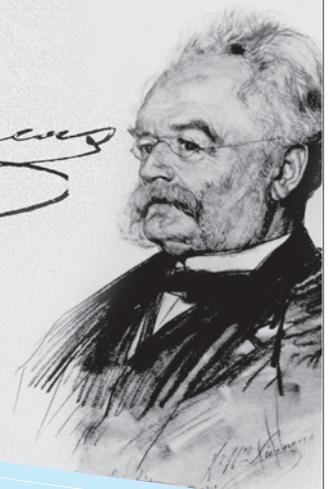


Themenschwerpunkt 120 Jahre PTR/PTB

Ich habe die Ehre zu erklären, daß ich bei dem dem beiliegenden Platinationsglaße mit a b c d imprägnierte, von der March-Könige, der gro. österr. Kaiserin 4 und 5 und der mit der arch-Könige genehmigten Linie be. begünstigte Grundstück mit der Grundstück Nr. 19806 Grundstück. Nach dem schriftl. Bescheid zum Zweck einer Kaiser. Anstalt für experimentelle Meteorologie, unter der Bedingung, daß die Kosten für den Bau und Einrichtung wird die Station der gegenwärtig physikalisch-technischen Reichsanstalt übernommen.

Berlin, den 12. November 1885.

J. W. Siemens



Fachorgan für Wirtschaft und Wissenschaft
Amts- und Mitteilungsblatt der
Physikalisch-Technischen Bundesanstalt
Braunschweig und Berlin

118. Jahrgang, Heft 1, März 2008

Inhalt

Themenschwerpunkt	120 Jahre PTR/PTB	
	<ul style="list-style-type: none">• <i>Wolfgang Buck</i>: 120 Jahre Physikalisch-Technische Bundesanstalt – ein Jubiläum 3• Die Gründung und die Schlüsselrolle von Werner Siemens 11	
Informationen	<ul style="list-style-type: none">• <i>Siegfried R. Wagner</i>: Vom Messfehler zur Messunsicherheit 15	
Recht und Technik	<ul style="list-style-type: none">• Anforderungen an Geräte zur Bestimmung der Gasbeschaffenheit 19• Vollversammlung für das Eichwesen 2006 20	
Amtliche Bekanntmachungen	(eigenes Inhaltsverzeichnis)	23

Zum Titelbild:

Mit einer Schenkung fängt alles an:
Am 12. November 1885 unterzeichnet
Werner Siemens eine Schenkungsurkunde
an das Deutsche Reich über ein 19800 m²
großes Areal in der Stadt Charlottenburg
„zum Bau einer Reichsanstalt für experi-

mentelle Naturforschung“ – der Beginn der
Physikalisch-Technischen Reichsanstalt. In
den ersten Jahren (1887–91) werden hier als
Hauptgebäude das Observatorium, das
Präsidenten-Wohnhaus, das Verwaltungs-
gebäude und das Maschinenhaus errichtet.

Impressum

Die **PTB-Mitteilungen** sind metrologisches Fachjournal und amtliches Mitteilungsblatt der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt, Braunschweig und Berlin. Als Fachjournal veröffentlichen die PTB-Mitteilungen wissenschaftliche Fachaufsätze zu metrologischen Themen aus den Arbeitsgebieten der PTB. Als amtliches Mitteilungsblatt steht die Zeitschrift in einer langen Tradition, die bis zu den Anfängen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (gegründet 1887) zurückreicht. Die PTB-Mitteilungen veröffentlichen in ihrer Rubrik „**Amtliche Bekanntmachungen**“ unter anderem die **aktuellen Geräte-Prüfungen** und -Zulassungen aus den Gebieten des Eich-, Prüfstellen- und Gesundheitswesens, des Strahlenschutzes und der Sicherheitstechnik.

Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Bürgermeister-Smidt-Str. 74–76,
27568 Bremerhaven
Postfach 10 11 10, 27511 Bremerhaven
Internet: www.nw-verlag.de
E-Mail: info@nw-verlag.de

Herausgeber

Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB),
Braunschweig und Berlin
Postanschrift:
Postfach 33 45, 38023 Braunschweig
Lieferanschrift:
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig

Redaktion/Layout

Presse- und Öffentlichkeitsarbeit, PTB
Dr. Dr. Jens Simon (verantwortlich)
Gisela Link
Telefon: (05 31) 592-82 02
Telefax: (05 31) 592-30 08
E-Mail: gisela.link@ptb.de

Leser- und Abonnement-Service

Marina Kornahrens
Telefon: (04 71) 9 45 44-61
Telefax: (04 71) 9 45 44-88
E-Mail: vertrieb@nw-verlag.de

Anzeigenservice

Karin Drewes
Telefon: (04 71) 9 45 44-21
Telefax: (04 71) 9 45 44-77
E-Mail: info@nw-verlag.de

Erscheinungsweise und Bezugspreise

Die PTB-Mitteilungen erscheinen viermal jährlich. Das Jahresabonnement kostet 50,50 Euro, das Einzelheft 15 Euro, jeweils zzgl. Versandkosten. Bezug über den Buchhandel oder den Verlag. Abbestellungen müssen spätestens drei Monate vor Ende eines Kalenderjahres schriftlich beim Verlag erfolgen.

© Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bremerhaven, 2008

Alle Rechte vorbehalten. Kein Teil dieser Zeitschrift darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages vervielfältigt oder verbreitet werden. Unter dieses Verbot fällt insbesondere die gewerbliche Vervielfältigung per Kopie, die Aufnahme in elektronische Datenbanken und die Vervielfältigung auf CD-ROM und in allen anderen elektronischen Datenträgern.

120 Jahre Physikalisch-Technische Bundesanstalt – ein Jubiläum

Wolfgang Buck

Offensichtlich kann man in Deutschland 120 Jahre alt werden, ohne dass man eine förmliche Geburtsurkunde besitzt. Beinahe hätte es auch keiner gemerkt, dass die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB) zusammen mit ihrer Vorläuferin, der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR), dieses reife Alter erreicht hat, wenn der neue Präsident des Kuratoriums der PTB vor Kurzem bei seinem Antrittsbesuch nicht darauf hingewiesen hätte. Mit dieser Anekdote begrüßte Prof. Ernst O. Göbel, Präsident der PTB, seine Gäste zum Festkolloquium aus Anlass des 120sten Gründungsjubiläums der PTB am 10. Dezember 2007 im Hörsaal des Hermann-von-Helmholtz-Baus an ihrem Charlottenburger Stammsitz. Sollte doch durch dieses Kolloquium schon auf das in Bälde anstehende große Ereignis des 125jährigen

Einladung zum



120 Jahre PTR PTB

Montag, 10. Dezember 2007
15:00 Uhr
Hermann-von-Helmholtz-Bau

Physikalisch-Technische Bundesanstalt
Institut Berlin
Abbestr. 2-12, 10587 Berlin

Festkolloquium



Blick in den Hörsaal des Hermann-von-Helmholtz-Baus in Berlin-Charlottenburg am 10. Dezember 2007

Jubiläums verwiesen werden, sinnbildlich wie der aktuelle Advent das Weihnachtsfest avisiert, was einer der nachfolgenden Redner folgerichtig feststellte, ohne diesem künftigen Event allzu viel von seinem Glanz vorwegzunehmen.

Viele illustre Gäste waren erschienen. Ministerialdirigent Dr. Rainer Jäkel als Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie, Dr. Hans-Gerhard Husung, Staatssekretär für Wissenschaft beim Senat von Berlin, Marc Schulte, Stadtrat für Wirtschaft, Ordnungsangelegenheiten und Weiterbildung des Berliner Bezirks Charlottenburg-Wilmersdorf in Vertretung der Bezirksbürgermeisterin, und Ruprecht von Siemens, Schatzmeister des Helmholtz-Fonds, sprachen ein Grußwort. Auch der ehemalige Präsident des Kuratoriums der PTB, Dr. Eike Röbling, und einige amtierende Kuratoren, darunter Nobelpreisträger Prof. Klaus von Klitzing, der sich gegen eine Teilnahme an der gleichzeitigen Nobelpreisverleihung in Stockholm und für seine Kuratorenpflichten entschieden hatte und dafür anhaltenden Beifall der anderen Gäste erhielt, sowie zahlreiche Präsidenten und Direktoren von Universitätsinstituten, außeruniversitären Einrichtungen und Universitätskliniken waren der Einladung gefolgt.

Prof. Göbel streifte im Weiteren seiner Begrüßung kurz die wichtigsten Stationen der Geschichte der PTR und der PTB. Ins Leben gerufen durch eine Passage im Haushaltsgesetz des Kaiserreichs, das am 18. März 1887 verkündet wurde, konnte im Oktober desselben Jahres in Räumen der Technischen Hochschule Charlottenburg die Arbeit der PTR aufgenommen werden. Werner von Siemens, der benachbart wohnte, stellte unter der Bedingung, dass das Reich für Gebäude und Unterhalt der Einrichtung aufkommen würde, unentgeltlich das Grundstück an der Marchstraße zur Verfügung. Der Höhenflug der PTR durch die Geschichte wurde jeweils durch die beiden Weltkriege unterbrochen. Nach dem Zweiten Weltkrieg war die Katastrophe besonders dramatisch, da die Laborgebäude erheblich beschädigt und die Mitarbeiter in alle Winde zerstreut waren. Max von Laue ist es zu



Professor Dr. Ernst O. Göbel

verdanken, dass die PTB 1950 auf dem Gelände der ehemaligen Versuchsanstalt für Luftfahrt bei Braunschweig neu gegründet werden konnte. Die auf dem Stammgelände in Charlottenburg



Professor Dr. Klaus von Klitzing

unter dem alten Namen aus den Trümmern wieder erstandene, für Berlin zuständige PTR wurde der PTB 1953 unter der Bezeichnung „Institut Berlin“ eingegliedert. Nach der deutschen Wiedervereinigung konnten viele Mitarbeiter des Bereichs Messwesen des Amtes für Standardisierung, Messwesen und Warenprüfung der DDR in die PTB übernommen werden. Dies eröffnete die Chance zur Aufnahme neuer und zur Stärkung wichtiger vorhandener Arbeitsgebiete. Der Campus Charlottenburg konnte aufgrund eines eigens aufgelegten Entwicklungsplans für das Institut Berlin zu einem Schmuckstück sowohl für die PTB als auch für die Stadt Berlin renoviert und erweitert werden.



