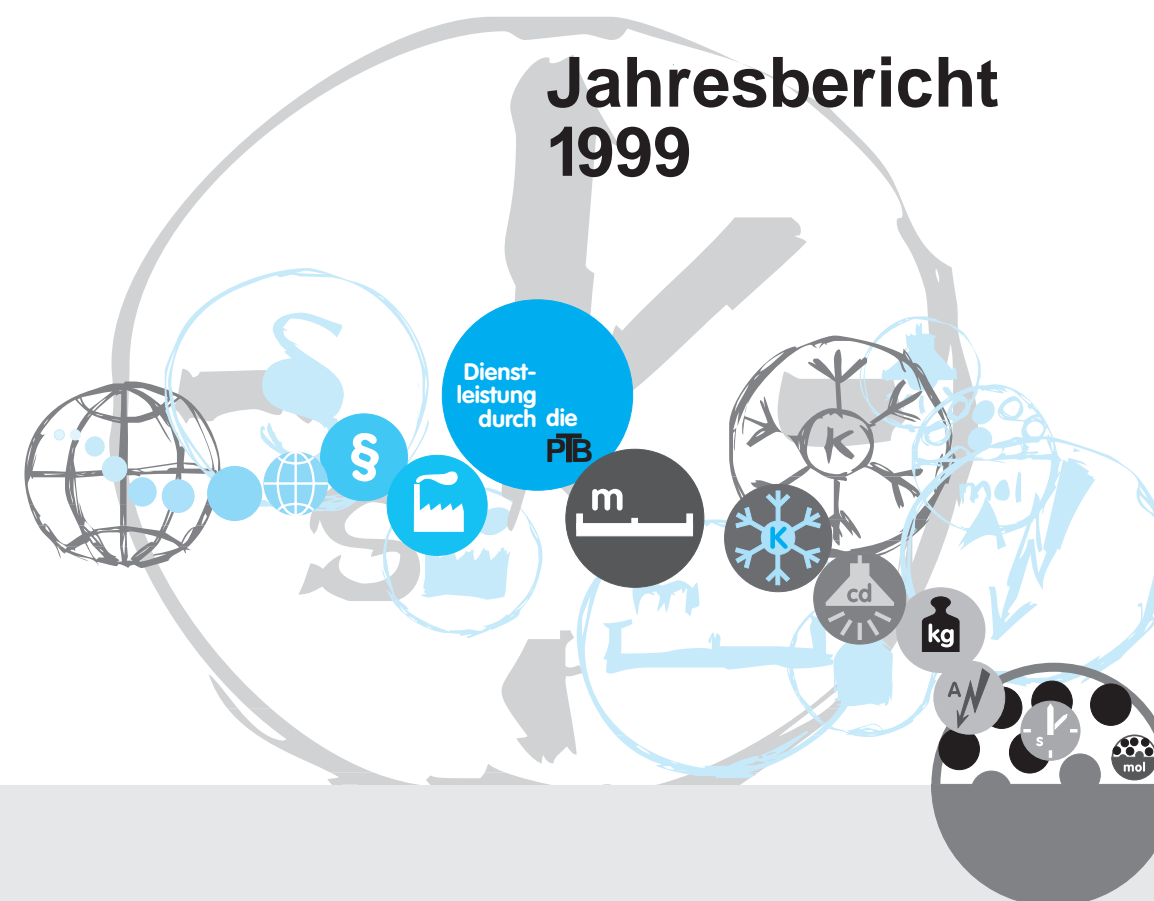

Physikalisch- Technische Bundesanstalt

Braunschweig und Berlin

Jahresbericht 1999



Vorwort

Nichts ist so beständig wie der Wandel! Das gilt auch für die PTB – bei aller Kontinuität, der wir verpflichtet sind.

Der Jahresbericht 1999 erscheint nun erstmals im neuen „Outfit“. Er informiert nach wie vor möglichst umfassend über die Arbeit der PTB im vergangenen Jahr; wir hoffen aber, dass er durch die neue Struktur übersichtlicher und auch ansprechender geworden ist. Die Informationstiefe des Jahresberichts nimmt beginnend mit der PTB im Jahresrückblick über die Berichte der Abteilungen bis hin zur Daten- und Nachrichtensammlung auf der CD-ROM zu, so dass je nach Lust und Informationsbedarf alle Leser für sich das Richtige finden können.

Auch die *PTB-Mitteilungen* werden mit der ersten Ausgabe des Jahres 2000 ein neues Gesicht und z. T. auch neue Inhalte bekommen. Sie bleiben das amtliche Mitteilungsblatt der PTB, aber die Fachbeiträge werden ersetzt durch Übersichtsartikel und Themen von allgemeinerem und breiterem Interesse. In diesem Sinne widmet sich die erste Ausgabe der Entdeckung der Strahlungsgesetze und dem Planck'schen Wirkungsquantum.

Aber auch sonst ist in der PTB einiges im Wandel. Seit Ende des Jahres gibt es unser Radiometrielabor bei BESSY I in Berlin-Wilmersdorf nicht mehr, da – entgegen der ursprünglichen Planung – BESSY I zum 30. November abgeschaltet wurde. Dafür konnten wir schon am 30. März im Rahmen des 3. Hermann-von-Helmholtz-Symposiums unser neues Labor bei BESSY II offiziell in Betrieb nehmen mit neuen und faszinierenden Möglichkeiten für die Radiometrie im UV, VUV und Röntgenbereich, aber auch mit Einbußen bezüglich der metrologischen Qualität im niederenergetischen Bereich im Vergleich zu BESSY I. Am 23. September wurde das Richtfest des Anbaus am Gauss-Bau gefeiert. Hier, wie auch bei allen anderen Baumaßnahmen in Braunschweig, die mit der

Standortkonzentration in Zusammenhang stehen, ist der Ablauf im Zeitplan. Bezüglich der Maßnahmen in Berlin-Charlottenburg hat der Berliner Senat nunmehr über den neuen Standort des Landesamtes für Mess- und Eichwesen entschieden – das LME wird in die Gebäude von BESSY I einziehen – so dass auch hier die Arbeiten zur Standortkonzentration planmäßig weitergehen können. Gewandelt hat sich auch die Beziehung der nationalen Metrologieinstitute untereinander. Am 14. Oktober wurde in Paris am Rande der Generalkonferenz der Meterkonvention von 38 Mitgliedern der Meterkonvention sowie zwei weiteren internationalen Organisationen (IAEA und IRMM) erstmals eine Vereinbarung über die gegenseitige Anerkennung der Gleichwertigkeit nationaler Normale und von den Metrologieinstituten ausgestellten Kalibrierzertifikate unterzeichnet. Mit den in dieser Vereinbarung konkretisierten Maßnahmen wird ein wesentlicher Beitrag zum Abbau nichttarifärer Handelshemmnisse erbracht werden. Nicht übersehen werden darf dabei jedoch, dass dies insbesondere für die weltweit führenden Metrologieinstitute, zu denen ich bei aller Bescheidenheit die PTB zähle, einen erheblichen zusätzlichen Arbeitsaufwand bedeutet.

All dies ist verbunden mit dem Wandel, den wir durch unsere Arbeit bewirkt haben, die Ergebnisse, Erfolge und Fortschritte in allen vier Arbeitsgebieten der PTB:

- Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich
- Messtechnik für die Industrie
- metrologische Grundlagenforschung und Entwicklung sowie
- Internationale Zusammenarbeit.

Darüber gibt der vorliegende Jahresbericht Zeugnis. Wir hoffen, dass er allen Lesern und Interessenten gerecht wird und sowohl bezüglich seiner Inhalte als auch seiner neuen Form ihre Zustimmung findet.

Prof. Dr. Ernst O. Göbel

Foreword

Nothing is as constant as change! This applies also to PTB – despite all the continuity to which we are bound.

The 1999 Annual Report is published for the first time in a new “outfit”. Now as before, it informs about the work carried out at PTB in the past year; however, we hope that its new structure will make it clearer and more attractive as well. From a look back on PTB in the past year to the Divisions' reports to the data and news collected on the CD-ROM – the depth of information of the Annual Report increases so that all readers can find what is suitable for them, depending on the kind of information they are interested in and the scope of information they need.

With the first issue published in the year 2000, the appearance of the *PTB-Mitteilungen* and – to a certain extent – their contents will change as well. The *PTB-Mitteilungen* will remain the official publication of PTB, however, the technical and scientific contributions will be replaced by outline articles and topics of more general and broader interest. Accordingly, the first issue will deal with the discovery of the radiation laws and with Planck's constant.

Other things, too, at PTB are undergoing change. At the end of the year, the radiometry laboratory at BESSY I in Berlin-Wilmersdorf ceased to exist because – contrary to original plannings – BESSY I was shut down on November 30. In return, our new laboratory at BESSY II could be officially put into operation as early as March 30 within the framework of the 3rd Hermann von Helmholtz Symposium. It offers new and fascinating possibilities for radiometry in the UV, VUV and X-ray ranges, involving, however, in comparison with BESSY I, losses as regards the metrological quality in the low-energy range. On September 23, the topping-out ceremony was held for the annex to the Gauss building. Here and for all other building schemes in progress on the

Braunschweig site in connection with a locational concentration, work is within the time schedule. As to the measures to be taken in Berlin-Charlottenburg, the Berlin Senate now decided on the location of the State Office for Metrology and Verification, LME: it will move to the BESSY I building so that here, too, work for locational concentration can be continued according to plan. A change has taken place also in the relations among the national metrology institutes. On October 14, concurrently with the General Conference of the Metre Convention, 38 members of the Metre Convention and two other international organizations (IAEA and IRMM) signed for the first time an agreement on the mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes. The measures put in concrete terms in this agreement will make an essential contribution to the removal of non-tariff barriers to trade. It should not, however, be overlooked that this will involve a considerable amount of additional work for the world's leading metrology institutes among which, with all due modesty, I count the PTB.

All this is connected with the change we have brought about by our work, the results, the success and the progress achieved in all four fields of work of PTB:

- metrology in the area regulated by law
- metrology for industry
- fundamental research and development in metrology, and
- international cooperation.

The Annual Report on hand gives evidence of this. We hope that it will come up to the expectations of all readers and of those interested and that its contents and new outlay will meet with your approval.

Prof. Dr. 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	12
Zahlen und Fakten • Figures and facts	32
Die Abteilungen	42
Mechanik und Akustik	43
Elektrizität	51
Thermodynamik und Explosionsschutz	59
Optik	67
Fertigungsmesstechnik	73
Ionisierende Strahlung	79
Temperatur und Synchrotronstrahlung	87
Medizinphysik und metrologische Informationstechnik	95
Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben	107
Die Anlagen	114
Kuratorium	115
Organisationsplan, Impressum	116
Geländepläne	120

PTB
Die

Arbeitsgebiete



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 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 Technologie* gehört, ist in der Bundesrepublik Deutschland mit diesem Auftrag 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, eine international akzeptierte leistungsfähige messtechnische Infrastruktur gleichermaßen für Gesellschaft, Handel und Wirtschaft bereitzustellen. Forschung und Technologieentwicklung dienen dazu, diesen Auftrag verantwortungsvoll und kompetent auszuführen.

Die Arbeiten der PTB lassen sich vier Gebieten mit jeweils unterschiedlichen Zielrichtungen zuordnen (s. nebenstehende Grafik).

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 Technology*, 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 work performed at PTB can be assigned to four fields, each with different objectives (cf. chart).

Grundlagen der Metrologie

Die Arbeiten zum Thema „Grundlagen der Metrologie“ stellen einen erheblichen Anteil der PTB-Aktivitäten dar: Für 1999 liegt er bei etwa 70 %. Die Auswahl der Forschungsthemen, die Zielsetzung und z. T. auch die Vorgehensweise im Detail sind aber geprägt von und bestimmt durch die metrologische Bedeutung. Dadurch unterscheiden sich die F&E-Arbeiten in vielen Fällen grundsätzlich von den F&E-Vorhaben, wie sie an Universitäten, außeruniversitären Einrichtungen und anderen Instituten durchgeführt werden. Als Beispiele seien genannt die Neubestimmung der Feinstrukturkonstanten mittels Neutronen, die Forschungsarbeiten zur Neudefinition der Masseinheit „Kilogramm“, die Entwicklung eines programmierbaren Josephson-Spannungsnormals, die Konstruktion einer im Dauerbetrieb arbeitenden Cs-Springbrunnen-Atomuhr, die Radiometrie mit Synchrotronstrahlung oder die Arbeiten zum Thema Softwarequalität und -sicherheit. Gerade diese Abgrenzung macht die PTB aber auch andererseits zu einem interessanten Kooperationspartner für Universitäten und andere F&E-Institute, da sich somit Expertise und Kompetenzen oft in sehr sinnvoller Weise ergänzen. Die Erfolgsquoten bei der nun anlaufenden Förderung im 5. Rahmenprogramm der Kommission der Europäischen Union scheinen zu belegen, dass dies in der Tat für alle Beteiligten ein sehr erfolgversprechender Weg ist. Die PTB möchte sich auch in Zukunft eher verstärkt in Kooperationen und Verbundprojekte sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene einbringen.

Ziel der meist langfristigen Arbeiten in dem Bereich „Grundlagen der Metrologie“ ist die Erweiterung wissenschaftlicher Erkenntnisse und technologischer Innovationen zur Weiterentwicklung der metrologischen Grundlagen und Infrastruktur unseres Landes. Dabei handelt es sich u. a. um die Entwicklung nationaler Normale, die Bestimmung von Fundamental- und Naturkonstanten, die Nutzung von Quanteneffekten für die Darstellung physikalischer Einheiten, die Schaffung von auf das internationale Einheitensystem rückführbaren Referenzmaterialien und die Bestimmung von Stoffeigenschaften. Die metrologiebezogene Grundlagenforschung ist für eine nachhaltige Sicherung der Kompetenz der PTB unverzichtbar.

Fundamentals of metrology

A considerable percentage of the PTB's activities concerns the subject "fundamentals of metrology": for 1999, it amounts to about 70 %. The selection of the research topics, the objectives defined and, to a certain extent, also the line of action to be followed in the particular case are, however, dependent on, and determined by, the metrological importance. This is the reason why in many cases the PTB's R&D work basically differs from the R&D projects carried out at universities, non-university institutions and other institutes. Examples are the redefinition of the fine structure constant with the aid of neutrons, research work for the redefinition of the unit of mass, the kilogram, the development of a programmable Josephson voltage standard, the construction of a Cs atomic fountain clock for continuous operation, radiometry using synchrotron radiation, and work concerning software quality and security. However, it is just this delimitation which makes the PTB an interesting cooperation partner for universities and other R&D institutes, since expertise and competence often supplement each other in a very useful way. The number of successful applications for promotion within the scope of the 5th framework program just started by the Commission of the European Union seems to prove that this is in fact a very promising way for all those involved. Also in future, the PTB will preferably contribute its know-how and experience to cooperations and joint projects on both the national and international level.

The objective of the work concerning the "fundamentals of metrology", which is usually scheduled for long periods of time, is the extension of scientific knowledge and of technological innovations aimed at a further development of the metrological bases and of the infrastructure of our country. The work concerns, among other things, the development of national standards, the determination of fundamental and natural constants, the use of quantum effects for the realization of physical units, the establishment of reference materials traceable to the International System of Units, and the determination of material properties. Metrology-related fundamental research is a must in order to permanently ensure the PTB's competence.

Messtechnik für die Industrie

In Deutschland ist die PTB der wichtigste Ansprechpartner für die Industrie in allen Fragen der Messtechnik.

Ein wichtiger Weg des messtechnischen Transfers von der PTB zur Industrie verläuft über den Deutschen Kalibrierdienst (DKD). Laboratorien der Industrie und anderer Institutionen, die Messungen mit der erforderlichen Genauigkeit durchführen können und deren Normale an die nationalen Normale der PTB angeschlossen worden sind, können als Kalibrierlaboratorien des DKD akkreditiert werden.

Die Zahl der vom DKD akkreditierten Laboratorien wächst jährlich; mittlerweile sind im DKD über 250 Laboratorien zusammengeschlossen; im letzten Jahr stellten diese Laboratorien über 100 000 DKD-Kalibrierscheine aus. (Zum Thema DKD vergleiche auch den Bericht der Abteilung Q, „Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben“.)

Auch über den DKD hinaus sucht und pflegt die PTB Kontakte, Kooperationen und Wechselwirkungen mit Industriefirmen. Ein Schwerpunkt derzeitiger Kooperationen mit der Industrie liegt auf dem Gebiet der Nanotechnologie. An drei von sechs staatlich geförderten Kompetenzzentren der Nanotechnologie (und zwar: Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung, Nanoanalytik und Nanoelektronik) ist die PTB beteiligt.

Die „Messtechnik für die Industrie“ ist auch in internationale Kooperationsvereinbarungen eingebettet, welche die Grundlage bilden für die gegenseitige Anerkennung von Kalibrierscheinen. So sind auf europäischer Ebene die nationalen Kalibrierdienste in der *European cooperation for Accreditation* (EA) zusammengeschlossen. Mit einem von zwei U. S.-amerikanischen Partnern hat die EA im letzten Jahr ein *Agreement on Mutual Acceptance of Test Reports and Calibration Certificates* abgeschlossen, welches die industrielle Kooperation und den internationalen Warenverkehr erleichtern soll. Dieses Abkommen ergänzt – auf dem Gebiet der industriellen Messtechnik – das ebenfalls im letzten Jahr abgeschlossene *Mutual Recognition Arrangement* auf Staatsebene (vgl. Nachrichten des Jahres: „Einmal geprüft, überall akzeptiert“).

Metrology for industry

In Germany, the PTB is the most important body industry can contact when questions of metrology are concerned.

An important line for metrology transfer from PTB to industry is via the German Calibration Service (DKD). Laboratories of industry and of other institutions, which are able to carry out measurements with the required accuracy and whose standards have been linked up with the national standards of PTB, can be accredited as DKD calibration laboratories.

The number of laboratories accredited by the DKD increases every year. More than 250 laboratories have so far joined the DKD, which issued more than 100 000 DKD calibration certificates in the past year. (For additional information concerning DKD, cf. report of Division Q "Scientific and Technical Cross-sectional Tasks".)

PTB tries to establish contacts and to cooperate with industrial firms also outside the scope of DKD, and it tries to derive benefit from these mutual relations. A focal point of cooperation with industry today is in the field of nanotechnology. PTB cooperates in three of six nanotechnology competence centers promoted by the State (namely, Ultraprecise Surface Figuring, Nanoanalytics and Nanoelectronics).

"Metrology for industry" is also integrated into international cooperation agreements which form the basis for the mutual recognition of calibration certificates. On the European level, the national calibration services have associated in the *European cooperation for Accreditation* (EA). Last year, the EA concluded an *Agreement on Mutual Acceptance of Test Reports and Calibration Certificates* with one of the two partners in the United States, which is to facilitate industrial cooperation and the international movement of goods. This agreement supplements – in the field of industrial metrology – the *Mutual Recognition Arrangement* also concluded last year at the level of the national institutes (cf. News of the year: "Measured once, accepted everywhere").

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

In weiten Bereichen des täglichen Lebens besteht ein besonderes öffentliches Interesse an richtigen Messergebnissen und zuverlässigen -einrichtungen. In diese Bereiche fallen z. B. alle behördlichen Messungen, die für Zollzwecke oder zur Straßenverkehrsüberwachung vorgenommen werden, das Messwesen im geschäftlichen Verkehr, wo der Bürger als Verbraucher auf richtige Messergebnisse vertraut, sowie Messungen in Medizin, Umwelt-, Strahlen- und Arbeitsschutz. Diese Bereiche des Messwesens werden deshalb durch nationale und europäische Rechtsvorschriften geregelt. Messgeräte, die hier in den Verkehr gebracht werden, müssen zugelassen sein. Das betrifft in Deutschland z. B. Waagen, Zapfsäulen, Gas-, Elektrizitätszähler, Taximeter und Verkehrsradargeräte. Die PTB nimmt hierzu eine Reihe gesetzlicher Aufgaben im Dienste der Öffentlichkeit wahr, indem sie Bauartprüfungen, Zulassungen oder gutachterliche Bewertungen von Messgeräten durchführt. Zugleich bietet die PTB den Herstellern, getrennt von jeder Zertifizierung, eine intensive technische Beratung an.

Innerhalb des gesetzlich geregelten Bereichs erfüllt die PTB eine Reihe von wissenschaftlich-technischen Dienstleistungsaufgaben, die sich aus nationalen Rechtsvorschriften und denen der Europäischen Union ergeben. Die PTB ist „Benannte Stelle“ nach europäischen Richtlinien, speziell für nichtselbsttätige Waagen, Gehörschützer, Explosionsschutz, Augenschutzgeräte, medizinische Messgeräte, und zuständige Stelle für elektromagnetische Verträglichkeit.

Ebenso wie die PTB bei der Erarbeitung geltender europäischer Richtlinien und nationaler Vorschriften mitgewirkt hat, wird sie auch bei der weiteren Harmonisierung den Gesetz- und Verordnungsgeber unterstützen. Die hierfür erforderliche Kompetenz wird durch eigene Prüf- und Zulassungspraxis sowie durch aktive Mitarbeit in internationalen und europäischen Gremien gewonnen.

(Zum „Gesetzlichen Messwesen“ vergleiche auch den Bericht der Abteilung Q, „Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben“.)

Metrology in the area regulated by law

In many domains of daily life there is a special public interest in correct measurement results and reliable measuring equipment. These domains cover, for example, all official measurements carried out for customs purposes or traffic control, measurements in commercial transactions where the citizen, as the consumer, relies on correct measurement results, as well as measurements in medicine and in environmental and radiation protection and for the protection of labour. These areas of metrology are, therefore, regulated by national and European legislation. Measuring instruments put into circulation in these fields must have been approved. Among the instruments concerned in Germany are, for example, weighing instruments, petrol pumps, gas and electricity meters, taximeters and road traffic radar. The PTB performs a number of legal tasks for the benefit of the public by carrying out type examinations and approval tests or by making expert assessments of measuring instruments. At the same time, PTB offers the manufacturers intensive technical advice, apart from certification.

In the area regulated by law, the PTB provides a number of scientific and technical services on the basis of national legal regulations and regulations of the European Union. The PTB is a “notified body” in compliance with European directives, especially for non-automatic weighing instruments, hearing protectors, explosion protection, eye protection devices, medical measuring instruments, and a “competent body” for electromagnetic compatibility.

The PTB took an active part in the preparation of the European directives and national regulations now in force. In the same way, it will support the legislator and the bodies issuing ordinances in the further harmonization process. The PTB acquires the competence required for this in its own practical test and approval work and by active cooperation in international and European bodies.

(For additional information on “Legal metrology”, cf. report of Division Q “Scientific and Technical Cross-sectional Tasks”.)

Internationale Zusammenarbeit

Zum Abbau technischer Handelshemmnisse haben sich praktisch alle Nationen im Rahmen der *Welthandelsorganisation* (WTO) verpflichtet. Die PTB arbeitet dafür in einer Reihe internationaler Metrologieorganisationen mit, entwickelt eine intensive wissenschaftlich-technische Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen und beteiligt sich aktiv an internationalen Forschungsprogrammen. Darüber hinaus besitzen auch die internationale Normung und Gremienarbeit (die PTB arbeitet in mehr als 500 Gremien mit) einen hohen Stellenwert. Das generelle Ziel dieser Zusammenarbeit mit Partnern aus aller Welt: die internationale Harmonisierung des Messwesens. Dem Bereich „Grundlagen der Metrologie“ sind die Mitgliedschaften in der *Meterkonvention* und bei EUROMET zuzuordnen. Für die „Messtechnik für die Industrie“ können die Mitarbeit bei den Normungsgremien ISO/IEC und CEN/CENELEC sowie die Mitarbeit bei ILAC (*International Laboratory Accreditation Conference*) und EA genannt werden. Innerhalb der „Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich“ sind OIML (*International Organization of Legal Metrology*) und WELMEC (*European Cooperation in Legal Metrology*) zwei wichtige Beispiele.

Großen Umfang innerhalb des Arbeitsgebiets „Internationalen Zusammenarbeit“ nimmt die technische Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern ein. Die PTB gibt ihre Erfahrungen weiter und leistet aktive Hilfe beim Aufbau ihrer messtechnischen Infrastruktur und Organisation des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitäts-Wesens (MNPQ). Die Mittel werden überwiegend vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* (BMZ) sowie weiteren regionalen und internationalen Gebern, wie der EU und der Weltbank, zur Verfügung gestellt. Im Berichtsjahr wurden 20 Länder in vier Kontinenten durch 29 Projekte beim Aufbau ihrer technischen Infrastruktur allein aus Mitteln des BMZ unterstützt. Der finanzielle deutsche Beitrag beträgt im Mittel der letzten Jahre mehr als 10 Mio. DM pro Jahr.

(Zur „Technischen Zusammenarbeit“ vgl. auch den Bericht der Abteilung Q, „Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben“.)

International cooperation

The removal of technical barriers to trade is a commitment which practically all nations have undertaken within the framework of the *World Trade Organization* (WTO). To achieve this aim, PTB cooperates in a number of international metrology organizations, develops intensive cooperation with other research institutes in the fields of science and technology and takes an active part in international research programs. Beyond this, international standardization and committee work (the PTB cooperates in more than 500 committees) play an important role. The general objective of this cooperation with partners in the whole world: international harmonization of metrology. Membership in the *Metre Convention* and EUROMET is related to the field “fundamentals of metrology”. Cooperation in the ISO/IEC and CEN/CENELEC standardization bodies and with ILAC (*International Laboratory Accreditation Conference*) and the EA concerns “metrology for industry”. OIML (*International Organization of Legal Metrology*) and WELMEC (*European Cooperation in Legal Metrology*) are important examples in the area “metrology in the area regulated by law”.

Much of the work performed in the field “international cooperation” concerns technical cooperation with developing and threshold countries. The PTB passes on its experience and know-how and gives active help in the establishment of the countries’ metrological infrastructure and in the organization of the metrology, standardization, testing and quality assurance (MSTQ) system. Most of the funds are made available by the *Federal Ministry for Economic Cooperation and Development* (BMZ) and by other regional and international donors, such as EU and World Bank. In the year under review, 20 countries on four continents were given assistance in the establishment of their technical infrastructure within the scope of 29 projects financed from BMZ funds alone. The average value of German financial aid over the past years amounted to more than 10 million DM per annum.

(For additional information on “International cooperation”, cf. report of Division Q “Scientific and Technical Cross-sectional Tasks”.)

Nachrichten des Jahres

Zielvereinbarung mit dem BMWi

Ein in der Wirtschaft bewährtes Managementinstrument, das bisher bei Bundesbehörden eher unüblich war, ist nun auch in der PTB im Spiel: Das *Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie* (BMWi) hat erstmals mit seinen beiden technisch-wissenschaftlichen Bundesanstalten, der PTB und der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM), für 1999 Zielvereinbarungen abgeschlossen. Diese Zielvereinbarungen, zunächst im „Probelauf“ gestartet, verpflichten sowohl die beiden Bundesanstalten als auch das BMWi zu konkreten Anstrengungen.

So heißt es beispielsweise in der Zielvereinbarung zwischen der PTB und dem BMWi: „Durch Einführung neuer Managementtechniken strebt die PTB eine weitere nachhaltige Effizienzsteigerung an.“ Gemeint sind damit unter anderem die Kosten-Leistungs-Rechnung (KLR) und das Qualitätsmanagement (QM). So hat die PTB bis zum Jahresende 1999 eine funktionsfähige, flächendeckende KLR aufgebaut, und das QM-System wurde auf die DIN ISO/IEC 17 025 ausgerichtet.

Die Zielvereinbarung benennt auch deutlich das Problem der Nachwuchswissenschaftler: Die PTB erwartet eine „nachhaltige Unterstützung bei der Beantragung weiterer Stellen bei Titel 42 702“. Bisher konnten aus diesem Titel sechs Nachwuchswissenschaftler finanziert werden. Beginnend mit dem Jahr 2000 wird dieser Titel nun elf zusätzliche Stellen beinhalten. Um diese Stellen finanzieren zu können, wird in Zukunft ein größerer Anteil des Gebührenaufkommens der PTB im Hause verbleiben.

Wenn die Zielvereinbarung in Zukunft konsequent dahingehend weiterentwickelt wird, die Verantwortung für das „operative Geschäft“ stärker in die Hände der betreffenden nachgeordneten Einrichtungen zu legen, wird dies seitens der PTB sehr begrüßt.

Target agreement with the BMWi

A management tool well-proven in trade and industry and so far rather uncustomary in federal authorities is now applied also at PTB: for the first time, the *Federal Ministry of Economics and Technology* (BMWi) has concluded target agreements for 1999 with the two technico-scientific institutes coming under its auspices, the PTB and the *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM, Federal Institute for Materials Research and Testing). These target agreements, in a first phase executed in a “trial run”, engage both, the federal institutes and the BMWi, to make concrete efforts.

A passage in the target agreement concluded between PTB and BMWi reads, for example: “PTB endeavours a further lasting improvement of the efficiency by introduction of new management techniques.” What is meant here is, among other things, a cost-performance analysis (KLR) and quality management. With effect from the end of 1999, the PTB has established an efficient KLR system covering all areas, and the quality management system has been tailored to the standard DIN ISO IEC 17 025.

The target agreement also refers explicitly to the problem of the new generation of scientists: the PTB expects “persistent support in the application for additional posts under budget item 42 702”. Six young scientists could to date be paid out of funds appropriated for this item. Beginning in the year 2000, this item will cover 11 additional posts. A larger proportion of the charges received by PTB for services rendered will in future be kept by PTB to finance these posts.

A future development of the target agreement to the effect that the responsibility for “operative business” will be entrusted to an increasing extent to the subordinate institutions concerned will be much welcome by PTB.

Antrittsbesuch: Bundesminister besuchte die PTB Federal Minister pays a first visit to PTB



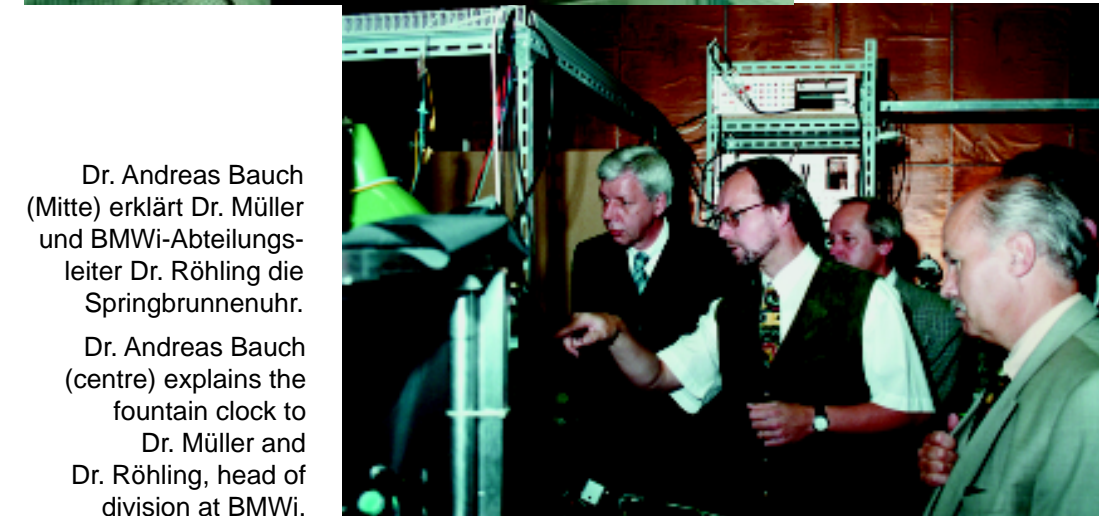
Dr. Müller, Bundesminister für Wirtschaft und Technologie, besuchte am 2. Juli 1999 die PTB.

Dr. Müller, the Federal Minister of Economics and Technology, visited the PTB on July 2, 1999.



Dr. Müller und Prof. Göbel besichtigen die „Ahnengalerie“ der PTB.

Dr. Müller and Prof. Göbel in front of the PTB's “gallery” of photographs of the former PTB presidents.



Dr. Andreas Bauch (Mitte) erklärt Dr. Müller und BMWi-Abteilungsleiter Dr. Röhling die Springbrunnenuhr.

Dr. Andreas Bauch (centre) explains the fountain clock to Dr. Müller and Dr. Röhling, head of division at BMWi.

50. Sitzung des Kuratoriums

Das Kuratorium traf sich am 27. und 28. April 1999 zu seiner 50. Jahrestagung in Braunschweig. Nach der Besichtigung von ausgewählten Experimenten in den Fachlaboratorien fand aus Anlass der Jubiläumstagung ein Festakt im Hörsaal statt, in dessen festlichen Rahmen auch die Helmholtz-Preise 1999 verliehen wurden. Der Präsident des Kuratoriums, Ministerialdirektor Dr. Röhling, hob die Bedeutung des Kuratoriums für die PTB hervor und überbrachte die Grüße des Bundeswirtschaftsministers. Den Festvortrag „Das Kuratorium – Die kollegiale Instanz“ hielt Prof. Dr.-Ing. e. h. Dr.-Ing. Dieter Kind, ehemaliger Präsident der PTB. Der erste Tag schloss mit einem Empfang der Kuratoren, Gäste und Träger der Helmholtzpreise durch die Stadt Braunschweig in der Dornse des Altstadtrathauses.

In der Sitzung am 28. April berichtete Dr. Röhling über die Veränderungen in der Bundesregierung nach den Wahlen vom September des Vorjahres und erläuterte die für die PTB relevante Politik. Nach dem Bericht des Präsidenten der PTB entwickelte sich eine lebhafte Diskussion zu verschiedenen Themen. Diskussionschwerpunkte waren die Entwicklung der Personalsituation in der PTB, der Haushalt, die Problematik bei Patenten, die Situation bei BESSY und insbesondere die geplante Zielvereinbarung zwischen BMWi und PTB. Im weiteren Verlauf der Sitzung referierten Prof. Dr. Rinneberg über die medizinische Messtechnik in der Abteilung 8 der PTB sowie der Schatzmeister des *Helmholtz-Fonds*, Dipl.-Ing. R. von Siemens, über die Entwicklung des Fonds.

Persönliches:

Im Berichtsjahr schieden die Herren Dr. Grassmann, Prof. Dres. h. c. Dr. Landwehr und Prof. Dr. Welling aus dem Kuratorium aus. Der Bundesminister für Wirtschaft berief Frau Prof. Dr. Anton sowie die Herren Prof. Dr. Hänsch, Dr. Siegel und Dr. Wurster zu neuen Mitgliedern des Kuratoriums.

Verstorben sind im Jahr 1999 die ehemaligen Kuratoren Prof. Dr. Kersten und Senator Dr. Toeller.

50th meeting of the Board of Consultants

The Board of Consultants met in Braunschweig for its 50th meeting on April 27 and 28, 1999. After a visit to selected laboratories to witness special experiments performed there, the anniversary was celebrated by a ceremonial act in the PTB's lecture hall, and this festive event also formed the setting for the award of the 1999 Helmholtz Prizes. Dr. Röhling, the president of the Board of Consultants, underlined the importance which the Board has for the PTB and conveyed the compliments of the Federal Minister of Economics. The ceremonial speech "The Board of Consultants – The collegiate body" was delivered by Prof. Dr.-Ing. e. h. Dr.-Ing. Dieter Kind, former president of the PTB. The first day ended with a reception of the Board members, guests and winners of the Helmholtz Prizes by the City of Braunschweig in the banqueting hall of the ancient town hall.

At the meeting on April 28, Dr. Röhling reported on the changes within the Federal Government after the elections of last September and explained the policy significant for PTB. After the report of the PTB's president, vivid discussions developed about various topics. Focal points of the discussions were the development of the personnel situation at PTB, the budget, problems in connection with patents, the situation at BESSY and, in particular, the planned target agreement between BMWi and PTB. In the course of the meeting, Prof. Dr. Rinneberg reported on metrology in medicine, a focal point of work of PTB Division 8, and R. von Siemens, the treasurer of the *Helmholtz-Fonds*, on the development of the Fonds.

Persons

In the year under review, Dr. Grassmann, Prof. Dres. h. c. Dr. Landwehr and Prof. Dr. Welling withdrew from the Board of Consultants. The Federal Minister of Economics appointed Prof. Dr. Anton, Prof. Dr. Hänsch, Dr. Siegel and Dr. Wurster new members of the Board.

Prof. Dr. Kersten and senator Dr. Toeller, former members of the Board of Consultants, died in 1999.



Dr. Bönsch erläutert Prof. Tiziani, Prof. Schoenes, und Prof. Landwehr die Endmaßmessung (von links).

Dr. Bönsch explains gauge block measurements to Prof. Tiziani, Prof. Schoenes and Prof. Landwehr (from the left).



Dr. Weyers stellt den Herren Prof. Landwehr, Prof. Hasche, Prof. Tiziani, Prof. v. Klitzing, Dr. Schuhmacher und Prof. Klose die Cesium-Fontäne vor (von links).

Dr. Weyers presents the cesium fountain to Prof. Landwehr, Prof. Hasche, Prof. Tiziani, Prof. von Klitzing, Dr. Schuhmacher and Prof. Klose (from the left).



Teilnehmer der 50. Sitzung des Kuratoriums der PTB
Participants in the 50th meeting of the PTB's Board of Consultants

Einmal geprüft, überall akzeptiert

Während der 21. *Generalkonferenz der Meterkonvention* (CGPM) erfolgte am 14. Oktober 1999 in Paris ein wichtiger Schritt auf dem Weg zum Abbau bestehender technischer Handelshemmnisse: Die Präsidenten und Direktoren der nationalen Metrologieinstitute von 38 der 48 Mitgliedsländer der Meterkonvention und zweier internationaler Organisationen unterzeichneten eine diesbezügliche Vereinbarung, das Mutual Recognition Arrangement (MRA). Prof. E. O. Göbel unterschrieb die Vereinbarung für die PTB und die BAM, die *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung*.

Das MRA, die „*Vereinbarung über die gegenseitige Anerkennung der Gleichwertigkeit nationaler Normale und von nationalen Metrologieinstituten ausgestelltter Kalibrierzertifikate*“, ist kein diplomatischer Vertrag, sondern eine technische Vereinbarung. Ein Kernpunkt der Vereinbarung sind neue Regelungen zu weltweiten Vergleichsmessungen, so genannten Key Comparisons, die Auskunft über den Grad der Übereinstimmung nationaler Normale und Kalibrierverfahren liefern sollen. Das MRA legt fest, dass das *Bureau International des Poids et Mesures* (BIPM) die Ergebnisse der Key Comparisons veröffentlicht und in einer „Key-Comparison-Datenbank“ sammelt, die über das Internet zugänglich sein wird. In die Datenbank werden außerdem Angaben über die Messmöglichkeiten der Staatsinstitute und die zugehörigen Unsicherheitsbudgets für Kalibrierungen aufgenommen werden.

Das jetzt unterzeichnete MRA fügt sich in eine Reihe weiterer Vereinbarungen ein, die den globalen Handel erleichtern sollen, indem sie die Wiederholung häufig aufwendiger Prüfungen in verschiedenen Ländern überflüssig machen. So zielt bereits ein europäisch-amerikanisches Abkommen im Rahmen der Transatlantic Economic Partnership auf den Abbau nichttarifärer Handelshemmnisse durch die gegenseitige Anerkennung von Prüfverfahren und Zertifikaten in den beteiligten Handelsblöcken.

Measured once, accepted everywhere

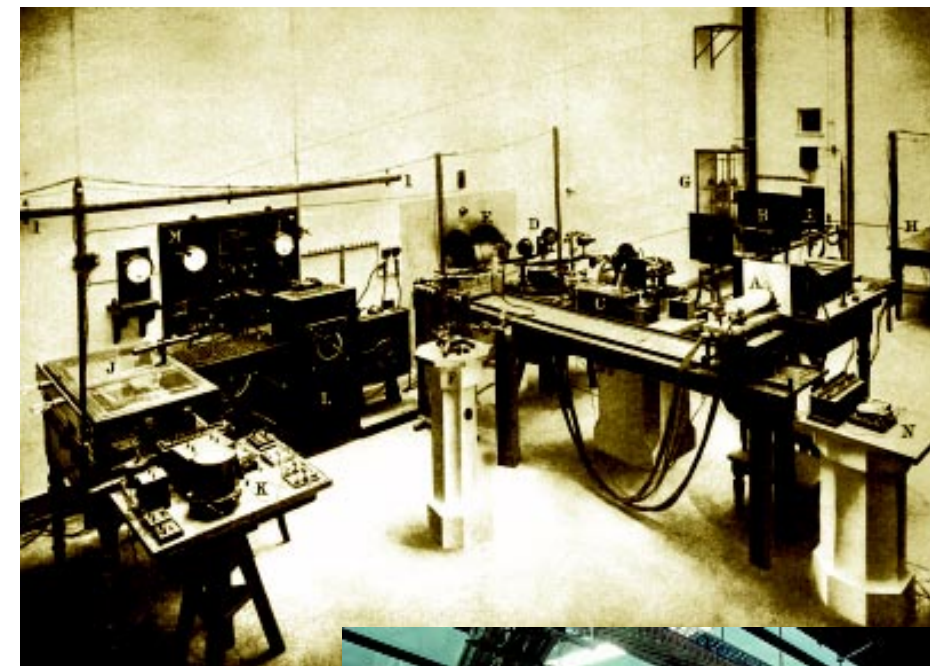
A major step on the way towards the elimination of technical barriers to free trade was taken in Paris on 14 October 1999 during the 21st CGPM, the *General Meeting of the Metre Convention*. The directors and presidents of the national metrology institutes (NMIs) of 38 of the 48 Member States of the Metre Convention and two international organisations signed the Mutual Recognition Arrangement (MRA). Prof. E. O. Göbel signed the document in behalf of both the PTB and the BAM, the *German Federal Institute for Materials Research and Testing*.

The MRA, the full title of which is “*Mutual recognition of national measurement standards and of calibration and measurement certificates issued by national metrology institutes*”, was drawn up by the *International Committee of Weights and Measures* (CIPM). It is not a diplomatic treaty, but a technical arrangement. Accordingly, essential points of the MRA are regulations concerning world-wide “key comparisons”. The key comparisons are to show the degree of equivalence of national standards and measurement capabilities. The MRA stipulates that the results of the key comparisons are to be published by the BIPM, the *Bureau International des Poids et Mesures*. The BIPM will also maintain a key comparison database accessible via the Internet. Besides the results of key comparisons, the database will contain information on the calibration and measurement capabilities submitted by the NMIs through their regional metrology organisations (RMOs) and reviewed by a Joint Committee of the RMOs and the BIPM.

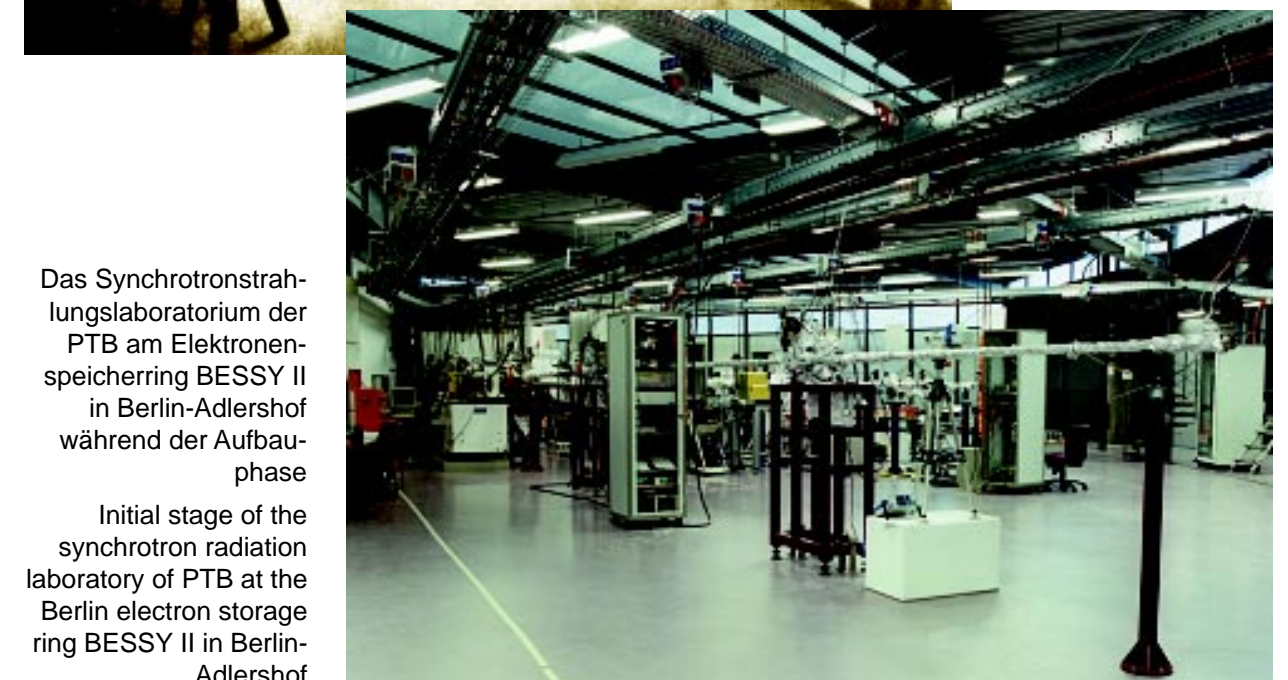
The MRA fits in a series of other agreements which aim at the facilitation of global commerce by making redundant, frequently expensive testing in different countries unnecessary. A recent example that opens up the way for the mutual recognition of measurements performed on both sides of the Atlantic Ocean is the “*Arrangement on Cooperation in the Fields of Metrology and Measurement Standards*” signed by the U. S. and the European Community a few days before the MRA.

100 Jahre Radiometrie

Die Arbeiten einer Gruppe von Wissenschaftlern der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* (PTR) in Berlin-Charlottenburg legten vor 100 Jahren das Fundament der Radiometrie, der Strahlungsmesstechnik. Zur Erinnerung daran führte die PTB ihr 3. Hermann-von-Helmholtz-Symposium als internationale Veranstaltung zum Thema „*Precision Measurement of Electromagnetic Radiation*“ am 30. März 1999 in Berlin-Charlottenburg durch. Am Vorabend des Symposiums wurde in Berlin-Adlershof das neue Synchrotronstrahlungslaboratorium der PTB am Elektronenspeicherring BESSY II eingeweiht. (Vgl. den Bericht der Abteilung „Temperatur und Synchrotronstrahlung“.)



Hohlraumstrahler im optischen Laboratorium der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg
Black-body radiator in the Optical Laboratory of the Physikalisch-Technische Reichsanstalt in Berlin-Charlottenburg



Das Synchrotronstrahlungslaboratorium der PTB am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof während der Aufbau-phase

Initial stage of the synchrotron radiation laboratory of PTB at the Berlin electron storage ring BESSY II in Berlin-Adlershof

100 Years of Radiometry

At the end of the last century, scientists at the Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR) in Berlin laid the foundations of radiometry. In commemoration of this achievement the 3rd Hermann von Helmholtz Symposium of the PTB – successor to the PTR – was held in Berlin-Charlottenburg on 30 March, 1999 as an international meeting dealing with the “*Precision Measurement of Electromagnetic Radiation*”. On the evening before the Symposium, the new PTB synchrotron radiation laboratory was formally inaugurated at the electron storage ring BESSY II in Berlin-Adlershof. (Cf. report of the “*Temperature and Synchrotron Radiation*” Division.)

Zwanzig Jahre Zusammenarbeit mit China

Die Zusammenarbeit zwischen der PTB und dem Nationalen Hauptamt für Qualität und Technische Überwachung der Volksrepublik China (CSBTS) besteht nunmehr seit zwanzig Jahren. Am 17. 9. '99 wurde diese Zusammenarbeit im Rahmen einer Festveranstaltung in Braunschweig zum vierten Mal vertraglich verlängert. Eingebettet ist die Kooperation zwischen PTB und CSBTS in weitergehende Abkommen zwischen den Regierungen der Bundesrepublik Deutschland und der Volksrepublik China:

- Abkommen über wissenschaftlich-technologische Zusammenarbeit vom 9. Oktober 1978
- Abkommen über wirtschaftliche und industrielle Zusammenarbeit vom 24. Oktober 1979.

Zusammenfassend lässt sich für die 20-jährige Zusammenarbeit feststellen:

Der Schwerpunkt liegt in der gemeinsamen Weiterentwicklung und Absicherung der nationalen metrologischen Normale Chinas, verbunden mit der Qualifizierung von wissenschaftlichen Mitarbeitern der chinesischen Metrologieinstitute.

Dabei hat sich der Ausbildungscharakter der Anfangsjahre zur heutigen kollegialen Mitarbeit chinesischer Gastwissenschaftler in PTB-Fachlaboratorien entwickelt. Über 100 Wissenschaftler aus China waren in der PTB, mehr als 100 PTB-Experten waren für kürzere Zeit in China. Drei Unterstützungsprojekte des BMZ für das nationale Metrologieinstitut Chinas mit einem Gesamtvolumen von über 6 Mio. DM wurden mit der PTB als Projektleitung bearbeitet. Die PTB unterstützt die Zusammenarbeit aus eigenen Haushaltsmitteln mit ca. DM 100 000,- pro Jahr.



Vertragsunterzeichnung durch Prof. Göbel und Herrn Wang Qinqing, Vizedirektor des CSPTS
Prof. Göbel and Mr. Wang Qinqing, Vice-director of CSPTS, signed the agreement

Twenty years of cooperation with China

The PTB has cooperated with the State Bureau of Quality and Technical Supervision of the People's Republic of China (CSBTS) for twenty years now. On September 17, 1999, the agreement on this cooperation was renewed for the fourth time within the framework of a ceremony performed in Braunschweig. Cooperation between PTB and CSBTS is integrated into more comprehensive agreements between the governments of the Federal Republic of Germany and the People's Republic of China:

- Agreement on scientific and technological cooperation dated October 9, 1978
- Agreement on economic and industrial cooperation dated October 24, 1979.

In summary, the following can be said about twenty years of cooperation:

Main emphasis is being placed on the further development and ensurance of China's national measurement standards, combined with the qualification of the scientific staff of the Chinese metrology institutes.

Whereas in the beginning cooperation was characterized above all by basic and advanced training measures organized by PTB, the development today has reached a stage at which Chinese guest scientists cooperate in PTB laboratories. More than 100 scientists from China stayed at PTB; more than 100 PTB experts spent a shorter period of time in China. Three projects of the *Federal Ministry for Economic Cooperation and Development* (BMZ) with an overall volume of more than 6 million DM, aimed at giving assistance to China's national metrology institute, were implemented with the PTB acting as the project manager. The PTB supports cooperation with CSBTS with about 100 000,- DM per year from its own funds.



Teilnehmer der Festveranstaltung
Participants in the festive event

Risiken minimieren

50 Jahre Explosionsschutz in der PTB

Am 29. September 1949 wurde die *Physikalisch-Technische Anstalt* (PTA), als Vorläuferin der heutigen PTB, ermächtigt, sich der „Prüfung von [...] brennbaren Flüssigkeiten und Gasen auf Explosionssicherheit [...] bei Herstellung, Transport, Lagerung und Verwendung“ und der „Systemprüfung [...] von elektrischen und nicht-elektrischen Betriebsmitteln auf ihre Verwendbarkeit in explosionsgefährdeten Räumen“ zu widmen. Aus einem kleinen Laboratorium, das nach dem Krieg zunächst mit wenigen Mitarbeitern für den wirtschaftlichen Wiederaufbau dringend benötigte explosionsgeschützte Geräte prüfte, entstanden bis heute zwei Fachbereiche mit zusammen etwa 80 Mitarbeitern, die in großem Umfang die Entstehung und Entzündung explosionsfähiger Gemische erforschen und bewerten, explosionsgeschützte Geräte prüfen und zertifizieren und Schutz- und Sicherheitsmaßnahmen entwickeln und erproben. Die dabei gewonnen Erkenntnisse helfen den Fachleuten der PTB bei der Aufklärung von Explosionsunfällen; sie sind aber auch die Grundlage für die Beratung von Ministerien und Aufsichtsbehörden sowie nationalen und internationalen sicherheitstechnischen Gremien. Dies alles geschieht in enger Kooperation mit der *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) in Berlin.

Durch die internationale Akzeptanz der Bewertungsergebnisse und Zertifikate der PTB werden Gerätehersteller unterstützt und die Erkenntnisse können effizient in sicherheitstechnische Regelungen einfließen.

