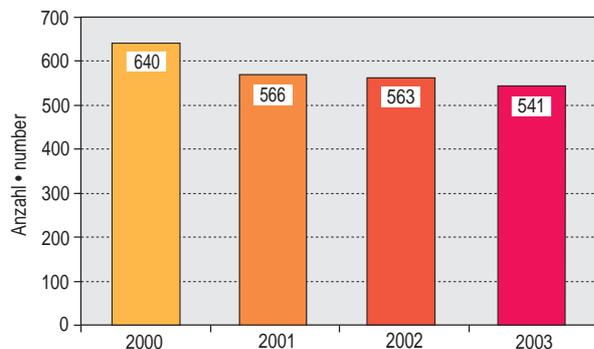
In 2003, the third-party funds for research projects added up to a total of 5,8 million Euro. The chart shows the contributions (in percent) from the different sources. In the year under review, a total of 9,8 million Euro were used for 254 third-party projects (research projects and technical cooperation projects), 2,3 million Euro of these for 51 projects in Berlin. Added to this are 20 contributions in kind from the Deutsche Forschungsgemeinschaft with an overall volume of 650 000 Euro, five of these contributions with a volume of 54 000 Euro for Berlin.

Umwelt: Verbrauchszahlen • Environment: consumption figures

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

... in Braunschweig		2001	2002	2003	
elektrische Energie	MWh	20 821	21 344	24 731	electrical energy
Wärme	MWh	22 812	23 820	26 380	heat
Gas	m ³	38 032	32 776	35 397	gas
Wasser	m ³	112 210	82 654	94 413	water
Abfälle:					waste produced:
hausmüllähnliche					
Gewerbeabfälle	t	103	93	119	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	241	255	275	recycled waste
Sonderabfälle	t	14	10	108	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	EUR	141 100	149 650	146 430	waste disposal costs (approx.)
... in Berlin		2001	2002	2003	
elektrische Energie	MWh	4391	3565	3250	electrical energy
Gas	m ³	5864	8643	47 500	gas
Wasser	m ³	45 662	31 510	29 500	water
Helium, flüssig	l	57 420	34 850	29 000	helium, liquid
Stickstoff, flüssig	l	76 554	53 000	61 000	nitrogen, liquid
Abfälle:					waste produced:
Reststoffe insgesamt (ca.)	t	350	255	235	residues, total (approx.)
hausmüllähnliche					
Gewerbeabfälle	t	25	26	28	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	300	215	195	recycled waste
Sonderabfälle	t	25	14	12	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	EUR	56 200	41 000	37 000	waste disposal costs (approx.)

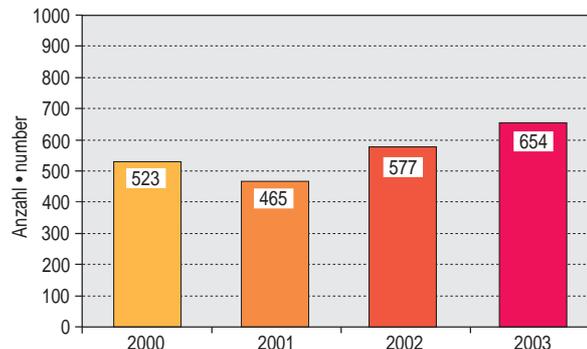
Veröffentlichungen • Publications



Anzahl der Veröffentlichungen der PTB-Mitarbeiter/innen (in wissenschaftlichen Journalen, Büchern, Tagungsbänden etc.) in den Jahren 2000 bis 2003 (vgl. Datenbank im Internet)

Number of publications by PTB staff members (in scientific journals, books, conference digests, etc.) between 2000 and 2003 (cf. database on the web)

Vorträge • Lectures



Anzahl der auswärtigen Vorträge, die PTB-Mitarbeiter/innen in den Jahren 2000 bis 2003 gehalten haben

Number of lectures held by PTB staff members outside PTB between 2000 and 2003

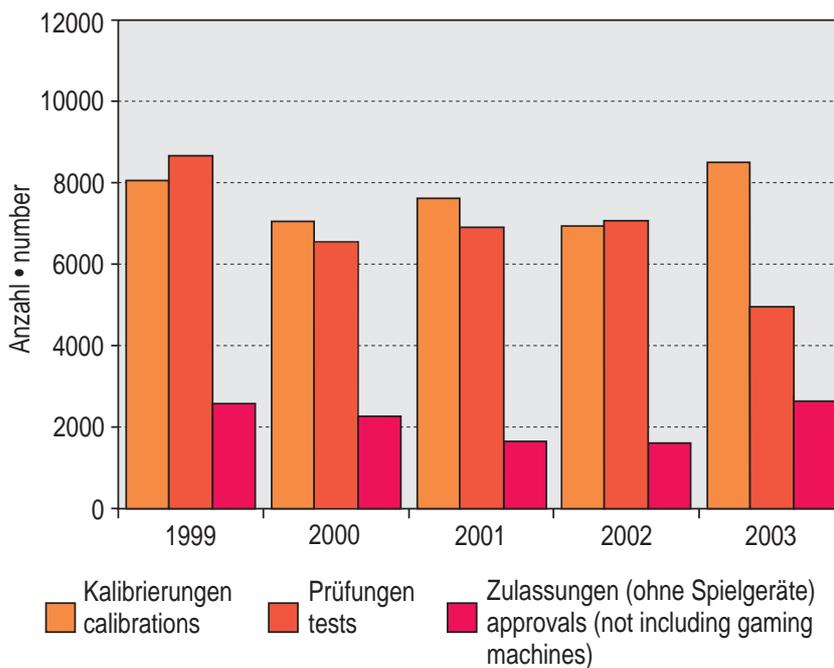
Aus dem Veranstaltungskalender • Events

	2001	2002	2003	
PTB-Seminare	10	7	11	PTB Seminars
Tagungen, Workshops, etc.	41	41	75	Conferences, workshops, etc.
Kolloquien	62	54	86	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).

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).

Kalibrierungen, Prüfungen, Zulassungen • Calibrations, tests, approvals



Calibrations, tests and approvals (as measurement tasks for consumer protection purposes and as services rendered to industry) are essential duties of PTB and their scope makes up a considerable part of the PTB's work. The approvals represented in the graph do not include the area of cash gaming and funfair machines. A total of 72 265 approvals were granted in this field in 2003 (above all for permanently installed gaming machines). (A survey of all calibrations, tests and approvals, classified by PTB Divisions, can be found in the Internet, on the PTB homepage).

Kalibrierungen, Prüfungen und Zulassungen (einerseits als messtechnische Aufgaben im Verbraucherschutz, andererseits als Dienstleistungen für die Industrie) gehören wesentlich mit zur PTB; allein ihr Umfang macht einen beträchtlichen Teil der Tätigkeiten der PTB aus. Bei den Zulassungen berücksichtigt die Grafik nicht den Bereich der Geld- und Warenspielgeräte. In diesem Bereich wurden 2003 insgesamt 72 265 Zulassungen (vor allem von Geldspielgeräteaufstellungen im stehenden Gewerbe) erteilt. (Eine nach den PTB-Abteilungen geordnete Aufstellung aller Kalibrierungen, Prüfungen und Zulassungen finden Sie im Internet, auf der Homepage der PTB).

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.

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.

Gastwissenschaftler, Gäste und Besucher

Im letzten Jahr kamen 624 Gäste und Gastwissenschaftler aus aller Welt zu Besuchen in die PTB: zum fachlichen Austausch und um an konkreten Forschungs- und Entwicklungsaufgaben mitzuarbeiten. Den größten Anteil hatten dabei Wissenschaftler aus Deutschland sowie aus den USA, Japan, China, Russland und Rumänien. (Eine namentliche Auflistung dieser Gastwissenschaftler und Gäste finden Sie im Anhang des Web-Jahresberichts.)

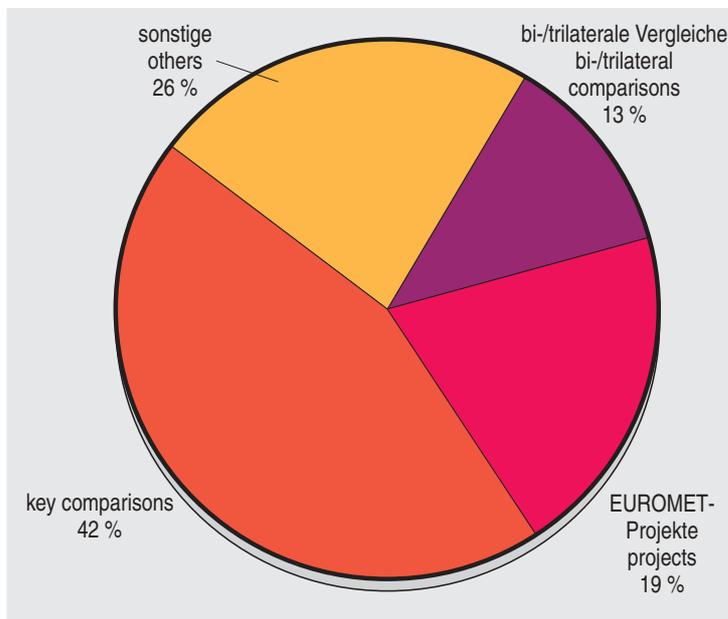
Auch der allgemeine Besucherdienst der PTB, im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit, fand wie gewohnt regen Zuspruch. 1194 Besucher (in 59 Gruppen) passierten die Tore der PTB und blickten den Wissenschaftlern in deren Laboratorien über die Schultern. Die meisten Besucher waren dabei Schüler, Studenten und interessierte Bürger. Zusätzlich wurden vier Lehrerfortbildungen organisiert, an denen insgesamt 160 Lehrer teilnahmen.

Guest scientists, guests and visitors

Last year 624 guests and guest scientists from all over the world came to the PTB to exchange technical knowledge and to cooperate in specific research and development tasks. Most of the scientists came from Germany, the U.S., Japan, China, Russia and Romania. (Their names can be found in the annex to the Annual Report on the Web.)

The general Visitors Service of the PTB which is embedded in the public relations work has again been much sought after. 1194 visitors (in 59 groups) passed through the gates of the PTB and watched the scientists working at their laboratories. Most visitors were school-children, students and other interested citizens. Also, four further teacher training courses were organized with a total of 160 teachers participating.

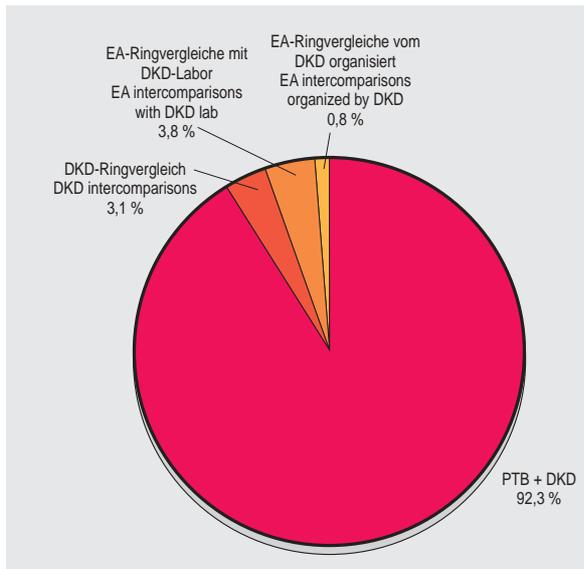
Internationale Vergleichsmessungen • International comparison measurements



In the year under review, the PTB participated in 78 comparison measurements, viz. 33 key comparisons, (organized by the Consultative Committees of the International Committee for Weights and Measures, CIPM), 15 regional comparisons within EUROMET, 10 bi-/trilateral comparisons and 20 other comparisons.

Die PTB nahm im Berichtsjahr an 78 Vergleichsmessungen teil und zwar an 33 Schlüsselvergleichen (key comparisons, organisiert von den Beratenden Komitees des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht, CIPM), 15 regionalen Vergleichen innerhalb von EUROMET, 10 bi-/trilateralen Vergleichen und 20 sonstigen Vergleichen.

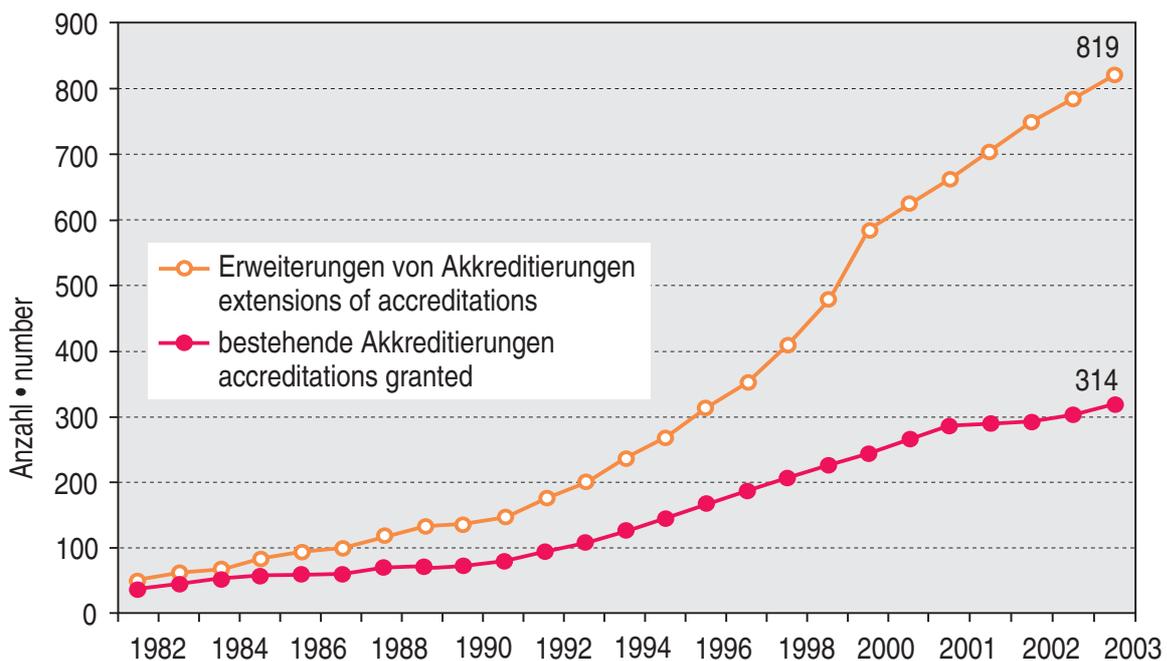
DKD-Vergleichsmessungen • DKD comparison measurements



Die im DKD akkreditierten Laboratorien (DKD-L) nahmen im Berichtsjahr an 130 Vergleichsmessungen teil. Den größten Anteil daran hatten 120 bilaterale Vergleichsmessungen zwischen der PTB und DKD-L, hinzu kommen vier DKD-Ringvergleiche mit mehreren DKD-L und der PTB als Referenzlaboratorium sowie EA-Ringvergleiche, die entweder vom DKD organisiert sind (1) oder an denen DKD-L teilnehmen (5).

In the year under review, the accredited DKD laboratories (DKDL) participated in 130 comparison measurements, the largest portion (120) being bilateral comparison measurements between PTB and DKDL. Added to this were four DKD intercomparisons involving several DKDL, with the PTB acting as the reference laboratory, as well as EA intercomparisons, either organized by DKD (1) or involving DKDL (5).

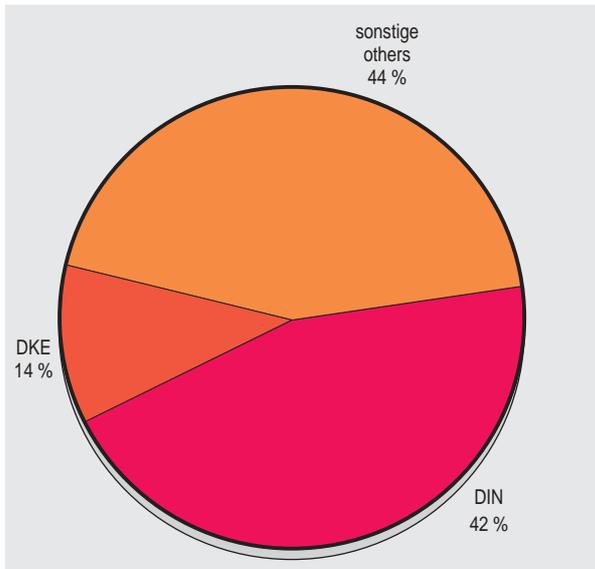
Deutscher Kalibrierdienst (DKD) • German Calibration Service (DKD)



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 31 Akkreditierungen im Berichtsjahr, denen neun 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 31 accreditations granted in the year under review and nine cancellations due, for example, to the merger of firms.

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

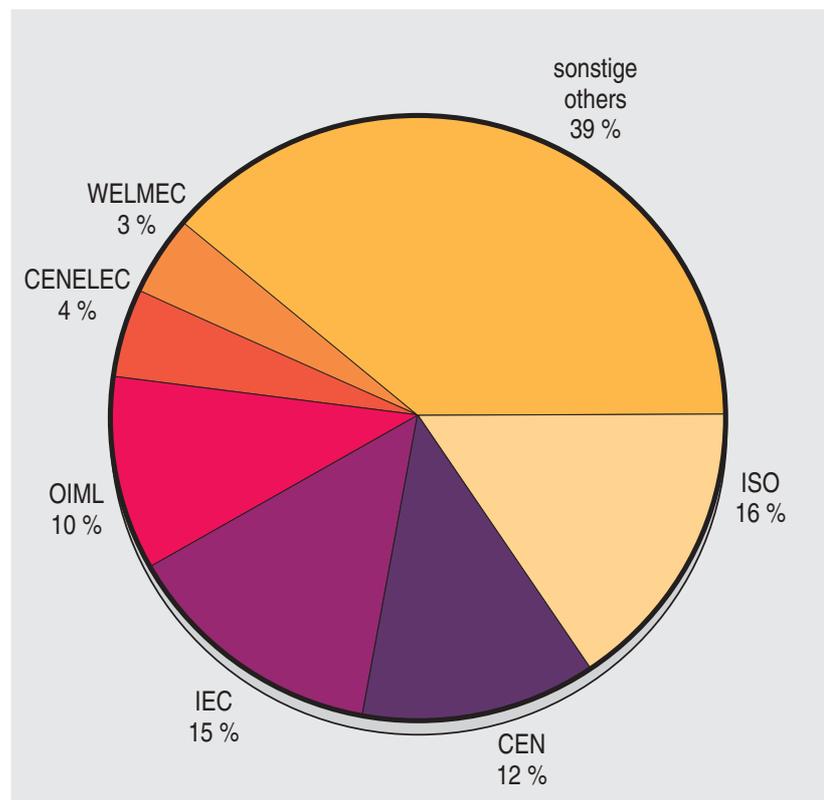


Prozentuale Verteilung der Gremienarbeit der PTB bei nationalen Normungsvorhaben. Innerhalb des *Deutschen Instituts für Normung e. V.* (DIN) war die PTB an 157 Normenvorhaben beteiligt, bei der *Deutschen Elektrotechnischen Kommission* (DKE) bei 53 Vorhaben.

Break-up of the PTB's committee work for national standardization projects (in percent). PTB cooperated in 157 projects of the *Deutsches Institut für Normung* (DIN) and in 53 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 294 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 294 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 und

Die Abteilung 1 *Mechanik und Akustik* besteht seit 1.8.2003 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-Basis-einheit der Masse werden abgeleitete Einheiten für Kraft, Drehmoment, Beschleunigung, Durchfluss, Schalldruck und Schalleistung realisiert und zugehörige Grundlagenforschung durchgeführt. Eine wichtige Aufgabe ist die Weitergabe dieser Einheiten an Kalibrierlaboratorien (DKD), Eichbehörden, Industrie und Anwender aus den Bereichen 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 MRA (Mutual Recognition Agreement) des CIPM (Comité International des Poids et Mesures) werden seit mehreren Jahren in verschiedenen Bereichen CIPM-Schlüsselvergleiche (Key Comparison) 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*.

Auf dem Gebiet der Präzisionsmassebestimmung konnten wesentliche Fortschritte bei der Reduzierung des Unsicherheitsanteils durch den Luftauftrieb erzielt werden. So gelang es im Rahmen des Projekts „Neubestimmung der Avogadro-Konstante“, die Unsicherheit der sehr großen Luftauftriebskorrektur zwischen den verwendeten 1-kg-Siliziumkugeln und Massennormalen aus Platin-Iridium bzw. Edelstahl durch den

Einsatz spezieller Auftriebskörper um mehr als den Faktor 5 gegenüber der herkömmlichen Methode zu verringern, bei der die Luftdichte aus den Temperatur-, Luftdruck-, Luftfeuchte- und CO₂-Messdaten nach der BIPM-Formel berechnet wird. Die ersten nach dieser Methode ausgewerteten Messungen ergaben z. B. für die Si-Kugel AVO#1 eine Masse von 1,000 914 862 kg bei einer erweiterten Messunsicherheit ($k = 2$) von 0,038 mg. Zusätzlich erfolgte erstmalig die gleichzeitige Massebestimmung von zwei Si-Kugeln (Bild 1). Die Massedifferenz der Kugeln AVO#1 und AVO#2 betrug hierbei 13,473 mg. Die erweiterte Messunsicherheit ($k = 2$) setzt sich in diesem Fall nur aus den Unsicherheitsanteilen der Waage und der verwendeten Halterungen bzw. Zulagen zusammen und beträgt nur noch 0,005 mg.

Die CCM-„Key Comparison“ CCM.M-K1 (Masse 1 kg), CCM.M-K2 (Masse 100 mg bis 10 kg) und CCM.M-K3 (Masse 50 kg) wurden mit 15 Staatsinstituten durchgeführt. Pilotlabor für den Vergleich CCM.M-K2 war das Masselabor der PTB. Die Ergebnisse der einzelnen Teilnehmer stimmen bis auf wenige Ausnahmen sehr gut überein. Alle Abweichungen der PTB-Werte von den Referenzwerten (z. B. 1 µg bei 1 kg) liegen deutlich innerhalb der berechneten Unsicherheiten.

Auf dem Gebiet der Bauartzulassung von Waagen konnte erstmals das 2001 abgeschlossene, bilaterale Kooperationsabkommen zwischen der PTB und der chinesischen Zertifizierungsbehörde AQSIQ erfolgreich angewendet werden. So wurde für einen deutschen Waagenhersteller die erste chinesische Bauartzulassung für eine nichtselbsttätige Waage erteilt, allein auf der Grundlage eines PTB-Prüfberichtes, d. h. ohne Wiederholung der Prüfungen durch ein chinesisches Prüflabor. Durch die bilaterale Zusammenarbeit mit China – bereits jetzt ein wichtiger Handelspartner Deutschlands – wird die stark exportorientierte deutsche Waagenindustrie mit

Titelbild
Messung der Lärmbelastung durch Spielzeuge mit Hilfe eines Kunstkopfes

Ind Akustik

einem Weltmarktanteil von mehr als 25 % zukünftig erhebliche Vorteile haben.

Im Rahmen des europäischen GROWTH-Projekts „MID-Software“ wurden in Vorbereitung auf die künftige EU-Messgeräterichtlinie MID erstmals europäisch einheitliche Softwareanforderungen für alle MID-Messgeräte erarbeitet. Diese behandeln u. a. für eichpflichtige Zwecke eingesetzte Personalcomputer, sichere Datenfernübertragung und das Nachladen eichpflichtiger Software. Die neuen Softwareanforderungen werden voraussichtlich 2004 in Form eines WELMEC-Leitfadens veröffentlicht und dann u. a. auch für nichtselbsttätige und selbsttätige Waagen gültig sein.

Die neue Arbeitsgruppe *Dynamisches Wiegen* arbeitete intensiv im europäischen GROWTH-Projekt „MID-Automatic Weighing Instruments“ mit. Ziel dieses Projekts ist es, ebenfalls im Hinblick auf die MID, die Prüfmodalitäten für selbsttätige Waagen weiter zu harmonisieren und unnötigen Prüfaufwand weitestgehend zu reduzieren.

Auf dem Gebiet des internationalen Vorschriftenwesens konzentrierten sich die Aktivitäten auf die Revision der metrologisch sehr bedeutsamen OIML-Empfehlung R76 für nichtselbsttätige Waagen. Nach Abstimmung über Änderungsvorschläge zahlreicher Mitglieder der OIML-Arbeitsgruppe TC9/SC1 wurde vom deutsch-französischen Co-Sekretariat ein erster Arbeitsentwurf vorgelegt, der zahlreiche Anpassungen aufgrund des technologischen Fortschritts enthält, z. B. Behandlung von Softwareanforderungen, PC als Auswertegeräte, Zulassung von vernetzten und modular aufgebauten Wägesystemen, fahrzeugmontierten Waagen, Waagenfamilien.

Die neue Arbeitsgruppe *IT-Wägetechnik* befasste sich mit der Einführung der neuen Technologien wie dem Nachladen eichpflichtiger

Software in geeichte Waagen und eichfähiger Datenübertragung über offene Netze. Einen Schwerpunkt bildeten dabei die Fragen der Kryptographie bei der Datenübertragung, wo erste Lösungsansätze gefunden wurden.

1.2 Festkörpermechanik

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

Im Bereich der Kraftmessung wurde die Erprobung der neuen 2-MN-Kraft-Normalmesseinrichtung (2-MN-K-NME) abgeschlossen. Die angegebene relative Messunsicherheit von $\leq 2 \cdot 10^{-5}$ wurde durch interne Vergleichsmessungen verifiziert. Damit kann die 2-MN-K-NME zukünftig wieder für Kalibrierungen und internationale Vergleichsmessungen eingesetzt werden.

Die neue Kraftmesseinrichtung für kleine Kräfte (10 mN bis 10 N) wurde um einen Rotationstisch erweitert, um den Kraftaufnehmer in unterschiedlichen Einbaustellungen mit Kräften belasten zu können. Somit können jetzt auch für kleine Kräfte Rotationseffekte, d. h. mögliche Wechselwirkungen zwischen Aufnehmer und Messeinrichtung, untersucht werden. Die Steuerung der Messeinrichtung und die Erfassung und Verarbeitung der Signale erfolgt rechnergestützt.

Die PTB übernimmt bei den internationalen Vergleichsmessungen (Key Comparison) als Pilotlabor den Kraftbereich für 1 MN bei den CIPM Key Comparisons und zusätzlich bei den anschließenden EUROMET Key Comparisons den Kraftbereich für 4 MN. Die dafür benötigten Krafttransfornormale wurden systematisch untersucht und ausgewählt. Um den Einfluss zwischen Kraftaufnehmer und Kraft-Normalmesseinrichtung (K-NME) zu berücksichtigen, wurden die Messungen auf der 1-MN-K-NME und auf der neuen 2-MN-K-NME durchgeführt.

In Industrie und Forschung werden dynamische Kräfte in unterschiedlichen Kraftbereichen unter verschiedensten Randbedingungen gemessen. Daher werden in der PTB die Messeinrichtungen und Messbereiche für dynamische Kräfte erweitert. Zur Erzeugung dynamischer Kräfte bis 10 kN wurde in der neuen Arbeitsgruppe *Periodische Kräfte* ein neues Schwingerregersystem aufgebaut und mit einem Luftlager zur Führung der Belastungsmassen kombiniert. Zur Reduzierung der Messunsicherheit wurden die interferometrischen Messverfahren und Auswertetechniken zur Messung der Beschleunigung auf die wirksamen Massen verbessert. Durch einen direkten Laserinterferometervergleich zwischen den Arbeitsgruppen *Kraft* und *Beschleunigung* wurde gezeigt, dass die relativen Abweichungen der Beschleunigungsmessung deutlich unter 0,1 % liegen.

Mit der Inbetriebnahme der 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung (Bild 2) können zukünftig Kalibrieranforderungen aus den Bereichen Schiffbau, Turbinen- und Generatorenbau, Antriebstechnik sowie bei der Bestimmung der Torsionssteifigkeit komplexer mechanischer Baugruppen erfüllt werden. Um den erforderlichen Messbereich $> 20 \text{ kN} \cdot \text{m}$ (Obergrenze der Drehmoment-skala der PTB über Direktbelastungseinrichtung) bis $1,1 \text{ MN} \cdot \text{m}$ mit einer Messunsicherheit $\leq 1 \cdot 10^{-3}$ zu realisieren, wurde die Anlage mit zwei Messbereichen ausgestattet (Bereich 1: $5 \text{ kN} \cdot \text{m}$ bis $220 \text{ kN} \cdot \text{m}$, Bereich 2: $50 \text{ kN} \cdot \text{m}$ bis $1100 \text{ kN} \cdot \text{m}$). Zur eindeutigen Bestimmung der wirkenden Hebelarmlängen erfolgt die Ankopplung der Kraftaufnehmer über messende Biegefedern und ermöglicht somit die Erfassung der erforderlichen Informationen zu den dem Drehmoment überlagerten Biegemomenten und Querkräften. Konstruktiv wurde die neue Messeinrichtung in vertikaler Bauform ausgeführt. Dies führte zu einer Reduzierung der erforderlichen Laborfläche und ermöglicht die Vergrößerung des Einbauraumes für die Kalibriergegenstände (max. 2 m Durchmesser und 4 m Länge). Mit der Integration störgrößenmessender Kraftübertragungselemente in das Messsystem wurde das Konzept der Erfassung einer verbesserten Information über die real wir-

kende mehrkomponentige Belastungsmatrix und damit mögliche Ausregelung der Einganggröße als hinreichend ungestörter Drehmomentvektor auch im Bereich größter Drehmomente erfolgreich umgesetzt.

In der Arbeitsgruppe *Ionenakkumulation* wurden am Ionenexperiment massenspektroskopische Untersuchungen über die Zusammensetzung des Ionenstrahls vorgenommen. Ein wichtiges Ergebnis war die Messung von Ladungsübergängen der Strahlionen als Funktion des Drucks in der Strahlführung. Es wurde festgestellt, dass der Strom der einfach geladenen Ionen mit ansteigendem Druck um einige Prozent abnimmt.

Weiterhin wurde die neue Ionenquelle, CHORDIS Ofen-Version, in Betrieb genommen. In ersten Experimenten konnte ein Strahlstrom von 11 mA Xenon bei einer Extraktionsspannung von 27 kV gemessen werden (Bild 3). Außerdem konnte der neue für die Wismutverdampfung vorgesehene Ofen erfolgreich getestet werden.

1.3 Kinematik

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

Auf dem Gebiet der Beschleunigung ist für die Kalibrierung von Laservibrometern die Erzeugung sinusförmiger Beschleunigungen mit Frequenzen von bis zu 60 kHz erforderlich. Mit Hilfe von FEM-Analysen und experimentellen Untersuchungen wurden die Bauformen und Materialien für einen geeigneten Hochfrequenz-Beschleunigungserreger (Bild 4) optimiert, um die Eigenresonanzen des Schwingteils weit oberhalb des Arbeitsfrequenzbereiches zu legen und die nicht-linearen Verzerrungen des sinusförmigen Beschleunigungsverlaufs zu minimieren. Realisiert wurde als Funktionsmodell ein elektrodynamischer Beschleunigungserreger mit luftgelagertem Berylliumschwingteil für den Frequenzbereich 1 kHz bis 50 kHz sowie ein ähnlich aufgebauter Beschleunigungserreger für den Bereich mittlerer Frequenzen von 5 Hz bis 5 kHz.



Bild 1: Ansicht des hydrostatischen 1-kg-Massekomparators mit zwei Siliziumkugeln



Bild 2: 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung

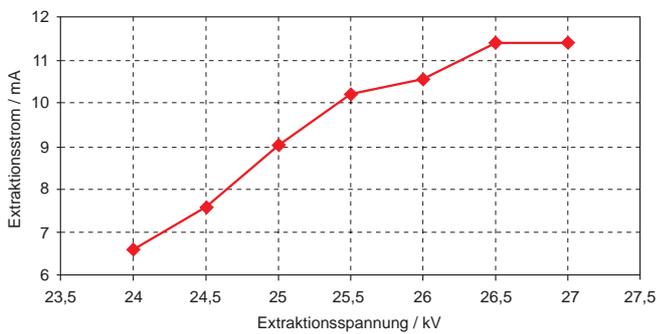


Bild 3: Extrahierter Xenongas-Ionenstrom aus der neuen CHORDIS-Ionenquelle in Abhängigkeit von der Extraktionsspannung

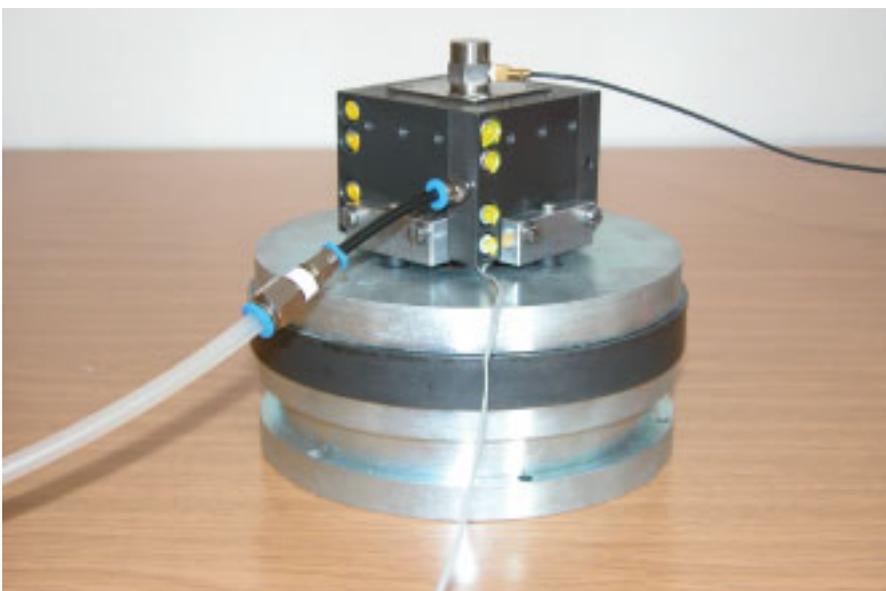


Bild 4: Elektrodynamischer Beschleunigungserreger mit luftgelagertem Berylliumschwingteil für den Frequenzbereich 1 kHz bis 50 kHz

An der Hochintensitäts-Stoßbeschleunigungs-Normalmesseinrichtung konnten durch Einsatz eines Hochgeschwindigkeitsvibrometers (80 MHz Braggzellenfrequenz) und eines Transientenrecorders mit Software zur Stoßsignalauswertung erste interferometrische Absolutkalibrierungen mit Beschleunigungsspitzenwerten von bis zu 100 km/s^2 ausgeführt werden.

In der neuen Arbeitsgruppe *Drehdynamik* wurde der Rotationsmessplatz als Bestandteil des Mehrkomponenten-Kalibriersystems für die interferometrische Messung der drei rotatorischen Bewegungsgrößen Winkelbeschleunigung, Winkelgeschwindigkeit und Drehwinkel mit einem Homodyn-Quadratur-Interferometer ausgestattet. Dadurch wurden erste Untersuchungen zum Übertragungsverhalten von Winkelbeschleunigungsaufnehmern im Frequenzbereich von 1 Hz bis 1,6 kHz möglich.

In der neuen Arbeitsgruppe *Stoßdynamik* wurde eine Kraftstoß-Kalibriereinrichtung in Betrieb genommen. Erste Untersuchungen bewiesen dabei bereits eine Funktionstüchtigkeit im Rahmen der zunächst angestrebten Messunsicherheit von ca. 1 %. Durch eine Kooperation mit dem Reinraumzentrum der PTB ergaben sich Optimierungsmöglichkeiten im Bereich der Laser-Doppler-Interferometrie, die zu einer weiteren deutlichen Verringerung der Messunsicherheit führten.

Auf dem Gebiet der *Dynamischen Druckmessung* mussten mit In-Kraft-Treten des neuen Waffen- und Beschussgesetzes zum 1. April 2003 infolge neuer gesetzlich vorgeschriebener Prüfungen und anderer gesetzlicher Aufgaben neue Prüfregeln aufgestellt werden. Zur Vorbereitung dieser Vorschriften wurden in Zusammenarbeit mit der BAM und der Industrie Messungen von Gasdruckimpulsen, die zum Antrieb von pyrotechnischer Notsignalmunition dienen, durchgeführt. Die Ergebnisse führten zu den technischen Anforderungen und der Ermittlung von Grenzwerten, die das Gefährdungspotenzial beim ordnungsgemäßen Umgang minimieren sollen und ihren Niederschlag in den entsprechenden Verordnungen zum Beschussgesetz und den Prüfregeln der PTB finden werden.

Für die Entwicklung eines Detektors für Weltraumschrott mit hoher Relativgeschwindigkeit zu Satelliten wurden die Möglichkeiten zur Beschleunigung von kleinen Partikeln (Masse $< 1 \text{ mg}$) auf Mündungsgeschwindigkeiten $> 2 \text{ km/s}$ erweitert. Das außenballistische Flugbahnverhalten der Stücke eines Treibspiegels, der die kleine Stahlkugel mit einem Durchmesser von 0,5 mm in der Beschleunigungsphase als Ganzes bis zur Mündung umgab, wurde in der Trenn- und Flugphase mit Hilfe einer Hochgeschwindigkeitskamera untersucht, um die Konstruktion des Treibspiegels und damit die Zielballistik zu optimieren.

Geschwindigkeitsmessgeräte arbeiten zunehmend fahrspurselektiv, um auch bei dichtem Verkehr auf mehrspurigen Straßen eine effektive Überwachung zu ermöglichen. Zur Prüfung derartiger Geräte hat die Arbeitsgruppe Geschwindigkeitsmessgeräte eine neue Referenzanlage für Geschwindigkeitsmessungen entwickelt, die mit fest in die jeweilige Fahrspur eingelassenen piezoelektrischen Drucksensoren arbeitet. Durch Verwendung neuartiger anisotroper Bauformen der Sensoren konnte die Störempfindlichkeit gegenüber früheren Sensoren deutlich verringert werden. Entsprechende Sensorensätze in zwei Fahrspuren einer Autobahn (A39 bei Wolfsburg) ohne Geschwindigkeitsbegrenzung bieten weltweit einzigartige Messmöglichkeiten im normalen Straßenverkehr.

Softwaregesteuerte digitale Signalverarbeitung gewinnt auch bei Fahrtschreibern immer größere Bedeutung, auch wenn die Aufzeichnung der Daten zunächst noch analog auf den üblichen Schaublättern erfolgt. Die Fahrtschreiber der neuesten Generation verfügen so über Manipulationsschutz durch Softwaremaßnahmen (kryptologische Verfahren mit individuellen Schlüsseln für die jeweiligen Kombinationen Fahrtschreiber/Wegimpulsgeber), über eine digitale Berechnung und Anzeige aktueller Wegstrecken- und Geschwindigkeitsmessdaten mit deutlich verringerten Messunsicherheiten und über eine Datenkommunikationsschnittstelle mit umfassenden Parametrierungs- und Statusabfragemöglichkeiten. Diesem Trend und der zunehmenden Vielfalt der Fahrtschreiberbau-

arten folgend müssen auch die zugehörigen Fahrtschreiberprüfgeräte immer komplexer werdende Mess- und Programmierfunktionen realisieren, so dass auch bei den Bauartprüfungen inzwischen Softwarefragen im Vordergrund stehen.

1.4 Gase

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

Der Fachbereich betreut das in Kooperation zwischen Ruhrgas-AG und Physikalisch-Technischer Bundesanstalt (PTB) betriebene nationale Normal der Bundesrepublik Deutschland für Hochdruckerdgas, pigsar, das um eine neue Prüfhalle erweitert wurde. Hier wird insbesondere eine innovative optische Methode zur Bestimmung des Volumens von Erdgas unter hohen Drücken realisiert, die eine weitere Verringerung der Messunsicherheiten erlaubt und damit die international führende Stellung von pigsar auf dem Gebiet der Gasmessung sichern hilft.

Durch die Erweiterung des Hochdruckprüfstands sind neue wissenschaftlich-technische Impulse für die Hochdruckmessung von Erdgas, einem wichtigen und umweltschonenden Primärenergieträger, zu erwarten. Im Anschluss an die diesjährige FLOMEKO, eine der international wichtigsten Tagungen auf dem Gebiet der Strömungsmesstechnik und Durchflussmetrologie, führte eine technische Tour am 16. Mai 2003 mehr als 90 internationale Gäste zu pigsar nach Dorsten. Im Rahmen der Veranstaltung wurde die neue Halle feierlich eingeweiht.

Ein weiterer Schwerpunkt der Informationsveranstaltung war die Vorstellung der von der PTB in enger Zusammenarbeit mit pigsar vorbereiteten internationalen Ringvergleiche der als nationale Normale arbeitenden Hochdruckprüfstände. Die von der CIPM initiierten Ringvergleiche sollen zu einem Abbau von Handelshemmnissen beitragen.

Das Prinzip der innovativen optischen Methode zur Bestimmung des Volumens von Erdgas unter hohen Drücken basiert unmittelbar auf der Definition des Volumenstroms,

der durch Integration der Strömungsgeschwindigkeit senkrecht zur kreisförmigen Austrittsfläche einer rotationssymmetrischen Düse, dem Kern des neuen optischen Durchflussnormals (Bild 5) bestimmt wird. Durch die Rotationssymmetrie der Düsenströmung lässt sich die Volumenstrombestimmung auf eine Geschwindigkeitsprofilmessung mit Hilfe eines Laser-Doppler-Anemometers zurückführen. Diese in der Arbeitsgruppe *Strömungsmesstechnik* entwickelte Methode wurde bereits bei dem in der PTB betriebenen optischen Primärnormal für die Durchflussmessung von Luft unter atmosphärischem Druck mit einer Messunsicherheit $< 0,1\%$ erfolgreich eingesetzt. Der optische Zugang für die Laser-Doppler-Anemometermessung erfolgt über zwei gegenüber liegende, für 100 bar ausgelegte Messfenster.

Das optische Verfahren auf Basis der Laser-Doppler-Anemometrie soll als Ergänzung zu dem existierenden Verfahren mit konventioneller Messtechnik beim nationalen Normal für Hochdruck-Erdgas erstmals die Möglichkeit bieten, kleine und große Gasmengen in einem einzigen Schritt bei allen Druckstufen mit einer angestrebten Unsicherheit von $0,1\%$ zu messen. Im Vergleich zu der bisher eingesetzten Rohrprüfstrecke, die als Primärnormal das Bezugnormal für die Weitergabe der Volumeneinheit von Hochdruck-Erdgas bei dem nationalen Normal „pigsar“ darstellt und Kalibrierungen für Durchflüsse über $480\text{ m}^3/\text{h}$ nur über Staffelfverfahren erlaubt, soll das optische Durchflussnormal ohne Staffelfverfahren durch eine direkte Kalibrierung den Arbeitsbereich des nationalen Normals für Durchflüsse über $480\text{ m}^3/\text{h}$ und Drücke von 8 bar bis 50 bar erweitern

Zur Vorbereitung der Umsetzung der Europäischen Messgeräte Richtlinie (MID) wurden im Bereich Gasmessgeräte Prüfprozeduren und Testberichte basierend auf den gegenwärtig vorliegenden Europäischen Normen und den einschlägigen OIML-Empfehlungen erarbeitet. Die Arbeiten sollen allen in Europa als „Benannte Stellen“ arbeitenden Einrichtungen als einheitliche Richtlinie für eine Konformitätsbewertung von Gaszählern und Mengenumwertern dienen.

Für die Kalibrierung von Messgeräten im industriellen Anwendungsbereich wurde ein Durchflusskomparator entwickelt, der insbesondere für die Darstellung von kleinen Durchflüssen geeignet ist. Das Gerät ermöglicht die Rückführung des Gasvolumens bzw. des Durchflusses auf die SI-Einheiten Länge und Zeit. Das Verfahren wurde patentiert und ermöglicht eine starke Verringerung der Unsicherheit im Durchflussbereich von 5 ml/h bis 5 l/h auf $U \leq 0,1 \%$ ($k = 2$).

1.5 Flüssigkeiten

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

Der Verantwortungsbereich des Fachbereichs umfasst die gesamte Aufgabenpalette, die im Zusammenhang mit der Mengen- und Durchflussmessung von Flüssigkeiten in Industrie, Forschung, Umwelt- und Gesundheitsschutz sowie internationaler Kooperation steht. Insbesondere auf Grund der enormen Flüssigkeitsmengen, die allein in Deutschland jährlich zu messen sind (z. B. 62 Millionen Tonnen Kraftstoff, 38 Millionen Tonnen Heizöl, 5500 Milliarden Liter Trinkwasser) besitzt dieser Aufgabenbereich eine wirtschaftlich außerordentlich hohe Bedeutung.

Mit dem Hydrodynamischen Prüffeld in der gleichnamigen neu gegründeten Arbeitsgruppe verfügt der Fachbereich nunmehr über das weltweit genaueste Normal der Flüssigkeitsmessung (Bild 6). Es arbeitet mit dem Messgut Wasser und erreicht in einem Durchflussbereich von 0,3 m³/h bis 2100 m³/h eine erweiterte Messunsicherheit von 0,02 % für die gravimetrische Kalibrierung eines Volumenmessgeräts. Erste Forschungsaufträge und Messaufgaben für die Industrie konnten im vergangenen Jahr sehr erfolgreich realisiert werden. Hervorzuheben ist hierbei insbesondere auch die erreichte Übereinstimmung der Messergebnisse des Hydrodynamischen Prüffelds medienübergreifend mit denen der Primärnormale des Mineralölzählerprüfstands. Schwerpunktmäßig konzentrieren sich die Arbeiten nun auf die Entwicklung messstabiler, medienunabhängiger Transfernormale, um die Messergebnisse von den hochgenauen Primärnormalen der PTB mit minimalem

Genauigkeitsverlust an die nachgeordneten Normale und Messgeräte weitergeben zu können.

Neben den bereits genannten Primärnormalen für Wasser und Mineralöl besitzt der Fachbereich eine Reihe weiterer Normalmesseinrichtungen, wozu z. B. der Kleinstmengenprüfstand für extrem zähe Flüssigkeiten mit Viskositäten bis zu 2000 mPa · s und das Primärnormal für kleine statische Volumina bis 100 Liter gehören. Letzteres wurde im vergangenen Jahr durch ein Laser-Wegmess-System für die automatische Erfassung der Waagenanzeige erweitert, wodurch die Messunsicherheit für Volumina zwischen 1 Liter und 100 Liter auf den internationalen Spitzenwert von 0,004 % nachweisbar verringert werden konnte.

Besondere Anstrengungen wurden aber auch auf dem Gebiet des gesetzlichen Messwesens unternommen, um die Einführung der neuen Europäischen Messgeräte Richtlinie MID vorzubereiten. Dies betraf nicht nur die aktive Mitarbeit in den verschiedenen Arbeitsgruppen innerhalb der PTB, sondern auch intensive Diskussionen mit Herstellern sowie in den entsprechenden nationalen und internationalen Gremien. Ebenso wurden zur Sicherung der internationalen Marktfähigkeit von Produkten mit hochwertiger neuartiger Mess- und Sensortechnik verschiedene Normungsarbeiten initiiert, z. B. die Erarbeitung von messtechnischen Anforderungen an Volumenmesssysteme auf Tankwagen auf der Basis von neuartigen Füllstandsmessgeräten im Rahmen der OIML.

1.6 Schall

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

Das Aufgabenspektrum des Fachbereichs erstreckt sich von der Darstellung und Weitergabe der Einheiten des Schalldrucks und der Schallleistung über Prüfungen, Kalibrierungen und Zulassungen bis hin zu Forschungsaufgaben mit medizinischen und sicherheitsrelevanten Zielsetzungen. Arbeitsschwerpunkte sind zurzeit die Erweiterung des Frequenzbereichs bei der Darstellung der

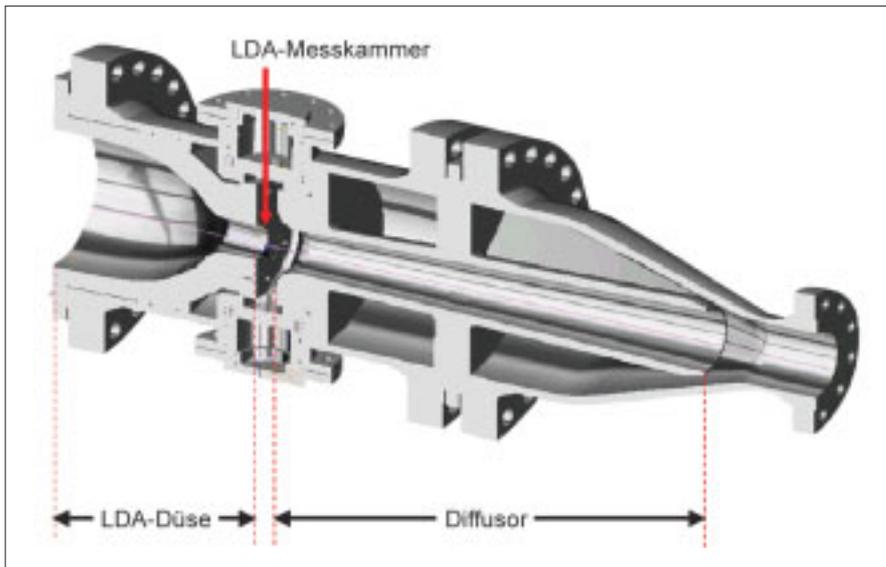


Bild 5: Schematische Darstellung des „Kerns“ des neuen optischen Durchflussnormals für Hochdruck-Erdgas auf dem nationalen Normalpigsar



Bild 6: Messstrecken und Wägesystem des Hydrodynamischen Prüffelds

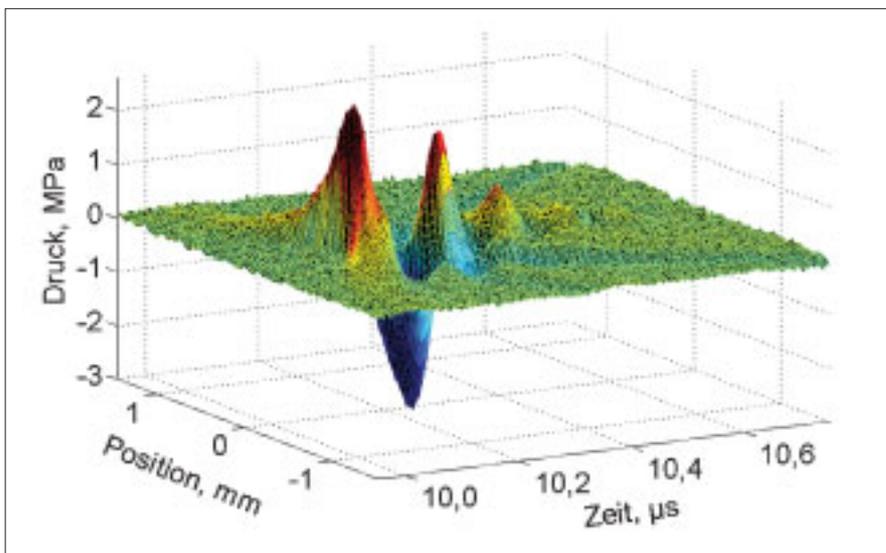


Bild 7: Interferenzoptisch aufgenommener Linienscan des Schalldruckverlaufs im Fokus eines Ultraschall-Sendewandlers

Schalldruckeinheit für Luftschall von 20 kHz auf 150 kHz und für Ultraschall im Wasser von 20 MHz auf 70 MHz.

Im Rahmen der Produktsicherheit von Spielzeugen gelangt auch eine mögliche Gehörgefährdung durch von ihnen ausgehende Schallemissionen in den Blickpunkt. Seit der Herausgabe der Neufassung der Norm DIN-EN 71-1, Sicherheit von Spielzeug – Teil 1: „Mechanische und physikalische Eigenschaften“ im Jahr 1998 ist neben der allgemeinen Produkthaftung entsprechend der EG-Richtlinie 92/59 ein weiteres wichtiges Druckmittel zur Vermeidung von Gehörschäden entstanden. Viele Spielzeuge sind vom akustischen Standpunkt aus als ohрнаhe Schallquellen zu betrachten, bei denen die Interaktion zwischen dem Schallerzeuger und dem Ohr messtechnisch berücksichtigt werden muss, um die Belastung des Gehörs einschätzen zu können. In der DIN-EN 71 wird für die Spielzeuge mit Kopfhörer die Verwendung von einfachen künstlichen Ohren zum Beispiel nach IEC 60126 oder nach IEC 60318 vorgeschrieben. Für bei Spielzeugen mit Kopfhörer mittlerweile vorherrschende Concha-Hörer („Ohrstecker“) sind diese Kuppler jedoch nicht geeignet. Als einziger Ausweg bietet sich hier derzeit der Einsatz von Kunstköpfen, die für ohрнаhe Schallquellen geeigneten sind, an. Ein Beispiel mit einem typischen Spielzeug zeigt das Titelbild der Abteilung.

Die Erweiterung der räumlich eindimensionalen Ultraschalldetektion auf zwei Dimensionen hat sich technisch als sehr schwierig erwiesen. Optische Methoden, die aus physikalischen Gründen eine parallele Signalzeugung und -verarbeitung ermöglichen, bieten hier neue Lösungsmöglichkeiten. So wurden in der Arbeitsgruppe *Ultraschall und Medizin* neuartige interferenzoptische Sensoren entwickelt, die mit Hilfe verschiedener Abtastmethoden eine räumlich zweidimensionale Ultraschallmessung ermöglichen. Bild 7 zeigt den Linienscan der Schallfeldverteilung eines fokussierenden Wandlers, wobei waagrecht die Ortskoordinate und senkrecht die Zeit aufgetragen sind. Eine zweidimensionale Abbildung wird aus solchen Linienscans zusammengesetzt. Damit ergeben sich neue Möglichkeiten für die Bestimmung des Schalldrucks in einer Ebene, wie sie für die von internationalen Normen

und Vorschriften geforderte Charakterisierung von medizinischen Ultraschallgeräten notwendig ist.