Ruprecht von Siemens

Prof. Göbel begrüßte schließlich die beiden Redner des Festkolloquiums: Prof. Rudolf Huebener, der zusammen mit Dr. Heinz Lübbig an einem in Kürze erscheinenden Buch über die Entstehung der PTR (siehe nachfolgender Beitrag) arbeitet und rückblickend deren herausragende Bedeutung für die Physik in Deutschland und ihre Entwicklung als Vorbild für alle anderen Metrologieinstitute weltweit in seinem Festvortrag nachzeichnete, und Dr. Terry Quinn, den emeritierten Direktor des Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) in Sèvres bei Paris, der im Rahmen seiner Schilderung der Entwicklung des Internationalen Einheitensystems vorausschauend die anstehende Neudefinition der Basiseinheiten unter Zuhilfenahme von Naturkonstanten beschrieb.

Dr. Rainer Jäkel überbrachte die Glückwünsche des Bundeswirtschaftsministers und des dort zuständigen Abteilungsleiters Ministerialdirigent Detlef Dauke, der von Amtswegen Präsident des Kuratoriums der PTB ist. Beide waren wegen des gleichzeitig stattfindenden IT-Gipfels verhindert. Er betonte, dass sich Ende des 19. Jahrhunderts in einer Zeit, in der das deutsche Wissenschaftssystem an den Hochschulen sich vor allem auf die Lehre und Ausbildung konzentrierte, das Reich mit der PTR die erste nationale Großforschungseinrichtung gründete, um ein zuverlässiges Messwesen mit nationalen Normalen auf höchstem Niveau zu schaffen.



Ministerialdirigent Dr. Rainer Jäkel

Führende Industrielle wie Werner von Siemens und der Physiker und Physiologe Hermann von Helmholtz, der unbestritten als wichtigster Naturwissenschaftler seiner Zeit galt, spielten dabei neben anderen eine herausragende Rolle. So war die enge Verbindung von Praxisrelevanz und Spitzenforschung quasi als Alleinstellungsmerkmal der PTR als Programm in die Wiege gelegt. Die PTR wurde daher unverzichtbar sowohl für



Professor Dr. Rudolf Huebener

das damalige Wissenschaftssystem in Deutschland, was man an der Bereitschaft vieler Nobelpreisträger ablesen kann, sich im Kuratorium zu engagieren, als auch durch ihre weltweit beachteten Zertifikate als Türöffner der deutschen Industrie für den Weltmarkt.

Diese Mission prägt bis heute den internationalen Ruf und das Bild der PTB in der Welt. So spielt die PTB auch in der europäischen Metrologieorganisation

EURAMET eine führende Rolle und hat wesentlich dazu beigetragen, aus einer losen Verbindung europäischer Metrologieinstitute eine handlungsfähige juristische Person als eingetragener Verein nach deutschem Recht zu formen. Prof. Michael Kühne, das derzeitige Mitglied des Präsidiums, war als Vorsitzender sowohl der Vorgängerorganisation EUROMET als auch des neuen EURAMET der treibende Motor dieses Modernisierungsprozesses. Unter seiner Leitung konnte ein Förderprogramm der Europäischen Union für die Metrologie in Europa



Dr. Heinz Lübbig



Professor Dr. Michael Kühne und Dr. Terry Quinn

auf den Weg gebracht worden, dessen Vorphase mit 21 Mio. € von Brüssel unterstützt wird. In der Hauptphase sollen noch einmal 200 Mio. € verteilt über sieben Jahre bereitgestellt werden. Unter anderem haben diese Verdienste dazu beigetragen, dass Prof. Kühne zum designierten Direktor des BIPM berufen wurde. Beides unterstreicht neben dem persönlichen Verdienst auch die Wertschätzung der weltweiten Position der PTB.

Ein weiteres wichtiges Engagement der PTB manifestiert sich in der Mitarbeit in rund 1000 nationalen und internationalen Gremien und Ausschüssen – unter anderem solchen, die sich mit Normung und Standardisierung befassen. Letzteres wird vom Wirtschaftsministerium wegen der strategischen Bedeutung der Normung für den deutschen Export nachdrücklich begrüßt und wurde auch vom Wissenschaftsrat bei der jüngsten Evaluation der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung anerkannt. Auch die PTB wurde 2002 von einer internationalen Expertenkommission mit exzellentem Ergebnis evaluiert, sodass dem Wirtschaftsministerium wegen der noch ausstehenden Stellungnahme des Wissenschaftsrats zur neuerlichen Evaluation der PTB im Jahre 2007 nicht bange sei. Wegen der von Anfang an bis heute durchgehaltenen engen Verflechtung von wissenschaftlicher Exzellenz und industrieller Praxisrelevanz kann sich das Ministerium erlauben, die PTB an der langen Leine zu führen, und schätzt sie wegen ihrer hervorragenden Führung und den hoch qualifizierten Mitarbeitern als eine „Perle“ in seinem Geschäftsbereich.

Dr. Hans-Gerhard Husung, Staatssekretär für Wissenschaft beim Senat von Berlin, ist der PTB durch viele fachliche Berührungspunkte und als gebürtiger Braunschweiger verbunden. Er stellte in seinem Grußwort des Berliner Senats die PTB in eine Reihe mit anderen bedeutenden Einrichtungen, die in Kürze wichtige Jubiläen in Berlin feiern werden: im Jahre 2010 sind es zum Beispiel 300 Jahre Charité, 300 Jahre Berlin-Brandenburgische Akademie der Wissenschaften, 200 Jahre Humboldt-Universität und 100 Jahre Kaiser-Wilhelm- bzw. Max-Planck-Gesellschaft. Als studiertem Historiker war ihm der Hinweis auf Geschehnisse wichtig, die sich parallel zur Gründung der PTR in der Zeit um 1887 ereigneten. Die Deutsche Kolonialgesellschaft wurde gegründet. Marc Chagall und Arthur Rubinstein wurden geboren. Der Reichstag wurde neu gewählt, da ihn Bismarck wegen der Verweigerung einer Heeresverstärkung aufgelöst

hatte. Deutschland und Russland schlossen den geheimen Rückversicherungsvertrag. Kaiser Wilhelm I legt den Grundstein für den Nordostseekanal. Erst in der Rückschau wird die deutlich unterschiedliche Langzeitbedeutung dieser einzelnen Fakten erkennbar.

Ebenfalls 1887 hat das Parlament in Großbritannien den Merchandising Marks Act beschlossen, ein Gesetz, das bei allen Industrieimporten die Angabe des Ursprungslandes vorschrieb. So wurde das Label „Made in Germany“ geboren, das obwohl zur Diskriminierung ausländischer Produkte eingeführt schließlich zum Qualitätsbegriff deutscher Waren wurde, nicht zuletzt durch die herausragende Messtechnik in Deutschland, die sich auf die Spitzenposition der PTR abstützen konnte. Dieser Zusammenhang zwischen einem Messwesen an der Front des technisch Möglichen und einer qualitativ führenden Industrieproduktion hat bis heute nichts von seiner strategischen Bedeutung eingebüßt, wenn man zum Beispiel die aufstrebenden Volkswirtschaften in Asien auf Distanz halten will. Ein Grund für den damaligen Erfolg war unter anderem der Etat der PTR, der um 1910 mit einem Umfang von 500 000 Mark größer war als der aller Physikalischen Universitätsinstitute zusammen.

Anspruch und Komplexität der von der PTB zu erbringenden Aufträge und Dienstleistungen, stellte Staatssekretär Husung fest, bedingen eine leistungsfähige Forschungsbasis. Den heutigen Erfolg der PTB kann man dem Umstand entnehmen, dass sie 2006 unter insgesamt 167 außeruniversitären Forschungseinrichtungen



Dr. Hans-Gerhard Husung

im DFG-Förderranking den 19. Rang belegte als drittmittelstärkste Bundeseinrichtung mit F&E-Aufgaben. Das macht die PTB in diesem Forschungssegment – national und international – zu einem beispielgebenden Vorreiter.

Die Berliner registrieren das ungebrochene und nachhaltige Engagement der PTB für die Stadt ihrer Gründung. Unvergessen ist dabei der forcierte Einsatz der PTB für den Bau der ersten dezidierten Synchrotronstrahlungsquelle in Deutschland. Im Mai 1977 erklärte sich die PTB bereit, das eigene Vorhaben eines kompakten Speicherrings in eine entsprechende, aber deutlich größere Berliner Anlage einzubringen. Am 19. Dezember 1981 erstrahlte bei BESSY in Wilmersdorf das erste Synchrotronlicht in Berlin. Wenn Berlin heute als ein „Mekka“ moderner Synchrotronstrahlungsforschung gilt, so ist das mit ein Verdienst der PTB, wie Staatssekretär Husung wörtlich feststellte. Auch beim heutigen BESSY II in Adlershof wird die enge Partnerschaft zwischen BESSY und PTB mit großem Erfolg praktiziert. Die BESSY GmbH entwickelt und baut darüber hinaus gegenüber von BESSY II für die PTB und andere Nutzer einen für die Metrologie optimierten neuen Niederenergiespeicherring, die Metrology Light Source. Mit dem von BESSY für die nächsten Jahre geplanten Freie-Elektronen-Laser werden sich die Attraktivität und Leistungsfähigkeit des Wissenschafts- und Wirtschaftsstandorts Berlin-Adlershof weiter erhöhen und eines nicht zu fernem Tages als „hellstes Dreieck Europas“ erstrahlen lassen.