Das Festkolloquium am 29. September 1999 in der PTB Braunschweig mit etwa 200 Gästen gab einen Überblick über die Entwicklung dieses Fachgebietes in der PTB, über wissenschaftliche Aspekte des Explosionsschutzes, die heutigen Aufgaben und den Stellenwert der PTB für Gerätehersteller und Betreiber von verfahrenstechnischen Anlagen, die Explosionsschutzmaßnahmen erfordern.

Minimizing risks

50 years of explosion protection at the PTB

On September 29, 1949, the *Physikalisch-Technische Anstalt* (PTA), the predecessor of the present-day PTB, was empowered “to test [...] flammable liquids and gases for safety with respect to explosion in production, transport, storage and use” and “to test systems [...] of electrical and non-electrical equipment for their usability in potentially hazardous areas”. This small laboratory which, after World War II, first tested explosion-proof equipment urgently needed for the economic reconstruction has developed into two departments with a total staff of about 80, who investigate and assess on a large scale the creation and ignition of explosive mixtures, test and certify explosion-proof equipment and develop and try protective and safety measures. The findings of their work help the PTB experts in finding the causes of explosion accidents; however, they also form the basis for advice rendered to ministries and supervising authorities as well as to national and international bodies concerned with safety matters. All this takes place in close cooperation with the *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM, Federal Institute for Materials Research and Testing) in Berlin.

The international acceptance of the PTB's assessment results and of the certificates issued by it contributes to providing favourable conditions for the manufacturers of equipment and to efficiently using the findings for the definition of safety regulations.

The colloquy with about 200 guests held at the PTB in Braunschweig on September 29, 1999 gave an overview of the development of this special field at PTB, of scientific aspects of explosion protection, the current tasks and the importance of the PTB for instrument manufacturers and users of process-technological equipment which must be of explosion-proof design.

Durch Erdgas vereint

Die beiden für das Messwesen zuständigen Staatsinstitute in Deutschland und in den Niederlanden, die PTB und das *Nederlands Meetinstituut* (NMI), unterzeichneten im Juni 1999 einen Kooperationsvertrag: PTB und NMI einigten sich darauf, in Zukunft dasselbe darunter zu verstehen, wenn von einem Kubikmeter Erdgas die Rede ist. Für die Gasgesellschaften wie für den Endverbraucher ist dies ein unschlagbarer Vorteil, denn der nun gültige gemeinsame Referenzwert sichert, dass beiderseits der Grenze dasselbe gemessen wird.

Mit diesem Vertrag legen sich damit erstmals zwei nationale Staatsinstitute darauf fest, eine gemeinsame metrologische Einheit – in diesem Fall die Einheit „ein Hochdruck-Kubikmeter Erdgas“ – zu realisieren. Konkret bedeutet der Vertrag, dass sich die niederländische und die deutsche Seite auf einen gewichteten Mittelwert ihrer jeweiligen nationalen „Normale“ der Erdgasmessung verständigen.

Ein deutsch-niederländisches Expertenteam überwacht und kontrolliert Güte und Zuverlässigkeit der Messungen auf beiden Seiten der Grenze und kann, mit einstimmigem Beschluss, auch die in einem Anhang des Vertrages festgehaltenen Gewichtungen abändern.



Das nationale Normal der Bundesrepublik Deutschland für die Durchflussmessung von Erdgas steht im Ruhrgebiet, in Dorsten, auf einem Werksgelände der *Ruhrgas AG*, Essen, und trägt den Namen *pigsar*. Die *Ruhrgas AG* und die PTB haben am 12. Mai 1999 einen Vertrag unterzeichnet, mit dem der Ruhrgas-Hochdruckprüfstand *pigsar* den Status „nationales Normal“ erhält. Dieser Prüfstand hat die höchste Messgenauigkeit in Deutschland, und der dort gemessene Erdgas-Kubikmeter repräsentiert künftig die staatlich definierte Basismessgröße. (Foto: *Ruhrgas AG*)

United through natural gas

In June 1999, the two national institutes responsible for metrology in Germany and in the Netherlands, i. e. the PTB and the *Nederlands Meetinstituut* (NMI), signed a cooperation agreement: PTB and NMI have agreed that they will in future understand the same when talking about a cubic meter of natural gas. This is an enormous advantage for the gas companies and the ultimate consumer, because the reference value now valid in both countries ensures that the same is measured on both sides of the frontier.

This agreement is the first by which two national institutes commit themselves to realize a common unit in metrology – in this case the unit “one high-pressure cubic meter of natural gas”. This means in concrete terms that the Dutch and the German party have agreed on a weighted mean value of their respective national “standards” for natural gas measurement.

A Dutch-German expert team will supervise and check the quality and reliability of the measurements on both sides of the frontier and it can, by unanimous decision, modify the weightings laid down in an annex to the agreement.

The national standard of the Federal Republic of Germany for the measurement of natural gas flowrates, named *pigsar*, has been installed at Dorsten, Ruhr area, on the premises of the *Ruhrgas AG*, Essen. On May 12, 1999, the *Ruhrgas AG* and PTB signed an agreement by which the *pigsar* high-pressure test facility has been given the status of a “national standard”. This facility achieves the highest measurement uncertainty in Germany, and the cubic metre of natural gas measured there will in future represent the officially defined base quantity. (Photograph: *Ruhrgas AG*)

Gewogen und für gleich befunden

Die deutschen Hersteller von Waagen können beruhigter nach Osten blicken. Ein im Oktober 1999 zwischen der PTB und ihrem japanischen Schwesterinstitut unterzeichnetes Abkommen reißt bestehende Exporthürden ein. Japan wird in Zukunft die von der PTB durchgeführten Waagenprüfungen anerkennen und umgekehrt. Das bilaterale Abkommen mit Japan könnte beispielhaft sein für zukünftige, multilaterale Vereinbarungen, die der deutschen Exportindustrie weitere Handelserleichterungen verschaffen würden.

Was jetzt zwischen Japan und Deutschland vereinbart wurde, nämlich die Anerkennung der deutschen Prüfergebnisse bei Waagen, ist in Europa seit Jahren gängige Praxis. Statt einer Vielzahl nationaler Anforderungen an Waagen ist der europäische Binnenmarkt seit 1993 auf diesem Sektor harmonisiert. So gibt es nur noch europäische und keine nationalen Zulassungen mehr, was insbesondere der deutschen Waagenindustrie mit einem europäischen Marktanteil von über 40 % und einem Weltmarktanteil von 25 % große Vorteile im Exportgeschäft verschafft. Während Europa damit einen wichtigen Schritt zur Harmonisierung gegangen ist, bestehen in anderen bedeutsamen Absatzmärkten der Welt, wie z. B. den USA, noch immer Handelsbarrieren aufgrund unterschiedlicher Prüfvorschriften.

Wägetechnik spielt in vielen Bereichen der Wirtschaft, des Handels und des täglichen Lebens eine bedeutende Rolle. Seien es Elektronik-Ladenwaagen in Supermärkten und Geschäften, Personen- und Haushaltswaagen, Post- und Fluggepäckwaagen, Analysen- und Präzisionswaagen in medizinischen und pharmazeutischen Laboratorien, Waagen zur Steuerung von industriellen Prozessen – gewogen wird (fast) überall. Sogar Müllgebühren werden teilweise bereits auf der Grundlage gewogenen Mülls berechnet. Um einen fairen Handel, korrekte Wägungen und richtige Gebührenabrechnungen zu gewährleisten und um den Verbraucher vor Fehlmessungen und Betrug weitgehend zu schützen, unterliegen alle Waagen, die im geschäftlichen Verkehr, bei amtlichen Messungen oder für medizinische Zwecke verwendet werden, der Eichpflicht und benötigen zur Eichung eine Bauartzulassung, z. B. von der PTB.

Weighed and found equal

It is with relief that the German manufacturers of weighing instruments can look east. An agreement signed by the PTB and its Japanese sister institute in October 1999 tears down the existing barriers to trade. Japan will in future recognize tests of weighing instruments carried out by the PTB and vice versa. The bilateral agreement with Japan could serve as an example for future multilateral agreements to further facilitate trade for the German export industry.

What has now been agreed between Japan and Germany, viz. the recognition of the results of weighing instrument tests carried out in Germany, has been common practice in Europe for years. The great number of national requirements for weighing instruments has been abolished by harmonization of this sector within the scope of the European Single Market in 1993. European approvals have been substituted for national approvals, and this is of great advantage for the German weighing instrument industry with its share of more than 40 % of the European market and 25 % of the world market. While Europe has taken an important step towards harmonization, barriers to trade due to differences in the testing regulations still exist on other important markets such as the USA.

Weighing plays an important role in many sectors of economy, trade and everyday life. Irrespective of whether electronic counter scales in supermarkets and stores, person and household scales, postal and luggage scales, analytical and precision balances in medical and pharmaceutical laboratories, weighing instruments for the control of industrial processes are concerned – weighing operations take place (almost) everywhere. Even refuse collection charges are in part calculated on the basis of the refuse weighed. To ensure fair trade, correct weighings and correct invoicing of charges and to largely protect the consumer from false measurements and fraud, all weighing instruments used in commercial transactions, for official measurements or for medical purposes are subject to mandatory verification and – as a prerequisite for verification – to pattern approval, for example by the PTB.

Neues Datennetz in der PTB

Die PTB verfügt jetzt über ein modernes flächendeckendes Datennetz, zu dessen offizieller Inbetriebnahme am 11.2.1999 ein Seminar mit Fachvorträgen aus Industrie und Wissenschaft abgehalten wurde. Stellvertretend seien hier drei der abgehandelten Themen genannt: Trends in Kommunikationsnetzen, Echtzeitfähigkeit im Ethernet, Hochgeschwindigkeitsnetze.

Für eine wissenschaftliche Forschungsanstalt von der Größe und der Bedeutung der PTB ist die Vernetzung aller Arbeitsplätze eine unbedingte Notwendigkeit: Sie ermöglicht weltweite Kontakte mit anderen Wissenschaftlern zum schnellen Austausch von Informationen, Programmen und Daten und ist auch für innerbetriebliche Arbeitsabläufe unverzichtbar geworden. Der Einsatz von Querschnittssoftware, die Verfügbarkeit der jeweils gültigen Version der Standardsoftware, von Virenskannern und einheitlichen Formatvorlagen sowie ein schneller papierloser Informationsaustausch sind typische Anwendungen. Eine Zahlenangabe soll die ständig wachsende Nutzung des PTB-Datennetzes verdeutlichen: Allein in den ersten neun Monaten des Jahres hat sich die Zahl der ein- und ausgehenden E-Mails auf etwa 110 000 pro Monat verdoppelt.

Zurzeit sind im Netz etwa 2000 Anschlusspunkte (Switch-Ports) realisiert, von denen ca. 1700 in Lichtwellenleiter-Technik ausgeführt sind. Die Datenströme im Netz wurden im Hinblick auf sich abzeichnende Engpässe untersucht. Für den momentanen Bandbreitenbedarf wurde das Netz hinsichtlich der Struktur und der eingesetzten Komponenten optimal konfiguriert. Der weitere Ausbau des Netzes bleibt jedoch eine permanente Aufgabe. Bedingt durch andere aufwendige Bau- oder Sanierungsmaßnahmen zieht sich der Abschluss der Gesamt-Maßnahme bis in das Jahr 2000 hinein. Betroffen hiervon sind Kohlrausch-, Abbe- und Prandtl-Bau.

In Zukunft ist mit einem rasanten Zuwachs im Bereich der Kommunikationsmöglichkeiten (Multimedia) zu rechnen. Beim Übergang zur Gigabit-Technik sind darum rechtzeitig Vorkehrungen zu treffen. Dazu gehört u. a. die Umstrukturierung einiger Switchkomponenten in den Jahren 2000 und 2001.

New data network at PTB

The PTB now has a modern data network to which the entire PTB is connected. Its official start-up on February 11, 1999 was celebrated within the scope of a seminar at which papers from special fields of science and industry were read. From among the topics dealt with, the following three should be mentioned: trends in communication networks; real-time capability in the Ethernet; high-speed networks.

Networking of all workplaces is a must for a scientific research institute of the size and importance of the PTB: it makes world-wide contacts with other scientists possible for a rapid exchange of information, programs and data, and it has become indispensable also for internal work flow. The use of cross-sectoral software, the availability of the latest version of the standard software, of virus scanners and uniform formats as well as rapid exchange of information without hardcopies are typical applications. A figure will illustrate the constantly increasing use of the PTB data network: in the first nine months of the year alone, the number of e-mails which arrived or were sent out doubled to about 110 000 per month.

About 2000 switch points have so far been realized in the network, about 1700 of which have been designed in optical waveguide technique. The data streams inside the network were checked for imminent bottlenecks. Considering the bandwidth needed for the time being, the configuration of the network is optimum as regards the structure and the components used. However, a further extension of the network will remain a permanent task. Due to other extensive building and reconstruction measures, the project will be brought to a conclusion only in the course of the year 2000, especially in the Kohlrausch, Abbe and Prandtl buildings.

An enormous increase in the communication facilities (multimedia) is to be expected in the future. Arrangements must, therefore, be made in due time for transition to gigabit technology. This will involve, among other things, the restructuring of some switch components in the course of the years 2000 and 2001.

Die Zeitdienste der PTB

Die mit den hochgenauen Atomuhren der PTB realisierten Atomzeitskalen und die daraus abgeleitete gesetzliche Zeit werden nun auch über das internationale Datennetz weitergegeben: Seit April 1999 steht die koordinierte Weltzeit UTC(PTB) zusätzlich über das Internet zur Synchronisation von Rechneruhren zur Verfügung. Der neue Zeitdienst wurde gemeinsam von den Laboratorien Zeiteinheit, Zeit- und Frequenzübertragung und dem Serverdienst des PTB-Rechenzentrums eingerichtet. Von zwei öffentlich erreichbaren Servern kann die genaue Zeit unter den Adressen

ptbtime1.ptb.de oder **ptbtime2.ptb.de** im Internet abgefragt werden. Die Übertragung von UTC(PTB) vom Atomuhrenhaus zum Rechenzentrum erfolgt über Lichtwellenleiter. Laufzeiten wurden ausgeglichen. Die über einen Tag ermittelte Standardabweichung der Server-Zeit von UTC(PTB) liegt typischerweise unter 20 µs. Bereits ein halbes Jahr nach Bereitstellung des PTB-Zeitdienstes erfolgten täglich etwa 300 000 Zugriffe mit zunehmender Tendenz.

Das wichtigste Medium für die Versorgung der Bundesrepublik mit der gesetzlichen Zeit bleibt aber weiterhin der Zeitsignalsender DCF77 auf Langwelle 77,5 kHz. Zahlreiche Anfragen an die PTB betrafen die Jahr-2000-Problematik: Es wurden Erklärungen verlangt, dass Funkuhren das Datum beim Jahrtausendwechsel richtig anzeigen und auch den Schalttag am 29. Februar 2000 korrekt ausgeben. Da der DCF77-Zeitcode aber nur eine zweistellige Übertragung der Jahresnummer vorsieht, konnte die PTB DCF77-Nutzern auch nur die korrekte Aussendung der kodierten Zeitinformaton entsprechend dem von der PTB veröffentlichten Kodierschema zusichern, d. h. dass beim Jahrtausendwechsel auf die Jahresnummer 99 die Nummer 00 folgt und daß der 29. Februar kodiert übertragen wird. Hinsichtlich der einwandfreien Funktion von Funkuhren beim Jahrtausendwechsel und am 29. Februar 2000 musste die PTB auf die Funkuhrhersteller verweisen.

(Weitere Informationen zu den Zeitdiensten der PTB finden Sie auf der CD-ROM unter „Nachrichten aus den Abteilungen/Optik“.)

The PTB's time services

The atomic time scales realized with the PTB's highly precise atomic clocks, and the legal time derived from them are now also distributed via the international data network: since April 1999, the universal time coordinated UTC(PTB) has been made available also on the Internet for the synchronization of computer clocks. The new time service has been jointly established by the sections Unit of Time, Time and Frequency Transmission and the server section of the PTB's computer centre. From two servers accessible to everybody, the exact time can be polled on the Internet at **ptbtime1.ptb.de** or **ptbtime2.ptb.de**. Transmission of UTC(PTB) from the atomic clock house to the computer centre takes place via optical waveguides, corrections for the propagation delay times being applied. The standard deviation of the server time from UTC(PTB) over one day is typically less than 20 µs. Six months after the PTB's time service had been established, the accesses made already figured up to about 300 000 per day, with a tendency to rise further.

The long-wave time signal transmitter DCF77 at 77,5 kHz will, however, continue to be the most important medium for the distribution of legal time in the Federal Republic. A large number of inquiries addressed to PTB concerned the year 2000 problems: the PTB was requested to declare that radio clocks would indicate the date correctly at the change of the millennium and that they would also put out correctly the leap day on February 29, 2000. However, since the DCF77 time code provides a transmission of the number of the year with two digits only, the PTB could only assure the DCF77 users that the coded time information would be correctly sent out in compliance with the coding scheme published by PTB, i. e. the year number 99 will be followed by the number 00 and the 29th of February will be transmitted in coded form. As regards the faultless functioning of radio clocks at the change of the millennium and on February 29, 2000, the PTB had to refer to the radio clock manufacturers.

(Additional information about the PTB time services can be found on the CD-ROM under "Nachrichten aus den Abteilungen/Optik".)

Competenz-Centrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung

Im Frühjahr 1999 nahm die Geschäftsstelle des „Competenz-Centrum Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung e. V.“ (CC UPOB) mit Sitz in der PTB ihre Arbeit auf. Es ist eines von bundesweit sechs Kompetenzzentren der Nanotechnologie, die mit Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (bmb+f) eingerichtet wurden. Zurzeit sind im CC UPOB 48 Partner aus Forschung und Industrie vertreten.

Die Kompetenzbereiche des CC UPOB liegen vorwiegend in den Bereichen mechanisch/chemischer Bearbeitungsverfahren, Ionenstrahl- und Plasmabearbeitungsverfahren, optischer Bearbeitungsverfahren sowie der Charakterisierung von Oberflächen. Das CC UPOB organisiert die Zusammenarbeit von Großkonzernen, kleinen und mittleren Unternehmen (KMU), Hochschulinstituten und außeruniversitären Forschungszentren. Neben dem Ausbau bilateraler Verbindungen hat das CC UPOB mit seinen Internetseiten (<http://www.upob.de/>) in den vergangenen Monaten eine Informationsplattform geschaffen.

Im Rahmen des CC UPOB sind 1999 erste Projekte angelaufen. Im Rahmen dieser Projekte arbeiten meist Industriepartner mit Gruppen aus Forschungseinrichtungen zusammen. Um die breite industrielle Verwendung der Nanotechnologie zu unterstützen, arbeitet das CC UPOB bei der VDI/VDE-Gesellschaft GMA im Fachausschuss „Metrologie in der Mikro- und Nanotechnik“ an Fragen der Normung in der Nanowelt mit.

Da sich die Nanotechnologie in rasantem Tempo weiterentwickelt, versucht das CC UPOB, Trends und Strömungen zu erfassen und eventuell steuernd einzugreifen. Zu diesem Zweck veranstaltete das CC UPOB einen ersten fachlichen Workshop über die ultrapräzise Oberflächenbearbeitung am 22./23. November in Braunschweig, der einen Rahmen für aktuelle Präsentationen bildete und gleichzeitig Raum für das gegenseitige Kennenlernen der Akteure ließ. Auch internationale Kontakte wurden aufgenommen bzw. gepflegt, so wurde das CC UPOB z. B. Mitglied der *European Society for Precision Engineering and Nanotechnology* (euspen).

Competence Centre "Ultraprecise Surface Figuring"

In spring 1999, the executive office of the "Competence Centre Ultraprecise Surface Figuring e. V." (CC UPOB) domiciled at PTB took up work. It is one of six competence centres in the field of nanotechnology established in the Federal Republic with the assistance of the Federal Ministry of Education and Research. 48 partners from research and industry are at present represented in CC UPOB.

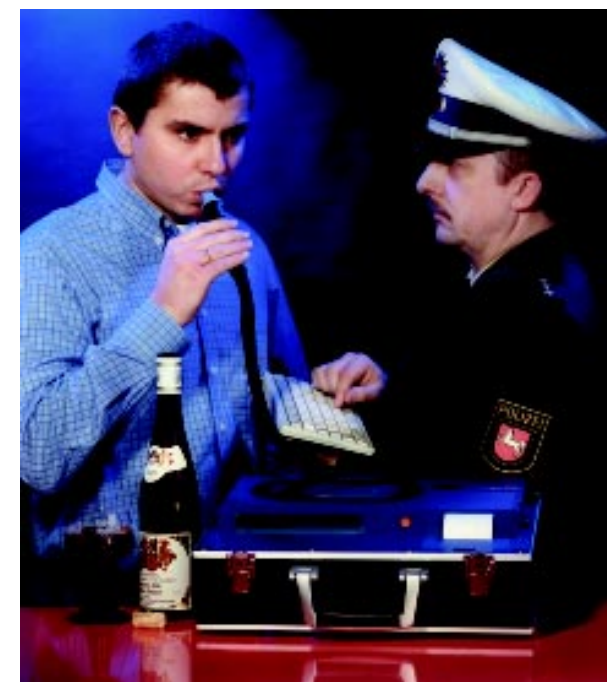
CC UPOB's main areas of competence are surface figuring by mechanical/chemical processing, ion beam and plasma processing, optical processing and related technologies, as well as the metrological characterization of surfaces. CC UPOB organizes cooperation with large groups of companies, small- and medium-sized enterprises, university institutes and research centres outside universities. In addition to extending its bilateral relations, CC UPOB created in the past months an information platform on its Internet pages (<http://www.upob.de/>).

First projects were launched in 1999 within the scope of CC UPOB. Within the framework of these projects, partners from industry usually cooperate with groups from research institutes. To support the large-scale application of nanotechnology by industry, CC UPOB cooperates in the "Metrology in micro- and nanotechnology" technical committee of the VDI/VDE Gesellschaft GMA dealing with standardization problems in the nanoworld.

As the development of nanotechnology is progressing at high speed, CC UPOB tries to identify trends and tendencies and to intervene, if necessary, in order to offer advice and orientation. For this purpose, CC UPOB organized a first technical workshop on ultraprecise surface figuring in Braunschweig on November 22 and 23. Within the framework of this workshop, the most recent developments were presented, but the workshop also left room for all those present to get to know each other. International contacts were established and intensified: for example, CC UPOB has become a member of the *European Society for Precision Engineering and Nanotechnology* (euspen).

Kompetenzforum Atemalkoholmessung

Seit der Änderung des Straßenverkehrsgesetzes im April 1998 kann die Fahrtüchtigkeit von Verkehrsteilnehmern nicht nur über eine Blutalkoholanalyse, sondern auch über eine Atemalkoholanalyse festgestellt werden. Die besondere Problematik der Atemalkoholanalyse im Verkehrswesen ergibt sich aus der Notwendigkeit, messtechnische, physiologische und juristische Aspekte zu berücksichtigen. Im Gutachten des Bundesgesundheitsamts, das Grundlage der Gesetzesänderung ist, wurden die Anforderungen an beweissichere Atemalkoholmessgeräte formuliert, die als Grundlage für die Untersuchung der Bauart solcher Geräte durch die PTB dienen. Aus der Praxis heraus ergeben sich jedoch immer wieder neue Fragestellungen, die aus dem Blickwinkel eines der genannten Bereiche – Justiz, Rechtsmedizin, Messtechnik – allein nicht erschöpfend geklärt werden können. Da das Bundesgesundheitsamt seine Aktivitäten auf dem Gebiet der Atemalkoholanalyse eingestellt hat, gab es kein geeignetes Gremium, das diesen Problemen begegnete. Deshalb wurde ein Kompetenzforum zum Thema Atemalkohol ins Leben gerufen, in dem Rechtsmediziner, Juristen und Messtechniker vertreten sind. Informationen sollen ausgetauscht und offene Fragen diskutiert werden, um Gutachter, Richter und die Polizei in ihrer Tätigkeit zu unterstützen, aber auch, um Akzeptanz der Atemalkoholmessung in der Bevölkerung zu erreichen.



Competence forum: measurement of the breath alcohol concentration

As a result of the amendment of the Road Traffic Act in April 1998, the driving ability of automobile drivers can be determined not only by determination of the blood alcohol but also by an analysis of the breath alcohol concentration. The special problems involved in the breath alcohol analysis are caused by the fact that metrological, physiological and legal aspects must be taken into consideration. The expert report of the Federal Board of Health, on which the amendment is based, specifies the requirements to be met by evidential breath analysers, which in turn serve as a basis for the examination and testing of this instrument type by PTB. However, time and again new questions arise in practical use which cannot be fully clarified from the viewpoint of the individual fields concerned – law, forensic medicine and metrology. As the Federal Board of Health has discontinued work in the field of breath alcohol analysis, there was no body capable of settling these problems. A competence forum for the subject of breath alcohol analysis has, therefore, been founded, in which medicolegal experts, lawyers and metrologists are represented. Information will be exchanged and open questions discussed to assist experts, judges and the police in their work and to improve confidence and acceptance on the part of the public.

In der PTB wurde die erste Bauartzulassung von beweissicheren Messgeräten zur Bestimmung des Atemalkoholgehaltes durchgeführt.

The first pattern approval of evidential breath analysers for the determination of the breath alcohol concentration was granted by PTB.

ISO/IEC 17 025 – Qualitätsmanagement in der PTB auf neuer Grundlage

Das Qualitätsmanagement(QM)-System der PTB erhält eine neue Basis in Gestalt der DIN EN ISO/IEC 17 025. In diese internationale Norm sind sowohl die Erfahrungen beim Betreiben von Laboratorien als auch die bei der Zertifizierung von QM-Systemen eingeflossen. Nur Laboratorien, die die Forderungen der ISO/IEC 17 025 erfüllen, werden zukünftig als kompetent angesehen, fachlich fundierte Ergebnisse zu erzielen. Dies gilt auch für nationale Metrologieinstitute.

Die Inhalte der ISO/IEC 17025 gliedern sich im Wesentlichen in „Anforderungen an das Management“ und „Technische Anforderungen“. Den Forderungen an das Management wird jetzt auch für den Betrieb von Laboratorien eine deutlich verstärkte Bedeutung zugemessen. Die technischen Anforderungen sind wenig verändert.

Eine Analyse des bestehenden QM-Systems wurde durchgeführt, die zu erwartenden Aufwendungen abgeschätzt und eine Durchführungskonzeption erarbeitet. Auf Grund dieser Vorarbeiten und der Vereinbarungen zwischen den nationalen Metrologieinstituten hat die PTB beschlossen, die Forderungen der ISO/IEC 17 025 nicht nur für die unmittelbaren Prüf- und Kalibrierarbeiten, sondern, soweit sinnvoll, auch für die anderen Tätigkeitsbereiche der PTB anzuwenden. Das QM-System schafft die Voraussetzungen dafür, dass die PTB ihre Rolle als weltweit anerkanntes Metrologieinstitut aufrechterhalten und ausbauen kann.

Zur Einführung der ISO/IEC 17 025 wurden in allen zehn Abteilungen der PTB QM-Projekte geschaffen. Die Projektleiter wurden durch interne Schulungen auf ihre Aufgaben vorbereitet. Hierbei spielte neben der Vermittlung fachspezifischer QM-Kenntnisse auch der unmittelbare Erfahrungsaustausch eine entscheidende Rolle. Die Tätigkeiten der Abteilungsprojekte werden von einer Koordinierungsstelle betreut. Ein Lenkungsgremium entscheidet bei grundsätzlichen Fragen und legt die strategischen Ziele fest. Spätestens Ende des Jahres 2000 soll das QM-System der PTB im Sinne der ISO/IEC 17 025 etabliert sein.

ISO/IEC 17 025 – a new basis for quality management at PTB

The PTB's quality system will be placed on a new basis in terms of DIN EN ISO IEC 17 025. The experience gained in both, the operation of laboratories and the certification of quality systems has entered into this international standard. Only laboratories meeting the requirements of ISO/IEC 17 025 will in future be regarded as competent to produce results well founded from the technical viewpoint. This will apply also to national metrology institutes.

The contents of ISO/IEC 17 025 is essentially divided into "requirements to be met by the management" and "technical requirements". Much more importance is now attributed to the requirements to be met by the management with regard to the operation of laboratories. The technical requirements have been changed only slightly.

An analysis of the existing system was made, the presumable costs were estimated and an implementation concept was formulated. As a result of this preliminary work and in view of the agreements concluded between the national metrology institutes, the PTB has decided to apply the requirements of ISO/IEC 17 025 not only to testing and calibration work but also to other fields of work of PTB as far as this is practical. The quality system is a basis which will allow the PTB to maintain and further stabilize its position as a metrology institute recognized on the international level.

To introduce ISO/IEC 17 025, quality management projects have been initiated in the ten PTB divisions. The project leaders were prepared for their tasks through internal training courses in which specific knowledge of quality management was imparted and much emphasis placed on the direct exchange of information and know-how. Work within the scope of these projects is backed up by a coordinating body. A steering committee decides on fundamental matters and defines the strategic objectives. The PTB's quality management system in compliance with ISO/IEC 17 025 is to be established before the end of the year 2000.

Kraftakt in der PTB

Um dem wachsenden Bedarf an präzisen Kraft- bzw. Drehmomentmessungen gerecht zu werden, wird derzeit in der PTB ein Spezialgebäude geschaffen. Zentrale Anlage dieses Gebäudes wird eine 2-MN-Kraft-Normalmesseinrichtung (2-MN-K-NME) des früheren metrologischen Staatsamtes der ehemaligen DDR, die von Berlin nach Braunschweig umgesetzt und gleichzeitig modernisiert werden wird, sein. Für dieses 9 m hohe Großgerät des Präzisionsmaschinenbaus wird eine 14 m hohe voll klimatisierte Halle errichtet. An der auf Spezialfundamenten in einem großen Halbkreis fahrenden Maschine werden in zwei Tiefgeschossen tonnenschwere Stahlplatten hängen, so dass die Gesamthöhe der Versuchsanlage 15 m beträgt. Ebenfalls in diese Messhalle umgesetzt wird eine 5-MN-K-NME mit hydraulischer Übersetzung. Weitere Fundamente für den Ausbau der Kraft- und Drehmomentskalen der PTB für große Messbereiche sind vorgesehen.

Mit diesem neuen Gebäude, das komplett vom Staatshochbauamt Braunschweig II geplant und überwacht wird, bestehen für die PTB beste Voraussetzungen, auch in den kommenden Jahrzehnten eine Spitzenstellung unter den metrologischen Staatsinstituten der Welt für diese Messgrößen zu bewahren bzw. auszubauen. Die Baukosten sind mit 9,8 Mio. DM veranschlagt, die Übergabe soll im Frühjahr 2001 erfolgen.

A show of strength at PTB

To meet the increasing demand for precise force and torque measurements, a special building is at present constructed on the PTB premises. The central facility in this building will be a 2 MN force standard machine formerly installed in the State Office for Metrology of the then GDR, which will be moved from Berlin to Braunschweig and adapted to present-day needs. An air-conditioned hall 14 m in height will be built for this highly precise large-scale facility. The machine 9 m in height is supported by special foundations and moves in a great semicircle. Steel plates with a mass of several tonnes and accommodated in two basements will be suspended from it so that the overall height of the facility will be 15 m. A 5 MN force standard machine with hydraulic multiplication will also be moved to this hall. Additional foundations will be provided which will allow the PTB's force and torque scales to be extended to large measurement ranges.

This building, whose construction is planned and supervised by the Braunschweig building construction authority, will enable the PTB to maintain, or even improve, its top position among the national metrology institutes in the decades to come. The building costs of the hall have been estimated at 9,8 million DM; the official inauguration is to be held in spring 2001.



Das Richtfest für die neue Kraftmesshalle der PTB wurde am 23.9.1999 gefeiert.

The topping-out ceremony for the PTB's new force measurement hall was held on September 23, 1999.

„PTB intern“: Informationen von allen für alle

Seit Mitte 1999 hat die PTB ein neues, zusätzliches Medium der internen Kommunikation: die Hauszeitung „PTB intern“, die sich an alle Mitarbeiter und Freunde (als Leser und Schreibende) der PTB richtet. Diese Hauszeitung, die im letzten Jahr mit zwei Ausgaben erschien, versteht sich als ein Sprachrohr aller PTB-Mitarbeiterinnen und -Mitarbeiter und ist also nicht als Informationsblatt des Präsidiums angelegt. Nachrichten aus der Forschung und Internes aus den Abteilungen können hier ebenso zu Wort kommen wie Aufrufe der Betriebssportgruppen oder Leserbriefe jeder Art. „PTB intern“ will diesen und allen anderen nach Gehör suchenden Stimmen ein Forum bieten.

Die ersten beiden Ausgaben wurden in der PTB durchaus wahrgenommen (dies ist die erste Hürde, die es für einen Neuling zu überwinden gilt). So gab es positive, aber auch negative Kritik: Auf der Habenseite steht die Zeitung an sich, ihre bewusst lockere Aufmachung und ihre versuchte Themenvielfalt. Auf der Sollseite eine Anzahl redaktioneller Patzer und spezielle Kritik an mancher Artikelauswahl. Solche Aktionen und Reaktionen sind jedoch das Pfund, mit dem die Redaktion wuchern wird, damit die Zeitung das wird, was sie sein soll: ein Selbstläufer.



Prof. Göbel und Mitarbeiter der Öffentlichkeitsarbeit bei der Verteilaktion der ersten Ausgabe der *PTB intern*.

Prof. Göbel and members of the Public Relations section distribute the first issue of *PTB intern*.

„PTB intern“: information from all for all

Since mid-1999, an additional new medium is available at PTB for internal communication: „PTB intern“, a house journal which addresses to all staff members and friends of PTB (as readers and writers). This journal, two issues of which were published in 1999, sees itself as a mouthpiece of the entire PTB staff and is not intended to be an information paper of the Presidential Board. News from the field of research and internal topics from the divisions can be published here as can announcements of the PTB sports groups or letters from the readers. „PTB intern“ wants to be a forum for all these, and for all those who want to make themselves heard.

PTB has in fact taken notice of the first two issues (this is the first hurdle a newcomer must take). There was both, positive and negative criticism: on the credit side there are the journal as such, its deliberately unconventional make-up and style, and the attempted great variety of topics. On the debit side there are a number of editorial slips and special criticism of the choice of articles made. However, such actions and reactions are the talents which the editors will turn to good account so that the journal becomes what it is intended to be: a journal appealing to the readers and inspiring writers.



Verleihung der Helmholtz-Preise 1999

Die Helmholtz-Preise 1999 für Metrologie sind für Präzisionsmessungen mit Atominterferometern sowie für ein neuartiges Verfahren, das die Wirkung ionisierender Teilchen in Materie sichtbar macht, verliehen worden. Die Preise gehen an zwei Arbeitsgruppen der PTB.

Am Wettbewerb beteiligten sich insgesamt 24 Autoren aus dem In- und Ausland. Der Helmholtz-Preis 1999 wurde für den Bereich „Präzisionsmessung physikalischer Größen“ verliehen an Dr. habil. Fritz Riehle, Dr. Harald Schnatz, Dipl.-Phys. Tilmann Trebst und Dr. Jürgen Helmcke in Anerkennung ihrer Arbeit „Atominterferometer im Zeitbereich für Präzisionsmessungen“ und für den Bereich „Messtechnik in Medizin und Umweltschutz“ an Dipl.-Phys. Uwe Titt, Dr. Volker Dangendorf und Dr. Helmut Schuhmacher in Anerkennung ihrer Arbeit „Messung und Visualisierung der mikroskopischen Ionisationsverteilung von schnellen geladenen Teilchen in Materie“. Die Preise wurden vom Schatzmeister des *Helmholtz-Fonds*, Herrn Ruprecht von Siemens, überreicht.

Das Preisgeld für die in den Bereichen I und II verliehenen Helmholtz-Preise 1999 betrug jeweils 12 000 DM, das für den letzteren wiederum vom *Stifterverband für die deutsche Wissenschaft* zur Verfügung gestellt wurde.

Helmholtz Prizes awarded

The 1999 Helmholtz prizes for metrology have been awarded to two research groups of PTB for precision measurements with atom interferometers and for a novel technique to unveil the effects of ionizing particles in matter.

A total of 24 authors from Germany and abroad participated in the contest. For the field „Highly precise measurement of physical quantities“ the prize has been awarded to Dr. habil Fritz Riehle, Dr. Harald Schnatz, Mr. Tilmann Trebst, MSc., and Dr. Jürgen Helmcke in recognition of their paper „Atom interferometer in the time range for precision measurements“. For the field „Metrology in medicine and environmental protection“ it has been awarded to Mr. Uwe Titt, MSc., Dr. Volker Dangendorf and Dr. Helmut Schuhmacher in recognition of their paper „Measurement and visualization of the microscopic ionization distribution of fast charged particles in matter“. The Prizes were presented by Mr. Ruprecht von Siemens, the treasurer of the *Helmholtz-Fonds*.

The 1999 Helmholtz Prizes for the two fields were endowed with an amount of 12 000 DM each; for the second field, the sum was again made available by the *Stifterverband für die deutsche Wissenschaft*.



Die Preisträger (von links) mit Prof. Göbel (Mitte) und Schatzmeister Ruprecht von Siemens (rechts): Jürgen Helmcke, Tilmann Trebst, Harald Schnatz, Fritz Riehle, Volker Dangendorf, Helmut Schumacher, Uwe Titt

The winners of the Helmholtz Prizes together with Ernst O. Göbel, the PTB's president (centre) and Ruprecht von Siemens, the treasurer of the *Helmholtz-Fonds* (on the right); Jürgen Helmcke, Tilmann Trebst, Harald Schnatz, Fritz Riehle, Volker Dangendorf, Helmut Schuhmacher, and Uwe Titt (from the left)

Promotionen 1999

Staff members who attained their doctorates in 1999

Georg Bastian	Herstellung und Charakterisierung von »Supraleiter-Halbleiter-Supraleiter«-Josephson-Elementen
Thomas Bruns	Dynamische, dreidimensionale Modellierung aktiver muskulärer Weichgewebsstrukturen mit der Finite-Elemente-Methode
Heike Henneken	Totale Elektronenausbeute von Gold und Kupfer im Bereich weicher Röntgenstrahlung
Héctor Manuel Laiz	Low Frequency Behavior of Thin-Film Multi-junction Thermal Converter
Frank Lienesch	Untersuchungen zum Durchschlag brennbarer Gase als Beitrag zum Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel
Frank Märtens	Dynamische Messung hoher Druckimpulse in der Innenballistik unter Verwendung von Dehnungsmessstreifen
Bodo Mickan	Systematische Analyse von Installationseffekten sowie der Effizienz von Strömungsgleichrichtern in der Großgasmengenmessung
Sonja Neumann	Aktivierungsexperimente mit Neutronen mittlerer Energien und die Produktion kosmogener Nuklide in extraterrestrischer Materie
Dirk Röske	Zum Einfluss mechanischer Störkomponenten auf die Messung von Drehmomenten mit DMS-Aufnehmern
Holger Schulze	Josephson-Kontakte mit intrinsischem Shunt für Josephson-Spannungsnormale
Heinrich Schwenke	Abschätzung von Messunsicherheiten durch Simulation an Beispielen aus der Fertigungsmesstechnik
Peter Sperfeld	Entwicklung einer empfangergestützten spektralen Bestrahlungsstärkeskala
Tilman Trebst	Atominterferometrie im Zeitbereich
Uwe Titt	Entwicklung einer optisch ausgelesenen Teilchensporkammer für dosimetrische und mikro-dosimetrische Anwendungen
Jens Klenke	Dreidimensionale Neutronendepolarisationsmessungen und Neutronenkleinwinkelstreuung zur Bestimmung der Korrelationslängen und Irreversibilitäten in der ferromagnetischen und Re-entrant-Spinalgas-Phase von FeNiMn-Legierungen

Zahlen und Fakten

Personal: Entwicklung • Staff: development

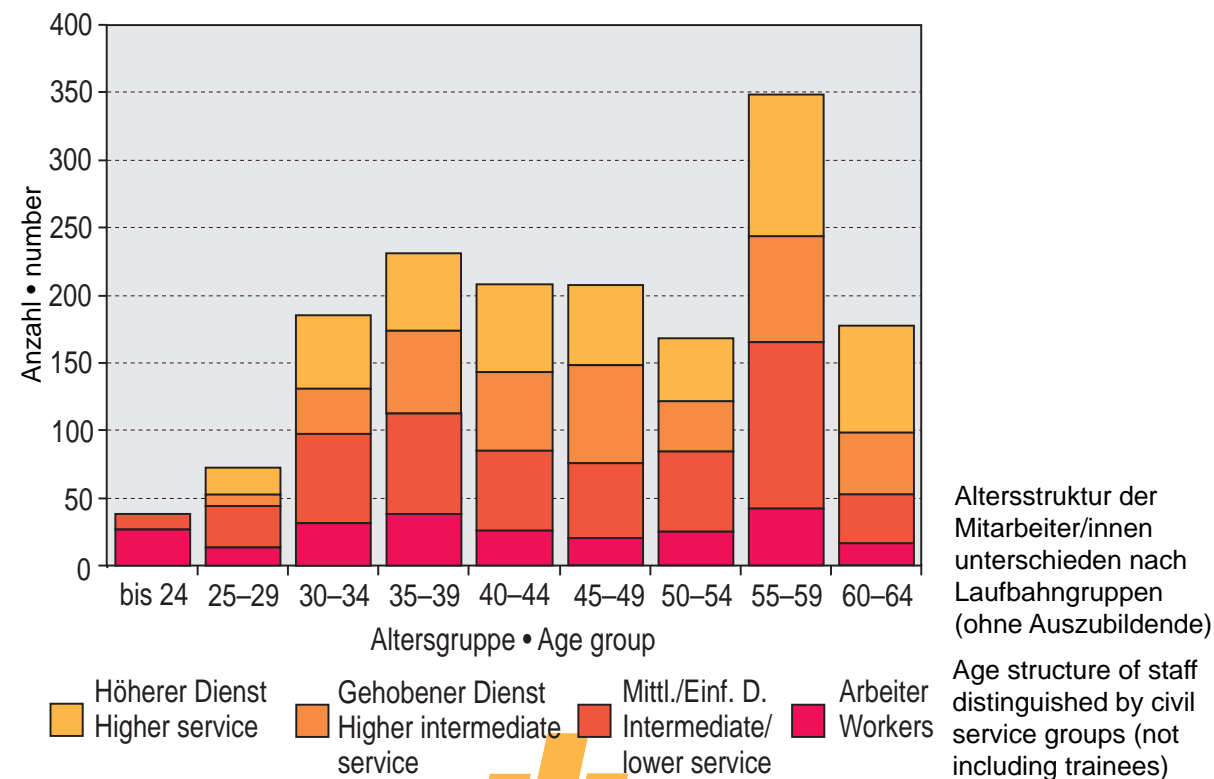
Personelle Entwicklung von 1990 bis 1999 (Stand: 31.12.1999) • Development of staff

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

Beschäftigungsverhältnis	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
a)										
Beamte • civil servants	463	481	491	496	502	500	483	483	486	490
Angestellte • employees	696	948	937	903	877	868	869	850	827	821
Arbeiter • workers	180	253	260	264	259	246	242	234	227	223
Kasino-personal • canteen staff	8	8	8	8	8	8	8	8	8	6
gesamt • total	1347	*1690	1696	1671	1646	1622	1602	1575	1548	1540
b)										
Auszubildende • trainees	122	128	133	119	124	123	133	142	150	151
Aushilfskräfte temporary staff	18	79	37	38	44	22	16	19	35	32
Drittmittelpersonal staff members financed by third parties	110	98	100	79	92	93	104	85	110	70
Mitarbeiter gesamt staff member total	1597	1995	1966	1907	1906	1860	1855	1821	1843	1793

* Mitarbeiterzuwachs aufgrund erweiterter Aufgabenstellungen infolge der deutschen Vereinigung
increase in staff as a result of an extension of tasks after German unification

Personal: Altersstruktur • Staff: age structure



Ausbildung • Training (31.12.99)

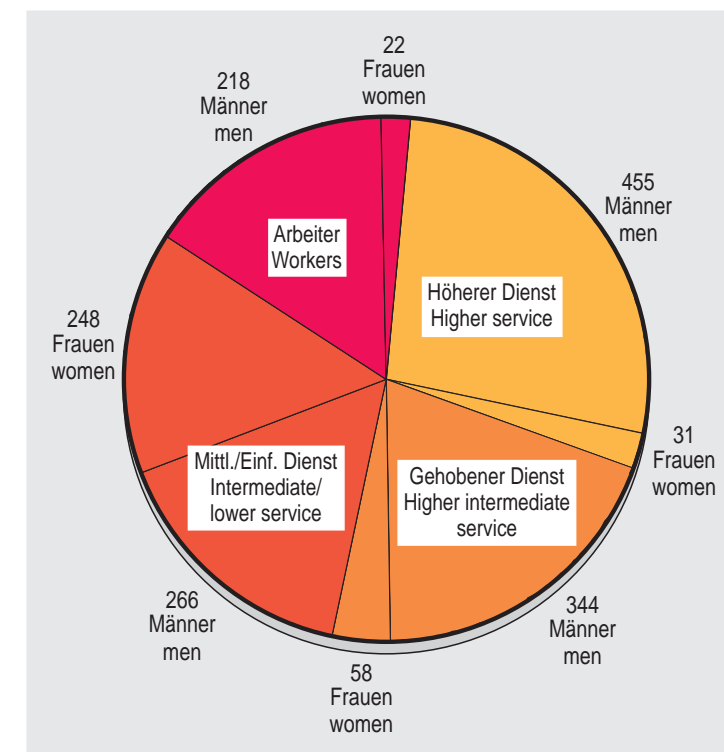
	BS	Berlin	
Kommunikationselektroniker	33 (5)	18 (3)	communication electronics technologists
Informations- und Telekommunikationssystemelektroniker	8 (5)	-	electronics technologists, information and telecommunication systems
Physiklaboranten	20 (5)	-	laboratory technicians, physics
Elektroinstallateure	15 (6)	-	electrical fitters
Feinmechaniker	9 (2)	7 (3)	precision mechanics
Maschinenbaumechaniker	17 (4)	-	machine construction mechanics
Fotografen	5 (2)	-	photographers
Technische Zeichner	4 (1)	-	draftsmen
Köche	4 (2)	-	cooks
Tischler	-	1 (-)	joiners
Fachangestellte für Bürokommunikation	-	10 (4)	specialists in office communications
gesamt	115 (32)	36 (10)	total

Die PTB gehört zu den größten Ausbildungsbetrieben in der Region. Gegenwärtig sind 151 Auszubildende bei der PTB angestellt (Stand: 31.12.1999). 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. 151 trainees are at present employed by PTB (as of December 31, 1999). 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)
Number of staff members distinguished by civil service career and sex (not including trainees)



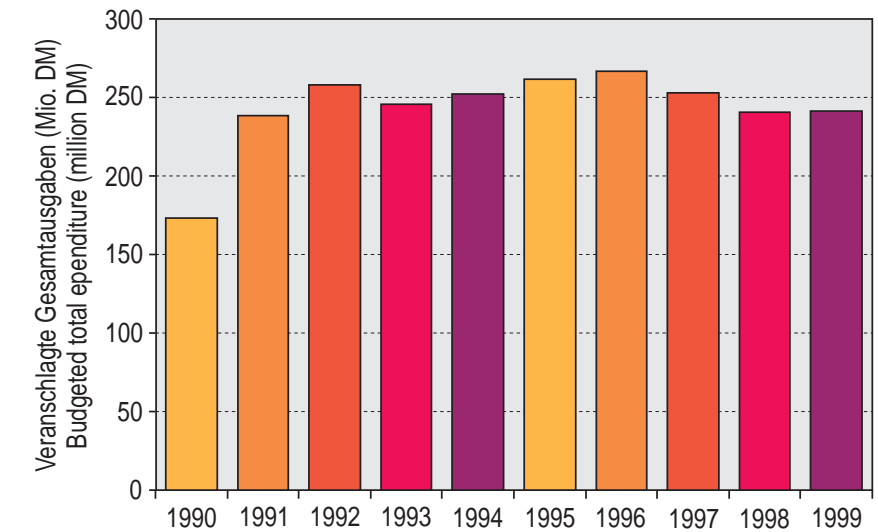
Haushalt: Gebühren • Budget: charges

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

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

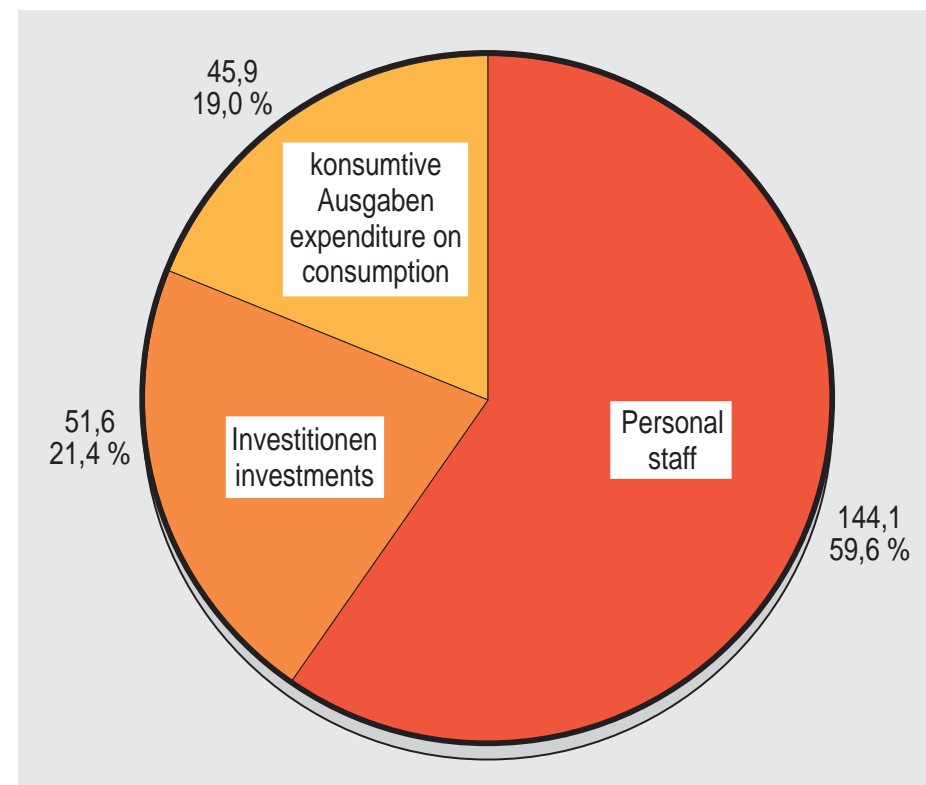
Gebühren	1997	1998	1999	charges
Amtshandlungen und sonstige Gebühren	11 527	11 217	11 598	official acts and repayment work; other fees
Prüfung und Zulassung von Spielgeräten von Prüfstellen (Elektrizität)	3906	2831	2626	tests and approvals of gaming machines of test centres (electricity)
Leistungen im Rahmen des DKD	749	757	665	services rendered within the framework of DKD
gesamt	1947	1877	2118	
gesamt	18 129	16 682	17 007	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

Haushalt: Ausgabenverteilung • Budget: break-down of expenditure



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

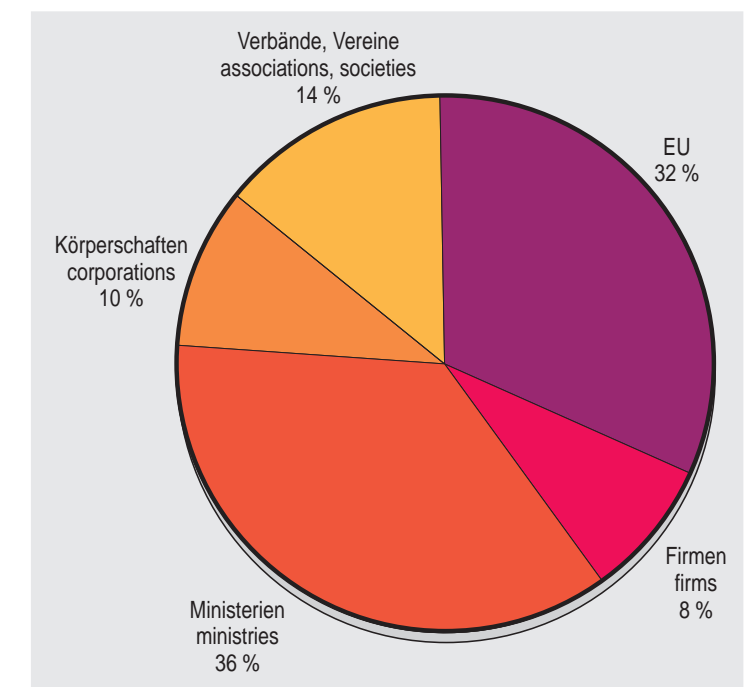
The chart shows the break-down of the budgeted expenditure (in million DM) in the year under review. For comparison, the table indicates the figures of the past years.