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. Mit der Entwicklung geeigneter Verfahren ist die neue Arbeitsgruppe Schallfelder befasst. Im Zuge der Erweiterung des Frequenzbereichs bei der Darstellung der Schalldruckeinheit für Luftschall waren die von Ultraschalllautsprechern abgestrahlten Schallfelder zu untersuchen. Dazu wurde das Schalldruckprofil unmittelbar vor der Lautsprechermembran laserinterferometrisch gemessen und anschließend das dreidimensionale Schallfeld nach der Punktquellenmethode numerisch bestimmt. Bild 8 zeigt das gemessene Schalldruckprofil an der Lautsprechermembran sowie das errechnete Schalldruckprofil im Abstand von 100 mm von der Schallquelle. Die so gewonnenen Ergebnisse werden für die Beurteilung geeigneter Ultraschalllautsprecher für Sekundärkalibrierungen herangezogen.

1.7 Angewandte Akustik

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

Den Schwerpunkt der Tätigkeit in der Arbeitsgruppe *Bauakustik* bildet die Neu- und Weiterentwicklung von Messverfahren zur Bestimmung akustischer Kenngrößen. Dazu gehören neben den üblichen bauakustischen Größen wie z. B. dem Schalldämm-Maß, dem Norm-Trittschallpegel und den verschiedenen Verbesserungsmaßen auch Emissionskenngrößen wie die Schallleistung oder der Emissions-Schalldruckpegel sowie der Absorptionsgrad. Neben diesen traditionell bearbeiteten Themen werden neuerdings Grundlagenuntersuchungen zur Körperschallanregung und -weiterleitung durchgeführt. Als Dienstleistungen werden u. a. Prüfungen von Norm-Hammerwerken und Lautsprechern für die Bauakustik, Kalibrierungen von Installations-Geräuschnormalen, Diffusfeld-Kalibrierungen von Mikrofonen, Kalibrierungen von Referenzschallquellen im Hallraum

(Bild 9), und im Halbfreifeldraum, Prüfungen von reflexionsarmen Räumen sowie Schall-emissionsmessungen angeboten. Zudem ist die PTB vom *Deutschen Institut für Bautechnik* (DIBt) mit der technischen Überwachung der amtlich zugelassenen Schallschutz-Prüfstellen betraut worden, wozu regelmäßige Vergleichsmessungen in den Prüfständen der Arbeitsgruppe stattfinden.

Ein Aufgabenschwerpunkt der Arbeitsgruppe *Geräuschmesstechnik* ist die Zulassungs- bzw. Bauartprüfung von Schallpegelmessern. Darüber hinaus werden zurzeit die akustischen, elektrischen, Klima- sowie EMV-Prüfungsalgorithmen gemäß den Vorschriften der neuen Norm DIN EN 61672 für Schallpegelmesser erarbeitet. Ziel ist es, Bauartprüfungen nach der Norm DIN EN 61672 ab Anfang 2005 durchzuführen. Im Rahmen der Einführung der neuen Prüfverfahren werden die verschiedenen Prüfabläufe weiter optimiert. Im Zusammenhang mit der Präzisionskalibrierung von Freifeld-Labornormalmikrofonen ist geplant, Mikrofonkalibrierungen bis 100 kHz durchzuführen. Das benötigte Referenz-Mikrofon wird zu gegebener Zeit vom Fachbereich *Schall* zur Verfügung gestellt. Weitere Aufgaben der Arbeitsgruppe *Geräuschmesstechnik* sind die Durchführung von Geräuschmessungen sowie die Bestimmung der Schallleistung und -intensität von Maschinen und Anlagen.

Die Mitarbeiter der Arbeitsgruppe *Raumakustik* befassen sich vornehmlich mit der Analyse von Schallfeldern in Räumen, wobei insbesondere die modalen Strukturen und das Verhalten bei tiefen Frequenzen im Mittelpunkt stehen. Daneben werden Arbeiten zur Synthese von Schallfeldern und zur Auralisation durchgeführt, was eine psychoakustische Bewertung der wahrgenommenen akustischen Signale ermöglicht. Erst dadurch kann z. B. die akustische Wirksamkeit baulicher oder anderer emissionsmindernder Maßnahmen empfindungsgerecht beurteilt werden.

Die schnelle Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten steht im Mittelpunkt der Arbeiten innerhalb der Arbeitsgruppe *Wärmeleitung*. Darüber hinaus werden Referenzmaterialien entwickelt und Untersuchungen zur Wärmeleitfähigkeit von Flüssigkeiten angestellt.

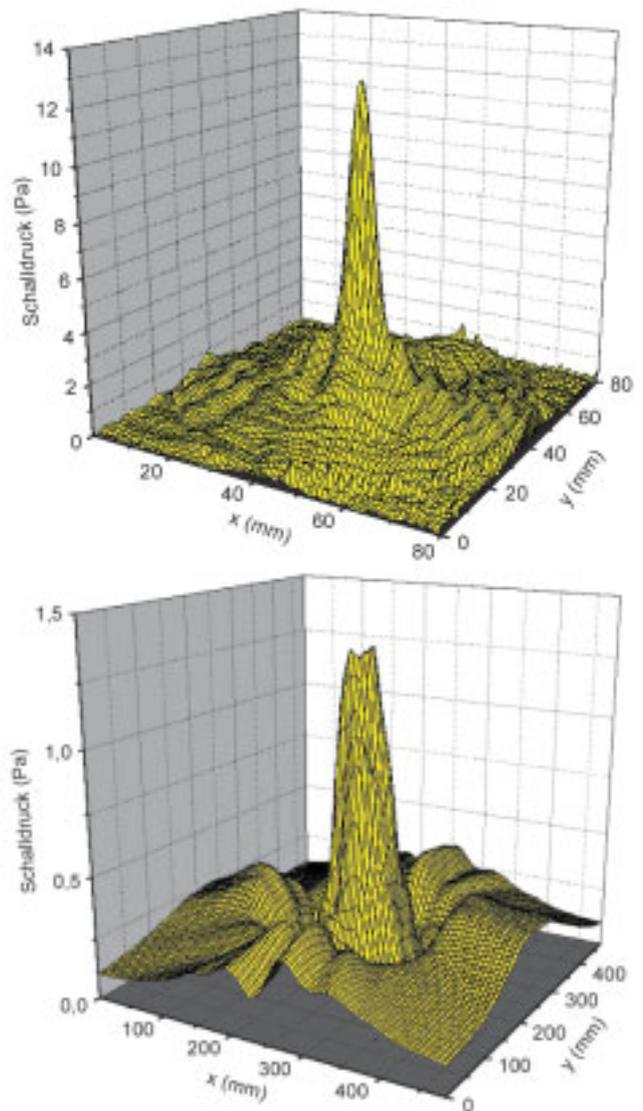


Bild 8: Schalldruckprofil eines Ultraschall-Lautsprechers unmittelbar vor der Lautsprechermembran (oben) und errechnetes Schalldruckprofil im Abstand von 100 mm (unten)



Bild 9: Rechtwinkliger Hallraum der PTB mit Diffusor, der bei Messungen rotiert

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Massebestimmung von 1-kg-Siliziumkugeln mit kleinstmöglicher Unsicherheit

Für die Verwendung als Dichtenormale und zur Bestimmung der AVOGADRO-Konstante erfolgte die Massebestimmung von 1-kg-Silizium-Kugeln mit einer erweiterten Messunsicherheit ($k = 2$) von 0,038 mg und die Differenzwägung von zwei Si-Kugeln mit einer erweiterten Messunsicherheit von 0,005 mg. (Ansprechpartner: M. Borys, AG 1.11, michael.borys@ptb.de)

Erprobung der weltgrößten Drehmoment-Kalibriereinrichtung (1,1-MN · m-Dm-NME)

Eine neue 1,1-MN · m-Drehmoment-Normalmesseinrichtung wurde in Betrieb genommen und befindet sich zurzeit in der Erprobungsphase. Mit dieser Einrichtung können auf längere Sicht die Anforderungen an die nationale Drehmomentskala auch auf dem Gebiet der internationalen Zusammenarbeit erfüllt werden. Kalibrieranforderungen in diesem Messbereich kommen im Wesentlichen aus dem Schiffbau, dem Turbinen- und Generatorbau, der Antriebstechnik sowie bei der Bestimmung der Torsionssteifigkeit komplexer mechanischer Baugruppen. (D. Peschel, AG 1.22, diedert.peschel@ptb.de)

Erweiterung der Kraftskala von 1 mN bis 5 N

Die zunehmende Miniaturisierung in der Mikrosystemtechnik und Nanotechnologie erfordert von der dimensionellen Messtechnik rückführbare Antastkräfte im mN-, μ N- und nN-Bereich. Eine Prüfeinrichtung für den Bereich von 1 mN bis 5 N erlaubt über eine modifizierte Kompensationswaage den Anschluss an die Masseskala, durch die Integration eines Rotationstisches können Wechselwirkungen zwischen Messeinrichtung und zu untersuchendem Kraftaufnehmer erfasst werden.

(S. Niehe, AG 1.22, stefan.niehe@ptb.de)

Fortschritte beim Experiment Ionenakkumulation

Nach dem Umzug des Experiments Ionenakkumulation in den Gauß-Bau wurde mit der bisherigen Ionenquelle ein maximaler Goldionenstrom von 800 μ A erzielt. Nach weiteren Untersuchungen zu Umladungsvor-

gängen, die Rückschlüsse über den Anteil von im Ionenstrahl zu erwartenden Neutralpartikeln zulässt, wurde die neue Ionenquelle für Wismut in Betrieb genommen, die einen deutlich höheren Ionenstrom als mit Gold erwarten lässt. Es wurden Voruntersuchungen zur Hochspannungsfestigkeit der Quelle und zum Temperaturverhalten des Wismutofens durchgeführt sowie ein erster Ionenstrahl von 7 mA mit Xenon erzeugt. (C. Schlegel, AG 1.24, christian.schlegel@ptb.de)

Neue Miniaturgeschosse für Geschwindigkeiten über 1 km/s

Durch die Entwicklung von speziellen Messläufen und Treibspiegeln gelang es, Stahlkugeln von 1/2 mm Durchmesser auf eine Geschwindigkeit von 2 km/s zu beschleunigen. Dies erweitert die Möglichkeiten zur Prüfung und Erprobung von Lichtschranken und Impaktdetektoren für schnell fliegende Partikel, wie sie z. B. im Weltraum als Gefährdung von Satelliten auftreten. (E. Franke, AG 1.33, ernst.franke@ptb.de)

Einsatz von Frequenzmodulationstechniken in der Doppler-Global-Velozimetrie: neue Möglichkeiten zur Untersuchung instationärer Strömungsfelder

Frequenzmodulationstechniken ermöglichen in der Doppler-Global-Velozimetrie neben einer deutlichen Vereinfachung der Messanordnung eine zeitaufgelöste Messung instationärer Strömungsvorgänge mit Unsicherheiten von bereits unter 0,5 m/s. (H. Müller, AG 1.41, harald.mueller@ptb.de)

Pipetten-Prüfstand in neuen Räumlichkeiten

Die herausragend geringe Messunsicherheit des Pipetten-Prüfstandes von 0,004 % wurde durch die Umsetzung in einen klimatisierten Raum und durch die Integration einer optoelektronischen Messwerterfassung sichergestellt. (H. Többen, AG 1.51, helmut.toebben@ptb.de)

Das Hydrodynamische Prüffeld – Qualitätssicherung durch leittechnische Überwachung der Messprozesse

Als wichtige Schritte zum Nachweis und zur Erreichung der geplanten erweiterten Messunsicherheit von 0,02 % wurden im vergan-

genen Jahr an messtechnisch relevanten Teilen des Hydrodynamischen Prüffelds, speziell an den Umschaltvorrichtungen der gravimetrischen Normale, Messungen durchgeführt und die entsprechenden Justierungen zwecks Minimierung der Umschaltzeitfehler vorgenommen.

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

Primärverfahren zur Freifeld-Reziprozitätskalibrierung von Mikrofonen im Ultraschallbereich

Ist Luftschall oberhalb des Hörbereichs geschädigend? Erweiterung der Frequenzgrenze für die Primärkalibrierung von Mikrofonen auf 150 kHz. (N. Bouaoua, AG 1.61, nourreddine.bouaoua@ptb.de)

Interferenz-optische Ultraschallmessung in zwei Raumdimensionen – ein weiterer Schritt Richtung Ultraschall-Messkamera

Interferenz-optischer Sensor ermöglicht räumlich zweidimensionale Messung des Schalldrucks in Flüssigkeiten. (M. Klann, AG 1.62, martin.klann@ptb.de)

Membranhydrophon mit anpassungsfähiger lateraler Auflösung für die Charakterisierung von Ultraschallfeldern

Das in der PTB entwickelte Quadranten-Membranhydrofon eröffnet neue Perspektiven für die Untersuchung von Ultraschallfeldern. (R. Reibold, FB 1.6, rainer.reibold@ptb.de)

Lichtbeugung an zwei überlagerten Ultraschallfeldern mit dem Frequenzverhältnis 1:2

Ein Schritt hin zur berührungslosen Messung nichtlinearer Ultraschallfelder. (R. Reibold, FB 1.6, rainer.reibold@ptb.de)

Teilnahme an einem Ringvergleich zur Ermittlung der Messunsicherheit bei Geräuschemessungen an Armaturen

Im Rahmen eines internationalen Ringvergleichs wurde der Installationsprüfstand des Fachbereichs dem neuesten Stand der Normung angepasst. Die dabei gewonnenen Erkenntnisse geben Anlass zu einer weiterführenden Erforschung dieses Messverfahrens. (H. Bietz, AG 1.71, heinrich.bietz@ptb.de)

Unsicherheiten bei der Bestimmung des Emissionsschalldruckpegels

Eine theoretische Analyse der Bestimmung

eines A-bewerteten Schalldruckpegels in einem Halbfreifeldraum zeigte, dass die Unsicherheit bei tonalen Geräuschen im Wesentlichen durch die verbleibenden Raumreflexionen bestimmt ist, während bei breitbandigen Quellen die Eigenschaften des Schallpegelmessers dominieren. (V. Wittstock, AG 1.71, volker.wittstock@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Spannungsaufnehmer für die Bauwerksüberwachung

Dem Fachgebiet Bauwerkserhaltung wird international zunehmend mehr Aufmerksamkeit geschenkt. Mit wachsender Anzahl und zunehmendem Alter der existierenden Bauwerke steigen auch deren Erhaltungskosten. Zum Zweck der Reduzierung dieser Kosten wurde ein Sonderforschungsbereich durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft eingerichtet. Die PTB ist dabei mit einem Teilprojekt beteiligt, das die Entwicklung eines neuartigen Sensors zum Ziel hat. Der Sensor soll das Monitoring von lokalen Spannungszuständen im Bauwerk über einen langen Zeitraum ermöglichen. (F. L. Tegtmeier, A 1, falk.tegtmeier@ptb.de)

Mehrkomponenten-Referenzmesseinrichtung

Im Rahmen der messtechnischen Untersuchung der Mehrkomponenten-Referenzmesseinrichtung zur Darstellung und Messung von räumlich beliebig gerichteten Kräften (bis 10 kN) und Momenten (bis 1 kN · m) wurden die geometrischen Parameter der Hexapoden auf der Antriebs- und der Messseite bestimmt. Die Kraftaufnehmer in den Messpoden wurden mit Zug- und Druckkraft sowie mit Wechselkraft kalibriert. Weitere Untersuchungen dauern derzeit noch an. (D. Röske, FB 1.2, AG 1.22, dirk.roeske@ptb.de)

Kalibrierungen mit Stoßbeschleunigungsspitzenwerten von 100 km/s²

Der im Jahre 2002 fertiggestellte Stoßbeschleunigungserreger wurde durch Erweiterung mit einem modifizierten Hochgeschwindigkeits-Laservibrometer und einem rechnergestützten Transientenrecorder zur Stoß-Beschleunigungs-Normalmesseinrichtung 100 km/s² ausgebaut und für erste Kalibrierungen von Stoßbeschleunigungsaufnehmern eingesetzt. (W. Wabinski, AG 1.31, wolfgang.wabinski@ptb.de)

Stoßkräfte werden mit Laser-Doppler-Interferometern rückführbar gemessen

Eine in der PTB entwickelte und gefertigte Kraftstoß-Kalibriereinrichtung stellt neuerdings die messtechnische Basis bereit, um rückgeführte Messungen mit stoßförmigen Kräften an ausgewählten Referenz-Kraftaufnehmern durchzuführen. Die für Kräfte bis 20 kN ausgelegte Einrichtung wurde inzwischen aufgebaut, justiert, in Betrieb genommen und ersten Tests unterzogen. (T. Bruns, AG 1.34, thomas.bruns@ptb.de)

Neue Aspekte bei der Qualifikation reflexionsarmer Räume

Eine experimentelle Untersuchung in der PTB hat gezeigt, dass es trotz erfolgreicher Abnahmemessung in reflexionsarmen Räumen zu Abweichungen zwischen schalldruckbestimmten Schalleistungen kommen kann, die weit größer sind, als es für Präzisionsmessungen zulässig ist. (V. Wittstock, AG 1.71, volker.wittstock@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Chinesische Waagenzulassung für deutsche Hersteller

Anfang des Jahres erfolgte die Ausstellung der ersten chinesischen Bauartzulassung für eine deutsche Waage aufgrund des PTB-AQSIQ-Abkommens zur gegenseitigen Anerkennung von Messergebnissen. (P. Zervos, AG 1.12, panagiotis.zervos@ptb.de)

Parallelbetrieb von Verkehrsradargeräten im Brückenbetrieb

Es wurde eine praxisnahe Lösung für den von Betreibern seit langem gewünschten fahrspur-selektiven Parallelbetrieb von Verkehrsradargeräten im Brückeneinsatz gefunden. Dabei war insbesondere eine gegenseitige Beeinflussung der Geräte bei der Messwertbildung und/oder Messwertzuordnung zuverlässig zu verhindern. (F. Jäger, FB 1.3, frank.jaeger@ptb.de)

Kritische Düsen im Hochdruck-Erdgas

Kritische Düsen können zukünftig als Prüfstand- und Transfornormale im Hochdruck-Erdgas mit geringeren Messunsicherheiten als bisher eingesetzt werden. (B. Mickan, AG 1.43, bodo.mickan@ptb.de)

Abhängigkeit der Bezugs-Hörschwelle für Hirnstamm-Audiometer von der Wiederholrate von Clicks

Das Hörvermögen von Neugeborenen lässt sich jetzt mit Hilfe von Hirnstamm-Audiometern mit einer Signal-Wiederholrate von 100 Hz erheblich schneller und störungsfreier ermitteln. (U. Richter, AG 1.61, utz.richter@pt.de)

Verbesserte Schallfeldmessung an Sonografiegeräten

Schallfeldmessung an Sonografiegeräten durch neue Hydrofonkalibrierungstechnik verbessert und damit die Sicherheit erhöht. (V. Wilkens, AG 1.62, volker.wilkens@ptb.de)

Gehörschäden durch Kuscheltiere? Spielzeuge als „ohrnahe Schallquellen“

Entwicklung und Anwendung gehörgerechter akustischer Messverfahren zur Verhinderung von Gehörschäden. (T. Fedtke, AG 1.61, thomas.fedtke@ptb.de)

Ursachen abweichender Messergebnisse aus normgerechten Schalldämm-Prüfständen

Als wesentliche Ursache für signifikante Abweichungen zwischen gemessenen Schalldämm-Maßen konnte die Schiefwinkligkeit der Messräume und die damit verbundene Schallfeldinhomogenität in Kombination mit modalen Eigenschaften des Prüfobjekts identifiziert werden. (W. Scholl, FB 1.7, werner.scholl@ptb.d)

Projekt zur Untersuchung von Dämpfungsmechanismen in der Bauakustik

Der Einfluss verschiedener Dämpfungsmechanismen auf die Schalldämmungsmessung im bauakustischen Prüfstand soll genauer untersucht werden. Dazu werden sowohl numerische Simulationsmethoden als auch Messungen an skalierten Modellen eingesetzt. (C. Kling, AG 1.71, christoph.kling@ptb.de)

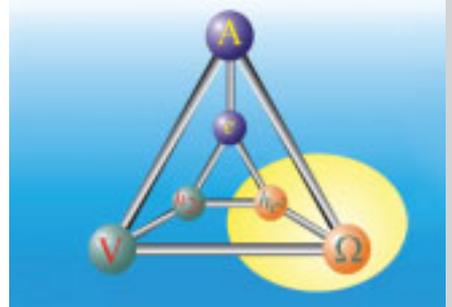
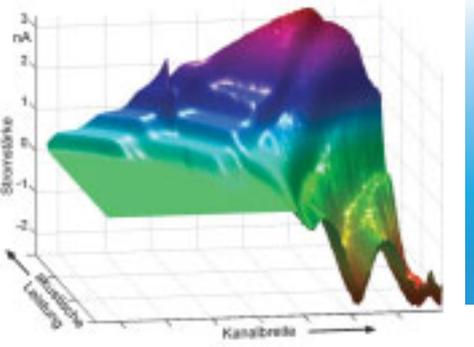
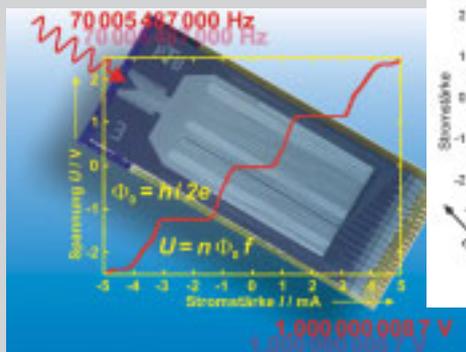
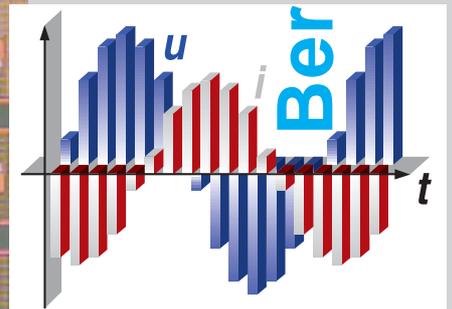
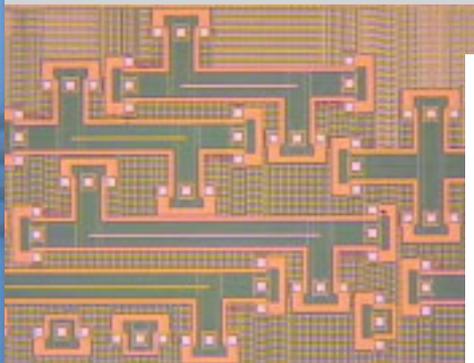
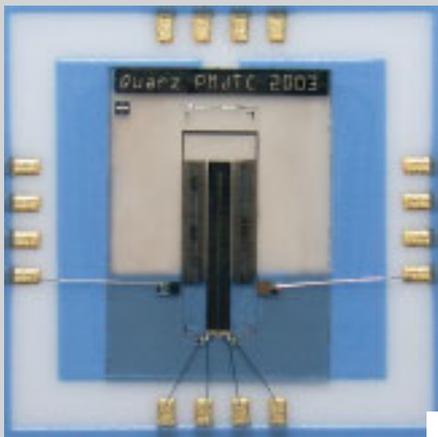
Internationale Angelegenheiten

CCM key comparison CCM.M-K1 (Masse 1 kg) und CCM.M-K2 (Masse 100 mg bis 10 kg)

Es wurden Vergleichsmessungen von 1-kg-Massenormalen und Gewichtstücken zwischen 100 mg und 10 kg unter Beteiligung von 15 bzw. 14 Staatsinstituten durchgeführt. (M. Borys, AG 1.11, michael.borys@ptb.de)

Elektrizität

Berichte der Abteilungen



Abteilung



Elektrizität

Zum 1. Juli des Jahres ist die neue Struktur der Abteilung 2 offiziell in Kraft getreten. Sie zeichnet sich durch die Herausnahme einer Führungsebene und, damit verbunden, durch ein schlankeres Management aus. Die Zahl der Führungspositionen wurde von ehemals 22 auf 7 reduziert. Die Abteilung versucht damit, den ständig knapper werdenden Ressourcen hinsichtlich Personal und Sachmitteln und der zunehmend schlechteren Altersstruktur zu begegnen, die sich in einem Mangel an Nachwuchswissenschaftlern und damit potentiellen Führungskräften manifestiert.

Sie sieht in der neuen Struktur aber vor allen Dingen die Chance, Aufgabenbereiche neu zu ordnen und damit Synergieeffekte auszulösen. Die fachliche Arbeit wird in der neuen Struktur durch Arbeitsgruppen getragen, die – zeitlich befristet und weitestgehend von Verwaltungsaufgaben befreit – wohldefinierte Aufgaben bearbeiten und dafür die erforderlichen personellen und finanziellen Ressourcen zugeordnet bekommen. Diese neue Form der Organisation fachlicher Arbeit soll die Flexibilität erhöhen und eine einfachere fachliche Schwerpunktsetzung erlauben.

Titelbild

Die Collage zeigt wichtige Arbeitsgebiete der neuen Fachbereiche (links oben nach rechts unten)

- Planarer Vielfachthermokonverter auf einem Quarzkristallchip für Hochfrequenzanwendungen (FB 2.1)
- Asymmetrische gekoppelte Teststrukturen für planare Leitungen in CMOS-Technologie (FB 2.2)
- Erfassung sinusförmiger Signale mit einem digitalen Abtastverfahren (FB 2.3)
- Serienschaltung in SINIS-Technologie für programmierbare Josephson-Spannungsnormale (FB 2.4)
- Einzelelektronentransport durch einen elektronischen Kanal mit Hilfe akustischer Oberflächenwellen (FB 2.5)
- Verknüpfung elektrischer Einheiten mit Quanteneffekten im „Metrologischen Dreieck“ (FB 2.6)

Die Abteilung Elektrizität ist in sechs Fachbereiche gegliedert, die im Folgenden mit ihren Aufgabenschwerpunkten vorgestellt werden.

Gleichstrom und Niederfrequenz

Der Fachbereich *Gleichstrom und Niederfrequenz* ist im Bereich der angewandten elektrischen Messtechnik tätig, mit den Schwerpunkten Darstellung der Skalen und Weitergabe der elektrischen Einheiten an Industrie, DKD-Kalibrierlaboratorien und andere. Daneben ist er für das Qualitätsmanagement in der Abteilung sowie die Beratung und Begutachtung der DKD-Laboratorien zuständig.

Im Berichtsjahr ist mit Vorarbeiten zur Umstellung der Widerstandsskala von klassischer Gleichstrom-Messtechnik auf Widerstandsmessbrücken basierend auf Kryostromkomparatoren begonnen worden. Damit wird es möglich, die diesen Verfahren inhärente Genauigkeit in Zukunft an die Industrie und im DKD akkreditierte Kalibrierlaboratorien weiterzugeben.

Die elektrische Leitfähigkeit von Metallen ist im Rahmen eines von der EU geförderten Vorhabens systematisch untersucht worden. Die mit Gleich- und Wechselstromverfahren gefundenen Abweichungen sind mit großer Wahrscheinlichkeit den Verfahren selbst und nicht dem Material zuzuschreiben. Der an das Vorhaben anschließende EUROMET-Vergleich hat gezeigt, dass die Ergebnisse innerhalb der kombinierten Messunsicherheiten übereinstimmen. Die erstmals für Leitfähigkeitsmessungen eingesetzten Cu-Ge-Legierungen, deren Leitfähigkeit durch Änderung der Legierungsanteile in weiten Grenzen variiert werden kann, haben sich hervorragend bewährt und sollen in Zukunft als Referenzmaterialien eingesetzt werden. Die Untersuchungen sind bei der Flugzeugindustrie, den Herstellern von Münzprüfern und den Münzen selbst, die in starkem Maße von Leitfähigkeitsmessungen abhängig sind, auf großes



Bild 1: Kalibrierung des neu entwickelten Kalibriernormals gegen Referenzteiler der PTB

Interesse gestoßen. Es ist geplant, zukünftige Aktivitäten aller Beteiligten in einem europäischen Netzwerk zu bündeln.

Ein weiteres abteilungsübergreifendes Beispiel für die angewandte elektrische Messtechnik betrifft Kraftmessungen. Hier setzen mit Dehnungsmessstreifen bestückte Kraftaufnehmer die mechanische Messgröße Kraft bei Nennlast in ein elektrisches Spannungsverhältnis von 2 mV/V um. Bei für das kommende Jahr geplanten Key Comparisons für die Messgröße Kraft sollen erstmalig nicht nur die Kraftmessmaschinen, sondern auch die elektrische Signalaufbereitung und -verarbeitung überprüft werden. Dafür ist im Fachbereich ein elektrisches Kalibriernormal für die Spannungsverhältnisse 0 mV/V, 1 mV/V und 2 mV/V entwickelt worden (Bild 1), das zusammen mit den Aufnehmern zu den Teilnehmern geschickt wird. Mit seiner Hilfe können die elektrischen Teile der Messkette einheitlich rückgeführt werden. Das ermöglicht eine Trennung der mechanischen und elektrischen Einflussgrößen auf das Messergebnis und wird zeigen, ob elektrische Anzeigergeräte bedenkenlos austauschbar sind. Die hierbei gesammelten Erfahrungen können auch auf die Messgrößen Drehmoment, Druck und Dehnung übertragen werden, die sich ebenfalls in Form von Spannungsverhältnissen abbilden lassen.

Hochfrequenz und Felder

Im Fachbereich *Hochfrequenz und Felder* sind alle Aktivitäten der Abteilung auf den Arbeitsgebieten Hochfrequenz-Messtechnik,

Darstellung und Charakterisierung elektromagnetischer Felder und Elektromagnetische Verträglichkeit zusammengefasst. In Zukunft werden sich die Aufgaben des Fachbereichs zu höheren Frequenzen, planaren Leitungssystemen und Mikro-Elektromechanischen Systemen (MEMS) verlagern.

Letztere werden mit zunehmendem Erfolg in der Messtechnik eingesetzt. In Zusammenarbeit mit dem Institut für Mikrotechnik der TU Braunschweig wurde ein MEMS entwickelt (Bild 2), mit dem sich hochfrequente Spannungen bei Frequenzen bis etwa 100 MHz auf Gleichspannungen zurückführen lassen. Die erwartete Messunsicherheit liegt um etwa eine Größenordnung niedriger, als sie zurzeit mit konventionellen Messeinrichtungen erreicht wird. Diese Arbeiten fügen sich ebenso wie das neu geschaffene Arbeitsgebiet *Entwicklung von Verfahren zur Charakterisierung von Schaltungen in Koplanartechnik* harmonisch in den Ausbau zu höheren Frequenzen ein (s. Titelbild). Mit dem Aufbau eines neuen On-Wafer-Streuparametermessplatzes und umfassenden theoretischen Arbeiten im Rahmen der Untersuchung insbesondere von Störwirkungen an hochohmigen Prüfspitzen und von Mehrsignal-Prüfspitzen für planare Schaltungen wurden die erforderlichen Voraussetzungen dafür geschaffen.

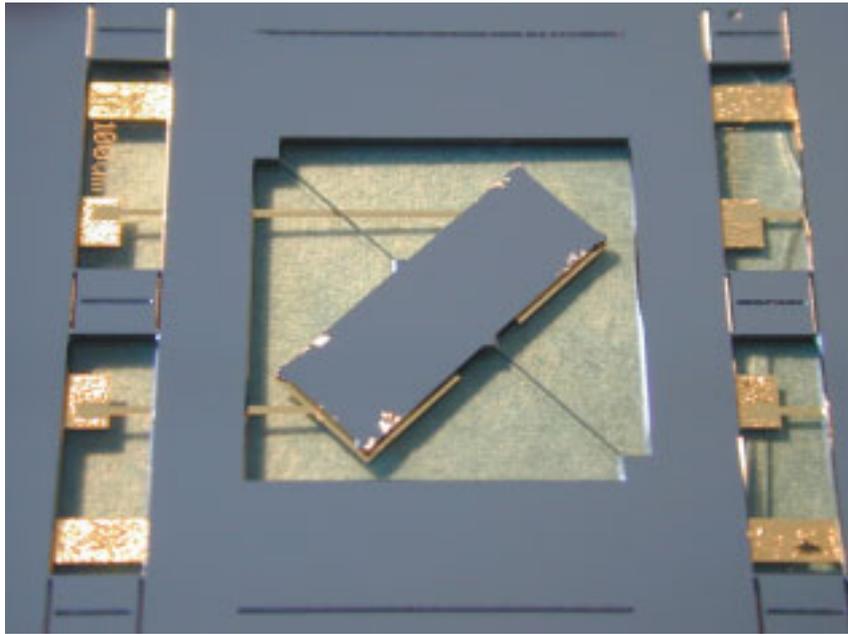


Bild 2: Mikroelektromechanische Wippenstruktur zur Rückführung von HF-Spannungen auf Gleichspannungen

Auf Initiative der PTB wurde vor gut einem Jahr eine *Interessengemeinschaft Elektromagnetische Verträglichkeit (IG-EMV)* ins Leben gerufen, in der neben der PTB die regionalen Hochschulen (bisher *TU Braunschweig, Uni Magdeburg, Uni Hannover, FH Wolfenbüttel*) und Forschungseinrichtungen (*Wehrwissenschaftliches Institut für Schutztechnologien, Münster (WIS)*) sowie die *Regulierungsbehörde für Post und Telekommunikation (RegTP)* als marktordnende Behörde vertreten sind. Die Mitglieder der Interessengemeinschaft sind bereit, ihre vorhandenen Kompetenzen, Aktivitäten und Einrichtungen regional zu bündeln und damit ein in Europa einmaliges und führendes Kompetenzzentrum für EMV zu schaffen. Die Zielsetzung der IG-EMV lässt sich in drei Teilgebiete gliedern:

- Darstellung von elektromagnetischen Feldern mit Rückführung auf die SI-Einheiten sowie die Charakterisierung der Eigenschaften von Feldgeneratoren
- Erzielung von Synergieeffekten in Forschung und Entwicklung durch gemeinsame Vorhaben und Nutzung der zur Verfügung stehenden Feldgeneratoren
- Marktüberwachung als kommendes Ordnungsinstrument in Europa hinsichtlich der europäischen EMV-Richtlinie und des deutschen EMV-Gesetzes

Zurzeit plant der Fachbereich einen Referenz-Freifeldmessplatz für Antennenkalibrierungen und Emissionsmessungen im Rahmen der Elektromagnetischen Verträglichkeit (EMV).

Elektrische Energiemesstechnik

Mit Ausnahme des Wechsel-Gleich-Transfers bei Spannung und Stromstärke sind die früheren Aufgabengebiete Messwandler und Hochspannung sowie elektrische Leistung und Energie im Fachbereich *Elektrische Energiemesstechnik* erhalten geblieben, ergänzt um eine Arbeitsgruppe, die sich mit Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Energiemesstechnik beschäftigt.

Diese neue Arbeitsgruppe arbeitet eng mit den beiden anderen Arbeitsgruppen des Fachbereichs bei der Entwicklung neuer Messverfahren zusammen, wobei digitale Samplingtechniken mit zunehmenden Erfolg eingesetzt werden (s. Titelbild und Bild 3). Bei Vergleichsmessungen zwischen einem programmierbaren Josephson-Spannungsnormalelement und dem digitalen Samplingverfahren mit Hilfe quantisiert-stufenapproximierter Dreieck- und Sinusfunktionen hat dieses Verfahren seine hohe Präzision unter Beweis stellen können. Darüber hinaus widmet sich die Arbeitsgruppe der Untersuchung grundlegender neuer Messstrategien – z. B. Wavelet-Transformation – im Hinblick auf zukünftige Anwendungen in der Energiemesstechnik.

Die Stromausfälle in verschiedenen Teilen Europas sowie der USA und Kanadas haben gezeigt, dass eine sichere Versorgung mit elektrischer Energie nicht selbstverständlich ist, sondern ständiger Bemühungen zur Ertüchtigung der Netze sowie Verbesserung

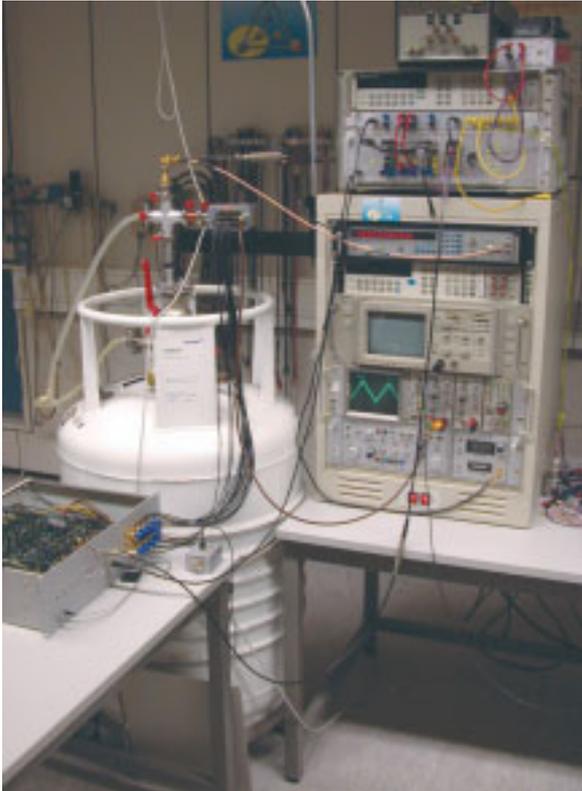


Bild 3: Vergleichsmessungen zwischen einem programmierbaren Josephson-Spannungsnormal und dem digitalen Samplingverfahren

der Netzregelung bedarf. Die Qualität, mit der elektrische Energie bereitgestellt wird, gemeinhin als Power Quality bezeichnet, spielt dabei eine wichtige Rolle, wie man auch aus einem geradezu sprunghaft ansteigenden Angebot an Mess- und Prüftechnik sowie entsprechenden Normungsaktivitäten erkennen kann. Der Fachbereich hat im Berichtsjahr den Einstieg in dieses neue Aufgabengebiet vollzogen. Er kann sich dabei auf das in der PTB entwickelte digitale Messverfahren mit synchroner Abtastung und ausführliche theoretische Untersuchungen dazu stützen, das für Präzisionsmessungen der elektrischen Leistung und Energie entwickelt wurde. Dieses Verfahren ist gleichermaßen für die Leistungsmessung bei nicht-sinusförmigen Strömen und Spannungen geeignet und wurde bereits im Zuge eines internationalen Pilotvergleichs erfolgreich getestet. Damit ist die PTB für die messtechnischen Anforderungen, die ihr aus den deregulierten Energiemärkten entstehen, bestens gerüstet.

Der Bereich der Bauartzulassung elektrischer Messgeräte wurde durch Zusammenlegung der Aktivitäten für Elektrizitätszähler und Messwandler neu geordnet, um Typprüfungen effizienter und nach einheitlichen Kriterien durchführen zu können. Damit unterstützt die Abteilung die Bemühungen der PTB,

durch Einrichtung einer zentralen Zertifizierungsstelle für Messgeräte Bauartzulassungen den heutigen Anforderungen anzupassen. Gleichzeitig sollen diese Maßnahmen die Wettbewerbssituation der PTB im europäischen Umfeld nach Inkrafttreten der europäischen Messgeräte-richtlinie (MID) stärken.

Quanten-Elektronik

Arbeitsschwerpunkte im neuen Fachbereich *Quanten-Elektronik* sind die Entwicklung, Fertigung und Untersuchung von metallischen Dünnschichtstrukturen für Serienschaltungen für Josephson-Spannungsnormale, für RSFQ-Logikschaltungen sowie für SET-Schaltungen und Quantum Computing. Um die erforderlichen Ressourcen für neue Entwicklungen bereitstellen zu können, werden ausgereifte Entwicklungen systematisch zu anderen Institutionen, beispielsweise dem IPHT in Jena, transferiert. Derzeitige Entwicklungsschwerpunkte sind programmierbare Josephson-Serienschaltungen für Wechselspannungsanwendungen und Schaltungen zur Untersuchung kohärenter Quantenzustände.

Im Rahmen des EU-Forschungsvorhabens JAWS (Josephson Arbitrary Waveform Generator) arbeiten Partner aus sechs europäischen Ländern an einem Josephson-Synthesizer zur Erzeugung beliebiger Wellenformen. Die Funktionsweise eines Josephson-Spannungsnormals lässt sich durch den definierten Transfer von Flussquanten erklären. Zur Erzeugung beliebiger Wellenformen wird der Transfer jedes einzelnen Flussquants mit je einem Puls einer Hochgeschwindigkeits-Elektronik gesteuert. Die Pulsfolgefrequenz und die Zahl der in Reihe geschalteten Josephson-Kontakte bestimmen dabei die

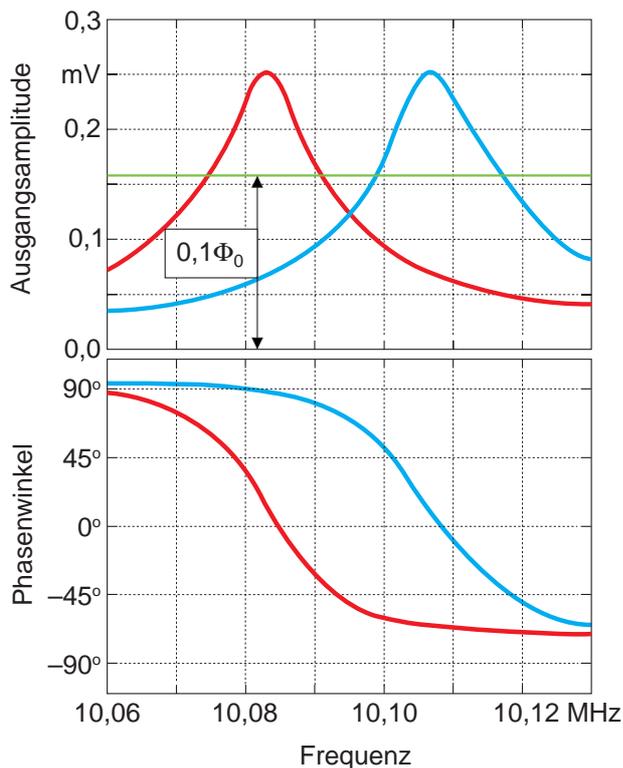


Bild 4: Grenzfälle der Resonanzkreisverstimmung durch die Josephson-Induktivität eines in die Schleife eingeschlossenen Einzelkontakts

maximal erreichbare Ausgangsspannung. Durch Frequenzmodulation lassen sich beliebige Formen des Ausgangssignals erzeugen. In der PTB sind erste Schaltungen für einen Josephson-Synthesizer entwickelt und von den Partnern bereits mit Erfolg getestet worden (s. Titelbild). Parallel dazu wird am Aufbau eines Pulsmuster-Generators auf der Grundlage von RSFQ-Logik gearbeitet.

Unter der Rubrik „Nachrichten des Jahres“ wurde im Jahresbericht 2001 über die prinzipielle Möglichkeit berichtet, mit einem Bloch-transistor – dem supraleitenden Pendant zum Einzelelektronen-Transistor – kontinuierliche Messungen an Quantenzuständen vorzunehmen, ohne diese selbst zu zerstören. Die beiden Quantenzustände lassen sich anhand der Josephson-Induktivität unterscheiden. Diese wiederum lässt sich aus der Verstimmung eines HF-Resonanzkreises bestimmen, der an die supraleitende Schleife mit dem Bloch-Transistor gekoppelt ist. In diesem Jahr gelang an einer Schleife mit eingeschlossenem Einzelkontakt der experimentelle Nachweis, dass mit der in der PTB konzipierten HF-Auslesevorrichtung die beiden stationären Quantenzustände des Systems anhand der jeweiligen Josephson-Induktivität eindeutig unterschieden werden können (Bild 4). Die Arbeiten werden im Rahmen des EU-Projekts „SQUBIT-2“ durchgeführt.

Halbleiterphysik und Magnetismus

Der neue Fachbereich *Halbleiterphysik und Magnetismus* wurde durch Zusammenlegung der Aktivitäten der Abteilung auf den Gebieten Halbleiterstrukturen, Magnetische Größen und Signalspeichertechnik geschaffen. Als neue Aufgabe kam die Terahertzoptik hinzu. Die Aktivitäten im Bereich des klassischen Magnetismus sollen in Zukunft zusammengefasst werden, um Ressourcen für die Untersuchung kleinster magnetischer Strukturen und des Magnetismus auf atomarer Ebene frei zu bekommen und das Arbeitsgebiet Terahertzoptik weiter zu erschließen. Mit der Inbetriebnahme eines Magnetkraftmikroskops und der Entwicklung eines optoelektronischen Verfahrens zur Generierung ultrakurzer elektrischer Impulse sind hierfür bereits erste Voraussetzungen geschaffen worden.

Das in den letzten Jahren aufgebaute und immer wieder verbesserte Magnetkraftmikroskop (Bild 5) hat seine Bewährungsprobe bestanden. Bei ersten Messungen an magnetischen Festplatten konnten Domänen mit einer Ausdehnung von weniger als 50 nm sichtbar gemacht werden. Das liegt noch deutlich unter den Abmessungen für ein Bit bei heutigen Speichermedien und erreicht die Werte, die für das Ende dieses Jahrzehnts prognostiziert werden. Im Berichtsjahr wur-

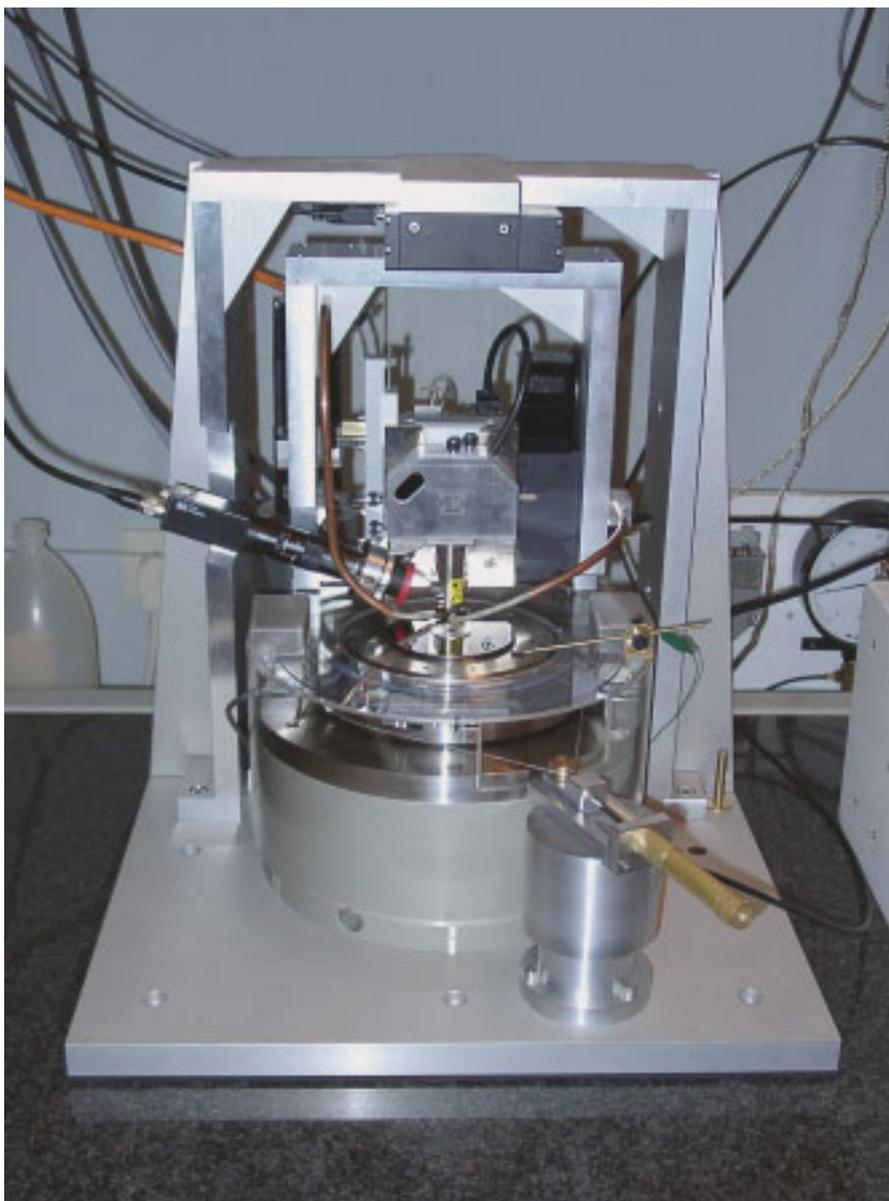


Bild 5: Magnetkraftmikroskop, räumliche Auflösung < 20 nm, Positioniergenauigkeit über der Probe besser als 50 nm

den in Zusammenarbeit mit der Universität Duisburg auch Messungen an quasipunktförmigen Strukturen (Kobalt-Nanoteilchen mit Durchmessern unter 10 nm) durchgeführt. Die Magnetfeldbilder zeigten einzelne gegeneinander abgegrenzte magnetische Domänen mit Durchmessern von 20 nm bis 100 nm. Magnetische Nanoteilchen sind besonders interessant für zukünftige Speichermedien höchster Speicherdichte. Zum Vergleich: Der Durchmesser eines menschlichen Haares beträgt ungefähr 50 000 nm.

Mit akustischen Oberflächenwellen können bei sehr tiefen Temperaturen einzelne Elektronen mit sehr hoher Frequenz durch einen extrem schmalen Halbleiterkanal bewegt werden (s. Titelbild). Der Effekt erlaubt es, die Einheit der elektrischen Stromstärke mit einer

Naturkonstanten, der Elementarladung, und der Frequenz zu verknüpfen. Bisher war die Fehlerquote beim „Abzählen der Elektronen“ noch so hoch, dass der Effekt noch nicht zur Rückführung des Ampere auf ein Quantennormal verwendet werden konnte. Gute Fortschritte sind jetzt in einer Kooperation der PTB mit dem *National Physical Laboratory* und der *Universität Cambridge* erzielt worden. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die bisherige Annahme idealer halbleitender Kanäle nicht mit der Praxis übereinstimmt und dass die unvermeidbaren Störstellen im Kanal den Einzelelektronen-Transport im Kanal eher positiv als negativ beeinflussen. Dieses differenziertere Bild des akustoelektronischen Transports von Elektronen ist ein weiterer Schritt in Richtung auf ein Quantennormal für die elektrische Stromstärke.

Elektrische Einheiten

Der Fachbereich *Elektrische Einheiten* beschäftigt sich mit den Grundlagen der elektrischen Messtechnik, insbesondere mit der Darstellung und Bewahrung elektrischer Einheiten, deren Reproduzierung mit Hilfe von Quantennormalen (s. Titelbild) und der Untersuchung neuer Messverfahren. Er arbeitet dabei eng mit den Fachbereichen 2.1, 2.4 und 2.5 zusammen.

Die Untersuchungen zum AC-Quanten-Hall-Effekt sind in Kooperation mit dem NRC in Kanada und dem METAS in der Schweiz fortgesetzt worden. Sie dienen der Klärung der Frage, ob die Quanten-Hall-Proben bei Frequenzen bis zu einigen Kilohertz eine nennenswerte Frequenzabhängigkeit aufweisen oder ob die in verschiedenen Instituten beobachteten Änderungen mit der Frequenz auf die verwendeten Messeinrichtungen zurückzuführen sind. Erst kürzlich durchgeführte Messungen deuten darauf hin, dass der Quanten-Hall-Effekt im betrachteten Fre-

quenzbereich keine nennenswerte Frequenzabhängigkeit besitzt (Bild 6) und die bei AC-Messungen festgestellten Abweichungen vom quantisierten Widerstandswert auf Unvollkommenheiten der Messbrücken und der darin eingesetzten Komponenten zurückzuführen sind. Die gemeinsamen Untersuchungen sollen fortgesetzt werden, um diese Aussage zu erhärten.

In Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen 2.3 und 2.6 wurden mit Hilfe von synthetisierten Josephson-Wechselspannungen erstmals die dynamischen Eigenschaften eines hochauflösenden Abtastvoltmeters untersucht. Durch synchronisiertes Einstellen und Abtasten der Spannungsstufen bei verschiedenen Frequenzen konnten erstmals mit Josephson-Präzision die dynamischen Parameter des A/D-Umsetzers direkt gemessen werden. Erste Ergebnisse haben gezeigt, dass die Modelle zur Evaluierung der Messunsicherheit des in PTB entwickelten Abtastverfahrens und die Spezifikationen des Gerätes sehr gut erfüllt sind.