Wichtig war Staatssekretär Husung der Hinweis, dass Berlin mit wachem Interesse die wachsenden Anstrengungen der PTB zu einer noch wirkungsvolleren Vernetzung mit dem gesamten nationalen Wissenschaftssystem verfolgt und insbesondere mit den Berliner Universitäten und außeruniversitären Einrichtungen besonders begrüßt. Vorbildliche Beispiele dafür sind die Beteiligung der PTB an der exzellenzgeförderten Graduiertenschule „Berlin School of Mind and Brain“ der Humboldt-Universität und die enge Einbindung der PTB in den Aufbau und Betrieb des Berlin Neuro-Imaging Center auf dem Campus Buch im Nordosten Berlins durch ein erhebliches finanzielles und technisch-wissenschaftliches Engagement an dem dort in wenigen Monaten in Betrieb gehenden 7-T-Ganzkörper-Kernspintomographen.

Die Verflechtung der PTB mit wissenschaftlichen Partnern in Adlershof und in Buch liegt voll auf der Linie des Masterplans des Berliner Senats zur Stärkung der Exzellenz der Forschungslandschaft Berlins. Was fälschlicherweise in der Presse als „Superuni“ betitelt wurde, will universitäre und außeruniversitäre Forschung in Kooperationen bündeln und die nationale und internationale Sichtbarkeit und Attraktivität Ber-

lins auf diesem Feld erheblich steigern. Die PTB wird nach Staatssekretär Husung bei der Umsetzung dieses Masterplans ein unverzichtbarer Partner sein und sein müssen: Vielleicht gelingt im Rahmen neuer Möglichkeiten des Zusammenwirkens mit den Berliner Hochschulen auch eine gemeinsame Berufung. In diesem Sinne freut sich die Gründungsmetropole Berlin über die Treue der PTB, über deren Leistungsstärke und Attraktivität und den künftigen gemeinsamen Weg zu neuen Ufern zum Wohle der Gesellschaft.

Marc Schulte, Wirtschaftsstadtrat des Bezirksamtes Charlottenburg-Wilmersdorf, würdigte die Gründung der PTR als einen wichtigen Vorgang in der Entwicklung Charlottenburgs, einer der damals reichsten Städte Preußens. Gegen Ende des 19. Jahrhunderts bildeten sich hier wichtige Zentren der technischen Wissenschaft wie die Technische Hochschule und der industriellen Ansiedlung wie unter anderem die von Siemens am Salzufer. Mit der PTR entstand in diesen Zeiten des dynamischen Aufbruchs in Deutschland die Wiege des modernen Messwesens.



Marc Schulte

Nach der deutschen Vereinigung wurde der Standort der PTB in Charlottenburg kräftig ausgebaut, allerdings zunächst in einer für das Bezirksamt unverständlichen Abgeschlossenheit und, begründet durch die Empfindlichkeit der Messverfahren, der Öffentlichkeit wenig zugänglich. Dies hat sich in der Zwischenzeit stark zum Positiven verändert. Die PTB ist ein offenes Haus und zeigt den Bürgern in Tagen der offenen Tür, Langen Wissenschaftsnächten und beim Kiezspaziergang der Bürgermeisterin die Schwierigkeit und Komplexität, aber auch

die wissenschaftliche, wirtschaftliche und gesellschaftliche Relevanz ihrer Arbeit. Der Bezirk Charlottenburg-Wilmersdorf ist stolz darauf, dieses weltweit in der ersten Reihe stehende Metrologie-Institut in seinen Mauern zu beherbergen und will auch in Zukunft für einladende und „erschütterungsfreie“ Arbeitsbedingungen sorgen.

Ruprecht von Siemens, Urenkel von Hermann von Helmholtz, des ersten Präsidenten der PTR, betonte in seinem Grußwort die bis heute enge Verbundenheit zwischen seiner Familie und der PTB, für deren Förderverein Helm-

mit exzellenten Mitarbeitern bestückten Großforschungseinrichtung mit dem Auftrag der gezielten Unterstützung der industriellen Entwicklung zur einmaligen Erfolgsgeschichte wurde.

Im ersten Beispiel beschrieb er, wie im Optischen Laboratorium aus dem Bedarf für ein zuverlässiges radiometrisches Normal mit ausreichender Genauigkeit zur Beurteilung der Effizienz von Beleuchtungskörpern unter anderem für die Straßen der aufblühenden Reichshauptstadt der Hohlraumstrahler entwickelt wurde, zu dessen theoretischer Deutung Max Planck in seiner Ende 1900 vorgestellten Strahlungsfor-



Ruprecht von Siemens und Professor Dr. Ernst O. Göbel

holtz-Fonds e. V. er trotz seines hohen Alters die Funktion des Schatzmeisters ausfüllt. Anlässlich der Jubiläumsfeier schilderte er die Bedeutung der Helmholtz-Medaille, die als erstem Hermann von Helmholtz selbst und danach vielen anderen renommierten Wissenschaftlern wie Lord Kelvin, Weierstraß, Virchow, Becquerel, Planck und Röntgen verliehen worden ist. Er übergab Prof. Göbel als Zeichen dieser Verbundenheit das messingglänzende Original aus seinem Erbesitz für eine gewisse Zeit, damit es bei künftigen feierlichen Anlässen gezeigt werden kann.

Prof. Rudolf P. Huebener, emeritierter Ordinarius für Experimentalphysik der Universität Tübingen, behandelte in seinem Festvortrag „120 Jahre PTR/PTB: ihre Gründung ein Meilenstein für Metrologie und Forschung“ die Anfänge der Reichsanstalt. An mehreren Beispielen arbeitete er heraus, wie die bereits in den Grußworten angesprochene einmalige Konstellation einer

mel die Quantisierung des Lichts postulieren musste und damit das Tor zur Quantenphysik aufgestoßen hat. Dieses auf den Daten der Wissenschaftler der PTR basierende Ergebnis kann als die folgenreichste Entdeckung aus dieser Zeit angesehen werden.

Das zweite Beispiel behandelt das sich stürmisch entwickelnde Interesse an den Eigenschaften von Materialien bei tiefen Temperaturen, nachdem Kamerling Onnes in Leiden in Holland 1911 die Supraleitfähigkeit des Quecksilbers entdeckt hatte. Unter der Präsidentschaft von Emil Warburg richtete die PTR ein Kältelaboratorium ein, das von Walter Meißner aufgebaut und viele Jahre geleitet wurde. Durch den Bau von Verflüssigern für Wasserstoff und Helium, der von der Linde AG nachdrücklich unterstützt wurde, verschaffte er sich Zugang zu diesem tiefen Temperaturbereich in der Nähe des absoluten Temperaturnullpunkts

und entdeckte eine Reihe neuer Supraleiter, darunter das bis heute in den meisten supraleitenden Schaltungen verwendete Niob. 1933 fand Meißner den nach ihm und seinem Mitarbeiter Ochsenfeld benannten Effekt, eine originäre Eigenschaft jedes supraleitenden Materials, das durch entsprechende Abschirmströme in seinem Innern eingedrungenes Magnetfeld im Bereich unterhalb eines kritischen Wertes nach draußen verdrängt. Prof. Huebener beschrieb sehr anschaulich die Schwierigkeit von Experimenten bei tiefen Temperaturen, für die Meißner über viele Jahre nur 300 cm³ flüssiges Helium – eine große Kaffeetasse also – zur Verfügung hatte. Für den Vortragenden, der die längste Zeit seines Forscherlebens sich mit Supraleitung beschäftigt hatte, gewann das Kältelabor der PTR durch Meißners Erfolge den „Nimbus eines heiligen Tempels“ dieser Forschungsrichtung.

Auch das von Warburg 1912 eingerichtete Laboratorium für Radioaktivität ist ein Beispiel für große Erfolge, die auf dem von seinem Leiter Hans Geiger entwickelten Zähler für radioaktive Strahlung basierten. Viele berühmte Kollegen aus dem Ausland bemühten sich um einen Forschungsaufenthalt an dieser Einrichtung, so zum Beispiel James Chadwick, der später das Neutron entdeckte. Zusammen mit Walther Bothe entwickelt Geiger die Koinzidenz-Methode, mit der sie die Energie- und Impulserhaltung in Kernreaktionen nachweisen konnten. Bothe gelang es damit später auch, den korpuskularen Charakter der Höhenstrahlung und die Anregung von Atomkernen nachzuweisen.

Im Chemischen Laboratorium, das, zunächst nur zur Unterstützung der anderen Laboratorien eingerichtet, unter der Präsidentschaft von Walther Nernst zur Blüte kam, gelang Walter Noddack und seiner späteren Frau Ida Tacke mit Unterstützung der Firma Siemens die spektakuläre Entdeckung des Elementes Rhenium durch die Isolierung eines Gramms dieses seltenen Materials aus 660 kg Molybdänglanz.

Der Verbindung von Albert Einstein zur PTR war der Schluss des Vortrags von Prof. Huebener gewidmet. Mitglied des Kuratoriums der PTR war Einstein fast während seiner ganzen Berliner Zeit und lieferte viele entscheidende Anregungen und Vorschläge. In die Anfangsphase 1915 fiel das einzige Experiment des großen Theoretikers, das er zusammen mit Johannes Wander de Haas an der PTR ausführte, nämlich die erfolgreiche Überprüfung der Ampèreschen Molekularstromhypothese zur Erklärung des Magnetismus im Festkörper durch ein Resonanzexperiment. 1926 veranlasste er Meißner zu Messungen über die Leitungseigenschaft der Grenzschicht zwischen Supraleitern, die erst 1962 von dem Engländer Brian Josephson theoretisch gedeutet werden konnte und heute die Grundlage für die stabilsten Voltstandards und die empfindlichsten Magnetfeldsensoren darstellt – beides Entwicklungen, bei denen die PTB heute weltweit führend ist.