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

Haushaltsmittel	1997	1998	1999	budgetary means
Personalausgaben	143,8	142,6	144,1	staff costs
Investitionen (Bau und Geräte)	60,8	53,5	51,6	investments (building activities and instruments)
konsumtive Ausgaben	48,1	44,2	45,9	expenditure on consumption
gesamt	252,7	240,3	241,6	total

Drittmittel: Forschungsprojekte • Third party funds: research projects

Die Drittmittel der Forschungsvorhaben summieren sich 1999 auf 6,29 Mio. DM. Die Grafik gibt die prozentualen Anteile der unterschiedlichen Quellen an. Insgesamt flossen im Berichtsjahr 13,116 Mio. DM für 200 Drittmittelprojekte (Forschungsvorhaben und Projekte der Technischen Zusammenarbeit) in die PTB (davon 1,971 Mio. DM für 35 Projekte in Berlin). Hinzu kommen 20 Sachbeihilfen der Deutschen Forschungsgemeinschaft mit einem Gesamtvolumen von 1,036 Mio. DM, davon zwei Sachbeihilfen mit 12 000 DM in Berlin. (Eine Auflistung der neuen und abgeschlossenen Forschungsvorhaben finden Sie auf der CD-ROM unter „Kontakte und Kooperationen“.)



In 1999, the third-party funds for research projects added up to a total of 6,29 million DM. The chart shows the contributions (in percent) from the different sources. In the year under review, a total of 13,116 million DM flew into PTB for 200 third-party projects (research projects and technical cooperation projects), 1,971 million DM of these for 35 projects in Berlin. Added to this are 20 contributions in kind from the Deutsche Forschungsgemeinschaft with an overall volume of 1,036 million DM, two of these contributions with a volume of 12 000 DM for Berlin. (A list of new and concluded research projects can be found on the CD-ROM under "Kontakte und Kooperationen".)

Umwelt: Verbrauchszahlen • Environment: consumption figures

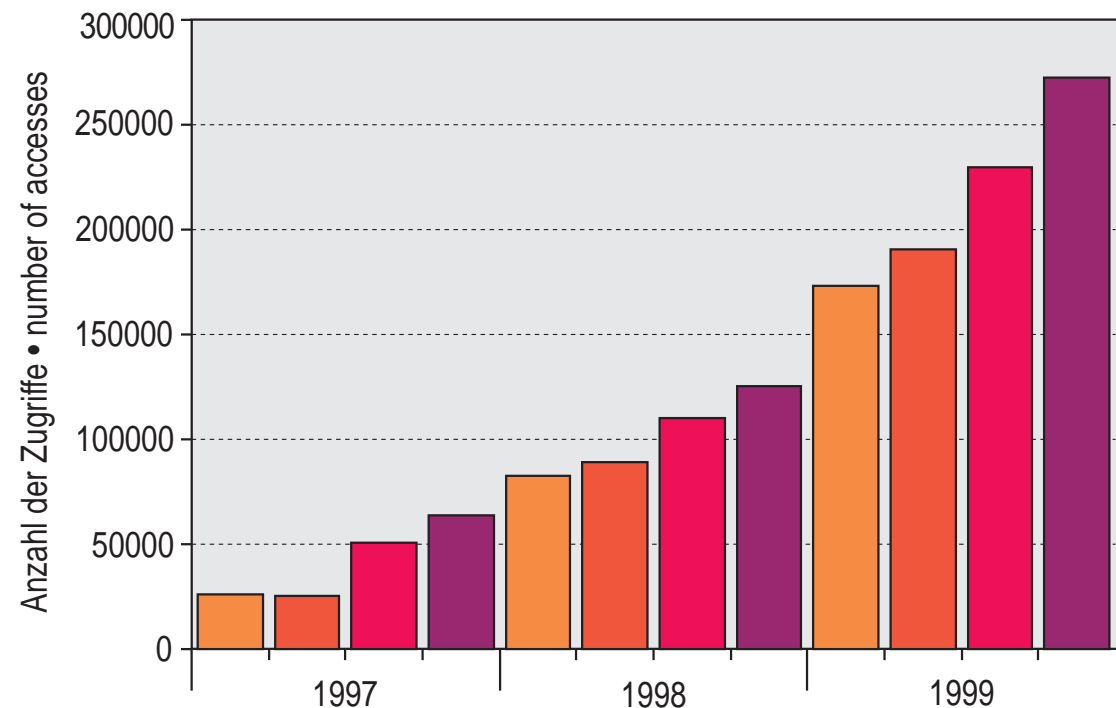
Die Bundesanstalt verbrauchte bzw. es fielen an ... • The Bundesanstalt consumed ...

... in Braunschweig		1997	1998	1999	
elektrische Energie	MWh	22 567	21 871	22 533	electrical energy
Wärme	MWh	22 482	21 756	23 431	heat
Gas	m ³	121 511	119 182	45 611	gas
Wasser	m ³	101 606	107 554	114 741	water
Abfälle					
hausmüllähnliche					produced waste
Gewerbeabfälle	t	101	137	106	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	238	209	157	recycled waste
Sonderabfälle	t	28	25	14	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	DM	260 000	239 000	228 000	waste disposal costs (approx.)
... in Berlin		1997	1998	1999	
elektrische Energie	MWh	4 626	4 438	4 998	electrical energy
Gas	m ³	4 776	5 037	2 925	gas
Wasser	m ³	74 503	66 537	71 496	water
Helium, flüssig	l	43 540	39 380	52 265	helium, liquid
Stickstoff, flüssig	l	66 147	73 850	88 170	nitrogen, liquid
Abfälle					waste
Reststoffe insgesamt (ca.)	t	211	219	250	residues, total (approx.)
hausmüllähnliche					
Gewerbeabfälle	t	46	42	42	refuse-like industrial waste
recycelte Abfälle	t	160	170	175	recycled waste
Sonderabfälle	t	5	7	10	hazardous waste
Entsorgungskosten (ca.)	DM	90 000	85 000	90 000	waste disposal costs (approx.)

Der Energieverbrauch und die Abfallmengen der PTB im Vergleich der letzten Jahre

Comparison of the energy consumed and the amounts of waste produced by PTB in the past years

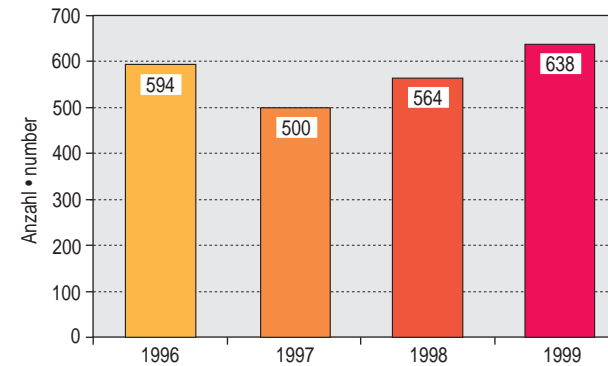
Internet



Vierteljährliche externe Zugriffszahlen auf den WWW-Server der PTB in den Jahren 1997 bis 1999

Quarterly accesses (external) to the PTB's www server between 1997 and 1999

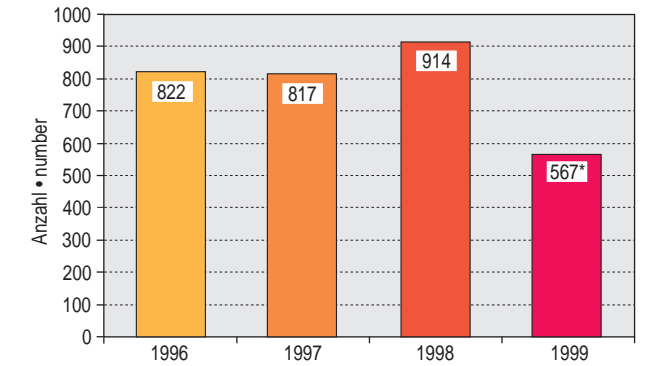
Veröffentlichungen • Publications



Anzahl der Veröffentlichungen der PTB-Mitarbeiter/innen (in wissenschaftlichen Journalen, Büchern, Tagungsbänden etc.) in den Jahren 1996 bis 1999

Number of publications by PTB staff members (in scientific journals, books, conference digests, etc.) between 1996 and 1999

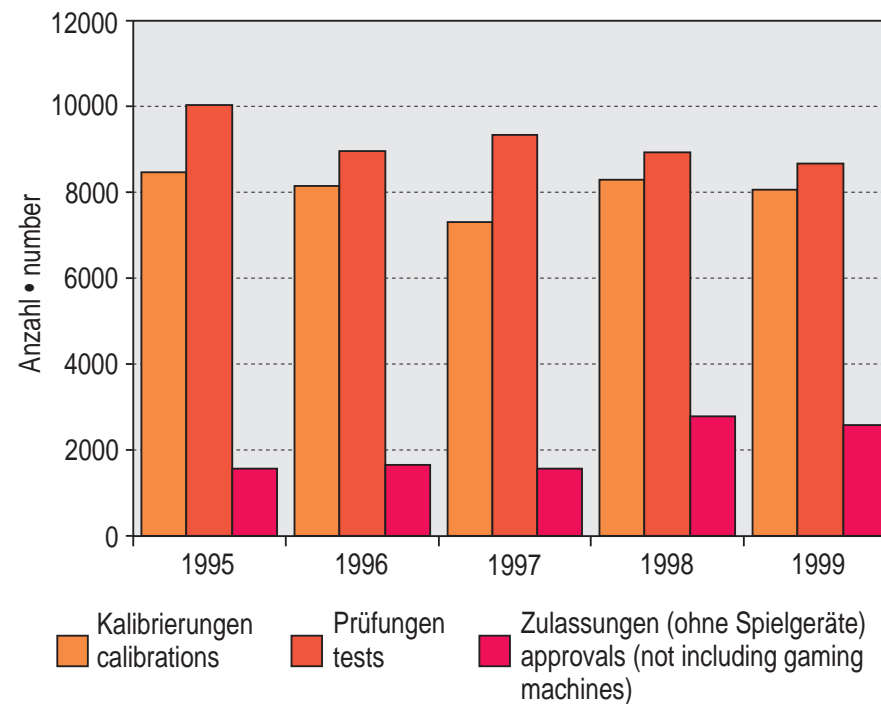
Vorträge • Lectures



Anzahl der auswärtigen Vorträge, die PTB-Mitarbeiter/innen in den Jahren 1996 bis 1999 gehalten haben

* ab 1999 geänderte Zählweise
Number of lectures held by PTB staff members outside PTB between 1996 and 1999
* new numbering method since 1999

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 59 786 approvals were granted in this field in 1999 (above all for permanently installed gaming machines). (A survey of all calibrations, tests and approvals, classified by PTB divisions, can be found on the CD-ROM under "Nationales Messwesen".)

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 1999 insgesamt 59 786 Zulassungen (vor allem von Geldspielgeräteaufstellungen im stehenden Gewerbe) erteilt. (Eine nach den PTB-Abteilungen geordnete Aufstellung aller Kalibrierungen, Prüfungen und Zulassungen finden Sie auf der CD-ROM unter „Nationales Messwesen“).

Projektpartner der PTB PTB's project partners



Technische Zusammenarbeit

Die PTB unterstützt weltweit Länder beim Aufbau einer metrologischen Infrastruktur. Hauptauftraggeber ist das *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung*. (Weitere Informationen zur technischen Zusammenarbeit und zu aktuellen Projekten finden Sie auf der CD-ROM unter „Internationales Messwesen“ und „Nachrichten aus den Abteilungen/Abteilung Q“.)

Technical cooperation

The PTB assists countries in all parts of the world in the establishment of a metrological infrastructure, mainly on behalf of the *Federal Ministry for Economic Cooperation and Development*. (Additional information about technical cooperation and current projects can be found on the CD-ROM under "Internationales Messwesen" and "Nachrichten aus den Abteilungen/Abteilung Q".)

Gastwissenschaftler, Gäste und Besucher

Die Welt hat ein Interesse an der Arbeit der PTB. Das zeigt sich bereits an den zahlreichen Gastwissenschaftlern, Gästen und Besuchern, die im letzten Jahr in der PTB waren.

93 Gastwissenschaftler aus aller Welt arbeiten mit in den Abteilungen der PTB. Den größten Anteil hatten dabei Wissenschaftler aus Russland und China.

Zu einem kurzen Besuch in der PTB konnte das Präsidium 71 Gäste (vorwiegend aus anderen nationalen Metrologieinstituten) begrüßen.

(Eine Auflistung dieser Gastwissenschaftler und Gäste finden Sie auf der CD-ROM unter „Kontakte und Kooperationen“.)

Auch der allgemeine Besucherdienst der PTB, im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit, fand wie gewohnt regen Zuspruch. 1150 Besucher (in 63 Gruppen) passierten die Tore der PTB und blickten den Wissenschaftlern in deren Laboratorien über die Schultern. Rund die Hälfte der Besucher (34 Gruppen) waren dabei Schüler und Studenten, acht weitere Besuchergruppen kamen von Bildungseinrichtungen, elf Gruppen von Firmen und Verbänden. Weiterhin besuchten sieben zum Teil ausländische Delegationen sowie drei Seniorengruppen die PTB. Zusätzlich zu diesem allgemeinen Besuchsprogramm wurden zwei Lehrerfortbildungsveranstaltungen mit jeweils rund 60 Teilnehmern durchgeführt.

Guest scientists, guests and visitors

There is a worldwide interest in the PTB's work. Guest scientists, guests and visitors who came to PTB in the past year are proof of this.

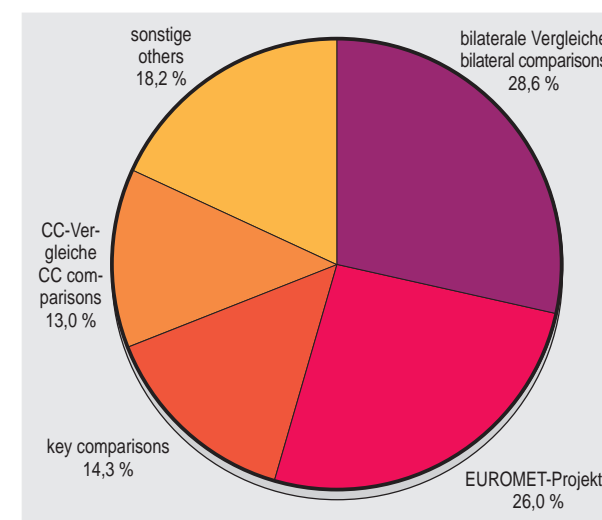
93 guest scientists from all parts of the world were involved in the work performed in the PTB divisions. The largest number of scientists came from Russia and China.

The Presidential Board could welcome 71 guests (above all from other national metrology institutes) on a short visit to PTB.

(A list of these guest scientists and guests can be found on the CD-ROM under "Kontakte und Kooperationen".)

As in previous years, the general visitor service within the framework of public relations work was frequently contacted. 1150 visitors (in 63 groups) went through the PTB gate and watched the scientists working in their laboratories. About half the visitors (34 groups) were pupils and students, another eight groups were from education centres, eleven groups from firms and associations. Seven delegations, some of them from abroad, and three groups of senior citizens visited PTB. In addition to this general visitor program, two seminars for the further education of teachers were held, each with about 60 participants.

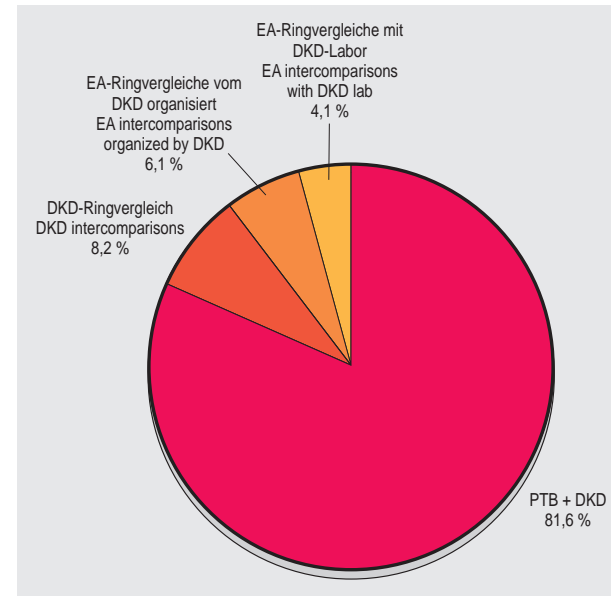
Internationale Vergleichsmessungen • International comparison measurements



Die PTB nahm im Berichtsjahr an 77 Vergleichsmessungen teil und zwar an elf Schlüsselvergleichen (key comparison), zehn CC-Vergleichen (organisiert von den Beratenden Komitees des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht, CIPM), 20 regionalen Vergleichen innerhalb von EUROMET, 22 bilateralen Vergleichen und 14 sonstigen Vergleichen.

In the year under review, the PTB participated in 77 comparison measurements, viz. eleven key comparisons, ten CC comparisons (organized by the Consultative Committees of the International Committee for Weights and Measures, CIPM), 20 regional comparisons within EUROMET, 22 bilateral comparisons and 14 other comparisons.

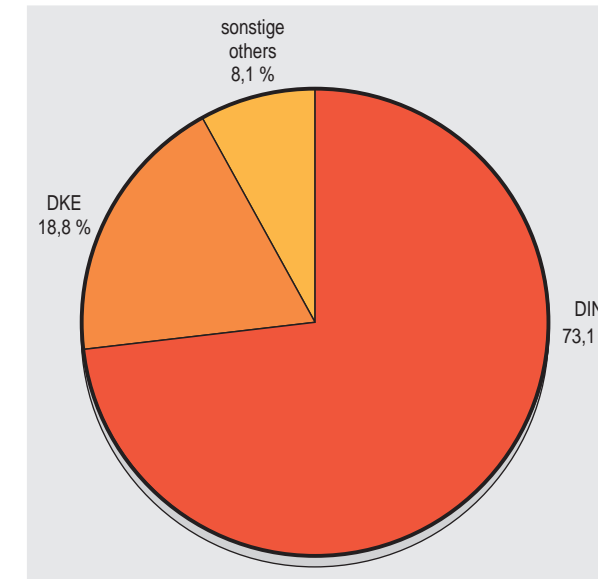
DKD-Vergleichsmessungen • DKD comparison measurements



Der DKD nahm im Berichtsjahr an 98 Vergleichsmessungen teil. Den größten Anteil daran hatten 80 bilaterale Vergleichsmessungen zwischen der PTB und DKD-Laboratorien (PTB + DKD), hinzu kommen 8 DKD-Ringvergleiche mit mehreren DKD-Laboratorien und der PTB als Referenzlaboratorium (DKD-Ringvergleich) sowie EA-Ringvergleiche, die entweder vom DKD organisiert sind (6) oder an denen DKD-Laboratorien teilnehmen (4).

In the year under review, the DKD participated in 98 comparison measurements, the largest portion (80) being bilateral comparison measurements between PTB and DKD laboratories (PTB + DKD). Added to this were 8 DKD intercomparisons involving several DKD laboratories, with the PTB acting as the reference laboratory (DKD intercomparison), as well as EA intercomparisons, either organized by DKD (6) or involving DKD laboratories (4).

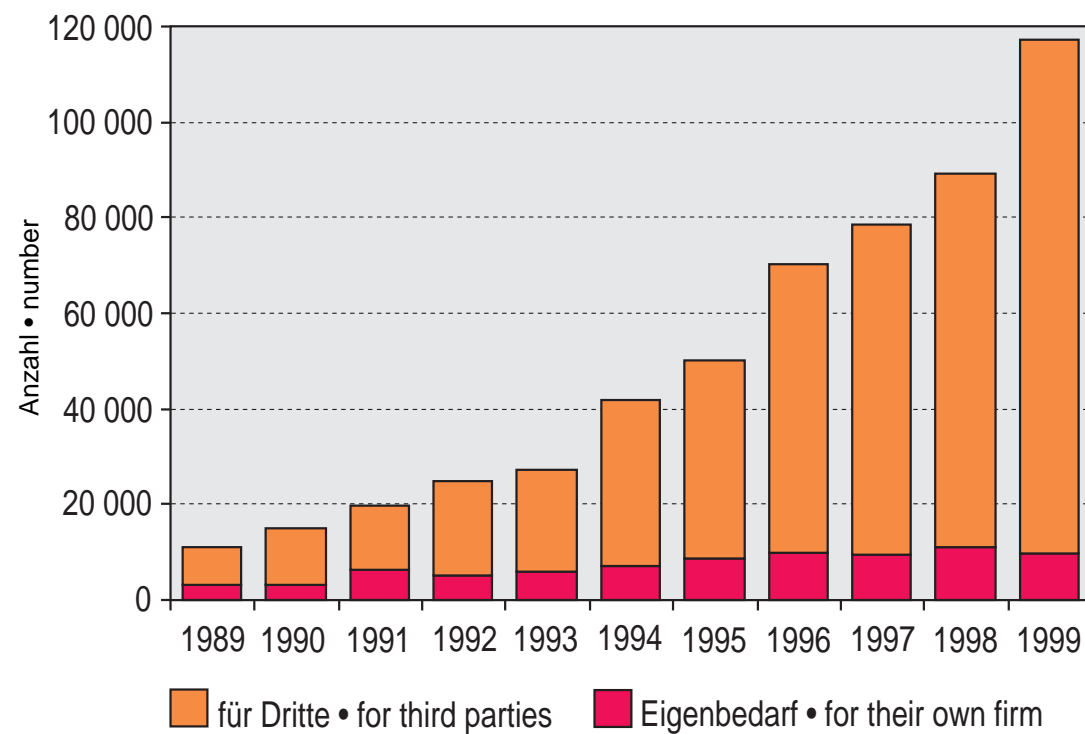
Nationales Messwesen: Gremienarbeit • Metrology on the national level: committee work



Prozentuale Verteilung der Gremienarbeit der PTB bei nationalen Normungsvorhaben. Innerhalb des Deutschen Instituts für Normung e. V. (DIN) war die PTB an 117 Normenvorhaben beteiligt, bei der Deutschen Elektrotechnischen Kommission (DKE) bei 30 Vorhaben.

Break-up of the PTB's committee work for national standardization projects (in percent). PTB cooperated in 117 projects of the *Deutsches Institut für Normung (DIN)* and in 30 projects of the *Deutsche Elektrotechnische Kommission (DKE)*.

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

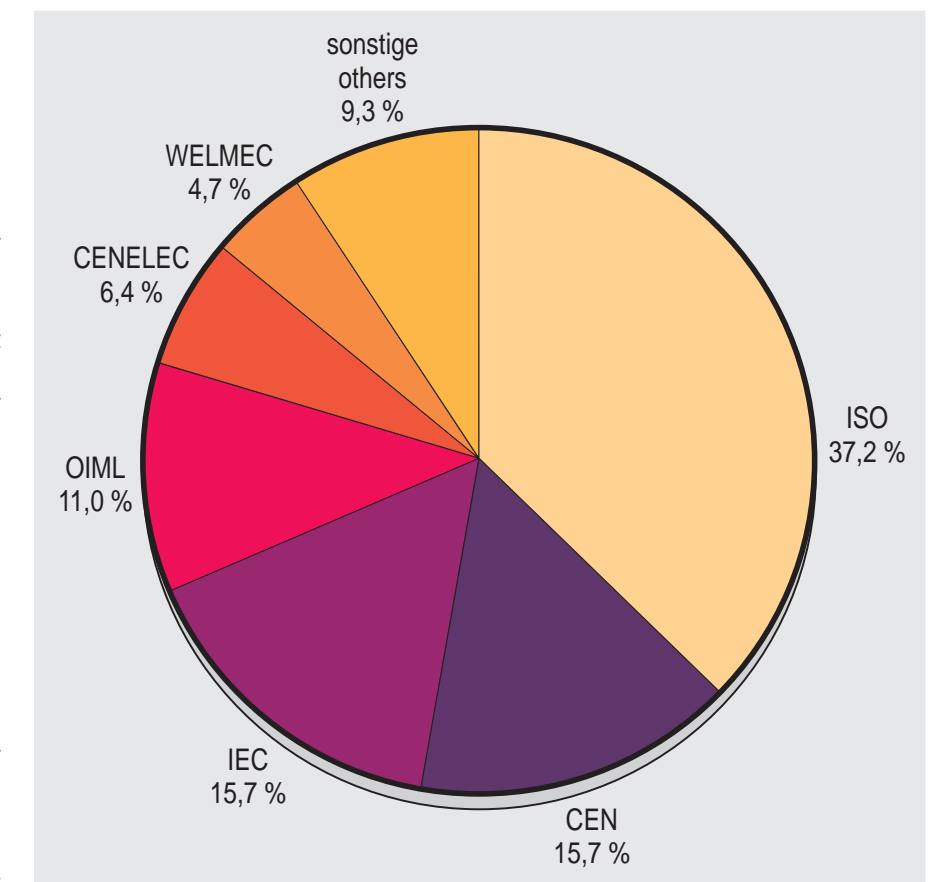


Die Anzahl der Kalibrierungen durch akkreditierte DKD-Laboratorien erreichte 1999 einen neuen Höchstwert von 117 067. Dieser positive Trend im DKD zeigt sich auch darin, dass im Berichtsjahr zusätzlich 23 Erstakkreditierungen und 106 Erweiterungen des Akkreditierungsumfanges ausgesprochen wurden. Da zugleich sechs Akkreditierungen aus wirtschaftlichen Gründen zurückgenommen wurden, liegt die Zahl aktiver DKD-Kalibrierlaboratorien gegenwärtig bei über 250. (Die Zahl der insgesamt jemals ausgesprochenen Akkreditierungen liegt bei 281, im nächsten Jahr dürfte die Grenze von 300 überschritten werden.)

In 1999, the number of calibrations by accredited DKD laboratories reached a new maximum value of 117 067. This positive trend within DKD is reflected by the additional 23 initial accreditations and 106 extensions of the accreditation scope granted in the year under review. As at the same time six accreditations were cancelled for economic reasons, the number of active DKD calibration laboratories at present amounts to more than 250. (The total number of accreditations ever granted is 281; it is to be expected that the limit of 300 will be exceeded next year.)

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

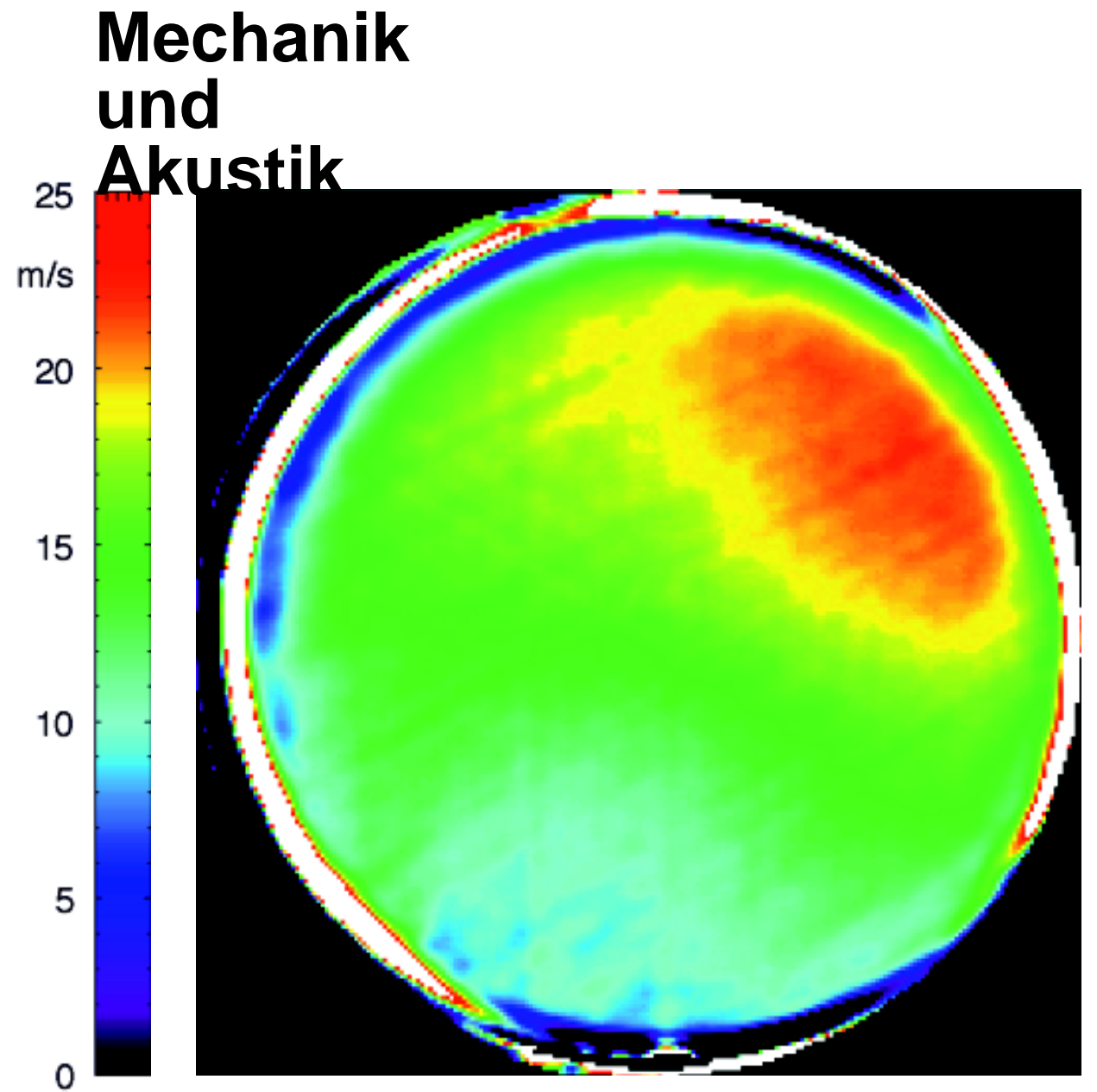
Prozentuale Verteilung der Gremienarbeit der PTB bei internationalen Normungsvorhaben. Insgesamt arbeitete die PTB im letzten Jahr bei 172 solcher Normungsvorhaben mit. ISO: Internationale Organisation für Standardisierung; CEN: Europäisches Komitee für Normung; IEC: Internationale Elektrotechnische 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 the past year, the PTB cooperated in 172 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



Berichte der Abteilungen

Mechanik und Akustik

Die Abteilung 1 hat vier Fachbereiche: Festkörpermechanik, Kinematik, Fluidmechanik und Akustik. Insgesamt arbeiten hier 145 Mitarbeiter, davon 53 mit wissenschaftlicher Ausbildung, 41 Mitarbeiter aus dem Ingenieurbereich und 51 mit einer Ausbildung als Techniker, Laboranten, Mechaniker, Elektroniker und Bürokräfte. Hinzu kommen noch 22 Mitarbeiter aus allen Ausbildungsarten auf Zeitstellen, die größtenteils aus Drittmittelprojekten finanziert werden, darunter mehrere Doktoranden.

Die Abteilung hat nach wie vor große Probleme mit den schon seit Jahren anhaltenden Stellenabgaben, weil neben der fehlenden Arbeitskraft genau so schwer der damit einhergehende Kompetenzverlust in einer Arbeitseinheit zählt. Trotzdem ist Beachtliches geleistet worden und für die Zukunft im Werden. Hiervon kann man sich bei einer kleinen Tour durch die vier Fachbereiche der Abteilung 1 überzeugen.

Massebestimmungen spielen in vielen Bereichen, insbesondere für jeden sichtbar in Produktion und Handel, eine bedeutende Rolle. Beispielsweise übersteigt der Wert der in der Bundesrepublik Deutschland jährlich über Wägungen abgerechneten Waren eine Billion DM. Das bei Wägungen benutzte Maß, das Kilogramm, ist die einzige Basiseinheit, die noch durch eine materielle Verkörperung, das internationale Kilogrammprototyp, definiert ist. Um auch das Kilogramm, wie z. B. das Meter, an eine Fundamentalkonstante anbinden zu können, wurde vor einigen Jahren mit dem Experiment Ionenakkumulation begonnen. Das Ziel dieses Experiments ist es, aus einem Goldionenstrahl eine wägbare Masse zu akkumulieren und die Anzahl der akkumulierten Goldatome durch die Mes-

sung und Integration des Ionenstroms über die Zeit zu ermitteln. Nach umfangreichen Vorbereitungen und Voruntersuchungen konnte zum ersten Mal eine Akkumulationsrate von ca. 9 ng/s und gleichzeitig ein Ionenstrom von ca. 10 μ A gemessen werden. Damit ist das erste wichtige Ergebnis bei diesem Experiment gelungen. Für die notwendige Erhöhung von Akkumulationsrate und Ionenstrom um etwa zwei Größenordnungen sind bereits Vorbereitungen getroffen worden. Die künftigen Arbeiten werden sich daher auf das Erreichen der erforderlichen relativen Unsicherheit von etwa 10^{-8} konzentrieren.

Kraft-, Drehmoment und Beschleunigungsmessungen sind in vielfältigen Bereichen der Technik von herausragender Bedeutung. Beispielsweise werden in der Automobilindustrie Kraft- und Beschleunigungsaufnehmer für Crash-Tests, für Schwingungs- und Drehmomentkontrolle an Motoren und an Karosserien, bei Montage und bei Werkstoffprüfungen eingesetzt. In der Luft- und Raumfahrt werden Beschleunigungsaufnehmer installiert, um Kräfte an Triebwerken zu messen und um Triebwerksfunktionen zu überwachen. Auch die Navigation erfolgt u. a. über die Kontrolle der Winkelgeschwindigkeit und Beschleunigung.

Als abgeleitete Einheit basiert die Kraft, die für metrologische Zwecke als Gewichtskraft von Belastungskörpern im Schwerfeld der Erde dargestellt wird, unter anderem auch auf der Masse. Da es sich bei ihr jedoch um eine gerichtete Größe, einen Vektor, handelt, spielen Fragen der räumlichen Ausrichtung der erzeugten Messgröße eine große Rolle. In den Kraft-Normalmesseinrichtungen werden derzeit relative Messunsicherheiten von wenigen 10^{-5} erreicht, was bislang für alle wissenschaftlichen und technischen Anwendungen ausreichend ist. Die Weitergabe der Messgröße erfolgt durch Kalibrieren der Kraftaufnehmer. Mit den kalibrierten Aufnehmern können Messeinrichtungen angeschlos-

sen werden oder je nach Anwendungsfall Kräfte direkt gemessen werden. Ein Schwerpunkt der Forschung behandelt die Messung zeitlich veränderlicher (dynamischer) Kräfte, die in der einen oder anderen Größenordnung in jedem Bereich auftreten, seien es – um wieder einige Beispiele zu nennen – Roboter in der Produktion, der Verkehr mit Autos, der Bahn bzw. mit Flugzeugen oder Bauwerke wie Brücken und Hochhäuser. Für Messungen dynamischer Kräfte wurden die theoretischen Grundlagen erforscht und die experimentelle Basis geschaffen.

Im Spätsommer dieses Jahres feierte die PTB das Richtfest für den Anbau „Gauß-Bau“. Dieser Anbau wird die hochwertigen Kraftmessanlagen des Standorts Friedrichshagen aufnehmen. Mit diesem neuen Gebäude bekommt die PTB beste Voraussetzungen, auch in den kommenden Jahrzehnten die Spitzenstellung unter den metrologischen Staatsinstituten der Welt für diese Messgrößen weiter auszubauen. Die Baukosten einschließlich des Transfers der Anlagen sind mit 9,8 Mio. DM veranschlagt, die Übergabe soll im Frühjahr 2001 erfolgen (vgl. Nachrichten des Jahres).

Ebenfalls eine abgeleitete Einheit ist das Drehmoment, definiert als das Vektorprodukt einer am Ende eines Hebels angreifenden Kraft und der vektoriellen Hebelarmlänge. Wie für die Kraftmessung gibt es auch für das Drehmoment Normalmesseinrichtungen, wobei hier zusätzlich zu den bei der Kraft zu lösenden Problemen Fragen der Bestimmung und der Konstanz der Länge des Hebelarmes zu beantworten sind. Durch intensive Forschung und Entwicklung konnte in der letzten Dekade der Vorsprung der Kraftmetrologie wettgemacht werden, so dass heute Drehmomentmessungen mit einer relativen Messunsicherheit von ebenfalls wenigen 10^{-5} möglich sind. Erstmals ist in diesem Zusammenhang auch das Problem der Ausrichtung einer vektoriellen Größe umfassend theoretisch und experimentell behandelt worden. Sowohl Kraft- als auch Drehmomentaufnehmer besitzen Vorzugsrichtungen, die durch ihre Geometrie und die auf ihnen angebrachten Messsensoren (vor allem Dehnungsmessstreifen) gegeben sind. Durch den Einbau in der Messeinrichtung kann es vorkommen, dass auf den Aufnehmer neben dem eigentlichen Drehmoment auch weitere mechanische Komponenten, sogenannte Störkomponenten, Biegemomente, Querkräfte, Axialkräfte, einwirken und das Messergebnis beeinflussen. Um diesen Störkomponenten auf die Spur zu kommen, wurden spezielle Mehrkomponentenaufnehmer (MKA) entwickelt. Deren sensitive Element besteht aus einer nur wenige Millimeter dünnen Kreisringmembran zwischen einer inneren Welle und einem äußeren Kranz und erinnert in seiner Form an ein Rad (Bild 1). Mechanisch gesehen bietet diese Bauform den Vorzug, ein hohes Drehmoment von 1000 N · m ohne große Eigenverformung zu übertragen, dabei aber die relativ kleinen Störkomponenten mit hoher Auflösung zu messen. Dazu wurden auf die Membran Dehnungsmessstreifen appliziert. Um nun auch wirklich alle fünf zusätzlichen Komponenten – Biegemomente

Bild 1: Verformungskörper des neuen Mehrkomponentenaufnehmers

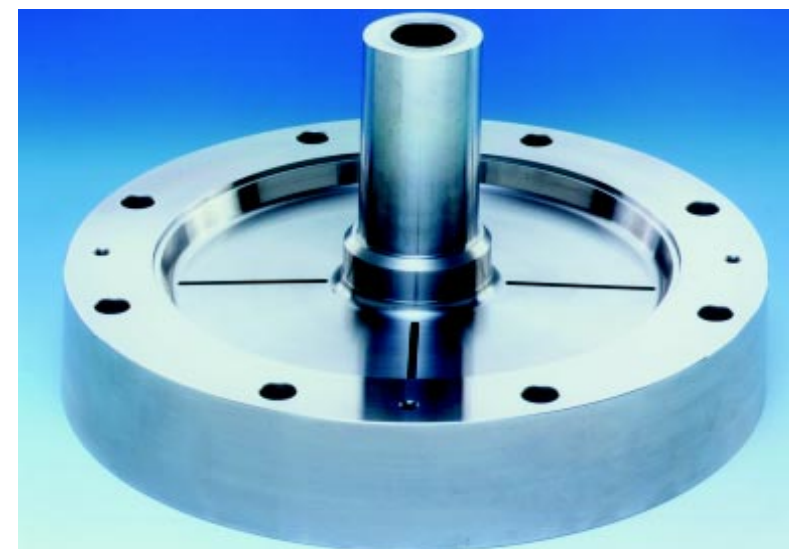


Bild 1: Verformungskörper des neuen Mehrkomponentenaufnehmers

und Querkräfte können in zwei zueinander senkrechte Anteile in einem kartesischen Koordinatensystem zerlegt werden – messen zu können, war es notwendig, zwei gleichartige MKA gegensinnig in die Messeinrichtung einzubauen (Bild 2). Mit dieser experimentellen Anordnung war es möglich, den Zusammenhang zwischen einer geometrischen Abweichung in der Messeinrichtung und den erzeugten mechanischen Störkomponenten zu messen.

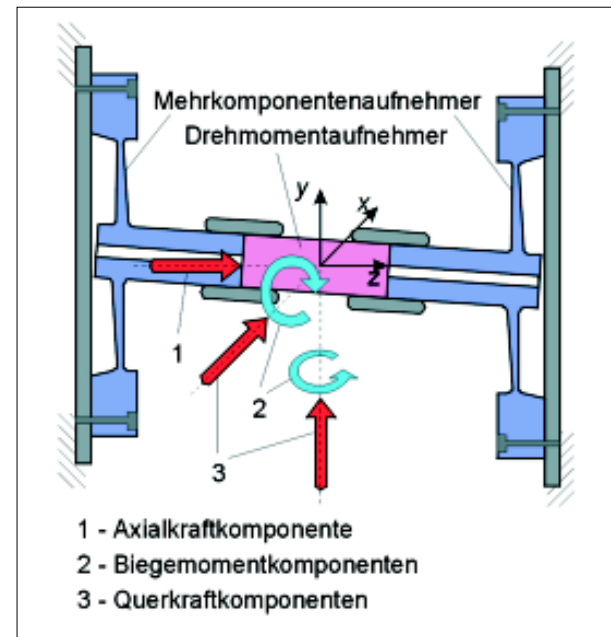


Bild 2: Störkomponenten in der Drehmomentmesseinrichtung

Auf dem Gebiet der Darstellung und Weitergabe der Einheiten der Beschleunigung und weiterer Bewegungsgrößen konzentrierten sich die Forschungsarbeiten im Jahre 1999 auf die Messbereichserweiterung für sinusförmige Schwingungsgrößen und stoßförmige Beschleunigungsverläufe. Aus Untersuchungen labortypischer Störeinflüsse bei den laserinterferometrischen Schwingungsmessungen wurden die optimalen Messbedingungen ermittelt und Korrekturen-Beziehungen zur Kompensation systematischer Messabweichungen abgeleitet. Unter Beachtung der gefundenen Zusammenhänge gelang erstmalig der Nachweis, dass kleine Schwingwegamplituden bis 1 nm herab mit Messunsicherheiten $< 0,2\%$ messbar sind. Da die Messgröße Beschleunigung in der PTB durch interferometrische Schwingwegmessung bestimmt wird, hat die Messmöglichkeit von 1 nm die Erweiterung des Frequenzbereiches der Beschleunigungsdarstellung bis 50 kHz eröffnet.

Ausgehend von der 1998 verfügbar gewordenen Hochintensitäts-Stoßkalibriereinrichtung, wird seit Jahresbeginn 1999 das nationale Normal für den auf $100\,000\text{ m/s}^2$ erweiterten Stoßbeschleunigungsbereich entwickelt. In diesem Zusammenhang erfolgten metrologische Grundsatzuntersuchungen zur pneumatischen Stoßanregung, zur Stoßwellenfortpflanzung in langen Stäben sowie zur interferenzoptischen Messung und Analyse der Stoßbeschleunigungsverläufe. Ein neues Verfahren zur digitalen Verarbeitung der Heterodyn-Interferometersignale wurde in Verbindung mit der Hochintensitäts-Kalibriereinrichtung erprobt und für den Einsatz am nationalen Normal optimiert.

Das Triaxialsystem zur simultanen Mehrkomponenten-Kalibrierung (Bild 3) von Beschleunigungsaufnehmern konnte durch einen luftgelagerten Rotationserreger komplettiert werden, der durch Montage auf dem Triaxial-Schwingtisch die 4. Bewegungskomponente um die vertikale (Z-)Achse realisiert. Im Rahmen der laufenden Erprobung und Untersuchung des Mehrkomponenten-Kalibriersystems wurde experimentell nachgewiesen, dass das Verhalten einiger typischer Bauarten von Beschleunigungsaufnehmern für praxisrelevante Anregungsbedingungen nur durch simultane Mehrkomponenten-Kalibrierung zuverlässig erfasst und beschrieben werden kann.



Bild 3: Detailblick auf die Mehrkomponenten-Kalibriereinrichtung

Die Weitergabe der Einheiten der Bewegungsgrößen im Rahmen des DKD ist im Jahre 1999 auf rotatorische Bewegungsgrößen erweitert worden. Ein erstes DKD-Kalibrierlaboratorium für die Messgrößen Winkelgeschwindigkeit und Winkelbeschleunigung (zusätzlich zur Translations-Beschleunigung) wurde akkreditiert.

In der Bundesrepublik Deutschland werden jährlich ca. 140 Mrd. Liter Mineralöl verbraucht. Die Produktion von Milch beträgt ca. 32 Mrd. Liter und die von Bier 10,5 Mrd. Liter. Trinkwasser wird zukünftig eine immer wertvollere Flüssigkeit, hiervon werden z. B. jährlich ca. 5200 Mrd. Liter abgerechnet. Die PTB sorgt mit Kalibrierungen und mit Zulassungen zur Eichung der entsprechenden Messgeräte mit dafür, dass alle Abrechnungen gerecht ablaufen.

Im Jahr 1998 lag der Erdgasverbrauch Deutschlands bei ca. 100 Mrd. Kubikmeter, die auf dem Weg zum Endverbraucher drei bis fünf Mal gemessen und abgerechnet werden müssen. Dementsprechend wirtschaftlich bedeutsam ist die genaue Erdgas-mengenmessung. Da die Bundesrepublik auch ein Transitland im Hinblick auf die Erdgasdurchleitung in Europa von Ost nach West darstellt, werden weitaus größere Gas-mengen europaweit verteilt.

Die PTB hat 1999 zwei Vereinbarungen abgeschlossen, die die aktuellen Entwicklungen auf dem Gebiet der Erdgasmessung maßgeblich beeinflussen und die Voraussetzungen und Bedingungen für die Darstellung und Weitergabe der Volumeneinheit für Hochdruck-Erdgas entscheidend verbessern werden:

- Die Vereinbarung zwischen der PTB und der Ruhrgas AG über die Aufbewahrung und Verwaltung des nationalen Normal zur Darstellung der Volumeneinheit für Hochdruck-Erdgas. Diese Vereinbarung verleiht dem Hochdruckprüfstand „pigsar“ in Dorsten den Status des nationalen Normal und stellt ihn an die Spitze der deutschen Hochdruck-Kalibrierkette.
- Die Vereinbarung zwischen der PTB und dem Nederlands Meetinstituut NMI-VSL über die Bildung eines einheitlichen Bezugsniveaus für die Weitergabe der Volumeneinheit von Hochdruck-Erdgas.

Hierdurch werden die Kalibrierketten Deutschlands und der Niederlande harmonisiert und in beiden Ländern ist nur noch die Weitergabe des vereinheitlichten Bezugsniveaus – national wie international – erlaubt (vgl. Nachrichten des Jahres, S. 20: „Durch Erdgas vereint“).

Beide Vereinbarungen enthalten klare Zukunftsorientierungen. Messtechnisch geht es dabei insbesondere um die Entwicklung neuer Techniken für die Hochdruck-Erdgas-messung. Neben der Vervollkommnung konventioneller Verfahren wird dabei vor allem an den Einsatz von kritischen Düsen und modernen optischen Verfahren gedacht. Diese Arbeiten werden sich in erster Linie auf das nationale Normal „pigsar“ in Dorsten konzentrieren.

Der Fachbereich „Akustik“ umspannt die Arbeitsgebiete Ultraschall und Hörakustik, mit letzterem einen weiten Bereich der Hörfahrungen des täglichen Lebens. Das können angenehme, lästige, hilfreiche, schädliche Erfahrungen sein. So leistet die PTB Hilfestellung bei der Aufstellung von Normen und Vorschriften, die gewährleisten, dass Lärmbelastungen in einem vertretbaren Rahmen gehalten werden müssen, und sie sorgt dafür, dass die zur Überprüfung notwendige messtechnische Infrastruktur überall über dasselbe Maß verfügt. Einen Beitrag, der für das häusliche Wohlbefinden sehr wichtig ist, leistet die PTB auf dem Gebiet der Bauakustik, indem z. B. Lärm von Installationen unter einem festgelegten Pegel gehalten werden muss und innerhalb von Mehrfamilienhäusern eine genügende Schallisolierung vorzusehen ist.

Die quasi-optischen Eigenschaften von Ultraschallwellen haben in der Medizin und bei der zerstörungsfreien Werkstoffprüfung eine ungeahnte Bedeutung erlangt. Im Bereich der Medizin gestatten sie weitgehend risikofreie „Einblicke“ in den menschlichen Körper von großem diagnostischen Wert, z. B. während der Schwangerschaft, zur Funktionsüberprüfung des Gefäßsystems oder bei der Tumordiagnostik. Allein in der Bundesrepublik Deutschland sind weit über 100 000 Ultraschall-Diagnostikgeräte im Einsatz. In Therapie und Chirurgie werden die in Ultraschallfeldern erzielbaren hohen Energieflussdichten genutzt, z. B. zur Zer-

trümmerung von Nieren- und Gallensteinen oder zur Entfernung von durch Grauen Star getrübbten Augenlinsen.

Von den Aufgaben des Fachbereichs sollen in diesem Bericht drei Themen besonders hervorgehoben werden: Die Untersuchung eines neuen Lautsprechertyps, ein Ringversuch zur Schalldämmungsmessung und die Entwicklung von faseroptischen Sensoren.

Von einer deutschen Firma wurde der Prototyp eines völlig neuen Lautsprechertyps „AUDIOBEAM“ entwickelt (Bild 4). Bei diesem Lautsprecher strahlt ein Array von vielen Ultraschallwandlern eine Schallwelle mit einer Trägerfrequenz von 40 kHz ab, die mit Sprache oder Musik als Nutzfrequenz amplitudenmoduliert ist. Wenn dieser primär nicht hörbare modulierte Ultraschall auf das menschliche Ohr trifft, wird er nach einem bisher nicht völlig verstandenen Prinzip demoduliert und das Nutzsignal wird hörbar.

Obwohl es derzeit noch keine technische Anwendung gibt, wäre eine denkbare Nutzung die, eine Person in einer Gruppe mit Hilfe des gerichteten Ultraschallbündels anzupeilen und anzusprechen, ohne dass die Umstehenden gestört werden. Ein weiterer Vorteil ist der Wegfall von Verzerrungen des Nutzsignals durch den Übertragungsraum und das Lautsprechersystem.

Das neue Lautsprecherprinzip wirft eine ganze Reihe von Fragen auf. Neben der Erforschung des Demodulationseffektes und der Optimierung von Parametern wie Trägerfrequenz, Modulationsgrad und Strahlbündelung sind es vor allem Sicherheitsfragen, die sich stellen, denn der Schalldruckpegel des Trägersignals liegt oberhalb einer Grenze, die im Hörbereich als Schmerzschwelle des Hörens bezeichnet wird. Ist das Ultraschallsignal also für das Gehör eines Zuhörers schädlich? Es war vor allem diese Sorge, die die Firma veranlasst hat, sich an die PTB mit der Bitte um messtechnische Beratung und eine Exemplarprüfung zu wenden. Im reflexionsfreien Raum der PTB wurde der neue Lautsprecher vermessen und der maximale Schalldruckpegel des Ultraschallsignals ermittelt.



Bild 4: Der neue Ultraschall-Lautsprecher

Der vom PAT 1001 abgestrahlte maximale Pegel (133 dB in 1 m Entfernung) wurde mit aus der Literatur entnommenen Grenzwerten verglichen. Der Hersteller kann aufgrund dieser Untersuchungen eine Gehörgefährdung von Zuhörern noch sicher ausschließen.

Neben diesem Beispiel gab es im letzten Jahr zwei weitere Anfragen zu Geräten mit Ultraschall-Nutzung. Die eine betraf ein bei 55 kHz arbeitendes chirurgisches Operationsbesteck, die andere Ultraschall-Rückfahrhilfen für Kraftfahrzeuge, die bei Frequenzen zwischen 35 kHz und 58 kHz arbeiten. Der Fachbereich Akustik wird deshalb diesem Gebiet in der nächsten Zeit vermehrt Aufmerksamkeit widmen und laborübergreifend sowohl in Luft als auch im Wasser geeignete Messverfahren und genauere Schallnormale entwickeln.