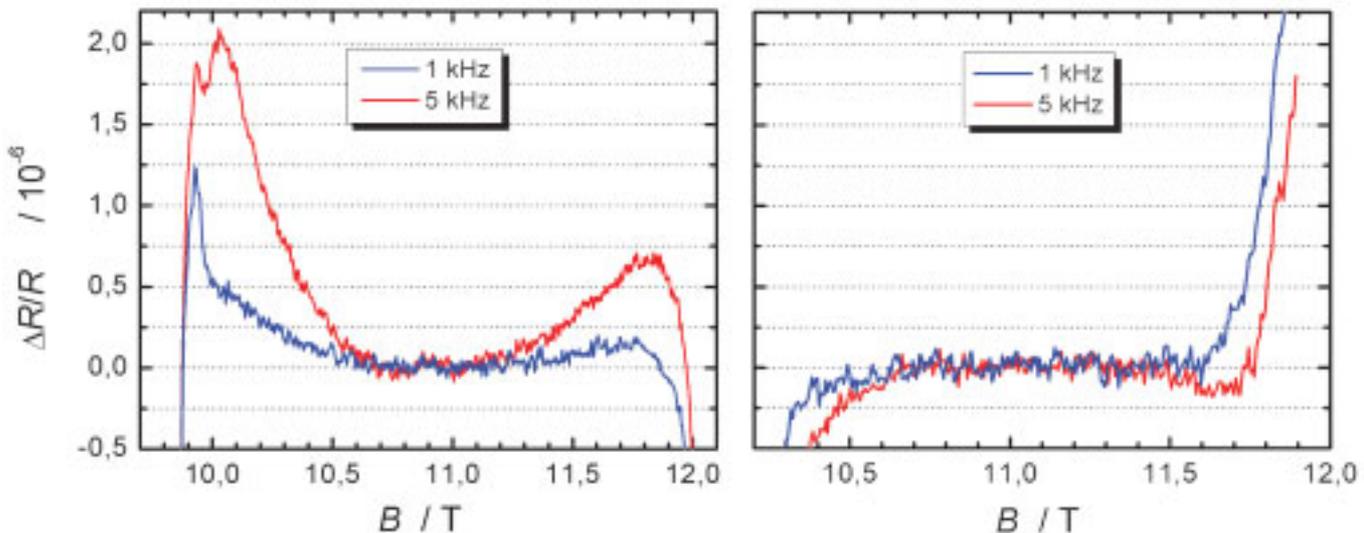


Bild 6: Messung der Frequenzabhängigkeit einer Quanten-Hall-Probe auf dem Plateau $i = 2$ (links vor und rechts nach Optimierung der Messeinrichtung)

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Integrierte digitale supraleitende RSFQ-Schaltungen für Anwendungen in der Präzisionsmesstechnik

Die Verifizierung neuer Logik- und Memory-Cell-Architekturen in integrierten digitalen supraleitenden Rapid-Single-Flux-Quantum-(RSFQ)-Logikschaltungen bietet eine Basis für neue Quantennormale und für innovative Lösungen von zukünftigen Aufgaben der Präzisionsmesstechnik.

(Ansprechpartner: F.-I. Buchholz, AG 2.24, friedrich-im.buchholz@ptb.de)

Schaltungen für einen Josephson-Synthesizer zur Erzeugung beliebiger Wellenformen

Erste Josephson-Reihenschaltungen aus SINIS-Kontakten für einen Synthesizer zur Erzeugung beliebiger Wellenformen konnten im Rahmen eines EU-Projekts entwickelt und hergestellt werden. Messungen bei Projektpartnern zeigen die Funktionsfähigkeit der Schaltungen im Pulsbetrieb. (J. Kohlmann, AG 2.43, johannes.kohlmann@ptb.de)

Einsatz programmierbarer Josephson-Schaltungen für das digitale Abtastverfahren

Mit Hilfe von synthetisierten Josephson-Wechselspannungen wurden erstmals die dynamischen Eigenschaften eines hochauflösenden Abtastvoltmeters untersucht. Erste Ergebnisse zeigen, dass die Modelle zur Evaluierung der Messunsicherheit des in PTB entwickelten Abtastverfahrens und die Spezifikationen des Geräts sehr gut erfüllt sind. (R. Behr, AG 2.63, ralf.behr@ptb.de)

Resonatorstrukturen für organische Festkörperlaser

Die PTB ist in ein Verbundprojekt eingebunden, dessen Ziel die Entwicklung von organischen Lasern ist. Die Aufgabe der PTB besteht in der Herstellung von Gitterstrukturen, die als Resonatoren für die eigentlichen Laser benötigt werden. Es wurden die Parameter für großflächige (10 mm × 10 mm) Gitter mit Perioden bis herab zu 100 nm und kontinuierlich veränderlicher Periode bestimmt und erste Muster gefertigt. (T. Weimann, AG 2.44, thomas.weimann@ptb.de)

Kapazitätsnormal auf SET-Basis

Lädt man einen Kondensator mit einer bekannten Zahl von n Elektronen auf und misst die Spannung $U = (n e)/C$ über dem Kondensator (Kapazität C , Elementarladung e) mit Hilfe eines Josephson-Spannungsnormals, hat man ein Quantennormal für die elektrische Kapazität. Zudem eröffnet dieses Experiment einen Weg zur Realisierung des Ohmschen Gesetzes mit Hilfe elektrischer Quantennormale. (H. Scherer, AG 2.45, hansjoerg.scherer@ptb.de)

Untersuchung des Einzel-Cooper-Paar-Transports in kleinen Josephson-Kontakten

Cooper-Paar-Pumpen auf der Basis kleiner Josephson-Kontakte bieten gegenüber ihren normalleitenden Pendanten Vorteile bei der Realisierung eines Quanten-Stromstärke-normals. Sie können mit einer zehnfach höheren Taktfrequenz betrieben werden und dadurch eine entsprechend größere Stromstärke erzeugen. Um diese Eigenschaft voll ausnutzen zu können, muss der Einfluss konkurrierender Transportmechanismen sowie anderer Störfaktoren minimiert werden.

(S. Lotkhov, AG 2.45, sergey.lotkhov@ptb.de)

Auslesen von Ladungs-Phasen-Quantenbits mit einem HF-Schwingkreis

Mit einem Blochtransistor – dem supraleitenden Pendant zum Einzelelektronen-Transistor – lassen sich kontinuierliche Messungen an Quantenzuständen vorzunehmen, ohne diese selbst zu zerstören. Die beiden Quantenzustände lassen sich anhand der Josephson-Induktivität unterscheiden. Diese wiederum kann aus der Verstimmung eines HF-Resonanzkreises bestimmt werden, der an die supraleitende Schleife mit dem Bloch-Transistor gekoppelt ist.

(M. Götz, AG 2.45, martin.goetz@ptb.de)

Abbildung des Magnetfeldes einzelner Nanoteilchen

Zur Charakterisierung von nanostrukturierten magnetischen Speichermedien wurde ein Magnetkraftmikroskop aufgebaut. Diese Apparatur erlaubt es, Magnetfelder mit einer räumlichen Auflösung < 20 nm und einer

absoluten Positionierbarkeit < 50 nm zu erfassen. Bei Messungen an magnetischen Festplatten konnten Domänen mit einer Ausdehnung von weniger als 50 nm sichtbar gemacht werden. In einer weiteren Versuchreihe wurden 30 nm bis 40 nm große Magnetit-Teilchen untersucht. (M. Albrecht, AG 2.52, martin.albrecht@ptb.de)

Akustischer Einzel-Elektronen-Transport durch gestörte Kanäle

Mit akustischen Oberflächenwellen können Elektronen einzeln durch einen schmalen Halbleiterkanal geführt werden. Damit kann die Stromstärke-Einheit Ampere mit einer Naturkonstanten, der Elementarladung, verknüpft werden. Bei genügend kleiner Fehlerquote beim „Abzählen“ der Elektronen wäre die SI-Basis-Einheit Ampere auf ein Quantennormal zurückgeführt. Der akustoelektrische Transport einzelner Elektronen durch einen Nano-Kanal scheint genauer zu sein, wenn der Kanal nicht möglichst rein ist. (F.-J. Ahlers, AG 2.53, franz-josef.ahlers@ptb.de)

Zwei Sonden messen mehr als eine ...

Magnetisch induzierte Wirbelströme in einem zweidimensionalen Elektronengas können mit Einzel-Elektronen-Transistor-Sonden nachgewiesen werden. Mit simultan betriebenen Mehrfach-Sonden sind dabei selbst bei ortsfesten Sonden Aussagen über die räumliche Verteilung der Ströme möglich. (F.-J. Ahlers, AG 2.53, franz-josef.ahlers@ptb.de)

Planarer Vielfachthermokonverter für Wechselspannungs-Gleichspannungs-Transfer bis 100 MHz

Ein neu entwickelter planarer Vielfachthermokonverter mit Quarz-Substratmaterial zeigt bei Frequenzen bis zu 100 MHz um den Faktor 10 kleinere Wechsel-Gleich-Transferdifferenzen und Unsicherheiten als die bisherigen planaren Vielfachthermokonverter auf Silizium. (M. Klonz, FB 2.1, manfred.klonz@ptb.de)

Kraftkompensierte mikroelektromechanische Systeme (MEMS) zur Rückführung von HF-Spannungen auf Gleichspannung

In Zusammenarbeit mit der TU Braunschweig wurde eine mikroelektromechanische Struktur (MEMS) entwickelt, mit welcher der Ef-

ektivwert von Hochfrequenzspannungen im MHz-Bereich hochohmig auf DC rückgeführt werden soll. (T. Schrader, AG 2.22, thorsten.schrader@ptb.de)

Mikrokalorimeter im koaxialen 2,9 mm-(K)-Leitungssystem für die Hochfrequenz-Leistungsmessung bis 40 GHz

Im Zuge des Ausbaus nationaler Hochfrequenznormale in Richtung höherer Frequenzen wurde ein koaxiales Mikrokalorimeter zur breitbandigen Bestimmung der Hochfrequenzleistung bei Frequenzen bis 40 GHz mit geringer Messunsicherheit aufgebaut. (D. Janik, AG 2.22, dieter.janik@ptb.de)

Entwicklung geschlossener Formeln für die Impedanzbeläge asymmetrischer gekoppelter CMOS-Leitungen und messtechnische Verifikation

Geschlossene analytische Formeln für die frequenzabhängigen Impedanzbeläge asymmetrischer gekoppelter CMOS-Leitungen wurden in einem Frequenzbereich bis 26,5 GHz sowohl mit numerischen Verfahren als auch messtechnisch verifiziert. (U. Arz, AG 2.22, uwe.arz@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Rückführung der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen – zukünftig international einheitlich

Vergleichsmessungen der elektrischen Leitfähigkeit von Metallen, die im Rahmen des EU-Projekts „Conductivity“ zwischen der PTB, dem NPL und dem NMi sowie der Industrie durchgeführt wurden, ergaben für die verschiedenen Messmethoden im Rahmen der kombinierten Messunsicherheiten gute Übereinstimmung. (P. Warnecke, AG 2.62, peter.warnecke@ptb.de)

Verringerung der Messunsicherheit beim Wechselstrom-Gleichstromstärke-Transfer durch Potenzialsteuerung

Durch Anwendung einer Potenzialsteuerung beim Aufbau der Skala für den Wechselstrom-Gleichstromstärke-Transfer mit planaren Vielfachthermokonvertern konnte die Messunsicherheit deutlich verringert werden. (T. Funck, AG 2.12, torsten.funck@ptb.de)

Komparator für Induktivitätsnormale

In Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern der Universität Gliwice in Polen wurde ein Komparator entwickelt, mit dem im 1:1-Vergleich Induktivitäten von 100 μH bis 10 mH bei Frequenzen von 1000 Hz und 1592 Hz mit Unsicherheiten von kleiner als $1 \cdot 10^{-6}$ ($k = 2$) verglichen werden können. (R. Hanke, AG 2.11, ruediger.hanke@ptb.de)

Kalibrierung von Phasenwinkel-Messgeräten mit einem digitalen Abtastverfahren

Zur rückführbaren Kalibrierung von Phasenwinkel-Messgeräten wurde ein auf einem neuartigen Abtastverfahren basierendes Messprinzip entwickelt. Die Phase wird aus den Abtastwerten unter Anwendung der diskreten Fourier-Transformation ermittelt. Im Frequenzbereich von einigen Hz bis zu 1 kHz können Unsicherheiten ($k = 2$) bis herab zu $0,001^\circ$ erreicht werden. (G. Ramm, AG 2.12, guenther.ramm@ptb.de)

Verfahren zur Kompensation des Temperaturkoeffizienten der Spulenkonstanten von Magnetfeldspulen

Spulen zur Erzeugung magnetischer Felder weiten sich mit steigender Temperatur auf, so dass das Feld in ihrem Zentrum kleiner wird, d.h. ihre Spulenkonstante nimmt ab. Dieser insbesondere bei mehrlagigen Spulen erheblich störende Temperaturkoeffizient lässt sich für alle bekannten Spulenanordnungen mit geringem Aufwand zu einer vernachlässigbar kleinen Größenordnung reduzieren. (K. Weyand, AG 2.51, kurt.weyand@ptb.de)

Erhöhte Datendichte für Identifikationskarten mit Magnetstreifen

Die Anforderungen an die Speicherkapazität und die Datensicherheit von Identifikationskarten mit Magnetstreifen sind in den letzten zwei Jahren stark angewachsen. In der PTB wurde ein neues Messsystem entwickelt, um Karten mit Magnetstreifen erhöhter Datendichte („HICO-HD“) untersuchen und zertifizieren zu können. (H. Harcken, AG 2.52, hans.harcken@ptb.de)

Einsatz nichtlinearer Regressionsmethoden zur Kalibrierung vektorieller Netzwerkanalysatoren

In Zusammenarbeit mit der High-Speed Microelectronics Group vom NIST/USA wurde ein Algorithmus zur Kalibrierung von

vektoriellen Netzwerkanalysatoren entwickelt, der eine nahezu beliebige Wahl der Kalibrierstandards zulässt.

(U. Arz, FB 2.2, uwe.arz@ptb.de)

Messtechnische Charakterisierung des Störeinflusses hochohmiger Prüfspitzen in koplanaren Wellenleitern

In Zusammenarbeit mit der High-Speed Microelectronics Group vom NIST/USA ist es gelungen, den Störeinfluss hochohmiger Prüfspitzen auf koplanare Wellenleiter in einem Frequenzbereich bis 40 GHz messtechnisch zu charakterisieren.

(U. Arz, FB 2.2, uwe.arz@ptb.de)

Verfahren zur Messung ultrakurzer Oszilloskop-Anstiegszeiten

Breitbandige 50-GHz-Oszilloskope sind ein unentbehrliches Werkzeug für die Entwicklung ultraschneller elektronischer Schaltungen in der Datenverarbeitungs- und Kommunikationstechnik. Diese Oszilloskope besitzen sehr kleine Eigenanstiegszeiten und erlauben daher die zeitliche Darstellung ultraschneller elektrischer Signale. Mit einem in der PTB entwickelten optoelektronischen Verfahren kann die Anstiegszeit von 50-GHz-Oszilloskopen von nur wenigen Pikosekunden rückführbar gemessen werden.

(U. Siegner, AG 2.54, uwe.siegner@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft**Leistungsmessung bei verzerrten Kurvenformen**

In Zeiten der Deregulierung des Energiemarktes nimmt das Interesse an der Qualität der Netzspannung – bekannter als „Power Quality“ – ständig zu und damit auch die Anforderungen an genaue Messungen der elektrischen Leistung bei verzerrten Kurvenformen. Der digitale Leistungsmessplatz der PTB erfasst Oberschwingungen in der Spannung und Stromstärke bis etwa 5 kHz.

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

Automatische Messgeräte-Identifikation mit Transpondern

Transponder sind eine moderne Möglichkeit zur automatischen Produktidentifikation. Diese Technik bietet auch im Bereich der Prüfung eichpflichtiger Messgeräte interessante Anwendungsmöglichkeiten, z. B. für

die Realisierung elektronischer Typenschilder. Sie gestatten eine automatische Identifikation von Prüflingen und ermöglichen zudem vereinfachte Konzepte bei der Überwachung von Messgeräten. Es ist daher sinnvoll, rechtzeitig Erfahrungen mit der neuen Technik zu sammeln und diese zum Vorteil der metrologischen Infrastruktur des gesetzlichen Messwesens nutzbar zu machen. (M. Kahman, AG 2.33, martin.kahmann@ptb.de)

Maßnahmen zum Personenschutz bei Kalibrierungen mit magnetischen Wechselfeldern

Das *Bundesamt für Strahlenschutz* (BfS) hat die bislang geltenden Grenzwerte für die Exposition in magnetischen Wechselfeldern erheblich reduziert. Zur Kalibrierung handelsüblicher Magnetometer werden aber regelmäßig Flussdichten bis 1 mT verlangt. Um der Empfehlung des BfS Rechnung zu tragen, wurde der Wechselfeldmessplatz der PTB umgerüstet und automatisiert, so dass das Bedienpersonal dem Streufeld der Feldspulen kaum mehr ausgesetzt ist. (K. Weyand, AG 2.51, kurt.weyand@ptb.de)

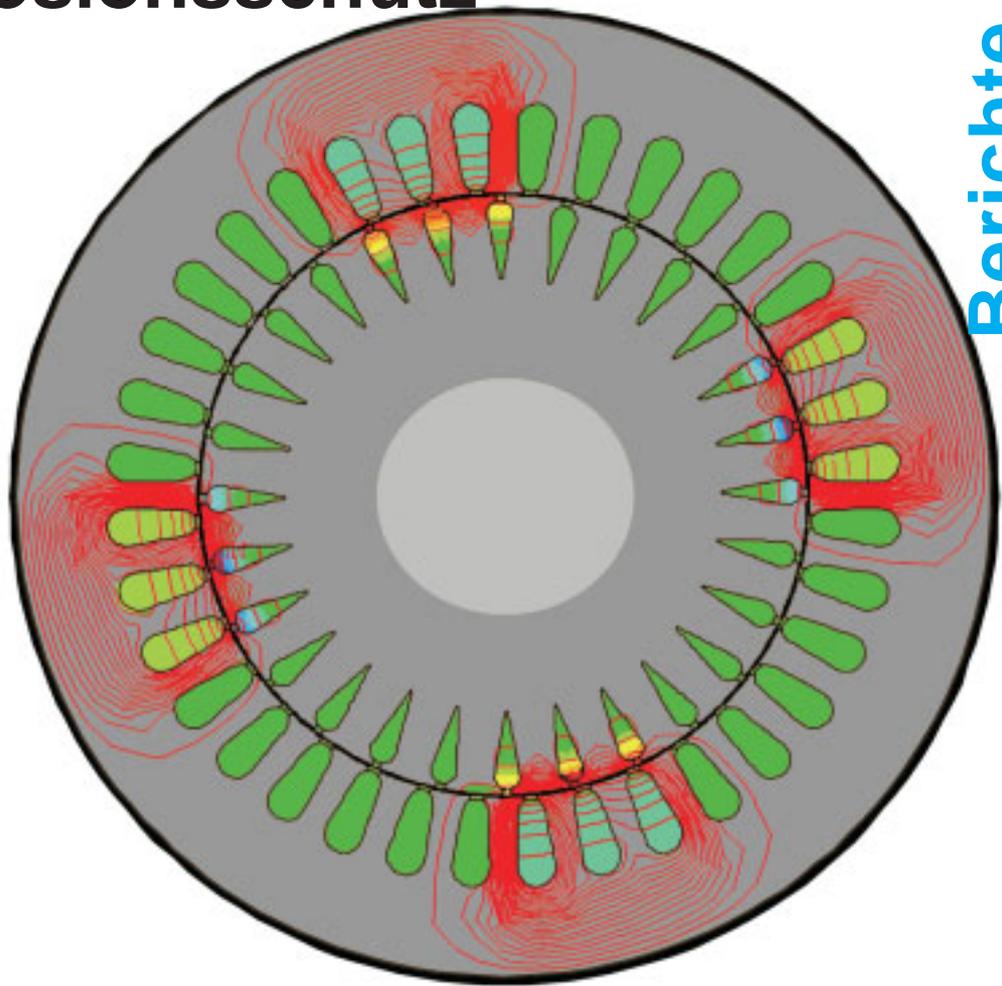
Internationale Angelegenheiten

Internationale Zusammenarbeit auf dem Gebiet des AC-Quanten-Hall-Effektes

Der elektrische Widerstand wird seit 1990 über den Quanten-Hall-Effekt reproduziert. Daher besteht ein Interesse, die Messungen auch mit Wechselstrom durchzuführen und so Wechselstrom-Widerstände und Kondensatoren zu kalibrieren. Trotz intensiver Untersuchungen wurde bislang noch kein Durchbruch erzielt. Das soll jetzt in einer Zusammenarbeit von Staatsinstituten (NRC, Kanada; METAS, Schweiz und PTB) versucht werden.

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

Thermodynamik und Explosionsschutz



Berichte der Abteilungen



Thermodynamik Explosionsschutz

Entwicklungen im Explosionsschutz

Das Jahr 2003 war für den Explosionsschutz von besonderer Bedeutung, denn zwei europäische Richtlinien wirken jetzt in voller Konsequenz. Zum einen lief die neunjährige Übergangszeit für die Richtlinie 94/9/EG (die sogenannte „ATEX 100a“) am 30.6.2003 aus. Diese Richtlinie, die schon seit 1996 in deutsches Recht umgesetzt ist, regelt die einheitlichen europäischen Anforderungen an Geräte und Schutzsysteme zum Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen und richtet sich an die Hersteller dieser Produkte. Zum anderen war die Richtlinie 1999/92/EG, die die Mindestanforderungen für den sicheren Betrieb von Anlagen und das sichere Arbeiten in explosionsgefährdeten Bereichen sowie entsprechende Verpflichtungen des Arbeitgebers enthält, schon im Jahre 2002 im Rahmen der Betriebssicherheitsverordnung in deutsches Recht umgesetzt worden, wobei mit Beginn des Jahres 2003 konkurrierende deutsche Verordnungen zurückgezogen wurden.

Diese grundlegende Änderung der gesetzlichen Rahmenbedingungen wirkte sich erheblich auf die Arbeit der beiden Fachbereiche 3.4 *Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel* und insbesondere 3.3 *Grundlagen der Physikalischen Sicherheitstechnik* aus, da zum Arbeitsgebiet dieses Fachbereichs die durch die beiden Richtlinien neu erfassten nichtelektrischen (mechanischen) explosionsgeschützten Geräte gehören. Da diese Geräte bisher nicht als ausdrücklich „explosionsgeschützt“ in Verkehr

gebracht wurden und zudem Unklarheiten über den Geltungsbereich der Richtlinie 94/9/EG herrschen, sind viele Hersteller und Anwender dieser Geräte verunsichert. Die Hersteller nichtelektrischer Geräte hatten sich in der Vergangenheit selten mit Explosionsschutzanforderungen auseinandersetzen und erfahren zurzeit nur geringe Unterstützung durch die wenigen zur Verfügung stehenden Normen. Sie sind daher häufig unsicher in der ihnen durch die Richtlinie 94/9/EG zugedachten (selbstverantwortlichen) Rolle bei der sicherheitstechnischen Beurteilung ihrer Geräte. Das für diesen Zweck vorgesehene Instrument der Zündgefahrenbewertung ist offensichtlich ungeeignet.

Information von Herstellern und Aufsichtsinstanzen

In dieser Situation hat insbesondere der Fachbereich 3.3 in den letzten drei Jahren mit einer Vielzahl von Workshops überwiegend die Hersteller von nichtelektrischen explosionsgeschützten Geräten über die neue rechtliche Situation und die neuen Normen auf diesem Gebiet informiert. Ausführlich wurde dabei die Bewertung von nichtelektrischen Zündquellen diskutiert (überwiegend mechanische und elektrostatische Zündquellen). Neben Herstellern explosionsgeschützter Geräte wurden auch Gewerbeaufsichtsbehörden und Berufsgenossenschaften mit einer besonderen Veranstaltung (176. PTB-Seminar „Explosionsschutzte nichtelektrische Geräte – Europäische Richtlinien“) betreut.

Um Hersteller mechanischer explosionsgeschützter Geräte bei der Beurteilung ihrer Geräte zu unterstützen, wurde in den Workshops gemeinsam die Methodik der Zündgefahrenbewertung weiterentwickelt und auf mehreren Tagungen vorgestellt sowie in Fachzeitschriften veröffentlicht. Diese Methodik

Titelbild

Darstellung der frequenzabhängigen Stromdichte- und Feldverteilung im Ständer- und Rotorblechpaket einer umrichter gespeisten 4-poligen Asynchronmaschine. Der Feldlinienverlauf (rot) und die Stromdichte zeigen eine starke Stromverdrängung (blau und gelb) in den Rotorstäben und deuten auf eine zusätzliche Erwärmung hin. Die numerische Berechnung erfolgte für eine Oberschwingung von 1 kHz (Grundschiwingung 50 Hz ausgeblendet).

amamik und schutz

wird jetzt vermehrt von Herstellern und Betreibern explosionsgeschützter Geräte eingesetzt und soll in die Grundlagennorm EN 13463-1 „Nichtelektrische Geräte für den Einsatz in explosionsgefährdeten Bereichen, Grundlagen und Anforderungen“ eingearbeitet werden.

Mechanische Zündquellen

Die Prüfungs- und Beratungstätigkeit der Fachbereiche 3.3 und 3.4 stützt sich auf eine breite Erforschung aller Aspekte des Explosionsschutzes. Für die Bewertung der mechanischen Geräte sind dabei Untersuchungen im Rahmen eines europäischen Forschungsvorhabens (Mechanical ignition hazards in potentially explosive gas and dust atmospheres – MECHEX) von Bedeutung. Im Verbund mit anderen europäischen Partnern auf dem Gebiet des Explosionsschutzes wird eine Grundlage für die Bewertung von mechanischen Zündquellen erarbeitet. Da der Geltungsbereich der Richtlinie 94/9/EG mit dem Begriff der „potentiellen Zündquelle“ verbunden ist, hierfür klare Kriterien bei mechanischen Zündquellen aber noch nicht existieren, sind die Ergebnisse des Forschungsvorhabens für die Bewertung von nichtelektrischen Geräten besonders wichtig (s. auch Bild 1).

Beurteilungsverfahren für elektrostatische Zündquellen

„Marktreif“ ist dagegen schon ein Beurteilungsverfahren für elektrostatische Zündquellen. Bisher wurde die Zündwirksamkeit elektrostatischer Entladungen überwiegend anhand von Explosionsversuchen beurteilt, wenn nicht sehr einfache Kriterien angewandt werden konnten, wie der maximale erlaubte elektrische Widerstand oder die maximal erlaubte Fläche oder Schichtdicke von aufladbaren Werkstoffen. Experimentelle Entzündungsuntersuchungen haben jedoch Nachteile wie unklare Reproduzierbarkeit und hoher experimenteller Aufwand. Daher wurde ein prinzipiell bekanntes Verfahren, das sich auf die Messung der bei der elektrostatischen Entladung übertragenen Ladungsmenge stützt, verbessert und praktikabel gemacht. Mit Hilfe dieser Methode ist eine quantitative Bewertung des Zündvermögens der Entladung möglich geworden, im Gegensatz zur mehr qualitativen Bewertung (Zündung – Nichtzündung) bei den üblichen Explosionsversuchen. Hersteller, deren Produkte zündfähige Entladungen verursachen können, können mit Hilfe dieser Informationen gezielt ihre Produkte verbessern (s. auch Bild 2).

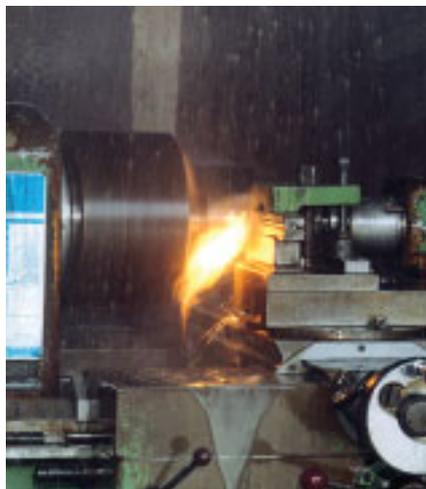


Bild 1a: Funken und heiße Oberflächen als Folge eines Reibvorgangs (links)
Bild 1 b: Entzündung eines Kühlschmierstoffs durch einen Reibvorgang (rechts)

Kenngrößen unter nicht-atmosphärischen Bedingungen

Gleichzeitig mit der Veröffentlichung der Betriebssicherheitsverordnung wurde auch die Gefahrstoffverordnung ergänzt. Nun werden auch explosionsfähige Gemische unter nicht-atmosphärischen Bedingungen erfasst und es wird explizit auf die Notwendigkeit hingewiesen, sicherheitstechnische Kenngrößen für nichtatmosphärische Bedingungen zu verwenden. Hier sind insbesondere explosionsfähige Gemische bei niedrigen oder hohen Drücken oder hohen Temperaturen (ausserhalb des Bereichs 0,8 bar bis 1,1 bar und -20 °C bis 60 °C) oder aber auch mit anderen Oxidationsmitteln als Luft gemeint (Bild 3).

Dieses Gebiet wird in der PTB seit einigen Jahren bearbeitet. Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag bei den Kenngrößen, die explosionsfähige Brennstoff/Luft-Gemische beschreiben (untere Explosionsgrenze, obere Explosionsgrenze, Sauerstoffgrenzkonzentration) sowie den Kenngrößen, die die häufig vorkommenden Zündquellen charakterisieren (die Zündtemperatur zur Charakterisierung der Zündquelle „heiße Oberfläche“ und die flammendurchschlagsichere Spaltweite zur Charakterisierung der Zündquelle „Flammdurchschlag“).

Diese Thematik wurde auch in einem besonderen Workshop der beiden Fachbereiche 3.3 und 3.4 für die Hersteller und Betreiber explosionsgeschützter Geräte behandelt.

Auswirkungen der Umweltschutzgesetzgebung

Durch die europäische Umweltschutzgesetzgebung wird zukünftig (nach Ablauf der Übergangsfrist) das so genannte Entgasen von Ottokraftstoff-Transporttanks durch technische Belüftung der Tanks und Abgabe der Tankinhaltsgase an die freie Atmosphäre nicht mehr zulässig sein. Im Binnenverkehr stellen Tankschiffe (Bild 4) die größten Transporteinheiten dar und bilden damit nicht nur für den Umweltschutz, sondern auch für den Explosionsschutz die potentiell größten Probleme. Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Bau- und Wohnungswirtschaft, aber auch mit Unterstützung von schweizerischen und niederländischen Behörden hat daher die PTB die Explosionsgefahren in Verbindung mit zukünftig nicht mehr entgastem Benzintankschiffen untersucht. Für eine Vielzahl von praxisrelevanten Randbedingungen wurde durch In-situ-Messungen auf Tankschiffen die Atmosphäre in den Tanks hinsichtlich ihrer Explosionsfähigkeit untersucht, wobei auch die Verhältnisse während und nach dem bisher praktizierten Entgasen zum Vergleich herangezogen wurden. Im Ergebnis wurden die Randbedingungen herausgearbeitet, die für die Ausbildung explosionsfähiger Atmosphäre bedeutsam sind. Die Ergebnisse stehen nunmehr der „Zentralkommission für die Rheinschifffahrt (ZKR)“ zur Verfügung und werden in die zukünftige Regelung einfließen. Um die

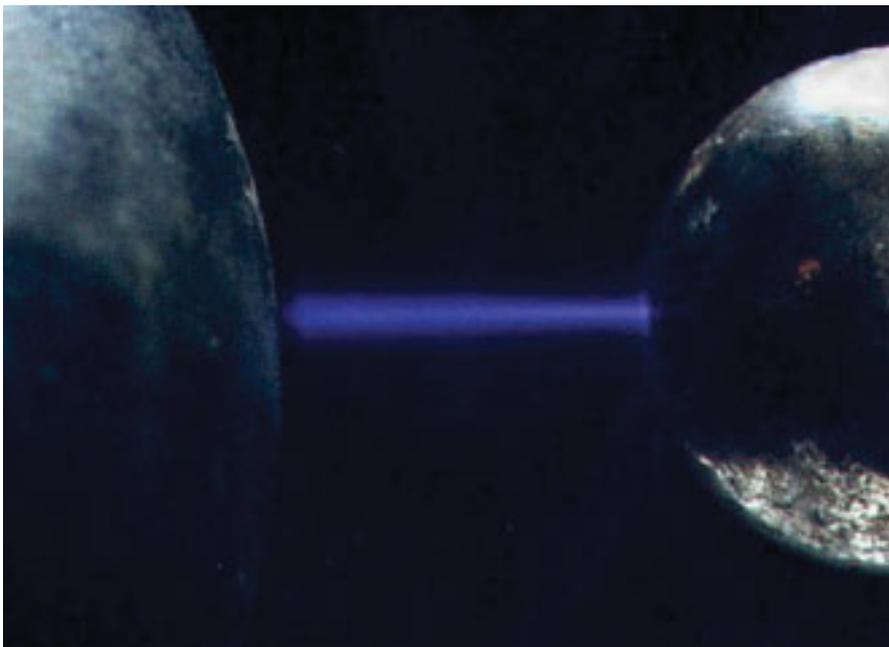


Bild 2: Entladung einer leitfähigen Oberfläche an einer Elektrode (Funkenentladung)

zwar experimentell sehr aufwendigen, aber letztlich doch stichprobenartigen Messergebnisse weiter zu systematisieren, werden zurzeit Strömungssimulationsrechnungen durchgeführt, die nach entsprechender Validierung einen detaillierten Aufschluss über die Wirkungen verschiedener Einflussparameter erlauben werden.

Weiterentwicklung der Norm für Flammendurchschlagsicherungen

Bei den Flammendurchschlagsicherungen (Bild 5) wurden einige Prüfverfahren der im April 2001 inkraftgesetzten Europäischen Norm EN 12874 näher untersucht. Den Schwerpunkt bildete die Aufzeichnung der Übergangsphase einer Rohr-Deflagration in eine Rohr-Detonation mit Hilfe einer Ultrahochgeschwindigkeitskamera an transparenten Versuchsaufbauten. Für das Prüfverfahren ist wesentlich, dass die Phase des Umschlags sich räumlich auf etwa einen Rohrdurchmesser beschränkt und einen Zeitraum von wenigen 10 μ s beansprucht. Aufgrund einer Vielzahl unter gleichartigen Bedingungen durchgeführter Versuche konnte die Standardabweichung für die Lage des sog. Umschlagpunktes beispielhaft zu ca. zwei Rohrdurchmessern ermittelt werden. Da kritische Abmessungen innerhalb von Flammendurchschlagsicherungen geringer als ein Rohrdurchmesser sind, belegt dieses Ergebnis die Schwierigkeit, in Prüfungen die Umschlagphase geeignet zu reproduzieren und mit instabilen Detonationen reproduzierbare Belastungen darzustellen.

Die Beobachtungen an einer transparenten Modell-Detonationssicherung belegen überdies, dass der besonders belastende Umschlagpunkt nicht nur vor einer Flammendurchschlagsicherung, sondern auch in dieser selbst auftreten kann. Mit der üblichen Messtechnik (lokale Druckaufnehmer und Flammensensoren) ist diese Situation bei Prüfungen bislang nicht zu erfassen. Die Ergebnisse sind ein quantitativer Beleg für noch verbliebene Probleme bei den Prüfstandards für Detonationssicherungen. Sie werden auch bei der internationalen Weiterentwicklung dieser Prüfverfahren (im ISO/TC 21/WG 3) zu berücksichtigen sein.

Flammen den Weg versperren: Die druckfeste Kapselung

Bei explosionsgeschützten Geräten der Zündschutzart „d“ werden mögliche Zündquellen durch druckfeste Gehäuse eingeschlossen. Die besonderen Anforderung an diese Geräte müssen bei einer Bauartprüfung durch Explosionsversuche sichergestellt werden. Aufgrund der Komplexität der turbulenten Flammenausbreitung sind die Ergebnisse der Versuche im Voraus nur schwer abzuschätzen. Daher wird die Problemstellung „Explosionsschutz“ von den Herstellern elektrischer Geräte der Zündschutzart „d“ bislang rein empirisch behandelt. Dies führt dazu, dass die vorgeschriebenen Explosionsversuche mit vielen Unwägbarkeiten und nicht zu kalkulierenden Kosten versehen sind. Durch Grundlagenuntersuchungen und anwendungsorientierte Forschung bearbeitet die PTB die besonderen Fragestellungen der Zündschutzart „d“, um die Hersteller entsprechender Geräte kompetent zu beraten und zu unterstützen.

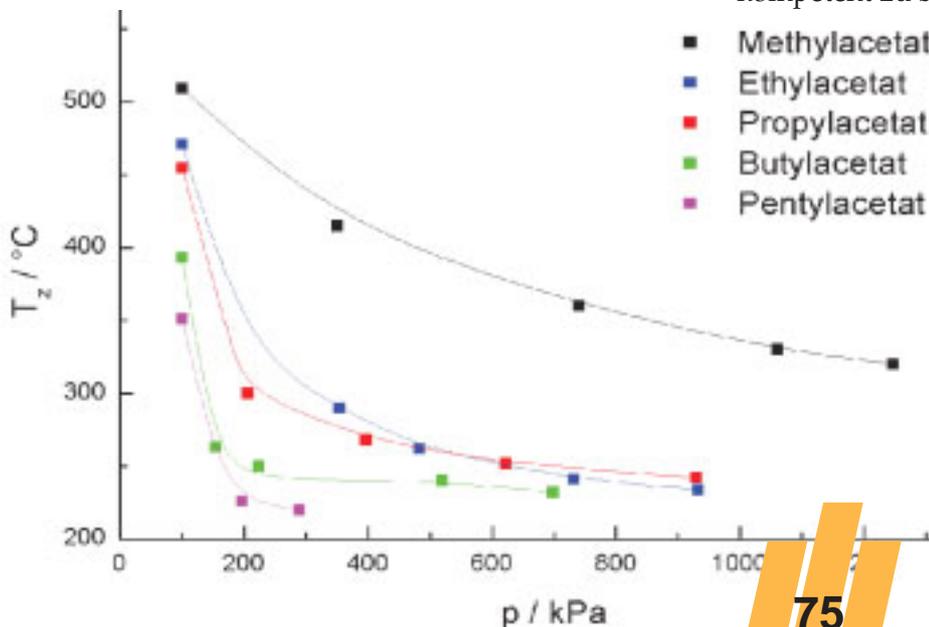


Bild 3: Abfall der Zündtemperaturen einiger brennbarer Flüssigkeiten bei erhöhtem Druck

Methodisches Konstruieren

Die Explosionsdruckfestigkeit von Leergehäusen der Zündschutzart „d“ ist bei den vorgeschriebenen Bauartprüfungen wegen der nicht zu berechnenden zeitlichen Entwicklung des Explosionsdrucks im Inneren der Gehäuse nicht immer zu gewährleisten. Aufbauend auf den Ergebnissen eines von der *Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen (AiF)* im Rahmen des ProInno-Programms geförderten Projekts soll daher die Konstruktion druckfest gekapselter Gehäuse deutlich vereinfacht werden. Zusammen mit der *Universität Magdeburg* und einem namhaften Hersteller explosionsgeschützter elektrischer Geräte wird das systematische und methodische Konstruieren von Geräten der Zündschutzart „d“ untersucht werden. Zielsetzung ist dabei eine Reduktion der Entwicklungs-, Fertigungs- und Wartungskosten der entsprechenden Geräte. Dieses soll durch den Aufbau von Anforderungslisten und Konstruktionskatalogen erreicht werden. Die neu zu entwickelnden Konstruktionselemente werden durch aufwendige experimentelle und numerische Verfahren validiert werden.

Entwicklung der internationalen Normung im Bereich Explosionsschutz

Wie auch in anderen Bereichen der Industrie nimmt der Bedarf der deutschen Geräteindustrie, die überwiegend aus kleinen und mittelständischen Unternehmen besteht, nach internationaler Harmonisierung der Normen

und staatlichen Regelwerke drastisch zu. Die PTB hat sich daher zum Ziel gesetzt, die Industrie beim Aufbau international anerkannter Normen und Regelwerke für den Explosionsschutz zu unterstützen. Gleichzeitig besitzt die PTB als staatliche Stelle eine Brückenfunktion zwischen der Industrie und den regulierenden Behörden.

Trotz der teilweise strengen nationalen, höchst unterschiedlichen Regulierung, in den verschiedenen Wirtschaftsräumen wie z. B. der Europäischen Union, den USA und Japan wird gegenwärtig der Versuch unternommen, die Vorschriften auf einer breiten Basis zu vereinheitlichen. Wichtiger Impuls war die Entscheidung der USA, neben dem zweiteiligen Division-Einteilungssystem für explosionsgefährdete Bereiche das international anerkannte und über eine IEC-Norm geregelte dreiteilige Zonen-Einteilungssystem im NEC (National Electrical Code) zu übernehmen. Die neue Ausgabe des staatlichen „Code for Regulation 29“ 2004 eröffnet den US-amerikanischen Betreibern explosionsgefährdeter Anlagen nun ebenfalls die Möglichkeit, die IEC 60079-10 zur Zonen-Einteilung anzuwenden. Damit eröffnet sich für deutsche Hersteller explosionsgeschützter Geräte ein Markt, der mindestens ebenso groß ist wie die Europäische Union.

Bild 4: Binnentankschiff für Ottokraftstoffe



Mit der Verfügbarkeit internationaler Normen auf dem Gebiet der explosionsgeschützten Betriebsmittel, ihrer Installation, Überwachung, Wartung und Reparatur wurde die Grundlage für ein internationales Zertifizierungsschema geschaffen. Nach dem Vorbild des IECCE (sog. CB-Verfahren) trafen sich 1996 in London erstmalig Repräsentanten der nationalen Normungsorganisationen, um das IECEx-Schema zu gründen. Anfängliches Ziel der Gruppe (mit derzeit 22 beteiligten Nationen) war es, den Austausch von Prüfergebnissen aus den Konformitätsbewertungen der nationalen Zulassungen zu organisieren und zu formalisieren. Im Laufe der Jahre hat sich jedoch herausgestellt, dass der Markt die Einführung eines internationalen Zertifikats fordert. Seit dem 1. August 2003 wird nun das „IECEx Certificate of Conformity“ angeboten, das die Anforderungen des Zertifikattyp 5 gemäss ISO Guide 28 „General rules for a model third-Party certification System for products“ erfüllt. Es umfasst danach die Baumusterprüfung unter Anwendung der Normenreihe IEC 60079-0 ff., die Bewertung des QM-Systems der Gerätehersteller mit Blick auf besondere fertigungstechnische Aspekte bei explosionsgeschützten Geräten sowie die regelmässige Herstellerüberwachung. Das Zertifizierungsverfahren ist vollständig kompatibel mit dem ATEX-Verfahren der EU-Richtlinie 94/9/EG. Sowohl die Betreiber der Geräte als auch die nationalen Regulierungsbehörden können sich nun auf ein sehr weitreichendes, international verfügbares Überwachungsinstrument stützen.

Das IECEx-Schema wendet die Regeln des ISO-Guide 65 (1996) und (hinsichtlich der Laboratorien) der ISO/IEC 17025 (1999) an. Die Begutachtungen werden als „Peer assessment“ durchgeführt, um zu gewährleisten, dass in der Prüfung und Zertifizierung explosionsgeschützter Geräte erfahrene Fachexperten Mitglied des Auditteams sind. Im Moment wird damit begonnen, die Begutachtungen in Zusammenarbeit mit ILAC-Mitgliedern (International Laboratory Accreditation Council) durchzuführen. Die grosse Erfahrung der ILAC-Akkreditierungsstellen in der Anwendung der ISO/IEC 17025 (1999) und die technische Kompetenz der IECEx-Fachexperten sollen eine hochwertige Begutachtungsqualität der Prüflaboratorien des IECEx-Schemas sicherzustellen.

Sowohl für Industrie-Verteter (insbesondere wenn sie aus kleinen und mittelständischen Unternehmen stammen) als auch für Vertreter der regelsetzenden Ministerien und Behörden wird eine Teilnahme an internationaler Normungsarbeit immer schwieriger. Gleichzeitig nimmt aber die Bedeutung aufgrund des nicht mehr aufzuhaltenden Globalisierungsprozesses zu. Die PTB hat ihre diesbezüglichen Aktivitäten in den letzten Jahren in enger Abstimmung mit den deutschen Normungsorganisationen und Industrie-Verbänden signifikant verstärkt, in der Hoffnung, die Position der deutschen Unternehmen im internationalen Wettbewerb damit weiter zu verbessern.

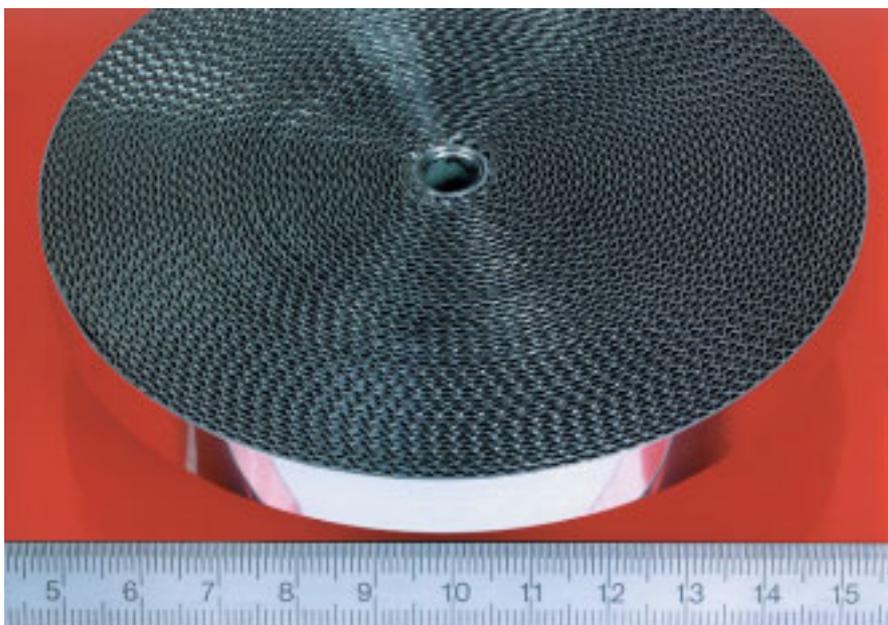


Bild 5: Flammensperre (Bandwickel): In statischen Flammendurchschlagsicherungen werden überwiegend derartige Bandwickel als flammenlöschendes Element eingesetzt.

Zusammenarbeit auf dem Gebiet Explosionsschutz mit China und anderen asiatischen Ländern

Seit 1979 unterhält die PTB auf dem Gebiet der Metrologie intensive Beziehungen zur Volksrepublik China. Im Explosionsschutz bestehen seit den 80er Jahren Kontakte, insbesondere mit dem Institut CQST in Nanyang. So wurden bereits damals explosionsgeschützte elektrische Maschinen von SIEMENS in China in Lizenz gefertigt. Auf dem Gebiet der Mess- und Regel- sowie der Automatisierungstechnik entwickelten sich erst später fachliche Kontakte. Im Jahre 1997 besuchte eine PTB-Delegation erstmals verschiedene Institute in China. Besonders gut entwickelte sich die Zusammenarbeit mit SIPAI (*Shanghai Institute of Process Automation Instrumentation*) und mit der dort angesiedelten Prüf- und Zertifizierungsstelle NEPSI (*National Supervision and Inspection Center for Explosion Protection and Safety of Instrumentation*). Wichtig waren dabei der mehrmonatige Aufenthalt eines Gastwissenschaftlers von NEPSI in der PTB sowie Seminare in China mit der Teilnahme von PTB-Experten. Ein Workshop in der PTB brachte die deutsche Industrie direkt mit den chinesischen Fachleuten zusammen und diente zur Anbahnung von Geschäftsbeziehungen und Zulassungsverfahren in China. Schließlich vereinbarte NEPSI mit der PTB im Rahmen eines Agreements die gegenseitige Anerkennung von Prüfergebnissen. Dieser Weg hat sich mittlerweile als sehr erfolgreich herausgestellt, da nach chinesischen Angaben mehr als 1000 PTB-Zertifikate als Basis für die stark vereinfachte Zulassung der Produkte deutscher Herstellerfirmen für den chinesischen Markt dienen konnten. So sind inzwischen viele Großprojekte für Chemie- und Petrochemieanlagen in China mit explosionsgeschützten Geräten deutscher Hersteller ausgerüstet.

Weitere internationale Konferenzen mit maßgeblicher PTB-Beteiligung fanden in China (überwiegend in Shanghai) in den Jahren 1999, 2002 und 2003 statt. Beim Besuch von fünf PTB-Wissenschaftlern im März 2003 in Shanghai zum internationalen Explosionsschutzseminar wurde erstmals auch das Thema „nichtelektrischer Explosionsschutz“ ausführlich behandelt. Dabei war auch die Europäische Richtlinie 94/9/EG ein Thema, für das sich die chinesischen Fachleute sehr interessierten.

Zum Jahresende 2003 ist zur Fortführung der guten Zusammenarbeit ein Aufenthalt einer Gastwissenschaftlerin von SIPAI/NEPSI in der PTB vorgesehen. Dabei wird auch die Unterstützung durch das chinesische Partnerinstitut bei Firmenaudits nach der Europäischen Richtlinie 94/9/EG im asiatischen Raum ein wichtiges Thema sein. Es kann festgestellt werden, dass die langjährige Zusammenarbeit mit den chinesischen Partnern sich zu einem Vertrauensverhältnis zum Wohle der deutschen herstellenden Industrie entwickelt hat. Eine starke Marktpräsenz in China ist, wie schon die Automobilindustrie gezeigt hat, ein wichtiger Faktor für die deutsche Exportwirtschaft.

Auch mit Japan bestehen langjährige Kontakte auf dem Gebiet des Explosionsschutzes. Durch Hilfe und Vermittlung von T. I. I. S. (*Technology Institution of Industrial Safety*) ist die PTB seit 1996 als „Designated Testing Body“ des Japanischen Arbeitsministeriums akkreditiert. Diese Vereinfachung nutzen deutsche Firmen für jährlich 50 bis 100 Gerätezulassungen in Japan. Im Jahre 2002 fand erstmals eine Veranstaltung beim Prüf- und Zertifizierungsinstitut T. I. I. S. in Tokio mit dem Vortrag eines PTB-Experten über aktuelle Entwicklungen der Zündschutzart Eigensicherheit statt. Im Januar 2003 konnten wir eine größere japanische Delegation (auch japanische Industrievertreter) in der PTB begrüßen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Homogenität des Siliziumkristalls WASO 04 für die Bestimmung der Avogadro-Konstanten

Die drei 1-kg-Siliziumkugeln AVO#1, AVO#2 und AVO#3 des Kristalls WASO 04 wurden in der Druckflotationsapparatur der PTB gemessen, wobei keine signifikanten Dichteunterschiede entdeckt wurden, der größte gemessene Unterschied beträgt nur 0,03 ppm. (Ansprechpartner: H. Bettin, AG 3.11, horst.bettin@ptb.de)

Automatisierte Messwerterfassung und -verarbeitung für die coulometrische Bestimmung der Stoffmenge

Primäre Referenzmaterialien können mit der Coulometrie hinsichtlich ihrer Reinheit analysiert werden. Substanzen unterschiedlicher Konzentration und Zusammensetzung können jetzt ohne Umbauten der Apparatur im automatischen Messbetrieb analysiert werden. (P. Spitzer, AG 3.202, petra.spitzer@ptb.de)

Messechnik für die Wirtschaft

Bestimmung des Ausdehnungskoeffizienten von Festkörpern

Zur Messung der Temperaturabhängigkeit des Volumens von Senkkörpern wurde eine Apparatur aufgebaut, mit der das Volumen durch Vergleichsmessungen mit einer Siliziumkugel im Temperaturbereich 1 °C bis 50 °C mit einer relativen Unsicherheit von $0,5 \cdot 10^{-6}$ bestimmt werden kann. (H. Wolf, AG 3.101, henning.wolf@ptb.de)

Der Einfluss der Geometrie des Kolben-Zylinder-Spalts auf den Druckverformungskoeffizienten von Kolbenmanometern

Durch Berücksichtigung der realen Geometrie von zwei Kolben-Zylinder-Hochdrucknormalen bei der Bestimmung der Druckverformungskoeffizienten konnten die Konsistenz und Genauigkeit der Druckskala bis 1 GPa verbessert werden. (W. Sabuga, AG 3.13, wladimir.sabuga@ptb.de)

Bestimmung der Schmelzenthalpie von Gallium

Erste experimentelle Untersuchungen mit einem im Aufbau befindlichen adiabatischen Präzisionskalorimeter zur Bestimmung von Wärmekapazitäten und Umwandlungswärmen ergaben für die Schmelzenthalpie von Gallium eine hervorragende Übereinstimmung mit den besten vorliegenden Literaturwerten. (S. Sarge, AG 3.14, stefan.sarge@ptb.de)

Numerische Simulationen einer neuartigen Detektoranordnung zur Ermittlung der Aufschlagenergie energiereicher Kleinstpartikel

Im Rahmen der Entwicklungsarbeiten zu einem neuartigen Detektorsystem für die Bestimmung der Aufschlagenergie von Partikeln im erdnahen Raum sind numerische Simulationsmodelle erstellt und erfolgreich verifiziert worden. (D. Boguhn, AG 3.14, dirk.boguhn@ptb.de)

Neuer Zwei-Druck-Feuchtegenerator in Betrieb genommen

Ein neu konstruierter Zwei-Druck-Feuchtegenerator erlaubt eine höhere Zuverlässigkeit im Betrieb und eine Bereichserweiterung zu höherer Feuchte. (N. Böse, AG 3.23, norbert.boese@ptb.de)

Datenbank CHEMSAFE enthält jetzt Strukturformeln

Die Inhouse-Version der Datenbank CHEMSAFE erlaubt jetzt die Anzeige von Strukturformeln bei komplizierteren Molekülen. So wird dem Benutzer eine Hilfe bei der Stoffidentifikation geboten.