Dr. Terry Quinn begann seinen Festvortrag über das „Neue Einheitensystem – ein Meilenstein für die Absicherung der Basiseinheiten“ mit einem historischen Rückblick auf das System

physikalischer Einheiten, das im Gefolge der Intentionen der französischen Revolution universell und für jedermann zugänglich sein sollte. Damals wurden das Meter und das Kilogramm als Artefakte geschaffen, abgeleitet vom Erdumfang und einem Liter reinen Wassers. Schon 1870 hat James Clerk Maxwell darauf aufmerksam gemacht, dass sich die Erde als verlässlicher Maßstab prinzipiell nicht eignet, sondern auf die unveränderlichen Atome zurückgegriffen werden muss, wenn man Einheiten für Länge, Zeit und Masse erhalten will, die überall und für alle Zeit absolut stabil sein sollen.

Warum sind die Metrologie und ein einheitliches unveränderliches Einheitensystem so wichtig, fragte Terry Quinn und illustrierte diese



Dr. Terry Quinn

Frage mit der berühmten Anekdote, nach der der Lehrling auf die Aufforderung, den Meterstab zu holen, die Gegenfrage stellte: Welchen, den für den Einkauf oder den für den Verkauf? Ein zuverlässiges Einheitensystem ist lebensnotwendig, weil es die Grundlage für Vertrauen ist, Vertrauen zwischen Käufer und Verkäufer, zwischen Produzent, Händler und Kunden. Ohne dieses Vertrauen gibt es keinen fairen Handel, aber auch keinen wissenschaftlichen und technischen Fortschritt. Beispiele für letzteren sind die erforderliche Präzision bei der Fertigung von effizienten Flugzeugturbinen, die erst die heutigen Transkontinentalflüge ermöglichen, die Ganggenauigkeit von Atomuhren, die die Voraussetzung für ein weltumspannendes Navigationssystem ist, oder die Zuverlässigkeit von Messungen in der medizinischen Diagnostik, deren Akzeptanz ein riesiges Einsparpotential im Gesundheitswesen bedeuten würde.

Das Vertrauen in Messergebnisse ist besonders bei Langzeitvergleichen notwendig, beispielsweise in Studien zum Klimawandel. Hier sind die Veränderungen von Messwerten im Laufe der Zeit oft klein und an der Grenze der Messgenauigkeit. Um in zehn, zwanzig oder gar fünfzig Jahren aussagekräftige Vergleiche mit den heute gemessenen Daten möglich zu machen, müssen die heutigen Messungen so präzise und zuverlässig wie möglich sein. Man braucht – und dabei ist die einfallende Strahlungsleistung der Sonne ein offenkundiges Beispiel für dieses fundamentale Prinzip – eine präzise Rückführung auf dieselben unveränderlichen Normale über eine lange Zeit.

Welchen Zustand hat das dafür zur Verfügung stehende internationale Einheitensystem? Es gibt sieben, zum Teil von einander abhängige Basiseinheiten: Sekunde, Meter, Kilogramm, Ampere, Kelvin, Mol und Candela. Sie sind abgesehen von Sekunde und Meter noch an Artefakte oder Materialeigenschaften gebunden. Das Ziel für das neue Einheitensystem ist, alle Einheiten – möglichst bis 2010 – auf Naturkonstanten zurückzuführen.

Eine zentrale Bedeutung hat dabei die Neudefinition des Kilogramms, indem man es über eine Frequenz letztlich auf die am genauesten messbare Einheit, die Sekunde, zurückführt. Dazu muss, wie die Lichtgeschwindigkeit für das Meter, der Wert des Planckschen Wirkungsquantums festgelegt werden. Bisher gibt es allerdings zwei Messmethoden, die sog. Wattwaage und der Bezug auf das Siliziumatom, deren Ergebnisse sich um deutlich mehr unterscheiden als ihre jeweilige Unsicherheit. Weil dieser Unterschied ausgeräumt sein muss, bevor man an eine Neudefinition der Basiseinheiten gehen kann, kommt der Bestimmung des Wirkungsquantums eine Schlüsselrolle zu. Außer dem Wirkungsquantum würde man das neue SI-System wie bereits jetzt auf die Hyperfeinaufspaltung des Grundzustands des Cs-Atoms und die Lichtgeschwindigkeit im Vakuum und künftig auch auf die Elementarladung, die Boltzmann- und die Avogadro-Konstante abstützen.

Mit der wichtigen Bemerkung über die Bedeutung des deutschen Beitrags zur Entwicklung des internationalen Messwesens schloss Dr. Quinn seinen Beitrag, dass Wilhelm Foerster als Präsident des Internationalen Komitees für Maß und Gewicht (CIPM) die treibende Kraft war, dass das Internationale Büro für Maß und Gewicht von Anfang an (1875) als eine wissenschaftliche Forschungseinrichtung etabliert wurde und nicht als reines Büro, was seine Existenz und Reputation bis heute gesichert hat. Auch 120 Jahre nach ihrer Gründung zeigt die PTB dieselbe große Verantwortung für das BIPM, was im langjährigen Engagement von Prof. Göbel als Präsident des CIPM deutlich wird.

Vertrauen in ein Einheitensystem und das darauf aufgebaute Messwesen, das zu einer Akzeptanz im weltweiten Austausch von Waren und von wissenschaftlicher Erkenntnis über viele Jahrzehnte geführt hat, ist ein kostbares Gut, das verantwortungsvoll weiterentwickelt und künftig auf die stabilsten verfügbaren Standards abgestützt werden muss, die Naturkonstanten.

Dr. Wolfgang Buck,
Leiter des „Instituts
Berlin“ und der Abtei-
lung „Temperatur und
Synchrotronstrahlung“
E-Mail:
wolfgang.buck@ptb.de

Die Gründung der PTR und die Schlüsselrolle von Werner Siemens

Rudolf Huebener, Heinz Lübbig*

Während der letzten Jahrzehnte des 19. Jahrhunderts erlebte die Industrie in Deutschland eine starke Expansion, vor allem aufgrund der raschen Fortschritte in den Wissenschaften und der Technik. Besonders die Kenntnisse in den Naturwissenschaften zeigten ein eindrucksvolles Wachstum, das zur Gründung neuer Industrien in Deutschland besonders auf dem Gebiet der Hochtechnologie geführt hat. Wir nennen als Beispiele die Erzeugung von Metallen und Stahl, den Bau von Eisenbahnen und Schiffen, die Kryotechnik, die durch Explosionsmotore angetriebenen Fahrzeuge, Elektrotechnik, Optik, Maschinenbau, Chemie sowie die Luftfahrt.

Während dieser Zeit der industriellen Expansion in Richtung von Produkten der Hochtechnologie wurden an zahlreichen deutschen Universitäten neue Physikalische Institute gebaut und in Betrieb genommen. Die Institute in Berlin, Leipzig, Heidelberg und Strassburg sind berühmte Beispiele. Diese Institute dienten jedoch fast ausschliesslich zu Lehrzwecken und lieferten nur in sehr geringem Umfang Möglichkeiten für physikalische Forschungen. Offenbar gab es eine starke Diskrepanz zwischen der industriellen Entwicklung und der Möglichkeit für Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Physik.

Als einer der ersten in Deutschland hat Werner Siemens diesen Mangel an physikalischer Forschung an den Universitäten erkannt und nach Abhilfe gesucht. Seine wissenschaftliche und technische Ausbildung hatte er an der Vereinigten Ingenieur- und Artillerieschule in Berlin erhalten. Neben seiner Eigenschaft als Unternehmer war er in besonderem Maß auch Wissenschaftler. In einer Denkschrift von April 1883 wies Siemens darauf hin, dass an den deutschen Universitäten viele gut ausgebildete Lehrer für Schulen und Dozenten für Universitäten hervorgebracht werden. Andererseits gab es seiner Meinung nach aber einen grossen Mangel an gut ausgestatteten Laboratorien für physikalische Forschungen. Die seither eingerichteten Universitätsinstitute würden primär nur als Institutionen für Lehrzwecke dienen und nur geringe Möglichkeiten für physikalische Grundlagenforschung bieten. Offenbar gab es einen grossen Bedarf an einer neuen Art von Instituten, deren Mitarbeiter von allen Lehraufgaben völlig frei sein sollten und sich daher ausschliesslich ihren Forschungsgegenständen widmen könnten. Wie ist es Werner Siemens gelungen, diese Idee einer



Bild 1:
Werner Siemens, 1887

neuartigen Institution für Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Physik zu verwirklichen?