Bei der Erstellung europäisch harmonisierter Messnormen in der Bauakustik für die Prüfung und Messung der Schalldämmung von Bauteilen ist für Deutschland insbesondere dadurch ein Handlungsbedarf entstanden, dass der bisher benutzte nationale Prüfstand nicht mehr den internationalen Anforderungen entspricht. Eine weitere Notwendigkeit,

tätig zu werden, entstand dadurch, dass die Energieableitung in Prüfständen bisher nur unzureichend in der Norm festgelegt ist. Verschiedene normenkonforme Prüfstandskonstruktionen können derzeit sehr verschiedene Energieableitungswege besitzen und somit die gemessene Schalldämmung erheblich verfälschen. Ein nationaler Ringversuch, an dem alle national zugelassenen Prüfstellen und die PTB teilnahmen, sollte zeigen, inwieweit die unterschiedlichen Prüfstandskonstruktionen die gemessene Schalldämmung beeinflussen und ob mit verbesserten Methoden zur Erfassung der Energieableitung eine Umrechnung der Ergebnisse auf eine Standardsituation möglich ist.

Testobjekt war eine schwere Massivwand (flächenbezogene Masse 440 kg/m^2), die in die Wandprüfstände der teilnehmenden Prüfstellen eingebaut wurde. Die Ergebnisse zeigen, dass Streuungen der gemessenen Schalldämmung von bis zu 8 dB vorhanden sind. Für eine akzeptable Vergleichbarkeit werden jedoch Streuungen von maximal 2 dB angestrebt. Durch die Anwendung einer in der PTB entwickelten Methode zur Messung der Energieableitung in Prüfständen konnte der Zusammenhang zwischen der Schalldämmung und der energetischen Gesamtsituation erstmals experimentell quantitativ nachgewiesen werden. Aufgrund der präzisen Datenerfassung war eine Umrechnung der Schalldämmungsergebnisse auf eine Referenzsituation möglich. Hierbei konnten die bisherigen Streuungen von 8 dB auf 3 dB reduziert werden. Derzeit wird untersucht, welche Ursachen für die Reststreuungen verantwortlich sind. Die Ergebnisse dieser Arbeiten fließen unmittelbar in den Normungsprozess ein und werden zu einer deutlich verbesserten Vergleichbarkeit von Schalldämmungsmessungen in verschiedenen Prüfständen führen.

Im Fachlaboratorium Ultraschall wurden in den letzten Jahren Faserspitzensensoren entwickelt, die sowohl den zeitlichen Druckverlauf einer Ultraschallwelle als auch, zeitgleich, die Temperatur im Ausbreitungsmedium detektieren können. Diese Möglichkeit der parallelen Messung zweier verschiedener physikalischer Größen wurde zur Untersuchung des Schädigungspotentials der Laser-Vitrektomie eingesetzt. Bei dieser

Methode wird der Glaskörper des Augapfels entfernt, indem ein intensiver Infrarot-Laserlichtimpuls eingestrahlt und das durch die starke Absorption entstehende Plasma abgesaugt wird. Gerät der Operateur jedoch zu nah an die Netzhaut, sind Schädigungen sowohl durch entstehende Stoßwellen als auch die hohen Temperaturen nicht ausgeschlossen.

In einer gemeinsamen Arbeit mit einer Arbeitsgruppe des Fachbereichs Physik der Universität Kaiserslautern wurde in situ untersucht, welche Temperaturerhöhung durch die Laser-Gewebe-Wechselwirkung zu erwarten ist. Gleichzeitig konnten die entstehenden Stoßwellen nachgewiesen werden. Die Messungen zeigten, dass Temperaturerhöhungen um bis zu $15 \text{ }^\circ\text{C}$ vorkommen können, wenn die absaugende Kanüle nicht eingesetzt wurde. Eine hyperthermische Belastung des Gewebes dieser Höhe führt selbst bei Zeitdauern im Sekundenbereich bereits zum Zelltod. Wenn die absaugende Kanüle und Kühlflüssigkeit eingesetzt werden, sind niedrigere Werte zu erwarten; allerdings sind dann die Messungen an diesem hochgradig dynamischen Prozess erheblich erschwert. Um das Schädigungspotential genauer abschätzen zu können, sind hier noch weitere Untersuchungen nötig (Bild 5).

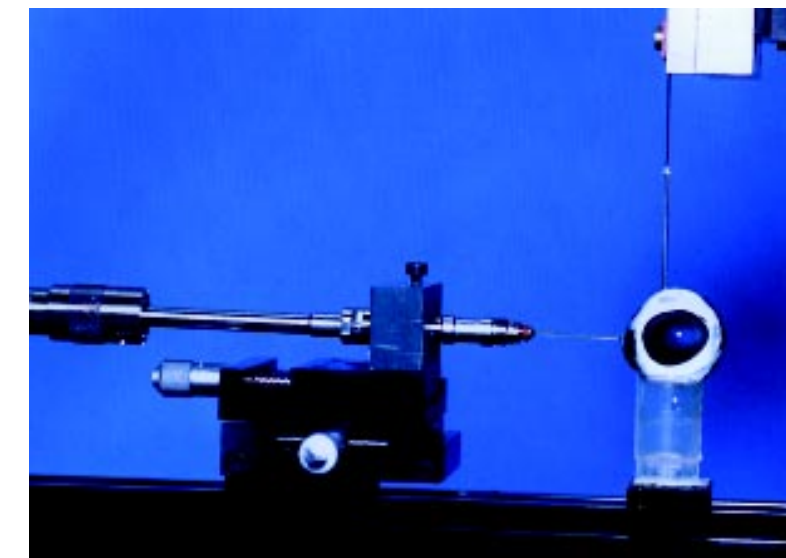


Bild 5: Anordnung zur Temperaturmessung während der Laser-Vitrektomie an einem Schweineauge. Das waagerechte Rohr enthält den Lichtwellenleiter für das Anregungslicht zur Entfernung des Glaskörpers; die senkrechte Kanüle führt die Messfaser. Aufgenommen im Fachbereich Physik der Universität Kaiserslautern.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Mechanik und Akustik)

Grundlagen der Metrologie

Faserverstärker für die Laser-Doppler-Anemometrie

Schwache Laser-Doppler-Signale können durch optische Vorverstärkung über die Detektionsgrenze eines Avalanche-Fotodetektors gehoben werden.

Hochleistungs-Laser-Doppler-Anemometer (HLDA) für die optische Strömungsmessung

Mit Hilfe eines HLDA kann die Messunsicherheit der Strömungsgeschwindigkeit der umgebenden Luft bei Flugversuchen deutlich verbessert werden.

Zukünftiges Primärnormal der PTB für Flüssigkeiten

Die neue Normalmessanlage der PTB für hochgenaue Messungen von strömenden Flüssigkeiten, das sog. Hydrodynamische Prüffeld, nimmt Form an.

Die Schallmessung konnte verbessert werden

Mit Hilfe einer neu erprobten Messmethode, bei der Bezugsmikrofone in einer Druckkammer kalibriert und durch bekannte Differenzwerte auf Freifeldkalibrierung umgerechnet werden, wird die Messunsicherheit wesentlich verringert.

Ultraschall-Faserspitzensensoren können neben dem Druckverlauf der Schallwelle auch die Temperatur des Ausbreitungsmediums detektieren

Eine medizinisch bedeutsame Anwendung dieser Möglichkeit wird beschrieben.

Messtechnik für die Industrie

Interessantes aus der Wägetechnik

Mit einer neuen, SPS-gesteuerten Prüfeinrichtung kann die PTB zukünftig Klimaprüfungen an Hochlastwaagen bis 3 t nach der Internationalen Empfehlung OIML R76 durchführen. Bei genauen Wägungen mit Gewichtstücken sollte deren Temperatur mit der der Umgebungstemperatur übereinstimmen.

Der Messbereich für den Durchfluss atmosphärischer Luft wurde erweitert

Den Anforderungen der Industrie entsprechend wurde der Mess- und Kalibrierbereich bei obigen Durchflussmessungen von 0,2 l/h bis 24 000 m³/h erweitert.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Softwareprüfung im gesetzlich geregelten Bereich

Software findet immer mehr Eingang in die Auswertung von Messungen. Ist sie auch immer gesichert gegen Manipulation? Wie können Verbraucher am Markt dagegen geschützt werden?

Waagen entwickeln sich zu Wägesystemen

Wägetechnische Anlagen entwickeln sich zunehmend zu komplexen Messsystemen. Für viele Anwendungen muss die Eichfähigkeit in Teilbereichen der Anlage auch bei Umbauten gewährleistet bleiben.

Internationale Zusammenarbeit

Schritte zur Globalisierung der Wirtschaft

In einem „Memorandum of Understanding“ erkennen das National Research Laboratory of Metrology (Japan) und die PTB gegenseitig Messungen an nichtselbsttätigen Waagen an.

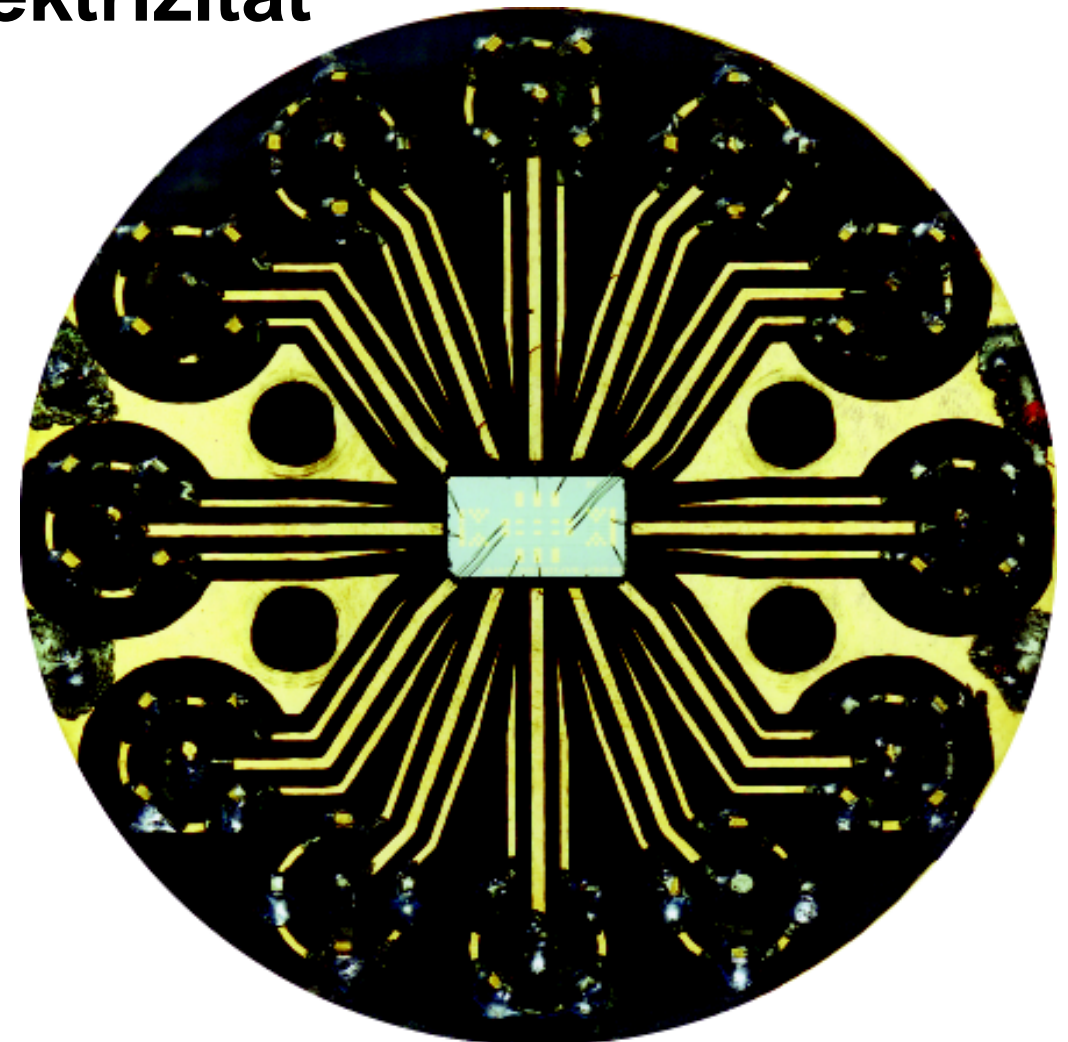
Vergleichsmessungen sind ein wichtiges Mittel zur Harmonisierung der Messergebnisse und zur Vertrauensbildung bei der gegenseitigen Anerkennung von Messergebnissen

Es wird von entsprechende Aktivitäten auf den Gebieten Masse, Kraft, Drehmoment, Beschleunigung, Hör- und Ultraschall, Beschusswesen und Bauakustik berichtet.

Working Group „Flow“ gegründet

Auf Anregung der Internationalen Meterkonvention wurde auf dem Gebiet der Durchflussmessung unter Beteiligung von ca. 60 Experten aus 22 Ländern die oben genannte Arbeitsgruppe initiiert.

Elektrizität



Abteilung

Elektrizität

Die Arbeiten der Abteilung Elektrizität erstrecken sich über alle Arbeitsgebiete der PTB: die Grundlagen der Metrologie, die Messtechnik für die Industrie, die Messtechnik im gesetzlich geregelten Bereich und die internationale Zusammenarbeit. Sie reichen von der Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Quantenphysik über neue Entwicklungen im industriellen und gesetzlichen Messwesen bis hin zu den internationalen Abkommen über die gegenseitige Anerkennung von Kalibrierungen, die im Rahmen der Globalisierung des Handels notwendig wurden. Nachfolgend werden einige charakteristische Beispiele aus diesen Arbeitsgebieten vorgestellt.

Das Ohmsche Gesetz, das Spannung, Stromstärke und Widerstand in einem Stromkreis miteinander verknüpft, ist weithin bekannt. Nur wenige Eingeweihte wissen jedoch, dass es eine entsprechende Verknüpfung auch bei den elektrischen Quantennormalen gibt (Bild 1). Diese nutzen sog. makroskopische, „mit freiem Auge sichtbare“, Quanteneffekte. Das sind Effekte, bei denen eine Quantisierung physikalischer Größen an Proben auftritt, die „mit den Fingern zu greifen“ sind und damit Mikro- und Makrokosmos miteinander verbinden. Genutzt werden sie zur Reproduzierung und Bewahrung elektrischer Einheiten mit höchster Genauigkeit und unabhängig von Ort und Zeit. Der Josephson-Effekt ist ein solcher Effekt. Er gestattet es, eine elektrische Spannung auf das Produkt aus einer Frequenz und dem Naturkonstantenquotienten $2e/h$ zurückzuführen. In ähnlicher Weise verknüpft der Quanten-Hall-Effekt einen elektrischen Widerstand mit dem Naturkonstantenquotienten h/e^2 . Als Dritter im Bunde ist seit einiger Zeit der Einzelelektronentransport hinzugekommen, der es erlaubt, eine elektrische Stromstärke aus einer Frequenz und der Elementarladung e abzuleiten.

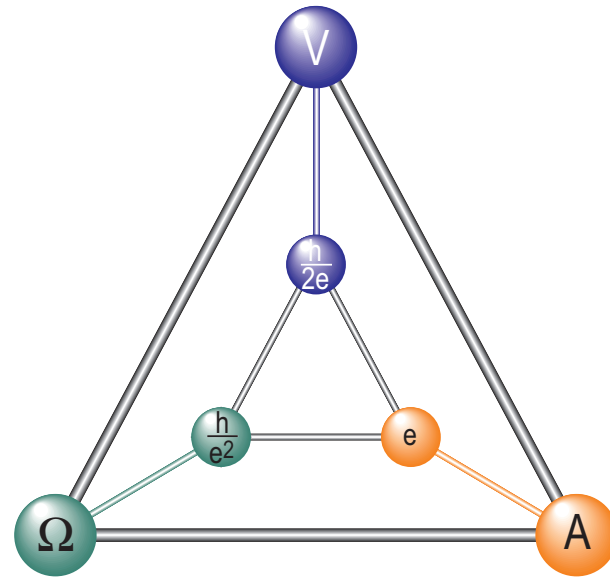


Bild 1: Verknüpfung elektrischer Einheiten mit Naturkonstanten

Mit Hilfe des Josephson- und des Quanten-Hall-Effekts können die elektrischen Einheiten für Spannung und Widerstand mit Unsicherheiten reproduziert werden, die deutlich unter denen für die Darstellung in SI-Einheiten liegen. Um die diesen beiden Quanteneffekten inhärente Genauigkeit für die Präzisions-Messtechnik nutzbar machen zu können, haben die Gremien der Meterkonvention empfohlen, mit Wirkung vom 1. Januar 1990 für die Naturkonstantenquotienten $2e/h$ (Josephson-Konstante K_J) und h/e^2 (von-Klitzing-Konstante R_K) konventionell vereinbarte Zahlenwerte als Grundlage für Kalibrierungen zu verwenden. In enger Anlehnung an den jeweiligen SI-Wert wurden festgelegt: $K_{J-90} = 483\,597,9 \text{ GHz/V}$ und $R_{K-90} = 25\,812,807 \, \Omega$. Heute, zehn Jahre später, zeigt sich, dass diese Festlegungen gut getroffen waren. Die Ergebnisse der neuen Ausgleichsrechnung für Fundamentalkonstanten zeigen, dass die Zahlenwerte nicht geändert werden müssen. Die Unsicherheit, mit der

Wechselstrom-Quanten-Hall-Effekts nach der Montage auf einen Probenhalter

diese Konstanten im SI-System bekannt sind, verringert sich jedoch um eine Größenordnung.

Während der Josephson- und der Quanten-Hall-Effekt bereits seit Beginn der 70er beziehungsweise 80er Jahre messtechnisch genutzt werden, befindet sich der Einzelelektronentransport (SET) noch im Stadium der Grundlagenforschung. Hier zeichnet sich ein Kopf-an-Kopf-Rennen zwischen Halbleiter- und metallischen Strukturen ab, wobei letztere zurzeit noch die Nase vorn haben. Die Abteilung ist auf beiden Gebieten tätig und kann auf international beachtete Erfolge verweisen. Bei den Halbleitermaterialien findet der Elektronentransport in einem eindimensional leitfähigen Kanal statt, in dem das Potential mit Hilfe einer akustischen Oberflächenwelle periodisch moduliert wird. Einzelne Elektronen werden in den Potentialmulden im Takt der Frequenz der Oberflächenwelle wie beim Wellenreiten bewegt und tragen so zum kontrollierten Stromtransport bei. Dieser Effekt, erst 1996 an der Universität Cambridge entdeckt, bietet gute Aussichten für die Realisierung eines Quantennormals für die Einheit der elektrischen Stromstärke. In der PTB wurden auf der Basis von Heterostrukturen mit hoher Elektronenbeweglichkeit Proben hergestellt, mit denen dieser Effekt messtechnisch genutzt werden kann, wobei es gelang, den Frequenzbereich für den Betrieb der Schaltung nahezu zu verdoppeln und damit die erzielbare Stromstärke entsprechend zu erhöhen.

Die Wirkungsweise der metallischen Strukturen beruht auf dem Tunneln einzelner Elektronen aus einem Reservoir über eine Barriere auf eine in ihrem Potential modulierte leitende Insel beziehungsweise von dieser Insel über eine weitere Barriere in ein zweites Reservoir. Um den Einfluß parasitärer Tunnel-effekte herabzusetzen, schaltet man mehrere durch Barrieren getrennte Inseln in Form eines Drehkreuzes (turnstile) oder einer Elektronenpumpe (pump) in Reihe, wobei Kotunneln und Rauschen nach wie vor einer Verwendung in der Präzisionsmesstechnik im Wege stehen. Die in der PTB entwickelten Reihenschaltungen aus SET-Strukturen und Widerständen (sog. R-pumps) zeigen deutlich geringere parasitäre Tunneleffekte als herkömmliche Schaltungen und erlauben die

Entwicklung einfacher und präziser Elektronenpumpen. In Zusammenarbeit mit der Moscow State University konnten Mitarbeiter der Abteilung nachweisen, dass das Rauschen von SET-Strukturen überwiegend von Hintergrundladungen im Substrat verursacht wird und durch sorgfältiges Design der Schaltungen auf einen Wert abgesenkt werden kann, der nahe an der durch weißes Rauschen gesetzten Grenze liegt und weltweit bisher noch nicht unterschritten wurde.

Kaum ein Nutzer von Flugtickets, Fahrausweisen oder Parkscheinen mit Magnetstreifen ist sich bewusst, dass die Sicherheit und Beständigkeit der darauf gespeicherten Daten auf von der PTB zertifizierten Referenzmaterialien beruht. Mitarbeiter der Abteilung sind und waren maßgeblich an der Normung für magnetische Datenträger für digitale Aufzeichnungen – Disketten, Identifikationskarten sowie dünne, biegsame Karten und Sparbücher mit Magnetstreifen – beteiligt und haben im Rahmen dieser Normungsarbeit Messverfahren zur effektiven und kostengünstigen Ermittlung der magnetischen Kenndaten der eingesetzten Datenträger entwickelt, die den Herstellern die Optimierung der Eigenschaften ihrer Magnetstreifen erleichtern.

In enger Zusammenarbeit mit Herstellern von Festplatten und Analysegeräten sowie Universitäten wird mittlerweile – nicht zuletzt auch im Rahmen des vom BMBF neu geschaffenen und geförderten Kompetenzzentrums „Nanoanalytik“ – an Verfahren zur Charakterisierung der Speichermedien der nächsten Generation gearbeitet. Dafür genügt es nicht mehr, Bereiche unterschiedlicher Magnetisierung messtechnisch zu erfassen, sondern es müssen die von einzelnen Grains ausgehenden magnetischen Felder erfasst werden können. Daher wurde mit dem Aufbau eines auf einer Messspindel montierten Kraftmikroskops zur Untersuchung von digitalen, rotierenden Datenträgern begonnen. Die hierbei eingesetzte Magnetkraft-Mikroskopie ermöglicht nicht nur die Aufnahme der Grainstruktur von magnetischen Festplatten sondern auch die Charakterisierung ihrer Oberflächen. Die Kenntnis der magnetischen und mechanischen Struktur der Festplattenoberflächen ist aber der Schlüssel zur zukünftigen Herstel-

Titelbild
GaAs-Heterostruktur zur Untersuchung des

lung von Speichermedien höchster Aufzeichnungsdichte mit annähernd 100 Milliarden Bytes auf dem Quadratcentimeter (500 GB/in²).

Der Bereich des gesetzlichen Messwesens wird zurzeit durch zwei Entwicklungen nachhaltig beeinflusst: Die in Vorbereitung befindliche EU-Richtlinie über Messgeräte im gesetzlichen Messwesen, die *Measurement Instrument Directive (MID)*, und die Liberalisierung der Strommärkte in Deutschland. Mit wenigen Ausnahmen fällt die Bauartzulassung – eine Typprüfung von Messgeräten, die im Bereich des gesetzlichen Messwesens eingesetzt werden sollen – noch unter nationale Hoheit, mit der Konsequenz, dass ein Hersteller solcher Messgeräte für jedes europäische Land eine separate Bauartzulassung benötigt. Diese dem europäischen Integrationsgedanken und einem ungehinderten Austausch von Gütern und Dienstleistungen entgegenstehende Situation soll durch die MID beseitigt werden, die die Bauartzulassung auf die europäische Ebene hebt und gleichzeitig durch verschiedene Module zur Konformitätsbewertung die Verantwortung für die bestimmungsgemäße Funktion der Messgeräte verstärkt auf die Hersteller überträgt.

Nach derzeitigem Stand erfaßt die MID Wirkverbrauchzähler der Klassen 1 und 2 sowie Messwandler. Wirkverbrauchzähler anderer Klassen, Blindverbrauchzähler sowie Zusatzeinrichtungen (Tarifgeräte) fallen noch nicht unter die Bestimmungen der MID. Damit werden bei Zählern etwa 20 % und bei Wandlern 100 % der derzeit zulassungspflichtigen Geräte erfaßt. Die mit Bauartzulassung

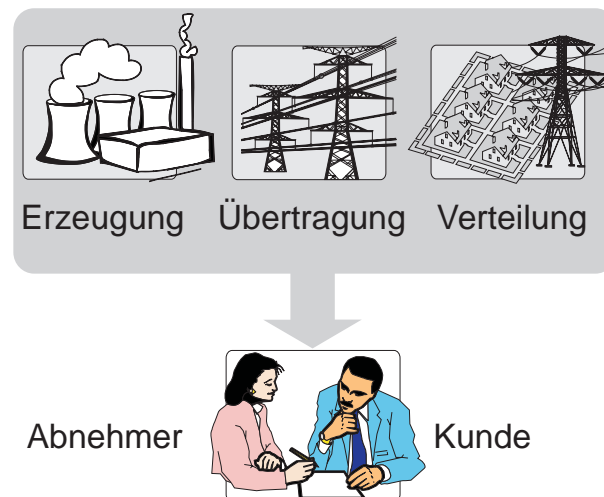


Bild 2: Der geschlossene Strommarkt

sungen befassten Laboratorien der Abteilung werden in Zukunft in unmittelbarem Wettbewerb mit anderen europäischen Zulassungsstellen stehen. Die Abteilung ist für diesen Wettbewerb gut gerüstet, da ihre Laboratorien gerade bei den technisch anspruchsvollsten elektronischen Elektrizitätszählern und Tarifgeräten sowie bei Messwandlern europaweit einen großen Erfahrungsvorsprung besitzen.

Die Liberalisierung der Strommärkte wird sich nicht so sehr auf die Messung elektrischer Energie selbst als vielmehr auf die Tarifgestaltung und die Weiterverarbeitung von Messdaten auswirken (Bilder 2 und 3). Dabei sind bereits heute die nachfolgend aufgelisteten Entwicklungen auszumachen:

- Fernübertragung von Messdaten über Energieleitungen (Power Line Carrier)
- Hinwendung vom Prinzip der Individualgerechtigkeit zum Pauschalabrechnungsprinzip (synthetische Lastprofile)
- verstärkte Verwendung von Kassiereinrichtungszählern („Strom aus dem Supermarkt“)
- Entwicklung der Energieversorgungsunternehmen vom Energielieferanten zum Energiedienstleister (Lastmanagement).

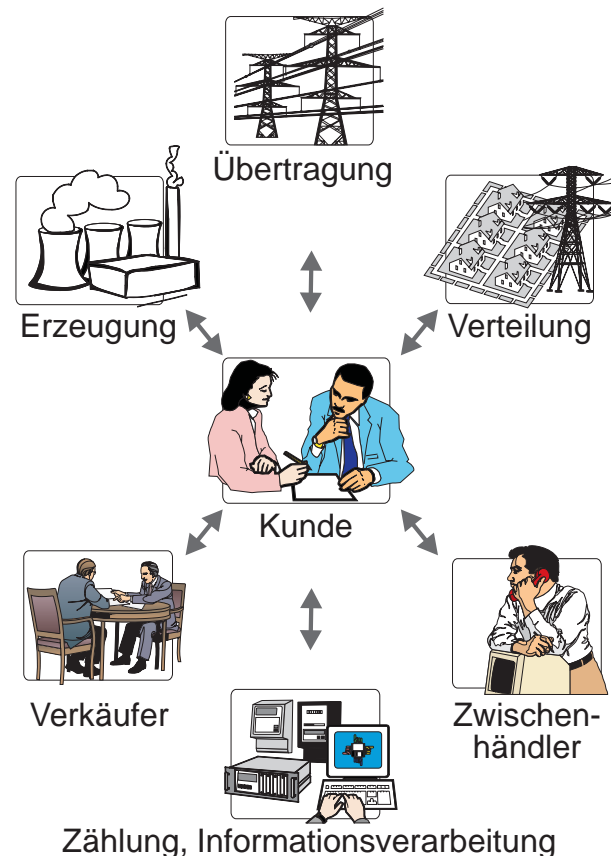


Bild 3: Der liberalisierte Strommarkt

Diese Entwicklungen werden gewiss Rückwirkungen auf Art und Umfang der Bauartzulassung haben, wobei die steigende Vielfalt und Komplexität der Messgeräte bereits heute zu einer höheren Zahl von Zulassungs- und Prüfungsgängen geführt hat.

Die Abteilung hat in Vorbereitung auf diese Entwicklungen bereits jetzt damit begonnen, durch Rationalisierungsmaßnahmen sowie intensive Nutzung moderner Medien wie das Internet, Bauartzulassungen schnell und unbürokratisch zu bearbeiten und ihre Kunden gleichzeitig bei der Antragstellung besser zu unterstützen. In Zusammenarbeit mit Eichbehörden, staatlich anerkannten Prüfstellen und der Industrie wurden für die Zukunft tragfähige Konzepte für die Bauartzulassung entwickelt und während einer von Mitarbeitern der Abteilung initiierten und koordinierten Tagung zum Thema „Messrichtigkeit und Gerechtigkeit im liberalisierten Strommarkt – eine interdisziplinäre Aufgabe“ einer breiten Öffentlichkeit vorgestellt, um das Bewusstsein für aktuelle Probleme auf dem für den Wettbewerb geöffneten deutschen Strommarkt zu wecken und Lösungen anzubieten.

Im Mittelpunkt der internationalen Zusammenarbeit standen die Bemühungen um den Abschluss einer multilateralen Vereinbarung über die gegenseitige Anerkennung von Normalen und Kalibrierzertifikaten der metrologischen Staatsinstitute, das am 14. Oktober dieses Jahres in Paris unterzeichnete *Mutual Recognition Arrangement (MRA)* der Meterkonvention. Diese Vereinbarung besteht aus zwei Teilen. Teil 1 umfasst die gegenseitige Anerkennung der in den Staatsinstituten der Unterzeichner bewahrten Normale, metrologisch abgesichert durch sogenannte *Key Comparisons (KC's)*, die die wichtigsten Messgrößen und Messbereiche in den einzelnen Themenkreisen abdecken. Teil 2 beinhaltet die Mess- und Kalibriermöglichkeiten der Institute, die in den *Regionalen Metrologieorganisationen (RMO's)* harmonisiert und in einem gemeinsam von den RMO's und dem *Internationalen Komitee für Maß und Gewicht (CIPM)* besetzten Komitee verifiziert werden.

Im Verantwortungsbereich des *beratenden Komitees für Elektrizität und Magnetismus (CCEM)* sind 25 KC's beschlossen worden. Diese Vergleiche sollen die Übereinstimmung der Teilnehmer in grundlegenden Bereichen der Metrologie demonstrieren. Sie werden in einem Turnus von etwa zehn Jahren wiederholt. Bei Bedarf können die Messgrößen und Messbereiche auch variiert werden. Die ersten Vergleiche für Kapazität, Gleich- und Wechselspannungsverhältnisse sowie für Wechselstromleistung und verschiedene Hochfrequenzgrößen laufen zurzeit oder sind bereits abgeschlossen worden. Das *Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM)* wird die Ergebnisse in einer Datenbank speichern, auf die jedermann über das Internet zugreifen kann. Um gleich zu Beginn ausreichend Daten zur Verfügung zu haben, wurden bereits früher abgeschlossene Vergleiche auf ihre Eignung als *Interim Key Comparisons* hin untersucht. Damit stellt der Bereich „Elektrizität und Magnetismus“ fast 40 % aller KC's.

Wichtigste Aufgabe der RMO's ist zurzeit die Harmonisierung der von den einzelnen Mitgliedern gemeldeten Mess- und Kalibriermöglichkeiten. Dazu haben Treffen der Kontaktpersonen für Elektrizität von EUROMET und COOMET stattgefunden, auf denen allgemeine Gesichtspunkte in Bezug auf die Darstellung der Daten, aber auch fachspezifische Fragen besprochen wurden. Darüber hinaus haben die RMO's auch die Aufgabe, die KC's auf die Regionen zu übertragen und ergänzende Vergleiche zur Absicherung der Mess- und Kalibriermöglichkeiten durchzuführen. Insbesondere EUROMET hat sich immer durch eine besondere Aktivität auf diesem Gebiet ausgezeichnet, was durch 27 laufende Vergleiche auf dem Gebiet der Elektrizität dokumentiert wird.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Elektrizität)

Grundlagen der Metrologie

Josephson-Spannungsnormale werden programmierbar

Programmierbare Josephson-Spannungsnormale eröffnen völlig neue Wege für Anwendungen bei Wechselspannung oder als Datenwandler.

RSFQ-Logikschaltungen: Ausloten der Grenzen

In einem von der DFG geförderten Projekt werden Prinzipien und fundamentale Operationsgrenzen einer neuen Impulslogik untersucht.

SNS und SINIS: Technologien mit Zukunft

Höhere Verlässlichkeit der Schaltungen und kleinere Strukturbreiten sind die charakteristischen Merkmale dieser neuen Technologien.

Wellenreiten mit Elektronen: Auf dem Weg zu einem neuen Quantennormal?

Einzelelektronentransport mittels akustischer Oberflächenwellen bildet die Grundlage für ein neuartiges Stromstärkenormal.

Nanostrukturen wachsen selbstorganisiert

Selbstorganisiertes Wachstum von Quantenpunkten schafft Strukturen mit besserer lateraler Ordnung, geringerer Dichte sowie homogenerer Größenverteilung.

Weltrekord bei der Verringerung des Rauschens von SET-Schaltungen

Ein neues Design erlaubt die Herstellung von SET-Schaltungen, bei denen die Verringerung des Rauschens an seine natürliche Grenze stößt.

Quanten-Hall-Effekt jetzt auch bei Wechselstrom

Die dem Quanten-Hall-Effekt inhärente Genauigkeit lässt sich auch bei Wechselstrom nutzen und öffnet den Weg für ein neuartiges Impedanznormal.

Kalibrierung ohne Normal: Die Ein-Antennen-Methode

Bei der Ein-Antennen-Methode wird das Normal durch das Spiegelbild des Prüflings ersetzt.

Klein und fein: Die μ -TEM-Zelle

Eine stark verkleinerte TEM-Zelle dient als Normal-Messapparatur für die Darstellung elektromagnetischer Felder.

Streuparametermessungen mit Luftleitungen

Neuentwickelte Luftleitungen im 3,5-mm-Koaxialsystem erlauben Streuparametermessungen bis zu 26,5 GHz.

Die Synchronisierung macht's: Ein neuartiges DFT-Verfahren

Die Synchronisierung von Signal- und Abtastfrequenz verzehnfacht die Genauigkeit bei der Diskreten Fourier-Transformation.

Niederfrequente Wechselspannungen thermisch gemessen

Gemeinsam von der PTB und dem IPHT in Jena entwickelte Dünnschicht-Vielfachthermokonverter können jetzt auch bei Frequenzen bis in den mHz-Bereich eingesetzt werden.

Hohe Spannungen mit hoher Genauigkeit messen

Ein neu entwickelter Hochspannungsteiler erreicht Messunsicherheiten wie im Nieder Spannungsbereich.

Messtechnik für die Industrie

Leitfähigkeitsmessungen erhöhen die Sicherheit in der Luftfahrt

In einem von der EU geförderten Projekt werden Leitfähigkeitsmessungen bei Gleich- und Wechselstrom untersucht.

Epstein- und Tafelblech-Methode finden zueinander

In einer groß angelegten Messserie an verschiedenen magnetischen Werkstoffen wurde die Vergleichbarkeit beider Verfahren hergestellt.

Speichermedien der nächsten Generation

Neue Messverfahren werden für Untersuchungen an hoch dichten Speichermedien entwickelt.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Neue EU-Richtlinie beeinflusst Bauartzulassung elektrischer Messgeräte

Die *Measurement Instrument Directive (MID)* wird die Bauartzulassung von Elektrizitätszählern und Messwandlern auf eine neue Grundlage stellen.

Liberalisierung der Strommärkte stellt das Gesetzliche Messwesen vor neue Herausforderungen

Die Liberalisierung der Strommärkte wird sich stark auf die Tarifgestaltung und die Weiterverarbeitung von Messdaten auswirken.

Internationale Zusammenarbeit

Key Comparisons sichern die Einheitlichkeit der Messungen

Im Rahmen eines multilateralen Abkommens der Meterkonvention garantieren *Key Comparisons* die gegenseitige Anerkennung der nationalen Normale.

Kalibrierangebot der Abteilung auf dem internationalen Prüfstand

Im Rahmen von EUROMET werden die Kalibrierangebote der einzelnen Staatsinstitute geprüft und harmonisiert.

Nanostrukturen: Zusammenarbeit mit Universitäten und Forschungseinrichtungen

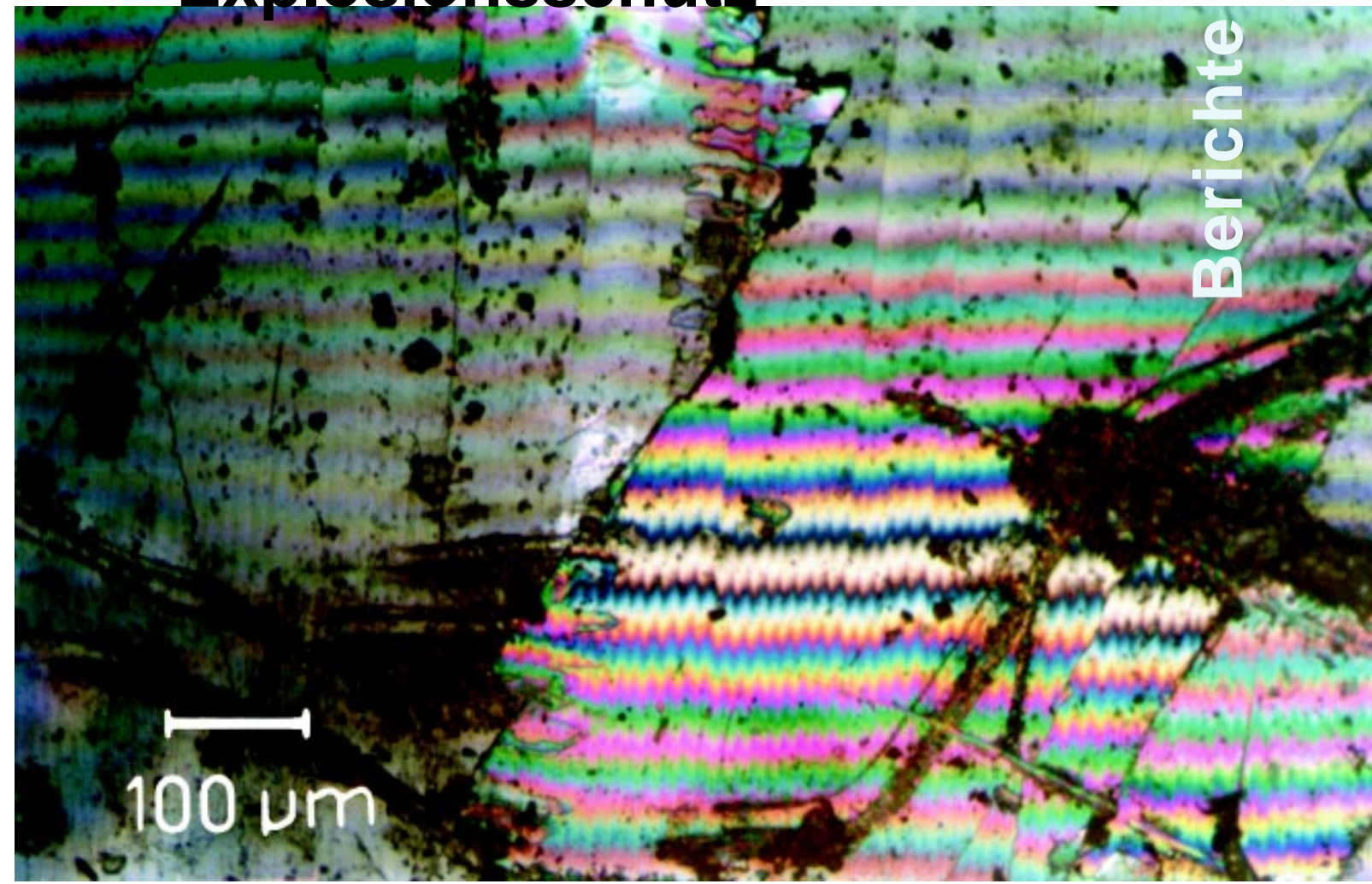
Die Abteilung arbeitet aktiv in zwei Kompetenzzentren mit.

Technologietransfer auf dem Gebiet der Dünnschichtstrukturen

Entwicklungen der Abteilung haben mit Erfolg den Sprung in die industrielle Fertigung vollzogen.

**Thermodynamik
und
Explosionsschutz**

Berichte der Abteilungen



Thermodynamik und Explosionschutz

Neue Herausforderung: „Metrologie in der Chemie“

Es ist Arznei, nicht Gift, was ich dir reiche.
(Lessing, Nathan der Weise)

Gift oder Arznei, der Unterschied liegt oftmals in der Dosis, in der Konzentration des Wirkstoffes. Auch bei den Indikatoren für Krankheiten – den „diagnostic markers“ ist deren – genau bestimmte – Konzentration für Diagnose und Therapie wichtig. Wichtig aus mehreren Gründen: Für den Patienten und den Arzt, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen, denn eine „abgesicherte“ Messung ist billiger als mehrere, die aus „Sicherheitsgründen“ zusätzlich gemacht werden. Die klinische Chemie, die „Labormedizin“, ist nur eine Facette der gesamten chemischen Analytik, deren Aufgabe die Messung der Konzentration eines Stoffes in einer Matrix ist. Um die Voraussetzungen dazu, dies „richtig“ zu tun, kümmert sich die „Metrologie in der Chemie“. Warum die PTB dieses Arbeitsgebiet aufgreifen musste und wie sie das tut, soll im Folgenden kurz dargestellt werden.

Warum „Metrologie in der Chemie“?

Anfang 1990 bemängelte der damalige Government Chemist in Großbritannien, A. Williams, dass organisatorische Strukturen zur Rückführung von Ergebnissen der chemischen Analytik auf nationale Normale, d. h. letztlich auf die Einheiten des SI-Systems, fehlten.

Titelbild

Topographie der (100)-Oberfläche von $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$, dargestellt mit Hilfe des Aufricht-Interferenz-Verfahrens nach Mirau. Sog. ferroelastische „W“-Domänen entstehen beim Abkühlen des Kristalls als Folge einer spontanen Deformation bei der Umwandlung in eine niedersymmetrische Tieftemperaturphase. An der Kristalloberfläche werden so dachkantenähnliche Strukturen („zig-zag profile“) erzeugt (Neigungswinkel $1,3^\circ$, Höhe ca. 50 nm). Solche Strukturen wurden erstmals 1996 mit Hilfe

Warum diese Klage?

In vielen Lebensbereichen, die zunehmend weltweit verknüpft werden, erwächst der chemischen Analytik eine neue, immer wichtiger werdende Rolle: Im Umweltschutz, im Gesundheitswesen und auch für den Handelsverkehr. Denn hier sind chemisch-analytische Messergebnisse häufig Grundlage wichtiger Entscheidungen, die die Lebensqualität und Gesundheit des Einzelnen, aber auch die Qualitätsmerkmale von Waren betreffen. Diese Entscheidungen werden in Gesetze gefasst (z. B. zum Umweltschutz), spiegeln neue Erkenntnisse und Möglichkeiten wieder (Diagnostik und Therapie) oder beruhen auf privatwirtschaftlichen Vereinbarungen (Lieferverträge). Die charakterisierenden Messergebnisse der chemischen Analytik sind nur dann zuverlässig, wenn ihre Genauigkeit dem Verwendungszweck entspricht und quantifiziert ist, d. h. wenn die Messunsicherheit bekannt ist. Kenntnis der Messunsicherheit setzt eine klar organisierte Rückführbarkeit auf nationale Normale und die SI-Einheiten voraus. Folgerichtig rief Williams das *Internationale Komitee für Maß und Gewicht* (CIPM) um Hilfe an, das daraufhin Mitte 1991 eine internationale Ad-hoc-Arbeitsgruppe einberief, der die Gründung einer regulären Arbeitsgruppe im April 1992 und schließlich 1993 die Einrichtung des Beratenden Komitees „Stoffmenge“ (CCQM) der Meterkonvention folgte.

der Rasterkraftmikroskopie nachgewiesen. Das Bild zeigt den ersten lichtoptischen Nachweis dieser Strukturen (Bosbach, Putnis, Bismayer, Güttler: J. Phys. 9, 1997, S. 8397). Solche Domänenstrukturen beeinflussen die Qualität perowskitischer Funktionswerkstoffe, die als Sensormaterialien (Hoch-Tc-Supraleiter, Manganite), Elektrolyte in Brennstoffzellen (Manganite), remanente RAM-Speicher (PZT) oder sog. „smart materials“ (PZT) eingesetzt werden.

Mitglieder des Comité Consultatif pour la Quantité de Matière (CCQM)

NCR	Kanada
NIM/NRCCRM	China
DFM	Dänemark
IRMM	Europäische Union
BNM – LNE	Frankreich
PTB/BAM	Deutschland
NRLM/NIMCR	Japan
KRISS	Korea
NMi	Niederlande
VNIIM	Russland
SP	Schweden
NPL/LGC	Vereinigtes Königreich
NIST	USA
IUPAC	Internationale Institutionen
ISO/REMCO	

Mitglieder des CCQM sind nationale Metrologieinstitute und in einigen Ländern zusätzlich auch nationale chemische Institute sowie die genannten internationalen Institutionen. Deutschland wird durch die PTB und die *Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung* (BAM) vertreten.

Folgende Institute haben zz. Observer-Status:

OMH	Ungarn
OFMET/EMPA	Schweiz
CSIRO/NARL	Australien
GUM	Polen
SMU	Slowakei.

Ist „Metrologie in der Chemie“ PTB-Sache?

Dass die „Metrologie in der Chemie“ eine Aufgabe der PTB ist, war für den damaligen Präsidenten der PTB, D. Kind, selbstverständlich. Er und sein damaliger Amtskollege, J. Lyons vom NIST, USA, waren gewissermaßen die Initiatoren des CCQM. Die PTB ist per Gesetz beauftragt, die Einheiten im Messwesen darzustellen und die nationale und internationale Einheitlichkeit der Maße zu sichern. Messen bedeutet die Ermittlung eines

Größenwertes, auch in der Chemie, es gibt keine eigenständige chemische oder auch biologische Metrologie. Es existiert also ein wohlbegründeter metrologischer Generalanspruch der PTB in den gesamten Naturwissenschaften. Und es gibt metrologische Grundsätze, wie die Rückführbarkeit, die keine blasse Philosophie, sondern jahrzehntelang praktiziertes und bewährtes Handlungsprinzip sind, aber natürlich eine etablierte, funktionierende metrologische Hierarchie voraussetzen. Vor diesem Hintergrund sind die neuen Aufgaben der PTB zur Rückführung von chemisch-analytischen Messungen auf Normale zu sehen, und aus diesem Grund wurde das PTB-Laboratorium „Metrologie in der Chemie“ am 1.1.1992 gegründet. Über die Notwendigkeit einer „Metrologie in der Chemie“ überhaupt und die Zuständigkeit der PTB hierfür im besonderen wurde zu Beginn vehement gestritten, auch heute noch gibt es unterschiedliche Ansichten. Gerade in der Phase der Etablierung des neuen PTB-Arbeitsgebietes wurde verneint, dass das Instrument der Rückführung auf SI-Einheiten in der chemischen Analytik überhaupt anwendbar sei. Keine Frage, Stoffvielfalt und Komplexität werfen hier besondere Probleme auf, aber dass bestimmte metrologische Prinzipien nicht anwendbar sein sollen, diese Ansicht wird schon dadurch widerlegt, dass sich die nationalen metrologischen Institute und die Meterkonvention der Problematik angenommen haben, was auch die Bedeutung zeigt, die der chemischen Analytik weltweit angesichts ihrer „maßgebenden“ Rolle für die globale und individuelle Lebensqualität sowie für den Welthandel zugemessen wird.

Die PTB muss sich also in der „Metrologie in der Chemie“ engagieren, es ist ihre Aufgabe. Die Größe dieser Aufgabe verlangt allerdings das Zusammenwirken verschiedener nationaler und internationaler Partner sowie eine Beschränkung auf das unmittelbar Notwendige und Machbare.

Strategien für die „Metrologie in der Chemie“

Strategien und Ziele für die „Metrologie in der Chemie“ entsprechen exakt denjenigen für metrologisches Vorgehen bei jeder anderen großen Messaufgabe: Eine metrologische Hierarchie muss existieren, an deren Spitze die „vernetzten“ metrologischen Staatsinstitute stehen, es müssen die wichtigsten Aufgabenbereiche identifiziert werden und es müssen arbeitsteilig Prozeduren zur gezielten Problemlösung und Absicherung der Ergebnisse verabredet werden.

Wie ist der Stand heute?

Die weltweite Zusammenarbeit der metrologischen Staatsinstitute wird programmatisch durch das CCQM gesteuert. Allerdings ist schon die Frage nach nationalen Normale für die chemische Analytik relativ neu und noch keineswegs vollständig beantwortet. Das CCQM hat in internationaler Übereinkunft die prioritären Bereiche der Analytik identifiziert, wo Rückführbarkeit vordringlich aufgebaut werden muss, um der im Zuge der Globalisierung steigenden Nachfrage begegnen zu können. Schon jetzt ist klar, dass Referenzmaterialien, insbesondere hochreine Stoffe, eine wichtige Rolle auf der nationalen Bezugsebene spielen, dass aber außerdem wegen der Breite und Vielfalt der chemischen Analytik wie auch wegen der Instabilität wichtiger Analyte (z. B. Ozon) komplexe apparative Systeme als nationale Normale benötigt werden.

Die Bezugsebene in Deutschland, auf der die international verglichenen nationalen Normale für Anschlussmessungen bereitgehalten werden, wird gegenwärtig von der PTB gemeinsam mit der BAM und dem *Umweltbundesamt* (UBA) gebildet. Es entspricht genau der Situation in anderen Industrieländern, dass das nationale metrologische Institut (PTB), das in der Regel per Gesetz für die nationalen Normale zuständig ist, die vielfältige Aufgabe der Rückführung chemisch-analytischer Messungen nicht allein bewältigen kann. Daher wurden vertragliche Vereinbarungen mit der BAM und dem UBA getroffen, die dadurch Teilbereiche der Zuständigkeit für nationale Normale von der PTB übertragen bekommen haben. Diese Arbeitsteilung ermöglicht auch die Teilnahme Deutschlands an möglichst vielen der so-

nannten key comparisons (Schlüsselvergleiche) auf dem Gebiet der chemischen Analytik, mit denen im Rahmen der Meterkonvention die nationalen Normale verglichen und international auf Äquivalenz überprüft werden.