Neu aufgenommen in die Datenbank wurden über 450 Kenngrößen von 60 brennbaren, reinen Flüssigkeiten sowie von 19 Gemischen. (W. Möller, AG 3.31, wolfgang.moeller@ptb.de)

Von PTB und BAM herausgegeben: Neues Tabellenwerk „Sicherheitstechnische Kenngrößen“

Das neue Tabellenwerk „Sicherheitstechnische Kenngrößen“, das auf den empfohlenen

Werten der Datenbank CHEMSAFE beruht, ist in zwei Bänden erschienen. Der erste Band „Brennbare Flüssigkeiten und Gase“ wurde von der PTB herausgegeben. Er enthält auf ca. 600 Seiten Kenngrößen von über 1900 brennbaren Gasen und Dämpfen.

Der zweite Band „Explosionsbereiche von Gasgemischen“ mit den grafisch aufbereiteten Daten von 158 Stoffsystemen wurde von der BAM herausgegeben. (W. Möller, AG 3.31, wolfgang.moeller@ptb.de)

Prüfung und Zulassung umrichter gespeister Antriebe im Ex-Bereich

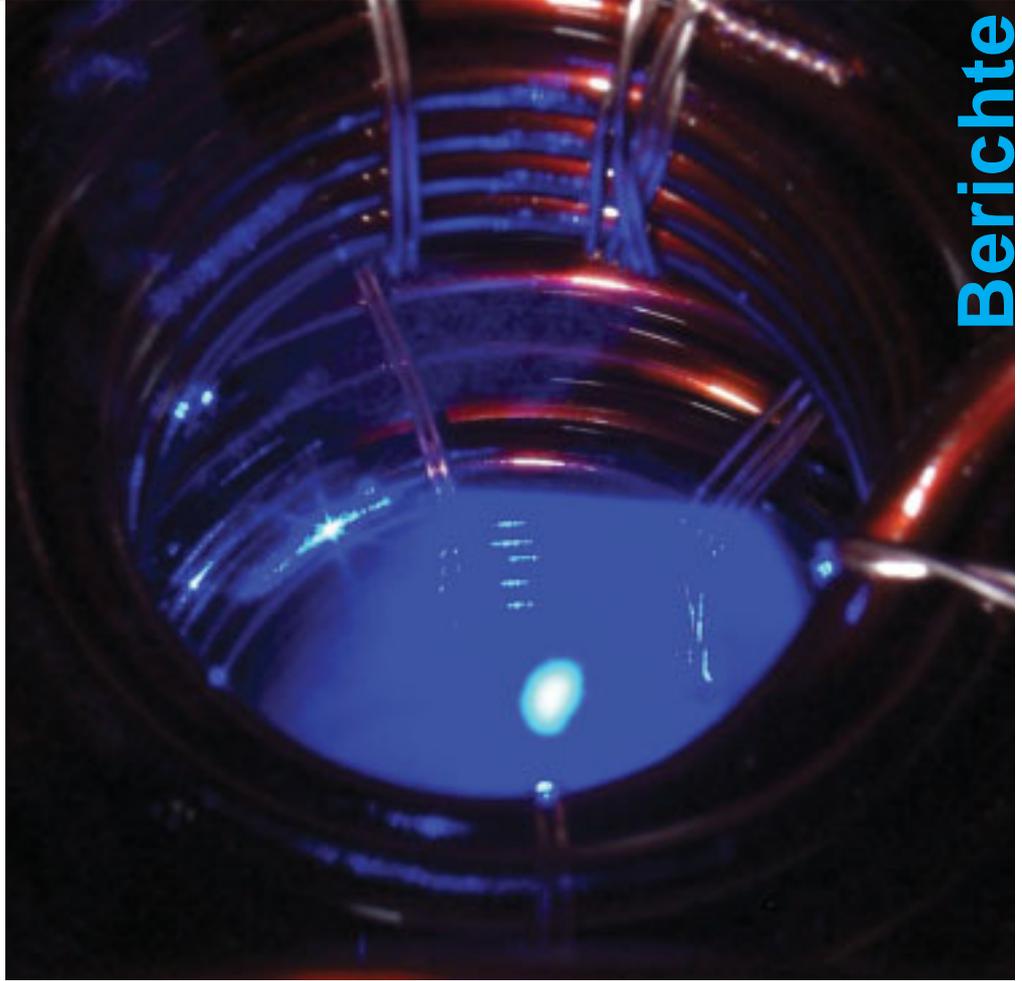
In einem vom BMWA geförderten Forschungsvorhaben wurde ein neues Konzept für die Zulassung von umrichter gespeisten Antrieben in explosionsgefährdeten Bereichen entwickelt, welches flexibleren Einsatz der Antriebe ermöglicht. (C. Lehrmann, F. Lienesch, AG 3.43, frank.lienesch@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Massenspektrometrisches Messverfahren für Digitoxin in Blutserum neu installiert

Zur Unterstützung der metrologischen Rückführung von Messungen im medizinisch wichtigen Bereich des Drug Monitoring wurde ein auf Isotopenverdünnungs-Massenspektrometrie (IDMS) basierendes Verfahren zur Stoffmengenbestimmung von Digitoxin im Serum neu eingeführt. (A. Henrion, AG 3.203, andre.henrion@ptb.de)

Optik



Berichte der Abteilungen

Abteilung
4

Optik

Die Arbeiten der *Abteilung Optik* unterstützen Industrie und Forschung und dienen der Gesellschaft durch die Entwicklung optischer Präzisionsmesstechnik und die Arbeit in der begleitenden Normung. Die *Abteilung Optik* stellt mit der Sekunde, dem Meter und der Candela drei von sieben Basiseinheiten des Internationalen Einheitensystems (SI) dar und gibt diese und davon abgeleitete Einheiten an ihre Kunden und Partner weiter. Sie berät und arbeitet in internationalen Organisationen mit dem Ziel eines weltweit einheitlichen Messwesens mit.

Neustrukturierung der Abteilung Optik

Im Rahmen der Strukturreform der PTB wird die *Abteilung Optik* ihre Arbeit zukünftig in den fünf Fachbereichen 4.1 *Photometrie und angewandte Radiometrie*, 4.2 *Bild- und Wellenoptik*, 4.3 *Längeneinheit und Quantenoptik*, 4.4 *Zeit und Frequenz* und dem neuen Fachbereich 4.5 *Optische Technologien* organisieren. Die Abteilung verspricht sich von der neuen Organisationsform eine Konzentration auf die Schwerpunkte ihrer Arbeit, auf die im Folgenden näher eingegangen wird.

Photometrie und angewandte Radiometrie

Der quantitativen Bewertung von Licht unter Berücksichtigung der Empfindlichkeit des

menschlichen Auges kommt in den unterschiedlichsten Bereichen wie der ressourcenschonenden Lichterzeugung, den Sicherheitsbedürfnissen optischer Signalquellen oder im Arbeits- und Freizeitbereich besondere volks- und betriebswirtschaftliche Bedeutung zu. Bei der Lichterzeugung werden in den nächsten Jahren technologische Durchbrüche mit ganz neuartigen Einsatzmöglichkeiten erwartet. Für die sich daraus ergebenden erhöhten Anforderungen an die Genauigkeit und die Adaption der Messtechnik hat sich die PTB gerüstet, indem sie auf die Photometrie und die dazugehörige Radiometrie in den nächsten Jahren einen besonderen Schwerpunkt ihrer Arbeit legt.

Für die Entwicklung von Methoden zur Verbesserung und Erweiterung der Messmöglichkeiten von integrierenden Kugeln, die in der Industrie und bei kleineren Kalibrierlaboratorien weit verbreitet im Einsatz sind, nutzt die PTB jetzt eine neue so genannte Ulbricht-Kugel mit 2,5 m Durchmesser (Bild 1).

Sie wird zur Messung des Lichtstroms moderner Lichtquellen bei Temperaturen zwischen 20 °C und 35 °C eingesetzt. Als messtechnische Besonderheiten werden erstmalig eine wechsellspannungsbetriebene Anordnung von Lumineszenzdioden (LED), deren Photostromanteil mit phasenempfindlichem Nachweis erfasst und als „Monitor“ zur Korrektur und Stabilisierung verwendet wird, sowie ein Kugelscanner mit LED-Strahler eingesetzt, der richtungsabhängige Fehler bei der Integration erkennen und korrigieren lässt.

Für Messaufgaben bei der Realisierung, Bewahrung und Weitergabe der Candela als der Basiseinheit der Lichtstärke und abgeleiteter Einheiten sowie für spezielle Strahleranwendungen hat die PTB jetzt ein neues Photometerbanksystem aufgebaut (Bild 2).

Titelbild

Fluoreszenz einer Wolke von ca. 10 Millionen Calcium-Atomen während der ersten Phase der Laserkühlung in einer magnetooptischen Falle. Die Atome werden anschließend weitergekühlt auf etwa 10 µK, bevor ein hochstabiler Laser einen schmalbandigen Übergang in den Calcium-Atomen anregt. Der so stabilisierte Laser stellt eines der genauesten optischen Frequenznormale dar.



Bild 1: Die neue integrierende Kugel im Albert-Einstein-Bau erlaubt mit moderner Messtechnik eine verringerte Bestimmung der Messunsicherheit des Lichtstroms neuartiger Lichtquellen.



Bild 2: Optisches Photometerbanksystem im Albert-Einstein-Bau der PTB

In drei streulichtarmen aneinandergrenzenden Räumen untergebracht, erlaubt dieses System die Durchführung verschiedener Messaufgaben wie Leuchtdichte-, Lichtstärke-, Beleuchtungsstärke- und Verteilungstemperatur-Messungen. Da die optischen Teilbänke auf einer gemeinsamen Achse ausgerichtet sind, lassen sich Messungen in bis zu 45 m Entfernung von der Quelle durchführen. Gegenwärtig werden Messmethoden zur rückführbaren Messung photometrischer Größen unterschiedlichster Signalstrahler mit Richtcharakteristik und neuartiger LED-Cluster entwickelt.

Im Bereich der angewandten Radiometrie liegen gegenwärtig, neben der Realisierung und Weitergabe strahlungsoptischer Einheiten wie der Bestrahlungsstärke, die Schwerpunkte in der Laserradiometrie und der Photovoltaik. Eine neuentwickelte Anlage zur Messung der differentiellen spektralen Empfindlichkeit von Detektoren war die Basis für den im vergangenen Jahr durchgeführten und von der PTB organisierten weltweiten Vergleich von Referenzsolarzellen. Als eines von nur vier dafür qualifizierten Laboratorien trägt die PTB die „World Photovoltaic Scale“, die die internationale Äquivalenz der entsprechenden Kalibrierzertifikate sicherstellt.

In der Laserradiometrie wird gegenwärtig der Messbereich für Energie und Leistung von Ultraviolettlasern bis herunter zu 157 nm ausgeweitet, der für die künftige Halbleiterlithographie benötigt wird. Für Kalibrierun-

gen bei dieser Wellenlänge wurde unter Mitarbeit im EUREKA-Verbundprojekt „Characterization of optical components and laser beams (CHOCLAB II)“ eine spezielle Apparatur entwickelt (Bild 3).

Sie ist für den Betrieb der Detektoren im Hochvakuum oder in einer definierten Gasatmosphäre gleichermaßen ausgelegt, da bei dieser Wellenlänge schon eine merkliche Absorption durch den Luftsauerstoff auftritt. Damit stehen zukünftig auch für diese kürzestwelligen optischen Laser Kalibriermöglichkeiten zur Verfügung.

Bild- und Wellenoptik

Im Fachbereich *Bild- und Wellenoptik* werden neuartige Messmethoden zur genauen Herstellung und Charakterisierung von Lichtfeldern mit definierten Wellenfronten entwickelt, die ihrerseits zur präzisen Messung unterschiedlichster optischer Komponenten eingesetzt werden. Dazu gehören Elemente mit Funktionsflächen unterschiedlichster Form, von steilen Asphären bis zu Flächen höchster Ebenheit, aber auch die quantitative Vermessung von Mikrostrukturen. Die in der PTB entwickelten optischen Messverfahren werden laufend auf verschiedene Anwendungen in Industrie und Gesellschaft übertragen. So wurden im vergangenen Jahr mit Unterstützung des BMWA drei neue Kooperationsprojekte mit Industriefirmen begonnen, bei denen die in der *Abteilung Optik* entwickelten Technologien rasch in den industriellen Einsatz überführt werden sollen. Ein Beispiel ist



Bild 3: Messplatz für die Kalibrierung von Detektoren bei 157 nm

Bild 4: Der ehemalige Leiter des PTB-Fachlaboratoriums „Zeit- und Frequenzverteilung“ Dr. P. Hetzel erhält aus der Hand des parlamentarischen Staatssekretärs im BMWA Dr. Rezzo Schlauch das Bundesverdienstkreuz am Bande.



das im letzten Jahr neu entwickelte Dunkel-feld- und Durchlichtmikroskopieverfahren mit streifender Beleuchtung (s. Jahresbericht 2002). Es vermeidet bei Messungen von Strukturbreiten, wie sie z. B. bei Masken für die Halbleiterlithographie benötigt werden, in hohem Maß verfälschende Überlagerungen der Beugungsbilder der Strukturkanten.

Für hochgenaue Ebenheits- und Geradheitsnormale in Forschung und Industrie wurde im letzten Jahr eine neue Messmethode zur ultrapräzisen und rückführbaren Messung der Topographie ebener und schwach gekrümmter optischer Flächen entwickelt (s. Jahresbericht 2002). Sie wird in einem zweiten Projekt für den industriellen Einsatz adaptiert und soll als ultrapräzise Normalmesseinrichtung für Geradheit und Ebenheit mit einer Messunsicherheit im sub-nm-Bereich auch die zukünftigen gesteigerten industriellen Genauigkeitsanforderungen befriedigen.

Weitere Beispiele für eine rasche Übertragung der in der PTB entwickelten Verfahren zu Nutzern in Gesellschaft und Industrie sind die Entwicklung eines Prototyps für die Münzprüfung mit rein optischen Methoden sowie ein erfolgreich abgeschlossenes Projekt zur Kennzeichnung der Bildgüte digitaler Röntgendetektoren.

Zeit und Frequenz

Die herausragende Stellung, die die PTB auf dem Gebiet der Erzeugung der Zeitskalen und ihrer Verteilung innehat, wurde im vergangenen Jahr national und international mehrfach gewürdigt. So erhielt Dr. A. Bauch, der Leiter der Arbeitsgruppe *Zeitnormale*, auf dem IEEE International Frequency Control Symposium in Tampa, USA, den international bekannten „I. I. Rabi Award“ „in Würdigung der herausragenden Beiträge zu Entwicklung, Evaluierung und Betrieb primärer Frequenzstandards“. Auf derselben Tagung wurde Dr. E. Peik der „Prix Jeune Chercheur“ der Société Chronométrique de France „unter Berücksichtigung seiner bedeutenden Leistungen auf verschiedenen Feldern der Entwicklung von Frequenznormalen“ zuerkannt.

Besonders geehrt wurde Dr. P. Hetzel, der ehemalige Leiter des PTB-Fachlaboratoriums *Zeit- und Frequenzverteilung*, mit dem Bundesverdienstkreuz am Bande für seine vorausschauende Entwicklung und verantwortungsvolle Betreuung der Aussendung von Zeitzeichen und Normalfrequenz mit dem Sender DCF77 (Bild 4).

Mit den primären Caesium-Atomstrahluhren und der praktisch im Dauerbetrieb laufenden Fontänenuhr CSF1 ist die PTB für die Realisierung der Zeitskalen in der nahen Zukunft noch gut gerüstet. Zukünftige Atomuhren, die den gesteigerten Anforderungen in Wissenschaft und Technik Rechnung tragen sollen, werden im Gegensatz zu den auf Mikrowellenoszillatoren basierenden Caesiumuhren mit optischen Oszillatoren arbeiten. Auf diesem Feld ist im vergangenen Jahr in der PTB ein Durchbruch gelungen. Strahlung einer Wellenlänge von 435 nm aus einem höchststabilen Lasersystem wurde in zwei Zweigen in ihrer jeweiligen Frequenz auf den gleichen Übergang von zwei unabhängigen, gespeicherten Yb^+ -Ionen stabilisiert. Die so stabilisierten Frequenzen zeigten im Rahmen der gemeinsamen Messunsicherheit keine signifikante Frequenzabweichung voneinander mit einer relativen Unsicherheit von unter 10^{-15} . Da diese Unsicherheit so klein ist wie die Realisierungsunsicherheit der gegenwärtig besten Caesium-Atomuhren, kann dies Ergebnis als Meilenstein betrachtet werden, bei dem die optischen Atomuhren die besten Mikrowellenuhren hinsichtlich Reproduzierbarkeit und Kurzzeitstabilität zu überflügeln beginnen. Nachdem in den letzten Jahren auch das Problem der optischen Frequenzmessung durch die Verwendung optischer Frequenzkämme gelöst und optische Frequenzen mit vertretbarem Aufwand in Sekundenpulse heruntergeteilt werden können, steht dem Aufbau einer optischen Atomuhr nichts mehr entgegen. Allerdings haben auch die Cs-Atomuhren mit Laserkühlung noch ein Verbesserungspotential, so dass sie noch für einige Zeit das Rückgrad der Zeitskalen bilden werden.

Längeneinheit und Quantenoptik

Eine enge Zusammenarbeit der Fachbereiche *Längeneinheit und Quantenoptik* und *Zeit und Frequenz* besteht mit der *Universität Hannover* und dem *Laserzentrum Hannover* im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 407 „Quantenlimitierte Messprozesse mit Atomen, Molekülen und Photonen“ der *Deutschen Forschungsgemeinschaft*. Die gemeinsame erfolgreiche Arbeit kann jetzt für mindestens drei weitere Jahre weitergeführt werden, nachdem der Sonderforschungsbereich mit sehr guten Empfehlungen der Gutachter in seine dritte Antragsphase geht. In den beiden Fachberei-

chen sind fünf neue Projekte begonnen worden, wozu auch ein Projekt gehört, die prinzipielle Quantengrenze – das Quantenprojektionsrauschen – mit einem atomaren Ensemble zu erreichen. Dies ist insbesondere für zukünftige Atomuhren wichtig, bei denen gegenwärtig in der PTB zwei unterschiedliche Strategien verfolgt werden. Neben dem einzelnen gespeicherten Ion versprechen Atomwolken mit etwa einer Million ultrakalter Atome insbesondere hinsichtlich der Stabilität ein um Größenordnungen höheres Signal-zu-Rausch-Verhältnis bei der Abfrage und damit eine höhere Kurzzeitstabilität der optischen Uhren. Die höhere Stabilität erlaubt dann auch wieder die Untersuchung kleinster systematischer Frequenzverschiebungen, die die erreichbare Genauigkeit begrenzen. Im Jahr 2003 wurde dies ausgenutzt, um beim optischen Frequenznormal mit ultrakalten Calciumatomen den Einfluss frequenzverschiebender Stöße der Atome untereinander zu untersuchen. Dabei wurde immer noch keine Frequenzverschiebung gefunden, aber eine um eine Größenordnung geringere obere Grenze dieses Einflusses erhalten. Die Untersuchungen ergaben, dass eine mögliche Stoßverschiebung um mindestens vier Größenordnungen kleiner ist als bei den primären Caesiumatomfontänenuhren, wo sie die erreichbare Genauigkeit begrenzt.

Im Rahmen eines neuartigen Konzepts sollen neutrale ultrakalte Atome in einem Lichtkäfig, gegen den Einfluss der Schwerkraft, über längere Zeit gespeichert werden. Bei geeigneter Wahl der Wellenlänge der Laserstrahlung, die den Lichtkäfig erzeugt, wird trotz der Deformation des Atoms durch die Lichtkräfte die Frequenz eines ausgesuchten optischen Übergangs nicht verschoben. Damit lassen sich zum einen neue optische Uhren bauen, die praktisch unbegrenzte Wechselwirkungszeit mit höchstem Signal-zu-Rausch-Verhältnis kombinieren und damit eine weitere Steigerung der Genauigkeit versprechen. Andererseits lassen sich mit diesem Konzept neuartige Atominterferometer entwickeln, deren Genauigkeit nicht mehr durch die kurze Verweildauer der ballistischen Atome im Atominterferometer begrenzt sind. Für neutrale Calciumatome wurde jetzt erstmalig die Wellenlänge bestimmt, bei der die Frequenz des Uhrenübergangs im optischen Gitter nicht verschoben wird.

Nachdem im vergangenen Jahr ein Projekt zur Weitergabe von zertifizierten Wellenlängenreferenzen im Bereich der Telekommunikationsbänder abgeschlossen wurde, liegt ein zukünftiger Schwerpunkt bei der Darstellung der Längeneinheit im Bereich der sehr viel kürzerer Wellenlängen, bei der die hohe Genauigkeit optischer Wellenlängennormale auf ausgesuchte Röntgen- und Gammawellenlängen übertragen werden wird.

Optische Technologien

Im neu eingerichteten Fachbereich *Optische Technologien* wird eine Messtechnik für die Mikro- und Nanooptik aufgebaut. Das Arbeitsgebiet trägt den zukünftigen Entwicklungen der Optik als Schlüsseltechnologie für andere Gebiete der Hochtechnologie Rechnung, wo insbesondere die hochintegrierten mikro- und nanooptischen Komponenten die Entwicklung und Bereitstellung neuer Messverfahren erfordern. In der ersten Ausbaustufe werden dazu aktive mikrooptische Bauelemente charakterisiert werden, die zukünftig für die schnelle optische Nachrichtentechnik wichtig werden. Dazu wird gegenwärtig ein optisches Abtast-Oszilloskop entwickelt, das die Charakterisierung ultraschneller optischer Vorgänge wie z. B. bei der optischen Datenübertragung erlaubt und dessen Zeitauflösung um ein Vielfaches unter der der heute besten kommerziell erhältlichen Geräte liegt (s. Nachrichten aus der Abteilung). Weitere Arbeiten betreffen die Entwicklung der Messtechnik für die Untersuchung und Charakterisierung passiver mikrooptischer Funktionselemente wie Lichtleiter mit photonischer Bandlücke oder die Untersuchung phasenkohärenter Superkontinua und ihrer Nutzung für die Präzisionsmesstechnik.

Bereits im Jahr 2003 wurden erstmals die optisch-nichtlinearen Laufzeiteigenschaften einer mikrostrukturierten Faser bei verschiedenen Wellenlängen gemessen. Die Superkontinuumserzeugung in diesen Fasern ermöglicht völlig neuartige Messverfahren, etwa bei der optischen Frequenzmetrologie oder bei der optisch-nichtlinearen Mikroskopie mit Heterodyn-Detektion. Es wurde gezeigt, dass sich mit diesen Fasern optische Frequenzmessungen mit relativen Unsicherheiten von unter $3 \cdot 10^{-16}$ durchführen lassen, und dies bereits bei einer Messdauer von 1 Sekunde.

Einweihung des Albert-Einstein-Baus

Am 2. Oktober 2003 wurde im Beisein von etwa 80 geladenen Gästen aus Industrie, Forschung und Politik der Albert-Einstein-Bau der PTB, ein Neubau für die Optik, nach einer Bauzeit von drei Jahren eingeweiht (Bild 5). Das Gebäude wird in erster Linie ein Gebäude aus dem Jahr 1936 ersetzen, das 1949/50 zu einem provisorischen Laborgebäude mit einer Hauptnutzfläche von etwa 2100 m² umgebaut wurde. Da dieses Gebäude schon seit längerem den heutigen Anforderungen an ein modernes Laborgebäude nicht mehr gerecht wurde, hatte sich auch das Kuratorium der PTB für ein neues Gebäude für die Optik eingesetzt. In seiner Grußadresse hob der Präsident des Kuratoriums der PTB, Ministerialdirigent Dr. E. Röhling hervor, dass die PTB mit dem neuen Gebäude jetzt die Möglichkeit bekomme, ihre Messtechnik und Forschung für die moderne Optik zu stärken. Das BMWA sieht diese Maßnahme im Rahmen der in der Agenda „Optische Technologien für das 21. Jahrhundert“ angeordneten „verstärkten staatlichen Unterstützung für die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Industrie und für die Schaffung neuer Arbeitsplätze“.

Mit der Namensgebung würdigt, wie Prof. D. Kind, der frühere Präsident der PTB, in seinem Vortrag* ausführte, die PTB die ursprünglich enge Verbundenheit Albert Einsteins mit der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR), der Vorgängerin der PTB. Albert Einstein war 17 Jahre lang Mitglied des Kuratoriums der PTR. Er hat die Forschung in der PTR aktiv begleitet, beispielsweise bei der quantitativen Untersuchung der später als Einstein-de-Haas-Effekt bezeichneten Änderung des Drehimpulses einer Probe bei deren Magnetisierung.

In seiner Festrede* „Optics Forever: Perspektiven für ein innovatives Deutschland“ ging der ehemalige Geschäftsführer von *Lambda Physik* und ehemalige Präsident der *Deutschen Physikalischen Gesellschaft* Dr. D. Basting mit Beispielen auch aus der PTB auf die Chancen ein, die die optischen Technologien für den Industriestandort Deutschland bieten.

* Die ausführlichen Festreden von Prof. Kind und Dr. Basting sind in Heft 4/2003 der PTB-Mitteilungen enthalten.

Das neue Gebäude mit etwa 3100 m² Nutzfläche hat bautechnische Eigenschaften, die in vielen Punkten auf die besonderen Messanforderungen zugeschnitten sind und damit von Standardlaborgebäuden abweichen. Dazu gehört beispielsweise die Möglichkeit, die Messräume einzeln zu klimatisieren, mit einer Klimatechnik, die einer Reinraumklasse 100 000 entspricht. Zur Erzielung einer schwingungsarmen Umgebung, wie sie bei vielen Präzisionsexperimenten unerlässlich ist, wurden bei der Konzeption externe Einflüsse, wie z. B. wechselnde Windlasten, und interne Einflüsse, wie z. B. durch die Bewegung der Massen eines neuen Roboter-

Goniophotometers, modelliert und berücksichtigt. Der offen angelegte Eingangsbereich eignet sich besonders für größere Präsentationen im Rahmen von Tagungen und ermöglichte so bereits die Durchführung des 14. Norddeutschen Lasertags.

Im Albert-Einstein-Bau werden Aufgaben unterschiedlicher Bereiche aus dem Spektrum der *Abteilung Optik* bearbeitet, wie die quantitative Mikroskopie, die mikrooptische Messtechnik, die Messtechnik für Lumineszenzdioden oder für die Photovoltaik, sowie die Messtechnik mit ultrakurzen Pulsen und Superkontinua.



Bild 5: Der Präsident der PTB, Prof. Göbel, übergibt anlässlich der Einweihung des Albert-Einstein-Baus ein Kunstwerk mit Bezug zum Namensgeber.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Bestrahlungsstärkemessungen an eutektischen Fixpunkthohlraumstrahlern

In Kooperation mit dem russischen Institut für optophysikalische Messungen (VNIIOFI) wurden erste Bestrahlungsstärkemessungen an neuentwickelten Hochtemperatur-Hohlraumstrahlern mit eutektischen Fixpunktzellen durchgeführt, die sich damit auch für radiometrische und photometrische Anwendungen eignen. (Ansprechpartner: P. Sperfeld, AG 4.11, peter.sperfeld@ptb.de)

Kalibrierverfahren für ebene Teilkreise

Es wurde ein neues Kalibrierverfahren für ebene Teilkreise entwickelt und erprobt, das eine wesentlich geringere Fehlerfortpflanzung aufweist als alle bisher bekannten Verfahren. (I. Weingärtner, AG 4.21, ingolf.weingaertner@ptb.de)

Topographiemessung an Freiformflächen mit erhöhter lateraler Auflösung

Das Large Area Curvature Scanning-Verfahren zur Messung der Topographie von Asphären und Freiformflächen wurde dahingehend erweitert, dass eine Lateralauflösung von wenigen Mikrometern erreichbar ist. (M. Schulz, AG 4.21, michael.schulz@ptb.de)

Übertragung von Wellenlängenreferenzen über kommerzielle optische Telekommunikationsnetze

Gemeinsam mit europäischen Partnerinstituten hat die PTB Untersuchungen zur Übertragung optischer Frequenzen und Wellenlängenreferenzen über weite Distanzen (> 100 km) begonnen. Ziel ist die mögliche Nutzung kommerzieller optisch-transparenter Telekommunikationsnetze zur Weitergabe der Längeneinheit. (G. Grosche, AG 4.31, gesine.grosche@ptb.de)

Hochauflösende Messung von Faser-Bragg-Gittern

Es wurde ein neuer Messplatz entwickelt, der es ermöglicht, Faser-Bragg-Gitter hochauflösend spektral zu charakterisieren und ihre Mittenwellenlänge wesentlich genauer als bisher zu kalibrieren. Faser-Bragg-Gitter sind als kompakte Wellenlängenreferenzmaterialien u. a. für die optische Telekommunikation

relevant. (G. Grosche, AG 4.31, gesine.grosche@ptb.de)

Stöße ultrakalter Ca-Atome

Eine wesentliche Begrenzung von Uhren, die mit Wolken von Neutralatomen arbeiten, stellt die Verschiebung der als Referenz dienenden Absorptionslinien durch Stöße zwischen den Atomen dar. An einer optischen Uhr mit ultrakalten Calciumatomen konnte eine verringerte obere Grenze dieser Stoßverschiebung bestimmt werden. Dieser neue Wert liegt weit unter den Grenzen der relativen Verschiebungen, die bisher in Mikrowellenuhren mit Rubidium und Caesium gemessen wurden.

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

Eine optische Uhr mit ultrakalten Atomen

Es wurde gezeigt, wie an einem optischen Frequenznormal mit ultrakalten Ca-Atomen (10 μ K) in Zukunft relative Frequenzverschiebungen durch die Bewegung der Atome auf weniger als 10^{-15} reduziert werden und gleichzeitig bei der Detektion das fundamentale Quantenprojektionsrauschlimit erreicht werden kann.

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

Erster Vergleich der optischen Übergangsfrequenzen von zwei gespeicherten $^{171}\text{Yb}^+$ -Ionen

Zwei optische $^{171}\text{Yb}^+$ -Frequenznormale wurden zum ersten Mal hinsichtlich der Übereinstimmung der dargestellten Übergangsfrequenzen miteinander verglichen und zeigen im Rahmen des statistischen Anteils der relativen Messunsicherheit von unter 10^{-15} keine Frequenzabweichung.

(E. Peik, AG 4.43, ekkehard.peik@ptb.de)

Wie erzeugt man phasenkohärente Superkontinua?

In einer Grundlagenuntersuchung von Superkontinua in mikrostrukturierten Fasern, die mit ultrakurzen Lichtimpulsen gepumpt werden, wurde gezeigt, wie sich Fluktuationen der Pumpimpulsparameter (z. B. Energie, Dauer, Richtung) auf die Phasenkohärenz in optischen Frequenzmessungen und der höchstauflösenden Spektroskopie auswirkt.

(N. Haverkamp, nils.haverkamp@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Laserradiometrie für UV-Laser bei 193 nm

Laserleistungskalibrierungen bei der Excimer-Laserwellenlänge von 193 nm sind jetzt bis zu Laserleistungen von 3,5 W bei 200 Hz Repetitionsrate bzw. bis zu Laserimpulsenergien von 50 mJ mit einer erweiterten Unsicherheit ($k = 2$) von minimal 0,7 % möglich. (S. Kück, AG 4.13, stefan.kueck@ptb.de)

Mehrfach- und Vielfach-Sensor-Systeme zur absoluten Messung der Topografie

In grundlegenden Untersuchungen wurden für scannende Sensor-Systeme neuartige Mess- und Auswertestrategien entwickelt, welche die Einflüsse aller Fehler erster Ordnung solcher Messsysteme eliminieren und damit in erster Ordnung fehlerfreie Topographiemessungen ermöglichen. (I. Weingärtner, AG 4.21, ingolf.weingaertner@ptb.de)

Neuartiges Kalibriernormal zur Ermittlung der Tastspitzenform für Raster-Kraft-Mikroskope

Die PTB hat in Kooperation mit Industriepartnern ein neuartiges Kalibriernormal zur Charakterisierung von Tastspitzen für die Raster-Kraft-Mikroskopie entwickelt, welche es erlauben, Form und Radius der Tastspitzen mit einer Unsicherheit kleiner 20nm zu ermitteln, so dass diese damit für dimensionelle, sehr präzise Messungen der lateralen Abmessungen von Mikro- und Nanostrukturen genutzt werden können. (B. Bodermann, AG 4.22, bernd.bodermann@ptb.de)

Präzisionsgitterparameter-Bestimmungen an Si- und B-dotierten GaAs-Wafern

Die für die Herstellung mikro- und optoelektronischer Bauelemente auf GaAs wichtigen Änderungen der Gitterparameter können jetzt mit der für den Prozess notwendigen relativen Messunsicherheit von 10^{-5} beobachtet werden, nachdem sie auf Standards zurückgeführt worden sind, deren Abhängigkeit von der Dotierstoffkonzentration mit Röntgenmessungen bestimmt wurde.

(P. Becker, AG 4.33, peter.becker@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Neues Messverfahren für digitale Röntgenbild-Detektoren

Im Rahmen eines internationalen Normungsvorhabens wurde ein Messverfahren zur Bestimmung der Quantenausbeute von digitalen medizinischen Röntgenbild-Detektoren entwickelt, ein entsprechender Messplatz realisiert und Beispielmessungen durchgeführt. (E. Buhr, AG 4.22, egbert.buhr@ptb.de)

Kann DCF77 mehr liefern als „Zeit“?

Auf Anregung der *Zentralstelle für Zivilschutz* (ZfZ) beim Bundesverwaltungsamt wurde in einem Feldversuch untersucht, ob sich die Aussendung von „Zeitzeichen“ mit DCF77 auch zur Übertragung von Warninformation nutzen lässt.

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

Messtechnik für Laserschutzfilter

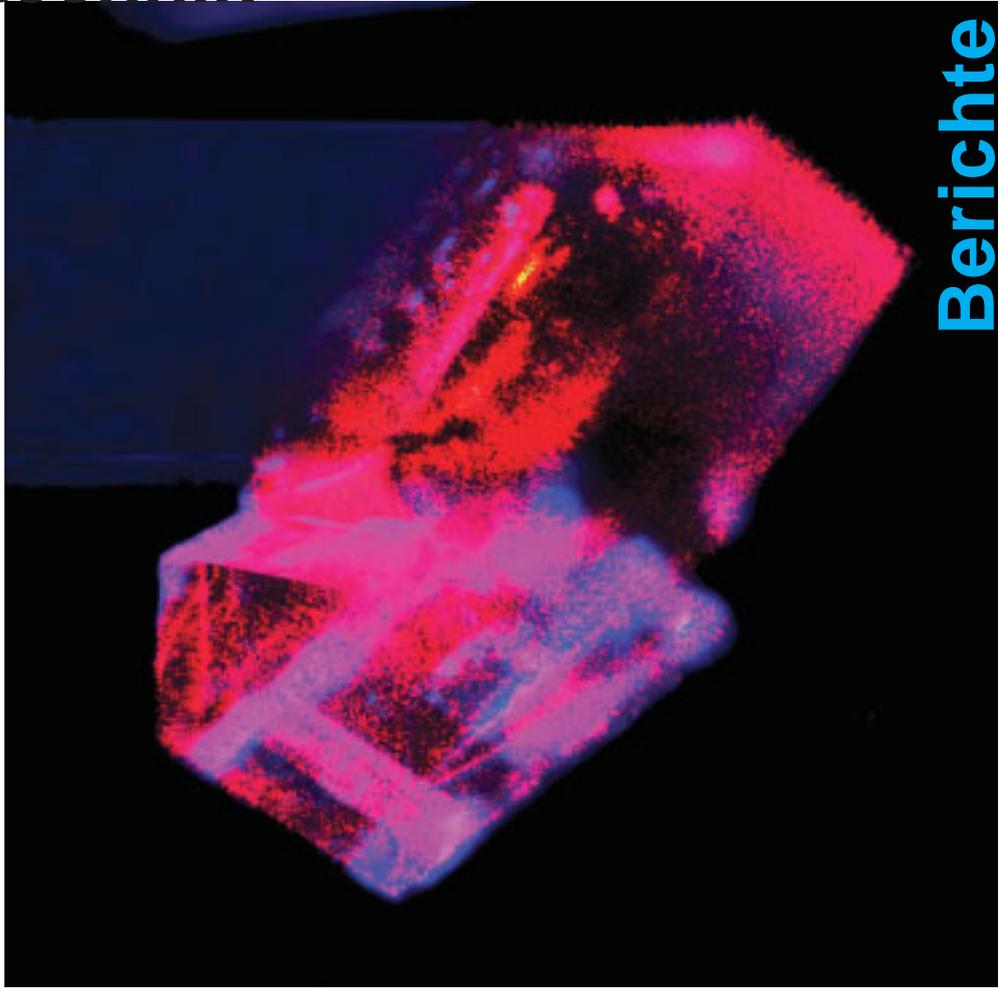
In einem im Jahr 2003 abgeschlossenen Forschungsvorhaben mit der *Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin* (BAuA, Dortmund) wurde die Schutzwirkung von Laserfiltern bei Femtosekunden-Impulsen untersucht. (A. Schirmacher, AG 4.51, alfred.schirmacher@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Zeitskalenvergleich mit vier unterschiedlichen Methoden zwischen dem United States Naval Observatory und der PTB

Zur Validierung der unterschiedlichen Verfahren, Zeitskalen über interkontinentale Distanzen zu verbreiten, wurden die Zeitskala UTC(USNO), die als Referenz der GPS-Systemzeit und unabhängig davon wegen ihrer Stabilität bekannt ist, und UTC(PTB) mit vier unterschiedlichen Methoden verglichen. (A. Bauch, AG 4.42, andreas.bauch@ptb.de)

Fertigungs- messtechnik



Berichte der Abteilungen

Abteilung



5

Fertigungs

Die Abteilung 5 *Fertigungsmesstechnik* besteht seit dem 1. Juli 2003 aus den fünf Fachbereichen 5.1 *Nano- und Mikrometrologie*, 5.2 *Längen- und Winkelteilungen*, 5.3 *Koordinatenmesstechnik*, 5.4 *Längenmaße und -messmittel* sowie 5.5 *Wissenschaftlicher Gerätebau*. Einen Überblick über das Tätigkeitsprofil der fünf Fachbereiche und der dazugehörigen Arbeitsgruppen gibt der Web-Jahresbericht.

Internationale Maßvergleiche von Normalen und Normalmeseinrichtungen sind bekanntlich Indikatoren für das aktuelle Leistungsvermögen auf dem betreffenden metrologischen Spezialgebiet, die erreichte Kompetenz und ggf. sich daraus ableitende FuE-Arbeiten. Nach Abschluss mehrerer für die Abteilung *Fertigungsmesstechnik* wesentlicher Maßvergleiche konzentriert sich der folgende Bericht auf dieses Thema, nachdem in den drei Vorjahren versucht wurde, repräsentative Überblicke über größere metrologische Tätigkeitsfelder der Abteilung zu vermitteln.

Eine Datenbank des BIPM informiert über angebotene metrologische Dienstleistungen

Im Zusammenhang mit der zunehmenden Globalisierung von Wirtschaft und Handel wurde im zurückliegenden Jahrzehnt erkennbar, dass nicht genügend Vertrauen in Ergebnisse von Messungen zu Handelshemmnissen führen kann und entsprechende Defizite durch vertrauensbildende Maßnahmen überwunden werden müssen. Eine Folgerung des höchsten internationalen Gremiums der Metrologie daraus war bekanntlich Ende der 90-er Jahre, mit dem Mutual Recognition Agreement (MRA) einen maßgeblichen Beitrag innerhalb der Gemeinschaft der nationalen Metrologie-Institute zu leisten (s. PTB-Jahresbericht 2001, S.12):

Titelbild

Mikroskopische Aufnahme der Diamantspitze eines in der PTB entwickelten Sensors. Der kompakte Sensor ist als Teil eines Rasterkraftmikroskops einsetzbar.

- internationale Schlüsselvergleiche (Key Comparisons) und ergänzende Vergleiche (Supplementary Comparisons) auf internationaler Ebene und regionaler Ebene (weltweit insgesamt fünf Organisationen, z. B. EUROMET) durchzuführen und damit die Grundlage für ausreichend einheitliche, auf das SI-System zurückgeführte Messungen zu schaffen
- die Ergebnisse dieser Maßvergleiche in einer jedermann zugänglichen Datenbank (eine Datenbank des BIPM – <http://kcdb.bipm.org/AppendixB/default.asp>) bekannt zu machen, die die angebotenen metrologischen Dienstleistungen der nationalen metrologischen Institute enthält.

Im Folgenden wird über vier im Jahre 2003 abgeschlossene internationale Maßvergleiche berichtet, bei denen die Pilotfunktion durch die Abteilung *Fertigungsmesstechnik* wahrgenommen wurde. Drei Vergleiche erfolgten unter der Regie des Konsultativkomitees Länge (CCL) des CIPM (Comité International des Poids et Mesures), ein Vergleich gehört zum Arbeitsbereich des Konsultativkomitees Masse (CCM). Die Ergebnisse der Maßvergleiche gehen in die genannte BIPM-Datenbank ein.

Internationaler Maßvergleich Nano 3 an Strichmaßstäben

Obwohl heute die Längeneinheit durch die 1983 erfolgte Festlegung der Vakuum-Lichtgeschwindigkeit auf die Zeiteinheit zurückgeführt ist, haben Strichmaßstäbe noch immer eine große Bedeutung bei der Weitergabe der Längeneinheit bis in die industrielle Produktion. Die höchsten Anforderungen werden dabei an Längenmesssysteme mit einem Messbereich von etwa 300 mm gestellt, die u. a. in Produktionsanlagen von Halbleiterbauelementen eingesetzt werden.

messtechnik

Zum Nachweis der weltweiten Vergleichbarkeit der Längenkalibrierungen von metrologischen Instituten an hochwertigen Strichmaßstäben wurde im Zeitraum von 2000 bis 2003 ein internationaler Maßvergleich unter Federführung der PTB durchgeführt. Am Vergleich nahmen 13 Institute teil, davon elf bis zum Ende des Vergleichs.

Als TransfERNormale wurden zwei Strichmaßstäbe mit Teilungslängen von 280 mm aus den temperaturstabilen Substratmaterialien Zerodur und Quarz ausgewählt, die durch die *Dr. Johannes Heidenhain GmbH*, Traunreut, neu gefertigt wurden. Hierbei sind neueste Lithografie- und Prozesstechnologien zum Erzielen hochwertiger Strichstrukturen, insbesondere hinsichtlich der für den Maßvergleich kritischen Kantenrauheit (Bild 1) angewendet worden.

Die beiden TransfERNormale ergänzend, wurden zusätzliche Kontroll-Strichmaßstäbe sowie lange Endmaße aus denselben Substratmaterialien gefertigt. Hierdurch waren eine Kontrolle der Langzeitkonstanz der Maßstäbe sowie eine unabhängige Bestimmung wichtiger Materialparameter wie thermische Ausdehnungskoeffizienten und Längenkompressibilität möglich.

Bei den in der PTB mit unterschiedlichen Längenkomparatoren durchgeführten Rekalibrierungen der Strichmaßstäbe aus Zerodur wurde über die Dauer des Maßvergleiches eine geringe Längenkontraktion des Substratmaterials in der Größenordnung von jährlich $(-7 \pm 4) \cdot 10^{-8}$ festgestellt. Ergänzende Messungen an den langen Endmaßen bestätigten dies.

Es ist zu erkennen, dass sich die Gesamtlänge der Strichteilung verkürzt, die charakteristische Teilungsabweichung bzw. Signatur aber konstant bleibt (Bild 2). Bei der Analyse der Messergebnisse wurde daher eine lineare Driftkompensation vorgenommen.

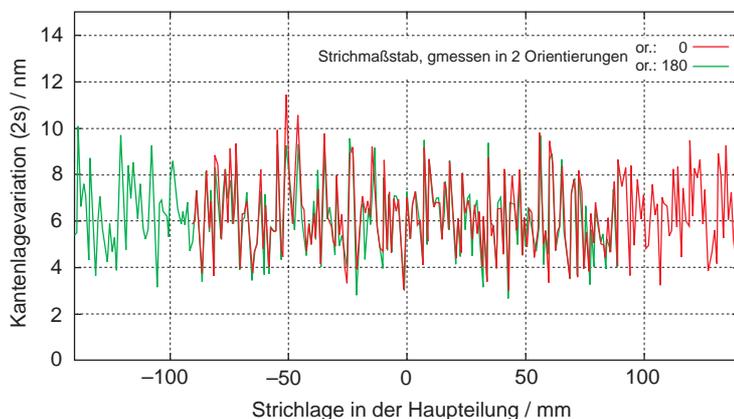


Bild 1: Variation der Positionen der Strichkanten, ermittelt durch neun entlang der Kante versetzte optische Antastungen mit einem $12,5 \mu\text{m}$ breiten Spalt an allen 1-mm-Strichen der Hauptteilung von 280 mm Länge

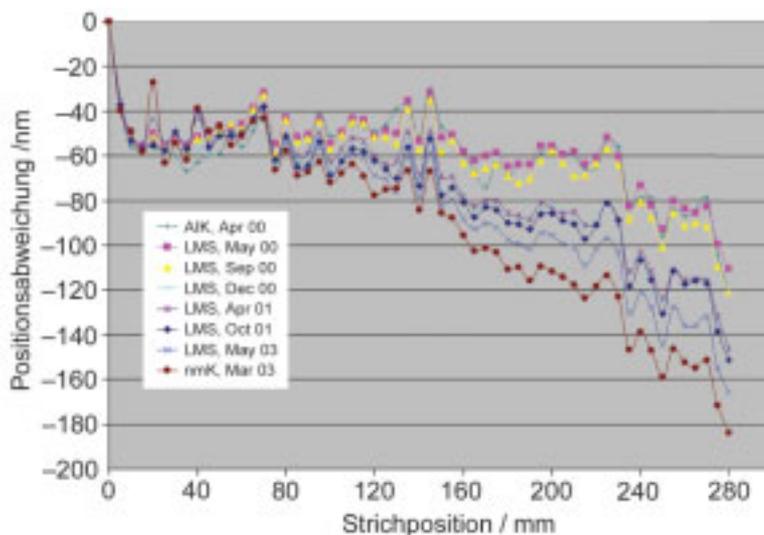


Bild 2: Ergebnisse der mit verschiedenen Längenkomparatoren in der PTB durchgeführten Rekalibrierungen des Nano-3-Strichmaßstabs aus Zerodur

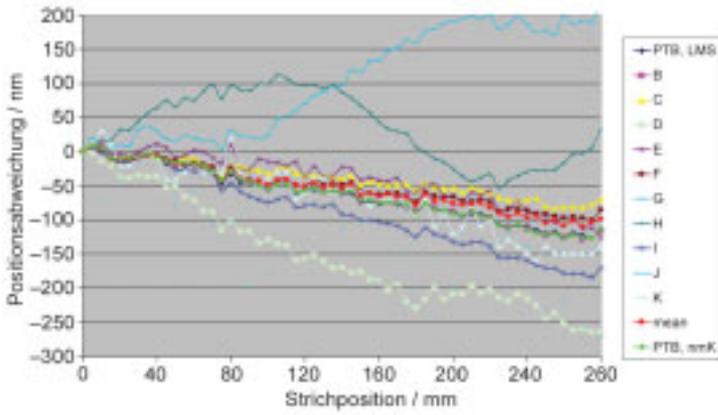


Bild 3: Nano-3-Ergebnisse am Quarz-Strichmaßstab, 280 mm Haupt-Strichteilung, 5 mm Stufung

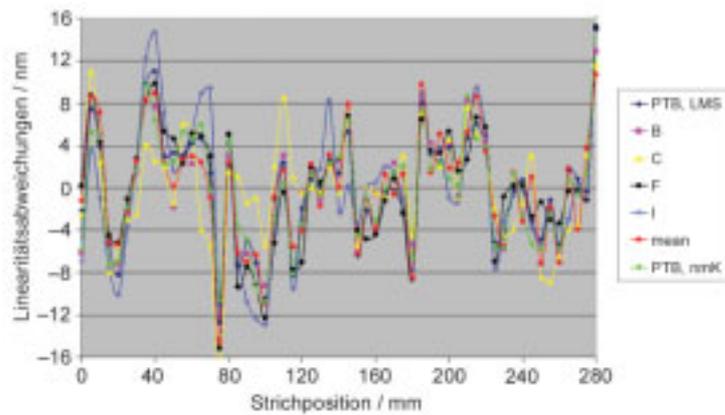


Bild 4: Messergebnisse am Nano-3-Quarz-Strichmaßstab einschl. Ergebnisse mit Nanometerkomparator (nmk). Abweichungen von den linearen Ausgleichsgeraden für die Untermenge der Teilnehmerergebnisse, für die ein längenunabhängiger Messunsicherheitsanteil von weniger als 20 nm angegeben wurde.

Bild 3 zeigt die am Nano-3-Quarz-Strichmaßstab gemessenen Teilungsabweichungen der Institute im Vergleich in anonymisierter Form, wobei die beiden eingesetzten Längenkomparatoren der PTB – der optische Maskenkomparator LMS 2020 und der neue Vakuum-Längenkomparator, der so genannte Nanometerkomparator – explizit ausgewiesen sind.

Die Ergebnisse der beiden eingesetzten Komparatoren der PTB stimmen innerhalb der jeweils abgeschätzten Messunsicherheiten sehr gut überein. Dies gilt auch bei Betrachtung der resultierenden Teilungsabweichungen, nachdem deren linearer Anteil eliminiert wurde. Die in Bild 4 gezeigten Ergebnisse der Nano-3-Teilnehmer mit besonders hochwertigen optischen Antasteinheiten und daraus folgenden kleinen längenunabhängigen Unsicherheitsanteilen stimmen in einem Bereich von wenigen Nanometern überein.

Die gute Qualität der verwendeten Strichmaßstäbe und die in der PTB durchgeführten begleitenden Untersuchungen zu Materialeigenschaften sowie zur Langzeitstabilität der Substratmaterialien hat es den teilnehmenden Instituten erstmals ermöglicht, einen metrologisch aussagekräftigen Vergleich für die ermittelten längenabhängigen und längenunabhängigen Unsicherheitsanteile der beteiligten Längenkomparatoren durchzuführen. Zudem konnte die PTB anhand des Nano-3-Vergleiches die aktuelle Leistungsfähigkeit des neuen Nanometerkomparators (Bild 5) bestimmen und dokumentieren.

Internationaler Maßvergleich Nano 2 zur Stufenhöhenmessung

Für Oberflächenuntersuchungen ist es von wesentlichem Interesse, kleinste Stufenhöhen messen und kalibrieren zu können. Ganz besonders gilt dies für die lateral hochauflösenden Rastersondenmikroskope (SPM). Zur qualifizierten Rückführung der Messergebnisse der auf diesem Gebiet eingesetzten Geräte wurde ein Maßvergleich durchgeführt. Der Vergleich begann im Jahr 2000 und endete 2003 mit der Bestätigung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen durch das CCL, die Einordnung als Supplementary Comparison sowie die Aufnahme der Ergebnisse in die entsprechende BIPM-Datenbank.



Bild 5: Der Nanometerkomparator der PTB

Insgesamt nahmen 14 nationale Metrologieinstitute mit über 20 Geräten teil (fünf hochauflösende Tastschnittgeräte, sechs Interferenzmikroskope, ein Heterodyninterferometer und acht SPM). Gemessen wurde an fünf Stufenhöhennormalen mit den Nominalwerten von 7, 20, 70, 300 und 800 nm.

Bild 6 zeigt das Layout für die benutzten Stufenhöhennormalen, Bild 7 die Ergebnisse der Messungen zum Normal für die Stufenhöhe 800 nm. Der Referenzwert h_{ref} wurde als gewichtetes Mittel (Gewichtung $u(h_i)^{-2}$) aller Messungen berechnet.

Die Messergebnisse der unterschiedlichen Gerätetypen weisen eine sehr gute Übereinstimmung auf. Der Vergleich hat die Messfähigkeiten der Rastersondenmikroskope eindrucksvoll bestätigt und gezeigt, dass mit ausgereiften metrologischen Messgeräten Messunsicherheiten im Subnanometerbereich erreicht werden können.

Als eine Schlussfolgerung aus dem Maßvergleich wurden die betreffenden Teilnehmer dazu ermutigt, ihre Messfähigkeiten mit Rastersondenmikroskopen angemessen in der BIPM-Datenbank als potenzielle metrologische Dienstleister auszuweisen. Bisher haben das nur wenige metrologische Institute erklärt.

Insgesamt kann dieser Maßvergleich als sehr erfolgreich bewertet werden, nicht zuletzt weil damit eindrucksvoll die Konsistenz unterschiedlicher Messverfahren (leistungsfähige Tastschnittverfahren, Interferenz- und Rastersondenmikroskopie) nachgewiesen werden konnte.