Schon im Jahr 1872 hatte sich eine kleine Gruppe von Wissenschaftlern in Preußen mit dem Ziel zusammengeschlossen, den Stand der Präzisionstechnik im Land zu verbessern. Die Gruppe bestand aus dem Astronomen Wilhelm Foerster, dem Physiologen und Physiker Hermann von Helmholtz, dem Gymnasiallehrer für Naturwissenschaften und Mathematik Karl Schellbach, und Werner Siemens. Insbesondere richteten sie ihre Aufmerksamkeit auf die Herstellung von Fernrohren, Mikroskopen, Komparatoren, Photometern, Thermometern, Barometern, spektroskopischen Geräten und Instrumenten der Geodäsie und der nautischen Wissenschaft. Im gleichen Jahr verfassten sie die „Schellbach Denkschrift“, in der der Stand der Präzisionstechnik in Preußen dargestellt wurde und finanzielle Unterstützung durch die Regierung zur Einrichtung eines Instituts für die Förderung von Forschungen in den Naturwissenschaften und der Präzisionsmechanik verlangt wurde. Die Denkschrift wurde dem preußischen Ministerium für Erziehung und kulturelle Angelegenheiten über-

* In einem von den Autoren Rudolf Huebener und Heinz Lübbig verfassten Buch

„A Focus of Discoveries – The Physical-Technical Imperial Institute in Berlin and the Origin of Quantum Physics“ wird die spannende Zeit von der Gründung der Reichsanstalt bis 1945 ausführlich dargestellt. Das Buch erscheint demnächst im Verlag World Scientific, Singapore. Hier ist das ins Deutsche übersetzte 1. Kapitel dieses Buches wiedergegeben.

geben, welches sie anschliessend an die Preussische Akademie der Wissenschaften weiterleitete. Obwohl Kaiser Wilhelm I. und Kronprinz Friedrich diese Bemühungen unterstützten, lehnte die Akademie die vorgeschlagene Einrichtung eines solchen Instituts im März 1873 kategorisch ab. Die Akademie war bekannt für ihre sehr konservative Einstellung und für ihre Animosität gegen technische Entwicklungen. Darauf wandte sich Foerster an die Preussische Landestriangulation und bat um Unterstützung. Letztere Behörde unterstand direkt der Aufsicht des Chefs des Generalstabs, Helmuth von Moltke, einem Freund der Naturwissenschaften, der den militärischen Nutzen der Präzisionstechnik erkannt hatte. Von Moltke veranlasste die Bildung eines Ausschusses für die Untersuchung des Stands der Präzisionstechnik in Preußen. Schon im Dezember 1873 berichtete dieser Ausschuss dem preussischen Parlament, dass eine Verbesserung der Präzisionstechnik nur durch ein vom Staat unterstütztes Institut erreicht werden könnte. Das neue technische Institut würde keine Lehrverpflichtung haben und würde sich nur auf die Forschung konzentrieren. Im Jahr 1875 akzeptierte das Preussische Ministerium für Erziehung und kulturelle Angelegenheiten die Empfehlungen des Berichts. Die Frage einer geeigneten Unterbringung blieb aber noch ungeklärt. Während der anschließenden sieben Jahre hat der Preussische Landtag die Entscheidung über die notwendigen Finanzmittel für das Gebäude immer wieder verschoben. Schliesslich wurde die im Entstehen begriffene Technische Hochschule in Charlottenburg als ein möglicher Platz ausgesucht. Bis November 1882 war die Errichtung eines neuen Gebäudes für die Hochschule jedoch nur sehr wenig vorangekommen.

In der Zwischenzeit hatte sich der Stand der Präzisionstechnik weiterhin wesentlich verändert. Hinzu kam, dass die schnell wachsende Elektroindustrie eine zuverlässige Grundlage für die elektrischen Einheiten und Normale benötigte. Schliesslich sollte auch noch die Vorherrschaft Frankreichs auf metrologischem Gebiet gebrochen werden. Dies alles führte zu neuen Aufgaben für ein mögliches neues Institut im deutschen Reich. Deshalb begannen gegen Ende 1882 die Mitglieder der preussischen Initiative wieder über ihren Plan nachzudenken. Im Laufe der darauf folgenden 18 Monate haben Moltke und der preussische Minister für Erziehung und kulturelle Angelegenheiten, Gustav von Goßler, wiederum einen Ausschuss zur Diskussion der Frage des neuen Instituts einberufen. Die Mitglieder dieses Ausschusses waren Vertreter aus der Wissenschaft und der Technik. Das wichtigste Mitglied war wohl Werner Siemens.

Siemens war überzeugt, dass die Naturwissenschaften die notwendige Voraussetzung für industrielles Wachstum und moderne Technologie darstellen, und dass diese ausreichende Unterstützung erfordern. Daher sollte das neue Institut nicht nur kurzfristige technische Probleme lösen, sondern sollte darüber hinaus auch langfristige Grundlagenforschung betreiben. Auf diese Weise könnte es Aufgaben übernehmen, die nicht von den Universitäten ausgeführt werden könnten, und die auch nie zu deren Tätigkeitsbereich gehört hätten. Die im Institut beschäftigten Wissenschaftler würden von jeder Lehrverpflichtung und Verwaltungstätigkeit befreit sein. Siemens gelang es, die anderen Mitglieder des Ausschusses für seine Ideen zu gewinnen, die dann in einem Bericht an den Deutschen Bundesrat ihren Ausdruck fanden. Ausserdem warnte der Bericht vor dem industriellen Wettbewerb durch andere Länder. Diese Warnung erstreckte sich insbesondere gegen Frankreich, Grossbritannien und Rußland, wo die Regierungen Grundlagenforschung und Technik unterstützten und dadurch die Wirtschaft förderten. Der Bericht verlangte ein physikalisch-mechanisches Institut, welches wissenschaftliche und technische Forschungen auf den Gebieten der Elektrizität, Optik, Mechanik und Metallurgie durchführt. Ferner würde es alle Arten von physikalischen Geräten, Materialien und Produkten prüfen und beglaubigen.

Siemens hat seine Ideen zur Einrichtung eines physikalisch-mechanischen Instituts in zwei Denkschriften von April 1883 bzw. März 1884 zusammengefasst, die in Kapitel 2 zusammen mit 3 anderen Denkschriften wiedergegeben werden. Sein Grundprinzip über die Bedeutung von Grundlagenforschung hat er im April 1883 folgendermaßen formuliert:

„Die naturwissenschaftliche Forschung bildet immer den sicheren Boden des technischen Fortschritts, und die Industrie eines Landes wird niemals eine führende Stellung erwerben oder sich erhalten können, wenn dasselbe nicht gleichzeitig an der Spitze des naturwissenschaftlichen Fortschritts steht.“

Für Siemens ergab sich die Motivierung für diese Unternehmung unmittelbar aus seiner vorherigen Erfahrung im Hinblick auf die engen Beziehungen zwischen Wissenschaft, Technik, Wirtschaft und Regierung. Seine internationale Firma Siemens & Halske hatte er mit Hilfe von Verträgen mit dem preussischen Militär und mit einer Reihe von europäischen Regierungen aufgebaut. Von der Elektrizität und ihrem grossen technischen Potential war er fasziniert. 1849 hatte der Telegraf von Siemens wichtige politische Entscheidungen des Parlaments in der Frankfurter Paulskirche per Kabel nach Berlin gemeldet. Gegen Ende der 1860er Jahre hatte die Firma Siemens & Halske eine

telegrafische Verbindung über eine Entfernung von mehr als 11 000 km zwischen London und Kalkutta installiert. Den elektrischen Generator zur Umwandlung von mechanischer in elektrische Energie hatte Werner Siemens erfunden und weiterentwickelt. 1879 präsentierte er die erste elektrische Bahn. Im Jahr 1888, ein Jahr bevor er sich vom aktiven Geschäftsleben zurückzog, wurde er vom Deutschen Kaiser geadelt. Inzwischen dominierte seine Firma den Niederspannungssektor der deutschen Elektroindustrie, und zusammen mit der Allgemeinen Elektrizitätsgesellschaft (AEG) von Emil Rathenau ebenso auch den Hochspannungs-Sektor.

Über das Ingenieurwesen und die Technik hinaus war Siemens stets auch der Grundlagenforschung gegenüber aufgeschlossen und hat sie unterstützt. 1845 war er an der Gründung der Physikalischen Gesellschaft von Berlin beteiligt, die später zur Deutschen Physikalischen Gesellschaft erweitert wurde. Auch war er ein ausgezeichneter Experimentalphysiker. Wir erwähnen als herausragende Beispiele seiner Beiträge zur reinen Physik: seine Arbeiten zur Definition der absoluten elektrischen Einheiten und die Entwicklung von Normalen, seine Untersuchungen zur elektrischen Induktion und zum optimalen Verlauf der elektrischen Ströme

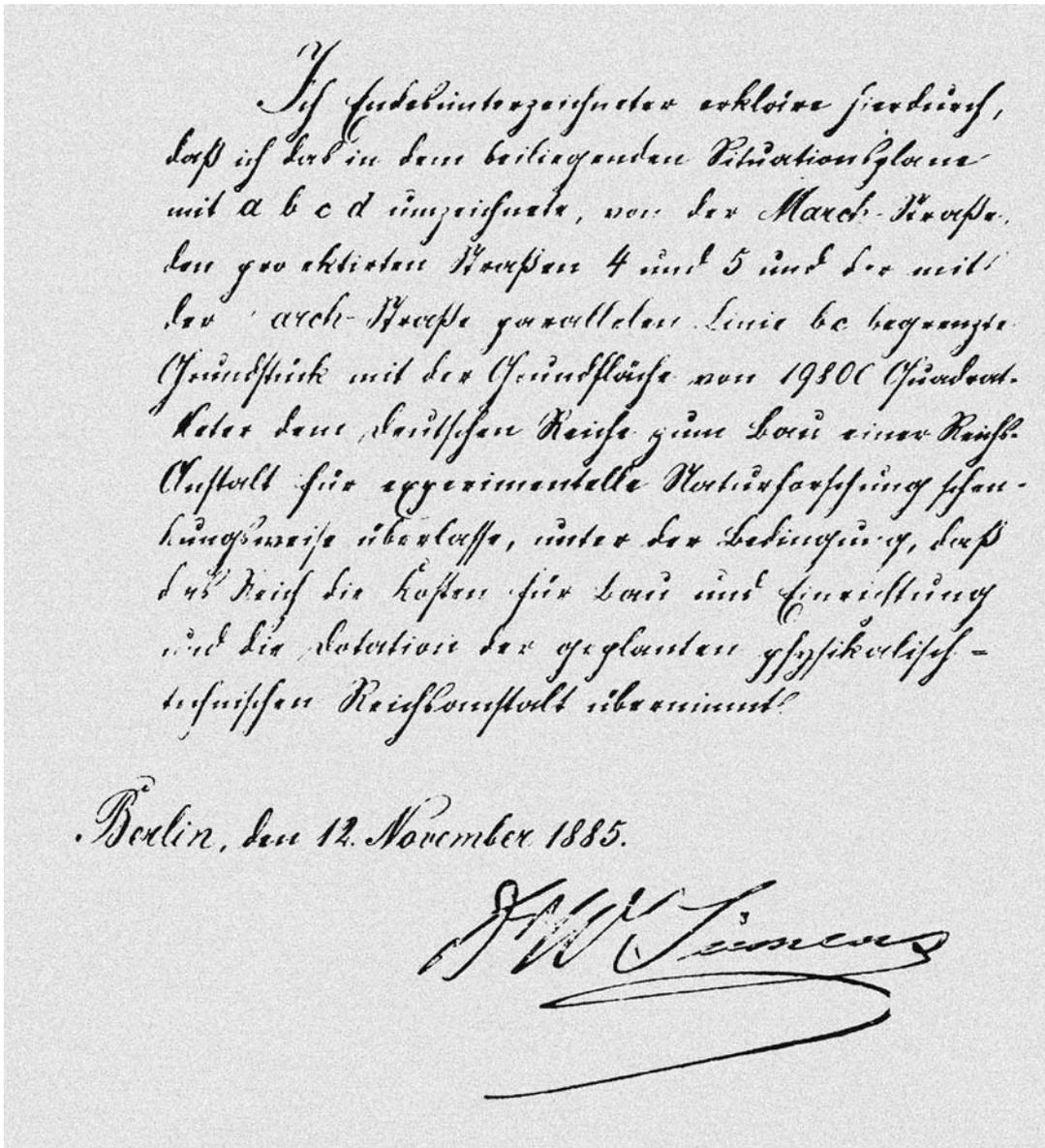


Bild 2:

Von Werner Siemens am 12. November 1885 unterzeichnete Schenkungsurkunde. „Ich Endesunterzeichneter erkläre hierdurch, daß ich das in dem beiliegenden Situationsplane mit a b c d umzeichnete, von der March-Straße, den projektirten Straßen 4 und 5 und der mit der March-Straße parallelen Linie b c begrenzte Grundstück mit der Grundfläche von 19800 Quadratmeter dem Deutschen Reiche zum Bau einer Reichsanstalt für experimentelle Naturforschung schenkungsweise überlasse, unter der Bedingung, daß das Reich die Kosten für Bau und Einrichtung und die Dotation der geplanten physikalisch-technischen Reichsanstalt übernimmt.“

und des Betriebs von Elektromagneten, seine Experimente zur elektrischen Leitfähigkeit von Metallen und zum Einfluss der Temperatur, seine Entdeckung des selbsttätigen Dynamos, und seine Beteiligung an der Entwicklung von Galvanometern und anderen wissenschaftlichen Instrumenten.

Werner Siemens war eine sehr patriotische Persönlichkeit. Als das Projekt des Physikalisch-Mechanischen Instituts im Hinblick auf seine Unterbringung auf Schwierigkeiten stiess, ergriff er im Frühjahr 1883 wieder die Initiative. In einem Brief vom 7. Juli 1883 an den Preußischen Minister für Erziehung und Kulturelle Angelegenheiten, Gustav von Goßler, äusserte er seine Befürchtung, dass in der Technischen Hochschule in Charlottenburg kein Raum für das Institut zur Verfügung steht, und er erwähnte, dass er in der Nähe der Hochschule ein grosses Grundstück besitzt, das sich für wissenschaftliche Laboratorien gut eignen würde. Daher hat er ein Grundstück von 12 000 m² Fläche aus seinem Besitz als Standort für Gebäude angeboten unter der Bedingung, dass Preußen die entsprechenden Gebäude „bauen, einrichten, und permanent unterhalten“ würde. Sein Brief lieferte einen neuen Antrieb für das Projekt. Im Januar 1884 hat Siemens sein Angebot erneuert und zusätzlich versprochen, auch das für die Laborgebäude erforderliche Geld zur Verfügung zu stellen. Im März 1884 änderte er sein Angebot noch einmal und übertrug seine Schenkung von Preußen auf das Deutsche Reich. Er bot „eine halbe Million Mark in Grundstücken oder Kapital“ an, um „meinem Land zu dienen und um meine Liebe zur Wissenschaft zu zeigen, welcher allein ich meinen Aufstieg im Leben verdanke“. Die herausragende Rolle von Werner Siemens ist auch aus den Denkschriften zu erkennen, die im folgenden Kapitel präsentiert werden.

Auf Veranlassung des Deutschen Reichskanzlers, Otto von Bismarck, hat Siemens 1884 zusammen mit Regierungsvertretern und einigen Mitgliedern der vorherigen Ausschüsse die komplette Organisationsstruktur, einschliesslich der Zusammensetzung des Beirats, dem Budget und den Aufgaben des zukünftigen Instituts,

ausgearbeitet. Das Institut sollte aus zwei Abteilungen bestehen: eine physikalische und eine technische Abteilung. Auf diese Weise hoffte man, das Parlament von der Notwendigkeit und Nützlichkeit der neuen Einrichtung zu überzeugen.

Trotz dieser Anstrengungen tauchten besonders im Jahr 1886 aber eine Reihe von grossen Schwierigkeiten für das Projekt auf. Eine Zeit lang versagte Reichskanzler Bismarck die finanzielle Unterstützung. Ferner hat der Verein Deutscher Ingenieure das Institut stark kritisiert, indem er behauptete, es würde hauptsächlich den persönlichen Interessen von Werner Siemens dienen, und die technische Abteilung würde sich auf die falschen Fragestellungen konzentrieren. In einem Brief an Bismarck von November 1886 äusserte die Deutsche Gesellschaft für Mechanik und Optik ähnliche Zweifel am Institut. Aufgrund dieser kritischen Bemerkungen trafen die Pläne für das Institut im Deutschen Parlament auf grosse Schwierigkeiten. Schliesslich hat der Finanzausschuss den Betrag von 160 000 Mark für die Technische Abteilung bewilligt, jedoch die Physikalische Abteilung komplett abgelehnt.

Diese schlimmen Entwicklungen veranlassten Siemens, Foerster und Kronprinz Friedrich, ihre Anstrengungen zugunsten des ursprünglichen Konzepts zu intensivieren. Insbesondere war es der Kronprinz, der Unterstützung für die Physikalische Abteilung zu gewinnen suchte. Dann hat im März 1887 das neugebildete Deutsche Parlament den Betrag von 700 000 Mark für das neue Institut einschliesslich der Physikalischen Abteilung bewilligt. Im Parlament war ein Argument, das den wachsenden internationalen Wettbewerb auf dem Gebiet der Hochtechnologie hervorhob, besonders hilfreich.

Unter den deutschen Physikern, die an Universitäten und Technischen Hochschulen tätig waren, hat vor allem nur Hermann von Helmholtz die Einrichtung des Instituts stark unterstützt. Daneben waren es die technische und die wissenschaftliche Vision sowie der Patriotismus von Werner Siemens, die zu seiner zentralen Rolle bei diesem Unternehmen geführt hatten.

Prof. Dr.
Rudolf P. Huebener
Experimentalphysik II
Universität Tübingen
Morgenstelle 14
72076 Tübingen,

Dr. Heinz Lübbig
Neue Str. 6
14163 Berlin

Vom Messfehler zur Messunsicherheit

Eine subjektive Retrospektive in die Entwicklung der Verfahrensweisen über die Zeit zwischen 1955 und 1980 aus der Sicht eines Atomphysikers

Siegfried R. Wagner*

Wenn man jetzt in die neueren Empfehlungen über die Auswertung von Messungen und über die Ermittlung von Messunsicherheiten schaut, so erscheinen diese (GUM, DIN) geradezu selbstverständlich. Das war aber nicht immer so, und ich bin auch nicht davon überzeugt, dass die in den internationalen Normen wiedergegebenen Verfahren schon ganz in das Bewusstsein der Experimentalphysiker eingedrungen sind und voll angewendet werden, was aus manchen Veröffentlichungen deutlich wird. Ein Blick zurück in die von mir in der Metrologie bewusst erlebte Zeit soll dazu dienen, die damals, d.h. 1955 nach meinem Eintritt in die Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), offensichtlich bestehenden Probleme und die daraus resultierenden Entwicklungen zu verstehen.

Dabei komme ich nicht umhin, die Situation aus der Sicht zu beschreiben, die sich mir als experimentierender Atomphysiker darbot. Das schließt natürlich nicht aus, dass in anderen Fachgebieten ein davon abweichendes Verständnis vorgeherrscht hat. Insbesondere galt mein Interesse den Unsicherheiten, die mit der Messung physikalischer Größen verbunden sind. Für die Angabe von Garantiefehlergrenzen und Eichfehlergrenzen z.B. von Messgeräten oder für spezielle Messverfahren sind weitergehende Überlegungen notwendig, die hier nicht behandelt werden. Meine Ausführungen sind mehr oder weniger ein Gedächtnisprotokoll. Deshalb beschränke ich mich auch auf wenige Literaturzitate, die sonst viele Seiten füllen würden.

Die Situation 1955

Während meines Studiums, bei meiner Diplomarbeit und bei meiner Dissertation existierte für mich im wesentlichen die „Fehlerrechnung“ wie sie z.B. im „Physikalischen Praktikum“ von Westphal beschrieben war oder – etwas ausführlicher – im Kohlrausch: „Praktische Physik“. Begriffe wie „zufälliger Fehler“ und „systematischer Fehler“ waren zwar geläufig¹⁾, führten aber nicht dazu, dass Messergebnisse mit Unsicherheiten angegeben wurden, die nach standardisierten Verfahren ermittelt waren und mit Hilfe von mathematisch begründeten Methoden quantitativ weiter verwendet werden konnten.