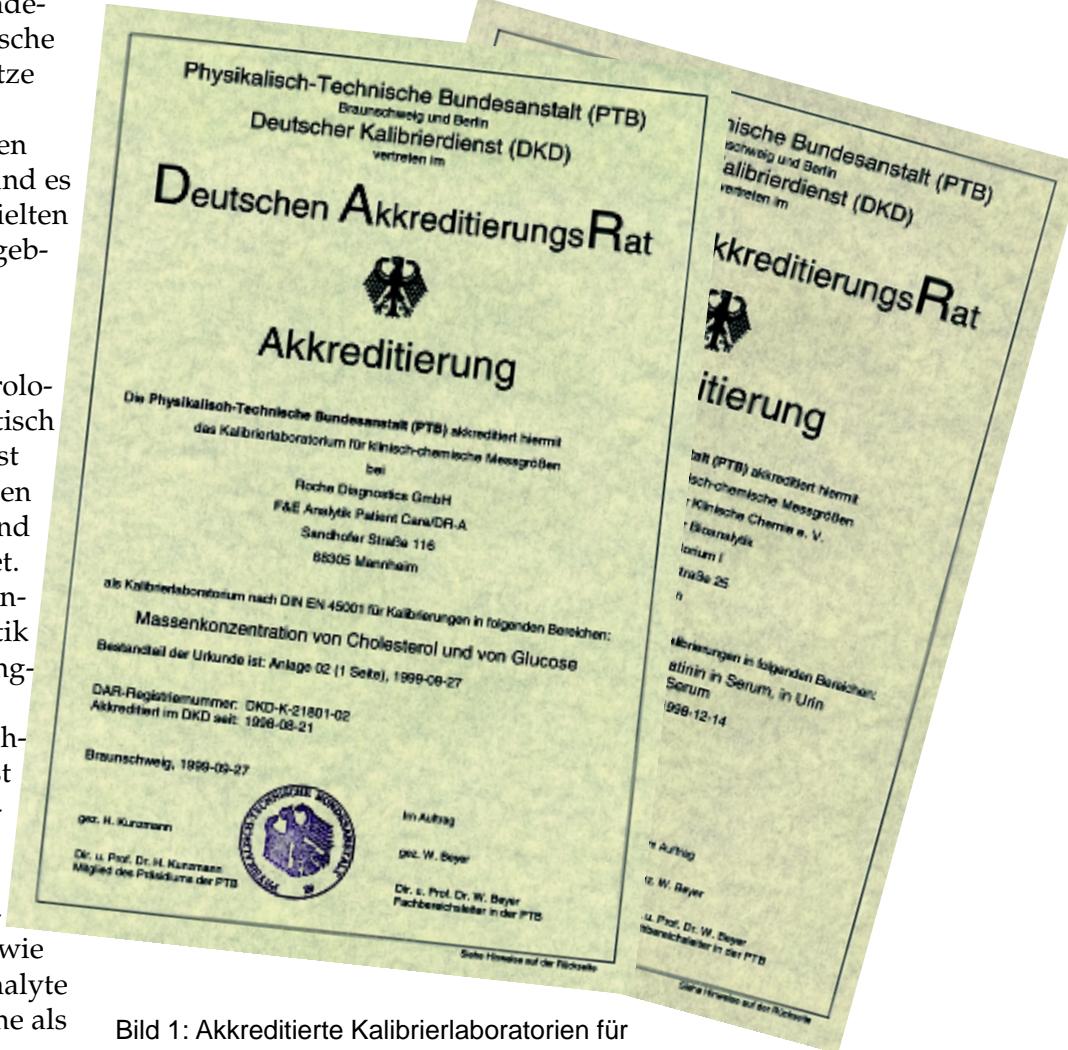
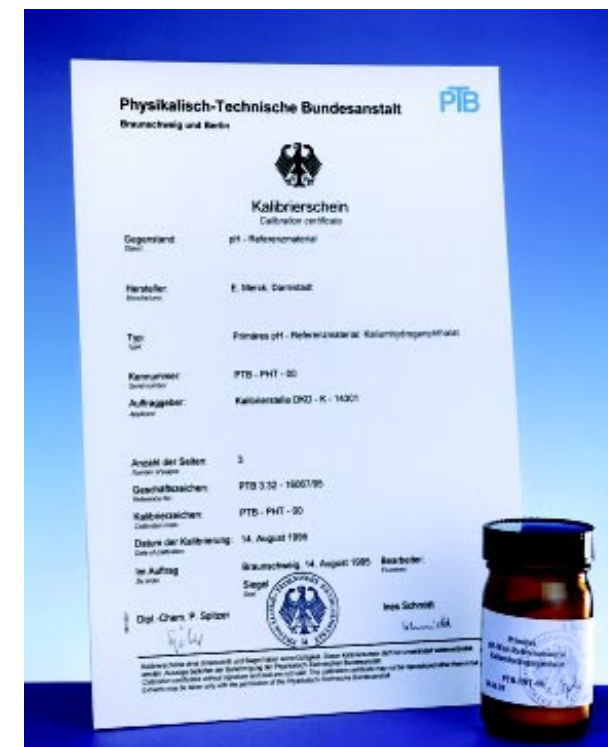


Bild 1: Akkreditierte Kalibrierlaboratorien für klinisch-chemische Messgrößen übernehmen eine wichtige Multiplikatorfunktion bei der Rückführung von Analyseergebnissen.

Eine Anzahl von Interessengemeinschaften wird zunehmend in die metrologische Arbeit eingebunden: EUROMET, EURACHEM, CITAC. EUROMET (eine Arbeitsgemeinschaft der europäischen Metrologieinstitute) hatte schon vor der Gründung des CCQM das Fachgebiet (Subject Field) „Amount of Substance“ eingerichtet. EURACHEM (ein Netzwerk nationaler Arbeitsgruppen aus der analytischen Chemie) ist das europäische Forum für Qualitätssicherung in der Analytik. Die *Cooperation on International Traceability in Analytical Chemistry* (CITAC) agiert weltweit über eine Gruppe nationaler Kontaktpersonen und hat eine Brückenfunktion zwischen dem CCQM und der Gebrauchsebene.

Die aktuellen Themen der PTB

Von Anfang an war es das Ziel der PTB, Rückführungsstrukturen für besonders wichtige Bereiche der chemischen Analytik aufzubauen und international anzubinden. Dieser Aufbau ist zwar noch nicht abgeschlossen, aber es lässt sich folgende Zwischenbilanz ziehen: Rückführungsstrukturen existieren für die klinische Chemie, für bestimmte Bereiche der Gasanalytik im Umweltschutz sowie für die pH-Messung und die elektrolytische Leitfähigkeit für die Charakterisierung von Reinstwasser (Pharmazie, Halbleiter, Kraftwerke), und sie sind im Aufbau für die Elementanalytik. In den letzten Jahren hat sich die PTB insbesondere in Teilbereichen der klinischen Chemie stark engagiert. Dies geschah auf Betreiben der Bundesärztekammer, die für die Referenzmethodenwerte ihrer klinischen Referenzlaboratorien Rückführbarkeit auf die SI-Einheiten gefordert hat. Als Resultat dieser Forderung an die PTB wurde Rückführbarkeit für diagnostisch wichtige Bestandteile des Blutserums aufgebaut (s. CD-ROM: Nachrichten aus der Abteilung Thermodynamik und Explosionsschutz „Klinische Chemie:“). Ein gemeinsames Merkmal all dieser Strukturen ist, dass die im DKD als Kalibrierlaboratorien akkreditierten chemisch-analytischen Laboratorien auf der Sekundärebene die Weitergabe der nationalen Normale an die Gebrauchsebene vermitteln und dabei eine Multiplikatorfunktion ausüben.



Die Etablierung dieser Rückführungsstrukturen geschieht selbstverständlich in Zusammenarbeit und im Vergleich mit nationalen und internationalen Fachinstitutionen. Die Wertschätzung der PTB-Arbeiten zeigt sich auch im Wunsch von Entwicklungsländern nach Beratung beim Aufbau analoger metrologischer Systeme.



Bild 3: Probennahme für die Untersuchung von Bestandteilen des menschlichen Blutes

Wie geht es weiter?

In naher Zukunft muss eine Reihe fachlicher und nichtfachlicher Schwierigkeiten überwunden werden. Als nichtfachliches Hindernis ist trotz steigender Nachfrage nach Rückführbarkeit in bestimmten Bereichen die noch immer von Zurückhaltung bis Ablehnung reichende Haltung der deutschen chemischen Industrie gegenüber allen Bemühungen zum Aufbau von Rückführungsstrukturen zu nennen. Die Gründe sind hauptsächlich in der Befürchtung weiterer Kosten sowie zusätzlicher staatlicher Reglementierung zu suchen. Wir müssen unser Angebot der Arbeitsteilung, das gerade auf Kostensenkung und Bedarfsorientierung abzielt, noch besser vermitteln und veranstalten hierzu gezielt Workshops und Seminare.

Bild 2: Das erste nationale Normal im Bereich „Metrologie in der Chemie“ wurde für pH-Wertmessungen entwickelt. Die daran angeschlossenen Referenzmaterialien dienen der Weitergabe der „Einheit“ pH-Wert.



Bild 4: Workshops ermöglichen einen intensiven Meinungsaustausch zwischen externen Experten und PTB-Mitarbeitern. Der erste PTB-Workshop im Bereich „Metrologie in der Chemie“ wurde zusammen mit der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (EMPA, St. Gallen) veranstaltet (s. auch CD-ROM: „PTB-Workshops der Abteilung 3: Ein neues Angebot an unsere Kunden“).

Die wünschenswerte Teilnahme an möglichst zahlreichen key comparisons des CCQM bringt andere Schwierigkeiten mit sich. Wegen der Vielfalt und Komplexität der Chemie wird trotz sehr restriktiver Handhabung die Anzahl dieser Vergleiche erheblich größer sein als in den meisten anderen metrologischen Fachbereichen. Der Kompromiss zwischen Notwendigkeit und Machbarkeit wird unter den Rahmenbedingungen knapper werdender Ressourcen immer schwieriger zu finden sein.

Ein aktuelles fachliches, aber auch in die gesellschaftspolitische Richtung weisendes Problem ist die Akzeptanz der gesetzlich eingeführten Atemalkoholanalytik im Straßenverkehr, vor allem im Bereich der Rechtsmedizin. Hier ist die PTB in zweifacher Weise involviert, als Behörde, der die Zulassung der Bauarten der Atemalkoholmessgeräte zur Eichung obliegt, und als nationales Metrologieinstitut, das die Rückführung auf die SI-Einheiten sicherstellt. Aus der Praxis heraus ergeben sich hier immer wieder Fragestellungen, die nur im Zusammenwirken von Messtechnik, Rechtsmedizin und Justiz beantwortet werden können, d. h. die die Kompetenz der PTB allein überschreiten. Das kürzlich in der PTB zu diesem Thema unter Beteiligung externer Fachleute ins Leben gerufene Kompetenzforum soll hier unterstützend wirken (s. auch CD-ROM: „Atemalkoholmessung: Ein brisantes Thema“).

Auch das Zusammenführen und Einfügen der verschiedenen Anforderungen und Möglichkeiten der Rückführung in ein nationales metrologisches System bedarf noch eingehender Diskussionen. Dieser Aspekt ist kennzeichnend für die chemische Analytik, die sich durch die große stoffliche Vielfalt und die Komplexität der konkreten Messaufgabe von anderen metrologischen Aufgaben unterscheidet. Da die komplette Rückführungskette bis zu den SI-Einheiten zumeist nicht existiert, sondern oft bei Referenzmaterialien endet, die nur begrenzte (z. B. sektorielle) Bedeutung als Bezugspunkte haben, muss diesen Materialien und ihrem Anschluss an Normal-Messapparaturen und Normal-Messverfahren sowie ihrer Zertifizierung und ihrer Stellung in der metrologischen Hierarchie besonderes Augenmerk gewidmet werden. Dabei muss sich die metrologische Hierarchie auch in einer institutionellen Hierarchie widerspiegeln. Als nächster Schritt wird versucht werden, zusammen mit der BAM ein nationales Referenzmaterialprogramm zu entwickeln.



Bild 5: Arbeitsgruppe „Metrologie in der Chemie“ im Fachbereich 3.2 „Chemische Physik“

Neue Horizonte

Mit der „Metrologie in der Chemie“ hat die PTB ein neues Arbeitsgebiet aufgegriffen, dessen soziale und wirtschaftliche Bedeutung groß ist. Damit einher geht die politische Bedeutung im nationalen und internationalen Rahmen. Das Ziel, Einheitlichkeit und Vergleichbarkeit des Messens in einer wirtschaftlich, verkehrstechnisch und wissenschaftlich zunehmend vernetzten Welt herzustellen, ist eine schon lange bestehende, übergeordnete PTB-Aufgabe. In Zukunft werden jedoch die Chemie, die Medizin und schließlich auch die

Biologie der PTB zunehmend metrologische Anforderungen und Herausforderungen präsentieren, die vor allem eine Chance für

die PTB sind, überall dort, wo gemessen wird, nämlich in allen naturwissenschaftlichen und technischen Disziplinen, Maßstäbe zu setzen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Thermodynamik und Explosionsschutz)

Grundlagen der Metrologie

Internationaler Ringvergleich Druckmessung: Fachlaboratorium 3.13 als Pilotlabor

Von der High-Pressure Working Group des CCM wurde mit 3.13 als Pilotlabor ein „key comparison“ der dimensionellen Messungen und Berechnungsmethoden für die wirksame Querschnittsfläche von Kolben-Zylinder-Systemen für den Druckbereich von 0,05 MPa bis 1 MPa organisiert (3.13).

Klinische Chemie: Elektrolyte

Die für Diagnose und Therapie wichtigen Elemente im Humanserum (Li, Na, K, Ca, Mg, Cl) sind nun mit primären Messverfahren bestimmbar, die Rückführung klinisch-chemischer Analysen auf die Einheiten des SI ist sichergestellt (3.22).

Klinische Chemie: Organische Analyte

Referenzlaboratorien der Bundesärztekammer können nun im DKD als Kalibrierlaboratorien für Cholesterin, Kreatinin und Glucose akkreditiert werden, die Rückführung mittels einer Primärmethode wurde erarbeitet (3.21).

Messtechnik für die Industrie

Hochempfindlicher Nachweis von orientierten, metastabilen Verunreinigungen in Hoch-T_c-Supraleiterschichten

Mit Hilfe der Raman-Spektrometrie wurde metastabiles BaCu₃O₄ als Verunreinigungsphase von Supraleiterschichten gefunden und identifiziert (3.22).

Volumenbestimmung im Mikoliterbereich:

Wie genau dosieren Spritzen und Pipetten? Unterschiede bei der Benetzung der Spritzen und beim Tropfenabriss sind die Hauptursachen für Abweichungen im dosierten Volumen unterschiedlicher Flüssigkeiten, dies hat Folgen für die Kalibrierung der Dosiergeräte (3.11).

Chemsafe im Internet!

Die Datenbank Chemsafe ist seit Oktober 1999 im Internet, sie enthält nun die bewerteten sicherheitsrelevanten Kenndaten von fast 200 neuen Substanzen (3.31).

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Atemalkoholmessung: Ein brisantes Thema

Eichtechnische Fragen standen im Mittelpunkt der Jahresaktivitäten zu diesem sowohl messtechnisch als auch juristisch schwierigen Thema (3.23).

Getreidefeuchte: Alte Probleme – neue Lösungswege

Moderne Analysengeräte messen spektroskopisch neben der Feuchte auch wichtige Inhaltsstoffe des Getreides wie z. B. Protein; neue eichrechtliche Fragen ergeben sich dadurch (3.23).

Brennwertbestimmung von Gasen: Ein Milliardengeschäft

Das gesamte Rohrnetz eines Gasversorgers ist Objekt eines zulassungspflichtigen Rekonstruktionssystems für den Brennwert gelieferter Gase, deren Energie dem Verbraucher in Rechnung gestellt wird (3.14).

Explosionsschutz: Zusammenarbeit PTB – BAM

Die Umsetzung der europäischen Explosionsschutz-Richtlinie erfordert eine Anpassung der traditionellen Aufgabenteilung im Rahmen der existierenden Zusammenarbeit (3.3, 3.4).

Explosionsunglück auf dem Rhein: Ursachenermittlung

Die Explosion eines Tankmotorschiffes und der dadurch verursachte Großbrand waren Anlass für das Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen die PTB zur Klärung der Explosionsursachen heranzuziehen (3.32).

Internationale Zusammenarbeit

Viskosität

Viskositätsmessungen spielen in der Industrie eine wichtige Rolle, was im Rahmen der Technischen Zusammenarbeit und überregionalen Gremienarbeit die PTB als wichtigen Know-how-Vermittler fordert (3.12).

PTB – CENAM: Metrologie in der Chemie

Das 1992 gegründete metrologische Staatsinstitut Mexikos (CENAM) misst der Metrologie in der Chemie große Bedeutung bei, die starke Unterstützung durch die PTB beim Aufbau dieses Arbeitsgebietes ist hoch willkommen (3.2).

PTB – CENAM: Beispiel Elektrochemie

Eine pH-Messapparatur ist das erste Primärnormal des CENAM für die chemische Analytik; sie orientiert sich am entsprechenden PTB-Normal, und auch für die Weitergabe der „Einheit pH-Wert“ werden die PTB-Erfahrungen genutzt (3.21).

Internes

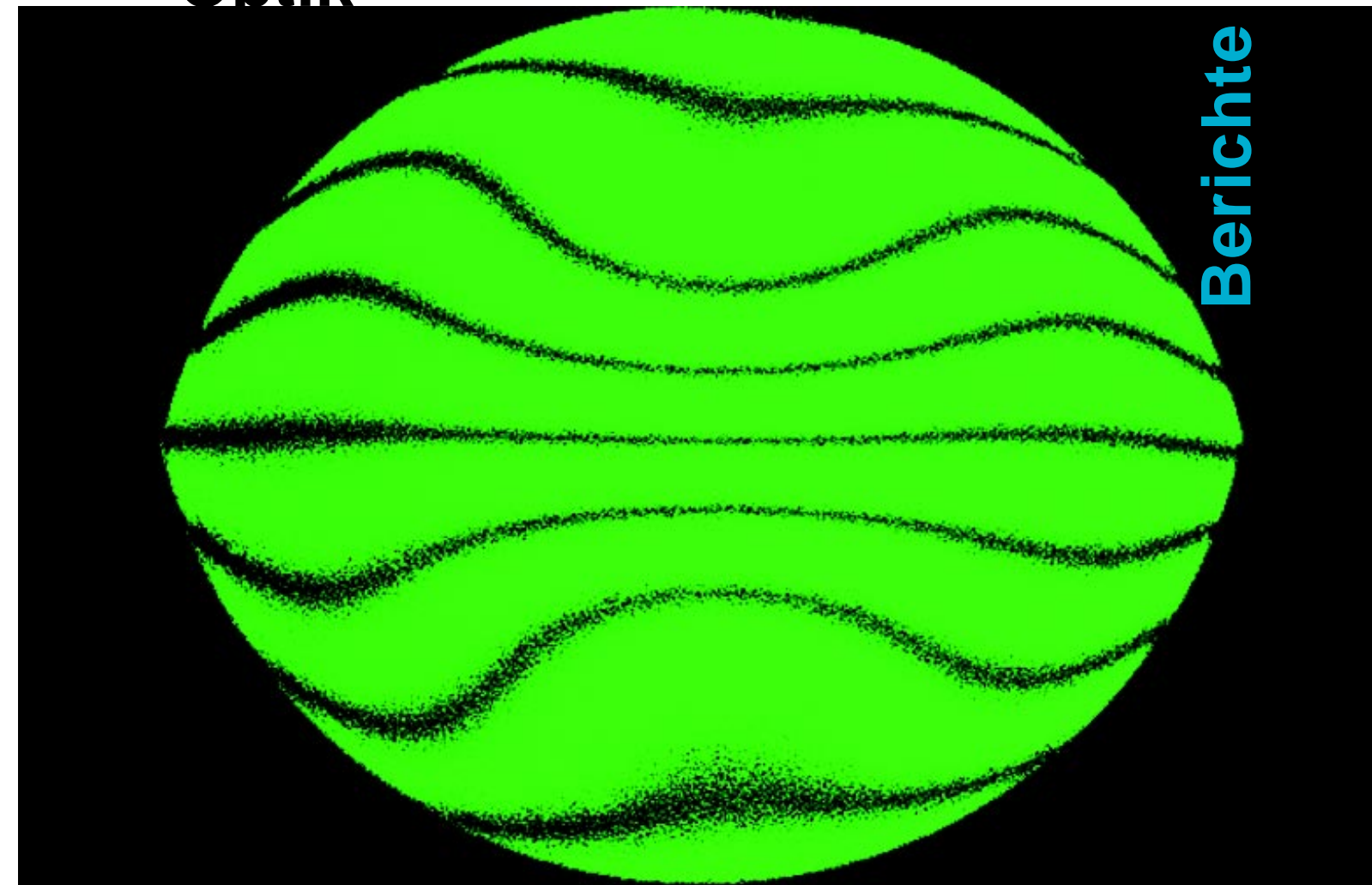
Einführung eines Qualitätsmanagement-Systems in Abteilung 3

Die erste Phase des Projektes wurde mit internen Audits in allen Fachlaboratorien der Abteilung abgeschlossen.

PTB-Workshops der Abteilung 3: Ein neues Angebot an unsere Kunden

Workshops zu aktuellen Themen mit einer begrenzten Anzahl externer Fachleute als Teilnehmer erwiesen sich als gefragtes neues Dienstleistungsangebot; auch die beteiligten PTB-Mitarbeiter profitieren davon.

Optik



Optik

Als die *Physikalisch-Technische Reichsanstalt* (PTR), die Vorgängerin der PTB, 1914 ihre Gliederung auf Sachbereiche umstellte, gehörte die **Abteilung Optik** neben Wärme und Elektrizität zu den drei ersten Organisationseinheiten. Ende der sechziger Jahre untergliederte man die Abteilung in die beiden Gruppen „Licht und Strahlung“ und „Bild- und Wellenoptik“. Im Rahmen einer Neuorganisation kamen 1985 die Gruppen „Länge“ und „Zeit, Frequenz“, die sich später zum Fachbereich „Länge und Zeit“ zusammenschlossen, aus der Abteilung Mechanik hinzu. Damit vereint die Abteilung Optik heute ein Arbeitsgebiet, das elektromagnetische Strahlung vom Mikrowellen- bis zum UV-Bereich für metrologische Zwecke nutzt.

Die einzelnen Aktivitäten lassen sich in sieben Themenkreisen zusammenfassen:

- 1 Radiometrie
- 2 Photometrie
- 3 Bildgebung
- 4 Charakterisierung optischer Materialien und Komponenten
- 5 Quantenoptik
- 6 Zeit und Frequenz
- 7 Optische Frequenz- und Wellenlängennormale.

Diese Schwerpunkte stehen nicht isoliert, sondern sind in vielfacher Weise miteinander verknüpft.

Die Realisierung und Weitergabe der drei Basiseinheiten Candela, Sekunde und Meter und der daraus abgeleiteten Einheiten ist eine durch das Einheitengesetz und das Zeitgesetz begründete Aufgabe der Abteilung. Sie bildet

Titelbild

Typisches Shearing-Interferogramm zur Bestimmung der Wellenfrontfehler von Abbildungsobjektiven. Bislang konnten solche Differenzmessungen nur näherungsweise ausgewertet werden. 1999 gelang die exakte Lösung dieses Problems.

einen bedeutenden Teil der Schwerpunkte 1, 2, 6 und 7. Es ist das permanente Ziel, die Weitergabe der Einheiten den steigenden Anforderungen anzupassen, die externe Kunden stellen. Das betrifft die Verringerung der Messunsicherheit, die Rationalisierung der Kalibrierungen und die Flexibilität bzgl. der Vielfalt der Anwendungen.

Die Entwicklung optischer Messverfahren und die Metrologie an optischen Materialien, Bauelementen und Komponenten, die überwiegend unter den Schwerpunkten 1 bis 4 angesiedelt sind, unterstützen in erheblichem Umfang Schlüsseltechnologien, die zunehmend von der Optik beeinflusst werden.

Unumgänglich ist Grundlagenforschung in allen o. g. Schwerpunkten. Sie dient der langfristigen Sicherung der Stellung der PTB im internationalen Wettbewerb. Große Bedeutung kommt hier der Quantenoptik (Schwerpunkt 5) zu. Ihre Möglichkeiten haben in den letzten Jahren vor allem im Bereich der Schwerpunkte 6 und 7 zu neuen Konzepten geführt, deren Realisierung eine wesentliche Verbesserung von Atomuhren und Frequenznormalen darstellt.

In den folgenden Abschnitten sollen die Besonderheiten und die wichtigsten Ergebnisse des Berichtszeitraums aus den drei Fachbereichen der Abteilung beschrieben werden.

Licht und Strahlung

Die Hauptaufgabe des Fachbereichs ist die Realisierung und Weitergabe der auf komplizierte Weise miteinander verknüpften radiometrischen und photometrischen Einheiten für Wellenlängen oberhalb von 200 nm, der Grenze zum Vakuum-UV. Dieses Arbeitsgebiet ist wie kein anderes durch eine Vielzahl von Apparaturen und Messplätzen gekennzeichnet, die den verschiedenen Bedingungen der Strahlungsmessung Rechnung tragen. Unterschieden wird zwischen Radiometrie an

Empfängern oder Strahlungsquellen und zwischen spektral aufgelösten, integralen oder bewerteten Messungen, wie sie z. B. in der Photometrie und Colorimetrie nötig sind. Zusätzliche Parameter sind die Kohärenz, das Zeitverhalten und das Leistungsniveau der Strahlung.

Besondere Bedeutung im Fachbereich hat in jüngster Zeit die Entwicklung von Messmethoden zur Unterstützung von Schlüsseltechnologien oder zur Lösung von Messproblemen besonderer gesellschafts- oder wirtschaftspolitischer Relevanz erlangt. Hierzu gehört z. B. die Charakterisierung von Komponenten der optischen Nachrichtenübertragung, die Bestimmung des Wirkungsgrades von Solarzellen, die Messung der UV-Globalstrahlung im Zusammenhang mit der Ozonabnahme und die Kalibrierung von Energiesparlampen mit Goniophotometern.

Bild 1 zeigt das Goniophotometer der PTB, in dem ein kalibrierter Empfänger, aufgehängt in einem kardanischen Rahmen von 5 m Durchmesser, um den Prüfling herumgeführt wird. Im Gegensatz zu Messungen in Kugelphotometern (Ulbrichtsche Kugel), die nur für Vergleiche zwischen gleichartigen Lampen geeignet sind, kann im Goniophotometer der PTB auch die absolute Kalibrierung des Lichtstroms ausgedehnter Lichtquellen durchgeführt werden. Die Bestimmung dieser Größe, deren Verhältnis zur aufgenommenen elektrischen Leistung die Lichtausbeute der Quelle charakterisiert, ist Voraussetzung für die Entwicklung von Energiesparlampen.

Die folgenden Zahlen belegen die wirtschaftliche Bedeutung solcher Messungen. In Industrieländern wird etwa 20 % der gesamten elektrischen Energie für Beleuchtung verbraucht. In Entwicklungsländern steigt dieser Anteil auf etwa 80 %. Während jedoch in den Industrieländern zunehmend effiziente Lampen mit bis zu 150 lm/W eingesetzt werden, sind in den Entwicklungsländern überwiegend Standardglühlampen mit etwa 20 lm/W zu finden.

Alle radiometrischen Messungen im Fachbereich werden letztlich auf Primärnormale, das Kryoradiometer für Empfänger und Hohlraumstrahler für Leuchten und Strahler, zurückgeführt. Umfangreiche internationale Vergleichsmessungen sorgen für eine welt-

weite Anerkennung der Messungen und ebnen den Weg zum Abbau von Handelshemmnissen. Als Beispiel sei ein kürzlich unterzeichnetes bilaterales Abkommen zwischen PTB und NIST über die Gleichwertigkeit von Kalibrierungen in der Photometrie und Radiometrie erwähnt. Es erleichtert der deutschen Lampenindustrie den Zugang zum amerikanischen Markt.

Bild- und Wellenoptik

Die Schwerpunkte dieses Fachbereichs lassen sich grob in zwei Bereiche einteilen: Bildgebung sowie optische Materialien und Komponenten. Sie sind vorzugsweise im Hochtechnologiebereich angesiedelt und unterstützen wichtige Schlüsseltechnologien.

Im Bereich Bildgebung werden die Eigenschaften abbildender Elemente, und zwar vorwiegend refraktiver, aber auch diffraktiver und reflektiver, untersucht. Neben der Messung der optischen Übertragungsfunktion von Hochleistungs- und Kalibrieroptiken nimmt vor allem die Bestimmung der Wellenaberration eine herausragende Stellung ein. Für ihre Messung werden verschiedene interferometrische Methoden wie Twyman-Green- und Shearing-Verfahren eingesetzt und weiterentwickelt (s. Titelbild).

Zur Bildgebung zählt auch die Bestimmung der Empfindlichkeit, der Übertragungsfunktion und des Rauschens analoger und digitaler Bilddetektoren. Dazu gehören photographische Schichten (Sensitometrie), Film-Folien-Systeme der medizinischen Radiologie, digitale Empfänger für die Medizintechnik, sowie Scanner zur Digitalisierung analoger medizinischer Bilder (Bildgebung in der Medizin). Diese Messungen werden ergänzt durch Verfahren zur Charakterisierung digitaler elektronischer Kameras für Messtechnik und Amateurbereich (elektronische Stehbildphotographie). Des Weiteren werden grundlegende Probleme verschiedener mikroskopischer Abbildungsverfahren wie Lichtmikroskopie, Kraftmikroskopie, optische Nahfeldmikroskopie und Rasterelektronenmikroskopie untersucht (quantitative Mikroskopie). Sie führen zu Verfahren, welche die Vermessung ein- und zweidimensionaler Mikrostrukturen zum Ziel haben, die für die Halbleitertechnik, die Medizin und die Biologie sowie für die Umwelttechnik von Bedeutung sind.

Bild 2 verdeutlicht die im Nanometerbereich liegende Auflösung moderner mikroskopischer Verfahren für Messungen an Mikrostrukturen.

Zu den Aufgaben des Bereiches optische Materialien und Komponenten gehören die Refraktometrie von Gläsern und Flüssigkeiten, die Polarimetrie, Transmissions- und Reflexionsmessungen sowie die Charakterisierung optischer Flächen.

Besondere Bedeutung kommt der Asphärenmessung zu. Moderne Hochleistungsobjektive und vor allem die noch zu entwickelnden Abbildungssysteme der Röntgenlithographie oder Satellitenkommunikation verlangen Messungen an Asphären, die mit den herkömmlichen interferentiellen Methoden nicht mehr möglich sind. Im Fachbereich wurden verschiedene Scanning-Verfahren entwickelt, die das Potential bieten, dieses Messproblem zu lösen.

Länge und Zeit

Ein wesentlicher Teil der Kapazitäten des Fachbereichs wird durch die Realisierung und Weitergabe der SI-Basiseinheiten Meter und Sekunde sowie durch die Verbreitung der gesetzlichen Zeit für die Bundesrepublik Deutschland gebunden.

Die „konventionellen“ primären Cs-Atomuhren der PTB, die thermische Cs-Atomstrahlen verwenden, werden weiterentwickelt und im Dauerbetrieb zur Realisierung der Atomzeitskala UTC(PTB) eingesetzt. Auf dem Gebiet der Realisierung der Zeit mit primären Normalen hat die PTB traditionell eine führende, weltweit unangefochtene Spitzenposition. So ist die Langzeitstabilität der internationalen Atomzeitskalen TAI und UTC weitgehend von der Qualität der PTB-Normale abhängig. In jüngster Zeit hat sich das Schwergewicht der Forschung und der Entwicklung auf neue Atomuhren mit kalten Cs-Atomen und verringerter Unsicherheit verlagert. So entstand in der PTB eine neue „Cs-Fontänen-Atomuhr“, die zurzeit auf den Dauerbetrieb vorbereitet wird (Bild 3).

Die Verbreitung der gesetzlichen Zeit in der Bundesrepublik Deutschland geschieht vorwiegend über den Langwellensender DCF77. Wegen der weitgehenden Synchronisation der nationalen Zeitskalen und der in der Vergangenheit gezeigten Zuverlässigkeit des Senders hat es sich darüber hinaus eingebürgert, dass seine Zeitzeichen auch außerhalb der Bundesrepublik in weiten Teilen Europas genutzt werden. Diverse Anfragen über die Jahr-2000-Problematik haben noch einmal wichtige Anwendungen dieser Zeitverbreitung u. a. in den Bereichen Flugsicherung, Bahn, Fernsehen, Telekom und Energieversorgungsunternehmen aufgezeigt. Zusätzlich bietet die PTB Zeitsignale auf verschiedenen anderen Kanälen an, z. B. über Telefon (zz. 400 Anrufe/Tag) und Internet (zz. etwa 300 000 Zeitanfragen pro Tag).

Im optischen Spektralbereich werden frequenzstabilisierte Laser als optische Frequenz- bzw. Wellenlängennormale entwickelt. Sie sind Grundlage für die Realisierung der Längeneinheit mit interferentiellen Methoden und sie stellen andererseits Frequenznormale mit hoher relativer Stabilität dar. Für verschiedene Anwendungen und Frequenzbereiche sind so Laser aufgebaut worden, die auf Absorptionslinien i) eines einzelnen Ions (Yb^+), ii) lasergekühlter Atome (Ca) oder thermischer Gase (I_2 , C_2H_2 , CH_4 , O_2 , O_4) stabilisiert wurden.

Ein Gebiet intensiver Forschung bildet die Entwicklung dauerbetriebsfähiger Frequenzketten zum phasenkohärenten Anschluss beliebiger optischer Frequenzen an den Mikrowellenbereich der Atomuhren. Mit einer in den vergangenen Jahren entwickelten, sehr aufwendigen Kette, die auf Schwebungsfrequenzmessungen zwischen Oberwellen beruht, gelang erstmals eine solche Messung für den Ca-stabilisierten Laser. Neuere, zum Teil im Fachbereich erdachte Methoden (Frequenzintervallteilung, Frequenzkammgeneratoren) versprechen eine wesentliche Vereinfachung dieser Technik. Der Erfolg dieser Arbeiten wird darüber entscheiden, ob ein Laser in absehbarer Zukunft als Oszillator einer optischen Uhr genutzt werden kann.

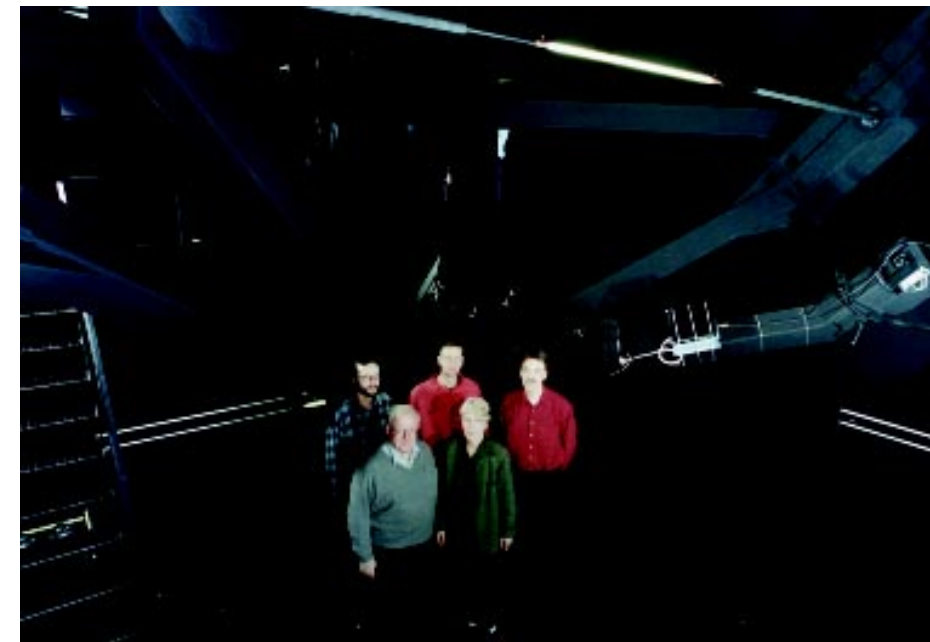


Bild 1: Bestimmung des Lichtstroms einer Leuchtstoffröhre im Goniophotometer

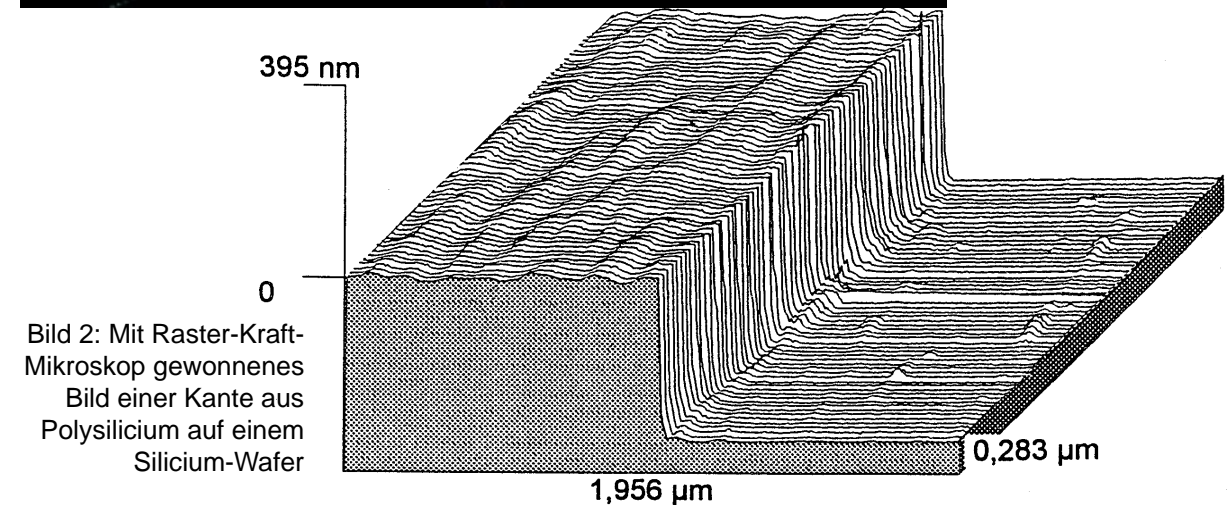


Bild 2: Mit Raster-Kraft-Mikroskop gewonnenes Bild einer Kante aus Polysilicium auf einem Silicium-Wafer

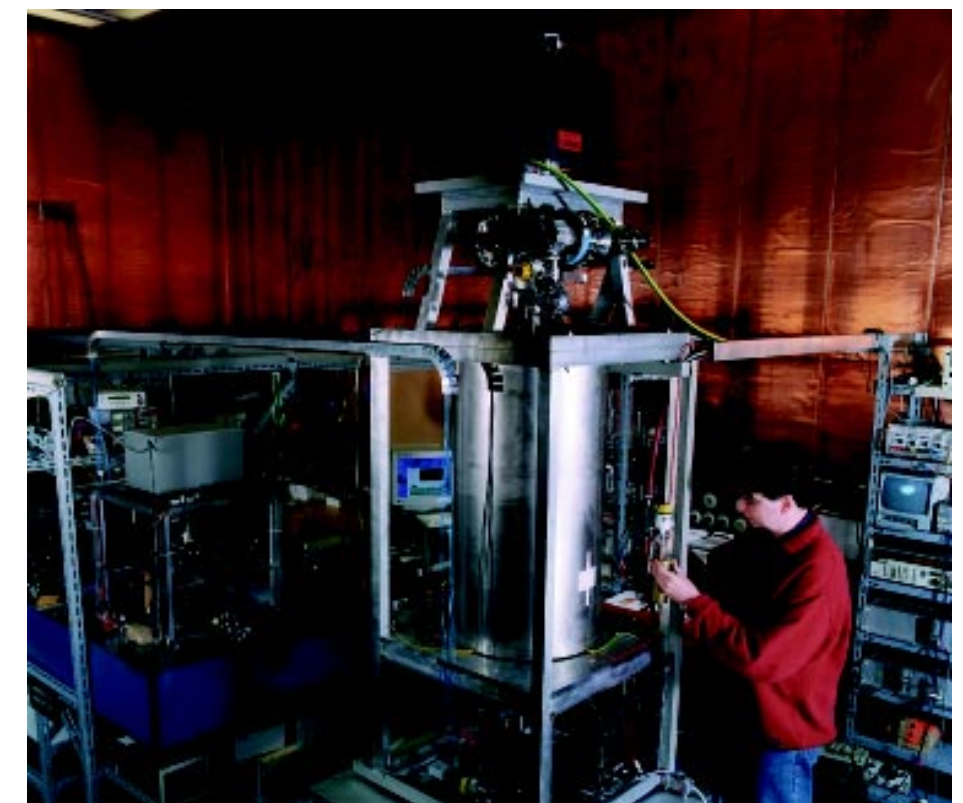


Bild 3: Primäre Cs-Springbrunnenuhr, in der lasergekühlte Atome aus einer Fontäne den Resonator in ballistischem Flug durchsetzen

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Optik)

Grundlagen der Metrologie

Caesium-Fontäne

Eine neu aufgebaute Atomuhr, die mit kalten ballistischen Cs-Atomen arbeitet, lässt relative Frequenzunsicherheiten von 10^{-15} erwarten.

Atominterferometrie

Bewegten Atomen kann nach de Broglie eine Welle zugeordnet werden. Ähnlich wie in der Interferometrie mit Photonen kann diese Erscheinung für eine Vielzahl von Präzisionsexperimenten genutzt werden.

fs-Laser

Kurze Lichtpulse bieten nicht nur die Möglichkeit zur Untersuchung schneller Vorgänge. Das breite, kammartige Spektrum eines modengekoppelten fs-Lasers gestattet die kohärente Überbrückung großer Frequenzintervalle, eine Voraussetzung für die Entwicklung optischer Uhren.

Hohlraumstrahler

Untersuchungen an Hohlraumstrahlern dienen dazu, die Unsicherheiten der mit diesem Normal realisierten radiometrischen Größen zu reduzieren.

Messtechnik für die Industrie

Abgeschlossene Vorhaben

Drei durch Drittmittel geförderte Vorhaben auf den Gebieten der interferentiellen Formmessung, des Augenschutzes und der Röntgendiagnostik wurden erfolgreich abgeschlossen.

Optische Formprüfung

Die Formprüfung an Sphären und Asphären im Nanometerbereich ist eine Voraussetzung für den Bau effizienter Abbildungssysteme in der Lithographie oder Satellitenkommunikation. Wo interferentielle Verfahren an ihre Grenzen stoßen, konnten sog. Scanning-Verfahren eingesetzt werden.

Digitale Bildaufnahme und -verarbeitung

Photographische analoge Verfahren werden zunehmend durch elektronische digitale Methoden ersetzt. Sie eröffnen auch neue Wege in der Metrologie.

Radiometrische Transfornormale

Die Verbesserung von Transfornormalen ist erforderlich, um kleine im Laboratorium erzielte Messunsicherheiten an den Nutzer in der Industrie weiter zu geben.

Optische Nachrichtentechnik

Die Charakterisierung der Laser und optischen Wellenleiter ist Grundlage dieser Technik.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Übertragung der gesetzlichen Zeit

Die PTB verbreitet die gesetzliche Zeit in der Bundesrepublik. Über die Nutzung des Zeitsignalsenders DCF77 auf Langwelle hinaus stehen neuerdings Zeitdienste über Telefon und Internet zur Synchronisation von Rechnern und Datenerfassungssystemen zur Verfügung.

Augenschutz

Die PTB ist akkreditierte Stelle für den Augenschutz. Neben den üblichen Messungen an Schweißerschutz- und Sonnenbrillen stellten in diesem Jahr Untersuchungen an Ausrüstungen zur Beobachtung der Sonnenfinsternis eine besondere Rolle.

Internationale Zusammenarbeit

Internationale Atomzeit TAI

Die im Dauerbetrieb laufenden primären Atomuhren der PTB realisieren die Sekunde mit kleinster Unsicherheit und steuern die Internationale Atomzeit. Satellitenzeitvergleiche übermitteln die Stände der PTB-Uhren zum BIPM.

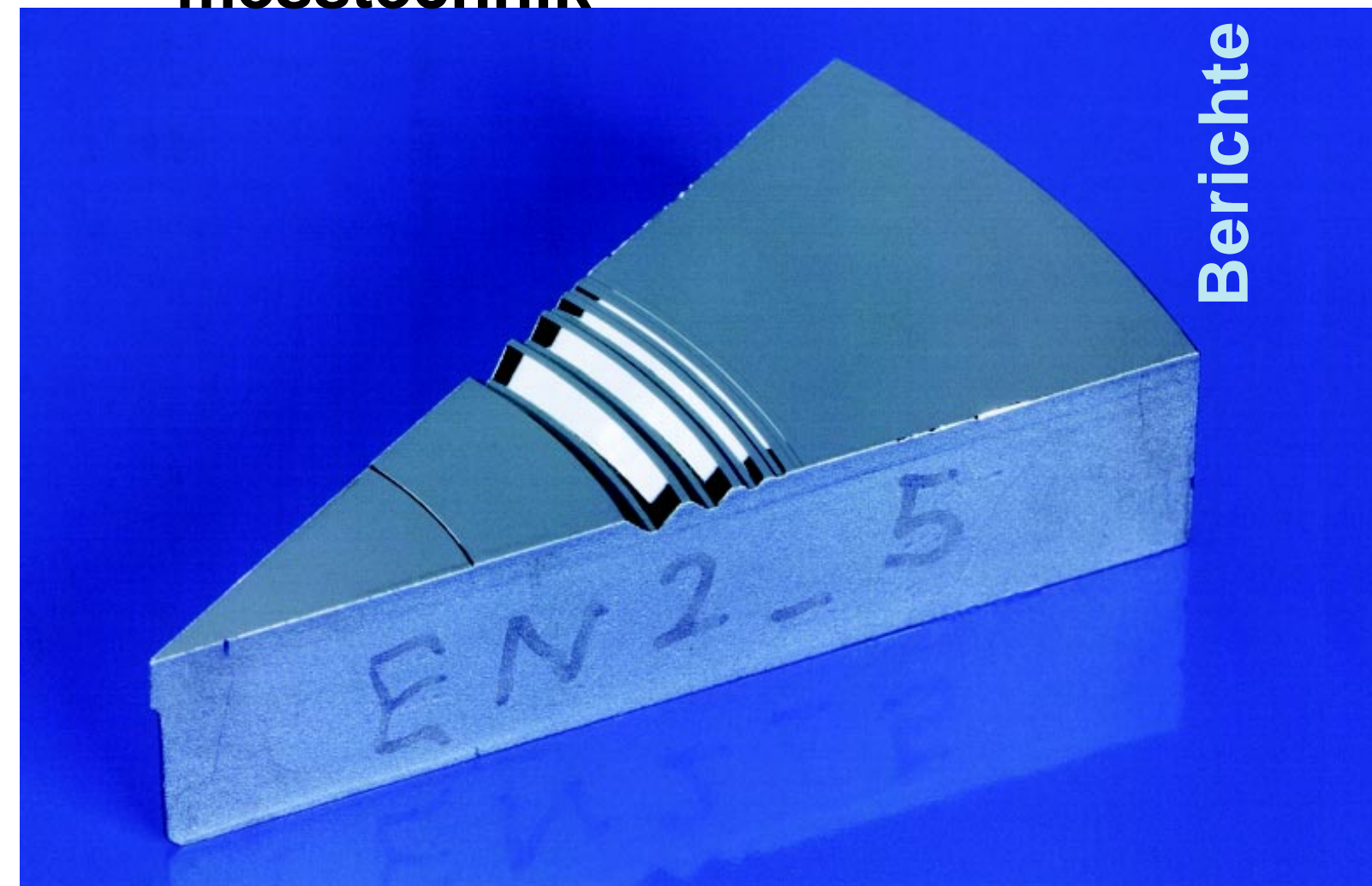
Key-Comparisons in der Photometrie

Die gegenseitige Anerkennung von Normalen und Zertifikaten erfordert umfangreiche internationale Vergleichsmessungen. Für zwei erfolgreich abgeschlossene Schlüsselvergleiche der Lichtstärke und des Lichtstroms war die PTB das Pilotlabor.

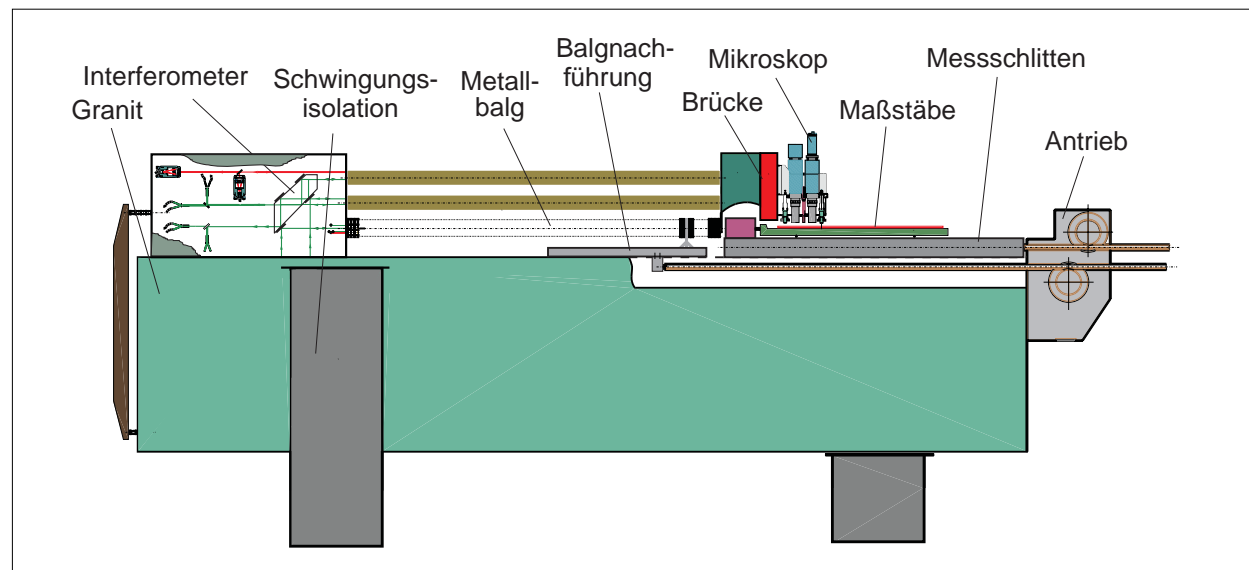
Normungsarbeit

Die Normung bei IEC, ISO, CEN und CENELEC bildet einen weiteren Schwerpunkt der internationalen Zusammenarbeit.

Fertigungs- messtechnik



Fertigungsmesstechnik



Für den eindimensionalen Anschluss an die Längeneinheit mit Unsicherheiten von nur wenigen Nanometern und für fundamentale Untersuchungen zur Strukturlokalisierung wird in Kooperation mit den Firmen Dr. Johannes Heidenhain GmbH und Werth Messtechnik GmbH ein neuer Interferenzkomparator, der sogenannte Nanometerkomparator, aufgebaut. Er ist für die Untersuchung und die Kalibrierung von Photomasken, Strichmaßen, inkrementellen Längenmesssystemen mit Längen bis 610 mm und Photomasken konzipiert.

Prinzip des neuen Nanometerkomparators:

Die Lichtquelle für das Interferometer ist ein mittels Jod-Absorptionslinien stabilisierter Neodym-Yag-Laser hoher Ausgangsleistung mit einer Wellenlänge von 532 nm. Dadurch wird die Auflösung der Interferenzsignale für die Längenmessung im Subnanometerbereich ermöglicht. Um kleinste Messunsicherheiten zu erreichen, befindet sich das Interferometer komplett im Vakuum. Ein fein justierbarer Träger für die Aufnahme der Messobjekte

befindet sich auf einem beweglichen luftgelagerten Messschlitten. Über einen Linearantrieb kann er bei Geschwindigkeiten von 1 $\mu\text{m/s}$ bis etwa 40 mm/s mit hoher Geschwindigkeitskonstanz bewegt werden. Die Schlittenposition wird mit zwei inkrementalen Messsystemen vom Typ LIP 401 bestimmt. Die Lage des Messschlittens wird mit zwei Winkelinterferometern und einem Geradenheitsmesssystem erfasst und mittels Piezostellern geregelt.

An einer stabilen Brücke, unter der der Messschlitten verfahren wird, befindet sich eine universelle Schnittstelle zur Aufnahme von Sensoren für die Lokalisierung der Strukturen vom Messobjekt.

Alle Teile des Komparators sind auf einem 700 mm dicken Granitfundament aufgebaut, das auf vier schwingungsdämpfenden Füßen ruht. Einflüsse auf die Längenmessung infolge von Verbiegungen des Granitfundamentes bzw. der Brücke werden mit Hilfe eines Referenzinterferometers erfasst und korrigiert.

Mit über 80 Temperatursensoren wird die Temperatur des Messobjektes und seiner relevanten Umgebung bestimmt.

Die wichtigen funktions- und leistungsbestimmenden Teile des Nanometerkomparators wie Interferometer, Messschlitten, Antrieb, justierbarer Objektträger, Lokalisierungssensoren, Temperaturmesssystem, Schnittstellen für die Datenkommunikation, die dynamische Messung sowie der thermisch stabile und regelbare Aufstellungsraum werden z.z. erprobt. Die Inbetriebnahme des Komparators in Braunschweig beginnt im Sommer 2000.