Internationaler Vergleich von Stufenendmaß- und Kugelstabkalibrierungen

Koordinatenmessgeräte besitzen weltweit eine überragende Bedeutung als leistungsfähige Mittel zur Qualitätssicherung und -steuerung in modernen Produktionsprozessen. Stufenendmaße und Kugelstäbe werden als eindimensionale Referenznormale verbreitet für die Rückführung von Messergebnissen mit Koordinatenmessgeräten eingesetzt.

Dies ist der Grund, weshalb unter insgesamt sechs internationalen Schlüsselvergleichen (Key Comparisons), die vom Konsultativ-

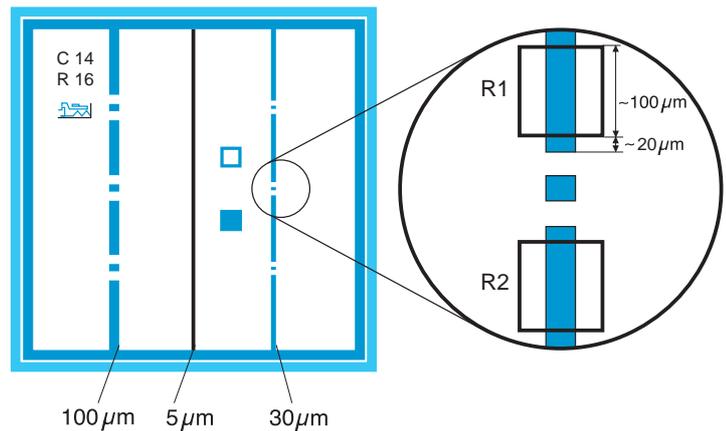


Bild 6: Layout zu den für den Maßvergleich benutzten Stufenhöhennormalen mit stegartigen Strukturen, die Oberfläche insgesamt verchromt

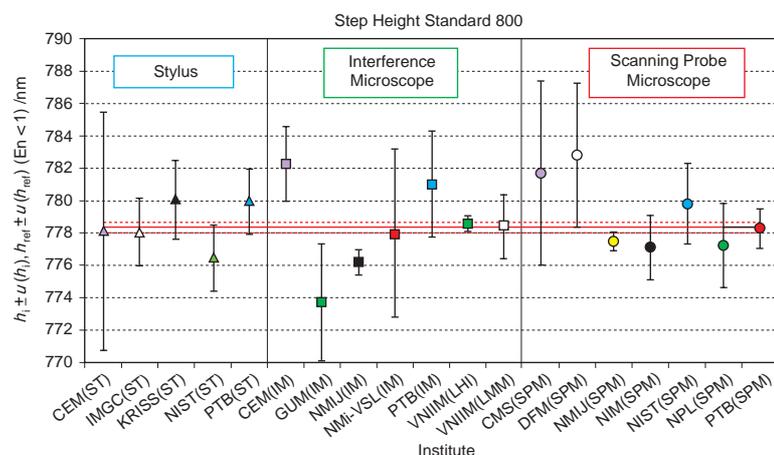


Bild 7: Gemessene Stufenhöhen h_i und Standardunsicherheiten $u(h_i)$ der unterschiedlichen Geräte der nationalen Metrologieinstitute am Beispiel des 800-nm-Normals. Die durchgezogene Linie gibt den Referenzwert h_{ref} wieder.

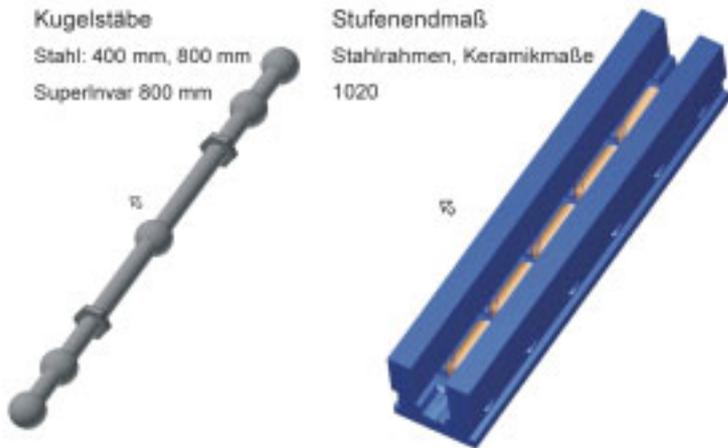


Bild 8: Prinzipskizze zu Kugelstab und Stufenendmaß

komitee Länge (CCL) nach Prioritäten ausgewählt worden waren, sich zwei auf die Rückführung von Koordinatenmessungen beziehen – die Fähigkeit zur hinreichenden Kalibrierung von 1- bzw. 2-dimensionalen Referenznormalen. Die PTB fungierte als Koordinator für den Vergleich der Kalibrierfähigkeiten an den erstgenannten Normalen. Nach insgesamt drei Jahren wurde der Vergleich 2003 erfolgreich beendet.

Die zu kalibrierenden Normale waren ein Stufenendmaß von 1020 mm Länge und drei Kugelstäbe zwischen 400 mm und 800 mm Länge (Bild 8). An der Vergleichsmessung waren ursprünglich elf Staatsinstitute beteiligt, insgesamt acht davon stellten schließlich ihre Ergebnisdaten zur Verfügung.

Die angestrebte und erforderliche Messunsicherheit ist bei dieser Messaufgabe mit typischerweise mehr als 1 µm nicht besonders anspruchsvoll. Andererseits ist das Aufspannen und Ausrichten solcher Normale erfahrungsgemäß nicht unproblematisch. Auch ist die Langzeitstabilität solcher Normale nicht immer sichergestellt. Es zeigte sich, dass die Mehrheit der Staatsinstitute prinzipiell keine Probleme mit den Messaufgaben hatte und Ergebnisse im Rahmen der Erwartungen liefern konnte.

Speziell bei der Stufenendmaßmessung gab es zum Teil signifikante Abweichungen vom Referenzwert. Insbesondere die Kalibrierung des Tastelementdurchmessers und die Justage des meist zur Längenmessung genutzten Laser-Interferometers führten zu den Abweichungen. Die Grafik im Bild 9 zeigt eine Übersicht der Messergebnisse.



Bild 9: Übersicht der Abweichungen der Stufenendmaßmessergebnisse vom Referenzwert individuell für jede Endmaßstufe

Die Kugelstabmessungen wurden nur von wenigen Instituten durchgeführt. Diese stimmten gut überein.

Insgesamt hat der Vergleich zu Resultaten geführt, aus denen sich eine Fülle von neuen Erkenntnissen über die Messprozesse ableiten lässt.

Internationaler Maßvergleich Vickers des CCM

Durch die Arbeitsgruppe Härte (WGH) des Konsultativkomitees für mechanische Messungen (CCM) wurde im Jahre 2003 der Schlüsselvergleich Vickers abgeschlossen.

An dem Vergleich beteiligten sich zehn Härte-laboratorien. Als Pilotlabor fungierte die PTB. Der Vergleich der Vickers-Härtenormalmess-einrichtungen erfolgte mit drei Sätzen von Härtevergleichsplatten in den Vickers-Skalen HV0,2; HV1 und HV30, mit jeweils den Härteniveaus 240 HV, 540 HV und 840 HV.

Im Bild 10 sind repräsentativ die Ergebnisse für die Härtevergleichsplatten 240 HV30 und 840 HV1 dargestellt.

Der Maßvergleich Vickers lieferte für alle drei angewendeten Prüfkraftbereiche (Mikro-Vickers, Kleinkraft-Vickers, Makro-Vickers) wertvolle metrologische Erkenntnisse. Als Voraussetzung für qualifizierte Vickers-Härtemessungen stehen Härtevergleichsplatten mit guter zeitlicher Stabilität, lokaler Homogenität und Oberflächengüte zur Verfügung. Weiterhin können die Unsicherheiten der Referenzwerte ($U_{rel} = 0,2\% \text{ bis } 1,2\%$) als die gegenwärtigen Grenzen der Vickers-Messungen im untersuchten Bereich der Härteskalen angesehen werden.

Gegenüber dem letzten internationalen Maßvergleich zur Vickers-Härte, der im Rahmen der regionalen Metrologieorganisation COOMET im Jahre 1998 durchgeführt wurde und Unsicherheiten im Bereich von 1 % bis 2 % zeigte, wies dieser Schlüsselvergleich eine weitere Verbesserung des messtechnischen Niveaus nach.

Um die genannten metrologischen Grenzen künftig zu unterbieten, sollten Aktivitäten in folgenden Richtungen durchgeführt werden:

- Kalibrierverfahren für die Diagonalenmessungen bei Längen $d > 100 \mu\text{m}$ verbessern
- Kalibrierverfahren für die Parameter der Eindringkörpergeometrie wie Spitzenradius und Schnittkantenlänge weiter entwickeln
- Empfindlichkeitskoeffizienten für materialabhängige Einflüsse auf Vickers-Härtemessungen experimentell untersuchen
- Eindringkörperabweichungen und Herstellung von Eindringkörpern mit noch weiter verbesserter Qualität korrigieren können
- quantitative Zusammenhänge zwischen den mit CCD-Systemen und konventionellen optischen Mikroskopen erhaltenen Ergebnissen von Vickers-Messungen untersuchen.

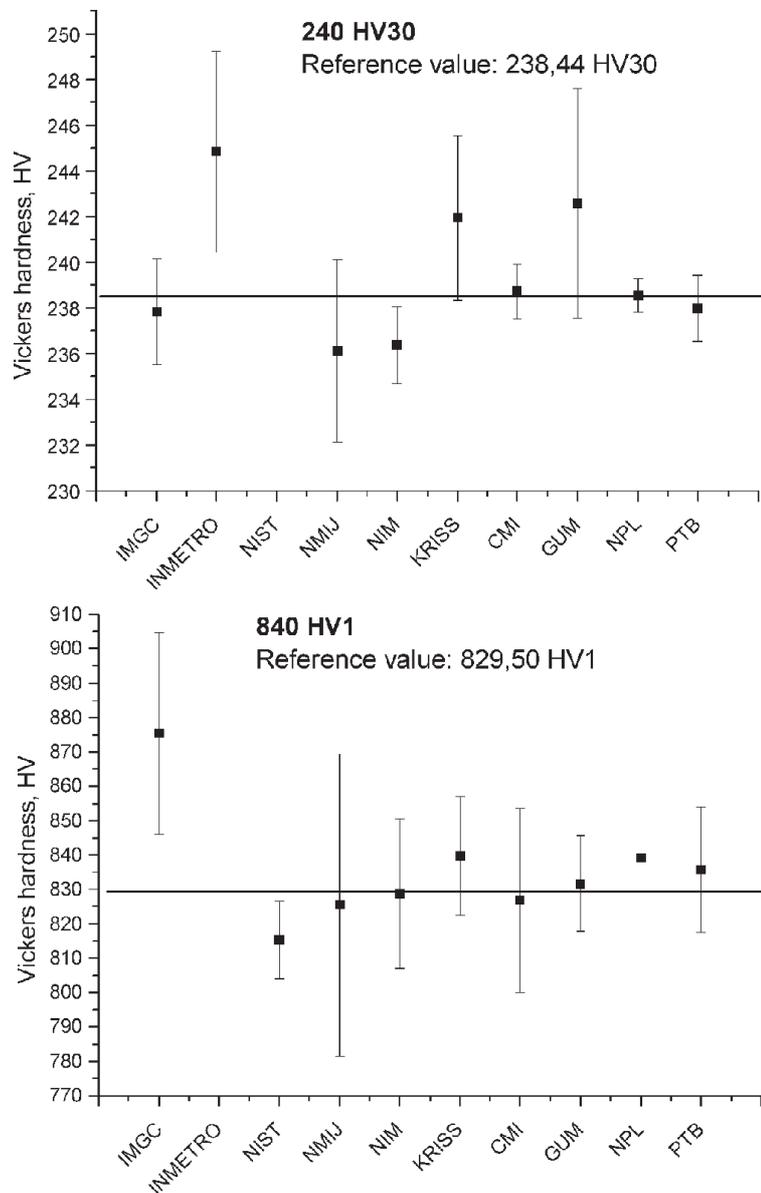


Bild 10: Messergebnisse für die Härtevergleichsplatten 240 HV30 (oben) und 840 HV1 (unten)

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Untersuchung lateral strukturierter Grenzflächen mit diffuser Röntgenstreuung

An dem Messplatz zur diffusen Röntgenstreuung sind erfolgreich Untersuchungen an einer künstlich strukturierten Grenzfläche durchgeführt worden, die Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung dieser Technik sind. (Ansprechpartner: J. Stümpel, AG 5.13, juergen.stuempel@ptb.de)

Absolut messendes Interferometer mit einer antireflexbeschichteten Laserdiode

Für die absolute Messung von Längen wurde ein Interferometer mit einem in der Frequenz modulierten und durchstimmbaren Diodenlaser mit externem Resonator in Littmann-Konfiguration aufgebaut. Die Messunsicherheit, welche durch Vibrationen und frequenzabhängige Phasenverschiebungen begrenzt wird, lässt sich durch statistische Mittelung und rechnerische Korrektur reduzieren.

(K. Meiners-Hagen, AG 5.42, karl.meiners-hagen@ptb.de)

Absolut messendes Interferometer mit einer nicht antireflexbeschichteten Laserdiode

Die Untersuchungen dienen dem Einsatz einfacher Laserdioden (ohne Entspiegelung) in der Absolutinterferometrie. Dabei wurde ein Interferometer mit einem in der Frequenz modulierten und durchstimmbaren Diodenlaser mit externem Resonator in Littrow-Konfiguration aufgebaut und zur Messung absoluter Distanzen verwendet. (V. Burgarth, FB 5.4, volker.burgath@ptb.de)

Die nächste Generation des Kösters-Interferometers

In Zusammenarbeit mit dem kanadischen Staatsinstitut wurde ein Interferometer-Prototyp aufgebaut, welcher die visuelle Erfassung der Interferenzdaten am Kösters-Interferometer für lange Endmaße zukünftig überflüssig macht. Das geschieht durch den Einsatz der Phasenverschiebungsinferometrie in Verbindung mit einer 12-bit-Kamera. Damit kann eine geringere Messunsicherheit erreicht werden. Die deutlich schnellere Erfassung der elektronischen Daten ist zudem frei vom individuellen Einfluss des Operators. (R. Schödel, AG 5.41, rene.schoedel@ptb.de)

Minimierung des Einflusses der Fehljustage beim Präzisionsinterferometer

Das zur Justage der Autokollimation neu entwickelte BRS(Back-Reflex-Scan)-Verfahren reduziert den Einfluss des Kosinusfehlers auf 10 %, verglichen mit der herkömmlichen Justage. Bei konstanter Temperatur können jetzt alle bekannten individuellen Unsicherheitsbeiträge deutlich kleiner als 0,1 nm abgeschätzt werden. Verschiedenste Messreihen ergaben, dass die Streuung der Daten tatsächlich in jedem Fall kleiner als 0,1 nm war, was typischer Weise einer relativen Längenänderung von etwa $\pm 3 \cdot 10^{-10}$ entspricht.

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

Konstruktion und Fertigung eines Röntgen-Monochromators für die Silizium-Orientierungsapparatur

Zur Erhöhung der Qualität der Orientierung der Netzebenenormalen von Silizium-Einkristallen mittels Röntgenstrahlinterferenzen wurde für die Kristall-Orientierungsapparatur ein Röntgen-Monochromator konstruiert und gefertigt. (H. Droesemeyer, AG 5.51, holger.droesemeyer@ptb.de)

Konstruktion und Fertigung einer Germaniumdetektorabschirmung

Mit der Messeinrichtung werden kleinste Aktivitäten an radioaktiven Proben gemessen. Die Abschirmung schützt den Germaniumdetektor dabei vor Umweltstrahlung. (E. Luiken, AG 5.51, enno.luiken@ptb.de)

Fertigung von konischen Tieflochbohrungen mit extrem großen Aspektverhältnissen

Für ein Röntgenspektrometer waren konische Tieflochbohrungen mit einem extrem hohen Aspektverhältnis in einem Verbundwerkstoff zu fertigen. Die aus technologischer Sicht enorm herausfordernde Aufgabe wurde auf einer CNC-Senkerodiermaschine mit einer speziellen Mikroeinrichtung und sich drehender Elektrode gelöst.

(V. Jäger, AG 5.52, valentin.jaeger@tb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Untersuchung von Unregelmäßigkeiten auf 2-D-Lateralnormalen

Bei rasterkraftmikroskopischen Untersuchungen von elektronenstrahlolithographisch hergestellten Lateralnormalen mit 2-dimensionalen periodischen Strukturen wurden signifikante Abweichungen von der mittleren Gitterperiode festgestellt. (T. Dziomba, AG 5.14, thorsten.dziomba@ptb.de)

Metrologische Charakterisierung von Schichtdickenstandards für die Röntgenreflektometrie

Durch die Nutzung eines rückgeführten Lateralnormalen können nun horizontale Rauheitskenngrößen bei Messungen mit Tastschnittgeräten auf die Längeneinheit zurückgeführt werden. (P. Thomsen-Schmidt, AG 5.16, peter.thomsen-schmidt@ptb.de)

Kalibrierung von Silizium-Lateralnormalen für Tastschnittgeräte

Zur Kalibrierung von anisotrop geätzten Si-Lateralnormalen mit Teilungsperioden von 10 µm bis 2,5 mm wurde das optische Maskenmessgerät LMS 2020 verwendet. Hiermit ließen sich Messunsicherheiten für die mittleren Periodenlängen von bis zu 1 nm erzielen. (H. Bosse, FB 5.2, harald.bosse@ptb.de)

Einsatz eines neuen Lateralnormalen zur Kalibrierung von Tastschnittgeräten

Durch die Nutzung eines Lateralnormalen können nun horizontale Rauheitskenngrößen bei Messungen mit Tastschnittgeräten auf die Längeneinheit zurückgeführt werden. (R. Krüger-Sehm, AG 5.16, rolf.krueger-sehm@ptb.de)

Nano-Raunormale für Rastersondenmikroskope

Für den Einsatz als Rauheits-Kalibriernormale für Rastersondenmikroskope wurden mit einem „Nanogrinding“-Prozess stochastisch raue Oberflächen in Silizium erzeugt und mit Oberflächenmessgeräten auf ihre Eignung untersucht. Als Ergebnis stehen praxisrelevante Normale zur Verfügung. Das dazu erforderliche methodische Regelwerk ist teils noch zu erarbeiten. (R. Krüger-Sehm, AG 5.16, rolf.krueger-sehm@ptb.de)

Winkel-Umschlagverfahren mit einem zweiachsigen Piezo-Kippsystem zur Untersuchung von elektronischen Autokollimatoren

Es wurde ein neues Messverfahren erprobt, um das nichtlineare axiale Übersprechen bei der Winkelmessung mit zweiachsigen Autokollimatoren zu ermitteln. Es beruht auf der Fehlertrennung durch Umschlagverfahren unter Einsatz eines zweiachsigen Piezokippsystems, in Analogie zum bekannten Umschlagverfahren für die Geradheitsmessung an einem Lineal.

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

Bestimmung des thermischen Ausdehnungskoeffizienten eines Kohlefaserstabs

Die Bestimmung des thermischen Längenausdehnungskoeffizienten eines in der Automobilindustrie verwendeten Abstandsnormals aus kohlefaserverstärktem Kunststoff wurde mit einer Messunsicherheit von $1 \cdot 10^{-7} \text{ K}^{-1}$ durchgeführt. (J. Lerch, AG 5.22/5.24, joachim.lerch@ptb.de)

Stellvertreterkalibrierverfahren für zwei-dimensionale Prüfkörper

Es wurde ein Kalibrierverfahren entwickelt und zum Patent angemeldet, das auf einer stellvertretenden optischen Kalibrierung von dünnen Hilfsnormalen gleichen Profils wie die eigentlich zu kalibrierenden Prüfkörper beruht. Prüfkörper und Hilfsnormale werden dazu in einem gemeinsamen Prozessschritt hergestellt.

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

Rückführbare Inline-Messtechnik im Karosseriebau

In Zusammenarbeit mit Automobilherstellern, Messtechnik-Anbietern und der RWTH Aachen werden wesentliche Grundlagen geschaffen, damit die Inline-Messtechnik im Karosseriebau die Anforderungen einer modernen Qualitätssicherung im Bezug auf Rückführbarkeit und Messgenauigkeit erfüllen kann.

(K. Wendt, AG 5.32, klaus.wendt@ptb.de)

Integration eines selbstnachführenden Laserinterferometers in ein Koordinatenmessgerät

Das selbstnachführende Laserinterferometer ist eine Entwicklung der PTB. Seine Strahlen-

führung ermöglicht interferometrische Messungen im Raum mit bisher nicht erreichter Genauigkeit. Durch die Integration des selbstnachführenden Laserinterferometers in ein Koordinatenmessgerät kann die Messunsicherheit komplexer dreidimensionaler Messungen deutlich reduziert werden. Eine erste Anwendung ist die hochgenaue Kalibrierung von Verzahnungsnormalen. (K. Kniel, AG 5.33, karin.kniel@ptb.de)

Messung von Mikrobohrungen mit dem opto-taktilen Taster

Mikrobohrungen mit Durchmessern $\leq 0,2$ mm können zurzeit ausschließlich mit dem opto-taktilen Taster taktil gemessen werden. Zwei wichtige Schritte zur Reduzierung der Messunsicherheiten waren die Erprobung eines Verfahrens zur Bestimmung der Rundheitsabweichungen der Tastkugel und die Entwicklung eines neuartigen, patentierten Mikro-Bohrungsnormals. (U. Neuschaefer-Rube, AG 5.32, ulrich.neuschaefer-rube@ptb.de)

Messung von Bauteildimensionen mit industrieller Computertomographie (CT)

In einem zweijährigen Industrieprojekt werden die Möglichkeiten der Messung von Bauteildimensionen mit industrieller Röntgen-Computertomographie untersucht. Messungen werden an Prüfkörpern der PTB und an Aluminium-Gusswerkstücken durchgeführt. Schwerpunkt des Projekts ist die Analyse der Prozesskette für die dimensionelle Erstbemusterung von Gussteilen. (M. Bartscher, AG 5.32, markus.bartscher@ptb.de)

Genauigkeitsteigerung von kommerziellen Laserinterferometern für Längenmessungen durch Rekalibrierung

Mit dem neuen Komparator zur Kalibrierung von Laserinterferometern (LI) konnten in der PTB zahlreiche dieser industriell genutzten Messsysteme unterschiedlicher Hersteller mit hoher Präzision rekalibriert werden. Bei Nutzung der so gewonnenen längenabhängigen Korrektionswerte verkleinert sich die vom Hersteller angegebene Messunsicherheit dieser LI um nahezu eine Größenordnung. (G. Sparrer, A. Abou-Zeid: AG 5.44, 5.42, gerald.sparrer@ptb.de)

Entwicklung eines Absorptionshygrometers

Die Untersuchungen dienen der Entwicklung eines Hygrometers auf der Basis eines abstimmbaren Diodenlasers mit einem externen Resonator. Mithilfe der Absorptionsspektroskopie soll die absolute bzw. die relative Luftfeuchte bestimmt werden. (H. J. Altmeyer, AG 5.42, hans-juergen.altmeyer@ptb.de)

Transfernormale für Konturmessmaschinen

Es wurde ein Aufnahmesystem zur Halterung und Positionierung von Formelementen für die Kalibrierung von Konturmessmaschinen entwickelt. (F. Pilarski, AG 5.51, frank.pilarski@ptb.de)

Herstellung von PVDF-Membran-Hydrophonen

In Kooperation mit der fachlich zuständigen Arbeitsgruppe wurden Hydrophone konstruiert und hergestellt. Herausgestellt wird hier die technologische Leistung, die im Finden und Beherrschen von maßgeblichen Details eingesetzter Beschichtungsprozesse besteht. (F. Mehlhorn, AG 5.54, frank.mehlhorn@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Konstruktion und Fertigung einer $^{60}\text{Kobalt}$ -Bestrahlungsanlage

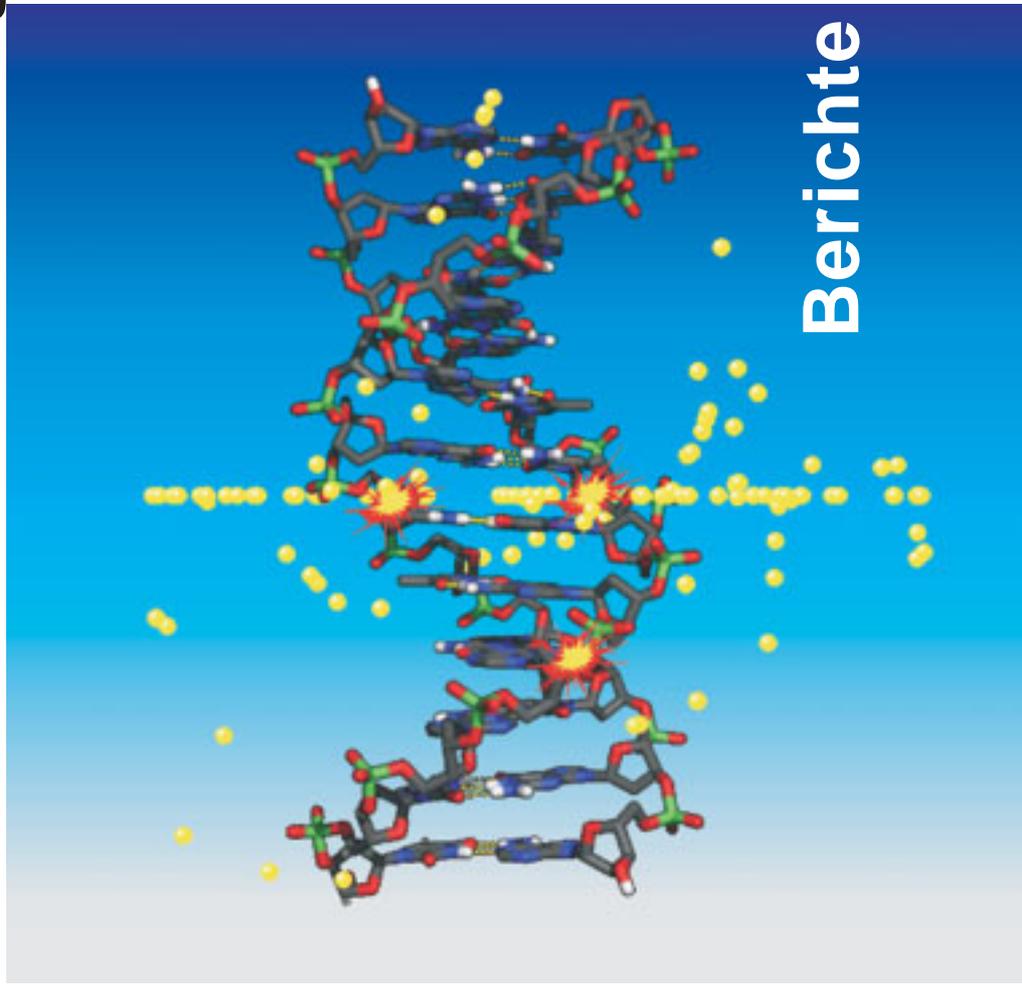
Es wird über die Konstruktion einer 300-TBq- ^{60}Co -Bestrahlungsanlage mit 0,1 % Wiederholgenauigkeit der mittleren Energie-Dosisleistung berichtet, die u. a. zur Darstellung der Einheit „Wasser-Energiedosis“ dient. (M. Müller, AG 5.51, michael.mueller@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Workshop „Traceability in Large Scale Metrology“ – gemeinsam veranstaltet von PTB, NPL und NIST

Gemeinsam mit den Schwesterinstituten NPL (England) und NIST (USA) wurde ein zweitägiger internationaler Workshop zum Thema „Large Scale Metrology (LSM)“ veranstaltet, zu dem 40 Experten aus Industrie und Wissenschaft eingeladen waren. In Vorträgen wurde der aktuelle Stand der Technik im Bereich der Messtechnik für große und sehr große Strukturen dargestellt. Im Anschluss diskutierten die Teilnehmer diesbezügliche zukünftige Anforderungen an die drei Metrologieinstitute. (H. Schwenke, AG 5.32, heinrich.schwenke@ptb.de)

Ionisierende Strahlung



Berichte der Abteilungen

Abteilung



6

Ionisierende

Die neue Struktur

Im Rahmen der Reform der Aufbauorganisation der PTB wurde die *Abteilung 6* zum 1. Juli 2003 neu strukturiert. Dieser Schritt war einschneidend, da die bisherigen Laboratorien und übergreifenden Projekte abgeschafft und stattdessen Fachbereiche als Basisorganisationseinheiten für technisch-wissenschaftliche Aufgaben eingeführt wurden. Innerhalb der Fachbereiche gibt es als flexible Untereinheiten Arbeitsgruppen. Mit der neuen Struktur soll die Effizienz bei sich ändernder Aufgabebearbeitung durch erhöhte Flexibilität auf Arbeitsebene gesichert werden.

Die Reform bot die Möglichkeit, durch die Schaffung von sechs Fachbereichen insbesondere neue Schwerpunkte transparenter auszuweisen. Dabei bleibt die vorrangige Aufgabe der Abteilung erhalten, die Einheiten der physikalischen Größen, die für die Messung ionisierender Strahlung von Bedeutung sind, darzustellen und weiterzugeben. Die Größen sind die Aktivität zur Charakterisierung der Menge eines Radionuklids, die Teilchenfluenz zur Beschreibung von Strahlungsfeldern und verschiedene Energie- und Äquivalentdosisgrößen zur Beschreibung der in Materialien absorbierten Strahlungsenergien. Die sehr unterschiedlichen Messverfahren für diese physikalischen Größen führen zur Gliederung der Abteilung in die Fachbereiche.

Die Messverfahren für die Aktivität in Strahlenschutz und Medizin sind so verwandt, dass sie in einem Fachbereich 6.1 *Radioaktivität* konzentriert werden können. Dagegen unterscheiden sich die Dosis-Messverfahren in Medizin und Strahlenschutz so sehr und die Gebiete sind so umfangreich, dass für sie getrennte Fachbereiche nötig sind. Dies sind 6.2 *Dosimetrie für die Strahlentherapie* und 6.3 *Strahlenschutzdosimetrie*.

Titelbild
Überlagerung einer Teilchenspur mit einem DNA-Segment

Alle Messverfahren sind im Prinzip für die verschiedenen Arten ionisierender Strahlung bereitzuhalten. Für Neutronenstrahlung ist im Vergleich zu den anderen Strahlungsarten der Aufwand für die Entwicklung von Messverfahren (z. B. verschiedene Ionenbeschleuniger für die Erzeugung von Referenzstrahlungsfeldern) besonders hoch und die physikalischen Grundlagen für die Messtechnik so verschieden von den vorhergehenden drei Fachbereichen, dass gesonderte Fachbereiche notwendig sind.

Es erschien zweckmäßig, einen Fachbereich 6.4 *Ionenbeschleuniger und Referenzstrahlungsfelder* einzuführen, der neben der Erzeugung von Neutronenstrahlungsfeldern auch für die Erzeugung von Feldern für hochenergetische Photonen und für Ionen verantwortlich ist. Davon abgegrenzt ist der Fachbereich 6.5 *Neutronenstrahlung* mit den Schwerpunkten Neutronendosimetrie und -spektrometrie. Mit der Einrichtung des Fachbereichs 6.6 *Grundlagen der Dosimetrie* dokumentiert die Abteilung ihren Willen, Ressourcen zu bündeln, um durch innovative Ansätze wie die Berechnung der Erzeugung von Ionisationsclustern in nanometrischen Targets und die Anwendung der Ergebnisse auf messtechnische Konzepte mittelfristig grundlegend neue Perspektiven für die Strahlenmetrologie zu eröffnen.

In den anschließenden Kapiteln wird jeweils über ein im Jahr 2003 besonders bedeutsames Ergebnis aus diesen Fachbereichen etwas ausführlicher berichtet. Weitere Informationen finden sich in den darauf folgenden „Schlagzeilen“.

Neben der Einrichtung der sechs Fachbereiche wird die neue Struktur komplettiert durch das Referat 6.71 *Betrieblicher Strahlenschutz* mit dem Projekt *Stilllegung und Rückbau des FMRB* und durch die Arbeitsgruppe 6.01 *Zerstörungsfreie kernphysikalische Analysemethoden*.

e

Im Rahmen des Projekts *Stilllegung und Rückbau des FMBR* konnte der Abbau von kontaminierten und aktivierten Anlagenteilen des Forschungs- und Messreaktors der PTB im April des Jahres abgeschlossen werden. Im Zuge der Stilllegung und des Abbaus von Anlagenteilen sind ca. 360 Tonnen Reststoffe angefallen, davon ca. 150 Tonnen radioaktiver Abfall, welcher bis zur Verfügbarkeit eines Endlagers im PTB-internen Zwischenlager aufbewahrt werden muss. Entgegen den Annahmen zu Beginn des Berichtsjahrs kann das Projekt in diesem Jahr nicht mit der Freigabe sämtlicher Anlagenbereiche abgeschlossen werden, da es unvorhersehbare Ereignisse sowie weitergehende Forderungen seitens Behörde und Gutachter gegeben hat.

Neue Halbwertszeiten für Datierungsmethoden

Die mit radiometrischen Datierungsverfahren in der Geo- und Kosmochronologie erzielbaren Genauigkeiten sind zurzeit durch die Unsicherheiten der Zerfallskonstanten bzw. Halbwertszeiten der dabei eingesetzten Radionuklide begrenzt. Häufig liegen in diesem Anwendungsgebiet auch widersprüchliche Werte der Halbwertszeiten vor. Experimentelle Neubestimmungen der Halbwertszeiten von mehr als hundert Millionen Jahren mit deutlich verringerten Messunsicherheiten sind daher notwendig und im Fachbereich *Radioaktivität* begonnen worden.

Dabei wird erstmalig die Flüssigszintillationsmesstechnik für die erforderlichen Aktivitätsbestimmungen eingesetzt. Durch ein numerisches Verfahren, der sogenannten CIEMAT/NIST-Methode, können dabei die Nachweiswahrscheinlichkeiten verschiedener Nuklide in Beziehung gebracht werden. Diese Methode wird dadurch zu einer Tracer-Methode, die für Nuklide mit hoher Nachweiswahrscheinlichkeit den Charakter einer Absolutmethode für Aktivitätsbestimmungen hat und zu sehr kleinen Messunsicherheiten für die Nachweiswahrscheinlichkeit des Nuklids führt. Erste neue Ergebnisse für Halbwertszeiten sind $1,248(3) \cdot 10^9$ Jahre für K-40 und $4,967(32) \cdot 10^{10}$ Jahre für Rb-87. In Klammern ist die jeweilige Standardunsicherheit angegeben. Die Ergebnisse ermutigen zu weiteren Messungen, z. B. an Lu-176 und den besonders schwierigen Istopen U-234, U-235 und U-238 des Uran.

Neues Primärnormal für niederenergetische Photonenstrahlungsquellen

Zur Therapie des Prostatakarzinoms werden zunehmend radioaktive I-125- oder Pd-103-Implantate eingesetzt. Hierbei handelt es sich um mit Titan ummantelte Strahlungsquellen (Seeds) von etwa 5 mm Länge und 0,8 mm Durchmesser. Dosimetrische Ausgangsgröße für die Erstellung des Bestrahlungsplans ist die so genannte Kenndosisleistung, d. h. die Luftkermaleistung in 1 m Abstand von der

Bild 1: Neue großvolumige Extrapolationskammer zur Kalibrierung von niederenergetischen Brachytherapie-Quellen mit geringer Dosisleistung



Quelle. Bislang war nur das *National Institute of Standards and Technology* (NIST) in den USA in der Lage, diese Quellen mit einer speziellen Freiluft-Ionisationskammer zu kalibrieren.

Aufgrund von Kundenanfragen hat auch die PTB im letzten Jahr ein Normal zur Kalibrierung derartiger Seeds aufgebaut. Es handelt sich hierbei um eine großvolumige Extrapolationskammer (GROVEX), deren effektives Messvolumen durch die Fläche der Messelektrode und den Abstand zwischen Mess- und Hochspannungselektrode bestimmt wird (s. Bild 1). Voraussetzung für diese Art der Berechnung des Ionisationsvolumens ist, dass die elektrischen Feldlinien zwischen den Elektroden über den gesamten Extrapolationsbereich und über die Fläche der Messelektrode parallel zur Zentralachse der Extrapolationskammer verlaufen. Bei der GROVEX wird dieses durch 40 Potentialringe erreicht, die über einen Spannungsteiler verbunden sind. Dadurch hat jeder Ring genau das Potential, das seinem Abstand von der Messelektrode entspricht. Bei Variation des Abstands zwischen Hochspannungs- und Messelektrode wird die Hochspannung auf den Wert des in der Ebene der Elektrode liegenden Potentialrings eingestellt. Diese neuartige Konstruktion gewährleistet für alle Elektrodenabstände ein homogenes elektrisches Feld und damit ein genau definiertes Messvolumen.

Überwachung der Umwelt hinsichtlich ionisierender Strahlung

Die Umgebung von Anlagen, von denen ionisierende Strahlung ausgehen kann, muss permanent dosimetrisch überwacht werden. Wie dies mittels passiver Strahlenschutzdosimeter erfolgen kann, ist in der DIN-Norm 25483 aus dem Jahr 2000 beschrieben. An der Erarbeitung dieser Norm hat die PTB maßgeblich mitgewirkt. Die Norm enthält erstmalig auch eine ausführliche Anleitung zur Berechnung der Messunsicherheit.

Die Praktikabilität der Norm wurde an Hand eines in der PTB entwickelten Ortsdosimeters mit Thermolumineszenzdosimetersonden erprobt. Dazu wurden die Sonden sechs Monate lang auf dem Gelände der PTB ausgelegt. Dies geschah zeitgleich mit den Sonden der amtlichen Umgebungsüberwachung, die vom *Materialprüfungsamt in Dortmund* (MPA) durchgeführt wird.

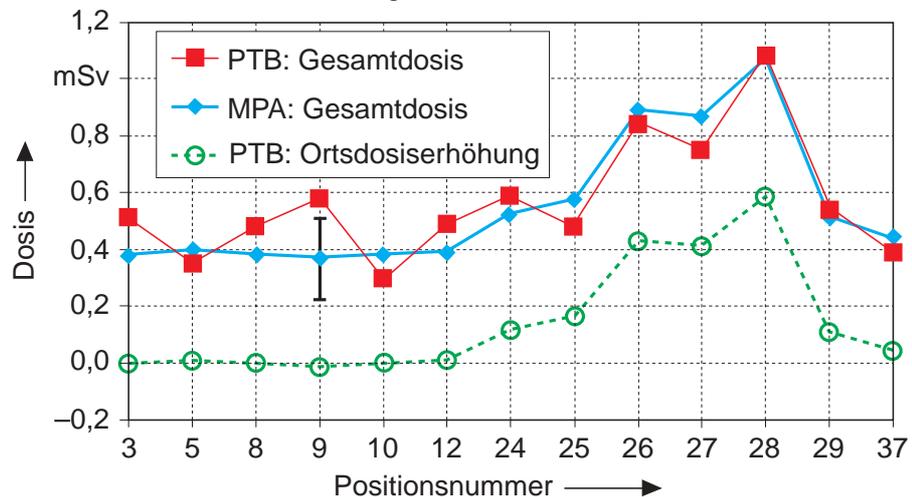


Bild 2: Messwerte des MPA und der PTB für die Gesamtdosis (geschlossene Symbole) und die Ortsdosiserhöhung (offene Symbole). Die Positionsnummern entsprechen unterschiedlichen Orten auf dem Gelände der PTB.

Das Bild 2 zeigt Ergebnisse der Messungen. Die Messergebnisse der Gesamtdosis des MPA stimmen in der Tendenz mit den PTB-Messwerten überein. Die Standardabweichung der MPA-Werte ist nicht angegeben, diejenige der PTB-Werte wurde gemäß der Norm berechnet und ist beispielhaft für die Position 9 eingezeichnet. Sie enthält neben dem statistischen Anteil auch die Unsicherheit durch die Unkenntnis der Energie und der Einfallrichtung der Strahlung. Die statistische Schwankung der PTB-Werte ist offensichtlich viel kleiner als die der MPA-Werte.

Unter der Annahme, dass die natürliche Umgebungsstrahlung auf dem Gelände der PTB an allen Messorten gleich ist, wurde für die PTB-Werte die anlagenbedingte Ortsdosiserhöhung bestimmt.

Der Testlauf hat gezeigt, dass DIN 25483 praktikabel und zweckmäßig ist. Mit dem in der PTB entwickelten Ortsdosimeter lassen sich lokale Ortsdosiserhöhungen sicher feststellen.

Relative biologische Wirksamkeit von Neutronen im Niedrigdosisbereich

Verschiedene Arten ionisierender Strahlung (Elektronen, Ionen, Photonen, Neutronen) zeigen bei gleicher Energiedosis im biologischen Material unter sonst identischen Bedingungen unterschiedliche Strahlenwirkungen. Diesen Sachverhalt beschreibt quantitativ die „Relative biologische Wirksamkeit“ (RBW). Sie ist definiert als Quotient der Energiedosis einer Referenzstrahlung und der Energiedosis der interessierenden Strahlenart bei gleicher beobachteter biologischen Wirkung. Aus dieser Definition folgt, dass bei gleicher Strahlenqualität der RBW-Wert sowohl vom untersuchten biologischen System als auch von der benutzten Referenzstrahlung abhängt.

Seit einigen Jahren besteht eine enge Zusammenarbeit zwischen dem *Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit* (GSF, München-Neuherberg) und der PTB, mit dem Ziel, eine breitere Datenbasis für eine verbesserte Risikobewertung von Neutronen im Energiebereich von 0,04 MeV bis 200 MeV bei Energiedosen $<$ ca. 200 mGy zu schaffen. Für diesen Zweck werden die durch ionisierende Strahlung induzierten dizentrischen Chromosomen in menschlichen Lymphozyten gemessen.

Die experimentell bestimmten RBW-Werte für quasi-monoenergetische Neutronen im Energiebereich von 0,036 MeV bis 14,6 MeV enthält Bild 3; Referenzstrahlung ist 220 kV Röntgenstrahlung (Filterung 4,05 mm Al und 0,5 mm Cu). Man erkennt ein Maximum bei etwa 0,4 MeV. Die RBW-Werte für Co-60 als Referenzstrahlung liegen etwa viermal höher.

Charakterisierung von Arbeitsplatzfeldern mit Neutronen- und Photonenstrahlung

Die routinemäßige Messung der Umgebungs-Äquivalentdosis oder der Personendosis in gemischten Neutronen-Photonenstrahlungsfeldern mit ausreichender Genauigkeit ist immer noch eine messtechnische Herausforderung. Geeignete Dosimeterkalibrierungen vor Ort („Feldkalibrierungen“) können die Messgenauigkeit wesentlich erhöhen. Zu diesem Zweck charakterisiert man zunächst das Strahlungsfeld im Hinblick auf die Energie- und Richtungsverteilung der Teilchen mit einem Spektrometer. Mit Hilfe dieser Daten werden dann Referenzwerte für die Dosisgrößen berechnet und so Kalibrierungen ermöglicht.

Für Strahlungsfelder in der Kerntechnik wurde, unterstützt durch ein EU-Vorhaben, ein neuartiges Spektrometer entwickelt (s. Bild 4), das in der Lage ist, simultan die Energie- und Richtungsverteilung des Strahlungsfelds zu bestimmen. Dies erfordert die sorgfältige Messung und Berechnung der Antwortfunktion dieses Spektrometers und die Weiterentwicklung spezieller Verfahren zur Datenanalyse („Entfaltungsverfahren“). Bisher wurden Messungen in verschiedenen Arbeitsplatzfeldern durchgeführt: an einem Leichtwasserreaktor, einem Transportbehälter mit abgebrannten Brennelementen, einem Forschungsreaktor und in einer MOX-Brennelementefabrik. Die Optimierung des Spektrometers ist noch nicht abgeschlossen, die ersten Ergebnisse sind jedoch ermutigend.

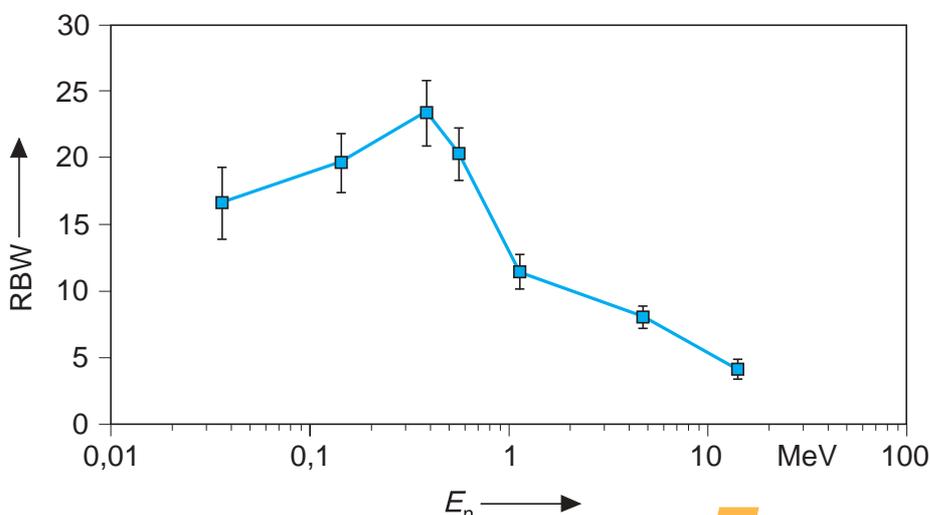


Bild 3: Relative biologische Wirksamkeit (RBW) für quasi-monoenergetische Neutronen mit Energien E_n von 0,036 MeV bis 14,6 MeV (Referenzstrahlung: 220 kV Röntgenstrahlung)

Ionisationscluster in nanometrischen Volumina

Aus Sicht der Strahlenbiologie wird die biologisch relevante Wirkung ionisierender Strahlung auf eine Zelle zum großen Teil durch eine Schädigung ihrer Desoxyribonukleinsäure (DNA) eingeleitet. Diese Schädigung kann entweder durch direkte Strahlenwechselwirkung oder durch eine Wechselwirkung der DNA mit Sauerstoffradikalen hervorgerufen werden, die in ihrer Nachbarschaft durch Strahlung entstehen. Die Erzeugung von Doppelstrangbrüchen ist hier von besonderer Bedeutung, da sie zu dauerhaften Mutationen im Genom einer Zelle führen kann und so ein zentrales Ereignis in der strahleninduzierten Tumorentstehung darstellt.

Aus strahlenphysikalischer Sicht lässt sich die Entstehung von Primärschäden in der DNA durch die Überlagerung ihrer molekularen Struktur mit der Spurstruktur der ionisieren-

den Strahlung darstellen (s. Titelbild). Wenn man davon ausgeht, dass zur Erzeugung von Doppelstrangbrüchen mindestens zwei Ionisationsereignisse notwendig sind, kommt der Häufigkeit des Auftretens von nah beieinander liegenden Ionisationsereignissen (Ionisationsclustern) in Segmenten der DNA oder, als Ersatz, in einem Wasservolumen, eine entscheidende Bedeutung zu. Insbesondere sind Abmessungen der Volumina von einigen Nanometern von Interesse.

Die experimentelle Bestimmung von Ionisationscluster-Häufigkeiten in solchen Volumina ist aber zurzeit auch in Wasser noch nicht direkt möglich, kann aber messtechnisch durch Verwendung gasgefüllter Volumina ersetzt werden. Hierzu wurde ein Skalierungsverfahren für die Abmessungen von gasförmigen Volumina entwickelt, das experimentell zu Ionisationscluster-Häufigkeiten führt, die denen in nanometrischen Wasservolumina äquivalent sind.



Bild 4: Spektrometer zur Messung der Energie- und Richtungsverteilung von Neutronen in gemischten Neutronen-Photonen-Strahlungsfeldern an Arbeitsplätzen der Kernindustrie

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Kalibrierung der Nachweiswahrscheinlichkeit von Gammaskpektrometern im Energiebereich bis 2,8 MeV mit Hilfe von Mehrlinienradionukliden unter Berücksichtigung berechneter Koinzidenzsummatjonskorrekturen

Kalibrierungen von Gammaskpektrometern mit Einlinienradionukliden haben den Nachteil eines auf $46 \text{ keV} < E < 1115 \text{ keV}$ begrenzten Energiebereichs der Photonenstrahlung. Mit dem Monte-Carlo-Programm GESPECOR ist es möglich, Koinzidenzsummatjonskorrekturen für mehr als 100 Radionuklide zu berechnen, so dass auch Aktivitätsnormale von Mehrlinienradionukliden für Kalibrierungen benutzt werden können. Damit lässt sich die Kurve der Nachweiswahrscheinlichkeit bis zu Energien von 2,8 MeV erweitern. (Ansprechpartner: D. Arnold, AG 6.12, dirk.arnold@ptb.de)

Präzise Dosisbestimmung mit Alanin bei einer Energiedosis von etwa 50 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 um 50 Gy mit einer relativen Standard-Messunsicherheit von 0,2 % ermittelt werden. (M. Anton, AG 6.24, mathias.anton@ptb.de)

Neues Primärnormal für niederenergetische Photonenstrahlungsquellen

Für die Kalibrierung von Photonenstrahlungsquellen, die zur Therapie des Prostatakarzinoms eingesetzt werden, hat die PTB ein neues Primärnormal zur Darstellung der Einheit der Kenndosisleistung auf der Grundlage einer großvolumigen Extrapolationskammer entwickelt. (H.-J. Selbach, AG 6.22, hans-joachim.selbach@ptb.de)

Der kalorische Defekt im Wasserkalorimeter

Die Darstellung der Einheit der Wasser-Energiedosis wird in der PTB in Kürze mit einem Wasserkalorimeter erfolgen. Eine der wesentlichen Einflussgrößen ist der kalorische Defekt. Er wird verursacht durch bestrahlungs-

induzierte exo- oder endotherme Reaktionen. Es wurden Experimente und Simulationsrechnungen zur Bestimmung des kalorischen Defektes und seiner Unsicherheit durchgeführt. Diese ergaben, dass der kalorische Defekt für das verwendete System null ist und dass seine Unsicherheit bereits mit der Standardmessunsicherheit des Wasserkalorimeters berücksichtigt wird.

(A. Krauss, AG 6.23, achim.krauss@ptb.de)

Messung der Emission ionisierender Strahlung aus laserinduzierten Plasmen

Mit einem in der PTB entwickelten Wenig-Kanal-TLD-Spektrometer wurde das mit dem Ultrakurzpuls-Tera-Watt-Lasersystem der FSU Jena erzeugte Plasma untersucht und dabei weltweit erstmalig die absoluten Elektronen- und Photonenspektren richtungsabhängig simultan bestimmt. Die Ergebnisse dienen der Grundlagenforschung und Planung von ersten Anwendungen laserinduzierter Plasmen.