Mit der aus dieser misslichen Situation folgenden Problematik musste ich mich erstmals befassen, als ich mich 1955 als Nebentätigkeit gemeinsam mit W. Paul damit befassen musste, für die 20. Auflage des Kohlrausch die Tabelle „103. Isotope“ zu erarbeiten. Insbesondere bei den damals schon recht genau bekannten Nuklidmassen erwies sich die Berechnung der Mittelwerte aus den Messergebnissen verschiedener Autoren als schwierig oder unmöglich, wenn diese Messergebnisse auf Grund der mitgeteilten Messunsicherheiten als statistisch inkonsistent anzusehen waren, also nicht zu derselben Grundgesamtheit gehörten. Wir behielten uns damals damit, in der Tabelle entsprechend größere Unsicherheiten („Fehler“) anzugeben. Damit war es aber kaum noch sinnvoll, diese Unsicherheiten der Nuklidmassen etwa zur Ermittlung der Unsicherheit von Reaktionsenergien (Teilchen- und Strahlungsenergien) weiter zu verwenden und mit den aus den direkten Messungen solcher Energien folgenden Unsicherheiten zu vergleichen.

Die mit der Erfassung und Behandlung der sogenannten systematischen Fehler verbundenen Probleme traten z.B. bei der Messung der spezifischen Aktivität radioaktiver Stoffe deutlich zu Tage: Meistens konnten die aus der Zählstatistik folgenden zufälligen Fehler sehr klein gehalten werden, so dass die systematischen Fehler die Messunsicherheit fast vollständig beherrschten. Dass die vom Bureau International des Poids et Mesures (BIPM) von zu Zeit zu Zeit veranstalteten internationalen Vergleichsmessungen hinsichtlich der von den teilnehmenden Instituten angegebenen Messunsicherheiten dennoch recht „vernünftig“ (konsistent) waren, hatte seinen Grund in der umfangreichen Erfahrung der teilnehmenden Wissenschaftler: Manchmal war es nämlich möglich, z.B. die gesuchte spezifische Aktivität nach verschiedenen – im wesentlichen voneinander unabhängigen – Messmethoden (Koinzidenzmethode; Messung der Zerfallsrate in 4π -Geometrie) zu ermitteln, was zu einer verlässlichen, oft jedoch „sehr konservativen“ Schätzung des Beitrags nicht näher erfasster systematischer Fehler führte. Die Unsicherheit systematischer Fehler, die in beiden Methoden auftraten, etwa der Wägung, war dabei klein und gut bekannt.

* Dr. Siegfried R. Wagner, Bergiusstraße 2 d, 38116 Braunschweig

¹⁾ „Zufällige Fehler“ (Unsicherheiten) sind solche, die durch die statistische Fluktuation der Einzelmessungen um den „wahren“ Wert der Messgröße entstehen (in etwa den Typ A-Unsicherheiten nach GUM entsprechend, s. weiter unten). Diese werden nach den Methoden der Gaußschen Fehlerrechnung ermittelt. Die „Messgröße“ ist die zu bestimmende physikalische Größe, bei stochastischen Prozessen, wie z.B. beim radioaktiven Zerfall, ist die (nichtstochastische) Messgröße „Aktivität“ der Erwartungswert, geschätzt als Mittelwert aus der Anzahl der in einem hinreichend großen Zeitintervall beobachteten, stochastisch verteilten Ereignisse (radioaktiven Zerfällen), geteilt durch dieses Zeitintervall.

„Systematische Fehler“ (Unsicherheiten) sind alle anderen Beiträge zur Messunsicherheit, die nicht nach den Methoden der Gaußschen Fehlerrechnung ermittelt werden, z.B. die Unsicherheit von Korrekturen (in etwa Typ B-Unsicherheiten nach GUM)

Aus Vorstehendem folgt, dass die angegebenen Messunsicherheiten oft auf der verlässlichen Schätzung eines erfahrenen Metrologen beruhen, d.h. eine in der Regel mehr oder weniger große subjektive Komponente enthielten, deren Betrag je nach einer mehr oder weniger optimistischen oder pessimistischen Beurteilung des verwendeten Messverfahrens verschieden ausfallen konnte, so dass die mitgeteilten Messunsicherheiten nicht immer ein Maß für die „Güte“ der angewendeten Messmethode war. Dieser Umstand ließ manchmal die Notwendigkeit, nach weiteren unbekannt systematischen Einflüssen zu suchen, in den Hintergrund treten. Die beteiligten Metrologen waren aber durchaus zu Recht auf ihre Erfahrung stolz, ein Umstand der mein späteres Bemühen um die Objektivierung des Verfahrens zur Ermittlung von Messunsicherheiten zuweilen nicht gerade erleichterte.

Auf dem Weg zu neuen Vorstellungen

Weil die Situation auf dem Gebiet der Messunsicherheiten so unbefriedigend war, bewegte es mich als Mitautor des Kohlrausch natürlich, dass das Kapitel „Auswertung von Beobachtungen“ wie es im Band 1 der 20. Auflage (1955 erschienen) und später auch der 21. Auflage (1960 erschienen) vorlag, bei meinen Problemen kaum eine Hilfe war. Als ich meine Kritik dem Herausgeber der 22. Auflage (1968 erschienen), Rolf Taubert, bei deren Vorbereitung äußerte, fand ich mich unversehens mit der Neubearbeitung dieses Kapitels beauftragt.

Da war es ein glücklicher Umstand, dass ich Anfang der sechziger Jahre im Zusammenhang mit meiner vorbereitenden Tätigkeit für den Forschungs- und Messreaktor der PTB Mitglied der EURATOM-Arbeitsgruppe für Reaktordosimetrie geworden war, zu deren Aufgaben u.a. gehörte, verschiedene Methoden für die quantitative Erfassung insbesondere der Neutronenexposition z.B. bei Materialbestrahlungen und -aktivierungen kritisch zu vergleichen und zu diskutieren mit dem Ziel, Standardverfahren zu erarbeiten und zu empfehlen. Eine Untergruppe mit P. Denis (CEA, Grenoble) A. Gandy (Fondation Curie, Paris) H. Moret (BCNM, Geel) und mir sollte sich in diesem Zusammenhang mit den Methoden zur Ermittlung von Messunsicherheiten befassen. Die mannigfachen dabei auftretenden Probleme wurden in mehreren Sitzungen erörtert, deren Ergebnisse in den Berichten an die Arbeitsgruppe niedergelegt sind, insgesamt aber zunächst nicht zu einer befriedigenden Lösung oder gar Empfehlung führten. In der PTB war O. Diettrich, der später auch zur Untergruppe stieß, mein Gesprächspartner.

Mein Lösungsvorschlag

Da inzwischen die Zeit für die Vorbereitung meines Beitrages für die 22. Auflage des Kohlrausch knapp wurde, musste ich nun im wesentlichen allein schnell zu einem Ergebnis kommen. Zwei Gesichtspunkte waren dabei wesentlich für mich:

- es musste ein möglichst objektives und standardisiertes Verfahren zur Ermittlung der Messunsicherheit gefunden werden,
- die so ermittelte Messunsicherheit muss für die Fehlerfortpflanzung mit Hilfe etablierter Methoden zur Bestimmung der Messunsicherheit bei komplizierteren Messverfahren geeignet sein, z.B. bei der Messung von Wirkungsquerschnitten oder Reaktionsraten in der Kernphysik und Kerntechnik.

Geht man davon aus, dass man es bei einer Serie von Einzelmessungen mit einer (statistischen) Verteilung der Messwerte zu tun hat, dann kommt bei deren Charakterisierung deren zweitem zentralen Moment, der sog. Varianz, besondere Bedeutung zu. Insbesondere gilt, dass die Varianz der Verteilung, die bei der Kombination (Faltung) mehrerer verschiedenartiger Verteilungen resultiert, die Summe aus deren entsprechend gewichteten²⁾ Varianzen ist³⁾. Demzufolge sollte es bei der Auswertung einer Messreihe vorrangiges Ziel sein, die Unsicherheiten, also auch der systematischen, aller beitragenden Größen (z.B. Hilfsgrößen, Einflussgrößen, Konstanten) durch die aus ihren Varianzen folgenden Standardabweichungen zu kennzeichnen.

Außerdem bietet der Zentrale Grenzwertsatz der Statistik eine wertvolle Hilfestellung: Er besagt, dass sich die Kombination (Faltung) vieler auch weitgehend unterschiedlicher Verteilungen asymptotisch einer Normalverteilung (Gaußverteilung) nähert.

In Vorbereitung meines Beitrags für die 22. Auflage des Kohlrausch entstand im Mai 1966 der PTB-Bericht VI C – 17, in dem ich erstmals meine Vorstellungen über die Berücksichtigung systematischer Beiträge zur Gesamtmessunsicherheit niederlegte:

Diese Beiträge sollten in Form einer Varianz mit derjenigen der zufälligen Fehler zusammengefasst werden. Für den oft vorkommenden Fall, dass die Varianzen der systematischen Beiträge sich nicht ohne weiteres ermitteln lassen, wohl aber die Grenzen dieser Beiträge mehr oder weniger verlässlich geschätzt werden können, schlug ich vor, hilfsweise anzunehmen, dass diese innerhalb der Grenzen mit gleichbleibender Wahrscheinlichkeit auftreten, also die Form einer Rechteckverteilung mit diesen Grenzen haben. Dann ist auch deren Varianz bekannt. Im einfachsten Fall bezeichne $-\Delta x$, $+\Delta x$ diese Grenzen; dann ist die Varianz der zugehörigen

²⁾ Die Gewichte sind dabei die Koeffizienten der Varianzen im Fehlerfortpflanzungsgesetz.

³⁾ Die Quadratwurzel aus der Varianz wird als Standardabweichung der Verteilung bezeichnet.

Rechteckverteilung $s_x^2 = (\Delta x)^2/3$, die Standardabweichung also $s_x = \Delta x/\sqrt{3}$. Die gesamtmeßunsicherheit u beträgt dann $u = \sqrt{(s^2 + s_x^2)}$ wenn s^2 die Varianz der Verteilung der zufälligen Fehler ist.