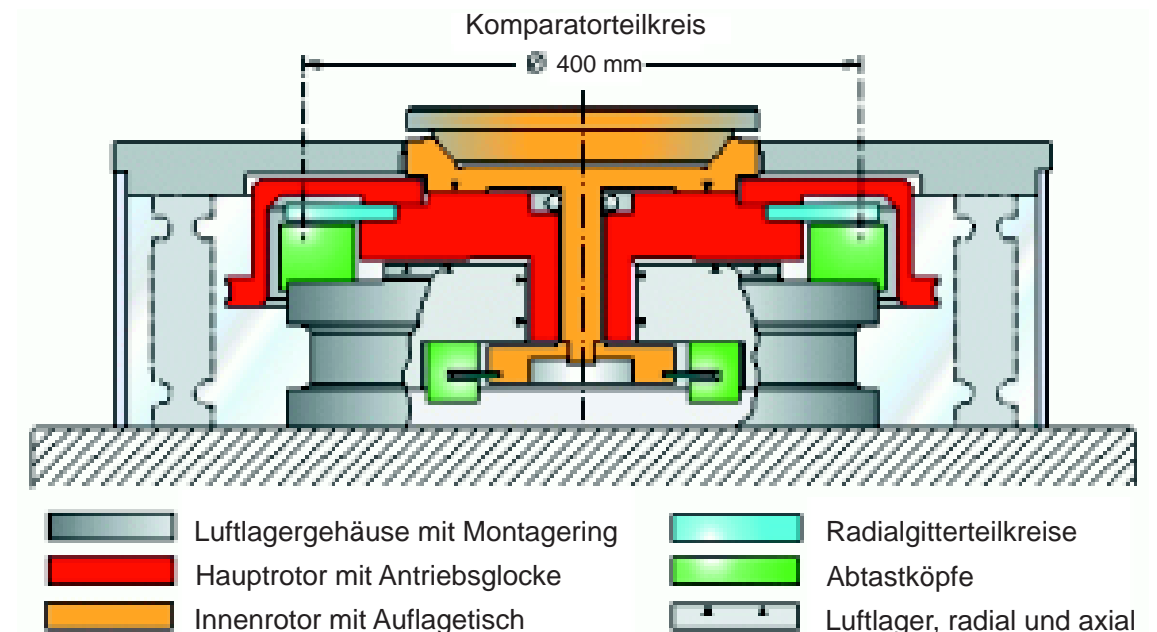
Winkelmesstische oder Indextische, bei denen der Vollwinkel (360°) als natürliches Primärnormal durch Anwendung der Kreisteilung genutzt wird, sind die wichtigsten und genauesten Winkelkomparatoren. Das Fachlabor „Längen- und Winkelteilungen“ besitzt drei derartige Präzisionswinkelmesstische mit eingebauten Gitterteilkreisen und photoelektrisch-inkrementaler Messwertauslesung.

Der Winkelmesstisch neuester Bauart wurde von der Firma Heidenhain, Traunreut, im PTB-Reinraumzentrum installiert. Dieser Winkelkomparator ist mit seiner Messunsicherheit von 0,005" die derzeit genaueste

Normalmesseinrichtung für den ebenen Winkel. Das Bild (unten) zeigt den schematischen Aufbau des Winkelkomparators in einer Schnittdarstellung.

Der Komparator steht auf einer massiven, schwingungs isolierten Granitplatte. Er enthält einen Luftlager-Rotor mit axialem Planlager und zylindrischem Radiallager, die hohe Tragfähigkeit und Rundlaufgenauigkeit sichern. Auf den Umfang einer Antriebsglocke des Rotors wirkt ein spielfreier Reibrad-Tangentialantrieb, der Drehgeschwindigkeiten zwischen 7,5 Umdr./min und 7,5"/min für dynamische Messungen ermöglicht. Für statische Messungen kann zusätzlich ein Piezoantrieb zur genauen Positionierung in einem kleinen Winkelbereich eingesetzt werden.

Der Rotor enthält als Winkelmesssystem eine ringförmige Teilscheibe aus Glas, auf der sich eine radiale Reflexions-Phasengitterteilung mit $2^{17} = 131\,072$ Teilungsperioden auf einem Kreis von ca. 400 mm Durchmesser befindet. Zur Abtastung dieser Teilung dienen acht Abtastköpfe, die gleichmäßig über dem Um-



fang der Teilung angebracht sind. In einem Abtastkopf entstehen $2^{18} = 262\,144$ Signalperioden pro 360° , das entspricht einer Winkelperiode von etwa $5''$. Durch digitale Interpolation der Signalperiode mit dem Faktor $2^{12} = 4096$ ergeben sich schließlich $2^{30} = 1\,073\,741\,824$ Messschritte pro 360° , was einem Winkelmessschritt von etwa $0,0012''$ pro Abtastkopf entspricht. Der Winkelmesswert wird schließlich durch Mittelwertbildung aus allen Abtastköpfen gewonnen.

An seiner Oberseite trägt der Rotor einen fein justierbaren Auflagetisch, auf dem das zu kalibrierende Prüfsystem aufgenommen wird. Ein den Auflagetisch umgebender Montage-ring kann für Messaufbauten genutzt werden.

Mit zwei Kalibrierverfahren wurde übereinstimmend für die Messunsicherheit des Komparators der Wert $U = 0,005''$ ($k = 2$) ermittelt. Bei der Kalibrierung eines Winkelnormals oder Winkelmesssystems erhält man eine größere Messunsicherheit infolge von Fehlern bei der Maßübertragung. Für ein Spiegelpolygon höchster Qualität oder für ein genaues inkrementales Winkelmesssystem wird zurzeit als kleinste Kalibrierunsicherheit $U = 0,05''$ ($k = 2$) erreicht.

Im Rahmen des Projektes „3-D-Mikromess-einrichtung“ (3-D-MME) entsteht eine Messeinrichtung, mit der Koordinatenmessungen an Mikrostrukturen mit einer Unsicherheit von weniger als $0,1\ \mu\text{m}$ durchgeführt werden können. Der Messbereich beträgt $25\ \text{mm} \times 50\ \text{mm} \times 25\ \text{mm}$. Der Messbereich wie auch die projektierte Messunsicherheit wurden aufgrund von Anfragen nach entsprechenden Kalibrierungen der mikro-systemtechnischen Industrie festgelegt. Ziel des Projektes ist es, diesen Anforderungen möglichst bald, unter weitgehender, effektiver Nutzung von auf dem Markt verfügbaren Komponenten, begegnen zu können.

Die 3-D-MME besteht aus einem kommerziellen Basis-Koordinatenmessgerät (KMG) mit erhöhter Genauigkeit und einem Mikrotaster. Das Basisgerät wird ergänzt um ein Präzisions-Längen- und Winkelmesssystem, das die Relativposition und -lage von Messobjekt und Messsystem während der Messungen erfasst. Das implementierte Messsystem besteht aus einem Messwürfel, der starr mit der Pinole des KMG verbunden wird und einem Metro-

logierrahmen, der das Messobjekt und die Referenzspiegel der Laserinterferometer trägt. Die interferometrischen Positions- und Winkelinformationen sollen vom Basis-KMG für die Koordinatenmessung verwendet werden.

Das Basis-KMG wird zudem eine zweite, unabhängig steuerbare z-Pinole für ein PTB-eigenes messendes, dreidimensionales Mikrotastsystem enthalten.

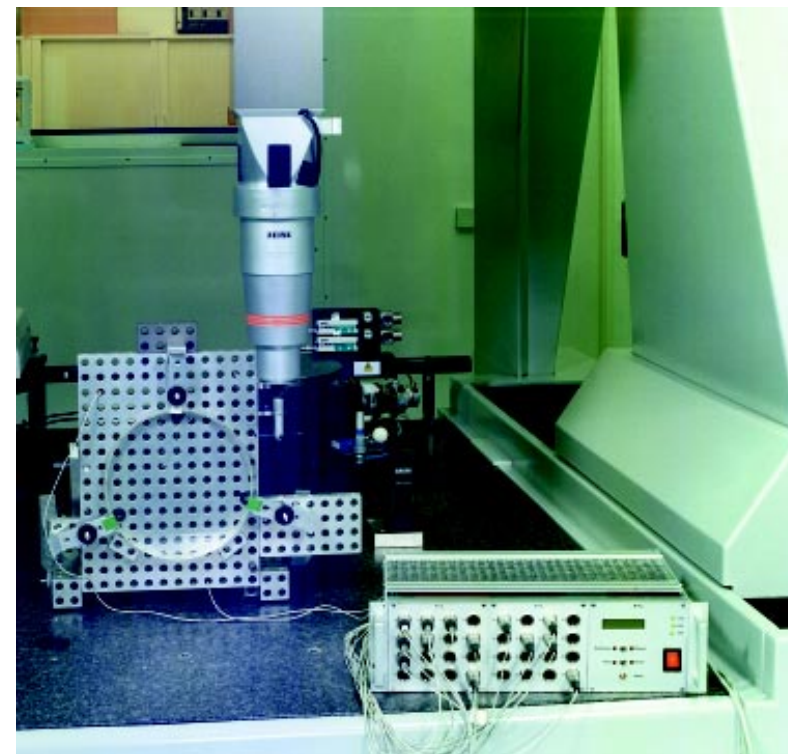
Es ist geplant, im Zuge der Entwicklungsarbeiten das vorhandene optische Messsystem für zweidimensionale Messungen durch ein in 3-D-messendes, konfokales Mikroskop zu ersetzen, um hiermit effektiv und schnell unterstützende Messungen für die taktile Antastung auszuführen.

Das Fachlaboratorium „Elektronischer Gerätebau“ unterstützt bisher die übrigen Fachlaboratorien auf dem Gebiet der elektronischen, rechnergesteuerten Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik. Hierzu werden spezielle elektronische Geräte und Verfahren entwickelt, die auf dem Markt nicht oder nicht mit den erforderlichen Eigenschaften erhältlich sind. Ein relativ hoher Anteil der dabei auftretenden Messprobleme bezieht sich auf die Temperaturmessung mit unterschiedlichsten Anforderungen und Bedingungen.

Beispiele solcher Entwicklungen, die sich gleichermaßen durch verschiedene hochwertige und konkurrenzlose Eigenschaften auszeichnen, sind:

- Hochgenaue Vielkanal-Temperaturmessgeräte für Platinfühler (absolute Messunsicherheit auf die Elektronik bezogen $0,5\ \text{mK}$), für Thermoelemente (Messunsicherheit $1\ \text{mK}$) sowie für Thermistoren (Stabilität $1/10\ \text{mK}$ pro Tag). Alle Geräte sind PC-gesteuert und mit moderner, komfortabler Software ausgestattet. In der PTB werden zurzeit etwa 30 Geräte genutzt, z. B. für den Nanometer-Komparator, für die Bestimmung der Avogadro-Konstanten, für die Gold-Akkumulationswaage zur Neubestimmung der Masseinheit und für die Längenmessung an Endmaßen. Das Bild veranschaulicht den Einsatz eines solchen Temperaturmessgerätes (im Bild rechts) bei Untersuchungen an einem Koordinatenmessgerät.

- Einrichtung zur hochgenauen Temperatursimulation und weitere Module zur umfassenden Prüfung von Wärmezählern (umfangreiche Hard- und Software). Etwa 15 Geräte sind auch in Eichbehörden, DKD-Prüfstellen und bei Wärmezählerherstellern im Einsatz.
- Einrichtung zur Temperaturmessung an explosionsgeschützten elektrischen Maschinen. Diese neueste, komplexe Entwicklung wurde für den 7-fachen Einsatz im Fachbereich 3.4 „Explosionsschutz elektrischer Betriebsmittel“ mit gutem Ergebnis getestet.



In der Konstruktion des „Mechanischen Gerätebaus“ kann aufgrund von Erweiterungen bzw. Neueinrichtungen der CAD-Arbeitsplätze immer häufiger das 3-dimensionelle CAD-Programm „Solid Designer“ angewendet werden. Hierdurch lassen sich die Vorteile dieser Technologie besser nutzen, z. B. bei

- Datenaustausch zwischen Konstrukteuren und/oder Technischen Zeichnern
- Zeichnungsablage und -verwaltung
- Funktionsüberprüfung
- FEM-Analysen
- CNC-Datenübertragung.

Während gerade der schnelle Zugriff zu einzelnen Zeichnungsdokumenten zu einer Zeitersparnis führen kann, bewirken die genannten Vorteile insbesondere auch eine Qualitätsverbesserung. So lassen sich bei der Funktionsüberprüfung einzelne Komponenten zueinander bewegen oder bei der FEM-Analyse die Spannungsverteilung und die Verformung eines Bauteils ermitteln. Hierdurch können in der Entwurfsphase bereits Bauteile optimiert und damit aufwendige Praxistests vermieden werden. Durch die direkte Übertragung von Geometriedaten aus der Konstruktion an die CNC-Fertigungsmaschine lassen sich Fehler aus der sonst nötigen Datenumschreibung vermeiden.

Im Rahmen des vom BMBF 1998 initiierten Programmes „Nanotechnologie“ bewarb und bewirbt sich die Abteilung Fertigungsmesstechnik mit mehreren Projektanträgen um Förderung. Ein Verbundprojekt, das sich mit Entwicklungen auf dem Gebiet der optischen Nahfeldmikroskopie bzw. -spektroskopie befasst, wurde bereits 1999 begonnen. Für den Themenkomplex „Nanoskalige Kalibrier-normale und -methoden“ ist die Förderung zweier weiterer Verbundprojekte zugesagt. Die Bearbeitung erfolgt jeweils in Kooperation mit externen Projektpartnern und abteilungsübergreifend in der PTB.

Internes/Sonstiges

Im November 1999 wurde Dr. Heinrich Schwenke mit der Leitung des Fachlaboratoriums „Koordinatenmessgeräte“ beauftragt.

Die Vorbereitungen zur Konzentration der Abteilung auf den Standort Braunschweig verlaufen weiter planmässig. Der Transfer der noch in Berlin-Friedrichshagen tätigen Fachlaboratorien der Abteilung wird Mitte 2000 erfolgen.

Es gibt Überlegungen, das Fachlaboratorium „Elektronischer Gerätebau“ im kommenden Jahr aufzulösen und die Arbeiten, angepasst an veränderte Rahmenbedingungen, teils im Referat „Mechanischer Gerätebau“ und teils in Fachlaboratorien und Projekten weiterzuführen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Fertigungsmesstechnik)

Grundlagen der Metrologie

Untersuchungen zu Nahfeldsonden auf Siliciumcantilever-Basis

Die Untersuchungen dienen zur Entwicklung eines reproduzierbaren und preiswerten Verfahrens zur Fertigung nahfeldoptischer Apertursonden.

Vergleich von optischen und elektronenoptischen Teilungsmessungen auf Masken

Ein in der PTB aufgebautes elektronenoptisches Metrologiesystem verringert Messunsicherheiten in der Koordinatenmesstechnik.

Messtechnik für die Industrie

Opto-taktilen Tastsystem für räumliche Messungen

Ein erfolgreich angewendetes Tastsystem für zwei Dimensionen wird durch Einsatz einer zweiten Kamera auf 3-D-Anwendungen erweitert.

Neuentwickelte Mehrwellennormale

In der PTB entwickelte Mehrwellennormale ermöglichen die Verbesserung der Übertragungsmerkmale von Formmessgeräten.

Ein neuartiger Präzisionskomparator für dimensionelle Kalibrierungen

In der PTB wurde ein neuartiger Präzisionskomparator für mechanisch antastende dimensionelle Kalibrierungen entwickelt und aufgebaut.

Untersuchungen zur Langzeit-Reproduzierbarkeit von Maskenkalibrierungen

Wiederholte Maskenkalibrierungen der PTB aus den Jahren 1993 bis 1996 belegen deren sehr gute Langzeit-Reproduzierbarkeit.

Abbe-fehlerfreies Rasterkraftmikroskop

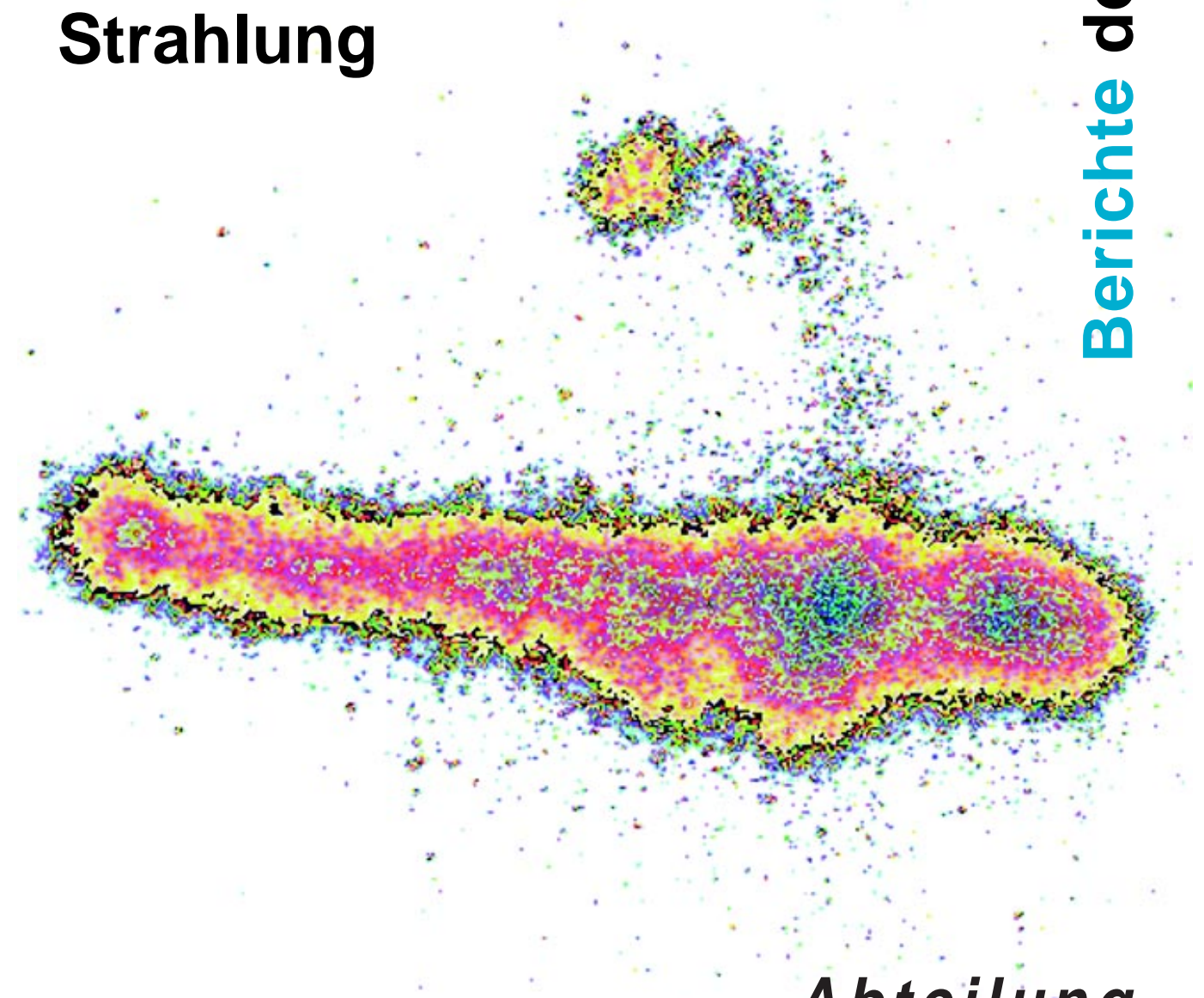
In Kooperation mit der TU Ilmenau wurden neue Laserinterferometer-Anordnungen entwickelt. Ermöglicht wird eine bessere Ausrichtung der Messstrahlen. Die Kalibrierunsicherheit durch Messtischkippen entfällt.

Internationale Zusammenarbeit

Internationaler Frequenzvergleich Jodstabilisierter Diodenlaser im BIPM

PTB-Lasersystem zeigt bei Vergleichsmessungen durch Anwendung der Frequenzmodulationsspektroskopie sehr gute Ergebnisse.

Ionisierende Strahlung



Abteilung

6

Berichte der Abteilungen

Ionisierende Strahlung

Ionisierende Strahlung – dieser Begriff umfasst Teilchen- und Photonenstrahlung, die in der Lage ist, Atome und Moleküle zu ionisieren. Darunter fällt die Strahlung aus Röntgengeräten und Elektronenbeschleunigern, die in der medizinischen Diagnostik und zur Strahlentherapie von Tumoren oder auch in der Forschung und für industrielle Anwendungen eingesetzt werden, die kosmische Strahlung, die aus dem Weltraum auf die Erde einfällt und in der Atmosphäre weitere sekundäre Strahlung erzeugt, die Neutronen- und Gammastrahlung, die z. B. bei der Kernspaltung in Kernkraftwerken oder auch bei anderen Prozessen in der Forschung entsteht, und die vielfältige Strahlung, die radioaktive Stoffe aussenden. Derartige Radionuklide findet man sowohl in der natürlichen Umwelt – wie das Kalium-40, das Edelgas Radon oder auch Radium und Uran – als auch als künstliche Stoffe, die entweder gezielt erzeugt und in der Nuklearmedizin, bei vielfältigen technischen Anwendungen oder in der Forschung eingesetzt werden oder als Abfall anfallen, den es zu entsorgen gilt.

Ionisierende Strahlung kann biologisches Gewebe schädigen und u. a. Krebs erzeugen. Die Wirkung hängt dabei von der Intensität der Strahlung bzw. der übertragenen Energiedosis ab – aber auch von der Art der Strahlung. Neutronen- und Alphastrahlen sind biologisch wirksamer als Photonen- oder Elektronenstrahlung. Ionisierende Strahlung ist nicht sichtbar und kann nur mit Messgeräten festgestellt werden. Deshalb spielen sowohl beim Strahlenschutz als auch bei der gezielten Anwendung von ionisierender Strahlung wie in der Strahlentherapie der Nachweis und die genaue Messung der Strahlung eine große Rolle. Zuverlässigkeit der Messung und Qualitätssicherung bei

Titelbild
Projektion der Spur von Alpha-Teilchen auf die Bildebene einer CCD-Kamera

Messinstrumenten bilden eine notwendige Voraussetzung für den verantwortungsvollen Umgang mit ionisierender Strahlung. Im Übrigen gibt es für die Anwendung derartiger Strahlung viele gesetzliche Regelungen – überwiegend, um den notwendigen Strahlenschutz sicherzustellen.

Die wichtigste Aufgabe der Abteilung ist die Darstellung und Weitergabe der Einheiten der physikalischen Größen, die für die Messung ionisierender Strahlung von Bedeutung sind, z. B. die Aktivität zur Charakterisierung der Menge eines Radionuklids, die Fluenz einer bestimmten Teilchenstrahlung und die verschiedenen Energie- und Äquivalentdosisgrößen für die Strahlentherapie und den Strahlenschutz. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die verschiedenen Strahlungsarten (die Röntgen- und Gammastrahlung, die Beta- bzw. Elektronenstrahlung, die Alphastrahlung und die Neutronenstrahlung) sehr unterschiedliche Messeinrichtungen erfordern und für jede Strahlungsart auch Referenzstrahlungsfelder in der PTB zur Verfügung stehen müssen, um Messgeräte untersuchen und kalibrieren zu können. Im Folgenden werden einige Forschungsarbeiten und wichtige Entwicklungen des vergangenen Jahres aus der Abteilung dargestellt.

Dreidimensionale Messung und Darstellung von Ionisationsspuren

Die Beurteilung von Strahlenwirkung und Strahlenrisiko erfordert das Verständnis der Mechanismen der Energieübertragung auf Gewebe. Von besonderem Interesse ist dabei die geometrische Verteilung der Wechselwirkungsorte im Mikro- und Nanometerbereich, da die Wirkung der Strahlung im Wesentlichen von der Energie abhängt, die im Zellkern und dort insbesondere im Bereich der Chromosomen und der DNS-Moleküle absorbiert wird. Eine neuartige Teilchensporkammer (OPAC, Bild 1) ermöglicht das mikroskopische Studium der Ionisationsorte

entlang der Spuren geladener Teilchen. Dabei werden mit einem gasgefüllten Messkopf die beim Durchgang von Strahlung freigesetzten Ladungen nachgewiesen.



Bild 1: Teilchensporkammer zur dreidimensionalen Darstellung von Spuren ionisierender Teilchen im Mikro- und Nanometerbereich

Durch kontrollierte Ladungsvermehrung und Lichterzeugung, verbunden mit einem elektronischen Bilderfassungssystem, gelingt die dreidimensionale Rekonstruktion der Teilchenspuren (s. Titelbild). Für die Entwicklung dieser Messmethode, die einen wesentlichen Fortschritt bei der Messung und Darstellung von Spuren im Submikrobereich gebracht hat und zur Aufklärung der Mechanismen von Strahlenschäden beitragen kann, wurde drei Mitarbeitern der PTB der Helmholtz-Preis 1999 verliehen. Da ein erheblicher Teil der Forschungsarbeiten im Bereich kleinster Strukturen auf theoretischen Rechnungen und Computersimulationen beruht, ist es eine wichtige Aufgabe, exemplarisch die Qualität von Rechenprogrammen zu testen und die Ergebnisse durch Messungen zu verifizieren.

Die hier entwickelte Messmethode kann dazu wesentlich beitragen.

Atom- und kernphysikalische Daten für die Metrologie

Der Nachweis von ionisierender Strahlung geschieht in der Regel über die Wechselwirkung der Strahlung mit Materie, bei der z. B. sekundäre geladene Teilchen erzeugt werden, kinetische Energie auf Atomkerne übertragen oder auch Licht erzeugt wird. Für genaue quantitative Aussagen, also zum Beispiel die Bestimmung der Teilchenfluenz, die Messung der Luftkerma mit Ionisationskammern oder die Ermittlung der Aktivität von radioaktiven Stoffen, ist die Kenntnis von präzisen Daten der Wechselwirkung der Strahlung (z. B. Neutronenstreuquerschnitte oder Energieabsorptionskoeffizienten für Photonen) mit den Detektormaterialien oder von Radionuklidzerfallsdaten (Halbwertszeit, Emmissionswahrscheinlichkeiten) eine wesentliche Voraussetzung. Deshalb befasst sich die Abteilung an verschiedenen Stellen auch ständig mit der präzisen Messung metrologischer wichtiger atomarer und kernphysikalischer Daten.

Kerma (kinetic energy released in matter) bezeichnet die Energie, die bei der Wechselwirkung von indirekt ionisierender Strahlung mit Materie pro Masseneinheit auf die geladenen Reaktionsprodukte übertragen wird. Der Kermafaktor (Quotient aus Kerma und Teilchenfluenz) ist eine für viele Anwendungen in der Neutronendosimetrie benötigte Materialkonstante. In den letzten Jahren wurden mit speziellen Niederdruckproportionalzählrohren (LPPC) zahlreiche Kermafaktoren bestimmt. Durch Verwendung von LPPC einheitlicher Bauart, aber mit unterschiedlichen Wandmaterialien aus den Elementen C, Mg, Al, Si, Fe und Zr, A-150-Plastik sowie keramischen Werkstoffen wie AlN, Al₂O₃, SiO₂ und ZrO₂, konnten die Kermafaktoren für zahlreiche Materialien in monoenergetischen

Neutronenfeldern genau bestimmt werden. Während die Messungen in den Neutronenfeldern der Energien von 5 MeV, 8 MeV, 15 MeV und 17 MeV an der Teilchenbeschleunigeranlage der PTB durchgeführt werden konnten, erfolgten die Messungen in den quasi-monoenergetischen Feldern der Energie 34 MeV, 44 MeV und 66 MeV an einem Messplatz der Zyklotron-Beschleunigeranlage an der Université de Louvain (UCL, Belgien). Dieser Messplatz wurde in den letzten Jahren von der PTB in Zusammenarbeit mit den Wissenschaftlern der dortigen Universität aufgebaut und von uns präzise eingemessen. Aufgrund einer Vereinbarung mit der UCL steht er der PTB auch in Zukunft für Bestrahlungen und Kalibrierungen zur Verfügung, wenn auch in zeitlich sehr begrenztem Umfang. Das Projekt „Kermafaktormessung“ wurde im Jahr 1999 durch Vorlage eines Abschlussberichtes und weiterer Publikationen beendet. Die Daten wurden in einen ICRU-Bericht über Kerndaten aufgenommen.

Neue Regelungen für Dosimeter in der Medizin

Seit dem Erlass des Medizin-Produktgesetzes (MPG) unterliegen in Deutschland Dosimeter, die im medizinischen Bereich eingesetzt werden, nicht mehr der Eichpflicht. Für Strahlenschutzdosimeter, die an medizinischen Anlagen eingesetzt werden, gilt dagegen die Eichpflicht weiterhin. Gemäß der neuen Medizinprodukte-Betreiberverordnung sind an Stelle der bisher üblichen regelmäßigen Nacheichungen in Zukunft messtechnische Kontrollen in Form von verbindlichen Vergleichsmessungen vorgesehen, die von bestimmten Benannten Stellen durchgeführt werden. Die PTB übernimmt dabei den Anschluss der Normale der Benannten Stellen an die Primärnormale der PTB, die Überwachung der für die Vergleichsmessungen verwendeten Dosimetersonden und die Überwachung der Ergebnisse der Vergleichsmessungen.

Diese Regelung gilt auch für die Dosimeter, die im Bereich der hochenergetischen Photonen- und Elektronenstrahlung eingesetzt werden, wie sie heute in der Strahlentherapie üblich sind. Die Kalibrierung derartiger Dosimeter wurde bisher auf eine Kalibrierung in einem Co-60-Gammastrahlenfeld zurückge-

führt unter Verwendung geeigneter Korrektionsfaktoren. Zusätzlich hat die PTB seit vielen Jahren den Strahlentherapiezentren auf freiwilliger Basis die Teilnahme an Vergleichsmessungen mit chemischen Dosimetern nach Fricke angeboten. Diese Messungen werden nun in Zukunft durch die verbindlichen Vergleichsmessungen ersetzt. Zur Vorbereitung dieses Verfahrens hat die PTB in einer Reihe von Untersuchungen und Messungen an verschiedenen Beschleunigertypen und der Begutachtung bisher verwendeter Verfahren für Vergleichsmessungen Anforderungen an die Genauigkeit der Dosimetrie in den Strahlentherapiezentren erstellt.

Einführung neuer Messgrößen im Strahlenschutz

Die Arbeiten im gesetzlichen Messwesen für den Strahlenschutz wurden im letzten Jahr stark durch die Vorbereitungen zur Umsetzung der Richtlinie 96/29/EURATOM „Richtlinie zum Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung“ in nationales Recht geprägt, die bis zum 13. Mai 2000 zu erfolgen hat. Mit der in diesem Jahr geplanten Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), der Röntgenverordnung (RöV) und der Eichordnung werden in Deutschland u. a. neue Dosis-Messgrößen im Strahlenschutz eingeführt und die rechtlichen Grundlagen für die Bauartzulassungen von Störstrahlern und Vorrichtungen, die radioaktive Stoffe enthalten, geändert. Nach umfangreichen Vorarbeiten ist die Abteilung nun darauf eingerichtet, in Zukunft Strahlenschutzmessgeräte in Einheiten der Messgrößen Umgebungs-Äquivalentdosis $H^*(10)$, Oberflächen-Äquivalentdosis $H^*(0,07)$, Tiefen-Personendosis $Hp(10)$ und Oberflächen-Personendosis $Hp(0,07)$ zu prüfen und zu kalibrieren. Das gilt sowohl für die Röntgen- und Gammastrahlung als auch für die Betastrahlung und die Neutronenstrahlung von thermischer Energie bis zu Energien von 20 MeV und höher. Viele Referenzstrahlungsfelder mussten dafür neu vermessen werden, da insbesondere bei Röntgenstrahlung die Energieverteilung der Strahlung in den Feldern einen stärkeren Einfluss auf den Wert der Messgröße hat als bisher. Eine Neuentwicklung ist eine Sekundärnormalkammer für Photonen

zur Messung der Personendosis $Hp(10)$, deren Ansprechvermögen in einem weiten Photonenenergiebereich unabhängig von der Energie- und Richtungsverteilung der Photonen ist. Die Kammer ist ein ausgezeichnetes Referenzmessgerät und kann sehr gut als Transfornormal bei Vergleichsmessungen eingesetzt werden, ohne dass weitere spektrometrische Messungen erforderlich werden.

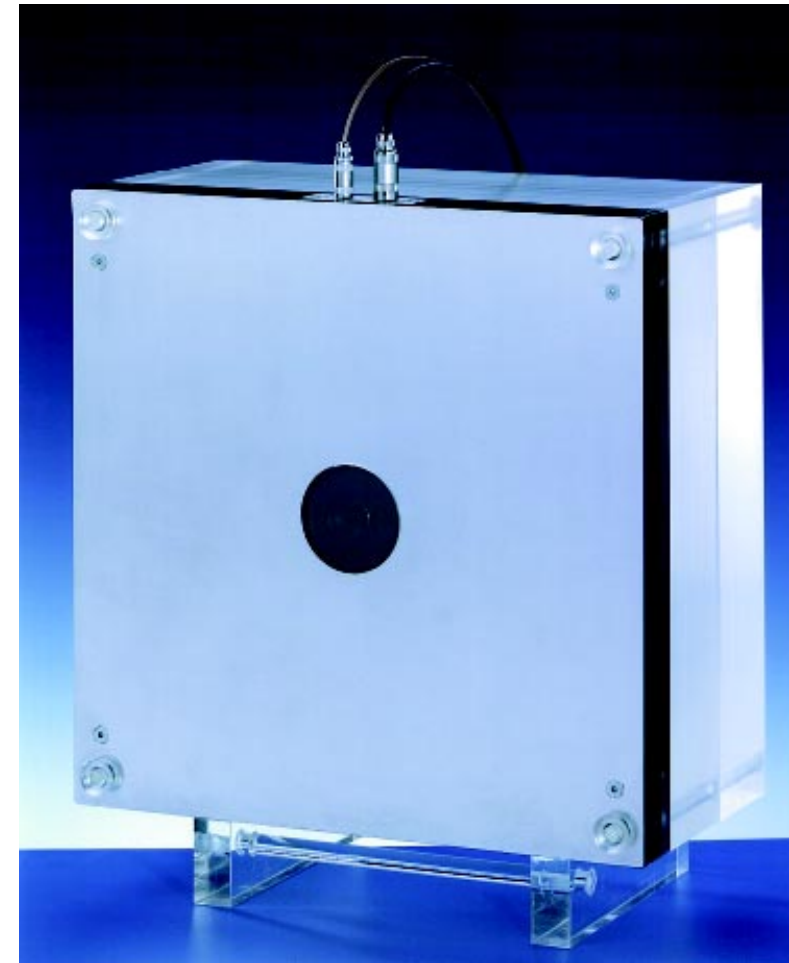


Bild 2: Prototyp der $H_p(10)$ -Kammer, eines Sekundärnormals für die Tiefen-Personendosis

Die Strahlenexposition des fliegenden Personals

Die kosmische Strahlung aus dem Weltraum und von der Sonne fällt ständig auf die Erde ein. Ein großer Teil dieser Strahlung wird in der Atmosphäre gestreut und absorbiert oder über Kernreaktionen in andere Strahlung umgewandelt. Auf dem Erdboden hat die kosmische Strahlung noch einen Anteil von ca. 12 % an der gesamten Strahlung (etwa 2,4 mSv pro Jahr) aus natürlichen Quellen. Mit der Höhe in der Atmosphäre nimmt die Strahlung vom

Erdboden ab, die kosmische Strahlung dagegen zu. Derzeit beträgt die mittlere effektive Dosis des fliegenden Personals (bei Flughöhen im Bereich von 10 000 m bis 11 000 m) einige mSv pro Jahr. In der neuen EURATOM-Richtlinie zum Strahlenschutz ist auch festgelegt, dass die Strahlenexposition des fliegenden Personals zukünftig als beruflich bedingte Strahlenexposition zu behandeln und die jährliche Dosis des Personals zu ermitteln ist, wenn der Wert von 1 mSv pro Jahr überschritten wird. Dies ist in der Regel der Fall.

Im Rahmen eines EU-Forschungsvorhabens ACREM wurden geeignete Dosismessmethoden entwickelt und getestet und eine Serie von Messungen in Frachtflugzeugen der Lufthansa Cargo AG durchgeführt, um die Anteile der verschiedenen Strahlungsarten und deren globale Verteilung zu erfassen.



Bild 3: Dosismessungen in einem Frachtflugzeug der Lufthansa Cargo AG

Dabei diente ein gewebeäquivalenter Proportionalzähler (TEPC) als Referenzinstrument, der für andere Messgeräte den Kalibrierfaktor lieferte. Zusätzlich wurde der TEPC mit einer zylindrischen Vieldrahtkammer umgeben, um die einfallenden geladenen Teilchen getrennt von den Neutronen nachzuweisen. Es gelang durch Anwendung der Koinzidententechnik, die von geladenen und ungeladenen Teilchen der kosmischen Strahlung erzeugten Äquivalentdosisanteile getrennt zu bestimmen. Die Äquivalentdosisleistungsverteilungen als Funktion der magnetischen Breite und

der Flughöhe konnten mit einfachen mathematischen Funktionen beschrieben werden, die eine Berechnung der Äquivalentdosisleistung für die in der Zivilluftfahrt wichtigen Flughöhen mit einer Unsicherheit von 10 % bis 15 % erlaubt.

Anwendung der Neutronenspektrometrie im Strahlenschutz

Die biologischen Wirkungen von Neutronen hängen sehr stark von der Energie dieser ab, die sich in Neutronenfeldern in der Praxis über ca. zehn Größenordnungen von 10^{-3} eV bis zu 100 MeV erstrecken kann. Deshalb spielt bei den Strahlenschutzmessgrößen und den Messgeräten für Neutronen das Neutronenspektrum eine erhebliche Rolle. Die Neutronenspektrometrie ist deshalb eine wichtige Aufgabe im Bereich der Neutronenmetrologie in der Abteilung. Hier wurde im vergangenen Jahr das Bonnerkugel-Spektrometer der PTB weiterentwickelt und erfolgreich bei Strahlungsmessungen in Flugzeugen, an Reaktoren und in anderen Neutronenfeldern eingesetzt. Das Spektrometer einschließlich der umfangreichen Entfaltungs-Software zur Auswertung der Messdaten ist inzwischen ein wichtiges Referenzinstrument zur Messung von Neutronenspektren und zur Bestimmung der Ortsdosis in Neutronenfeldern mit unbekanntem Spektrum.

Im Rahmen eines Vorhabens wurden an einigen Messpunkten innerhalb des Kernkraftwerkes Krümmel und im Freigelände um das Kraftwerk Messungen zur Charakterisierung der Neutronenfelder (Dosisleistung, Energie- und Richtungsverteilung der Fluenz) durchgeführt. Die sehr niedrigen Neutronendosisleistungen, hoher Gamma-Untergrund, stark schwankende Temperaturen und elektromagnetische Störungen stellten dabei hohe Anforderungen an die Messtechnik. Neben den in der Praxis normalerweise eingesetzten REM-Countern, deren Messwert allerdings keine Information über das Neutronenspektrum liefert, wurden das Bonnerkugel-Spektrometer der PTB und ein in Entwicklung befindliches Gerät eingesetzt, das über eine Pulshöhenanalyse mehrerer auf einem kugelförmigen Moderator befestigter Halbleiterdetektoren die Bestimmung der Energie und Richtungsverteilung der Neutronen ermöglicht.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf der CD-ROM unter der Abteilung Ionisierende Strahlung)

Grundlagen der Metrologie

Neues Primärnormal für die Aktivität von Radongas

Zur Darstellung der Aktivität von Radon-222 wurde ein neues Primärnormal entwickelt, bei dem das Radongas auf einer kleinen tiefgekühlten Scheibe absorbiert und die Aktivität mit einem Alphaspektrometer absolut gemessen wird.

Neues Softwarepaket GESPECOR

GESPECOR dient zur Berechnung von Korrekturen bei der Spektrometrie von Gammastrahlung aus Radionukliden mit Germanium-Detektoren, insbesondere bei Umweltprouben.

Wasser-Energiedosiskalorimeter für Photonen- und Elektronenstrahlen

Das Wasser-Energiedosiskalorimeter der PTB steht vor seiner Einführung als Primärnormal-Messeinrichtung für die Dosimetrie in der Strahlentherapie mit hochenergetischen Photonen- und Elektronenstrahlen.

Wasser-Energiedosiskalorimeter für Ionenstrahlen

Für die Dosimetrie in kollimierten Neutronen- und Protonenstrahlenfeldern mit einem Durchmesser bis zu 40 mm wurden ein Wasserkalorimeter entwickelt und erste Messungen in verschiedenen Protonenfeldern durchgeführt.

Extrapolationskammer für die Brachytherapiedosimetrie mit Betastrahlen

Für den Einsatz in der Brachytherapie wurde im Rahmen einer Promotionsarbeit eine neuartige Extrapolationskammer für die Messung der Energiedosis von Betastrahlung in Gewebe in kleinen Abständen (typisch 2 mm) von der Strahlungsquelle entwickelt.

Mikrobeam-Messplatz

An der Beschleunigeranlage der PTB wird ein Mikrobeam-Messplatz aufgebaut, der es ermöglicht, Objekte gezielt mit einer definierten geringen Anzahl ionisierender Teilchen zu bestrahlen.

Doppelt-differentielle Streuquerschnitte von Elektronen niedriger Energien

Mit einem neuen Messplatz wurden doppelt-differentielle Streuquerschnitte für Elektronen mit Energien zwischen 50 eV und 2000 eV in den Gasen N_2 , CH_4 , C_3H_8 und Dimethylether (DME) absolut mit hoher Präzision gemessen.

Internationale Evaluation von Radionuklid-daten

Im Rahmen einer engen internationalen Zusammenarbeit bei der Evaluation von Radionuklid-daten wurde mit maßgeblicher Beteiligung der PTB 1999 eine neue Ausgabe der Table of Radionuclides publiziert.

Messung von doppelt-differentiellen Neutronenstreuquerschnitten

Erstmals wurden im Neutronenenergiebereich von 8 MeV bis 14 MeV doppelt-differentielle Neutronenstreuquerschnitte ($d^2s/dWdE$) gemessen.

Messtechnik für die Industrie

Beta-Spektrometer/Dosimeter

Im Rahmen eines Vorhabens wurde der Prototyp eines Beta-Spektrometers/Dosimeters zur diskriminierenden Messung von Photonen- und Betastrahlung für den praktischen Strahlenschutz entwickelt.

Neutronen-Personendosimeter

Die grundlegenden Untersuchungen zur Entwicklung eines Personen-Neutronendosimeters auf der Basis von Halbleiterdetektoren wurden weitergeführt. Es zeigt sich, dass ein oder zwei Halbleiterdetektoren für ein derartiges Dosimeter ausreichen.

Nachweis von Spaltstoffen in Abfällen

In einem EU-Forschungsvorhaben, zusammen mit dem Forschungszentrum Jülich, wurde gezeigt, dass in Abfallgebunden spaltbares Material durch neutroneninduzierte Spaltung empfindlich nachgewiesen werden kann.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich und den Umweltschutz

Sekundärnormal für $Hp(10)$

Für die Äquivalentdosis-Messgröße Tiefen-Personendosis $Hp(10)$ im Photonenenergiebereich von 10 keV bis 50 keV wurde erstmals ein Sekundärnormal entwickelt.

Metrologie der Betastrahlung

Das neue Beta-Sekundärnormal, Typ BSS 2, der PTB wird von einer Firma hergestellt und ist inzwischen international akzeptiert. Dies zeigt die steigende Zahl von Kalibrierungen (16 Quellen im Jahre 1999).

Strahlenexposition des fliegenden Personals

Mit Messungen in Flughöhen konnte gezeigt werden, dass ein gewebeäquivalenter Proportionalzähler (TEPC) ein geeignetes Referenzinstrument ist, um für andere Messgeräte den richtigen Kalibrierfaktor zu liefern.

Internationale Zusammenarbeit

Luftkerma-key-comparison

1999 wurde vom BIPM ein Vergleich der Luftkerma-Normale im Energiebereich der Röntgenstrahlung organisiert. Dabei wurde ein Sekundärnormal der PTB mit guter Langzeitstabilität als Transferinstrument eingesetzt.

Untersuchung von Alpha-Teilchenspuren

Im Rahmen einer internationalen Zusammenarbeit wurde ein neues Monte-Carlo-Transportprogramm zur Untersuchung von Alpha-Teilchenspuren in N_2 und C_3H_8 unter Berücksichtigung des Sekundärelektronentransportes entwickelt.

Flachkammer für die Elektronendosimetrie

Koordiniert von der IAEA in Wien wurden Verfahren für die klinische Dosimetrie von Elektronenstrahlen untersucht. Dabei diente die in der PTB entwickelte und von der deutschen Industrie hergestellte Flachkammer als Referenzkammer.

Internationaler Vergleich von Frühwarn-dosimetersystemen

Im Rahmen der „European Radiation Dosimetry Group“ (EURADOS) wurde ein internationaler Vergleich von Detektoren nationaler Frühwarnsysteme durchgeführt, u. a. mit Messungen im Untergrundlaboratorium UDO der PTB.

Entwicklung von aktiven Neutronen-Personendosimetern

Im Rahmen des F&E-Programms „Sicherheit der Kernspaltung“ der EU hat die PTB das Projekt „Fortgeschrittene Methoden der aktiven Neutronendosimetrie ...“ koordiniert und erfolgreich abgeschlossen.

Temperatur und Synchrotronstrahlung



Temperatur und Synchrotronstrahlung

Am 29. und 30. März 1999 wurde das neue Synchrotronstrahlungslaboratorium der PTB am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof mit der Festveranstaltung *100 Jahre Radiometrie* und dem internationalen Hermann-von-Helmholtz-Symposium *Precision Measurement of Electromagnetic Radiation* eingeweiht (Bilder 1 und 2).



Bild 1: Einweihung des Synchrotronstrahlungslaboratoriums der PTB am Elektronenspeicherring BESSY II in Berlin-Adlershof am 29. März 1999. Besichtigung des Laboratoriums nach der Festveranstaltung *100 Jahre Radiometrie*. Von links: Prof. Göbel, Präsident der PTB, Prof. Wagner, Vizepräsident des Kuratoriums der PTB, Prof. Hertel, Staatssekretär für Wissenschaft und Forschung des Senats von Berlin, und Prof. Wende, der die Arbeiten an den bereits in Betrieb genommenen Strahlrohren erläuterte.

BESSY II ist das derzeit fortgeschrittenste Normal in der traditionsreichen Kette Berliner Strahlungsnormale. Diese Tradition wurde mit einer Dochtflamme begründet, die Friedrich von Hefner-Alteneck, Konstrukteur in der Firma Siemens und Halske, 1884 in Berlin-Charlottenburg entwickelte. Hauptsächlich aus wirtschaftlichen Gründen wurden

Titelbild
Teil der Magnetstruktur des elektromagnetischen Undulators im Synchrotronstrahlungslaboratorium der PTB am Elektronenspeicherring BESSY II

damals Lichtquellen durch Vergleich mit der Hefner-Lampe charakterisiert. Ziel war, die Betriebskosten für traditionelle, mit Gas betriebene Lampen mit denen für neuartige Lichtquellen, die mit elektrischer Energie betrieben wurden, zu vergleichen. Die spektrale Strahlungsleistung der untersuchten Quellen blieb bei den damaligen Untersuchungen allerdings unbekannt.

Diese Begrenzung wurde 1898 mit dem von Lummer und Kurlbaum in der *Physikalisch-Technischen Reichsanstalt* (PTR) in Berlin-Charlottenburg entwickelten Hochtemperatur-Hohlraumstrahler überwunden. Nachdem es Max Planck im Dezember 1900 gelungen war, das Strahlungsgesetz der Hohlraumstrahlung herzuleiten, stand erstmals ein Normalstrahler mit berechenbarer spektraler Strahlungsleistung zur Verfügung. Mit Hohlraumstrahlern wurde während der folgenden Dekaden die Radiometrie im nahen IR, im Sichtbaren und im nahen UV entwickelt.



Bild 2: Kaffeepause während des internationalen Hermann-von-Helmholtz-Symposiums *Precision Measurement of Electromagnetic Radiation*, das in Verbindung mit der Einweihung des PTB-Laboratoriums bei BESSY II am 30. März 1999 auf der Baustelle des Hermann-von-Helmholtz-Baus in Berlin-Charlottenburg stattfand.

Mit der Hohlraumstrahlung ließ sich die Radiometrie jedoch nicht zu hohen Photonenenergien ausdehnen. Diese Beschränkung wurde schließlich mit dem Elektronenspeicherring BESSY I in Berlin-Wilmersdorf überwunden. Im Jahre 1984 – 100 Jahre nach Einführung der Hefner-Lampe – konnte die PTB nachweisen, dass diese Synchrotronstrahlungsquelle sich bis in das Gebiet der weichen Röntgenstrahlung als genaues Strahlungsnormale betreiben lässt. Das PTB-Labor bei BESSY I entwickelte sich in der Folge zu einem europäischen Zentrum der Radiometrie, das weltweit genutzt wurde.

Mit dem neuen Synchrotronstrahlungslaboratorium bei BESSY II verfügt die PTB nunmehr über hervorragende Arbeitsmöglichkeiten zur weiteren Ausdehnung der Radiometrie und Photonenmetrologie in den Bereich harter Röntgenstrahlung. Auch aktuelle und zukünftige Anforderungen in der röntgenoptischen Metrologie lassen sich erfüllen. Hierzu gehören u. a. die Unterstützung der deutschen Industrie bei der Entwicklung von Hochleistungsobjektiven für die Mikrolithographie und die Entwicklung neuartiger quantitativer Analyseverfahren für die Qualitätskontrolle hochreiner Halbleitermaterialien, beispielsweise bei der Herstellung von Silicium-Wafern. Zu beiden Arbeitsfeldern bestehen Kooperationsverträge mit deutschen Unternehmen.

Von den insgesamt neun projektierten Messplätzen im PTB-Laboratorium waren im Berichtsjahr sechs in Betrieb, zwei davon an dem elektromagnetischen PTB-Undulator. Zur Entwicklung der Metrologie für die EUV-Lithographie ist der Undulator mit seiner großen Periodenlänge von 180 mm für die Strahlungsemission um 13 nm optimiert. Einen kleinen Ausschnitt der Magnetstruktur zeigt das Titelbild.

In dem neuen Labor ist die Abteilung auch einen wichtigen Schritt auf dem Weg vorangekommen, eine einheitliche Radiometrie vom Infraroten bis in den Bereich der γ -Strahlung aufzubauen. Der Bereich der Photonenenergie zwischen etwa 1 keV und 10 keV konnte mit einem elektrisch kalibrierten Tieftemperatur-Hohlraumempfänger (Kryoradiometer) als primärem Empfängernormal und Siliciumdioden als Transfernormalen

erschlossen werden. Damit verfügt die Abteilung über eine Skala der spektralen Empfindlichkeit, die von 0,7 eV in Infraroten bis 10 keV im Röntgenbereich einheitlich mit Kryoradiometern dargestellt und mit Halbleiterphotodioden weitergegeben wird (Bild 3).

Derzeit werden die Vorbereitungen dafür getroffen, die detektorgestützte Radiometrie bis 50 keV zu erweitern. Eine BAM/PTB-Kooperation verfolgt dazu bei BESSY II das Ziel, monochromatisierte Wellenlängenschieberstrahlung hinreichend hoher Leistung zum Betrieb von Kryoradiometern bis 50 keV zu realisieren. Nach derzeitigem Entwicklungsstand dürfte dieses Ziel im April 2000 erreicht werden, so dass bis zum Ende des Jahres 2000 Ergebnisse zur Ausdehnung der Radiometrie bis 50 keV vorliegen sollten.

Am 26. November 1999 wurde der Betrieb von BESSY I in Berlin-Wilmersdorf eingestellt, 18 Jahre nach Inbetriebnahme der Anlage und Gründung des PTB-Laboratoriums bei BESSY I. Im Berichtsjahr wurden daher erhebliche Anstrengungen unternommen, den mit der Schließung von BESSY I verbundenen Kompetenzverlust der PTB auf dem Gebiet der Radiometrie und Photonenmetrologie bei niedrigen Photonenenergien für die Kunden zu mildern. Umfassende Sätze von Empfänger- und Strahler-Transfernormalen wurden nicht nur für den eigenen Gebrauch kalibriert, sondern auch für das britische Staatsinstitut (*National Physical Laboratory*, NPL) und das französische Staatsinstitut (*Bureau National de Métrologie*, BNM), deren radiometrische Skalen und Qualitätsmanagement wie bei der PTB auf BESSY I rückgeführt sind. Damit sollte es gelingen, auch ohne Primärnormal für eine begrenzte Zeit den Kalibrierdienst im niederenergetischen Bereich für die Kunden in Europa aufrechterhalten zu können.