(R. Behrens, AG 6.31, rolf.behrens@ptb.de)

Myonen als Thermometer für die Temperatur der Atmosphäre

Mit dem Myonen-Detektor MUDOS (Muon Dosimetry System) auf der Referenzmessfläche in der PTB konnte der korrigierte Jahresmittelwert der Umgebungs-Äquivalentdosis durch die geladene Komponente der Höhenstrahlung von 03/2002 bis 02/2003 zu $(dH^*(10)/dt) = 33 \text{ mSv/h}$ bestimmt werden. Der Myonenfluss zeigt eine saisonale Variation, die sich auf Temperaturschwankungen in den hohen (10 km bis 20 km) Atmosphärenschichten zurückführen lassen. (F. Wissmann, AG 6.33, frank.wissmann@ptb.de)

Energiekalibrierung des VdG-Beschleunigers

Die Energie der in dem Van-de-Graaff-Linearbeschleuniger der PTB erzeugten Protonen und Deuteronen kann reproduzierbar mit einer Unsicherheit von ca. 1,5 keV vorgegeben werden, u. a. um monoenergetische Referenzstrahlungsfelder einer gewünschten Neutronenenergie erzeugen zu können. Für die Kalibrierung des 90° -Analysemagneten werden genau bekannte Resonanzen der $^{27}\text{Al}(p, \gamma)$ -Reaktion und die $^{13}\text{C}(p, n)$ -Reaktion

an der Schwelle ausgenutzt. (R. Böttger, AG 6.42, reinhard.boettger@ptb.de)

Bestimmung partieller und doppelt-differentieller Neutronen-Streuquerschnitte von Titan im Energiebereich von 8 MeV bis 15 MeV

Die Bestimmung von Neutronenstreuquerschnitten in dem für die Fusionstechnologie wichtigen Energiebereich ≤ 15 MeV für potenzielle Strukturmaterialien eines Fusionsreaktors wurde mit Messungen an Titanproben mit der natürlichen Isotopenzusammensetzung fortgesetzt. Die präzisen partiellen und doppelt-differentiellen Streuquerschnitte werden für zukünftige Evaluationen zur Verfügung gestellt. (D. Schmidt, AG 6.44, dankwart.schmidt@ptb.de)

Untersuchung mit polarisierten Neutronen zur Ummagnetisierung im Innern eines neuen hartmagnetischen Materials

Am Messplatz POLDI/Metrologie der GKSS in Geesthacht werden polarisierte Neutronen genutzt, um neue ferromagnetische Materialien zu charakterisieren und Fragen zum Magnetisierungs- und Entmagnetisierungsvorgang zu beantworten. (V. Wagner, AG 6.55, volker.wagner@ptb.de)

Messung der radialen Ionisationsdichte hochenergetischer Schwerionen

Die Teichenspurkamera OPAC wurde zur Messung der radialen Ionisationsdichte hochenergetischer Schwerionen eingesetzt. Die gemessenen Daten tragen zum verbesserten Verständnis der biologischen Wirkung dieser Strahlung bei, die bei der Gesellschaft für Schwerionenforschung (GSI) zur Krebstherapie verwendet wird. (V. Dangendorf, AG 6.51, volker.dangendorf@ptb.de)

Doppelt-differentielle Elektronen-Streuquerschnitte von Methan, Propan und Dimethylether

Doppelt-differentielle Wirkungsquerschnitte von Propan und Dimethylether wurden zum ersten Mal für Elektronen mit Energien zwischen 100 eV und 2 keV gemessen. (B. Großwendt, FB 6.6, bernd.grosswendt@ptb.de)

Energieselektiver Faradaybecher zur Messung totaler Elektronen-Streuquerschnitte in Gasen

Entwicklung eines energieselektiven Faradaybechers abgeschlossen: Totale Elektronen-

Streuquerschnitte können in Zukunft mit einer relativen Energieauflösung vom 0,3 % gemessen werden. (A. Neumann, AG 6.61, arnold.neumann@ptb.de)

Ionisationscluster-Erzeugung in nanometrischen Volumina durch α -Teilchen

Entscheidender Schritt in die Zukunft: Es wurde der Nachweis erbracht, dass die Bildung von Ionisationsclustern durch α -Teilchen in einem nanometrischen Wasservolumen der Clustererzeugung in Gastargets äquivalent ist. Die Bildung von Ionisationsclustern in nanometrischen Wasservolumina ist damit experimentell zugänglich. (B. Großwendt, FB 6.6, bernd.grosswendt@ptb.de)

W-Werte von Protonen in Dimethylether und gewebeäquivalenten Gasgemischen auf Alkanbasis im Energiebereich zwischen 1 keV und 100 keV

Energieabhängigkeit des W-Wertes von langsamen Protonen in gewebeäquivalenten Gasen endlich bekannt: Oberhalb von 10 keV sind die W-Werte in gewebeäquivalenten Gasgemischen auf der Basis von Propan oder Butan mit den W-Werten in Wasserdampf vergleichbar. (B. Großwendt, FB 6.6, bernd.grosswendt@ptb.de)

Luftkerma-Primärnormal für Ir-192-Brachytherapiequellen

Auf Basis einer Hohlraum-Ionisationskammer wurde ein Primärnormal zur Darstellung der Einheit der Luftkerma für Ir-192-Brachytherapiequellen entwickelt. Die Luftkermaleistung im Abstand von 1 m von der Quelle wird als Kenndosisleistung bezeichnet und ist Grundlage für die Dosisplanung in der Brachytherapie. (L. Büermann, AG 6.62, ludwig.buermann@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Zweidimensionale Dosimetrie in der Brachytherapie mit Radiochrom-Filmen.

Es wurde ein Dosimetriesystem für die Brachytherapie basierend auf Radiochrom-Filmen erprobt und in Betrieb genommen. Damit lassen sich zweidimensionale Dosisverteilungen auch in Feldern mit starken Dosisgradienten bestimmen. Durch ein neu entwickeltes Auswertungsverfahren wurde der nutzbare Dosisbereich erweitert. (O. Hupe, AG 6.22, oliver.hupe@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Erste Kalibrierungen in der Thoron-Referenzatmosphäre

Es wurde eine Kalibriereinrichtung entwickelt und aufgebaut, mit der erstmals Kalibrierungen von Thoronmessgeräten sowie eine Beaufschlagung von passiven Dosimetern mit relativen Standard-Messunsicherheiten unterhalb von 5 % durchgeführt werden konnten. (E. Gargioni, FB 6.6, elisabetta.gargioni@ptb.de)

Untersuchung des räumlichen Ansprechvermögens von Plastiksintillator-Detektoren im Mikrometerbereich

In Zusammenarbeit mit dem Fachbereich *Photonenradiometrie* wurden am Wellenlängenschieber von BESSY II Messungen der räumlichen Variation des Ansprechvermögens von Plastiksintillator-Detektoren im Mikrometerbereich durchgeführt. Diese Untersuchungen waren für die Bestimmung des effektiven Messortes im Detektor notwendig und stellen einen wichtigen Beitrag für das Verständnis dieses Dosimetriesystems dar. (M. Bambynek, AG 6.22, markus.bambynek@ptb.de)

Referenzstrahlungsfelder für hochenergetische Photonen- und Elektronenstrahlung

Seit 2003 können am Linearbeschleuniger der PTB Referenzbestrahlungen von passiven Dosimetern unter Angabe des Wertes der Wasser-Energiedosis durchgeführt werden. Es stehen Photonen- und Elektronenstrahlungsfelder im Energiebereich von ca. 10 MeV bis ca. 20 MeV zur Verfügung. Die Strahlungsfeldeigenschaften entsprechen denen der in der externen Strahlentherapie eingesetzten Felder. (K. Derikum, AG 6.21, klaus.derikum@ptb.de)

Überwachung der Umwelt hinsichtlich ionisierender Strahlung

Die Umgebung von Anlagen, von denen ionisierende Strahlung ausgehen kann, muss permanent gemäß der DIN-Norm 25483 überwacht werden. Mit einem in der PTB entwickelten passiven $H^*(10)$ -Dosimeter für Photonenstrahlung wurde in der PTB das in der Norm festgelegte neue Verfahren erfolgreich erprobt und damit gezeigt, dass die wesentlichen Vorgehensweisen der Norm zweckmäßig sind und zu verbesserten Messergebnissen führen. (R. Behrens, AG 6.31, rolf.behrens@ptb.de)

Messung sehr kleiner Aktivitäten in Umweltproben aus Hiroshima und Tokaymura

Mit einem Ultra-Low-Background-Detektor im PTB-Untertagelaboratorium wurden die Aktivitätskonzentrationen von Co-60 in Umweltproben aus Hiroshima (Atombombenabwurf 1945) und Tokaymura (nuklear-technischer Unfall 1999) zerstörungsfrei bestimmt. Mit derartigen Messungen können noch heute die damals aufgetretenen Dosisbelastungen für die Bevölkerung aufgrund dieser kerntechnischen Unfälle errechnet und damit die Dosis-Wirkungsbeziehung für ionisierende Strahlung überprüft werden. (S. Neumaier, AG 6.32, stefan.neumaier@ptb.de)

Radiobiologische Untersuchungen mit Mikro-Ionenstrahlen

Im November 2002 wurde zu einem Workshop in der PTB eingeladen, bei dem 21 Experten aus acht deutschen Forschungseinrichtungen zusammen mit den Mitarbeitern der PTB die Ziele und Möglichkeiten radiobiologischer Experimente mit Mikro-Ionenstrahlen diskutierten. Dabei wurden auch zukünftige gemeinsame Forschungsprojekte koordiniert und Anträge für Drittmittel besprochen. (U. Giesen, AG 6.41, ulrich.giesen@ptb.de)

Äquivalentdosis-Konversionsfaktoren für die Bestrahlung von Neutronen-Personendosimetern in Nahgeometrie

Aus praktischen Gründen werden Neutronen-Personendosimeter auf einem Phantom in kurzem Abstand zu einer Punktquelle bestrahlt. Zur genauen Bestimmung der Personen-Äquivalentdosis müssen daher neben der Bestrahlungsgeometrie (Einfallswinkel) auch die Kinematik (Energie) und die Dynamik (Ausbeute) der neutronenproduzierenden Reaktionen berücksichtigt werden. (R. Nolte, AG 6.42, ralf.nolte@ptb.de)

Internationale Vergleichsmessungen mit Personendosimetern für gemischte Neutronen/Photonen-Strahlungsfelder

Die Internationale Atomenergiebehörde (IAEA) hat die PTB beauftragt, eine Studie zur Qualität der Personendosimetrie für gemischte Neutronen/Photonen-Strahlungsfelder durchzuführen. An den internationalen Vergleichsmessungen nehmen 33 Dosimetrie-messstellen aus allen Kontinenten mit unterschiedlichen Dosimetertypen teil. (H. Schuhmacher, FB 6.5, helmut.schuhmacher@ptb.de)

Messungen von Neutronenspektren am Hochenergie-Schwerionen-Beschleuniger der GSI, Darmstadt

Mit dem Vielkugel-Spektrometer wurden Energieverteilungen der Neutronenstrahlung hinter Abschirmungen am Schwerionen-Beschleuniger der GSI gemessen. Diese Ergebnisse und daraus ermittelte dosimetrische Daten sind entscheidend für die Interpretation der routinemäßig eingesetzten Dosimeter und Strahlungsmonitore und für die Optimierung von Abschirmungen. (B. Wiegel, AG 6.53, burkhard.wiegel@ptb.de)

Untersuchung von Messverfahren für die Personendosimetrie an Arbeitsplätzen mit gemischter Neutronen/Photonenstrahlung

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens, das von der Europäischen Kommission unterstützt wird, werden neuartige Neutronen-Spektrometer entwickelt und Dosimeter für gemischte Strahlungsfelder in Arbeitsplätzen der Kernindustrie untersucht. In dem von der PTB koordinierten Vorhaben sind sieben europäische Institute beteiligt. (M. Luszik-Bhadra, AG 6.52, marlies.luszig-bhadra@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Metrologische Äquivalenz zwischen Staatsinstituten für Aktivitätsmessungen

Von einer internationalen Arbeitsgruppe unter Beteiligung der PTB wurde das mit mehr als 840 Proben von 62 verschiedenen Radionukliden gewonnene Datenmaterial des internationalen Referenzsystem SIR für Aktivitätsmessungen systematisch ausgewertet. Damit konnte auf sehr effiziente Weise für eine Reihe von Nukliden der Grad metrologischer Äquivalenz zwischen Staatsinstituten festgelegt werden, eine wichtige Voraussetzung für die Umsetzung des CIPM-MRA im Bereich der Radionuklid-Metrologie. (H. Janßen, FB 6.1, herbert.janssen@ptb.de)

Der Radon-Ringvergleich 2001 bis 2002 und der Ausbau zum Euromet Supplementary Comparison

Aufbauend auf den Erfahrungen mit Radon-Vergleichsmessungen in den Jahren 2000 bis 2002 wird zuzeit die erste Vergleichsmessung für die Radon-Aktivitätskonzentration im Rahmen eines Euromet Supplementary

Comparison durchgeführt. Unter der Projektnummer 657 bzw. EUROMET.RI(II)-S1 „Comparison of calibration facilities for the radon activity concentration“ wird dieses Projekt sowohl bei Euromet als auch beim BIPM mit insgesamt zwölf Teilnehmern geführt. (A. Röttger, AG 6.12, annette.roettger@ptb.de)

Internationaler Ringvergleich zur Darstellung der Aktivitätskonzentration von Radionukliden in der bodennahen Luft

Bei der Spurenmessung radioaktiver Stoffe in der bodennahen Luft wurde in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Strahlenschutz/Freiburg ein internationaler Ringvergleich organisiert. Dafür hat die PTB im September 2003 Referenz-Filter mit realen Luftstaubproben für die Teilnehmer hergestellt. Das Ergebnis des Ringvergleichs wird wegen der langwierigen radiochemischen Arbeiten für Anfang 2004 erwartet. (H. Wershofen, AG 6.12, herbert.wershofen@ptb.de)

Evaluation der Vergleichsmessung CCRI(III)-K.10

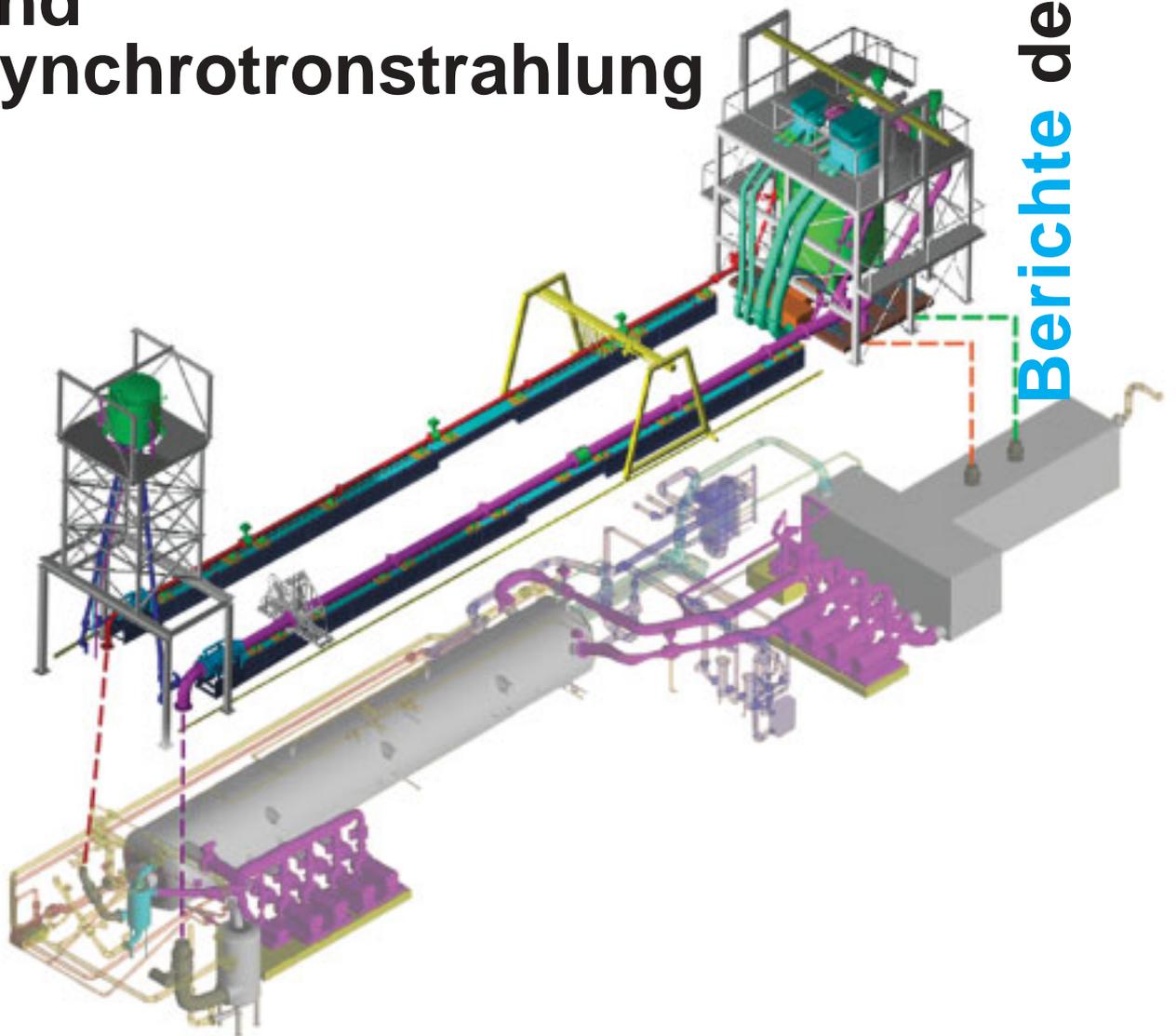
Die Evaluation der Neutronenflussmessungen von sieben Laboratorien in vier verschiedenen monoenergetischen Neutronen-Referenzstrahlungsfeldern der PTB ergab Referenzwerte für das Ansprechvermögen eines Transfermonitors mit Unsicherheiten von ca. 1 %. In den meisten Fällen weichen die Messergebnisse um nicht mehr als das Zweifache der von den Laboratorien angegebenen Unsicherheiten von den Referenzwerten dieses Schlüsselvergleichs ab. (H. Klein, FB 6.4, horst.klein@ptb.de)

Weitere Informationen

Ladungsmesseinrichtung für den Betrieb von Ionisationskammern

Eine wesentliche messtechnische Aufgabe in der Dosimetrie ist die Messung von sehr kleinen Strömen, die über eine Ladungsmessung bestimmt werden. Da eine rechnergesteuerte Ladungsmesseinrichtung mit der erforderlichen Empfindlichkeit kommerziell nicht erhältlich ist, wurde in der PTB eine Eigenentwicklung mit modularem Aufbau zur Anpassung an verschiedene Messaufgaben erfolgreich vorgenommen. (G. Buchholz, AG 6.35, gerd.buchholz@ptb.de)

Temperatur und Synchrotronstrahlung



Berichte der Abteilungen

Abteilung



Temperatur Synchrotron

Institut Berlin

Am 26. September feierte die PTB im Hörsaal des Hermann-von-Helmholtz-Baus den 50. Jahrestag der „Übernahme der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Berlin-Charlottenburg, auf die Bundesrepublik Deutschland und ihre Vereinigung mit der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig“ mit vielen Gästen aus Politik und Wissenschaft (Bilder 1 und 2). Am 25. September 1953 übergab der damalige Bürgermeister von Berlin Dr. Walther Schreiber, der für den erkrankten und wenige Tage danach verstorbenen Regierenden Bürgermeister Ernst Reuter sprach, in einem Festakt in der Wandlerhalle des Emil-Warburg-Baus die „Traditionskompanie der einstigen Physikalisch-Technischen Reichsanstalt“ an die Bundesregierung, vertreten durch Bundeswirtschaftsminister Prof. Ludwig Erhard. Der Minister verwies darauf, dass „die Entwicklung der Naturwissenschaften, wie die Entwicklung unserer Wirtschaft überhaupt, nicht denkbar wäre ohne die Befruchtung, die Anregung, die Sicherung, die diese beiden Bereiche von der Arbeit der Physikalisch-Technischen Reichs- bzw. Bundesanstalt aus gefunden haben“. Mit dem Abkommen von 1953 trat die PTB in die traditionsreiche Geschichte der PTR mit ihrem „Ansehen, das weit über unser deutsches Land hinausgeht“ ein, während die „PTR Berlin als besonderes Institut in die PTB“ eingegliedert wurde. Prof. Albrecht Kußmann, der letzte Präsident der PTR und erste Leiter des Berliner Instituts, schloss seine damalige Rede nicht ohne Stolz damit, dass „der durch uns hinzukommende Anstaltsteil durch die Verantwortungsfreudigkeit, Initiative und Fleiß der hiesigen Mitarbeiter, die sie in den Jahren des Aufbaus und der Trennung bewiesen haben, als Berli-

Titelbild

Gravimetrische Kalt- und Warmwasser-Normal-Messanlage für große Volumenströme im Hermann-von-Helmholtz-Bau in Berlin (oben: Mess-, unten: Versorgungsebene)

ner Beitrag doch einen recht brauchbaren Anteil an der Weiterarbeit der Gesamtanstalt liefern wird.“



Bild 1: Staatssekretär Volkmar Strauch vom Berliner Wirtschaftssenat bei seinem Grußwort



Bild 2: Prof. Joachim Treusch, Vorstandsvorsitzender des Forschungszentrums Jülich, bei seinem Festvortrag „Die Zukunft der Forschung – Forschung für die Zukunft“

r und nstrahlung

Die 1991 in Angriff genommene Standortkonzentration konnte im Berichtsjahr durch die Rückgabe der restlichen 4 Prozent der in Berlin-Friedrichshagen noch genutzten Fläche an die Bundesvermögensverwaltung endgültig abgeschlossen werden (Bild 3). Dazu war die Errichtung eines neuen Gebäudes für den *Gerätebau Berlin* in Charlottenburg die notwendige Voraussetzung, um dort die beiden Teile der Werkstätten aus Friedrichshagen und Charlottenburg und die zugehörige Konstruktion unter einem Dach zusammenzuführen (Bild 4). Die Einweihung des neuen Werkstattgebäudes wurde genutzt, um die Fertigungseinrichtungen einer Reihe Berliner Forschungsinstitute und den Wissenschaftlichen Gerätebau vom Standort Braunschweig zu einem fertigungstechnischen Symposium über neue und im Kreise der Teilnehmer verfügbare Fertigungstechniken zusammenzubringen. Mit dem Ziel des Erfahrungsaustauschs und der künftigen engeren Zusammenarbeit bei aufwendigen Verfahren und Ausrüstungen sollen solche Treffen fortgeführt werden.

Messung thermischer Energie

In Europa hat sich ein großer Markt für Fernwärme (allein in Deutschland ca. 15 Mrd. Euro jährlich) und inzwischen auch für Fernprozesskälte entwickelt, für den die PTB ein Kompetenzzentrum zur Grundlagenforschung, zur Unterstützung der Hersteller bei der Entwicklung von genaueren und zuverlässigeren Zählern und zur Durchführung von Zulassungen und Konformitätsbewertungen über viele Jahre aufgebaut hat. Die damit befassten Mitarbeiter sind in einem dem Fachbereich *Wärme* zusammengefasst und betreuen ein ganze Reihe von Kalibrier-einrichtungen mit unterschiedlichen Durchfluss- und Temperaturbereichen.

Die größte Messstrecke für Durchflüsse bis $1000 \text{ m}^3/\text{h}$ und Temperaturen bis 90 °C wurde kürzlich in Betrieb genommen (Bild 5) und

erreicht mit einer Gesamtunsicherheit von $\leq 4 \cdot 10^{-4}$ als nationales Normal die Anforderungen der kürzlich verschärften Norm. Sie ist durch ihre Parameter nicht nur für die Untersuchung von Wärmezählern einzigartig in Europa, sondern auch durch die Auslegung für eine untere Grenztemperatur von 3 °C , die für die PTB den Wachstumsbereich der Kli-



Bild 3: Das Wappen der Bundesrepublik Deutschland am Standort Friedrichshagen wird eingeholt.



Bild 4: Das neue Gebäude des Gerätebaus Berlin



Bild 5: Die neue große Wärmeenergiemess-anlage der PTB im Hermann-von-Helmholtz-Bau

makältezähler erschließt. Sie ermöglicht unterschiedlichste Betriebsmodi, die durch Vergleich ihrer Ergebnisse systematische Fehler zu eliminieren gestatten. So wurde beim Vergleich des konventionellen statischen mit dem neuartigen dynamischen Wägeverfahren bereits im ersten Anlauf eine Übereinstimmung von besser als $2 \cdot 10^{-3}$ erreicht.

Der von der PTB initiierte eingetragene Verein EMATEM (*European Metrology Association for Thermal Energy Measurement*), der die Aktivitäten der Hersteller von Wärme- und Kältezählern, der Energieversorger und der Metrologieinstitute in Europa fördert und koordiniert, nahm zu Beginn des Jahres seine Arbeit auf und hat bereits mehrere internationale Seminare abgehalten sowie für das kommende Jahr weitere vorbereitet.

Schließlich haben das breite Engagement dieses Fachbereichs (künftig einschließlich der zugehörigen EMV-Prüfungen), seine Ausstattung und Ergebnisse von europäischer Bedeutung zu einem exzellenten Urteil der Evaluationskommission geführt.

Tieftemperaturtechnologie

Als weitere Modifikation des weltweit führenden SQUID-Designs der PTB wurden mit Förderung des BMWA hochempfindliche Stromsensoren entwickelt und hergestellt, die als Vorverstärker u. a. für gekühlte Strahlungssensoren, für Kryostromkomparatoren oder andere messtechnische Anwendungen bei tiefen Temperaturen Anwendung finden. Insbesondere für Strahlungsdetektoren werden superschnelle Elektronikschaltungen zum Auslesen der SQUID-Vorverstärker benötigt. Hier wurde die Bandbreite einer bereits kommerziell in Lizenz gebauten Schaltung von 5 MHz durch die Integration eines so genannten Smith-Predictors, der Laufzeiteffekte kompensiert, im Kleinsignalbetrieb auf 300 MHz erhöht. In einer SQUID-Regelschleife sind immer noch konkurrenzlose 100-MHz-Bandbreite nutzbar.

Zur Erzeugung tiefster Festkörpertemperaturen bis zu einigen Mikrokkelvin werden Kernentmagnetisierungsstufen eingesetzt. Nach einer ersten solchen Stufe aus hochreinem Kupfer, die in der PTB vor 15 Jahren $65 \mu\text{K}$ erreichte, wurde eine völlig neuartige Dreifachstufe entwickelt, bei der die Stufen nicht

wie üblich seriell betrieben werden, sondern konzentrisch angeordnet sind. Die äußeren Vorkühlstufen bestehen wiederum aus Kupfer (Bild 6), die innere alternativ aus Gold oder Platin. Erste Tests, bei denen der Abkühlprozess mit Hilfe einer Variationsrechnung modelliert und optimiert wird, sind für das Jahresende vorgesehen. Zur Messung der Temperaturen im unteren Mikrokkelvinbereich wird ein Pt-NMR-Thermometer mit verbessertem Design verwendet.



Bild 6: Neuartige konzentrische Dreifach-Kernentmagnetisierungsstufe zum Test montiert in der Tieftemperaturanlage MKA 3

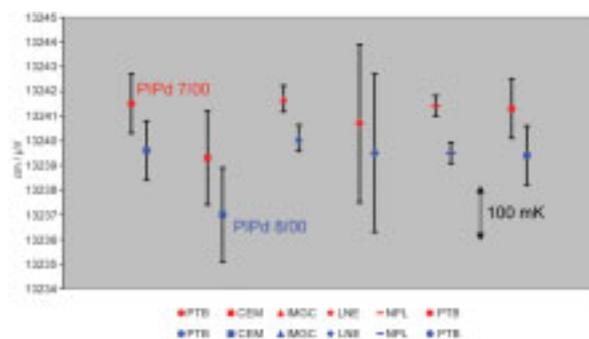


Bild 7: EUROMET-Vergleich von Pt/Pd-Thermoelementen am Erstarrungspunkt von Kupfer

Die Aufgabengebiete der hochempfindlichen SQUID-Sensoren und der Physik und Metrologie bei ultratiefen Temperaturen wurden im Rahmen der neuen Organisationsstruktur zu einem Fachbereich *Tieftemperaturthermodynamik und -technologie* mit Ambitionen in extremen Bereichen zusammengefasst.

SI-Basiseinheit Kelvin

Schwerpunkte des neuen Fachbereichs *Temperatur* sind die Erweiterung des Fixpunktangebots für eine Neudefinition der Temperaturskala im Temperaturbereich bis 3000 °C und die Entwicklung der zugehörigen Pt/Pd-Thermoelemente als Interpolationsinstrumente, die Weitergabe der wesentlich auf PTB-Untersuchungen beruhenden Tieftemperaturskala PLTS-2000 unterhalb von 1 K durch Thermometerkalibrierungen und die Fortsetzung der Vorbereitungen einer Neudefinition des Kelvin durch eine Präzisionsbestimmung der Boltzmann-Konstante. Bei der letztgenannten Aufgabe entwickeln NIST, NPL und BNM vergleichbare Aktivitäten, die sich durch komplementäre Methoden ergänzen und gegenseitig absichern. Unterhalb von 1 K ist die PTB konkurrenzloser Partner der industriellen Marktführer für Temperaturfühler. Bei der Entwicklung und Untersuchung von eutektischen Fixpunktmaterialien oberhalb des Kupferpunkts arbeitet die PTB als Teil eines durch die zuständige Working Group des CCT koordinierten weltweiten Verbunds und eines EU-Projekts. Bei einem EUROMET-Vergleich von Pt/Pd-Thermoelementen am Kupfer-Fixpunkt erwiesen sich diese als außerordentlich stabil (Bild 7).

Im Bereich der angewandten Thermometrie ist die PTB verantwortlich für die Rückführung von inzwischen über 40 DKD-Laboratorien.

Bei der Prüfung von Klimaschränken ergaben sich erhebliche Temperaturunterschiede zwischen Fühlern mit unterschiedlichen Emissionsgraden. Dieser gravierende Einfluss muss durch die Erarbeitung einer neuen Messvorschrift künftig eliminiert werden.

Im Fachbereich *Hochtemperatur- und Vakuumphysik* wurden im Rahmen des EU-Projekts HIMERT die strahlungsthermometrischen Vergleichsmessungen an eutektischen Erstarrungspunkten fortgesetzt und die Temperaturen für Re-C, TiC-C und ZrC-C „absolut“ bestimmt.

Im September fand die Konferenz *Temperatur 2003* statt, die die PTB zum zweiten Mal gemeinsam mit der *VDI/VDE-Gesellschaft Mess- und Automatisierungstechnik* veranstaltete (Bild 8). Zum ersten Mal war das Arbeitsgebiet „Feuchte“ mit einem Viertel der Beiträge beteiligt. Das Besondere dieser Tagung ist, dass ein wesentlicher Anteil (rund ein Drittel) der 160 Teilnehmer aus der einschlägigen Industrie sowohl aus dem Bereich der Hersteller als auch der Anwender kommt. Auch auf diese Weise hält das Arbeitsgebiet „Temperatur“ regelmäßig und intensiv den Kontakt zu seinen Kunden.

Radiometrische Messungen

Im künftigen Fachbereich *Detektorradiometrie* wurden Key Comparisons der spektralen Empfindlichkeit im Infraroten und Sichtbaren nach einer vorläufigen Auswertung mit besten Ergebnissen abgeschlossen. Der geplante Vergleich im Ultraviolett, bei dem die PTB als Pilotlabor fungiert, beginnt zum Jahresende. Ein weiterer Vergleich im VUV wird auf Veranlassung des CCPR vorbereitet.

Die Entwicklung einer Quelle durchstimmbarer Laserstrahlung im nahen Infrarot als Strahlungsquelle für die Radiometrie war auf Anhieb mit einer Konversionseffizienz von 20 % erfolgreich. Als Pump Laser für den optisch-parametrischen Oszillator wurde ein in Kooperation mit einem führenden Laserhersteller entwickelter Scheibenlaser verwendet (Bild 9). Das Verfahren soll in den Wellenlängenbereich bis 10 µm ausgedehnt werden.

Metrologie mit Synchrotronstrahlung

Im Fachbereich *Photonenradiometrie* am Speicherring BESSY II wurden unterschiedliche Detektoren untersucht und erfolgreich charakterisiert: Photodioden für den EUV-Bereich, Tunnelioden für hohe räumliche Auflösung im weichen Röntgenbereich, ortsauflösende Halbleiterdetektoren zur Sonnenbeobachtung im UV.

Für die EUV-Lithographie konnte ein Laborreflektometersystem für den Fertigungsprozess charakterisiert werden. Das vor einem Jahr in Betrieb genommene, in seinen Dimensionen einmalige Reflektometer der PTB für Spiegeldurchmesser bis 500 mm läuft von Anfang an störungsfrei im Routinebetrieb. In einem Langzeittest wurden erfolgreiche

Strategien zur Vermeidung von Kontamination auf EUV-Optiken entwickelt. Mit EUV-Scatterometrie konnten die geometrischen Parameter von Absorberstrukturen von EUV-Masken bestimmt werden.

Ein neuer Messplatz zur Kontrolle der Verunreinigungen auf Wafer-Oberflächen mit Hilfe der Röntgenfluoreszenzanalyse wurde am Speicherring BESSY II in Betrieb genommen (Bild 10). Die Nachweisempfindlichkeit liegt bei 108 Fremdatomen pro cm^2 . Maximal können Wafer mit einem Durchmesser von 300 mm untersucht werden.

Der Aufgabenbereich „Radiometrie mit Synchrotronstrahlung“ wurde von der Evaluationskommission nach eingehender Untersuchung als „ein gutes Beispiel dafür, wie eine vor Jahren getroffene Entscheidung wichtige Anwendungen zur Konsequenz hat, die zum Zeitpunkt der Entscheidung noch nicht absehbar waren,“ hervorgehoben und als exzellent eingestuft.

Die Errichtung des Willy-Wien-Laboratoriums mit seinem Niederenergiespeicherring für Synchrotronstrahlung vom Ultravioletten bis Extremultravioletten wurde aufgrund der Anfang des Jahres vorgelegten Entscheidungsunterlage von der Bundesregierung genehmigt. Die Bauverwaltung fertigt mit Unterstützung der BESSY GmbH bis Ende des Jahres die Entwurfsunterlage an, so dass der geplante Baubeginn im Spätsommer des kommenden Jahres aller Voraussicht nach eingehalten werden kann.

Internationale Angelegenheiten

Im Juni hat die PTB gemeinsam mit der *Deutschen Vakuumgesellschaft* in Berlin die 8. Europäische Vakuumkonferenz mit knapp 350 Teilnehmern aus ganz Europa veranstaltet. Über die traditionellen Arbeitsgebiete der Vakuumphysik (dünne Schichten, Oberflächenphysik und -analytik) hinaus war der Fokus des Kongresses auf die mögliche Unterstützung der Lebenswissenschaften, wie Biophysik und molekulare Materialien, gerichtet.

Auf dem Gebiet der Vakuummessung wurde ein bilateraler Vergleich zwischen den nationalen Normalen der PTB und des koreanischen Staatsinstituts KRISS im Feinvakuumbereich von 3 Pa bis 1000 Pa durchgeführt. Als

Transferstandards zwischen dem Quecksilbermanometer des KRISS und dem statischen Expansionssystem der PTB dienten absolute Kapazitätsmanometer. Die ermittelten Differenzen zwischen beiden Instituten lagen innerhalb der kombinierten Standardunsicherheit.

Anfang des Jahres besuchte der Minister für Industrie, Handel und Beschäftigungsförderung Lazare Sehoueto aus Benin das Institut Berlin. Am Rande eines Treffens mit Bundeswirtschaftsminister Wolfgang Clement wollte er sich über die Metrologie in Deutschland und die Möglichkeiten der Unterstützung seines Landes beim Aufbau einer metrologischen Infrastruktur informieren. Das geschieht in diesem Fall über ein von der PTB organisiertes gemeinsames Projekt für die Staaten Westafrikas.



Bild 8: Teilnehmer der „Temperatur 2003“

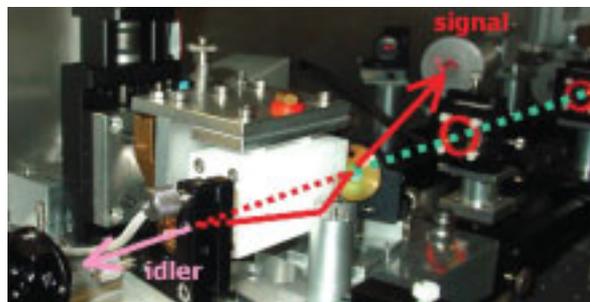


Bild 9: Experimentelle Anordnung für durchstimmbare IR-Laser für die Radiometrie

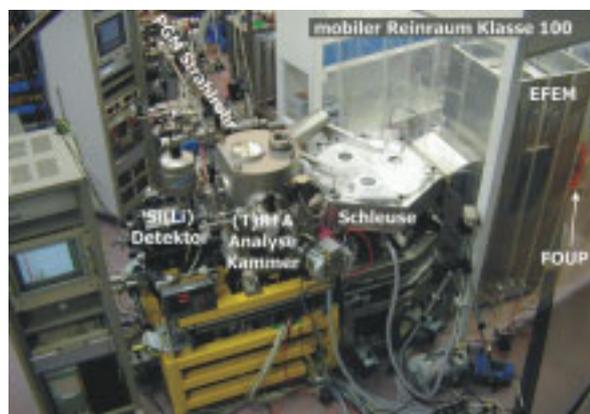


Bild 10: RFA-Messplatz mit Analysenkammer und Beladungsroboter

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Stabile Detektoren für EUV-Strahlung

Für die Entwicklung von Messtechnik für EUV-Strahlung sind Kenntnisse über die Stabilität von Empfängern erforderlich. In bei BESSY II durchgeführten umfangreichen Tests ausgewählter Typen von Siliziumphotodioden wurden zukünftig als Referenzempfänger geeignete Dioden gefunden. Dies ermöglicht eine Verringerung der Unsicherheit bei Empfängerkalibrierungen und verlässlichere quantitative Messungen im EUV-Bereich. (Ansprechpartner: F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Charakterisierung supraleitender Tunnel-dioden

Monochromatisierte Undulatorstrahlung hoher spektraler Reinheit und stark begrenztem Strahlprofil ermöglichten die Charakterisierung einer supraleitenden Tunnel diode mit hoher räumlicher Auflösung bei verschiedenen Photonenenergien im weichen Röntgenbereich. Dadurch ließen sich laterale Variationen der Pulshöhenskala sowie lokal auftretende Detektorartefakte zuordnen. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

Ortsauflösende Detektoren für die Sonnenbeobachtung

Für zukünftige satellitengestützte Sonnenbeobachtungsmissionen werden derzeit neuartige Empfängersysteme für den ultravioletten Spektralbereich entwickelt, die auf Halbleitermaterialien mit großer Bandlücke basieren. Diese Detektortypen zeichnen sich neben einer hohen Bestrahlungsstabilität durch ihre Unempfindlichkeit gegenüber sichtbarer Strahlung aus. Im Radiometrielabor der PTB bei BESSY II wurden in Kooperation mit dem Max-Planck-Institut für Aeronomie (Katlenburg-Lindau) erste Detektoren dieser Art hinsichtlich ihrer spektralen Empfindlichkeit untersucht, wobei die geringen Abmessungen der Detektoren von nur einigen 100 µm eine messtechnische Herausforderung darstellten. (M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

Schichtdickenbestimmung von SiO₂-Filmen auf Si mit Röntgenreflektometrie an der Si-K-Kante

Die Dicke von SiO₂-Schichten auf Silizium kann durch Interferenzen im Reflexionsvermögen von Röntgenstrahlung bestimmt werden. Durch die Wahl einer geeigneten Photonenenergie im Bereich der Si-K-Absorptionskante kann der Kontrast zwischen Si und SiO₂ drastisch erhöht werden. Dies ist am Vierkristallmonochromator-Strahlrohr der PTB bei BESSY II problemlos möglich. Durch Auswertung der deutlich ausgeprägten Interferenzen ließ sich die Unsicherheit der Schichtdickenbestimmung reduzieren. (M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

UV-Laserspektrometer erzeugt Strahlung mit Wellenlängen bis hinab zu 200 nm

Mithilfe eines neuartigen Konzepts ist ein UV-Laserspektrometer aufgebaut worden, mit dem sich gepulste Strahlung einer longitudinalen Mode im gesamten UV-Wellenlängenbereich bis hinab zu 200 nm erzeugen lässt. Dazu wird durchstimmbare Nahinfrarot-Strahlung einer Longitudinalmode mit einem „injection-seeded“ optisch-parametrischen Oszillator (OPO) erzeugt und in Titan-Saphir-Kristallen verstärkt. Die gewünschte UV-Wellenlänge wird anschließend durch nicht-lineare Prozesse erzeugt (Frequenzvervielfachung, gegebenenfalls kombiniert mit Summenfrequenzerzeugung). So hat z. B. die vierte Harmonische der OPO-Strahlung Wellenlängen im Bereich um 205 nm, die für die Zweiphotonenanregung des 1s-3s/3d-Übergangs beim atomaren Wasserstoff benötigt werden. Für die 4-ns-Pulse mit einer spektralen Bandbreite von nur 300 MHz konnten dabei 5 mJ Pulsenergie erreicht werden. (A. Steiger, FB 7.2, andreas.steiger@ptb.de)

Erstes Licht aus einem Quasi-cw-OPO

Mit dem Prototyp eines signal-resonanten optisch-parametrischen Oszillators (OPO) ist es auf Anhieb gelungen, abstimmbare Strahlung im nahen Infrarot von 730 nm bis 980 nm mit 20 % Konversionseffizienz zu erzeugen. Bei der Frequenzaufspaltung in einem periodisch gepolten KTP-Kristallplättchen mit sieben verschiedenen Gitterperioden entsteht gleichzeitig Idlerstrahlung im Bereich von

1080 nm bis 1750 nm, die an einem weiteren Ausgang des verwendeten Delta-Resonators zur Verfügung steht. Als Pumplichtquelle für den OPO wird ein Quasi-cw-Yb:YAG-Scheibenlaser mit Frequenzverdopplung eingesetzt, der in Kooperation mit der Firma *Spectra Physics GmbH* entwickelt wurde. Mit dieser weltweit einzigartigen Kombination aus modernster Lasertechnik und nichtlinearer Optik sind die Voraussetzungen für die angestrebte Erzeugung von Infrarot-Strahlung bis 10 μm geschaffen.

(A. Steiger, FB 7.2, andreas.steiger@ptb.de)

Radiometrische Messung thermodynamischer Temperaturen bis hinab zu 419 °C

Die Internationale Temperaturskala von 1990 (ITS-90) als Approximation der thermodynamischen Temperaturskala stützt sich im Hochtemperaturbereich auf einem Referenzwert bei 730 K, der am NIST mit einem Gas-thermometer konstanten Volumens in zwei Experimenten 1976 und, mit geringfügig modifizierter Apparatur, 1989 bestimmt wurde. Zwischen den beiden Messungen besteht ein signifikanter Unterschied von 30 mK.

Durch Messung der spektralen Bestrahlungsstärke mit absolut kalibrierten Filtrerradiometern als Detektoren wurden an einem Hohlraumstrahler im Bereich zwischen dem Zink-Fixpunkt (692 K oder 419 °C) und dem Aluminium-Fixpunkt (933 K) thermodynamische Temperaturen gemessen und deren Abweichungen von den simultan gemessenen ITS-90-Temperaturen bestimmt. Für die Rückführung stand dabei als Detektor-Primärnormal ein so genanntes Kryoradiometer, ein bei 5 K betriebenes elektrisches Substitutionsradiometer, zur Verfügung. Damit gelang es erstmals, absolutradiometrisch thermodynamische Temperaturen mit einer Unsicherheit von 15 mK bei 730 K zu bestimmen. Innerhalb dieser Standardunsicherheit ($k = 1$) bestätigen die Resultate das von Edsinger und Schooley 1989 am NIST erhaltene Ergebnis, während das Ergebnis von Guildner und Edsinger (1976) signifikant abweicht.

(D. Taubert, FB 7.3, dieter.taubert@ptb.de)

Radiometrische und strahlungsthermometrische Messung der Phasenübergangstemperaturen von Metall-Kohlenstoff-Eutektika
Eutektische Metall-Kohlenstoff-Legierungen bieten gute Aussichten zur Verbesserung der

Internationalen Temperaturskala von 1990 (ITS-90) im Hochtemperaturbereich von etwa 1200 °C bis über 3000 °C. Innerhalb des umfangreichen europäischen Forschungsvorhabens HIMERT (High Temperature Metal-Carbon Eutectics for Radiation Thermometry, Radiometry, and Thermocouples) hat die PTB als eine zentrale Aufgabe die genaue Messung der Schmelz- und Erstarrungstemperaturen dieser Legierungen übernommen.

In einer bilateralen Zusammenarbeit mit dem russischen Staatsinstitut VNIIOFI wurden mit diesen Fixpunktstrahlern in der PTB die Phasenübergangstemperaturen der eutektischen Metall-Kohlenstoff-Legierungen Re-C, TiC-C und ZrC-C sowohl strahlungsthermometrisch gemäß der ITS-90 als auch radiometrisch „absolut“ bestimmt. Die simultan mit den beiden unabhängigen Methoden gewonnenen Temperaturverläufe erlauben wichtige Rückschlüsse auf notwendige Verbesserungen an den Fixpunktzellen mit großer Öffnung und den zu ihrem Betrieb notwendigen Hochtemperaturöfen. (J. Hartmann, FB 7.3, dr.j.hartmann@ptb.de)

Vergleich von Primärnormalen im Feinvakuum zwischen KRISS und PTB

In Ergänzung des Schlüsselvergleichs CCM.P.K4 wurde ein bilateraler Vergleich der Drucknormale im Bereich des Feinvakuum von 3 Pa bis 1 kPa zwischen dem südkoreanischen Staatsinstitut KRISS und der PTB durchgeführt. Verglichen wurde das Quecksilbermanometer mit Ultraschallhöhenmessung des KRISS mit dem statischen Expansionssystem SE2 der PTB. Zwei Kapazitätsvakuummeter dienten als Transfernormale. Die beim KRISS und der PTB erhaltenen Werte stimmten im Rahmen der einfachen kombinierten Standardunsicherheit überein. (K. Jousten, FB 7.3, karl.jousten@ptb.de)

Implementierung der Provisorischen Tief-temperaturskala PLTS-2000

Als Grundlage für Darstellung und Weitergabe der über ein Polynom für die Temperaturabhängigkeit des Schmelzdruckes von ^3He (2,9 MPa bis 4,0 MPa) definierten Temperaturskala PLTS-2000 (0,9 mK bis 1 K) auf höchstem metrologischen Niveau wurden detaillierte Untersuchungen wesentlicher Unsicherheitskomponenten durchgeführt. Hierdurch war es der PTB als erstem nationalen metrolo-

gischen Institut möglich, ein vollständiges und trotzdem extrem niedriges Unsicherheitsbudget aufzustellen.

(J. Engert, FB 7.4, jost.engert@ptb.de)

Gasthermometer-Kryostatensystem

Zur Darstellung der Internationalen Temperaturskala von 1990 im Bereich von 3 K bis 25 K und für die primäre Gasthermometrie wurde ein spezieller Kryostat entwickelt und mit einem besonderen Tieftemperaturmesssystem ausgerüstet. Der Kryostat besitzt einmalige metrologische Parameter und gestattet es erstmals, zwei unterschiedliche Gasthermometerprinzipien (Gasthermometer konstanten Volumens, Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometer) direkt miteinander zu vergleichen. Des Weiteren ist eine In-situ-Kalibrierung an unterschiedlichen Temperaturfixpunkten möglich. Messungen am Tripelpunkt des Wassers werden erste Voraussetzungen für die Vorbereitung eines Projekts zur Bestimmung der Boltzmann-Konstante mittels Dielektrizitätskonstanten-Gasthermometer zur Neudefinition des Kelvin liefern.

(B. Fellmuth, FB 7.4, bernd.fellmuth@ptb.de)

Dielektrisches Rauschen und mesoskopische Fluktuationen in Gläsern

Die Untersuchung des dielektrischen Rauschens in Gläsern hat neben seiner metrologischen Bedeutung für die erreichbare Messauflösung von Glaskapazitätsthermometern besonders für das Materialverhalten amorpher Systeme an Interesse gewonnen. Berechnungen der Spektraldichte des Rauschens unkorrelierter Tunnelzustandssysteme (TLS) in Gläsern ergaben eine Frequenzabhängigkeit entsprechend $1/f$. Dieses an vielen Systemen beobachtete $1/f$ -Rauschen geht bei tiefen Frequenzen in Abhängigkeit von der minimalen Relaxationsrate der TLS in Sättigung. Die berechneten Rauschspektren für wechselwirkende TLS eröffnen die Möglichkeit, aus Rauschmessungen bei tiefen Temperaturen Aussagen über die kooperative Dynamik der TLS auf einer mesoskopischen Skala und den Nachweis eines vorhergesagten Quantenphasenübergangs kooperativer TLS zu gewinnen.

(P. Strehlow, FB 7.4, peter.strehlow@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Neues EUV-Reflektometer im Routinebetrieb

Das große EUV-Reflektometer im Radiometrielabor bei BESSY II ging in diesem Jahr in den Routinebetrieb und ist vollständig in das QM-System integriert. Die Zahl der Messungen konnte mit dem neuen Gerät weiter gesteigert werden. Unter den im Berichtszeitraum 930 gemessenen Proben waren auch die Spiegel für die ersten kommerziell angebotenen EUV-Mikrostepper.

(F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

EUV-Laborreflektometersystem einsatzbereit

Das unter Leitung des *Fraunhofer-Instituts für Werkstoff- und Strahltechnik Dresden* für den Industriepartner *Carl Zeiss SMT AG* entwickelte Laborreflektometersystem für den EUV-Optik-Fertigungsprozess wurde abschließend charakterisiert. Unter Bezug auf Messungen der PTB wurde die Funktionsfähigkeit und die Erfüllung der wesentlichen Spezifikationen bzgl. der Reproduzierbarkeit der Messungen nachgewiesen.

(F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Erfolgreicher Langzeittest zur Lebensdauer von EUVL-Optiken

Im Rahmen der umfangreichen Kooperation mit der *Carl Zeiss SMT AG* zur Untersuchung der Lebensdauer von EUVL-Optiken unter Bestrahlung mit 13-nm-Photonen wurden erfolgreich Strategien zur Minimierung der Optikkontamination und anschließende Reinigungsprozeduren an optimierten Multilayerspiegeln erarbeitet. In einem Langzeitbestrahlungstest bei BESSY II von mehreren hundert Stunden Dauer wurden die entwickelten Maßnahmen zur Kontaminationsverhinderung erstmals erfolgreich angewandt und somit ein weiterer Meilenstein in der EUVL-Entwicklung erreicht.

(R. Klein, FB 7.1, roman.klein@ptb.de)

EUV-Scatterometrie

Im Rahmen einer Kooperation mit *Infineon Technologies* und AMTC in Dresden wird bei BESSY II die EUV-Scatterometrie als Verfahren zur Untersuchung von EUV-Masken evaluiert. Der Vorzug der Messung „at-wavelength“ ist, dass die für die EUV-Abbildung relevanten Eigenschaften der Multilayerschicht erfasst werden können. In ersten

Versuchen wurde gezeigt, dass es möglich ist, geometrische Parameter der Absorberstrukturen zu bestimmen.

(F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Absolutmessung gepulster EUV-Strahlung

Zur Absolutmessung der EUV-Emission von Undulatorstrahlung im Radiometrielabor der PTB bei BESSY II wurde ein dort kürzlich entwickelter Photoionisationsmonitordetektor eingesetzt. Die im Sonderbetrieb des Speicherrings mit etwa 1 MHz gepulste Strahlung konnte dabei zeitlich aufgelöst und quantitativ gemessen werden. Die Funktionsweise des Detektors erlaubt durch die Wahl von Xenon als Betriebsgas eine optimale Anpassung der Detektionsempfindlichkeit an den technologisch relevanten EUV-Spektralbereich, wodurch spektrale Anteile von Falschlicht unterdrückt werden. Die Messergebnisse bestätigen Berechnungen über die zur Verfügung stehende EUV-Strahlungsleistung am Undulatormessplatz, der u. a. für die Entwicklung von EUV-Systemmesstechnik durch die Industrie genutzt wird. (A. Gottwald, FB 7.1, alexander.gottwald@ptb.de)

Messung der Temperaturabhängigkeit optischer Eigenschaften im Vakuum-UV

Um die optischen Eigenschaften im Vakuum-UV (z. B. Reflexions- oder Transmissionsvermögen) von optischen Komponenten wie Spiegeln, Filtern oder Beugungsgittern bei verschiedenen Temperaturen messen zu können, wurde im Radiometrielabor der PTB bei BESSY II im Rahmen einer Diplomarbeit ein temperatureregelter Probenhalter auf der Basis von LN₂-Kryostaten und Peltier-Elementen entwickelt. Dadurch konnte im Rahmen einer Kooperation mit der Firma Schott zur Mikrolithographie der Temperaturverlauf optischer Anisotropien bei CaF₂, dem Basismaterial von Transmissionsoptiken bei 157 nm, im Bereich von - 50 °C bis + 80 °C untersucht werden.

(M. Richter, FB 7.1, mathias.richter@ptb.de)

Methodische Weiterentwicklung der quantitativen Röntgenfluoreszenzanalyse

Zur Optimierung der Nachweisempfindlichkeit und Quantifizierung von auf Siliziumwafern befindlichen Aluminiumkontaminationen im Pikogrammbereich wurde die Abhängigkeit resonanter Ramanstreuung an Silizium vom Einfallswinkel und der Photonenenergie der anregenden Strahlung unter-

sucht. Ferner konnte die auf der Röntgenabsorptionsfeinstruktur beruhende Spezifikation von Stickstoffverbindungen in auf Siliziumwafern adsorbierten Aerosolpartikeln mit Durchmessern von nur wenigen Mikrometern durch Totalreflexions-Röntgenfluoreszenzanalyse belegt werden. (B. Beckhoff, FB 7.1, burkhard.beckhoff@ptb.de)

Referenzdetektoren für die quantitative Mikroanalyse kalibriert

Die PTB beteiligt sich an dem von der BAM geleiteten EU-Projekt „Calibration of Energy Dispersive X-ray Spectrometers“. Dabei soll ein Referenzmaterial für die Röntgenfluoreszenzmikroanalyse entwickelt werden. Die dazu notwendigen hochgenauen Kalibrierungen von Si(Li)-Halbleiterdetektoren im Bereich weicher Röntgenstrahlung wurden bei BESSY II durchgeführt und erfolgreich abgeschlossen. (F. Scholze, FB 7.1, frank.scholze@ptb.de)

Flammendiagnostik mit Zweiphotonen-Polarisationsspektroskopie

Die Zweiphotonen-Polarisationsspektroskopie wurde in der PTB ursprünglich für Messungen an dichten Plasmen entwickelt und bisher für die Plasmadiagnostik eingesetzt. Die Methode eignet sich aber ebenso zur quantitativen Diagnostik von Flammen und anderen Verbrennungsvorgängen insbesondere bei höheren Drücken oberhalb etwa 1 kPa, weil das Messsignal – anders als z. B. bei der laserinduzierten Fluoreszenz – nicht durch stoßinduzierte atomare Prozesse verfälscht wird.

Um das Potenzial der Zweiphotonen-Polarisationsspektroskopie für diesen Anwendungsbereich zu demonstrieren, wurden in Kooperation mit der Universität Valladolid Messungen an zwei Arten von Flammen unter Atmosphärendruck durchgeführt: an einer vertikal brennenden Wasserstoffflamme mit laminarer Strömung und an der horizontal ausgerichteten, turbulenten Propanflamme eines kommerziellen Schweißbrenners. Bei den vorliegenden Temperaturen um 1000 K entsprachen die Dichten in der Schweißflamme Partialdrücken von nur etwa 10⁻⁵ des Gesamtdrucks.