Mein Bericht PTB VI C – 17 war im wesentlichen das Manuskript zu meinem Beitrag „Auswertung von Beobachtungen“ für die Anfang 1968 erschienene 22. Auflage des Kohlrusch. Von der vorerwähnten Untergruppe der EURATOM–Arbeitsgruppe für Reaktordosimetrie wurde mein Bericht diskutiert und ohne wesentliche Änderungen 1969 in einer vom CBMN besorgten Übersetzung ins Englische der Arbeitsgruppe zugeleitet.

Meine Vorschläge, die vom bis dahin üblichen Verfahren abweichen, habe ich dann ausführlich in den PTB-Mitteilungen Nr. 5 von 1969 (englischsprachige Version als PTB-Bericht FMRB 31/69 erschienen) dargelegt. Als Folge zahlreicher nationaler und internationaler Diskussionen habe ich mich mit der Veröffentlichung „On the Quantitative Characterization of the Uncertainty of Experimental Results in Metrology“ (PTB-Mitteilungen Nr. 2 in Band 89 von 1979) um weitere Klarstellungen bemüht.

Andere Entwicklungen

Von den Physikern weitgehend unbemerkt war in der Zeitschrift „Operations Research Verfahren“ 1968, S. 423–444 ein Aufsatz von K. Weichselberger erschienen mit dem Thema „Über die Addition zufälliger und systematischer Fehler“.

Das Ziel, das sich der Autor in dieser Arbeit gestellt hat, war es, eine Methode für eine „sinnvolle“ Kombination von zufälligem und systematischen Fehlern zu einem vorgegebenem Vertrauensniveau zu entwickeln. Diese Kombination hängt danach vom Verhältnis der Standardabweichung der zufälligen Fehler σ zur Grenze des systematischen Fehlers M und vom gewählten Vertrauensniveau ab. Für den Fall, dass die Grenze des systematischen Fehlers M klein gegen die Standardabweichung σ des zufälligen Fehlers ist, ergibt sich nach den Vorstellungen des Autors die Varianz σ_G^2 der kombinierten Verteilung (näherungsweise) zu

$$\sigma_G^2 = \sigma^2 + M^2.$$

Dieser Ausdruck ist aber nur dann korrekt, wenn die systematische Abweichung ihren größten Wert erreicht; wenn diese Beziehung dennoch allgemein angewendet wird, d.h. wenn davon auszugehen ist, dass der systematische Fehler irgendwo zwischen den abgeschätzten Grenzen liegt, ist keine sichere Wahrscheinlichkeitsaussage möglich und die Anwendung des Fehlerfortpflanzungsgesetzes bleibt fragwürdig.

1973 veröffentlichte das National Physical Laboratory den von Campion, Burns und Williams verfassten „Code of Practice for the

Detailed Statement of Accuracy“. Danach sollte die sich aus allen zufälligen Fehlern ergebende Messunsicherheit getrennt von den einzeln aufzuführenden Komponenten der systematischen Unsicherheiten (d.h. deren Maximalwerte) angegeben werden. Wenn der Gesamtbeitrag dieser Komponenten aufgeführt wird, muss mitgeteilt werden, wie dieser ermittelt wurde. Die Kombination von zufälligen und systematischen Beiträgen zu einer Gesamtmessunsicherheit wird im allgemeinen abgelehnt. Wenn diese aber in besonderen Fällen doch erwünscht ist, so sollte sie nur zusätzlich zu den beiden verschiedenartigen Beiträgen angegeben werden, und zwar zusammen mit der Methode, wie sie kombiniert wurden.

Das im Code of Practice vorgestellte Verfahren ist konsequent, erschwert aber eine statistisch signifikante Anwendung der Fehlerfortpflanzung bei komplizierteren physikalischen Experimenten, in die viele Messgrößen mit ihren Unsicherheiten eingehen, insbesondere, wenn sich bei der Auswertung der ursprüngliche Charakter der Unsicherheiten, ob zufällig oder systematisch, ändert.

Die internationale Diskussion

Veranlasst durch das Comité International des Poids et Mesures (CIPM) trat im Oktober 1980 eine Arbeitsgruppe zusammen, die zu grundsätzlichen Empfehlungen über die Angabe von Messunsicherheiten gelangte (INC-1):

- Unterscheidung zweier Kategorien von Messunsicherheiten:
 - A: Solche, die nach statistischen Methoden ausgewertet werden,
 - B: Solche, die auf andere Weise ausgewertet werden.

Die Klassifizierung in die Kategorien A und B entspricht nicht immer in einfacher Weise der bisher verwendeten Klassifikation in „zufällige“ und „systematische“ Unsicherheiten. Der Ausdruck „systematische Unsicherheit“ kann irreführend sein und sollte vermieden werden. Jede ausführliche Mitteilung der Messunsicherheit sollte deren Komponenten vollständig auflisten und für jede die Methode spezifizieren, nach der ihr Zahlenwert ermittelt wurde.

- Die Komponenten der Kategorie A werden als geschätzte Varianzen (oder geschätzte Standardabweichungen) und die Anzahl der Freiheitsgrade angegeben, ggf. auch die Kovarianzen.
- Die Komponenten der Kategorie B werden durch Größen gekennzeichnet, die als Näherungen der entsprechenden Varianzen angesehen werden können und deren Existenz angenommen wird. Ggf. sollten die Kovarianzen in ähnlicher Weise behandelt werden.

- Die Gesamtunsicherheit wird durch Anwendung der üblichen Verfahren für die Kombination von Varianzen erhalten. Die Gesamtunsicherheit und ihre Komponenten sollten als „Standardabweichungen“ angegeben werden.
- Wenn es für besondere Anwendungen erforderlich wird, die Gesamtunsicherheit mit einem Faktor zu multiplizieren, so muss dieser Faktor stets angegeben werden.

Ich betrachte die Charakterisierung der Kategorie B-Unsicherheiten durch Varianzen und deren gemeinsame Weiterbehandlung mit den Kategorie A-Unsicherheiten als die wesentlich neue Entwicklung und eine späte Bestätigung meiner zuerst 1966 formulierten Vorstellungen.

Die Erarbeitung eines detaillierten Verfahrens auf der Grundlage der Empfehlung ICN-1 wurde dann der International Organization of Standardization (ISO) übertragen. In deren dafür zuständige ISO Advisory Group on Metrology (TAG 4) waren mehrere betroffene Organisationen (CIPM, OIML, IUPAC, IUPAP, IFCC) vertreten. TAG 4 rief die Arbeitsgruppe 3 ins Leben, der Experten des BIPM, IEC, ISO und OIML angehörten. Deren auf der Basis der Empfehlung ICN-1 erzieltes Beratungsergebnis wurde 1993 von der ISO unter dem Titel „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“ (kurz: GUM) veröffentlicht, das substantielle Begründungen und Verfahrensweisen enthält.

Noch ist das darin enthaltene Verfahren nicht auf alle Messaufgaben problemlos anwendbar, doch die damit begonnene Entwicklung wird fortgeführt.

Ausblick

Etwas enttäuschend ist aber bisher die Umsetzung des GUM in die Praxis der physikalischen Ausbildung. Die von mir eingesehenen einführenden Lehrbücher der Physik begnügen sich in der Mehrzahl damit, die Ermittlung von Messunsicherheiten auf die zufälligen Fehler zu beschränken und die systematischen Unsicherheiten etwa in der von mir eingangs erwähnten althergebrachten Weise zu berücksichtigen. Hier bleibt noch vieles nachzuholen.

Für die Anwendung weiterführend sind die Monographien von Weise und Wöger (1999) sowie von Kirkup und Frenkel (2006).

Literatur

und im Text verwendete Abkürzungen

- BIPM: Bureau International des Poids et Mesures, Sèvres
- *Campion, P.J.; Burns, J.E.; Williams, A.*: A code of practice for the detailed statement of accuracy, National Physical Laboratory, London, Her Majesty's Stationary Office, 1973
- CIPM: Comité International des Poids et Mesures
- DIN 1319, Grundlagen der Messtechnik, insbesondere Blatt 3 (1996) und Blatt 4 (1999), Beuth, Berlin
- *Herrmann, H.; Weyrich, R.*: Auswertung von Beobachtungen, in Kohlrausch, F., Praktische Physik, 21. Auflage, Band 1, Teubner, Stuttgart 1960
- IEC: International Electrotechnical Commission
- IFCC: International Federation of Clinical Chemistry
- International Organization for Standardization (ISO), Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement (GUM), Genf 1993 (korrigierter Neudruck 1995).
Deutsch: Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen, Beuth, Berlin, Köln (1995)
- IUPAC: International Union of Pure and Applied Chemistry
- IUPAP: International Union of Pure and Applied Physics
- *Kirkup, L.; Frenkel, B.*: An Introduction to Uncertainty in Measurement Using the GUM, University Press, Cambridge 2006
- OIML: International Organization of Legal Metrology
- *Wagner, S.*: Auswertung von Beobachtungen, PTB-Bericht VI C – 17, Braunschweig Mai 1966 und in Kohlrausch, F., Praktische Physik, 22. Auflage, Band 1, Teubner, Stuttgart 1968
Englisch: 1969 beim Euratom-Zentralbüro für Kernmessungen, Geel / Belgien
- *Wagner, S.*: Zur Behandlung systematischer Fehler bei der Angabe von Messunsicherheiten, PTB-Mitteilungen 79 (1969), Nr. 5, S. 343–347.
Englisch: How to treat systematic errors in order to state the uncertainty of a measurement, PTB-Bericht FMRB 31/69, Braunschweig, November 1969
- *Wagner, S.R.*: On the Quantitative Characterization of the Uncertainty of Experimental Results in Metrology, PTB-Mitteilungen Band 89 (1979), Nr.2, S. 83–89
- *Weichselberger, K.*: Über die Addition zufälliger und systematischer Fehler, Operation Research Verfahren, Band 5 (1968), S. 423–444
- *Weise, K.; Wöger, W.*: Messunsicherheit und Messdatenauswertung, Wiley-VCH, Weinheim 1999.