Rechtzeitig vor der Schließung von BESSY I ist es auch gelungen, das langjährige Programm zur Kalibrierung der Röntgenteleskope von NASA und ESA erfolgreich abzuschließen. Das Röntgenteleskop Chandra der NASA befindet sich seit dem 23. Juli 1999 auf seiner Umlaufbahn, das Röntgenteleskop XMM der ESA seit dem 10.12.1999. Ein Ziel beider Missionen ist es, spektrale Messungen sehr niedriger Röntgen-Photonenflüsse extrem ferner kosmischer Objekte mit einer

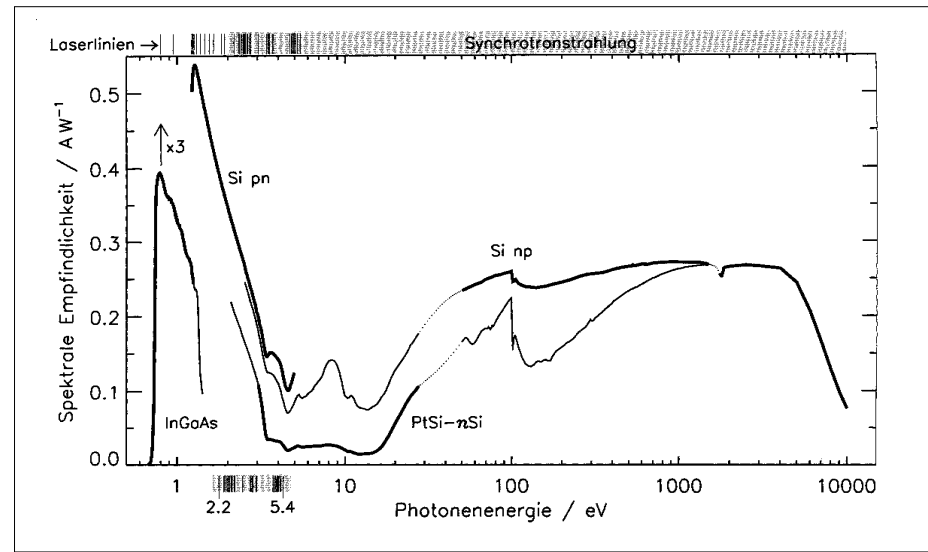


Bild 3: Spektrale Empfindlichkeit von Halbleiter-Photodioden vom nahen IR bis in den Bereich harter Röntgenstrahlung (0,7 eV bis 10 keV). Die Halbleiter-Photodioden dienen als Transfernormale für die empfängergestützte Radiometrie. Die Kalibrierung der Dioden wird im gesamten Spektralgebiet einheitlich mit elektrisch kalibrierten Tief-

Unsicherheit von nur wenigen Prozent vorzunehmen. Diese kleine Unsicherheit ist erforderlich, um mit einem plasma-spektrometrischen Ansatz die Hubble-Konstante zu messen, die als Fundamentalkonstante der Kosmologie die Ausdehnung und Expansion bzw. das Alter des Universums beschreibt (Bild 4).

Um langfristig die Nachfrage nach Mess- und Kalibriermöglichkeiten mit niederenergetischer Synchrotronstrahlung zu wirtschaftlichen Bedingungen erfüllen zu können, wurden die Planungsunterlagen zur Realisierung des PTB-KompaktSpeicherrings weiter aktualisiert und vervollständigt. Nach dem Planungsstand der Abteilung lassen sich – vorbehaltlich der Genehmigung der Haushaltsansätze – erste Maßnahmen zur Realisierung des KompaktSpeicherrings im Jahre 2002 einleiten.

Als Standort für die Anlage wird eine Reservefläche auf der Charlottenburger Liegenschaft freigehalten (Laborgebäude für die EUV-Metrologie und -Technologie zwischen Hermann-von-Helmholtz-Bau und Abbestraße, Bild 5). Nach wie vor gilt jedoch die Einbeziehung des PTB-KompaktSpeicherrings in die BESSY-II-Anlage als die technisch vorteilhaftere Lösung. Auch wird das damit verbundene verstärkte Engagement der PTB bei der Entwicklung des Wissenschafts-

temperatur-Hohlraumempfängern (Kryoradiometern) als Primärnormalen vorgenommen. Die Kryoradiometer werden für Photoenergien oberhalb 2,2 eV mit monochromatisierter Synchrotronstrahlung betrieben und unterhalb von 5,4 eV mit Laserstrahlung, so dass eine hinreichend breite spektrale Überlappung beider Techniken besteht.

Wirtschaftsstandortes Berlin-Adlershof als die strategisch weitsichtigere Entscheidung angesehen. Die Zusammenarbeit und enge Nachbarschaft mit der wachsenden Zahl der universitären Einrichtungen (z. B. der Humboldt-Universität) und der außeruniversitären Forschungsinstitute (z. B. der Hermann-von-Helmholtz-Gemeinschaft und der Wissenschaftsgemeinschaft Gottfried Wilhelm Leibniz) dürfte die Kompetenz der PTB am Standort Berlin nachhaltig stärken. Ebenso dürfte die unmittelbare Nähe zu den industriellen Kunden in Adlershof das Dienstleistungsangebot der PTB vorteilhaft befruchten.

Die Einstellung des Betriebes von BESSY I hat übergeordnet die Entwicklung der PTB am Standort Berlin einen entscheidenden Schritt voran gebracht. In seiner Sitzung am 19. Oktober 1999 fasste der Berliner Senat den Beschluss, die BESSY-I-Gebäude für die Unterbringung des Landesamtes für das Mess- und Eichwesen (LME) zu nutzen. Dadurch können nun umgehend die Bauten, die das LME auf der Charlottenburger Liegenschaft in unmittelbarer Nachbarschaft zu den Gebäuden des Instituts Berlin errichtet hat (Bild 5), für PTB-Aufgaben umgewidmet und damit die Voraussetzungen für die Schließung des Standortes in Berlin-Friedrichshagen geschaffen werden.

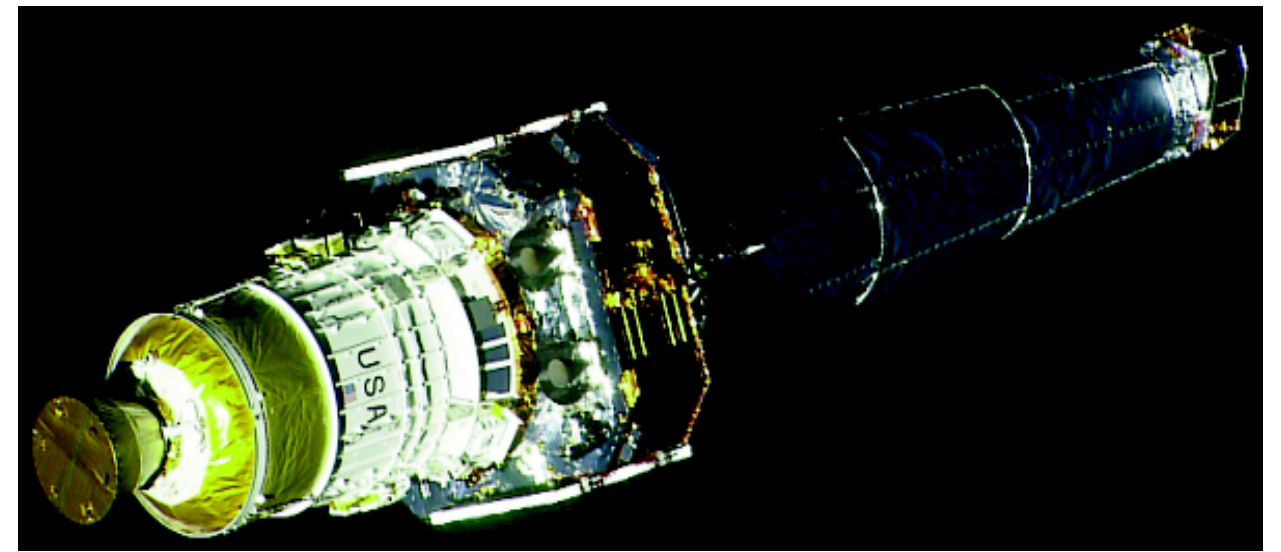


Bild 4: Das Röntgen-Teleskop Chandra der NASA, dessen radiometrische Kalibrierung auf BESSY I rückgeführt wurde (aufgenommen von der Mannschaft der Columbia-Fähre kurz nach dem Entladen am 23. Juli 1999). Rechts oben im Bild ist die Plattform mit den energieauflösenden CCD-Pho-

tonenzählern zu erkennen, die sich in der Fokalebene des Teleskopspiegels im Vordergrund befinden. Vor dem Teleskopspiegel befindet sich ein Raketentriebwerk (links unten im Bild) zum Transport des Teleskops in die endgültige Umlaufbahn.

Im kommenden Jahr werden auch die Bauarbeiten am Hermann-von-Helmholtz-Bau (Bild 5) ihren Abschluss finden und zu einer ersten Entspannung der beengten Raumsituation im Institut Berlin führen. Die Einweihung des Hermann-von-Helmholtz-Baus wird am 6. Oktober 2000 stattfinden. Am darauffolgenden Tag wird sich das Institut Berlin mit einem Tag der offenen Türen vorstellen und dabei einer breiteren Öffentlichkeit auch die Vorarbeiten der PTR vor 100 Jahren zum Planckschen Strahlungsgesetz bekannt machen. Das Institut Berlin will damit zum

größeren Verständnis der Bedeutung der Naturwissenschaften in unserer Gesellschaft beitragen und auch Aufmerksamkeit für die große Berliner Veranstaltung 100 Jahre Quantenphysik im Dezember 2000 wecken, an deren Vorbereitung sich die PTB beteiligt.

Zu den im Berichtsjahr in der Abteilung erreichten wichtigsten Fortschritten und Ergebnissen, insbesondere auch auf dem Fachgebiet der Temperaturmetrologie, wird auf die nachfolgenden 15 Kurznachrichten verwiesen.

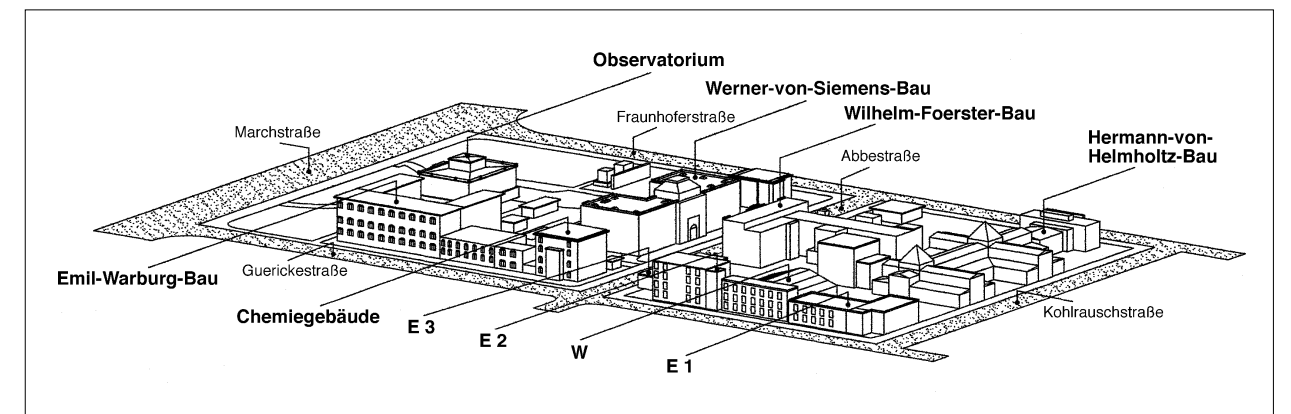


Bild 5: Standort der PTB in Berlin-Charlottenburg. Blick von der Guerickestraße mit den Gebäuden E3, E2, W, E1, mit deren Bau bzw. Umwidmung begonnen wurde, nachdem vom Berliner Senat im Oktober 1999 die Umsetzung des Landesamtes

für das Mess- und Eichwesen an einen neuen Standort beschlossen wurde. Das LME wird das Labor- und Betriebsgelände der Elektronenspeicherringanlage BESSY I in Berlin-Wilmersdorf beziehen, die am 26.11.1999 stillgelegt wurde.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(auch auf der CD-ROM unter der Abteilung Temperatur und Synchrotronstrahlung)

Grundlagen der Metrologie

BESSY II als berechenbare Strahlungsquelle – ein neues primäres Strahlernormal

Der für die Radiometrie optimierte Elektronenspeicherring BESSY I war von 1984 bis zu seiner Schließung Ende 1999 ein vom Infraroten bis in den Bereich weicher Röntgenstrahlung international genutztes primäres Strahlernormal. Bereits 1999, im ersten Betriebsjahr des neuen Speicherrings BESSY II, konnte gezeigt werden, dass auch dort der spektrale Photonenfluss aus Bahndipolmagneten berechenbar ist und aufgrund der höheren Elektronenenergie bis in den Bereich harter Röntgenstrahlung genutzt werden kann.

Kryoradiometrie mit Synchrotronstrahlung im Röntgenbereich

Elektrisch kalibrierte thermische Empfänger bei Flüssig-Helium-Temperaturen (Kryoradiometer) wurden bei BESSY I in Verbindung mit monochromatisierter Synchrotronstrahlung als primäre Empfängernormale eingesetzt, um Strahlungsempfänger vom Ultravioletten bis in den Bereich weicher Röntgenstrahlung (max. 1,5 keV) zu kalibrieren. Im neuen Radiometrielaboratorium der PTB bei BESSY II wurde ein Strahlrohr mit einem Vierkristall-Monochromator aufgebaut, an dem nun weltweit erstmalig Detektorkalibrierungen gegen ein Kryoradiometer mit kleinen Unsicherheiten bis zu Photonenenergien von maximal 10 keV durchgeführt werden können.

Detektorkalibrierung im UV und VUV – bei jeder Wellenlänge hochwertig möglich

Der Spektralbereich des Ultravioletten (UV) und des Vakuum-UV (VUV) gewinnt in Forschung und Industrie zunehmend an Bedeutung, beispielsweise in der optischen Lithographie. Detektoren können jetzt in den genannten Spektralbereichen bei jeder gewünschten Wellenlänge charakterisiert und gegen ein Kryoradiometer als primäres Empfängernormal hochwertig kalibriert werden. Dabei werden Laserstrahlung und spektral überlappend monochromatisierte Synchrotronstrahlung eingesetzt.

Starkverbreiterung von Spektrallinien in Plasmen: Unerwartete Ergebnisse bei niedrigen Elektronendichten

Die Messung der Verbreiterung von Spektrallinien durch den Starkeffekt im mikroskopischen elektrischen Feld eines Plasmas wird vielfach zur Bestimmung der Elektronendichte eingesetzt. Mit Zweiphotonenpolarisationsspektroskopie gelang jetzt die dopplerfreie Messung des Linienprofils für den 1s-2s-Übergang des Wasserstoffatoms in Bogenplasmen sehr niedriger Elektronendichten bis hinab zu 10^{20} m^{-3} . Dabei ergaben sich unerwartet große Diskrepanzen zu den Vorhergesagten theoretischer Simulationsrechnungen.

Neues Primärnormal für Vakuumdrücke

Ein neues, vollautomatisiertes Primärnormal für Vakuumdrücke ersetzt zwei ältere Normale aus den 70er Jahren. In zwei Kammern lassen sich mit der Methode der kontinuierlichen Expansion Drücke über einen Bereich von insgesamt mehr als sieben Dekaden (10^{-10} Pa bis $3 \cdot 10^{-2} \text{ Pa}$) mit geringen Unsicherheiten (0,2 % bei 10^{-4} Pa bis 0,7 % bei 10^{-10} Pa) einstellen. Bei dem inzwischen begonnenen Key Comparison des CCM für Vakuumdrücke wird das neue PTB-Normal mit fünf anderen Primärnormalen verglichen.

Schmelztemperatur von Palladium mit Rauschthermometrie bestimmt

In der angewandten Thermometrie werden Edelmetallthermoelemente vielfach als Berührungsthermometer zur Messung hoher Temperaturen eingesetzt. Für die Kalibrierung dieser Thermoelemente spielt der Palladiumschmelzpunkt eine besondere Rolle. Seine Temperatur von rund 1554 °C war bisher nur durch strahlungsthermometrische Messungen bekannt. Jetzt ist es gelungen, die Palladiumschmelztemperatur auch mit Rauschthermometrie, einer berührungsthermometrischen Messmethode, zu bestimmen.

Messtechnik für die Industrie

„At-Wavelength-Metrologie“ für die EUV-Lithographie

Ziel der Photolithographie (Halbleiterstrukturierungstechnologie) ist, mit immer kürzer werdenden Wellenlängen noch kleinere Strukturen zu erzeugen. Der Lithographie mit Strahlung im extremen UV (EUV) mit Wellenlängen um 13 nm werden größte Chancen zur Erzeugung von Strukturbreiten von weniger als 70 nm eingeräumt. Im Rahmen des von der EU geförderten EUCLIDES-Projekts (Extreme UV Concept Lithography Development System) wurde mit Synchrotronstrahlung der Speicherringe BESSY I und BESSY II in großem Umfang die „At-Wavelength-Charakterisierung“ von EUV-Optiken vorgenommen.

Mehrkanaliges Messsystem mit Hochtemperatursupraleiter-SQUIDS

Im Rahmen eines vom BMBF geförderten Vorhabens wurde zusammen mit Industrieunternehmen und Forschungsinstitutionen ein neun-kanaliges Sensorsystem entwickelt, das in elektromagnetisch stark gestörter Umgebung eingesetzt werden kann.

Infrarot-Strahlungsnormale für die Fernerkundung

Durch Infrarot-Fernerkundung werden in zunehmendem Maße wichtige Klima- und Umweltdaten erfasst. Um diese Daten weltweit und über lange Zeiträume vergleichen und auch kleine Änderungen von Schlüsselparametern verlässlich feststellen zu können, müssen die Messungen auf die SI-Einheiten bezogen sein. Ein neuer Messplatz für Infrarot-Kalibrierungen stellt dafür hochgenaue Normale zur Verfügung.

Bogenplasma und NIR-Laser verbessern die Kalibriermöglichkeiten für Strahlungsdetektoren

Wegen ihrer einfachen Handhabung sind kalibrierte Strahlungsempfänger für viele Anwender das wichtigste Hilfsmittel zur Durchführung radiometrischer Messungen. Mit einem wand- und druckstabilisierten Bogenplasma (2 bar, 15 000 K) als intensive Strahlungsquelle lassen sich in dem breiten

Spektralbereich vom UV bis zum IR Kalibrierungen von Detektoren verbessern. Außerdem wurde mit Hilfe von Diodenlasern die Genauigkeit der Skala der spektralen Empfindlichkeit im nahen Infraroten (NIR) weiter verbessert, wodurch vor allem auch genauere strahlungsthermometrische Messungen von thermodynamischen Temperaturen unterhalb 500 °C möglich werden.

Quantitative Fluoreszenzanalytik

Die Fluorometrie findet als empfindliche Analysenmethode vielfältigen Einsatz in Umweltanalytik, biochemisch-klinischer Analytik und Materialforschung. Aktuelle Entwicklungen befassen sich mit fluorometrischen Screening-Verfahren, transportablen Spektrometern für Messungen vor Ort und dem verstärkten Einsatz der laserinduzierten Fluoreszenz. Für diese zumeist noch forschungsnahen Arbeiten existiert bislang keine metrologische Infrastruktur. Zur Qualitätssicherung in der Fluorometrie wurde deshalb in Zusammenarbeit mit der BAM begonnen, qualitativ hochwertige, auf radiometrische Normale rückgeführte Fluoreszenzstandards für den UV/VIS/NIR-Spektralbereich bereitzustellen.

Vorsicht : Heiß – Zur Messung der Oberflächentemperatur

Die Messung von Oberflächentemperaturen mit Berührungsthermometern ist häufig mit großen Fehlern behaftet, da durch das Aufsetzen des Thermometers die Temperatur verändert wird. Mit einem neuen Kalibrierverfahren wurden jetzt die langjährigen Unzulänglichkeiten überwunden.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Kältezähler für Klimaanlage: Anforderungen erstmals in der Wärmezähler-Norm (DIN-EN 1434) definiert

Die Versorgung und Abrechnung der (Fern-)Kälte für Klimaanlage in Gebäuden ist ein neues Geschäftsfeld z. B. für FernwärmeverSORGER in den sonst absatzschwachen Sommermonaten. Die im geschäftlichen Verkehr dafür eingesetzten Kältezähler werden eichpflichtig.

Internationale Zusammenarbeit

Qualitätsmanagement für Thermometrie, Radiometrie und Vakuummetrologie: Key Comparisons

Die weltweiten „Schlüsselvergleiche“ (Key Comparisons, KC, und Supplementary Comparisons, SC), die die wichtigsten nationalen Metrologieinstitute derzeit im Rahmen des Mutual Recognition Arrangements durchführen, stellen auch ein wichtiges Mittel der Qualitätskontrolle und -sicherung dar. Abteilung 7 beteiligt sich an insgesamt zwölf dieser Vergleiche auf den Gebieten Thermometrie (fünf KC), Radiometrie (drei KC, drei SC) und Vakuummetrologie (ein KC). Die Vergleiche werden die internationale Wettbewerbsfähigkeit der PTB dokumentieren, bringen aber auch eine starke Belastung der beteiligten Laboratorien mit sich.

EA-Ringvergleich mit Flüssigkeits-Glasthermometern

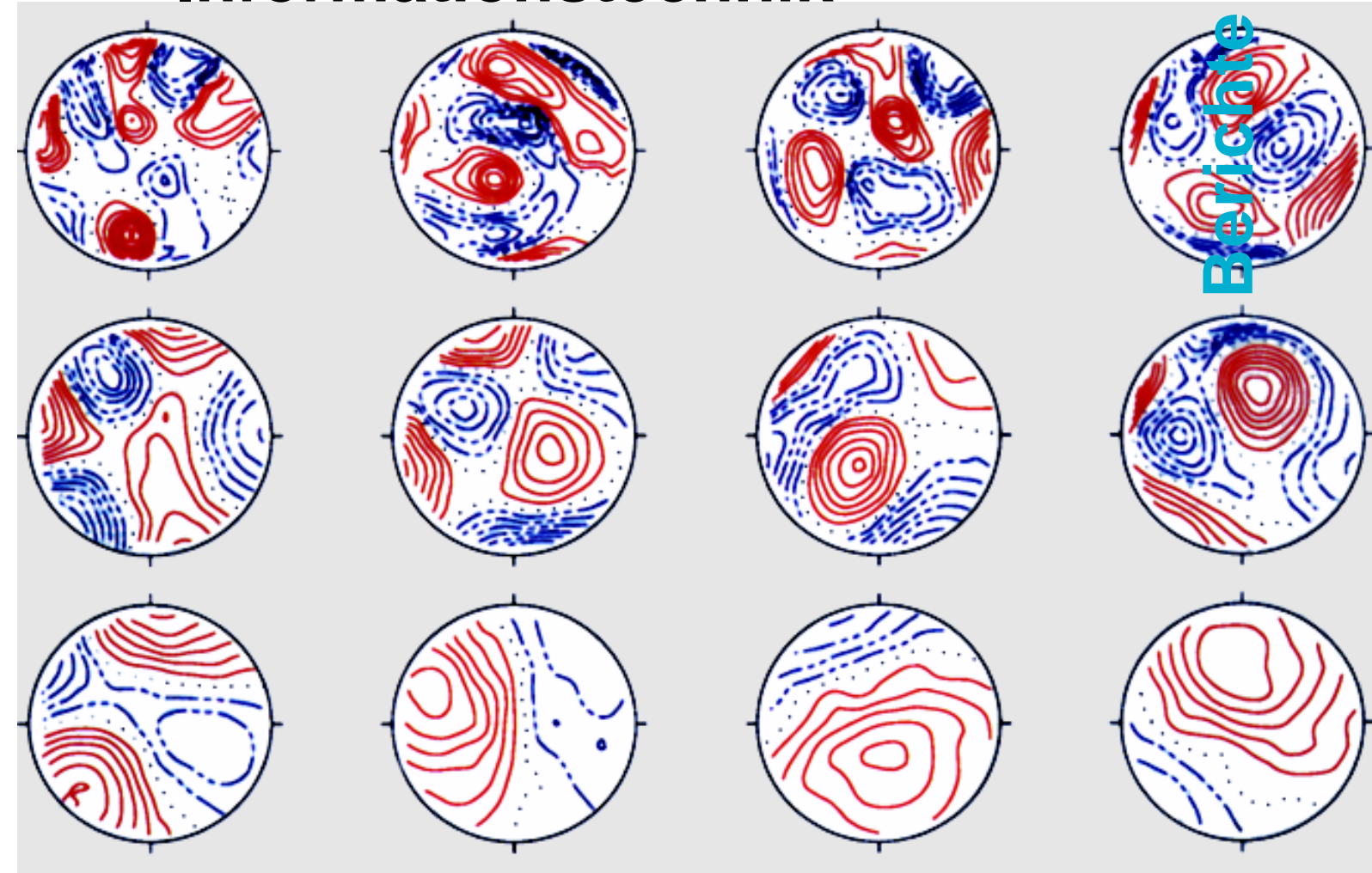
Die altbewährten Flüssigkeits-Glasthermometer werden auch heute noch in vielen Bereichen der Präzisions-Temperaturmessung eingesetzt. Ein europäischer Ringvergleich, der von der Abteilung organisiert wurde, machte nun deutlich, dass in den einzelnen Ländern verschiedene Kalibrierverfahren eingesetzt werden, die zu unterschiedlichen Ergebnissen führen. Die Verfahren sind in den einzelnen Ländern so fest etabliert, dass eine Vereinheitlichung nur langfristig möglich erscheint.

Temperaturlehrgang für Staatsinstitute im südlichen Afrika

Gemeinsam mit dem NML (Republik Südafrika) führte die PTB einen Lehrgang zur Temperaturmessung für Mitarbeiter aus Metrologie-Instituten im südlichen Afrika durch.

Medizinphysik und metrologische Informationstechnik

der Abteilungen



Abteilung
8

Medizinphysik metrologische Informationstechnik

Aktivitäten und Ziele

Die Abteilung 8 „Medizinphysik und metrologische Informationstechnik“ der PTB wurde am 15.10.1991 gegründet und umfasst heute die Fachbereiche „Medizinische Messtechnik“ (8.1) „Biosignale“ (8.2) und „Metrologische Informationstechnik“ (8.3). Während bei der Gründung der Abteilung die beiden medizinphysikalischen Fachbereiche auf eine mehrjährige Tradition zurückblicken konnten, wurde das zukunftsweisende Arbeitsgebiet „Metrologische Informationstechnik“ damals neu aufgenommen. Informationstechnische Komponenten sind integrale Bestandteile der heutigen wissenschaftlichen, industriellen, aber auch medizinischen Messtechnik, die unmittelbar dem Nutzen des Bürgers, insbesondere der Sicherung seiner Lebensbedingungen dient. Die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der eingesetzten Hard- und Softwarekomponenten bestimmen entscheidend die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Messergebnisse und der daraus gewonnenen Informationen. Diese Informationen können beispielsweise zu neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen führen oder als Grundlage einer medizinischen Diagnose dienen. Die Aufgaben der Abteilung auf dem Gebiet der metrologischen Informationstechnik werden mit dem Ziel durchgeführt,

- die Genauigkeit und Zuverlässigkeit bei der Erfassung von Messsignalen zu analysieren und zu verbessern
- die Sicherheit bei der Übertragung, Archivierung und Bereitstellung von (Mess-) Daten zu gewährleisten und

- durch geeignete mathematische Verfahren der Signal- und Datenverarbeitung einschließlich der physikalischen Modellierung relevante Informationen aus Messdaten zu gewinnen und die damit verbundenen Fehler und Unsicherheiten zu analysieren und zu minimieren.

Diese Aufgaben schließen Maßnahmen zur Qualitätssicherung von IT-Komponenten, beispielsweise die Prüfung von Software, mit ein.

Auf dem Gebiet der Medizinphysik werden in der Abteilung Forschungs- und Entwicklungsarbeiten durchgeführt, um bei Anwendungen physikalischer und physikalisch-chemischer Methoden in der medizinischen Diagnostik und Therapie eine dem Stand von Wissenschaft und Technik entsprechende Messsicherheit zu gewährleisten. Die Steigerung der Genauigkeit und Zuverlässigkeit medizinphysikalischer Messungen

- trägt zur Qualitätssicherung von Diagnose und Therapie bei und dient somit dem Schutz des Patienten vor falschen Diagnosen und unangemessenen oder falschen Therapien und
- ist Voraussetzung für eine Vergleichbarkeit von Messergebnissen und damit für die Einheitlichkeit des Messwesens in der Heilkunde.

Die Aktivitäten der Abteilung auf dem Gebiet der Medizinphysik dienen damit der Befriedigung elementarer Bedürfnisse der Gesellschaft. Für bereits in der Praxis eingeführte Messverfahren ist die PTB gemäß § 33 Medizinproduktegesetz beauftragt, Normale, Normalmessgeräte und Prüfhilfsmittel zu entwickeln und die zuständigen Behörden und Benannten Stellen zu beraten, um die o. g. Ziele zu erreichen. Für noch in der klinischen Erprobung bzw. erst in der Entwicklung befindliche Messverfahren kann eine Steigerung ihrer Genauigkeit und Zuver-

lässigkeit zur Verbesserung von Diagnose und Therapie nur in enger Kooperation mit medizinischen Partnern erzielt werden. Hierbei fällt der Abteilung die Aufgabe zu, die medizinischen Partner bei der Nutzung der besonderen Messeinrichtungen der PTB zu unterstützen, im Rahmen ihrer personellen und finanziellen Ressourcen messtechnische Entwicklungen sowie Arbeiten zur Signal- und insbesondere Messdatenverarbeitung durchzuführen, um medizinisch relevante Aussagen zu erhalten. Hierfür bieten zahlreiche, zum Teil vertraglich geregelte Kooperationen mit Berliner Universitätskliniken (Charité Berlin-Mitte, Charité Virchow-Klinikum, Charité Berlin-Buch, Universitätsklinikum Benjamin Franklin) und Krankenhäusern, außeruniversitären biomedizinischen Einrichtungen in Berlin (Max-Delbrück-Centrum Berlin-Buch, Institut für Diagnostikforschung GmbH), mit ortsansässigen Industrieunternehmen (Schering AG), mit den naturwissenschaftlich-technischen Fakultäten der Berliner Universitäten sowie dem an der „Technologiestiftung Berlin“ angesiedelten „Zentrum Medizintechnik Berlin“ einschließlich der daran beteiligten Einrichtungen gute Voraussetzungen. Die Einbindung der Abteilung in das Berliner naturwissenschaftliche und biomedizinische Umfeld und darüber hinaus ihre wissenschaftliche Attraktivität auf nationaler und internationaler Ebene wird sich durch die beiden in diesem Jahr in Betrieb gehenden vielkanaligen biomagnetischen Messeinrichtungen im Hermann-von-Helmholtz-Bau weiter erhöhen.

Im Folgenden sollen die Aktivitäten der Abteilung auf dem Gebiet der Medizinphysik exemplarisch dargestellt werden.

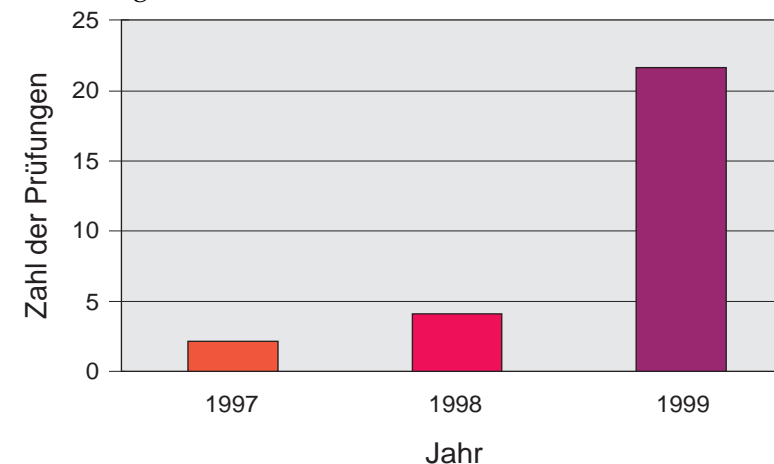
Normale für die Medizin

In der Medizin wurde das alte System des gesetzlichen Messwesens in Folge der europäischen Harmonisierung durch ein neues System zur Qualitätssicherung ersetzt, das die Konzepte der Bauartzulassung und Konformitätsbewertung im Sinne der Produkthaftung in die Verantwortung der Hersteller und Betreiber und die Überprüfung, d. h. den Vollzug, in die Hände der Länder legt. Seither kommt der PTB auf dem Gebiet der Medizinphysik wieder zunehmend die traditionelle Rolle des Entwicklers von Primärnormalen und Referenzmessverfahren zu. In Richtlini-

en, Verordnungen und harmonisierten Normen wird strenger als bisher der Nachweis der Rückführung von Kalibrierungen auf internationale Normale gefordert. Wenn Hersteller zunehmend selbst die Prüfung der Konformität durchführen, müssen die Herstellerprüfeinrichtungen an übergeordnete Normalmesseinrichtungen angeschlossen werden.

Die Rolle der PTB in diesem Prozess lässt sich gut am Beispiel der medizinischen Ergometrie erläutern:

Fahrrad-Ergometer dienen der gezielten mechanischen Belastung, z. B. von Patienten im Rahmen von Untersuchungen („Belastungs-EKG“), zur Therapiekontrolle während der Rehabilitation und bei sportmedizinischen Studien. Die Übernahme dieser Gerätekategorie in die Eichpflicht vor einigen Jahren hat zu einer erheblichen Verbesserung ihrer messtechnischen Qualität geführt. Im Fachlaboratorium 8.22 wurde ein Referenzmessplatz für die Ergometrie aufgebaut, der als nationales Normal die Kalibrierung von ebenfalls in diesem Laboratorium entwickelten Ergometertransfornormalen ermöglicht. Mit diesen Transfornormalen werden die Prüfplätze der Ergometerhersteller und die Prüfnormale für messtechnische Kontrollen an das nationale Normal angeschlossen. Seit die PTB die lückenlose Rückverfolgbarkeit der dynamischen Ergometerleistungsmessung an das nationale Normal anbieten kann, sind von Seiten der Industrie mit stark wachsender Tendenz entsprechende Prüfaufträge an die PTB vergeben worden.



Unterstützt wird diese Qualitätssicherung durch die in Vorbereitung befindliche Ergometernorm, an deren Erarbeitung die PTB maßgeblich beteiligt war.

Titelbild

Propagation eines Nervenaktionsstroms vom rechten Bein in die Wirbelsäule, magnetisch nachgewiesen über der Lendenwirbelsäule mit dem 83-SQUID-Messsystem der PTB im Universitätsklinikum Benjamin Franklin. Der Depolarisationsphase folgt die Repolarisationsphase (beide Phasen besitzen dipolare Feldstruktur).

Ähnlich wie für die Ergometrie werden in der Abteilung Referenzmessplätze und Normale für die Messung von Blutdruck, Augeninnendruck, Elektrokardiogrammen (EKG) und für die Lungenfunktionsdiagnostik entwickelt und aufgebaut, um entsprechend für diese Messverfahren eine metrologische Rückführung der Herstellermessplätze an die Normale der PTB zu etablieren.

Nach der Medizinprodukte-Betreiberverordnung sind in regelmäßigen Abständen an medizinischen Messgeräten sogenannte messtechnische Kontrollen (früher: „Nach Eichungen“) durchzuführen. Die PTB hat in Zusammenarbeit mit den Eichämtern einen Leitfaden zur Durchführung dieser Kontrollen erarbeitet und publiziert. Weiterhin bietet die PTB Prüfungen an, die im Erfolgsfall die Eignung der bei den messtechnischen Kontrollen verwendeten Prüfhilfsmittel der Messstellen bestätigen.

Bioelektrische und biomagnetische Messverfahren

Ein weiteres wichtiges Instrument zur Sicherung der Einheitlichkeit des Messens in der Medizin ist die Entwicklung von Referenzmessverfahren. Für ausgewählte wichtige Fragestellungen muss anhand eines metrologisch fundierten Vorgehens aufgezeigt werden, mit welcher Messunsicherheit diagnostische Ergebnisse erzielt werden können. Diese Referenzmessverfahren können dann als Maßstab für die in der Praxis verwendeten Verfahren dienen und erlauben es, PTB-Empfehlungen zur Durchführung von Untersuchungen zu formulieren, bei denen die medizinische Messtechnik eine entscheidende Rolle spielt.

Eines der ältesten und am weitesten verbreiteten Gebiete der medizinischen Funktionsdiagnostik umfasst elektrophysiologische Messungen, beispielsweise die Aufnahme von Elektrokardiogrammen und Elektroenzephalogrammen (EEG). Die im Körper ablaufenden Ionenströme verursachen die mit diesen Verfahren gemessenen elektrischen Potentiale. Darüber hinaus sind die Ionenströme mit magnetischen Feldern verknüpft, die mit höchstempfindlichen Magnetfeldsensoren (SQUIDs) erfasst werden können. Es ist das übergeordnete Ziel des Fachlaboratoriums

8.21 „Bioelektrizität und Biomagnetismus“, möglichst umfassend die räumliche Verteilung der körpereigenen Magnetfelder und ihre zeitliche Entwicklung sowie die elektrischen Potentiale an der Oberfläche des Körpers und ihre Zeitabhängigkeit mit hoher Qualität zu vermessen und aus den Ergebnissen und Auswertungen die Grenzen der Aussagefähigkeit verschiedener Mess- und Auswertemethoden zu bestimmen.

Die Arbeiten des Fachlaboratoriums 8.21 auf dem Gebiet der Bioelektrizität und des Biomagnetismus haben schwerpunktmäßig den Charakter einer metrologisch ausgerichteten Grundlagenforschung. Dies soll an zwei Beispielen aus der Magnetoneurographie illustriert werden, die in enger Zusammenarbeit mit der Abteilung für Neurologie des Universitätsklinikums Benjamin Franklin durchgeführt wurden.

Magnetoneurographie zur Untersuchung der Funktion peripherer Nerven und von kognitiven Hirnfunktionen

Ziel dieser Untersuchungen ist es, die Fortpflanzung und Verarbeitung eines Reizes im Nervensystem messtechnisch zu erfassen, um auf diese Weise klinisch relevante Prozesse, wie die Paralyse von Arm- oder Beinerven nach Verletzungen an der Wirbelsäule oder die Reorganisation von Hirnfunktionen nach Schlaganfällen aufklären zu können. Die Ergebnisse der funktionalen Bildgebung sollen diagnostisch und therapiesteuernd eingesetzt werden.

Am Beispiel der Reizpropagation in einem peripheren Nerven durch die Extremitäten über das Rückenmark zum zentralen Nervensystem konnten bei betroffenen Patienten mit biomagnetischen Messungen durch Bandscheibenvorfälle verursachte Reizleitungsblockaden in der Wirbelsäule lokalisiert werden. Dazu wurden die Beinerven der Patienten repetitiv elektrisch stimuliert und die evozierten magnetischen Felder der Nerven nahe der Wirbelsäule mit einem hochauflösenden Multikanal-SQUID-System aufgezeichnet. Aus den Messdaten wurde über die Lösung eines inversen Problems das zeitlich veränderliche Stromfeld näherungsweise ermittelt. Als Modell zur Beschreibung der Quellen der elektromagnetischen Felder

wurde die Multipolentwicklung eingesetzt. Die Aufgabe konnte nur mit aufwendigen gewichteten Mittelungsverfahren bzw. mit einer speziellen Datenanalysemethode (Independent-Component-Analysis) erfolgreich gelöst werden.

Ein weiteres Anwendungsbeispiel ist der erstmals mittels magnetoneurographischer Messungen gelungene Nachweis einer hochfrequenten (600 Hz) Aktivität in der Funktion des Kortex (Hirnrinde), die aus EEG-Messungen bekannt ist. Mit Hilfe einer mechanischen Modulationseinrichtung, die den Abstand zwischen dem Probanden und der SQUID-Sensoranordnung verändert, gelang es bei sehr niedrigen Frequenzen erstmals, akustisch evozierte, quasistatische Hirnmagnetfelder nachzuweisen, deren medizinische Bedeutung Gegenstand der aktuellen Forschung ist.

Biomagnetische Untersuchungen mit magnetischen Teilchen

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Diagnostikforschung und gefördert durch das BMBF sowie durch die Schering AG wurden Messverfahren entwickelt, die die hohe Empfindlichkeit von SQUID-Sensoren für magnetische Felder ausnutzen.

Ein für Anwendungen in der Gastroenterologie und in der Arzneimittelforschung vielversprechendes Messverfahren besteht darin, nach der oralen Einnahme die Passage eines kleinen, in einer Pille gekapselten Magnetteilchens durch den Gastrointestinaltrakt räumlich und zeitlich zu verfolgen. Hierzu wird zu bestimmten Zeitpunkten während der Passage mit Hilfe eines Mehrkanal-SQUID-Messsystems die Magnetfeldverteilung gemessen und durch entsprechende mathematische Modellierung der Ort des Teilchens sowie die Stärke und Ausrichtung seiner Magnetisierung bestimmt. Auf diese Weise lässt sich der Weg des Teilchens durch den Gastrointestinaltrakt in 3-Dimension mit guter Zeitauflösung verfolgen. Verwendet man sowohl für die Kapsel als auch für ihren magnetischen Kern Substanzen, die sich im Magen-Darm-Trakt auflösen, so lassen sich aufgrund derartiger Untersuchungen Applikationsformen von Arzneimitteln entwickeln, die das Arzneimittel an bestimmter Stelle des Gastrointestinaltraktes freisetzen.

Die zweite Anwendung befasst sich mit der messtechnischen Analyse der Dynamik von magnetischen Nanoteilchen, die als Markersubstanz chemisch an Antigene oder Antikörper gebunden sind. Werden die magnetischen Nanoteilchen aufmagnetisiert und anschließend das Magnetfeld abgeschaltet, so erfolgt die Relaxation der Magnetisierung nach zwei grundlegenden Mechanismen. Bei der Brownschen Relaxation drehen sich die Teilchen selbst statistisch aus der ursprünglichen Magnetisierungsrichtung heraus, bei der Néelschen Relaxation dreht sich der Magnetisierungsvektor innerhalb des magnetischen Kerns der Teilchen in eine statistisch verteilte Vorzugsrichtung. Beide Mechanismen weisen eine drastisch unterschiedliche Abhängigkeit der Relaxationszeit von der Teilchengröße auf. Bei geeigneter Teilchengröße, z. B. 20 nm, relaxieren frei in Lösung schwimmende Nanopartikel innerhalb von 100 ms nach dem Brownschen Mechanismus. Werden diese Teilchen jedoch über eine Antigen-Antikörper-Reaktion in ihrer Beweglichkeit eingeschränkt, d. h. fixiert, erfolgt die Relaxation nach dem Néelschen Mechanismus und damit um Größenordnungen langsamer. Weit verbreitete klinisch-biochemische Untersuchungsmethoden, sogenannte Immunoassays, beruhen auf derartigen Antigen-Antikörper-Reaktionen, wobei Marker auf Enzymbasis sowie fluoreszierende oder radioaktive Marker zum Nachweis eingesetzt werden. Das oben beschriebene magnetische Relaxationsverfahren kann ebenfalls für einen Immunoassay verwendet werden und bietet gegenüber den anderen Nachweisverfahren den Vorteil, dass überschüssige ungebundene Teilchen vor der eigentlichen Messung nicht entfernt werden müssen.

In der PTB wurde im Rahmen eines BMBF-geförderten Vorhabens ein SQUID-Messplatz zur Untersuchung von Immunoassays mit magnetischen Nanopartikeln als Markersubstanz aufgebaut, der sich durch die Möglichkeit des Betriebs in magnetisch abgeschirmter Umgebung auszeichnet. Zahlreiche Untersuchungen an Ferrofluiden und Immunoassays dienen der Aufklärung der Mechanismen und der Verbesserung des oben beschriebenen Verfahrens.

Bioelektrische Verfahrensentwicklung

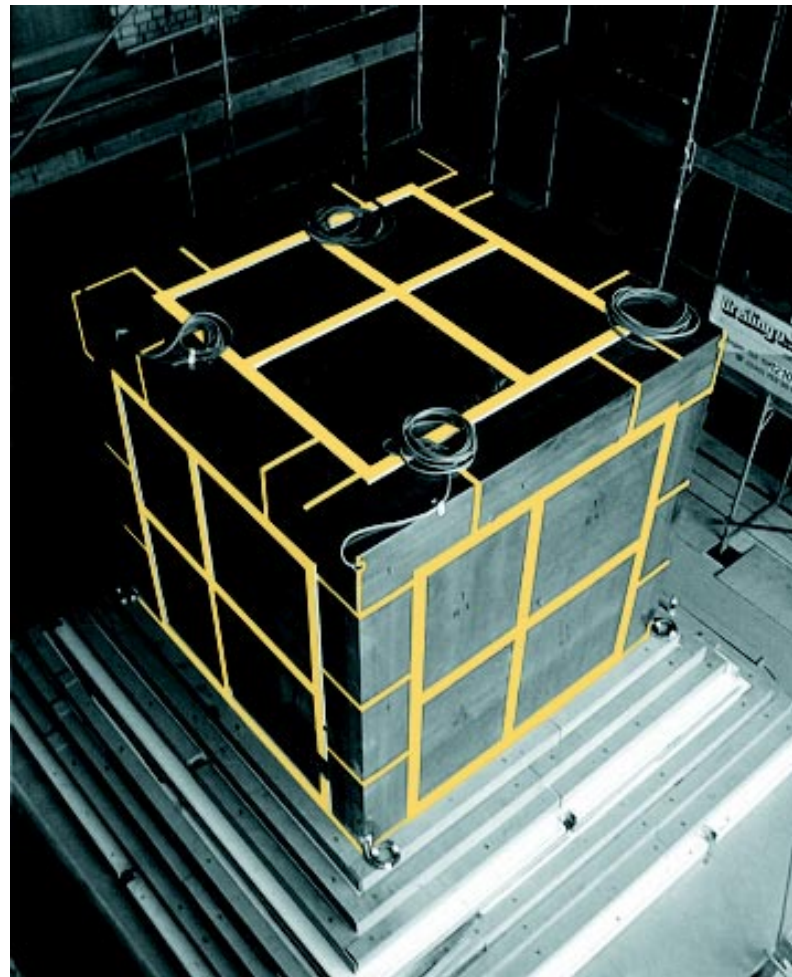
Die Aufnahme von Elektrokardiogrammen ist die am weitesten verbreitete elektrophysiologische Untersuchungsmethode. Moderne EKG-Geräte liefern neben den Signalen der Elektrodenableitungen einen Diagnosevorschlag, der durch eine Auswertesoftware ermittelt wird, die die Signale und ggf. Zusatzinformationen (Alter, Medikation, etc.) analysiert.

Im Fachlaboratorium 8.21 wurde ein neuartiger, patentierter Ansatz zur automatischen EKG-Diagnose entwickelt, der auf Mustervergleichsverfahren beruht. Dabei wird das aufgenommene EKG mittels eines speziellen Algorithmus mit vielen vorhandenen EKGs einer Datenbank verglichen, deren Diagnosen bekannt sind. Für das untersuchte EKG wird als Diagnosevorschlag die Diagnose der ihm ähnlichsten EKGs der Datenbank gewählt. Erfolgreich ist dieser Ansatz aufgrund einer speziellen Normierung der Signale, praktikabel wird das Verfahren durch eine ausgeklügelte Hard- und Softwarelösung, die eine schnelle Auswertung der Daten ermöglicht. Das Verfahren wurde intensiv an einem Datensatz, bestehend aus über 8000 EKGs, getestet und liefert Ergebnisse, die bezüglich Sensitivität und Spezifität anderen Verfahren deutlich überlegen sind.

Neue Mehrkanal-SQUID-Messdatenerfassungssysteme

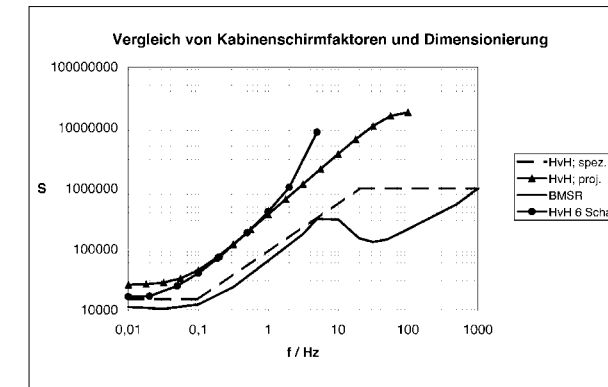
Das Fachlaboratorium 8.21 wird im Jahre 2000 über eine neue biomagnetische Infrastruktur im Hermann-von-Helmholtz-Bau verfügen. Zentrale Komponenten dieser Infrastruktur sind zwei magnetisch geschirmte Kabinen für biomagnetische Untersuchungen unter definierten Bedingungen. Die eine (kleine) Kabine befindet sich im Gebäude selbst und entspricht einer üblichen Standardkonstruktion einer Kabine für biomagnetische Anwendungen, verfügt aber zusätzlich über eine akustische Schirmung, die Referenzbedingungen für Experimente mit akustisch evozierten Signalen schafft. Diese Kabine wird ein kommerzielles Magnetoenzephalographie-(MEG-) System aufnehmen. Die zweite, große Kabine (s. Bild rechts) wird in einem Anbau errichtet und erschließt eine völlig neue Dimension bezüglich der Schirmeigenschaften zur Unterdrückung externer Störsignale. Die Wand der

Kabine besteht aus sieben μ -Metall-Lagen und einer 1 cm dicken Aluminiumlage. Diese Kombination sorgt für eine bisher unerreichte passive Schirmung äußerer Magnetfelder. Um auch langsam veränderliche Felder effektiv abschirmen zu können, wird um die Kabine eine Anordnung orthogonaler Helmholtz-Spulenpaare aufgebaut, mit der eine zusätzliche aktive Schirmung erreicht wird. Eine weitere HF-Schale außerhalb der Kabine sorgt für die Abschirmung hochfrequenter Störungen. Während des Aufbaus der großen Kabine wurden begleitend Messungen des Schirmfaktors durchgeführt, die die Spezifikationen der Auftragsvergabe und die theoretischen Abschätzungen bereits vor dem Endausbau bestätigten.



Das Diagramm auf Seite 101 vergleicht die Schirmfaktoren der alten, magnetisch-geschirmten Kammer (BMSR) im Warburgbau (Baujahr 1980) und der neuen, großen Kabine. Angegeben sind spezifizierte Schirmfaktoren nach Fertigstellung der großen Kabine mit insgesamt sieben μ -Metall-Schalen, theoretische Abschätzungen des Schirmfaktors der

fertig gestellten Kabine sowie gemessene Schirmfaktoren nach Aufbau von insgesamt sechs μ -Metall-Lagen, d. h. nach Aufbau der vier innersten μ -Metall-Schalen, einer Aluminium-Schale und zweier weiterer äußerer μ -Metall-Schalen.