Mit den in der PTB vorhandenen Laserspektrometern, die UV-Strahlung im gesamten Wellenlängenbereich von 200 nm bis 300 nm erzeugen, können solche Messungen auch an

anderen atomaren Spezies als Wasserstoff durchgeführt werden, beispielsweise an Stickstoff, Sauerstoff oder Kohlenstoff.
(A. Steiger, FB 7.2, andreas.steiger@ptb.de)

Superschnelle SQUID-Elektronik

Die im Labor für Kryosensorik entwickelte und von Firma *Magnicon* (www.magnicon.com) in Lizenz hergestellte Elektronik für supraleitende Quanteninterferenzdetektoren (so genannte SQUIDS, s. auch Jahresbericht 2002) hat sich für die breitbandige Anwendungen bis ca. 5 MHz bewährt. Inzwischen wurde eine bedeutend schnellere Elektronik entwickelt. Insbesondere durch die Auswahl geeigneter Bauelemente konnte die Bandbreite der eingesetzten Vorverstärker von 7 MHz auf 300 MHz erhöht werden. Da bei den SQUID-Systemen jedoch bei Systembandbreiten oberhalb von 10 MHz Laufzeiteffekte auf den Zuleitungen zwischen dem gekühlten Sensorchip und der bei Raumtemperatur befindlichen Elektronik das begrenzende Element darstellen, wurden durch Einsatz eines so genannter Smith-Predictors, einer für SQUID-Elektroniken neuen Schaltungsvariante, diese Laufzeiteffekte kompensiert und es konnte eine Bandbreite der Elektronik in geschlossener Regelschleife (Flux-Locked-Loop-Betrieb) von 100 MHz demonstriert werden.

(T. Schurig, FB 7.5, thomas.schurig@ptb.de)

Hoheempfindliche SQUID-Stromsensoren für Strahlungsdetektoren

Für eine Reihe messtechnischer Anwendungen bei tiefen Temperaturen und speziell zur Auslese von gekühlten Strahlungssensoren wie z. B. Mikrokalorimetern für die Röntgenanalytik werden SQUID-Vorverstärker eingesetzt. Im Rahmen eines durch das BMWA geförderten Vorhabens werden zurzeit SQUID-Stromsensoren entwickelt, die sich durch eine hohe Empfindlichkeit und Robustheit auszeichnen. Die ersten derartigen Stromsensoren wurden hergestellt und erfolgreich getestet.

(T. Schurig, FB 7.5, thomas.schurig@ptb.de)

Konferenz TEMPERATUR 2003

Fachtagungen zur Temperatur sind in Berlin inzwischen fest etabliert. Nach der internationalen Konferenz TEMPMEKO 2001 wurde am 8. und 9. September 2003 wieder die nationale Tagung TEMPERATUR 2003 gemeinsam von der PTB und der *Gesellschaft für Mess- und*

Automatisierungstechnik (GMA) im Institut Berlin veranstaltet. Das Besondere dieser Tagung ist der ausgeprägte Anwendungsbezug und der hohe Anteil von Beiträgen aus der Industrie, der deutlich stärker ist als bei den internationalen Temperaturtagungen. Die PTB hat sich auf nahezu allen Gebieten als ein kompetenter Ansprechpartner erwiesen, der die von der Industrie geforderte Unterstützung leisten kann. Zur weiteren Verbesserung der aufgebauten Kontakte soll in drei Jahren die nächste Tagung dieser Reihe in der PTB Berlin stattfinden.

(E. Tegeler, FB 7.4, erich.tegeler@ptb.de)

Kalibrierung von Klimaschränken

Klimaschränke werden in zahlreichen Bereichen der Produktion und insbesondere der Prüfung eingesetzt. Bei zertifizierten Betrieben wird von den Auditoren des QM-Systems zunehmend eine rückführbare Kalibrierung der Temperaturanzeige gefordert. Dies ist schon deswegen eine problematische Forderung, weil die Temperatur im Klimaschrank von der Position des Messfühlers und der Beladung des Schrankes abhängt. Im Rahmen von Vergleichsmessungen wurde festgestellt, dass sich außerdem bei vielen Schränken Lufttemperatur und Strahlungstemperatur nicht im Gleichgewicht befinden, so dass die Temperatur, die ein Prüfkörper oder ein Thermometer annimmt, von seinem Emissionsvermögen abhängt. Dieser Effekt ist bisher bei der Kalibrierung von Klimaschränken nicht berücksichtigt worden. Unter Beteiligung der PTB wird daher eine DKD-Kalibrierrichtlinie für Klimaschränke erstellt, mit der einheitliche Maßstäbe für solche Kalibrierungen gesetzt werden sollen.

(S. Friederici, FB 7.4, sven.friederici@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Bestimmung der relativen biologischen Wirksamkeit von Röntgenstrahlung

Die relative biologische Wirksamkeit (RBW) von Röntgenstrahlung im Photonenenergiebereich von 1,8 keV bis 40 keV wurde in Zusammenarbeit mit der GSF – *Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit* – durch Bestrahlung von menschlichen Lymphozyten mit monochromatisierter Synchrotronstrahlung untersucht. Bei niedrigen Energien wurde ein Anstieg der RBW beobachtet.

(M. Krumrey, FB 7.1, michael.krumrey@ptb.de)

Vollautomatische Messanlage für Durchflusssensoren von Haushalts-Wärmezählern (Durchflussbereich 10 l/h bis 7000 l/h; Temperaturbereich 20 °C bis 85 °C)

Die neue Messanlage mit erweitertem Messbereich lässt neben zeit-optimierten, messtechnischen Untersuchungen der Durchflusssensoren für den stationären Einsatz im Rahmen von Bauartzulassungen erstmalig auch Messungen an so genannten „schnellansprechenden Wärmezählern“ nach EN 1434+A1, Ausgabe 2003-02, zu, die für den nicht-stationären Einsatz vorgesehen sind. Dazu ist die Messanlage mit drei auf unterschiedlichen Temperaturniveaus (z. B. 20 °C, 50 °C, 80 °C) eingestellten Vorratsbehältern ausgerüstet, zwischen denen kurzfristig umgeschaltet werden kann.

(H. Fenske, FB 7.6, helmut.fenske@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

Nutzung von Synchrotronstrahlung für die Röntgendosimetrie

Die Möglichkeit, bei BESSY II mit wohlkollimierter monochromatisierter und energetisch durchstimmbarer Synchrotronstrahlung im Röntgenbereich grundlegende Untersuchungen zur Röntgendosimetrie durchzuführen, wurden vom *Consultative Committee for Ionizing Radiation* (CCRI) als hoch interessant angesehen und führten zu einer Einladung in die PTB zu einem Vortrag auf dem CCRI-Treffen im Mai 2003.

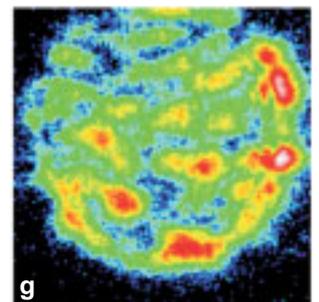
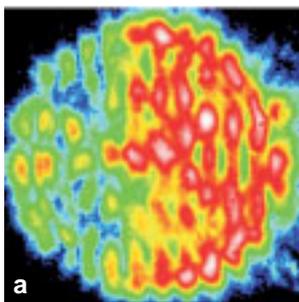
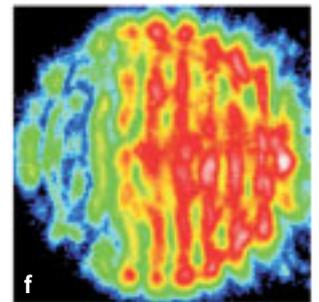
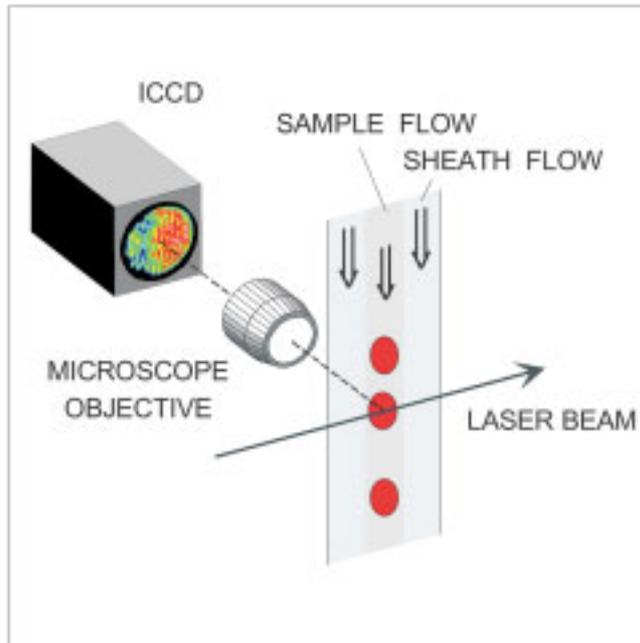
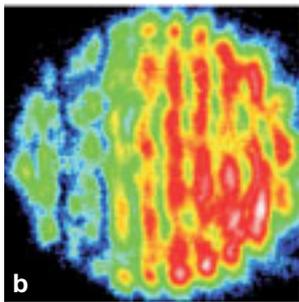
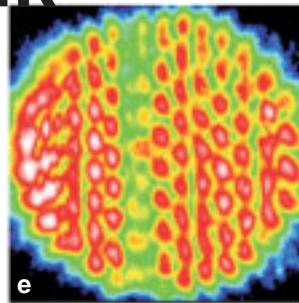
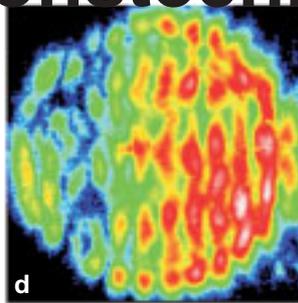
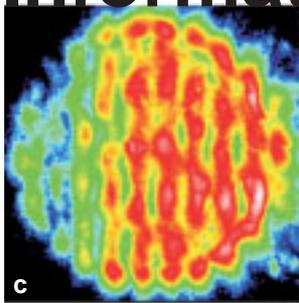
(G. Ulm, FB 7.1, gerhard.ulm@ptb.de)

Verbesserte Temperaturmessung mit Pt/Pd-Thermoelementen

Im Bereich oberhalb von 600 °C werden zur Temperaturbestimmung häufig Thermoelemente eingesetzt. Ihre Messunsicherheit wird hauptsächlich durch Instabilitäten und Inhomogenitäten der thermoelektrischen Eigenschaften der Thermodrähte begrenzt. In den letzten Jahren sind wesentliche Fortschritte durch den Einsatz von Pt/Pd-Thermoelementen erzielt worden. Zur Vorbereitung der internationalen Normung dieser Thermoelemente wurde ein EUROMET-Vergleich mit dem Fachlaboratorium *Thermometrie* als Pilotlabor durchgeführt. Dabei ergab sich zwischen fünf führenden europäischen Staatseinstituten eine Übereinstimmung der Messwerte im Bereich von etwa 50 mK, was eine Verbesserung um einen Faktor 3 gegenüber den bisherigen Thermoelementen vom Typ S bedeutet. Bei begleitenden, strukturellen Untersuchungen von Pt/Pd-Thermoelementen durch die PTB wurde allerdings in einigen Fällen eine zunehmende Versprödung bis hin zum Bruch des Pd-Drahts beobachtet. Als Ursache wurde eine Reaktion mit siliziumhaltigen Materialien wie z. B. Quarzglas festgestellt. Mit der Auswahl besser geeigneter Materialien kann die Lebensdauer der Thermoelemente zukünftig verlängert werden. (F. Edler, FB 7.4, frank.edler@ptb.de)

Medizinphysik und metrologische Informationstechnik

Berichte der Abteilungen



Abteilung



Medizinphysiometrologische Information

Abnahme der magnetisch supergeschirmten Kabine BMSSR

Die in einem Anbau zum HvH-Bau errichtete aktiv und passiv magnetisch supergeschirmte Kabine (BMSSR: Berlin Magnetically Super-Shielded Room) wurde im August 2003 vom Bundesbauamt I abgenommen und der PTB übergeben. Es wurden Schirmfaktoren von nahezu 106 bei Frequenzen von nur $f = 0,01$ Hz erreicht und ein mittleres magnetisches Restfeld von 450 pT sowie magnetische Restfeldgradienten von wenigen pT/cm in einem Messvolumen von 1 m^3 erzielt. Das Eigenrauschen der Kabine beträgt $2 \text{ fT}/\sqrt{\text{Hz}}$, die maximale relative Schwingungsamplitude zwischen Sensorhalterung und Kabine ca. 10 mm. Mit diesen Werten nimmt die Kabine weltweit eine Spitzenstellung ein. Erhebliche Schwierigkeiten bereitete die Abmagnetisierung der sieben μ -Metall-Schalen der Kabine sowie der Teile aus V4A-Stahl, die konstruktiv bedingt bei der Errichtung der Kabine eingesetzt worden waren. Durch intensive, gemeinsame Bemühungen der *Siemens AG*, der *Vacuumschmelze GmbH & Co KG* und der PTB ist es gelungen, neue, reproduzierbare Abmagnetisierungsstrategien zu entwickeln, mit denen wissenschaftlich-technisches Neuland betreten wurde. Hierdurch konnten lokale Störungen des magnetischen Restfelds, die durch schwach magnetische V4A-Teile verursacht wurden, weitgehend unterdrückt werden. Zur Abmagnetisierung der μ -Metall-Schalen wurde erstmals ein programmierba-

rer, hochgenauer Stromverstärker eingesetzt, wie er sonst bei der Kernspintomographie zur Erzeugung von magnetischen Gradientenfeldern verwendet wird. Es wurden mögliche Ursachen für das verbleibende Restfeld im Messvolumen und für die Restfeldgradienten untersucht, um beide Größen weiter reduzieren zu können. Wegen des hohen Schirmfaktors der Kabine scheiden äußere Quellen als Ursachen aus. Durch FEM-Simulationen des magnetischen Restfelds im Messvolumen unter Verwendung der an den Innenwänden der Kabine gemessenen Normalkomponente des magnetischen Restfelds konnte gezeigt werden, dass mit großer Wahrscheinlichkeit die Verteilung des restlichen magnetischen Flusses in den μ -Metall-Schalen selbst, vor allem in der innersten Schale, für das verbleibende Restfeld verantwortlich ist. Dagegen spielen lokale Felderhöhungen an den Innenwänden der Kabine, die durch V4A-Teile mit einer Restmagnetisierung hervorgerufen werden, eine untergeordnete Rolle. Um die Restfelder im Messvolumen weiter zu reduzieren, sollen die Innenwände der Kabine mit einer großen Anzahl (ca. 96) flacher Spulen („Shimspulen“) ausgekleidet werden und die von jeder Spule an ausgewählten Messpositionen im Messvolumen pro mA erzeugten Magnetfelder gemessen werden. Durch ein mathematisches Verfahren lassen sich dann die Stromstärken für alle Spulen berechnen, bei denen die Magnetfelder an den Messpositionen zu Null kompensiert werden. Erste Vorversuche mit insgesamt 24 Spulen verliefen außerordentlich erfolgreich, es konnte das Restfeld im Messvolumen auf Werte unter 100 pT reduziert werden (s. Bild 1). Es wird erwartet, dass durch die Kompensation der Restfelder auch die magnetischen Restfeldgradienten im Messvolumen weiter erniedrigt werden können. Mit der magnetisch supergeschirmten Kabine soll speziell für langsam veränderliche Signale elektrophysiologischen Ursprungs bezüglich der Signalauflösung und -bandbreite ein neuer Mess- und Anwendungsbereich erschlossen werden.

Titelbild

Intensitätsverteilung der winkelaufgelösten, seitlichen Lichtstreuung einzelner, aufgekugelter roter Blutzellen (a bis d, f), eines Agglomerats aus zwei roten Blutzellen (e) und eines Blutplättchens (g). Zur Messung wurde ein Durchflusszytometer mit intensivierter CCD-Kamera eingesetzt.

sik und

ne s

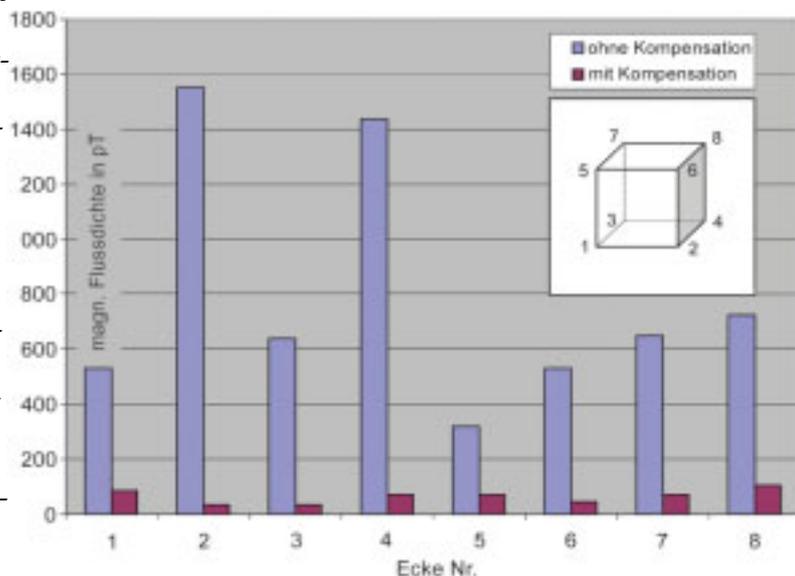
Konzept zur Prüfung der Sicherheit von HF-Spulen für die Hochfeld-MR-Tomographie

In der Hoch- und Höchstfeld-MR-Tomographie (3 T bis 9,4 T) werden zukünftig vor allem Mehrelement-Sende-Empfangsspulen (TR-Arrays) eingesetzt, um die aufgrund von Ausbreitungsphänomenen der elektromagnetischen Strahlung inhomogene Verteilung des hochfrequenten magnetischen (B1)-Felds im Körper zu kontrollieren. Hierzu werden die einzelnen Sendespulen kohärent mit unterschiedlichen HF-Amplituden und -Phasen angesteuert. Die Art der Ansteuerung bedingt auch die örtliche Verteilung der spezifischen Absorptionsrate (SAR) der elektromagnetischen Strahlung im Körper und damit die Sicherheit des TR-Arrays. Entsprechend der Norm IEC 60601-2-33 („Particular requirements for the safety of magnetic resonance equipment for medical diagnosis“) muss sichergestellt werden, dass auch für eine ungünstige Verteilung der SAR der Grenzwert für die lokale SAR von 10 W/kg – gemittelt über 10 g Gewebe – nicht überschritten wird. In der PTB wurde ein Konzept zur Prüfung der Sicherheit von Mehrelement-Sende-Empfangsspulen für die Hochfeld-MR-Tomographie entwickelt. Das Konzept besteht in der Berechnung der örtlichen Verteilung der spezifischen Absorptionsrate im Körper und der damit verbundenen maximalen Temperaturerhöhungen für verschiedene Ansteuerbedingungen des zu prüfenden TR-Arrays. Hierzu werden die Maxwell'schen Gleichungen für die aktuelle Spulengeometrie und die tatsächliche Geometrie des abzubildenden Körperteils oder Phantoms numerisch mit Hilfe des FDTD(finite difference time domain)-Verfahrens gelöst und die örtliche Verteilung des magnetischen (B1)- und elektrischen HF-Felds sowie der SAR im Körper bzw. Phantom für ausgewählte Ansteuerungen der einzelnen Sendespulen berechnet. Zur Validierung des numerischen Modells wird die örtliche Verteilung der B1-Amplitu-

de und -Phase mit Hilfe von NMR-Messverfahren, die in der PTB entwickelt wurden, nicht-invasiv im Körper bzw. im Phantom gemessen. Darüber hinaus wird in einem gesondertem Experiment das Phantom mit Hilfe von Dauerstrich-HF-Strahlung im MR-Tomographen für ausgewählte Ansteuerbedingungen des TR-Arrays geheizt und anschließend die örtliche Verteilung der Temperatur mit Hilfe der MR-Tomographie gemessen. Um dieses Konzept im Prinzip zu erproben, wurde eine Kopfspule für eine 1H-Bildgebung bei 3 Tesla im Rahmen eines vom BfM geförderten Projekts mit der BRUKER Biospin MRI GmbH aufgebaut, die aus vier Strombelag-Antennen als Send-Empfangsspulen besteht (s. Bild 2).

Es wurde die Verteilung der elektromagnetischen Felder in einem zylindrischen, mit Agarose gefüllten Phantom sowie die SAR berechnet. Bild 3 zeigt die gute Übereinstimmung der berechneten SAR und der gemessenen Temperaturverteilung in einer Transversalebene des Zylinderphantoms. Je nach Ansteuerbedingung treten an unterschiedlichen Orten Überhöhungen der SAR bzw. der Tem-

Bild 1: Betrag der magnetische Flussdichte an den acht Ecken des 1 m³ großen Messvolumens im BMSSR vor und nach Kompensation mit 24 getrennt angesteuerten Spulen



peratur auf. Bild 4 vergleicht die längs einer vertikalen Schnittlinie gemessene und berechnete Temperaturerhöhung, es wird – abgesehen von einer Randzone – eine quantitative Übereinstimmung erzielt. Darüber hinaus wurden erste Messungen der B1-Verteilung im Kopf (in-vivo) sowie entsprechende FDTD-Simulationsrechnungen durchgeführt. Wegen der vielfältigen Möglichkeiten zur Ansteuerung von TR-Arrays sind numerische Simulationsrechnungen besonders geeignet, diejenigen Ansteuerbedingungen zu ermitteln, die zu ungünstigen SAR-Verteilungen führen und für eine Begrenzung der eingestrahelten HF-Leistung herangezogen werden müssen.

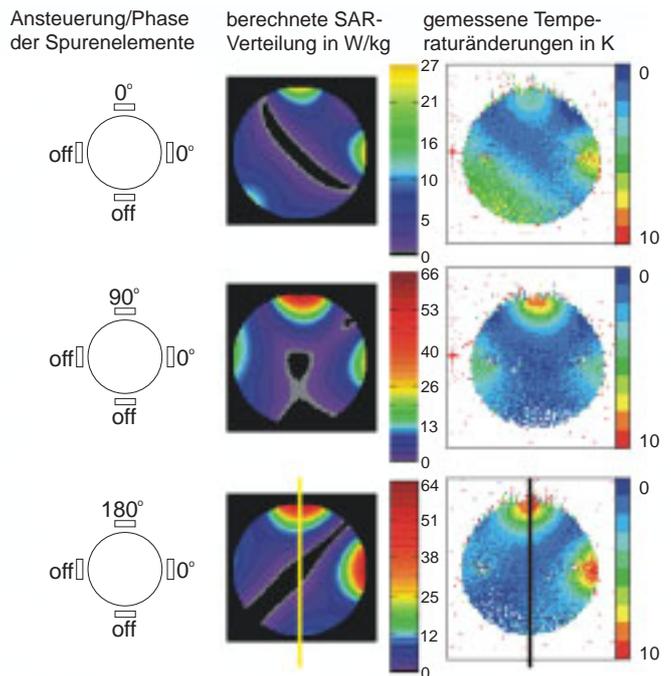
Modellierung und Datenanalyse: Moderne signalanalytische Verfahren

Die Entwicklung und Anwendung von Methoden der modernen Daten- und Signalanalyse bilden zunehmend einen bedeutenden Anteil am gesamten PTB-Beitrag in Forschungsk Kooperationen innerhalb klini-

Bild 2: TR-Array mit vier Strombelag-Antennen und Gel-Phantom zur Nachbildung der dielektrischen Eigenschaften des menschlichen Körpers

scher Verbundprojekte. So hat inzwischen die vor zwei Jahren durch Kooperation mit dem *Fraunhofer-Institut FIRST* in die PTB eingeführte Methode der „Independent Component Analysis“ (ICA) inzwischen ein breites Anwendungsfeld zur Analyse mehrkanaliger Biosignale gefunden. Für die sehr unterschiedlichen biomagnetischen Anwendungen in der Neurologie, Kardiologie und Gastroenterologie hat sich die ICA als wertvolle methodische Klammer erwiesen und die Kompetenz der PTB auf diesen Gebieten erweitert und vertieft. Eine sehr nützliche Anwendung der ICA, die für viele Bereiche in Frage kommt, ist die Störsignalunterdrückung. In Bild 5 wird gezeigt, wie aus dem MKG-Signal ein Bewegungs-Artefakt durch ICA eliminiert werden kann, ohne das Nutzsignal zu verfälschen. Da die Bandbreite des Artefaktsignals der Bandbreite wichtiger Komponenten des Nutzsignals entspricht, wäre ein solches Ergebnis nicht mit den üblichen Filtermethoden zu erreichen. Im Gegensatz zu adaptiven Filtern besitzt die ICA den entscheidenden Vorteil, dass sie kein Vorwissen benötigt. Besonders wertvoll erweist sich die ICA bei der Trennung der

Bild 3: Vergleich der berechneten SAR-Verteilung des betrachteten 4-Element-TR-Arrays (Bild 2) mit gemessenen Temperaturänderungen ΔT nach 15-minütiger HF-Erwärmung des Phantoms durch Ansteuerung von 2-Array-Spulen mit je 37 WQ und unterschiedlichen Phasen

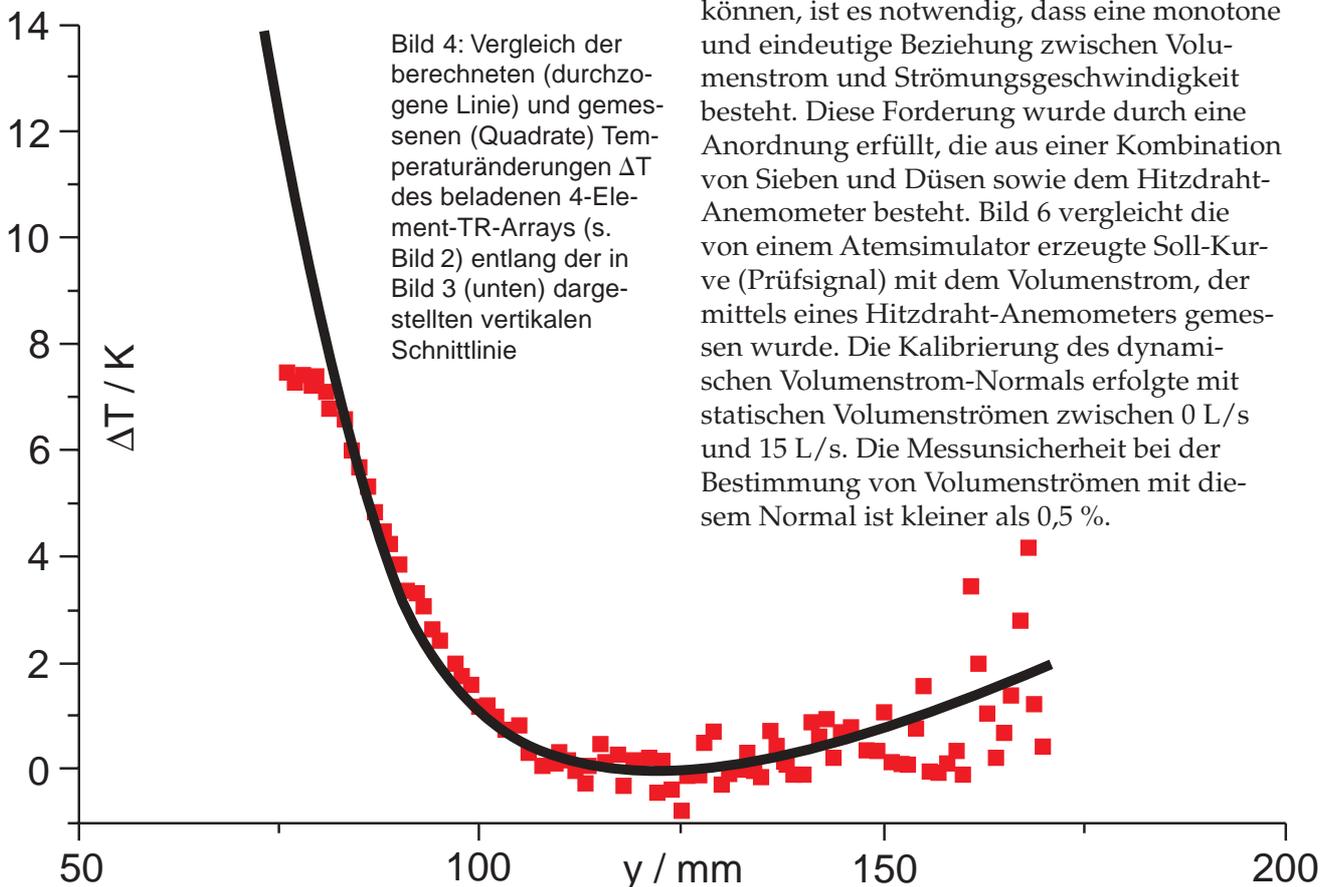


Signalanteile hinsichtlich der verschiedenen, ihnen zugrunde liegenden Quellen. So enthalten aufgezeichnete evozierte Hirnsignale häufig auch Signalanteile als Artefakte, die von Muskeln und vom Herzen herrühren. Weiterhin erlaubt die ICA die Abtrennung des Alpha-Rhythmus bei der Untersuchung von evozierter Hirnaktivität, eine wichtige Maßnahme zur Verbesserung der Signalqualität.

Weiterhin wurde ein neues Signalverarbeitungsverfahren, das Amplitude und Latenz individueller Reizantworten aus MEG oder EEG zu gewinnen gestattet, in der PTB entwickelt. In Zusammenarbeit mit Prof. Dr. Pöppel (USA) wurde ein Paradigma zur akustischen Stimulation des Gehirns konzipiert und angewendet, um die Leistungsfähigkeit des neuen Datenanalyseverfahrens bei der Auswertung einzelner MEG- und EEG-Ereignisse zu erproben. Im Gegensatz zu bisherigen Auswerteverfahren, die wegen des geringen Signal-Rauschverhältnisses eine Mittelung über viele Einzelantworten erfordern, eröffnet das neue Signalverarbeitungsverfahren die Möglichkeit, von Einzelantworten Amplitude und Latenz einschließlich ihrer Varianz zu bestimmen.

Prüfverfahren für Atemstrom-Messgeräte

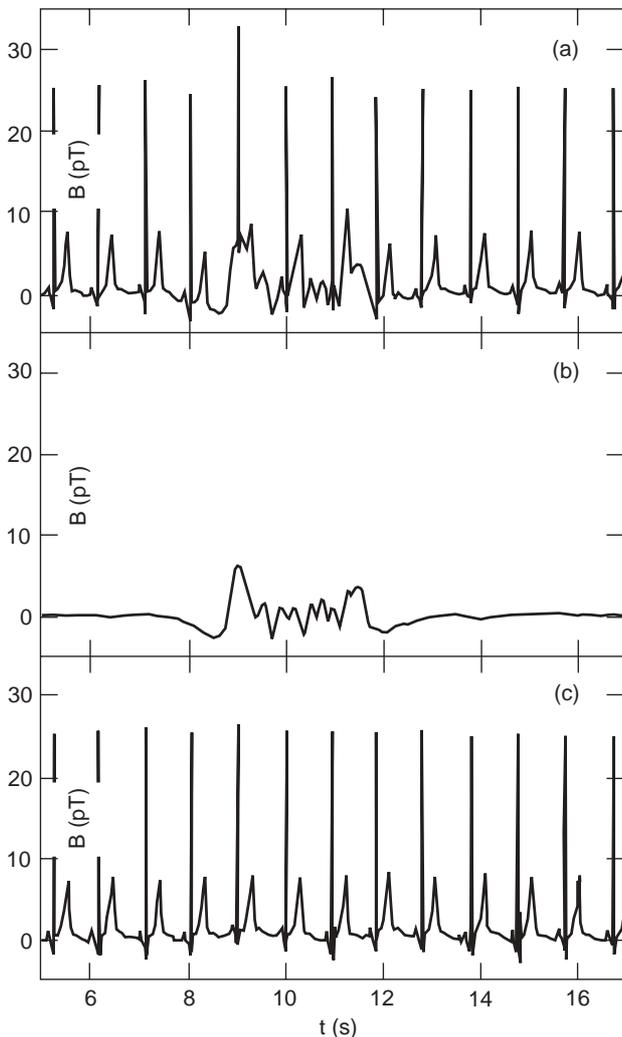
Die PTB unterstützt die Erstellung und Umsetzung von Normen für medizinische Messgeräte durch Gremienarbeit und durch die Entwicklung von in Normen geforderten Prüfverfahren. Ein aktuelles Beispiel betrifft die inzwischen verabschiedete CEN-Norm für Atemstrommessgeräte (peak flow meter). In dieser Norm sind Prüfungen mit Volumenströmen sehr hoher Dynamik vorgeschrieben und es besteht dringender Bedarf zur Entwicklung entsprechender Kalibrierverfahren und von Prüfgeräten. Zur Erzeugung von Volumenströmen mit hoher Dynamik werden in der PTB ventilgesteuerte Druckkessel entwickelt, für deren Rückführung jedoch noch keine Kalibriernormale existieren. Es wurde deshalb mit der Entwicklung eines Normals für dynamische Volumenströme begonnen, das die Anforderungen an die Prüfung von Atemstrommessgeräten, insbesondere von peak flow meters, erfüllt und das auf einem in eine Rohrleitung integrierten Hitzdraht-Anemometer beruht. Hitzdraht-Anemometer messen Strömungsgeschwindigkeiten von schnellen Strömungsvorgängen mit Frequenzen bis zu einigen kHz. Um Hitzdraht-Anemometer zur Messung von dynamischen Volumenströmen einsetzen zu können, ist es notwendig, dass eine monotone und eindeutige Beziehung zwischen Volumenstrom und Strömungsgeschwindigkeit besteht. Diese Forderung wurde durch eine Anordnung erfüllt, die aus einer Kombination von Sieben und Düsen sowie dem Hitzdraht-Anemometer besteht. Bild 6 vergleicht die von einem Atemsimulator erzeugte Soll-Kurve (Prüfsignal) mit dem Volumenstrom, der mittels eines Hitzdraht-Anemometers gemessen wurde. Die Kalibrierung des dynamischen Volumenstrom-Normals erfolgte mit statischen Volumenströmen zwischen 0 L/s und 15 L/s. Die Messunsicherheit bei der Bestimmung von Volumenströmen mit diesem Normal ist kleiner als 0,5 %.



Schwerpunkt der Metrologischen Informationstechnik: Daten- und Software-sicherheit

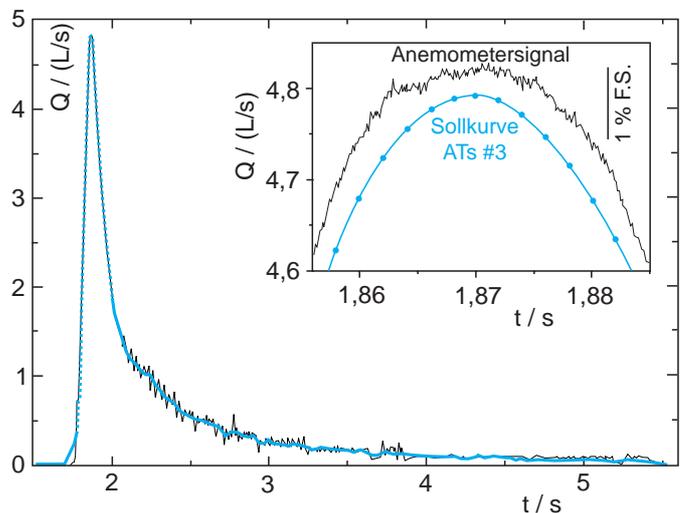
Das Arbeitsgebiet Daten- und Softwaresicherheit hat sich zu einer zentralen Themenstellung des Fachbereichs 8.3 *Metrologische Informationstechnik* entwickelt, der auf diesem Gebiet eine Querschnittsfunktion in der PTB ausübt. Trotz der Unterschiedlichkeit in den zu Grunde liegenden, metrologisch begründeten Schutzanforderungen an die Daten- und Softwaresicherheit bei den einzelnen Aufgabenstellungen erweisen sich die IT-bezogenen Fragen als im Kern ähnlich. Die querschnittsorientierte Bearbeitung dieser Fragen im Fachbereich 8.3 führte zu ersten erkennbaren Synergieeffekten.

Bild 5: MKG-Signal mit Bewegungsartefakt (a), Extraktion des Artefakts mit der ICA-Methode (b) und artefaktbereinigtes MKG-Signal (c)



Im Rahmen dieses Schwerpunkts nahm im Jahre 2003 die Arbeit am BMWA-geförderten SELMA-Vorhaben (sicherer elektronischer Austausch von Messdaten) einen hohen Stellenwert ein. Das Vorhaben vereint Messgerätehersteller, Energieversorger und wissenschaftliche Institute in der Zielstellung, neuartige Lösungen für die Sicherheit bei der Übertragung von Messdaten über offene Kommunikationsnetze zu entwickeln. In dem vom Fachbereich 8.3 geführten Teilprojekt, in dem die beteiligten Universitäten, mehrere Fachlaboratorien der PTB, Eichbehörden und das BSI zusammengefasst sind, wurde ein Sicherheitskonzept für die Übertragung von Messdaten über offene Netze entwickelt, das als Modelllösung eine über das Vorhaben hinausgehende Bedeutung hat. Den Kern des Konzeptes bildet das Sicherheitsmodul MIM (Meter Identification Module, s. Bild 7), das im Fachbereich 8.3 bis zu ersten Demonstrationsanwendungen weiterentwickelt worden ist. Die im gleichen Fachbereich angesiedelte Softwareprüfstelle hat durch entsprechende Tiefenprüfungen nachgewiesen, dass die implementierten Kernfunktionen des SELMA-Sicherheitsmoduls den zu Grunde gelegten Anforderungen entsprechen. In einem neuen vom Fachbereich 8.3 gemeinsam mit Industriepartnern geplanten Vorhaben, welches im Jahre 2003 durch das BMWA bewilligt wurde, steht die Über-

Bild 6: Prüfsignal (Ausatemkurve) der American Thoracic Society (ATS), erzeugt mit dem Atemsimulator PWG-6 (Abtastrate 500 Hz), und Volumenstrom gemessen mittels eines Hitzdraht-Anemometers (Abtastrate 10 kHz). Eingefügte Darstellung: Vergleich im Bereich des Maximums des Volumenstroms.



tragung von Messdaten – und damit auch deren Sicherheit – über drahtlose Kommunikationssysteme im Mittelpunkt.

Die Sicherheit von Messdaten und Software ist auch in den Mittelpunkt des EU-geförderten thematischen Netzwerks „MID-Software“ gerückt. Im Vorhaben sind in einer zuvor nicht vorhandenen Klarheit die Bindung der Software- bzw. IT-bezogenen Anforderungen an die informationstechnischen Funktionen und ihre weitgehende Unabhängigkeit von Messgerätearten herausgearbeitet worden. Das betrifft Funktionen wie beispielsweise Messdatenspeicherung, -übertragung, Software-Download (s. Bild 8). Sicherheitsfragen in Bezug auf Messdaten und messtechnisch relevante Software sind dadurch sichtbar geworden. In diesem vom Fachbereich 8.3 koordinierten Vorhaben mit 16 Partnern aus 13 Ländern liegt der Schwerpunkt auf der Harmonisierung der Anforderungen an Software und IT-Komponenten im Rahmen der europäischen Messgeräte-Richtlinie MID.

Sicherheitsanforderungen liegen auch weiteren Softwareprüfungen zu Grunde, z. B. von Dosismessprogrammen, die im Auftrag des Luftfahrtbundesamtes durchgeführt werden, und von Wahlgerätesoftware, in der die Sicherheitsanforderungen eine spezifische wahlrechtliche Ausprägung haben. Erstmals wurde ein Wahlgerät für komplizierte Wahlarten (Kumulieren und Panaschieren von Stimmen) in der PTB geprüft und bei Kommunalwahlen eingesetzt.

Über die oben genannten Aufgaben hinaus ist der Fachbereich 8.3 mit vergleichbaren Fragestellungen im Zusammenhang mit zukünftigen Online-Wahlsystemen beschäftigt. Im

Jahre 2003 ist das auf drei Jahre angelegte, vom BMWA-geförderte Vorhaben „Entwicklung von Konzepten für die Prüfung und Zertifizierung von Online-Wahlsystemen“ aufgenommen worden. Ziel ist es, aus allgemeinen wahlrechtlichen Anforderungen technische Kriterien für Online-Wahlsysteme abzuleiten und die erforderlichen Prüfverfahren zu entwickeln. In der ersten Phase des Vorhabens ist von der PTB ein über 100 Punkte umfassender Anforderungskatalog erarbeitet und zur Abstimmung mit den vom BMWA eingesetzten einschlägigen Arbeitsgruppen eingebracht worden.

Auch in den Bereich der Spielgeräteprüfung haben vergleichbare Fragen der Daten- und Softwaresicherheit Einzug gehalten. Im Zusammenhang mit den Überlegungen zur Erneuerung der Spielverordnung ist im Fachbereich 8.3 das Konzept eines Kontrollmoduls (Blackbox) für Spielgeräte entwickelt worden, welches zukünftig die vom Gesetzgeber bei Spielgeräten vorgeschriebenen Überwachungen abdecken soll.

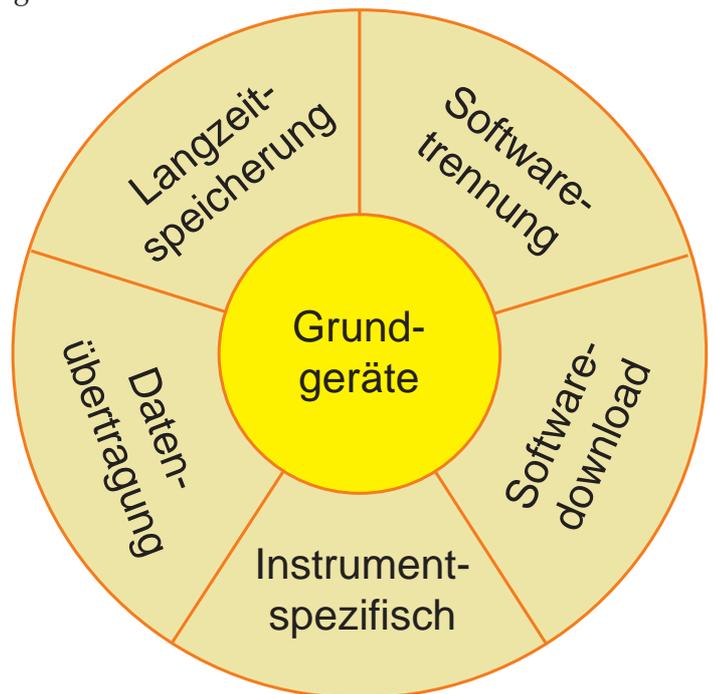


Bild 7: SELMA-Sicherheitsmodul (MIM) zur Schlüsselerzeugung, Schlüsselspeicherung, Hashen, Signieren und Verifizieren von Daten

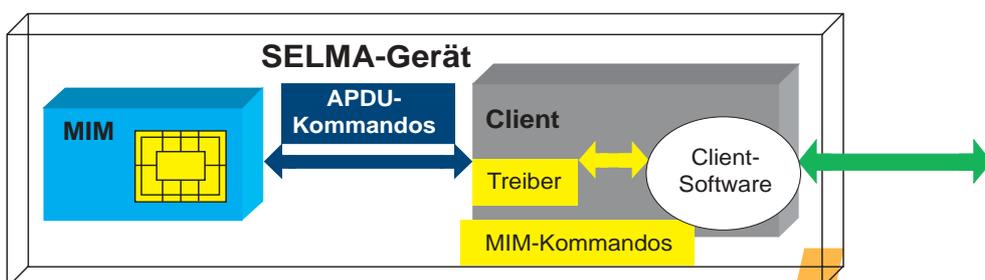


Bild 8: Systematik der im europäischen Netzwerk „MID-Software“ entwickelten Softwareanforderungen an Messgeräte

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Nachweis einzelner Moleküle in Gewebeschnitten mittels Laser-Scanning Fluoreszenzmikroskopie

In Zusammenarbeit mit dem *Robert-Koch-Institut Berlin* ist es erstmals gelungen, in Gewebeschnitten (humane Tonsille) einzelne fluoreszierende Moleküle und fluoreszenzmarkierte Antikörper mit Hilfe der Laser-Scanning-Mikroskopie zu detektieren. Es wurden erfolgreich chemische und messtechnische Verfahren eingesetzt, um die hohe Eigenfluoreszenz des Gewebes zu unterdrücken, die bisher einen Nachweis einzelner Fluorophore in Gewebeschnitten verhinderte. (B. Krämer, AG 8.11, benedikt.kraemer@ptb.de)

Erzeugung von hyperpolarisiertem ^3He -Gas durch optisches Spin-Austausch-Pumpen

Im Rahmen einer Diplomarbeit (*Fachbereich Physik, FU Berlin*) wurde in der PTB eine Apparatur zur Erzeugung von hyperpolarisiertem ^3He durch optisches Spin-Austausch-Pumpen aufgebaut und charakterisiert. Mit Hilfe einer gepulsten NMR bei 4 mT konnte der Aufbau der ^3He -Polarisation online verfolgt werden. Es wurden erste Abbildungen der Lunge mittels 3-T-Kernspintomographie unter Verwendung von hyperpolarisiertem ^3He aufgenommen.

(W. Kilian, AG 8.12 wolfgang.kilian@ptb.de)

Neuartiger adiabatischer HF-Impuls zur Erzeugung einer Besetzungsinversion in der Kernspintomographie

Es wurde ein neuartiger frequenz- und amplituden-modulierter HF-Impuls entwickelt, der eine adiabatische Besetzungsinversion über ein frei wählbares Band von Larmor-Frequenzen ermöglicht. Verglichen mit einem in der Kernspintomographie oft eingesetzten frequenz- und amplituden-modulierten HF-Impuls benötigt der neue Impuls einen bedeutend niedrigeren Spitzenwert der HF-Amplitude. (L. Mitschang, AG 8.12, lorenz.mitschang@ptb.de)

Messunsicherheiten für die In-vivo-NMR-Spektroskopie

Für die quantitative Analyse von In-vivo-NMR-Spektren wird eine semi-parametrische Modellierung verwendet, bei der das Signal

des Hintergrunds modellfrei behandelt wird. Zur Bestimmung der Messunsicherheiten ist eine Methode entwickelt worden, die den Einfluss der Modellierung des Hintergrundsignals berücksichtigt.

(C. Elster, AG 8.31, clemens.elster@ptb.de)

Vergleichende Untersuchungen zur Rekonstruktion ausgedehnter Hirnquellen aus simulierten bioelektrischen und biomagnetischen Feldern

Die Lokalisation und Bestimmung der Ausdehnung von aktivierten Hirnarealen aus elektrischen bzw. magnetischen Feldern des menschlichen Kopfes waren erstmals gemeinsam Gegenstand analytischer Modellstudien auf der Basis der Multipolentwicklung. Besonderer Wert wurde auf den Vergleich von bioelektrischer und biomagnetischer Rekonstruktion gelegt. (W. Haberkorn, AG 8.31 wolfgang.haberkorn@ptb.de)

Simulationsrechnungen für neuartiges Sensorsystem zur Rekonstruktion der Topographie von Oberflächen

Zur Entwicklung hochgenauer Profilbestimmungen optischer Oberflächen mittels Abstandsmessungen wurden in Zusammenarbeit mit der Arbeitsgruppe 4.21 die Eigenschaften eines neuartigen Sensorsystems mit Hilfe von Simulationsrechnungen untersucht und optimiert.

(C. Elster, AG 8.31, clemens.elster@ptb.de)

Entwicklung von Datenanalyseverfahren für die Stitching-Interferometrie

Für die Stitching-Interferometrie wurden Verfahren zur Datenanalyse entwickelt, durch Simulationsrechnungen überprüft sowie ein entsprechendes Auswerteprogramm erstellt. (C. Elster, AG 8.31, clemens.elster@ptb.de)

Neues Verfahren zur Analyse von Key Comparisons bei instabilem Transfernormal

In Zusammenarbeit mit Q.101 ist ein Verfahren entwickelt worden, das die Analyse von Key Comparisons unter Berücksichtigung von Instabilitäten des eingesetzten Transfernormal erlaubt. Dabei können z. B. lineare Drifts und zufällige Schwankungen der entsprechende Messgröße berücksichtigt werden. (C. Elster, AG 8.31, clemens.elster@ptb.de)

Metrologie für die Wirtschaft

Entwicklung eines bildgebenden NIR-Reflexionsspektrometers zur Überwachung von Schlaganfall-Patienten

Im Rahmen des vom BMWA geförderten Vorhabens „Time-domain brain imager“ wurde in Zusammenarbeit mit zwei Berliner KMUs damit begonnen, ein bildgebendes Nahinfrarot-Reflexionsspektrometer mit ps-Zeitauflösung zu entwickeln. Das Instrument soll u. a. zur Überwachung von Schlaganfall-Patienten am Krankenbett eingesetzt werden. (H. Wabnitz, AG 8.12 heidrun.wabnitz@ptb.de)

Anmeldung eines Patents zum Einsatz von Flächenstromantennen in der NMR

Gemeinsam mit der *BRUKER Biospin MRI GmbH* wurde von der PTB ein Patent mit dem Titel „Anordnung zum Erzeugen von Hochfrequenz-B1-Feldern in der NMR mit Flächenstromantennen“ angemeldet. Die der Erfindung zugrunde liegenden Arbeiten wurden im vom BMWA geförderten Vorhaben „Phased-Array-Spulen für die 3-Tesla-Kernspintomographie“ durchgeführt. (F. Seifert, AG 8.12, frank.seifert@ptb.de)

Nicht-invasive Untersuchung der Auflösung von Arzneimitteln mittels „Magnetic Marker Monitoring“

Im Auftrag des schwedischen Pharma-Unternehmens *Astra Zeneca* hat die PTB mittels des im Fachlaboratorium 8.21 entwickelten Verfahrens „Magnetic Marker Monitoring“ die Auflösung und Wirkstofffreisetzung von medikamentösen Darreichungsformen im Gastrointestinaltrakt an Probanden untersucht. (L. Trahms, AG 8.21, lutz.trahms@ptb.de)

Europäisches Projekt „Programmable Airwave Generator“

An dem o. g. EU-Projekt sind Universitäten, Staatsinstitute und Industriepartner aus den Niederlanden, Portugal, USA, Finnland und Deutschland beteiligt, die das Ziel verfolgen, dynamische Volumenstromgeneratoren zur Prüfung von Strömungsmessgeräten in Medizin und Industrie zu entwickeln. Die PTB unterstützt das Projekt bei der Konzeption der Generatoren und bereitet deren Prüfung und Kalibrierung vor. (W. Riedel, Projekt 8.201 wolfgang.riedel@ptb.de)

Neue ISO/IEC-Arbeitsgruppe für nichtinvasive Blutdruckmessgeräte gegründet

Auf deutsche Initiative wurde im Jahre 2003

eine gemeinsame ISO- und IEC-Arbeitsgruppe zur Normung von nichtinvasiven Blutdruckmessgeräten mit dem Ziel gegründet, nationale und regionale Anforderungen durch internationale Normen zu ersetzen. (S. Mieke, AG 8.22 stephan.mieke@ptb.de)

Prüfung von Kommunikationsprotokollen via Internet erfolgreich erprobt

Erstmals konnte im Jahre 2003 eine Protokollprüfung von Geräten mit Feldbusanschluss über das Internet experimentell erprobt werden. (J. Neumann, AG 8.32, joerg.neumann@ptb.de)

Neues Vorhaben zur sicheren drahtlosen Messdatenkommunikation begonnen

Im Forschungsvorhaben „Sichere drahtlose Messdatenkommunikation“ sollen für ausgewählte Anwendungsgebiete innerhalb von drei Jahren Kommunikationsverfahren für die sichere Funkdatenübertragung untersucht, weiterentwickelt und validiert werden. (N. Zisky, AG 8.32, norbert.zisky@ptb.de)

Kooperationsvereinbarung auf dem Gebiet der Softwarequalitätssicherung mit T-Systems abgeschlossen

Zwischen dem Softwaretestzentrum der *T-Systems Multimedia Solutions GmbH* in Dresden und der PTB wurde eine Vereinbarung über die wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Softwarequalitätssicherung abgeschlossen. (N. Greif, Projekt 8.302, norbert.greif@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Erster Einsatz der zeitaufgelösten, diffusen NIR-Reflektometrie bei Schlaganfallpatienten

Es wurde ein transportabler Messaufbau zur zeitaufgelösten diffusen Nahinfrarot(NIR)-Reflektometrie des Gehirns zum Nachweis intra-zerebraler Absorptionsänderungen auf der Intensivstation der *Charité* erprobt. Es wurde die Passage eines Farbstoff-Bolus durch das Gehirn von Schlaganfallpatienten erstmals verfolgt und das Anfluten und Auswaschen des Farbstoffes analysiert. Die bisherigen Ergebnisse lassen es als aussichtsreich erscheinen, das Messverfahren für eine Überwachung der zerebralen Perfusion bei Schlaganfallpatienten am Krankenbett einsetzen zu können. (H. Wabnitz, AG 8.12, heidrun.wabnitz@ptb.de)

Frühzeitiger Nachweis entzündlich rheumatischer Gelenkveränderungen mittels Laser-induzierter Fluoreszenz

In Zusammenarbeit mit der *Charité* und der *Schering AG* wurde eine Methode zum Nachweis früher rheumatischer Veränderungen von Gelenken mittels Fluoreszenzbildgebung unter Einsatz eines optischen Kontrastmittels entwickelt und an Tiermodellen erprobt. (B. Ebert, AG 8.12, bernd.ebert@ptb.de)

Klinisch einsetzbares Verfahren zur Bestimmung der Konzentration des Neurotransmitters Glutamat

Es wurde ein bekanntes Verfahren der volumen-selektiven Kernresonanz-Spektroskopie hinsichtlich einer Konzentrationsbestimmung des Neurotransmitters Glutamat optimiert und in Zusammenarbeit mit der *Charité* unter Einsatz des 3-Tesla-Ganzkörper-MR-Tomographen der PTB an 40 Probanden erprobt. Es wurde die Konzentration von Glutamat in zwei ausgewählten Regionen des Gehirns mit guter Genauigkeit bestimmt. Das Messverfahren ist für den Einsatz in der klinischen Forschung geeignet und wird derzeit zur Untersuchung von Patienten mit Schizophrenie angewendet. (F. Schubert, AG 8.12, florian.schubert@ptb.de)

Untersuchung von Schluckvorgängen

In Zusammenarbeit mit der *Universität Greifswald* und der *Charité Berlin* wurde im Rahmen eines DFG-Vorhabens mit Hilfe des „Magnetic-Marker-Monitoring“ (MMM)-Verfahrens die Einnahme von Arzneiformen messtechnisch an sechs Probanden mit über 300 Schluckvorgängen untersucht. Überraschend war der häufige Verbleib der Tabletten in der Speiseröhre, der in manchen Situationen bei 50 % der Fälle zu verzeichnen war. (L. Trahms, AG 8.21, lutz.trahms@ptb.de)

SQUID-Nachweis magnetischer Nanopartikel in befallenen Lymphknoten

Das Verfahren der SQUID-Magnetrelaxometrie wurde in Zusammenarbeit mit der *Robert-Rössle-Klinik* erstmals zum empfindlichen Nachweis magnetischer Nanopartikel in menschlichem Gewebe ex vivo, d. h. in mit Krebszellen befallenen Lymphknoten, eingesetzt. Die Ergebnisse lassen hoffen, dass die SQUID-Messtechnik künftig auch für den Nachweis von magnetischen Nanopartikeln in-vivo genutzt werden kann. (L. Trahms, AG 8.21, lutz.trahms@ptb.de)

Algorithmus zur Erzeugung von Prüfungssignalen für Spirometerprüfungen

Bei der Prüfung von Spirometern nach DIN EN 13826 sind simulierte Ausatemprofile zu verwenden, deren Kurvenformen geforderte Parameter wie Anstieg und Peakdauer (dwell-time) einhalten müssen. Es wurde ein Algorithmus zur Erzeugung von Atemstromprofilen entwickelt und in eine Steuersoftware integriert, der sowohl die Anforderungen der Norm als auch die technischen Spezifikationen der Prüfapparatur berücksichtigt. (W. Riedel, Proj. 8.201, wolfgang.riedel@ptb.de)

Weitere Verbreitung von PTB-geprüften Wahlgeräten

Nach erfolgreicher Anwendung von PTB-geprüften elektronischen Wahlgeräten in der Hauptstadt Dublin hat die irische Regierung entschieden, flächendeckend im ganzen Land derartige Wahlgeräte einzuführen. (T. Bronder, AG 8.33, thomas.bronder@ptb.de)

Feldstudie über die Zuverlässigkeit von Geldspielgeräten begonnen

Das BMWA hat der PTB den Auftrag erteilt, das Langzeitverhalten von Geldspielgeräten unter Praxisbedingungen im Rahmen einer Feldstudie zu untersuchen. In dieser Studie werden mehr als 200 Geräte – verteilt über das gesamte Bundesgebiet – für etwa zwei Jahre systematisch beobachtet.