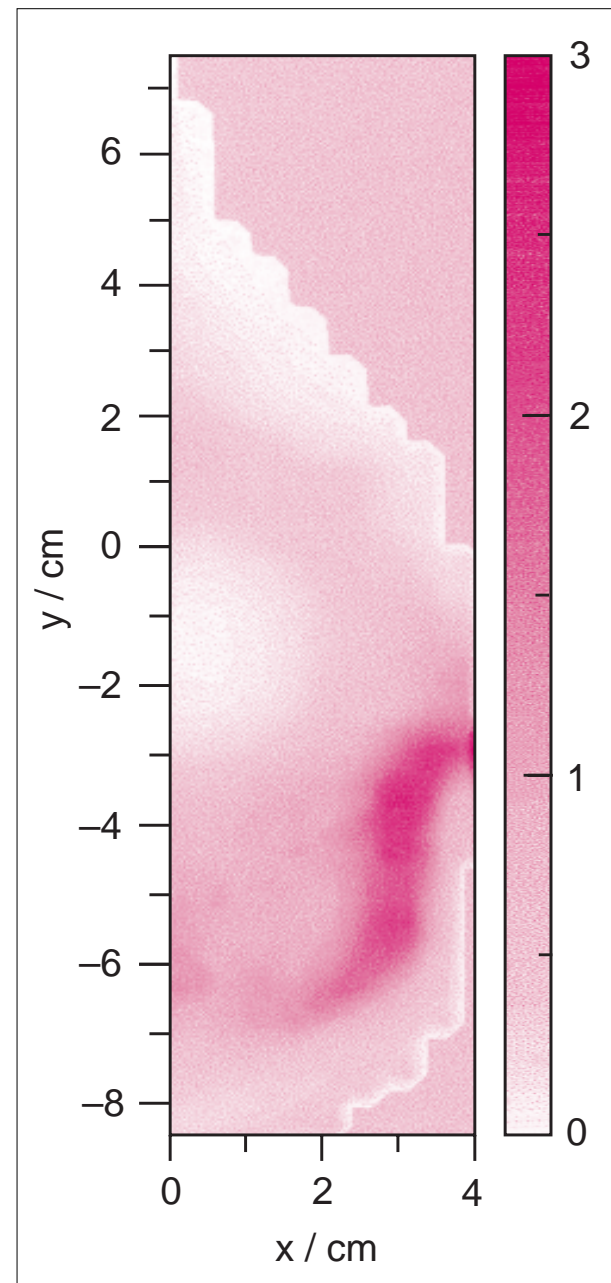
Die große Kabine wird ein Mehrkanal-SQUID-Messsystem aufnehmen, das im Endausbau 304 magnetische Kanäle (304 SQUID-Sensoren) besitzen wird und Biosignale mit hoher Empfindlichkeit erfassen soll. Die große Zahl paralleler Erfassungskanäle führt zu extrem hohen Datenraten, die hohe Anforderungen an das Messsignalverarbeitungs- und -visualisierungs-System stellen. Da Systeme mit den hierfür notwendigen Spezifikationen kommerziell nicht erhältlich sind, wurde in Zusammenarbeit zwischen Mitarbeitern der Abteilung 8 und kleinen HiTech-Firmen eine Speziallösung entwickelt und erfolgreich realisiert. Das mehrkanalige SQUID-Messsystem wird es weltweit erstmalig erlauben, die räumliche und zeitliche Verteilung aller Komponenten des biomagnetischen Vektorfeldes zu erfassen. Mit Hilfe eines Prototyps zur sequentiellen Messung magnetischer Vektorfelder wurden erste Messungen des Magnetfeldes des Herzens während des Herzzyklus aufgenommen. Die Reichhaltigkeit der in den gemessenen Daten erhaltenen Informationen war hierbei bereits offensichtlich.

Lasergestützte Messverfahren der medizinischen Diagnostik

Während für lange Zeit optische Verfahren in der medizinischen Diagnostik vorzugsweise zur Untersuchung des Auges eingesetzt wurden, hat vor etwas mehr als zehn Jahren eine stürmische Entwicklung lasergestützter Messverfahren für unterschiedliche Anwendungen in der medizinischen Diagnostik eingesetzt,

eine Entwicklung, die auch heute noch anhält. Die Entwicklung lasergestützter Messverfahren wurde frühzeitig in der Abteilung aufgegriffen, wobei heutige Schwerpunkte die Erkennung und Abbildung von einzelnen Zellen, aber auch von pathologischen Gewebeveränderungen in der Schleimhaut von Hohlorganen oder von Tumoren in dicken Gewebeschichten anhand der in-vivo gemessenen gestreuten Laserstrahlung oder laserinduzierten Fluoreszenzstrahlung darstellen. So wurde in der Abteilung der weltweit erste Laserimpuls-Mammograph aufgebaut, bei dem die Verbreitung von roten und nahinfraroten Pikosekunden-Laserimpulsen durch die komprimierte weibliche Brust an einer großen Zahl von Rasterpositionen gemessen wird. Das umseitige Bild zeigt in medio-lateraler Projektion ein optisches Mammogramm einer 50 Jahre alten Patientin, wobei der Tumor als dunkler, eine Zyste als heller Fleck erscheint. Im Gegensatz zur Röntgen-Mammographie besitzt die Laserimpuls-Mammographie eine schlechte physikalische Ortsauflösung, bietet jedoch den Vorteil, bei Verwendung mehrerer Wellenlängen den Blutgehalt und die Sauerstoffsättigung des Blutes im Tumor nicht-invasiv zu messen und somit (patho)physiologische Informationen zu gewinnen. Der Laserimpuls-Mammograph wird seit verganginem Jahr in der Robert-Rössle-Klinik Berlin-Buch eingesetzt, wobei inzwischen ca. 20 Patientinnen untersucht wurden. Eine Beurteilung des diagnostischen Wertes der Laserimpuls-Mammographie ist derzeit noch nicht möglich. Es ist geplant, den Mammographen auf einen Mehrkanalbetrieb zu erweitern, um optische Mammogramme nicht nur bei mehreren Wellenlängen, sondern auch unter verschiedenen Projektionswinkeln simultan aufnehmen zu können.

In der medizinischen Diagnostik werden zur Erkennung und Differenzierung von biologischen Zellen traditionell Fluoreszenzfarbstoffe eingesetzt, mit denen die Zellen bzw. Zellbestandteile angefärbt werden. Sind diese Fluoreszenzfarbstoffe an monoklonale Antikörper gekoppelt, so lässt sich durch eine immunologische Reaktion (Antigen-Antikörper-Reaktion) eine hohe Spezifität bei der Erkennung einzelner Zellen erreichen. Im Fachlaboratorium 8.11 „Messtechnik in der Laboratoriumsmedizin“ werden diese Verfahren zur Erkennung, Zählung und mechani-



In Zusammenarbeit mit der 4. Medizinischen Klinik der Charité Berlin-Mitte und der Robert-Rössle-Klinik Berlin-Buch entwickelt das Fachlaboratorium 8.12 „Biomedizinische Optik und NMR-Messtechnik“ Verfahren zur empfindlichen Erkennung und Abbildung von Tumoren und ihren Vorstufen (Dysplasien) während endoskopischer Untersuchungen von Hohlorganen (Speiseröhre, Darm). Hierzu wird die Tatsache ausgenutzt, dass nach Verabreichung einer wässrigen Lösung einer körpereigenen Aminosäure (δ -Aminolävulinsäure) in Tumoren und Präkanzerosen der Schleimhaut sich im Rahmen der Häm-Biosynthese verstärkt der Fluoreszenzfarbstoff Protoporphyrin IX bildet. Durch Beobachtung der laserinduzierten Fluoreszenz während endoskopischer Untersuchungen können pathologische Veränderungen der Schleimhaut sichtbar gemacht und abgebildet werden, die mit dem bloßen Auge nicht erkennbar sind. Die Abteilung betreibt in den beiden o. g. Kliniken Messplätze für eine Fluoreszenz-gestützte Endoskopie, wobei Gewebeproben (Biopsien) an Stellen der Schleimhaut mit erhöhter Protoporphyrin-IX-Fluoreszenz entnommen werden (optische Biopsie).

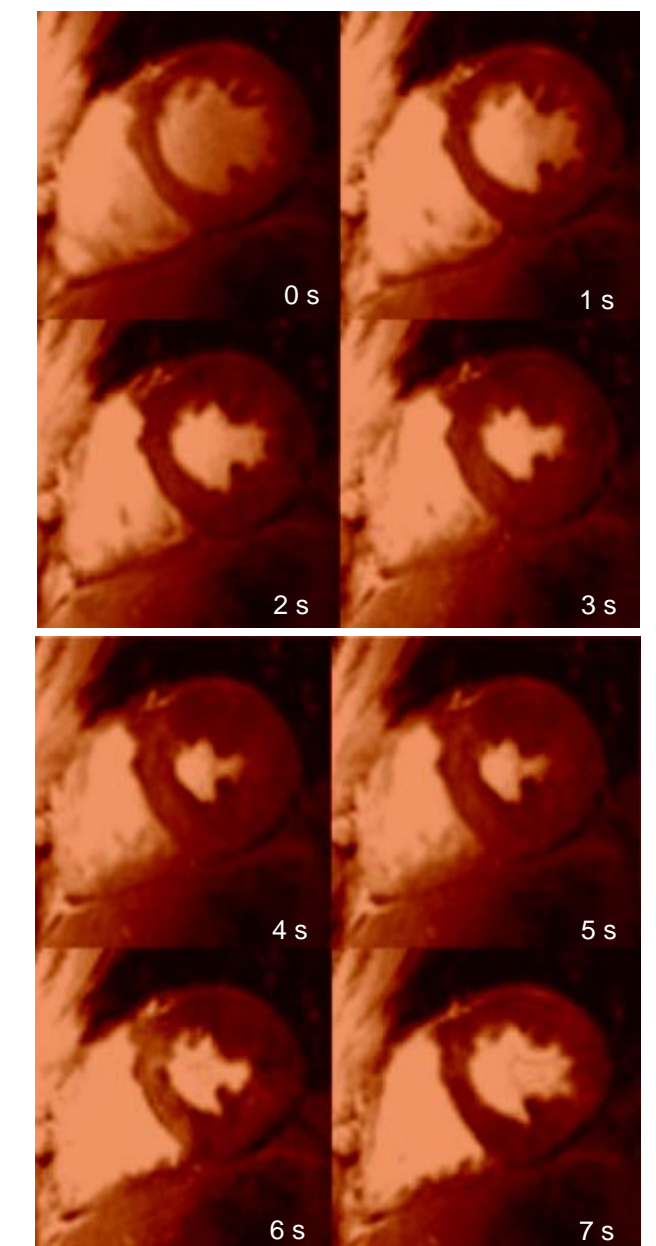
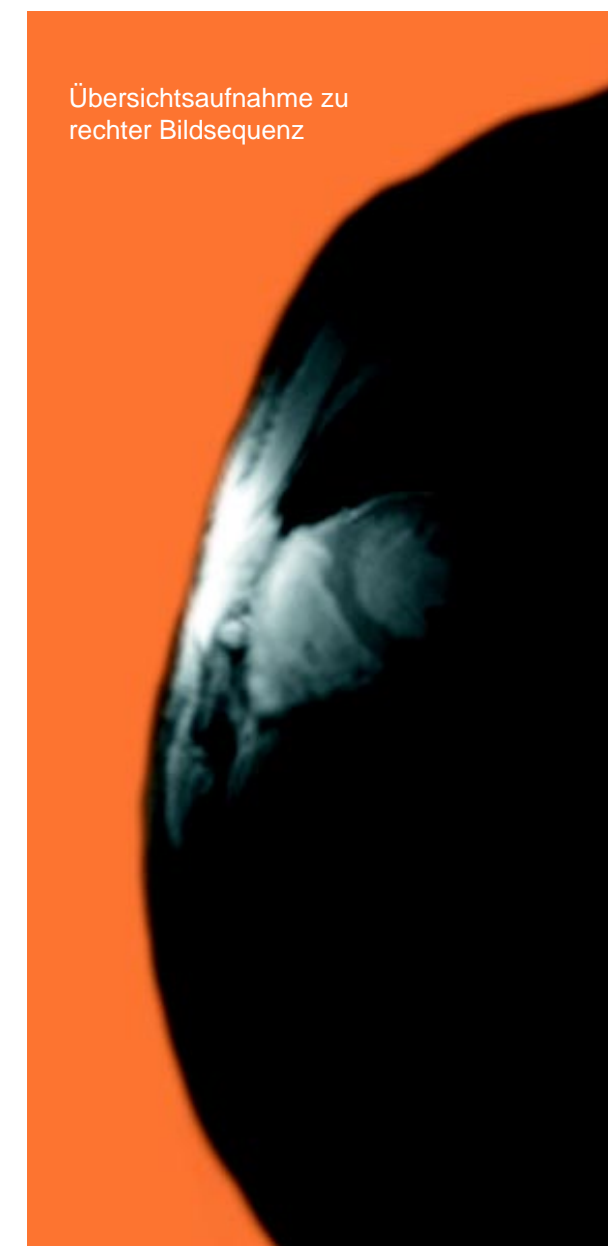
NMR-Messtechnik

In den vergangenen zehn bis 15 Jahren hat die Kernspin(NMR)-Tomographie sich zu einem in vielen Bereichen der bildgebenden medizinischen Diagnostik unentbehrlichen Hilfsmittel entwickelt, wobei Magnetfelder bis zu 1,5 Tesla Anwendung finden. Durch den Einsatz stärkerer Magnetfelder (≥ 3 Tesla) können neue Anwendungsgebiete der NMR-Tomographie erschlossen werden. Um die Empfindlichkeitssteigerung und die bessere spektrale Auflösung bei Verwendung höherer Magnetfeldstärken ausnutzen zu können, sind apparative und messtechnische Entwicklungen erforderlich. Als Beispiel sei hierfür die Entwicklung von applikations-optimierten Mehrelement(phased array)-Spulen genannt, die im Fachlaboratorium 8.12 für den 3-Tesla-Ganzkörpertomographen der PTB Berlin-Charlottenburg durchgeführt werden. Besondere Schwierigkeit bereitet die Tatsache, dass die Wellenlänge der verwendeten elektromagnetischen (HF)-Strahlung im menschlichen Körper etwa so groß ist wie die Dimensionen des Körpers oder der Spulen. Mehrelement-Oberflächenspulen wurden in

schon Sortierung von (Blut-)Zellen mit Hilfe der Durchflusszytometrie eingesetzt. Ziel ist es, die Trennschärfe durchflusszytometrischer Verfahren bei der Differenzierung und Zählung verschiedener Klassen von weißen Blutkörperchen zu verbessern und nach einer mechanischen Sortierung der Zellen die durchflusszytometrische Identifikation der Zellen mit mikroskopischen Verfahren zu validieren. Das Fachlaboratorium 8.11 bestimmt als Referenzlaboratorium die Konzentration von Blutkörperchen in Kontrollbluten, die für Ringversuche zum Kleinen Blutbild eingesetzt werden und nimmt an Ringversuchen zur Immunphänotypisierung, d. h. zur Unterscheidung von weißen Blutzellen mittels immunologischer Verfahren teil.

der Abteilung erfolgreich für eine hochauflösende Herzbildgebung bei einer Feldstärke von 3 Tesla eingesetzt. Im Bild unten werden NMR-Schnittbilder senkrecht durch die Längsachse des Herzens während verschiedener Zeiten des Herzzyklus gezeigt. Deutlich ist die Kontraktion und die dann folgende Erschlaffung der linken Herzkammer zu erkennen. Weitere Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkte auf dem Gebiet der NMR-Messtechnik sind die quantitative In-vivo-NMR-Spektroskopie zur nicht-invasiven Bestimmung absoluter Konzentrationsverteilungen von Metaboliten im menschlichen Körper sowie die NMR-Thermometrie für eine Temperaturkontrolle während einer HF-Hyperthermiebehandlung von Tumoren. Vorrangiges Ziel ist es, durch apparative und messtechnische Entwicklungen sowie durch

methodische Verbesserungen der Analyse von NMR-Spektren die Genauigkeit bei der Konzentrationsbestimmung von Metaboliten so zu steigern, dass diagnostisch relevante Aussagen, insbesondere bei Erkrankungen des zentralen Nervensystems, sich aus den NMR-Spektren ableiten lassen. Zur nicht-invasiven Temperaturmessung im menschlichen Körper wird die Temperaturabhängigkeit der NMR-Resonanzfrequenz von Wasser oder von paramagnetischen Kontrastmitteln ausgenutzt. Die mit der höheren Magnetfeldstärke (3 Tesla) verbundene bessere spektrale Auflösung erlaubt eine genauere Bestimmung der Temperaturverteilung. Diese Untersuchungen werden im Rahmen des Sonderforschungsbereichs 273 „Hyperthermie: Methodik und Klinik“ in Zusammenarbeit mit dem Virchow-Klinikum durchgeführt.



In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf CD-ROM: Abteilung Medizinphysik und metrologische Informationstechnik)

Grundlagen der Metrologie

Kooperationsvereinbarung PTB – GMD

Es wurde eine auf zunächst fünf Jahre befristete Vereinbarung zwischen der PTB und dem GMD-Forschungszentrum Informationstechnik GmbH hinsichtlich einer Kooperation auf den Gebieten Biomagnetismus und Signalverarbeitung geschlossen. Das Fachlaboratorium 8.21 und das Institut für Rechnerarchitektur und Softwaretechnik der GMD werden insbesondere raum-zeitlich hochauflösende biomagnetische Messungen durchführen und analysieren, um die Aktivitäten der menschlichen Hirnrinde zu untersuchen.

Freie Spinpräzession von hyperpolarisiertem ^{129}Xe -Gas in extrem niedrigen Magnetfeldern

Es ist erstmals gelungen, die freie Spinpräzession von kernspinpolarisiertem ^{129}Xe -Gas in extrem niedrigen Magnetfeldern (5 nT) mit Hilfe von SQUIDs zu beobachten. Es wurden transversale Relaxationszeiten bis zu 8000 s beobachtet. Aus gemessenen Magnetfeldverteilungen konnte der Ort des kugelförmigen Glasgefäßes, welches das Gas enthielt, rekonstruiert werden.

Untersuchung von hochauflösenden ADUs

Durch die Weiterentwicklung spezieller Fensterfunktionen konnte die Signalverarbeitung am Messplatz für Analog/Digital-Umsetzer (ADU) so verbessert werden, dass eine Untersuchung von ADUs (hochauflösende Sigma-Delta-ADUs) mit Auflösungen oberhalb 16 bit möglich ist.

Hochauflösendes EKG-Aufnahmesystem

Es wurde ein 16-kanaliges PC-gestütztes Aufnahmesystem für hochauflösende Elektrokardiogramme fertiggestellt und alle Inbetriebnahme- und EMV-Prüfungen als Voraussetzung für eine CE-Zeichenerteilung erfolgreich abgeschlossen.

Datenbank für Biosignale

Es wurde eine Datenbank für Elektro- und Magnetokardiogramme einschließlich der dazu gehörigen medizinischen und messtechnischen Zusatzinformationen aufgebaut, deren Inhalt auch Dritten für Zwecke der Forschung und Anwendung zugänglich gemacht werden soll. Im Rahmen eines PTB-Seminars sind die Ergebnisse dargestellt und darüber hinaus andere Fragen der Datenbanktechnik in der Metrologie behandelt worden.

Vergleich von Analyseverfahren für NMR-Spektren

Es wurden Testwerkzeuge für einen objektiven Vergleich der Leistungsfähigkeit von Messdatenanalyseverfahren für In-vivo-NMR-Spektren entwickelt. Mit Hilfe dieses Werkzeuges wurden geeignete Methoden ausgewählt und für eine Analyse von volumenselektiven NMR-Spektren des Gehirns von Multiple-Sklerose-Patienten eingesetzt.

Studien zu Methoden der Messdatenverarbeitung (FEM, Wavelets)

Der Einsatz moderner Verfahren der Messdatenverarbeitung erfordert Informationen und Spezialkenntnisse, die dem Nutzer im Allgemeinen nicht ohne weiteres zugänglich sind. Mit zwei Studien wird Interessierten eine Übersicht über existierende Software zur Anwendung der Methode der finiten Elemente (FEM) bzw. eine Hilfestellung zur zweckmäßigen Verwendung von Wavelets bei der Datenanalyse gegeben.

Messtechnik für die Industrie

Messplatz für magnetische Relaxations-Immunoassays

Im Rahmen eines BMBF-Vorhabens, das gemeinsam mit der Schering AG und dem Institut für Diagnostikforschung GmbH durchgeführt wurde, hat die PTB einen SQUID-Messplatz für den Nachweis für Immunoassays anhand der Relaxation magnetischer Nanopartikel entwickelt und erfolgreich erprobt. Der Messplatz kann in magnetisch ungeschirmter Umgebung betrieben werden.

Mehrelement-NMR-Spulen für Herzbildgebung bei 3 Tesla

Es ist gelungen, Mehrelement-Oberflächen-spulen für eine empfindliche NMR-Herzbildgebung bei 3 Tesla zu entwickeln und einzusetzen. Diese Ergebnisse bilden die Grundlage für eine angestrebte Kooperation zwischen der PTB und der Bruker Medical GmbH auf dem Gebiet applikationsoptimierter Spulen für die 3-Tesla-NMR-Tomographie/Spektroskopie.

Genormte Kommunikationsschnittstelle

Mit der Herausgabe der DIN-Normenreihe 26 050-1 bis -3 ist eine wichtige Etappe der im Jahre 1992 vom Mineralölwirtschaftsverband beantragten Normung einer herstellerunabhängigen, offenen Schnittstelle für den Tankstellenbereich erfolgreich abgeschlossen worden.

Testwerkzeuge für Feldbusprotokolle

Ohne Verwendung zusätzlicher Hardware ist es erstmalig gelungen, das Protokoll des echtzeitfähigen Messbusses unter Windows 95/98 umzusetzen. Damit können Testwerkzeuge für Feldbusprotokolle äußerst flexibel und kostengünstig ausgelegt werden.

Softwareprüflaboratorium

Die externe Akkreditierung eines Prüflaboratoriums für Software in der Messtechnik ist bei der DEKITZ beantragt worden. Mit diesem Verfahren wird die Anerkennung und Gleichwertigkeit von Softwareprüfungen im Rahmen des nationalen und europäischen Akkreditierungssystems angestrebt.

Messtechnik für den gesetzlich geregelten Bereich

Leitfaden zu messtechnischen Kontrollen von Medizinprodukten mit Messfunktion

In Zusammenarbeit mit den Eichbehörden hat die PTB einen „Leitfaden zu messtechnischen Kontrollen von Medizinprodukten mit Messfunktion“ erarbeitet und veröffentlicht. Damit wurde einem dringenden Bedarf entsprochen, der nach Verabschiedung der Medizinprodukte-Betreiber-Verordnung bei Anwendern medizinischer Messgeräte und bei Anbietern messtechnischer Kontrollen bestand.

Prüfungen eines Wahlgerätes

Erstmals ist in der Bundesrepublik Deutschland anlässlich der Wahlen zum Europäischen Parlament ein von der PTB geprüftes, softwaregesteuertes Wahlgerät eingesetzt worden. Für die Prüfung musste ein umfangreiches Konzept entwickelt werden, wobei Softwareprüfungen eine große Bedeutung hatten.

Spielverordnung

Zur Vorbereitung von Diskussionen zur Änderung der Spielverordnung ist im Auftrag des BMWi eine Untersuchung über technische Regelungsmöglichkeiten bei der Zulassung von Geldspielgeräten durchgeführt und im Rahmen einer Studie niedergelegt worden. Sie enthält außerdem eine Bestandsaufnahme des gegenwärtigen technischen Standes und einen entsprechenden europäischen Vergleich.

OIML-Empfehlungen

Die Arbeiten an einer OIML-Empfehlung für Ergometer wurden erfolgreich abgeschlossen. Ein Entwurf für eine OIML-Empfehlung für Absorptionsspektrometer für medizinische Laboratorien wurde fertig gestellt.

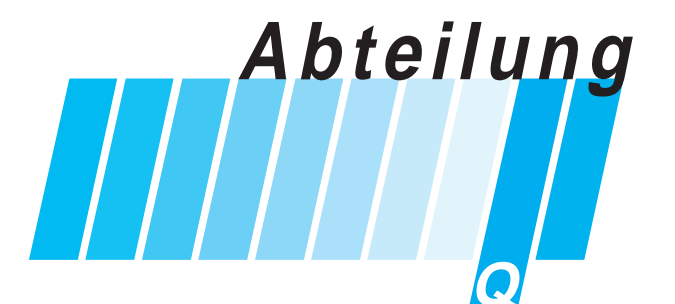
Persönliches

Der langjährige Leiter des Fachbereiches (8.3B) „Metrologische Informationstechnik, Fachgebiet Hardware“, Herr Dr. H. Schumny, trat am 1.10.1999 in den Ruhestand.

Wissenschaftlich- technische Querschnittsaufgaben



Berichte der Abteilungen



Wissenschaftlich-technische Mitts

Die Abteilung Q nimmt vielfältige Aufgaben auf allen vier Tätigkeitsfeldern der PTB zum Nutzen von Wissenschaft und Wirtschaft, des Staates und seiner Bürger sowie in- und ausländischer Partnerorganisationen wahr. Innerhalb der PTB ist sie für alle Infrastrukturaufgaben mit wissenschaftlich-technischem Charakter zuständig. Dazu gehören insbesondere die Informationstechnologie, das Qualitätsmanagement und die Bibliotheken.

Grundlagen der Metrologie

In sieben Projekten mit theoretischer oder experimenteller Ausrichtung werden abteilungsübergreifende Themen behandelt, die für das tiefere Verständnis und die Weiterentwicklung der physikalischen Grundlagen der PTB-Aufgaben von besonderer Bedeutung sind. Sie überspannen einen weiten Bogen von metrologisch relevanten Detailfragen bis zur Grundlagenforschung in Festkörper- und Materialphysik. Mitarbeiter der Abteilung Q verstehen sich darüber hinaus als kompetente Ansprechpartner ihrer Kollegen aus den Fachabteilungen für alle Probleme der theoretischen Physik und bei der Auswertung von Messergebnissen und unterstützen sie dabei mit Rat und Tat.

Dafür steht beispielhaft das Thema „Messunsicherheit“: Die gute alte „Fehlerrechnung“ ist vor wenigen Jahren durch ein

Titelbild

Das Datennetz der PTB ist zu einem unverzichtbaren Instrument der Wissenschaft und Verwaltung geworden. Mehr als 2000 Rechner sind integriert, die mit Hilfe der leistungsfähigen Datennetzstruktur effektiv miteinander kommunizieren können. Darüber hinaus ist durch die Anbindung an das Wissenschaftsnetz des DFN die weltweite Kommunikation über das Internet gegeben. Das Bild zeigt das redundante und zentral ausgelegte Netzwerkmanagement-System, mit dessen Hilfe der aktuelle Zustand des Netzes überwacht und gesteuert und damit seine ständige Verfügbarkeit sichergestellt wird.

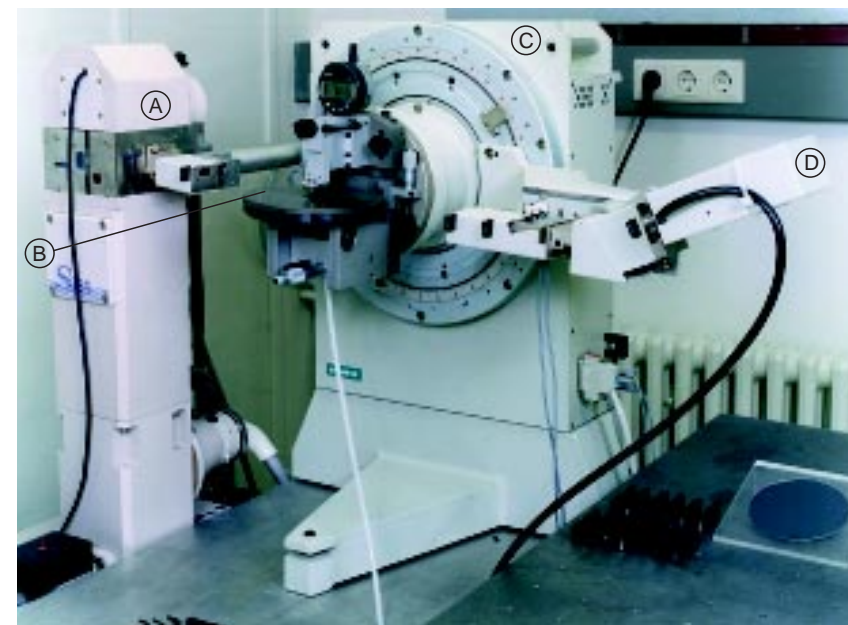
systematisches und international standardisiertes Verfahren abgelöst worden, das im *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* (GUM) festgelegt ist. Seine theoretischen Grundlagen basieren auf der in der Metrologie noch wenig geläufigen Bayes'schen Statistik und dem Prinzip der maximalen Entropie. Sie wurden in der PTB erarbeitet und sind in dem im Berichtsjahr erschienenen Buch „Meßunsicherheit und Meßdatenauswertung“ umfassend dargestellt. Nun müssen vorrangig die Voraussetzungen für die Umsetzung des GUM in der Praxis geschaffen werden. Dazu wurden Beispielsammlungen erstellt und Mitarbeiter aller Fachabteilungen und des DKD in zahlreichen, jeweils mehrtägigen Kursen geschult. Für die Auswertung bei sehr komplexen Messaufgaben bietet sich eine direkte numerische Simulation an. Dazu wurde ein Verfahren entwickelt, mit dem die Fortpflanzung der mit den Eingangsgrößen assoziierten Unsicherheiten bei der Monte-Carlo-Simulation von Teilchentransporten (wie Neutronen und Photonen) abgeschätzt werden kann.

Einen Schwerpunkt der experimentellen Arbeiten stellt das Projekt „AVOGADRO“ dar, an dem Mitarbeiter aus vier Fachabteilungen mitwirken. Um die Avogadro-Konstante, die makroskopische mit mikroskopischen Größen – z. B. das Kilogramm mit Atommassen – verbindet, darzustellen, werden präzise gefertigte Kugeln aus reinstem Silicium vermessen: Masse, Volumen, Dichte, Oberflächencharakterisierung und dazu die mikroskopischen Größen Gitterkonstante, Isotopenzusammensetzung, Verunreinigungen und Gitterdefekte. Die Gitterkonstante wird dabei mittels Röntgeninterferometrie gemessen. Bisher wurden in einer internationalen Kooperation verschiedene Si-Proben charakterisiert, die sich in Einzelfällen noch um $3 \cdot 10^{-6}$ in der Dichte unterscheiden. Diese Diskrepanzen sind bislang noch nicht zufriedenstellend aufgeklärt.

Für viele Fragen der Festkörperphysik und der Technik spielt die genaue Charakterisierung von Grenzflächen eine entscheidende Rolle. Neben der direkten Mikroskopie auf atomarer Ebene werden zwei zusätzliche, komplementäre Methoden eingesetzt: die Röntgen- und die Neutronenreflektometrie. Bei dem Röntgenreflektometer mit Drehanode (s. Bild 1) wird in einem großen Winkelbereich weit außerhalb der Totalreflexion die Intensität des reflektierten Strahls und damit die Elektronendichteverteilung in der Probe gemessen. Thermische Neutronen andererseits dienen als Sonde für Art und Verteilung der Atomkerne in derselben Probe. Hierdurch können die leichten sowie benachbarte Elemente des Periodensystems lückenlos untersucht werden, deren Unterscheidung mit Röntgenphotonen ungleich schwieriger ist. Mit Hilfe beider Methoden kann sowohl auf das Dichteprofil in der Grenzfläche als auch auf Oberflächenrauigkeiten geschlossen werden. Vielschichtfolgen, z. B. aus der Halbleitertechnik, lassen sich damit quantitativ charakterisieren.

In den theoretisch ausgerichteten Projekten der Abteilung stehen Forschungsarbeiten zum tieferen Verständnis des Quanten-Hall-Effekts (QHE) im Vordergrund. Der QHE hat sich inzwischen zum de-facto-Standard für das Ohm entwickelt, obwohl der Effekt theoretisch noch lange nicht voll erklärt ist. Es ist nicht einmal unumstritten, ob im realen Festkörper die „von-Klitzing-Konstante“ nicht doch geringfügig von h/e^2 abweichen darf. In der PTB werden, zusammen mit vielen anderen Forschungsgruppen weltweit, Themen wie die Frequenzabhängigkeit des QHE und der Einfluss der Unordnung sowie der Wechselwirkung der Elektronen untereinander behandelt. In diesem Zusammenhang wurde erstmals die Spinrelaxation in einem wechselwirkenden 2-d-Elektronengas untersucht. Hierzu wurden die Relaxationsgleichungen für die Elektronenspins mikroskopisch hergeleitet. Ganz anders als die von der magnetischen Resonanz bekannten Bloch-Gleichungen sind diese jedoch nicht linear mit Lösungen, die äußerst empfindlich vom Füllfaktor und der Temperatur abhängen. So erhält man z. B. ein Relaxionsverhalten, das nicht wie üblich exponentiell, sondern mit $1/t$ abfällt.

Bild 1: Röntgenreflektometer mit Drehanode (A), Probenhalter (B), Goniometer (C) und Detektor (D)



Deutscher Kalibrierdienst (DKD)

Ein wichtiger Bestandteil der industriellen Qualitätssicherung sind richtige und zuverlässige Messungen. Die Richtigkeit von Messergebnissen wird durch Verwendung von kalibrierten Messgeräten gewährleistet. Hierzu müssen die Messgeräte direkt oder indirekt an das nationale Normal in der PTB angeschlossen sein. Während die PTB für Kalibrierungen auf höchstem Niveau zuständig ist, werden die Kalibrierungen für die Industrie von kompetenten Laboratorien der Wirtschaft durchgeführt. Diese Kompetenz kann die PTB den Laboratorien nach erfolgreicher Begutachtung durch eine Akkreditierung im Rahmen des Deutschen Kalibrierdienstes (DKD) bestätigen. Hierdurch ist seit 22 Jahren in Deutschland eine messtechnische Infrastruktur entstanden, die über 250 DKD-Kalibrierlaboratorien umfasst.

Wegen des zu erwartenden weiteren Anstiegs der Anzahl der Akkreditierungen und der damit verbundenen permanenten Überwachungen von Laboratorien wurde ein neues Begutachtungskonzept entwickelt. Hierbei wird die zweistufige Begutachtung mit einem fachtechnischen und einem Systemteil nicht mehr von verschiedenen Personen, sondern zusammenfassend von einem leitenden Begutachter durchgeführt. In Schulungen und Informationsveranstaltungen wurden die DKD-Begutachter auf die neue Aufgabe vorbereitet. Immer häufiger werden auch externe Fachleute aus Industrie und Eichbehörden für DKD-Begutachtungen eingesetzt.

Die zunehmend auf Erfüllung formaler Kriterien ausgerichteten Anforderungen der *European co-operation for Accreditation* (EA) beeinflussen die nationalen Akkreditierungsstellen und damit auch den DKD, der sich auf die Evaluierung im Frühjahr 2000 vorbereitet. Besondere Schwerpunkte sind die konsequente Dokumentation in der Akkreditierungsstelle und die nachweisbare Einhaltung sämtlicher Anforderungen des umfassenden Regelwerks.

Die nationale und internationale Zusammenarbeit erfolgt in verschiedenen Gremien des *Deutschen Akkreditierungsrats* (DAR), der EA, ISO/CASCO und der *International Laboratory Accreditation Cooperation* (ILAC). Dabei haben

sich Vertreter der PTB vor allem für die Sicherstellung der technischen Kompetenz von Laboratorien und ihrer internationalen Vergleichbarkeit eingesetzt. So nimmt die PTB bei der Organisation von EA-Ringvergleichen für Kalibrierlaboratorien und bei der internationalen Harmonisierung von Kalibrierrichtlinien nach wie vor eine führende Position ein. In ILAC sind im Berichtsjahr die prozeduralen Voraussetzungen für die Unterzeichnung des ersten weltweiten Abkommens zur gegenseitigen Anerkennung von Kalibrier- und Prüfscheinen geschaffen worden.

Gesetzliches Messwesen

Das gesetzliche Messwesen schützt den Verbraucher beim Kauf messbarer Produkte und Dienstleistungen und sorgt im Interesse eines lautereren Wettbewerbs für richtige Messergebnisse im geschäftlichen Verkehr. Außerdem dient es der Messsicherheit im Gesundheits-, Arbeits- und Umweltschutz. Für die in diesen Bereichen verwendeten Messgeräte sind die Anforderungen und Prüfverfahren in Rechtsvorschriften festgelegt. Die Bauartzulassung dieser Messgeräte, zu denen beispielsweise Waagen, Zapfsäulen bei Tankstellen, Gaszähler, Elektrizitätszähler, Taxameter und Verkehrsradargeräte gehören, ist eine gesetzliche Aufgabe der PTB.

Die internationale Entwicklung ist im wesentlichen durch die Aktivitäten der *Internationalen Organisation für Gesetzliches Messwesen* (OIML) geprägt. Im Rahmen des OIML-Zertifizierungssystems wurden bisher 540 Zertifizierungen registriert. Zur Verbesserung der Anerkennung dieser Zertifikate und Prüfergebnisse von den Mitgliedstaaten werden in einem neuen Komitee „Konformitätsbewertung“ Arbeitsdokumente mit dem Ziel der gegenseitigen Vertrauensbildung erstellt. Ein Übereinkommen zur Anerkennung der Bauartzulassungszertifikate soll die Möglichkeit von Akkreditierungen und „peer reviews“ auf internationaler Ebene einbeziehen.

Nach mehr als 20 Jahren hat die PTB im Berichtsjahr die Leitung des technischen OIML-Komitees „Messgeräte für Akustik und Schwingungen“ abgegeben. In diesem Zeitraum sind insgesamt sieben OIML-Empfehlungen zur Anwendung im OIML-Zertifizie-

rungssystem ausgearbeitet und verschiedentlich der technischen Entwicklung angepasst worden. Zur Vermeidung von Doppelarbeit wurden dabei stets Anforderungen in entsprechenden IEC- und ISO-Normen zugrunde gelegt, so dass sich die OIML-Aktivitäten auf die speziellen metrologischen Belange konzentrieren konnten. Auf der diesjährigen Sitzung dieses OIML-Komitees ist auf deutschen Vorschlag eine noch weitergehende Kooperation von OIML und IEC/ISO auf diesem Gebiet vereinbart worden, der die Entscheidungsgremien aller beteiligten Organisationen inzwischen zugestimmt haben. Sie sieht die Bildung gemeinsamer Arbeitsgruppen und die Veröffentlichung von Normen mit den Logos von IEC/OIML oder ISO/OIML vor.

Das gesetzliche Messwesen in Europa wird durch die Zusammenarbeit der nationalen Behörden für gesetzliches Messwesen in „WELMEC“ gemeinsam gestaltet. Nach dem Beitritt Sloweniens umfasst WELMEC als weltweit älteste regionale Organisation für gesetzliches Messwesen jetzt 27 Länder. Im Berichtsjahr wurden mehrere Leitfäden veröffentlicht, von denen der unter Federführung der PTB entstandene Leitfaden zu Softwareanforderungen an Messgeräte einen besonderen Erfolg darstellt. Die Gründung einer Arbeitsgruppe für Flüssigkeitsmessgeräte, die verstärkte Behandlung der Marktüberwachung und das erhebliche Interesse an Regeln für Fertigpackungen sind weitere Beispiele für den Harmonisierungsbedarf in Europa.

In Deutschland ist bei Marktüberwachungen bei verschiedenen Messgerätearten ein merkbarer Qualitätsverlust festgestellt worden, so dass gesetzliche Anforderungen nicht mehr eingehalten wurden. Hierbei erwies sich die Bedeutung der Software sowohl bei der Zulassungsprüfung als auch im Eichvollzug als besondere Herausforderung (Bild 2).

Konkrete Schadensfälle haben bei Software-Manipulationen zu Vermögensverschiebungen im zweistelligen Millionenbereich geführt. Zur Erhaltung des Verbraucherschutzes und eines fairen Wettbewerbs wurden die betroffenen Kreise in Diskussionen, Vorträgen und Workshops sensibilisiert.

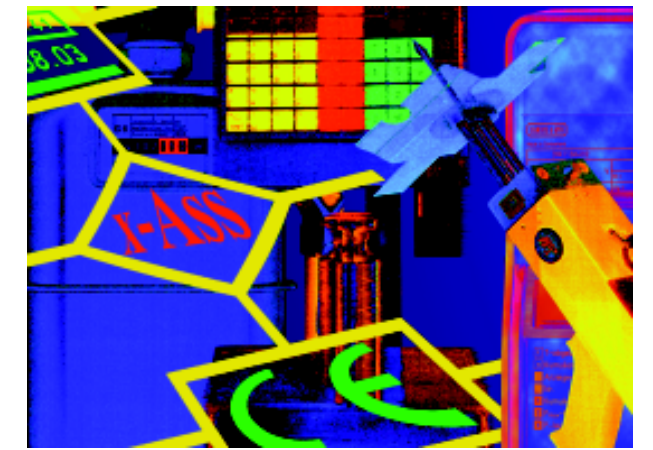


Bild 2: Die Funktionen eichpflichtiger Messgeräte werden zunehmend durch Software gesteuert, die mit dem Werkzeug X-ASS geprüft werden kann.

Internationale Zusammenarbeit

Wie in den vorausgehenden Abschnitten dargestellt, haben fast alle Aufgaben der Abteilung eine wesentliche internationale Dimension. Der Schwerpunkt internationaler Zusammenarbeit liegt jedoch im Bereich der Technischen Zusammenarbeit mit Entwicklungs- und Schwellenländern. Über dreißig vom *Bundesministerium für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung* finanzierte Projekte im Bereich des Mess-, Normen-, Prüf- und Qualitätswesens, der Akkreditierung und Zertifizierung fördern den Aufbau technischer Infrastrukturen. Projektpartner in mehr als zwanzig Ländern Asiens, Afrikas und Amerikas sind überwiegend staatliche, für den MNPQ-Bereich zuständige Institutionen und Organisationen.

Die deutschen Beiträge werden aufgrund von Projektprüfungen unter Mitwirkung der künftigen Partner bedarfsgerecht konzipiert. Der Aufbau leistungsfähiger Institute und funktionierender Dienstleistungsstrukturen erfordert Zeit und Ausdauer. Projektlaufzeiten von sechs und mehr Jahren sind die Regel. Im Rahmen der Projekte werden Partner sowohl in Deutschland, als auch im Partnerland oder in Ländern der Region, die bereits durch Projekte gefördert wurden, ausgebildet. Beratungen für den Aufbau von Laboratorien, für die Schaffung der gesetzlichen Grundlagen und für qualitätssichernde Maßnahmen gehören ebenso zu den Projektmaßnahmen wie Gerätelieferungen.

Trotz langjähriger Förderungen und der damit verbundenen Qualifikationen finden die Dienstleistungen der Partner nur schwer internationale Akzeptanz. Das ist ein Grund, Laboratorien von Projektpartnern nach europäischen Standards akkreditieren zu lassen und somit ihre technische Kompetenz nachzuweisen und zu dokumentieren. Für metrologische Laboratorien erfolgt das im Rahmen des Deutschen Kalibrierdienstes, DKD, zu dem Laboratorien in Brasilien, Kenia, Jordanien, Slowenien, Türkei, Jamaika, Indonesien und Rumänien gehören. Aus Argentinien, Uruguay, Chile, Thailand und Kolumbien liegen Akkreditierungswünsche vor.

Die internationale Akzeptanz wird im Zuge der Globalisierung immer bedeutender. Nach dem erfolgreichen Abbau von Zöllen durch die Vereinbarungen der Welthandelsorganisation WTO behindern zunehmend unterschiedliche Normen, technische Regeln und Verfahren der Konformitätsbewertung und -bestätigung den Handel über Landesgrenzen hinweg. Als Reaktion darauf wurde durch die Mitglieder der WTO eine weitere Vereinbarung, das Technical Barriers to Trade Agreement, geschlossen. Diese Vereinbarung nennt generelle Kriterien für technische Regeln und Normen sowie Verfahren zur Überprüfung auf Übereinstimmung mit diesen, um die Behinderung des freien Handels auf ein Minimum zu begrenzen. Hieraus resultiert neuer Unterstützungsbedarf für Entwicklungsländer, die die erforderlichen Strukturen im MNPQ-Bereich aufbauen müssen, wenn sie keine Nachteile im internationalen Wettbewerb hinnehmen wollen. Da sich die internationale Einheitlichkeit des Messwesens nur durch eine aktive regionale Zusammenarbeit verwirklichen lässt, gewinnt dieser Aspekt zunehmend an Bedeutung für die Technische Zusammenarbeit. Neben bilateralen werden daher auch regionale Projekte konzipiert. So erfolgt eine Zusammenarbeit mit dem regionalen Metrologieverband auf dem amerikanischen Kontinent (*Sistema Interamericano de Metrologia, SIM*). Mit der *African Regional Organization for Standardization (ARSO)* wurde ein Memorandum

of Understanding geschlossen, um die bisherige und künftige Kooperation zu formalisieren.

Ein spezielles Programm im MNPQ-Bereich wurde auch mit den Staaten der *Southern African Development Cooperation* vereinbart. In Asien erfolgt eine Zusammenarbeit mit dem *Asia Pacific Legal Metrology Forum*.

Die Industrieländer dominieren nicht nur im technischen Bereich, sie bestimmen auch weitgehend die Regeln für den Welthandel. Es sollte deshalb auch in ihrem Interesse liegen, ihre schwächeren Handelspartner bei der Einübung der Spielregeln zu unterstützen. Diesem Ziel dienen zunehmend die Projekte der PTB.



Bild 3: Gemeinsam mit einem thailändischen Projektpartner wurde ein Seminar über das Gesetzliche Messwesen und Möglichkeiten der regionalen Zusammenarbeit konzipiert und in Chiang Mai, Nordthailand, durchgeführt. Unter den mehr als 40 Teilnehmern waren auch Vertreter aus Laos, Kambodscha, Vietnam, Malaysia und den Philippinen. Das für das Gesetzliche Messwesen in Thailand zuständige Ministerium war hochrangig vertreten. Vorträge hielten der Direktor des Internationalen Büros für Gesetzliches Messwesen, der Vorsitzende des Asia Pacific Legal Metrology Forum und der Leiter des Fachbereichs Technische Zusammenarbeit der PTB. Außerdem berichteten Vertreter Thailands und der Nachbarländer über das Messwesen ihrer Länder. Möglichkeiten einer künftigen Zusammenarbeit wurden diskutiert und konkrete Maßnahmen vereinbart. Die Teilnehmer waren äußerst zufrieden mit der Veranstaltung und ihren Ergebnissen.

In Schlagzeilen: Nachrichten aus der Abteilung

(ausführlich auf CD-ROM unter Abteilung Wissenschaftlich-technische Querschnittsaufgaben)

Technische Zusammenarbeit

Im Berichtsjahr wurden 20 Länder in vier Kontinenten durch 29 Projekte beim Aufbau ihrer technischen Infrastruktur unterstützt. Der finanzielle deutsche Beitrag betrug etwa 7 Mio. DM.

Neue Projekte trotz Sparzwängen

Trotz der verfügbaren Sparmaßnahmen der Bundesregierung wurden neue Projekte zur Unterstützung beim Aufbau des türkischen Akkreditierungssystems und zum Aufbau eines nationalen Qualitätssystems in Argentinien bewilligt.

Vollversammlung für das Eichwesen

Die Vollversammlung wurde am 11./12. November 1999 in der PTB Braunschweig durchgeführt. Aktuelle Entwicklungen wurden in Vorträgen dargestellt und diskutiert.

Staatlich anerkannte Prüfstellen

Zu den Prüfstellen liegen verschiedene statistische Daten vor. Die Anzahl der Prüfstellen ist infolge von Fusionen der Trägerfirmen gesunken.

Datenbank für Zulassungsdokumente

Als künftiger Ersatz für die Versendung von Zulassungsdokumenten an die Eichbehörden in Papierform wurde eine Datenbank mit Zugriff über das Internet entwickelt.

Eichrechtliche Vorschriften

Eine dritte Verordnung zur Änderung der Eichordnung wurde notifiziert. Das Verzeichnis der anerkannten Regeln der Technik nach der Eichordnung wurde in aktualisierter Form veröffentlicht.

Marktüberwachung im gesetzlichen Messwesen

Bei Messgeräten im geschäftlichen Verkehr wurden Abweichungen von den gesetzlichen Anforderungen und Manipulationen der Software festgestellt und Maßnahmen zur Lösung der Probleme eingeleitet.

Wissenschaftliche Bibliotheken

Das zugängliche Informationsangebot im PTB-Intranet wurde weiter ausgebaut, der datenbankgestützte Awareness-Dienst ASSIST ging in Betrieb und die elektronische Ausleihverbuchung ging in den Routinebetrieb.

Messunsicherheit nach GUM

Neu eingerichtetes Lenkungsgremium kümmert sich um alle Belange des *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM)*.

PTB

Die Anlagen

Kuratorium

Mitglieder

Präsident des Kuratoriums

Ministerialdirektor Dr. jur. Eike Röhling
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Berlin

Stellvertretender Präsident des Kuratoriums

Prof. Drs. h. c. Dr. rer. nat. Heinz-Georg Wagner
Institut für Physikalische Chemie
Universität Göttingen

Prof. Dr. rer. nat. Gisela Anton
Physikalisches Institut IV der Universität Erlangen

Dr. rer. nat. Dirk Basting
Geschäftsführender Gesellschafter
Lambda Physik Lasertechnik, Göttingen

Prof. Drs. h. c. 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
Deutsche Aerospace AG, München

Prof. Dr. rer. nat. Theodor W. Hänsch
Sektion Physik
Ludwig-Maximilians-Universität, München

Prof. Dr. phil. nat. Dietrich Harder
Institut für Medizinische Physik und Biophysik
der Universität Göttingen

Dr.-Ing. Alfred Hauff
Gelnhausen

Dipl.-Ing. Herbert Kircher
Direktor
IBM-Entwicklungslaboratorium, Böblingen

Prof. Dr. h. c. Dr. rer. nat. Klaus von Klitzing
Direktor am Max-Planck-Institut für Festkörperforschung, Stuttgart

Prof. Dr. rer. nat. Heinrich Kuttruff
Institut für Technische Akustik der Rhein.-Westf.
Technischen Hochschule Aachen

Dr.-Ing. Horst Lennertz
Mitglied der Geschäftsführung
E-Plus Mobilfunk GmbH, Düsseldorf

Dipl.-Ing. Gert Miller
Geschäftsführender Gesellschafter, Scheidt &
Bachmann GmbH, Mönchengladbach

Prof. Dr. rer. nat. Jüßen Mlynek
Fakultät für Physik, Universität Konstanz

Prof. Dr. h. c. sc. Dr. rer. nat. Hubertus Nickel
Institut für Werkstoffe und Energietechnik,
Forschungszentrum Jülich GmbH, Jülich

Prof. Dr.-Ing. Volker Pilz
Bayer AG, Leverkusen

Professor Dr. rer. nat. Frank Pobell
Wissenschaftlicher Direktor
Forschungszentrum Rossendorf

Dipl.-Phys. Hans Schillo
Direktor, Ruhrgas AG, Essen

Prof. Dr. sc. nat. Joachim P. Schoenes
Technische Universität, Braunschweig

Dr. rer. nat. Augustin Siegel
Carl Zeiss, Oberkochen

Ind.-Kfm. Peter von Siemens
Mitglied des Aufsichtsrates
Siemens AG, München

Dr.-Ing. Peter Maximilian Stehle
Mitglied der Unternehmensleitung
Freudenberg und Co., Weinheim

Prof. 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

Prof. Dr. rer. nat. Dietmar Werner
Neustadt

Dr. rer. nat. Martin Winterkorn
Mitglied des Markenvorstandes
Volkswagen AG, Wolfsburg

Dr.-Ing. Klaus Rudolf Wurster
Geschäftsführer Bizerba GmbH & Co. KG,
Balingen

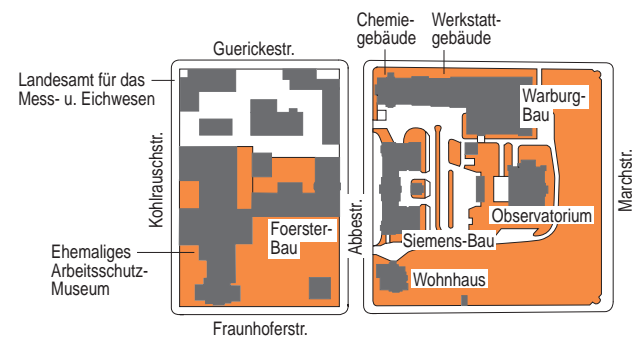
PTB

Impres sum

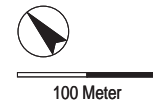
Herausgegeben von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

Braunschweig, März 2000
Satz und Gestaltung: PTB, Presse und Öffentlichkeitsarbeit
Druck: Limbach Druck und Verlag GmbH, Braunschweig
Nachdruck mit Quellenangabe gestattet.

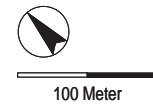
Geländeplan Berlin



Berlin-Charlottenburg



Berlin-Friedrichshagen



Laborgebäude	Gerätebau	Technische Dienste	Verwaltung
Haus 4	Haus 25	Haus 5	Haus 22
Haus 20	Haus 26	Haus 6	
Haus 22		Haus 7	
Haus 23		Haus 31	
Haus 30	Hörsaal	Haus 25.3	Kantine
Haus 37	Haus 12		Haus 32