(H. Moeck, AG 8.31, hartmut.moeck@ptb.de)

Allgemeine Nachrichten

Seminarreihe (BMRS) über Anwendungen der kernmagnetischen Resonanz

Im März 2003 fand im HvH-Bau der PTB das erste „Berlin Magnetic Resonance Seminar“ (BMRS) statt. Das Seminar, welches alle drei Monate von der PTB, dem *Forschungsinstitut für molekulare Pharmakologie* (FMP) und der BAM veranstaltet wird, soll dem wissenschaftlichen Austausch zwischen Berliner Arbeitsgruppen dienen, die auf dem Gebiet der NMR arbeiten. (L. Mitschang, AG 8.12, lorenz.mitschang@ptb.de)

PTB-Seminar „Tretkurbelergometer“

Am 8. Mai 2003 wurde in der PTB von der *Deutschen Akademie für Metrologie* (DAM), München und der PTB gemeinsam ein Seminar über medizinische, rechtliche und technische Erfordernisse und Anforderungen an Ergometer durchgeführt. (S. Mieke, AG 8.22, stephan.mieke@ptb.de)

Wissenschaftlich- technische Querschnittsaufgaben

Berichte der Abteilungen



Abteilung



Q

Wissenschaftliche technische Querschnitt

Zum 1. Januar 2003 wurde der erste Schritt auf dem Weg zu einer neuen Struktur der *Abteilung Q* vollzogen. Der Fachbereich *Experimentelle Forschungsschwerpunkte* wurde aufgelöst; die laufenden Forschungsarbeiten werden in den Abteilungen *Optik* und *Ionisierende Strahlung* fortgesetzt. Das Referat *Technischer Dienst* und das Sachgebiet *Baumanagement* wurden aus der Abteilung *Verwaltung und Betrieb* und der Sprachendienst aus der Stabsstelle *Presse- und Öffentlichkeitsarbeit* herausgelöst und in die *Abteilung Q* integriert. Der veränderten Struktur entsprechend wurde der Auftragsauftrag neu formuliert. Er besteht nun aus zwei Teilen:

- Unterstützung der Fachabteilungen durch wissenschaftliche, technische und infrastrukturelle Dienstleistungen
- Wissenschaftliche und technische Zusammenarbeit mit nationalen und internationalen Partnern.

An der Erfüllung dieses Auftrags arbeiten mehr als 160 Mitarbeiter in vier Fachbereichen, neun Referaten und acht Projekten bzw. Arbeitsgruppen.

Titelbild

Vier Jahrzehnte TZ:

Seit der Expo 2000 präsentieren staatliche und nichtstaatliche Institutionen der deutschen Entwicklungszusammenarbeit eigene wie auch gemeinsame Initiativen unter dem One-World-Logo. Es wurde daher auch als Titelbild für das Schwerpunktheft der PTB-Mitteilungen zum Thema „Vier Jahrzehnte Technische Zusammenarbeit“ ausgewählt. „Das One-World-Logo symbolisiert, dass in unserer vernetzten Welt kein Teil mehr ohne den anderen auskommt. Es steht für Solidarität, Gleichberechtigung und partnerschaftliche Dialoge – zwischen Nord und Süd, Ost und West, Mann und Frau, Staat und Gesellschaft. Es steht für eine erfolgreiche Entwicklungspolitik, bei der alle Partner zielgerichtet Hand in Hand arbeiten.“ (Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung)

Mit der Veränderung der Aufbauorganisation zum Jahresbeginn hat sich auch die Verteilung der Leistungen auf die Geschäftsbereiche und die unterstützenden Prozesse verändert. Der Schwerpunkt liegt nun mit einem Anteil von über 70 % auf der Unterstützung der Fachabteilungen. Dazu zählen in erster Linie das technische und das infrastrukturelle Gebäudemanagement einschließlich der DV-Dienstleistungen, die wissenschaftlichen Bibliotheken und der Sprachendienst. Etwa 16 % der Leistungen entfallen auf den Geschäftsbereich *Internationale Angelegenheiten*, jeweils etwa 3 % werden in den Geschäftsbereichen *Grundlagen der Metrologie* und *Metrologie für die Gesellschaft* erbracht. Trotz des zahlenmäßig geringeren Anteils sind die Arbeiten in diesen drei Geschäftsbereichen von besonderem Interesse für die PTB und ihre Partner; sie stehen daher auch im Mittelpunkt dieses Berichts.

Grundlagen der Metrologie

Nach wie vor gehören Fragestellungen zur Auswertung von Messungen zu den wesentlichen Querschnittsaufgaben des Fachbereichs *Physikalische Grundlagen*. Insbesondere für die heutzutage weltweit agierende Wirtschaft ist die vergleichende Beurteilung der Qualität von Messungen der gleichen Messgröße an unterschiedlichen metrologischen Staatseinrichtungen von besonderem Interesse. Die Beurteilung der Verträglichkeit mehrerer solcher Messungen erfolgt im Rahmen eines internationalen Ringvergleichs (Key Comparison, KC). Im Zusammenhang mit einem KC treten häufig zwei Fragen auf: Wie vergleicht man die Qualität zweier Messungen innerhalb eines KC, wenn sich die Messgröße in der Zeit zwischen den beiden Messungen in nicht genau bekannter Weise ändert? Was lässt sich über die Qualität von Messungen der an einem regionalen Ringvergleich teilnehmenden Laboratorien im Vergleich zu den Messungen derjenigen Laboratorien sagen, die an einem korrespondierenden KC teilneh-

aftlich-

men und eine andere Messgröße der gleichen Art messen? Zu beiden in der Praxis vorliegenden Problemen wurden von der PTB international diskutierte Beiträge geleistet.

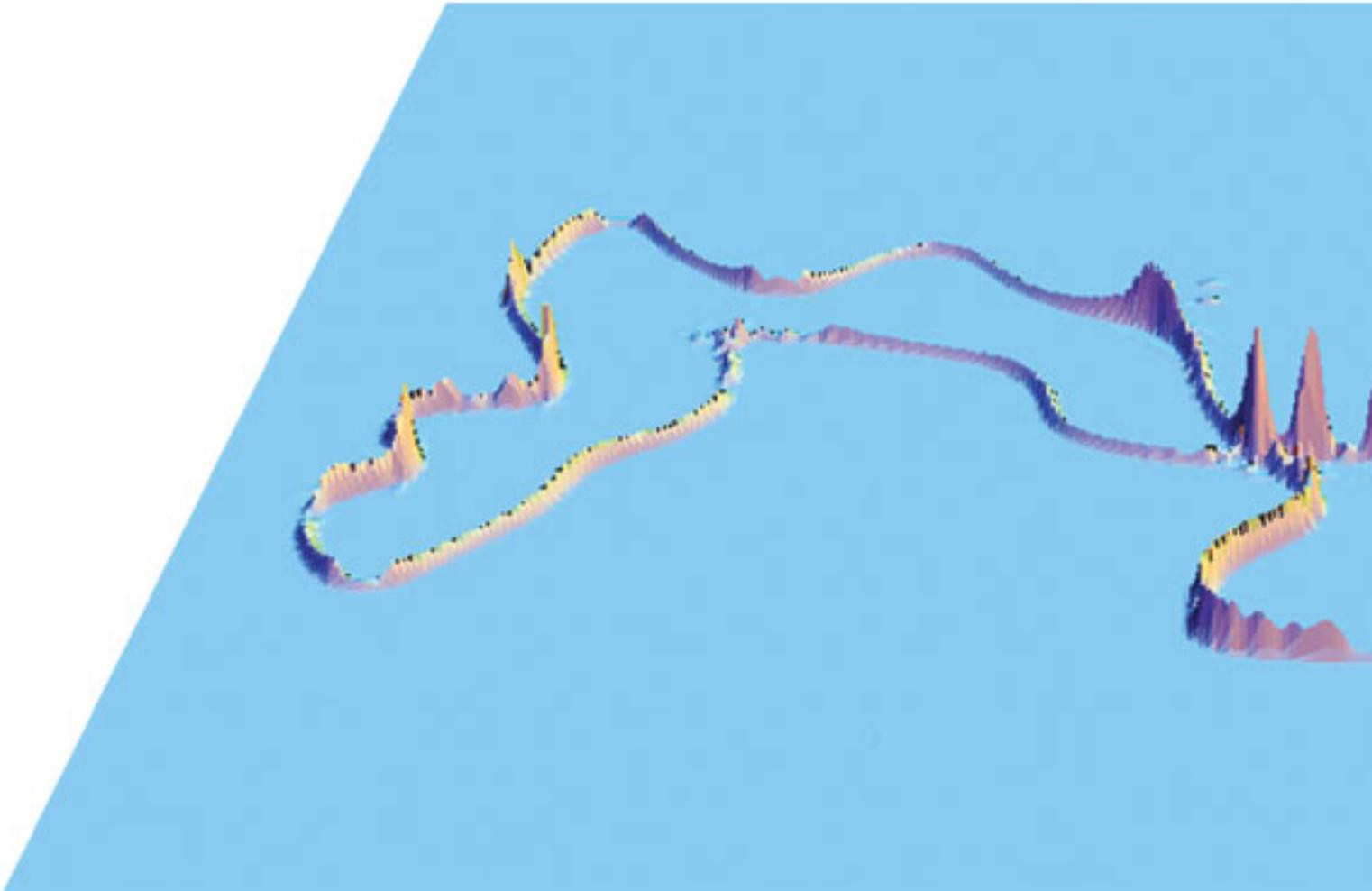
Im Bereich der Theoretischen Physik werden weitere fachabteilungsübergreifende Aufgaben bearbeitet. Arbeitsgruppen mit nationalen und internationalen Kooperationen erforschen einzelne Probleme, welche in direktem Zusammenhang mit experimentellen Fragestellungen aus dem Bereich der Quantenmetrologie, der Theorie der Phasenübergänge und Vielteilcheneffekte stehen. Auch elektronischer Transport in der Nähe des absoluten Nullpunkts der Temperatur spielt derzeit eine große Rolle. So kann z. B. der elektrische Strom in Festkörpern bei sehr tiefen Temperaturen aufgrund von Lokalisierungseffekten zum Stillstand kommen. Das ist besonders dann der Fall, wenn der Transport durch Streuung der Elektronen an Fehlstellen, Unordnungspotentialen und nicht perfekten Oberflächen dominiert wird. Dabei spielt auch die Dimensionalität des Leiters eine entscheidende Rolle. Während in dreidimensionalen Proben mit abnehmender Unordnung ein Übergang vom Isolator in den elektrisch leitenden Zustand beobachtet werden kann, reicht nach bisheriger Vorstellung im Falle von zweidimensionalen Schichten oder gar eindimensionalen Drähten bereits die geringste Unordnung, um den Stromtransport zu unterbinden.

Die zur Beschreibung dieser Beobachtungen zugrunde liegenden Modellsysteme setzen voraus, dass der Transport der Elektronen immer nur von einem Gitterplatz zum nächsten erfolgt, also nicht über mehrere Plätze hinweg. Numerische Untersuchungen ergaben nun, dass sich das Verhalten des Systems entscheidend ändert, wenn auch Übergänge zu entfernten Plätzen erlaubt werden, deren Übergangswahrscheinlichkeit vom reziproken Abstand zwischen Anfangs- und Endort abhängt. Es konnte kürzlich gezeigt werden,

dass auch in ungeordneten zweidimensionalen Schichten ein Übergang vom Isolator zum metallischen Leiter stattfindet, wenn die Transfer-Wahrscheinlichkeit schwächer als mit dem Quadrat des inversen Abstands abfällt.

Auch bei den Untersuchungen zum frequenzabhängigen Quanten-Hall-Effekt konnten weitere Fortschritte verbucht werden. Während inzwischen im Experiment die relative Unsicherheit der frequenzabhängigen Hall-Leitfähigkeit soweit reduziert werden konnte, dass metrologische Standards machbar sind, wurden die theoretischen Studien auf die Frequenzabhängigkeit der longitudinalen Leitfähigkeit ausgedehnt. Insbesondere die Frequenzskalierung, ein wichtiges Merkmal von Quanten-Phasen-Übergängen, steht im Mittelpunkt des Interesses. Dabei handelt es sich um ein Verhalten, welches zwar experimentell beobachtet wird, bei die die gemessenen Werte für den kritischen Exponenten aber je nach Experiment unterschiedlich sind. Kürzlich durchgeführte Berechnungen der frequenzabhängigen Leitfähigkeit lieferten das überraschende Ergebnis, dass der bisher als universell angenommene kritische Exponent von der Korrelationslänge des Unordnungspotentials abhängt und somit die Ursache für die beobachtete Diskrepanz sein könnte. Weitere Untersuchungen sind erforderlich, um dieses interessante Ergebnis zu untermauern. Ferner ist es für das Verständnis des Effekts notwendig, eine mikroskopische Erklärung für das neuartige Verhalten zu finden (s. auch Bild 1).

In einer weiteren Arbeitsgruppe werden Ansätze zum Verständnis von Phasenübergängen erarbeitet. Dabei ist es ein Ziel, mit Hilfe von Vielteilchentheorien eine Brücke zwischen den mikroskopischen Freiheitsgraden eines physikalischen Systems und seinen makroskopischen thermodynamischen Eigenschaften zu schlagen. Für ^4He bedeutet das z. B., die Eigenschaften des λ -Übergangs



zwischen der supraflüssigen und normalflüssigen Phase mit der Wechselwirkung zwischen den freien Heliumatomen in Verbindung zu bringen. Das ist eine komplizierte Aufgabe und Fortschritte in dieser Richtung wurden hauptsächlich mit numerischen Methoden erzielt. Seit vielen Jahren wird jedoch eine andere, eher analytische Methode zur Lösung der oben gestellten Aufgabe untersucht, die Renormierungsgruppe. Seit den neunziger Jahren wird eine spezielle Variante dieser Technik näher studiert, die funktionale Renormierungsgruppe (Flussgleichungen). Sie gestattet im Prinzip eine nicht-störungstheoretische Berechnung der freien Energie eines Vielteilchen-Problems. Praktisch ergeben sich die freie Energie sowie andere wichtige physikalische Größen als Lösung einer

Funktional-Differentialgleichung. Methoden zur Lösung solcher Gleichungen sind noch nicht sehr weit fortgeschritten. In einer Arbeit über supraflüssiges ^4He wurde eine Methode zur Lösung solcher Gleichungen entwickelt und insbesondere der λ -Übergang im Einzelnen studiert. Es ergaben sich Werte für das kritische chemische Potential sowie für den kritischen Exponenten in vernünftiger Übereinstimmung mit dem Experiment.

Im Rahmen der Arbeiten auf dem Gebiet des Grid Computing gibt es seit geraumer Zeit eine Kooperation zwischen dem *Institut für Wissenschaftliches Rechnen* der TU Braunschweig und dem Fachbereich *Informationstechnologie*. Das Wort Grid wird in Analogie zum Strom-Netz (engl. Power Grid) verwen-

Bild 1: Elektronischer Quanten-Hall-Zustand: Die Aufenthaltswahrscheinlichkeit eines Elektrons in einem ungeordneten zweidimensionalen System bei Anwesenheit eines starken, senkrechten Magnetfelds. Deutlich zu sehen ist der Einfluss eines räumlich korrelierten Unordnungspotentials, welches dazu führt, dass die elektronischen Eigenzustände in der Nähe der kritischen Punkte auf quasi-eindimensionale, perkolierende Äquipotentiallinien beschränkt sind. Diese Eigenschaft ist wesentlich für das Verständnis des ganzzahligen Quanten-Hall-Effekts.

det. Kaum jemand denkt darüber nach, wie genau der Strom ins Haus kommt. Für die Übermittlung von Informationen stellt das Internet eine ähnliche Infrastruktur dar, die man nutzt, ohne die genaue Topologie des Netzes zu kennen. Somit ist es nahe liegend auch die Ressource „Rechenleistung“ organisiert zur Verfügung zu stellen. Dies schließt sowohl das zeitweise Vergeben brachliegender Rechenzeit der eigenen Rechner wie auch die Inanspruchnahme anderer Rechner ein. Innerhalb des Grid Computing möchte man die Verteilung dieser Ressource sicher, standardisiert und effizient lösen. Der Forschungsschwerpunkt liegt dabei darauf, wie Applikationen und Algorithmen mit dem Fokus auf High-Performance-Computing auf

einem Computational Grid umgesetzt werden und miteinander agieren können und welche Anwendungen in diesem Kontext überhaupt Sinn machen. Speziell werden hier Anwendungen der numerischen Optimierung untersucht, die ein gutes Beispiel für eine Grid-Applikation darstellen, da hier Optimierungsroutinen mit komplexen numerischen Simulationen gekoppelt werden können, wie z. B. Berechnungen mit der Methode der Finiten Elemente (FEM) und Monte-Carlo-Methoden (MCM). Werden evolutionäre oder genetische Algorithmen als Optimierungsstrategie eingesetzt und die erzeugten Populationen parallel ausgewertet, so entsteht eine Applikation mit einem sehr komplexen Verhalten.

Metrologie für die Gesellschaft

Die im September 2000 begonnenen Diskussionen im Rat der Europäischen Union über den Entwurf einer Messgeräte-richtlinie (Measuring Instruments Directive, MID) wurden fortgesetzt. Im Mittelpunkt standen die Vorschläge des Europäischen Parlaments aus der ersten Lesung zur Vereinheitlichung von Regelungen über horizontale Fragen. Verschiedene Anforderungen wurden neu formuliert oder geändert. Beispielsweise wurde der Anhang mit den Prüfprogrammen gestrichen. Auch der Anhang über Atemalkoholmessgeräte wurde wegen der engen Verbindung zu den unterschiedlichen nationalen Rechtsvorschriften vollständig herausgenommen. Nach einer Vielzahl von Änderungen hat der Rat im Juli einstimmig den „Gemeinsamen Standpunkt“ festgelegt. Damit wurde der Entwurf an das Europäische Parlament mit dem Ziel weitergeleitet, in der zweiten Lesung des Parlaments eine Zustimmung zu erreichen. Zur Umsetzung der Richtlinien in Deutschland wurden bereits Eckpunkte für ein neues Eichgesetz formuliert. Danach sollen zukünftig die mit der MID eingeführten neuen Konformitätsbewertungsverfahren auch national für die nicht von der MID erfassten Messgeräte gelten. Die Novellierung des Eichgesetzes wird auch genutzt, um die Durchführung der technischen Prüfungen bei der bisherigen Nacheichung für private Stellen zu öffnen.

Um künftig zusätzlich zu den nationalen Bauartzulassungen von Messgeräten nach dem Eichgesetz auch Konformitätsbewertungen nach der MID anbieten zu können, beabsichtigt die PTB, sich als Benannte Stelle für die Konformitätsbewertungsmodule B, D und H1 der MID notifizieren zu lassen. Zur Erfüllung der mit der Notifizierung verbundenen normativen Forderungen – insbesondere nach einer Trennung von Prüfung und Zertifizierung – wurde eine Zertifizierungsstelle für Messgeräte eingerichtet, die im Rahmen der Konformitätsbewertungsverfahren mit den Prüfingenieuren und Fachexperten der Fachabteilungen zusammenarbeitet.

Durch die Einrichtung der Zertifizierungsstelle werden keine technischen Tätigkeiten aus den Fachabteilungen in Querschnittsbereiche verlagert. Sowohl die fachliche Prüfung als auch die Bewertung der Prüfergebnisse wird nach wie vor im Wesentlichen in den Fachabteilungen durchgeführt. Die Herausgabe der Zulassung bedarf jedoch der Zustimmung eines von der Durchführung der Zulassungsprüfung unabhängigen Zertifizierungsbeauftragten der Zertifizierungsstelle (s. auch Bild 2).

Die europäische Harmonisierung wurde weiterhin durch WELMEC (*European cooperation in legal metrology*) unterstützt, wobei die einheitliche Interpretation und Anwendung der MID einen Schwerpunkt der Arbeiten bildete. Hierbei sind die im Rahmen eines europäischen Forschungsprojekts entwickelten Softwareanforderungen an Messgeräte einschließlich Prüfverfahren von besonderer Bedeutung. Die europaweite Akzeptanz konnte maßgeblich durch Aktivitäten von WELMEC erreicht werden. Mit der Aufnahme von Malta und Zypern umfasst WELMEC nunmehr 30 Staaten und damit sämtliche Beitrittskandidaten für die Europäische Union. Zur Optimierung der Organisation von WELMEC wurden Leitfäden über Strategie, Wahlen der Vorsitzenden und Verfahren für die Arbeitsgruppen verabschiedet.

Bei der internationalen Harmonisierung des gesetzlichen Messwesens stand bei der *Organisation Internationale de Métrologie Légale* (OIML) der Entwurf eines Abkommens zur Anerkennung von Bauartprüfungen im Vordergrund. Ziel dieser Vereinbarung ist die Anerkennung von Prüfergebnissen im Rahmen des OIML-Zertifizierungssystems, um den Herstellern Kosten und Zeit bei Bauartzulassungen in verschiedenen Ländern zu ersparen. Die bisherigen Schwierigkeiten bei der Anerkennung sollen durch Vertrauenserklärungen der Teilnehmer für die jeweiligen Messgerätekategorien gelöst werden. Grundlage hierfür sind Akkreditierungen oder „Peer Reviews“ der beteiligten Prüflaboratorien. Eine endgültige Verabschiedung dieser Vereinbarung ist auf der Sitzung des Internationalen Komitees der OIML im November 2003 vorgesehen. Mehrere überarbeitete internationale Empfehlungen liegen ebenfalls zur Abstimmung vor.

Internationale Angelegenheiten

Vor 40 Jahren startete die PTB ein Programm zur Unterstützung des nationalen Metrologieinstituts in Argentinien. Seit dieser Zeit hilft die PTB Entwicklungs- und Schwellenländern beim Aufbau einer Infrastruktur des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens, der Akkreditierung und Zertifizierung (MNPQ). Die vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (BMZ) finanzierten Projekte sind Teil eines Programms, das die weltweite Armutsbekämpfung zum vordringlichen Ziel hat. Die PTB-Projekte helfen den Projektpartnern, ihre Wettbewerbsfähigkeiten zu steigern, Exportmärkte zu erschließen und damit ihre wirtschaftliche Situation zu verbessern. Die Entwicklung dieses Arbeitsgebiets der PTB bildet das Schwerpunktthema der Ausgabe 3/2003 der PTB-Mitteilungen.

Was zunächst als Förderung des Aufbaus nationaler Metrologieinstitute begonnen hat, wurde zu einem umfassenden Konzept ausgebaut, das die Schaffung arbeitsfähiger MNPQ-Infrastrukturen zum Ziel hat. Nur so kann die wirtschaftliche und soziale Entwicklung nachhaltig gefördert werden. Nachhaltige Entwicklungshilfe bedeutet auch, Voraussetzungen zur Teilnahme am internationalen Handel zu schaffen. Im Ausbau des Handels wird ein Schlüssel zur Reduzierung der Armut gesehen. Die Probleme, die den Zugang zu den Märkten der Industrienationen erschweren, sind für die Entwicklungsländer jedoch zahlreich. Neben Zöllen und festgelegten Quoten für ihre Produkte sind es vor allem technische Handelsbarrieren, die es zu überwinden gilt. So müssen Vorschriften und Normen über Gesundheits-, Hygiene-, Umwelt- oder Sicherheitsanforderungen nachweislich eingehalten werden. Solche Konformitätsnachweise in Erzeugerländern scheitern häufig, weil die notwendigen Dienstleistungen des MNPQ-Wesens nicht angeboten werden oder weil das Vertrauen in die Zertifikate fehlt. Hier setzen die PTB-Projekte konkret an: Die Projektmaßnahmen umfassen neben dem Aufbau der erforderlichen technischen Infrastruktur die Sensibilisierung der politischen Entscheidungsträger und die Qualifizierung des Fachpersonals.

Die Erfahrungen lehren, dass kurzfristig kaum Erfolge zu erzielen sind. Auf dem lan-

gen Weg bis zur internationalen Anerkennung von Zertifikaten sind Akkreditierungen von Partnerlaboratorien durch deutsche Akkreditierer hilfreich und notwendig, solange die zuständigen Organisationen der Partner die internationalen Anforderungen nicht erfüllen können. Da Lebensmittel wichtige Exportgüter von Entwicklungsländern sind, kommt der Entwicklung der Metrologie in der Chemie eine besondere Bedeutung zu, eine Aufgabe, die auch einen neuen Arbeitsschwerpunkt der PTB darstellt. An Bedeutung gewinnen auch Projekte zur Förderung der regionalen Zusammenarbeit, die die Realisierung regionaler Märkte unterstützen. Solche Projekte werden z. B. in Mittel-, Südamerika, West-, Südafrika und in Asien durchgeführt.

Qualitätsmanagement

Die Arbeiten zur systematischen Verbesserung des QM-Systems der PTB wurden kontinuierlich fortgesetzt. Wichtige Impulse lieferten die Ergebnisse der Evaluation, der internationalen Bewertungsprozess und Erfahrungsaustausch über die QM-Systeme der europäischen NMI sowie die PTB-internen Arbeitsgruppen. Wesentliche Arbeiten betrafen darüber hinaus die Transparenz des Leistungsangebots der PTB für externe Kunden, die Abbildung der Kalibrier- und Messmöglichkeiten der PTB in der BIPM-Datenbank, die Anpassung des QM-Systems an die neue Aufbauorganisation sowie die stärkere Nutzung von Informationen und Daten aus dem QM-System für die strategische Planung. Die grundlegende Neuausrichtung des QM-Systems vor drei Jahren hat sich bewährt, diese Einschätzung wird durch mehrere Audits nationaler und internationaler Institutionen bestätigt. Das QM-System der PTB ist international anerkannt, das europäische Expertengremium für Fragen des Qualitätsmanagements (QS-Forum) hat die uneingeschränkte Erfüllung der Anforderungen des CIPM-MRA hinsichtlich Einführung und Anwendung des QM-Systems ausgesprochen. Die PTB hat damit vor Ablauf der Übergangsfrist (Ende 2003) ihre vertraglichen Verpflichtungen erfüllt. Auf nationalen und internationalen Konferenzen wurden die Erfahrungen der PTB mit der Sicherung der dauerhaften Wirksamkeit des QM-Systems dargestellt und die Gründe erläutert, warum eine Akkreditierung der PTB als NMI als nicht zweckmäßig angesehen wird.

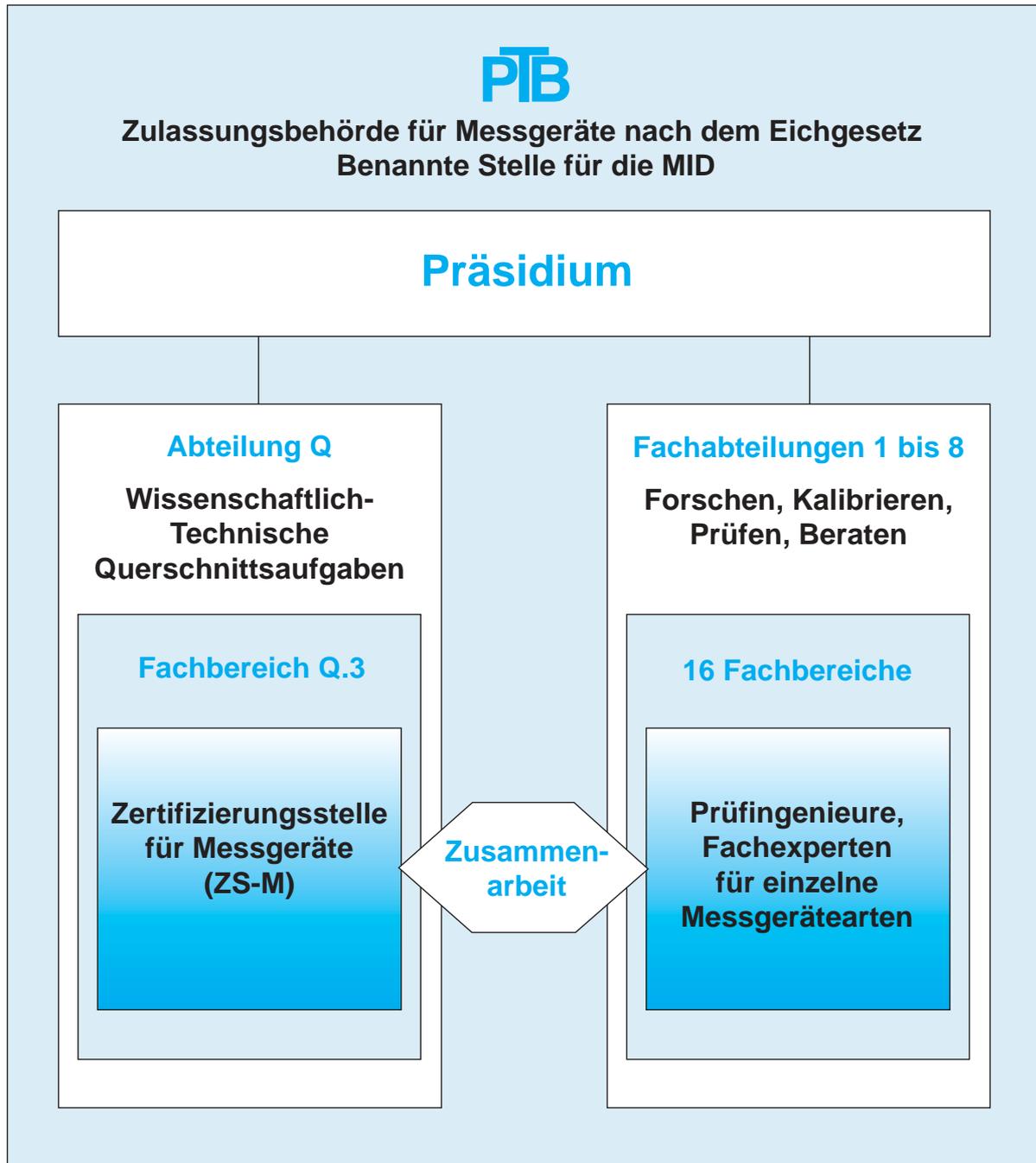


Bild 2: Einrichtung einer Zertifizierungsstelle für Messgeräte:
Die PTB wird als Benannte Stelle künftig zusätzlich zu den nationalen Bauartzulassungen Konformitätsbewertungen nach den Modulen der MID anbieten. Um den mit der Notifizierung der PTB verbundenen Forderungen nach einer Trennung

von Prüfung und Zertifizierung gerecht zu werden, wurde im Fachbereich Q.3 die Zertifizierungsstelle für Messgeräte eingerichtet, die im Rahmen der Konformitätsbewertungsverfahren mit den Prüfindingenieuren und Fachexperten der Fachabteilungen zusammenarbeitet.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

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

Grundlagen der Metrologie

Auswertung internationaler Ringvergleiche

Ein Verfahren wurde entwickelt, das die im MRA vorgesehene Anbindung regionaler Ringvergleiche an korrespondierende CIPM Key Comparisons quantitativ in geeigneter Weise beschreibt. (W. Wöger, Q.101, wolfgang.woeger@ptb.de)

Funktionale Renormierungsgruppe und supraflüssiges ^4He

Die Technik der funktionalen Renormierungsgruppe wurde benutzt, um den λ -Übergang in supraflüssigem ^4He sowie verschiedene eindimensionale Quantensysteme zu untersuchen. (M. Weyrauch, Q.103, michael.weyrauch@ptb.de)

Metrologie für die Gesellschaft

Datenbank für Bauartzulassungen der PTB (MITAC)

Die Datenbank für Bauartzulassungen der PTB (MITAC) wurde weiter entwickelt und ermöglicht auch den staatlich anerkannten Prüfstellen, den Zulassungsstellen der EU-Mitgliedsstaaten sowie den zukünftigen Beitrittsländern den direkten Zugriff zu den sie betreffenden Dokumenten. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

Marktüberwachung bei Messgeräten

In Zusammenarbeit zwischen den Eichaufsichtsbehörden und der PTB wurde ein vorläufiger Ablaufplan für die Behandlung von Auffälligkeiten im Rahmen der Marktüberwachung bei Messgeräten erarbeitet und erprobt. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

Staatlich anerkannte Prüfstellen für Messgeräte für Elektrizität, Gas, Wasser und Wärme

Es gibt geringfügig weniger staatlich anerkannten Prüfstellen als im Vorjahr. Während die Anzahl der Eichungen für Wärmezähler konstant geblieben ist, hat sie bei den Messgeräten für Gas, Wasser und Elektrizität um zum Teil mehr als 10 % abgenommen. (C. Mengersen, Q.31, christian.mengersen@ptb.de)

Internationale Angelegenheiten

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 regionalen und sektoralen Projekten. Der finanzielle deutsche Beitrag betrug ca. 4 Mio. Euro. 114 Fachkräften aus 26 Ländern wurde eine Fortbildung in Fachinstituten in Deutschland und anderen Ländern ermöglicht. Mehr als 1100 Teilnehmer aus 40 Ländern konnten an speziellen Fortbildungsseminaren durch Projektförderungen teilnehmen.

Metrologische Basisarbeit in Westafrika

Seit 2001 unterstützt die PTB den Aus- und Aufbau nationaler und regionaler Infrastrukturen des Mess- und Prüfwesens in zehn westafrikanischen Ländern. Projektpartner sind die nationalen Institutionen des Messwesens sowie die Kommission der Westafrikanischen Wirtschafts- und Währungsunion UEMOA. (U. Diekmann, Q.52, ulrich.diekman@ptb.de)

Neue Schwerpunkte der Technischen Zusammenarbeit im Maghreb und in Zentralafrika

Das überregionale Vorhaben, das in afrikanischen und arabischen Ländern vornehmlich den Aufbau von MNPQ-Strukturen in Regionalverbänden fördert, konzentriert sich in der zweiten Phase auf die Unterstützung der regionalen MNPQ-Zusammenarbeit der EU-Assoziierungsstaaten Tunesien, Algerien und Marokko. Einen weiteren Schwerpunkt bildet die zentralafrikanische Wirtschafts- und Währungsunion CEMAC.

Aus Teilaspekten dieses überregionalen Sektorvorhabens sind in der Vergangenheit eigene Regionalvorhaben in West-, Ost- und im Südlichen Afrika entstanden.

(S. Wallerath, Q.52, stefan.wallerath@ptb.de)

Neues Projekt in Uruguay

Die PTB unterstützt die nationale Regulierungsbehörde Uruguays DINATEN (*Dirección Nacional de Tecnología Nuclear*) beim Aufbau der messtechnischen Kontrolle und Überwa-

chung von Geräten, die ionisierende Strahlung aussenden. Mit dem zunehmenden Einsatz der Radiotherapie bei der Behandlung und Therapie von Krebserkrankungen ist die Überwachung der verwendeten Geräte sowohl für Anwender als auch Patienten von großer Bedeutung.

(U. Flach, Q.53, ursula.flach@ptb.de)

Erfahrungsaustausch mit dem Deutschen Kalibrierdienst (DKD) in Santiago de Chile

Zu einem Fachaustausch mit dem Deutschen Kalibrierdienst (DKD) trafen sich vom 22. bis 26. September Vertreter der sechs DKD-akkreditierten Laboratorien aus Lateinamerika. Per Videokonferenz wurden zwei Vorträge von Fachexperten der PTB übertragen. Dieser Fach- und Erfahrungsaustausch wurde im Rahmen der deutschen *Technischen Zusammenarbeit* unterstützt. Ziel ist es, die Länder soweit zu fördern, dass ihnen aus eigener Kraft der Anschluss an die internationalen Standards der Messtechnik gelingt.

(A. Valqui, Q.53, alexis.h.valqui@ptb.de)

Neues Projekt in Paraguay

Durch das Projekt „Aufbau eines Qualitätssystems für die Zertifizierung von Lebensmitteln in Paraguay“ soll beispielhaft gezeigt werden, welche Bedeutung ein funktionsfähiges Qualitätssystem für Paraguays Bestrebungen nach einer verbesserten Integration in den internationalen Markt hat.

(R. Schiel, Q.53, reinhard.schiel@ptb.de)

Internationale Konferenz in Moskau zur „Rolle der Metrologie unter den Bedingungen der Globalisierung“

Schwerpunkt der Konferenz mit ca. 200 Teilnehmern aus 15 Ländern waren die Bemühungen zahlreicher Staaten, insbesondere aus Mittel- und Osteuropa, ihre nationale Gesetzgebung im NMPQ-Bereich mit internationalen Anforderungen zu harmonisieren. Damit sollen Handelserleichterungen erreicht und unnötige technische Hemmnisse beseitigt werden. Die Konferenz fand auf Initiative von COOMET mit Unterstützung und aktiver Beteiligung von OIML, Gosstandart Russland und der PTB statt. Neben der fachlichen Programmvorbereitung trug die PTB mit sechs Vorträgen ihrer Mitarbeiter zum Gelingen der Veranstaltung bei.

Projekte der Technischen Zusammenarbeit mit Mitteln aus EU-Programmen

Die PTB war mit der Bewerbung für zwei EU-Projekte in Polen und Litauen erfolgreich, die der Hilfestellung im MNPQ-Bereich bei der Vorbereitung auf den EU-Beitritt dienen.

Weiterhin ist die PTB in einem weiteren TZ-Projekt der EU (Rumänien) als Junior-Partner in einem Konsortium aktiv und beteiligte sich an mehreren Projektausschreibungen verschiedener EU-Programme, wobei das Ergebnis dieser Bewerbungen z. T. noch offen ist.

Unterstützung der Fachabteilungen

Wissenschaftliche Bibliotheken

Die Bibliotheken haben mit der Migration zum größten deutschen Bibliotheksverbund, dem GBV, begonnen. Die bisher in Berlin und Braunschweig eingesetzten, unterschiedlichen elektronischen Bibliothekssysteme werden dadurch mittelfristig durch das in mehreren europäischen Ländern eingesetzte Verbundsystem PICA ersetzt.

(J. Meier, Q.11, joachim.meier@ptb.de)

Internet-Anwendungen für die Metrologie

Die Realisierung des „Virtuellen Test-Labors“ (VIRTEL) wurde weiter ausgebaut. Videokonferenzen sind in den Routinebetrieb übergeben worden. Ein Content Management System (CMS) befindet sich im Erprobungsbetrieb. (K. Guckelsberger, Q.105, kurt.guckelsberger@ptb.de)

Datennetz

Der Ausbau des auf Switch-Technologie basierenden Datennetzes in Ethernet/Fast Ethernet/Gigabit Ethernet wurde weiter vorangetrieben. (H.-J. Herrmann, Q.41, juergen.herrmann@ptb.de)

Brandmeldetechnik

Die Installation eines zentralen Leitsystems ist die Basis für die notwendige Modernisierung der Brandmeldetechnik in der PTB.

(H.-J. Herrmann, Q.41, juergen.herrmann@ptb.de)

Konzept zur Einführung eines Storage Area Network (SAN)

Ein Konzept zur Einführung eines SAN in der PTB wurde erstellt, um den wachsenden Anforderungen an die Speicherstrukturen an

den Standorten Braunschweig und Berlin gerecht zu werden.

(D. Sibold, Q.42, dieter.sibold@ptb.de)

Flächendeckende Einführung von Lotus

Notes

Lotus Notes wurde für alle Mitarbeiter in der PTB eingeführt. Damit ist die Voraussetzung für die Abschaltung der alten E-Mail-Infrastruktur in 2004 geschaffen.

(D. Sibold, Q.42, dieter.sibold@ptb.de)

Weiterer Ausbau der Datenbank-Infrastruktur

Den Mitarbeitern der PTB wurde das Datenbankmanagementsystem Oracle 9i auf einem Hochverfügbarkeitscluster zur Verfügung gestellt. Das ungünstige Verhältnis der Anzahl von infrastrukturellen Datenbank-Diensten zu Servern wurde abgebaut.

(J. Vogel, Q.402, joachim.vogel@ptb.de)

IT-Fortbildung und Hotline-Support begleitet das Rollout von Lotus Notes und Windows XP

Mehr als 1000 neuen Anwendern von Lotus Notes und 200 Nutzern von Windows XP wurden durch angepasste IT-Fortbildungsmaßnahmen und den entsprechenden Hotline-Support der Umstieg auf den neuen PTB-Standard erleichtert. (E.-M. Ausmeier, Q.401, erich.ausmeier@ptb.de; P.-J. Dickers, Q.403, paul.j.dickers@ptb.de)

Benennung der „Beauftragten Personen“ nach Gefahrgutrecht

Am 24. September 2003 wurde eine Inhouse-Schulung für die durch die Abteilungen neu benannten „Beauftragten Personen“ gemäß Gefahrgutbeauftragtenverordnung §6 und 1.3 ADR durchgeführt.

(S. Kruse, Q.61, sylvia.kruse@ptb.de)

Erneuerung einer Kältemaschine zur Sicherstellung der zentralen Kälteversorgung in der PTB-Braunschweig

Nach Planungen des Technischen Dienstes und des Staatlichen Baumanagements wurden in die Elektro- und Kältezentrale Mitte eine neue Kälteanlage und ein neuer Kühlturm eingebaut. Die Anlagen konnten im Oktober 2003 in Betrieb genommen werden. Durch die Sanierungsmaßnahme ist die ausreichende Kälteversorgung der Fachbereiche der PTB-Braunschweig gesichert.

(G. Marx, Q.61, godehardt.marx@ptb.de)

Der Deutsche Dienst

Im Berichtsjahr wurde die turnusmäßige Evaluierung (4-Jahres-Rhythmus) des DKD von der EA (European co-operation for Accreditation) positiv abgeschlossen, nachdem im entsprechenden EA-Gremium intensiv über die Unabhängigkeit des DKD diskutiert wurde. Das grundsätzliche Modell – eine eigenständige Akkreditierungsstelle innerhalb eines Staatsinstituts – wurde schließlich akzeptiert. Hinsichtlich der Unabhängigkeit der Akkreditierungsstelle sind noch einige organisatorische Anpassungen notwendig, ohne allerdings das System grundlegend zu verändern. Die Arbeit des DKD-Experten-gremiums hat ihren positiven Beitrag dazu geleistet, dass die enge Verbindung zwischen PTB und DKD erhalten bleibt.

Die Umstellung auf die für akkreditierte Kalibrierlaboratorien gültige Norm DIN EN ISO/IEC 17025 wurde im Berichtsjahr weitgehend abgeschlossen. 96 % der Laboratorien sind inzwischen nach der neuen Norm akkreditiert. Nur bei wenigen Laboratorien wurde die Akkreditierung zurückgezogen.

Bedingt durch das Ausscheiden verschiedener DKD-Begutachter im Jahr 2004 wurde eine DKD-Begutachterschulung mit ausgewählten PTB-Mitarbeitern durchgeführt, um das hohe Qualitätsniveau der DKD-Assessoren hinsichtlich der Akkreditierung und Begutachtung zu halten.

Als erstes bereichsübergreifendes Gremium der DKD-akkreditierten Laboratorien wurde der DKD-Fachausschuss „Messunsicherheit“ eingerichtet.

Die erste Fachausschuss-Sitzung im Ausland fand im September in Chile statt, um den im südamerikanischen Raum DKD-akkreditierten Laboratorien die Möglichkeit des fachlichen Austausch zu geben.

Im Gegensatz zu anderen Akkreditierungsstellen, die vielfach eine Sättigung erreicht haben, ist die Nachfrage nach einer DKD-Akkreditierung ungebrochen. Vor dem Hintergrund knapper werdender Ressourcen stehen Überlegungen zur Vereinfachung der Akkreditierungsabläufe und verstärktem Einsatz externer Kräfte an, um auch zukünftig noch weltweit agieren zu können.

he Kalibrier-

Aufgaben des DKD in der PTB

In Deutschland wird die PTB auch zukünftig zentraler Ansprechpartner für die Industrie in Fragen der Messtechnik sein. 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 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) wird auch weiterhin einen wesentlichen Bestandteil des Technologietransfers auf dem Gebiet der Metrologie in Deutschland darstellen. Sollte durch das geplante deutsche Akkreditierungsgesetz ein zentrales Akkreditierungssystem einzurichten sein, wird der DKD hierbei konstruktiv mitarbeiten. Als staatliche Stelle wird er aber die Interessen von Messtechnik und KMU nicht aus den Augen verlieren.

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

Zentralbereich Ingenieurtechnik
BASF AG, Ludwigshafen

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

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**

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

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, Februar 2004

Satz, Gestaltung: PTB, Presse- und Öffentlichkeitsarbeit

Übersetzung: PTB, Sprachendienst

Druck: Saxoprint, Dresden

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

Jahresbericht im Internet

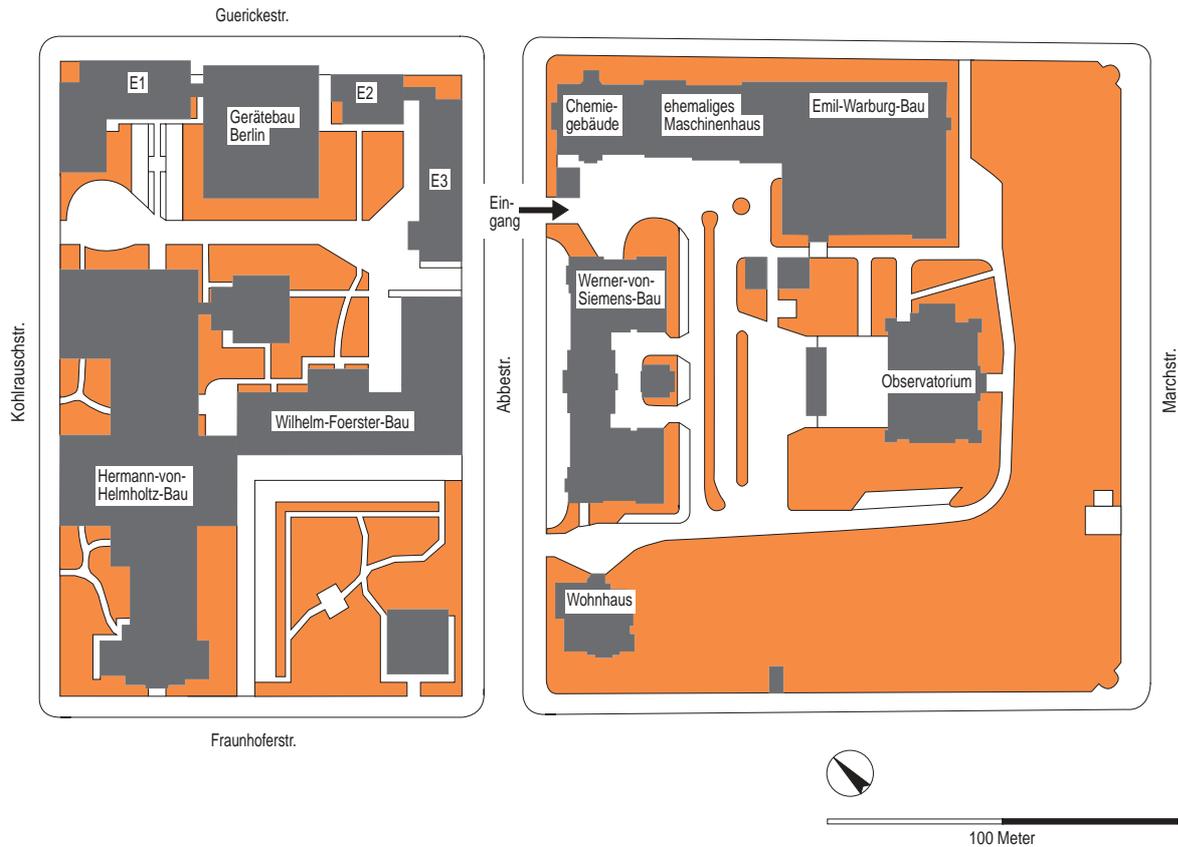
Der gedruckte Teil des Jahresberichts liefert Ihnen in überschaubarer Form einen Überblick über die PTB im Jahre 2003. Den kompletten Jahresbericht mit Nachrichten und speziellen Listen finden Sie auf den Internetseiten der PTB (unter www.ptb.de im Bereich „Publikationen“).

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 2003).

Inhalt:

- **Vorwort**
- **Arbeitsgebiete und Ziele**
- **Nachrichten des Jahres**
- **Aus den Abteilungen**
 - Abteilungsleiterberichte
 - Nachrichten
 - Tätigkeitsbereiche
 - Forschungsvorhaben
 - Kooperationen
 - Kalibrierungen/Prüfungen/Zulassungen
 - Internationale Vergleichsmessungen
 - Veröffentlichungen – Auszug aus Publica
- **Zahlen und Fakten**
 - Aktuelle Statistiken
- **Anhang**
 - Nationale Normungsgremien
 - Internationale Normungsgremien
 - Seminare/Workshops/Konferenzen
 - Kolloquien
 - Externe Lehrtätigkeit
 - Gäste/Gastwissenschaftler
 - Promotionen
 - Besucher des Präsidiums
 - Auslandsaufenthalte des Präsidiums
- **Datenbank Publica**
 - Veröffentlichungen
- **DKD**

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
 Kohlräusch-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
 Kohlräusch-Bau
 Max-Wien-Turm
 Meißner-Bau
 Ohm-Bau
 Prandtl-Bau
 Reinraumzentrum
 Schering-Bau

Abteilung 3

Thermodynamik und Explosionschutz

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
 Kohlräusch-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
 Kohlräusch-Bau
 Meitner-Bau
 Vieweg-Bau
Zentralgebäude

PÖ

Kohlräusch-Bau
Zentralgebäude

unterstrichen: Sitz Abteilungsleitung