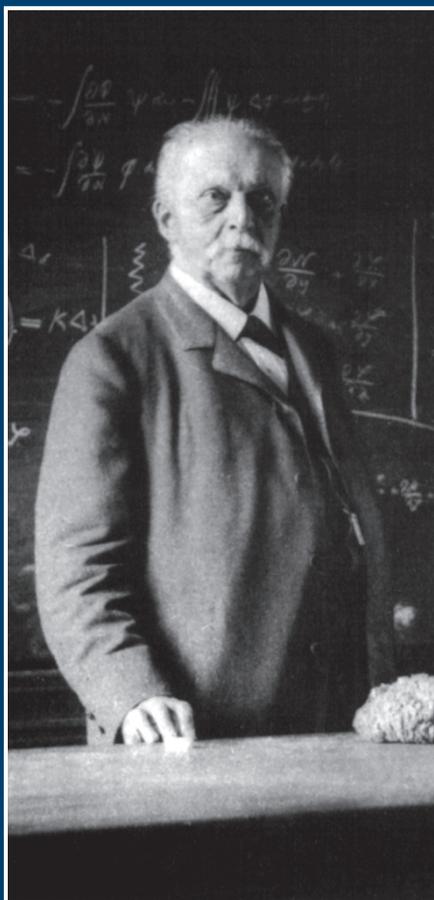
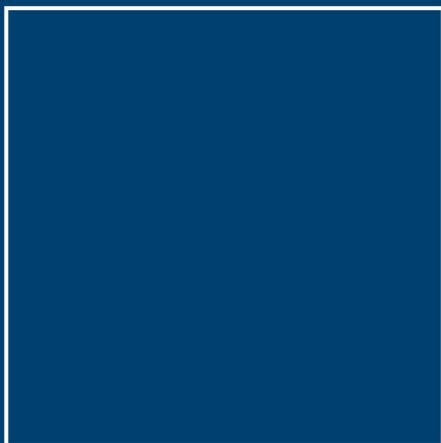


100 Jahre Helmholtz-Fonds e. V. und 40 Jahre Helmholtz-Preis



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

123. Jahrgang, Heft 4, Dezember 2013

Inhalt

100 Jahre Helmholtz-Fonds e.V. und 40 Jahre Helmholtz-Preis

- 100 Jahre Helmholtz-Fonds e. V. 3
 - *Ernst O. Göbel*: Zur heutigen Bedeutung des Helmholtz-Fonds 4
 - *Rainer Scharf*: Helmholtz-Preis – Für herausragende Arbeiten in der Metrologie 14
-

Recht und Technik

- Aktuelles aus der OIML 44
-

Amtliche Bekanntmachungen (eigenes Inhaltsverzeichnis) 48

Titelbild

Hermann v. Helmholtz bei seinen letzten Vorlesungen über theoretische Physik, aufgenommen im kleinen Hörsaal des Physikalischen Instituts der Universität Berlin am 7. Juli 1894.

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

Fachverlag NW in der
Carl Schünemann Verlag GmbH
Zweite Schlachtpforte 7
28195 Bremen
Internet: www.schuenemann.de
E-Mail: info@schuenemann-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

Karin Drewes
Telefon (0421) 369 03-56
Telefax (0421) 369 03-63
E-Mail: drewes@schuenemann-verlag.de

Anzeigenservice

Karin Drewes
Telefon (0421) 369 03-56
Telefax (0421) 369 03-63
E-Mail: drewes@schuenemann-verlag.de

Erscheinungsweise und Bezugspreise

Die PTB-Mitteilungen erscheinen viermal jährlich. Das Jahresabonnement kostet 55,00 Euro, das Einzelheft 16 Euro, jeweils zzgl. Versandkosten. Bezug über den Buchhandel oder den Verlag. Abbestellungen müssen spätestens drei Monate vor Ende eines Kalenderjahres schriftlich beim Verlag erfolgen.

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.

100 JAHRE HELMHOLTZ-FONDS E. V. UND 40 JAHRE HELMHOLTZ-PREIS

100 Jahre Helmholtz-Fonds e. V.

Festkolloquium am 20. September 2013

Hörsaal/Seminarzentrum der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt in Braunschweig

Als die Vorgängerinstitution der PTB, die Physikalisch-Technische Reichsanstalt (PTR), ein Vierteljahrhundert alt war, beschlossen namhafte Wissenschaftler des PTR-Kuratoriums, einen Fonds zur Förderung und Unterstützung der Reichsanstalt zu gründen. Der Helmholtz-Fonds e. V., so benannt nach dem ersten PTR-Präsidenten, steht seitdem der metrologischen Forschung und Entwicklung hilfreich zur Seite.

Im Jahr 2013 feierte der Fonds sein 100-jähriges Jubiläum mit einem Festkolloquium am



20. September 2013 im Hörsaal der PTB in Braunschweig. Neben Übersichtsvorträgen zur

Geschichte und Bedeutung des Fonds hielten drei Wissenschaftler, deren Arbeiten in der Vergangenheit mit dem Helmholtz-Preis ausgezeichnet wurden, je einen Kurz-

vortrag aus dem Umfeld ihrer preisgekrönten Arbeit. Im Anschluss an dieses Kolloquium fand ein Empfang im Foyer des Hörsaals statt. Das detaillierte Programm des Tages ist hier noch einmal aufgeführt.

Eröffnung des Festkolloquiums durch den Vorsitz der Verwaltungsrates des Helmholtz-Fonds e. V. und Präsidenten der PTB, *Prof. Dr. Joachim Ullrich*

Grußwort des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) durch den Leiter der Abteilung Technologiepolitik im BMWi, *Dr. Sven Halldorn*

Übersichtsvortrag zur Geschichte des Helmholtz-Fonds durch den ehemaligen Schatzmeister des Fonds, *Dipl.-Ing. Ruprecht von Siemens*

Übersichtsvortrag zur heutigen Bedeutung des Helmholtz-Fonds durch den ehemaligen Vorsitz und ehemaligen Präsidenten der PTB (1995–2011), *Prof. Dr. Ernst O. Göbel*

Fachliche Kurzvorträge von drei Helmholtz-Preisträgern:

- *Prof. Dr. Günter Werth* (Helmholtz-Preisträger 1985)
„Der Ionenkäfig als Frequenzstandard“
- *Dr. Fritz Riehle* (Helmholtz-Preisträger 1987 und 1999)
„Ein Elektronenspeicherring als primäres Strahlungsnormal zur Realisierung strahlungsoptischer Einheiten“
- *Prof. Dr. Thomas Klar* (Helmholtz-Preisträger 2001)
„Durchbruch der Auflösungsgrenze in der Fernfeld-Fluoreszenzmikroskopie (STED-Mikroskopie)“

Zur heutigen Bedeutung des Helmholtz-Fonds

Ernst O. Göbel*

1 Die Gründungszeit

Die Gründung des Helmholtz-Fonds geht zurück auf Emil Warburg, Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (PTR) von 1905 bis 1918. Warburg war der dritte Präsident nach Hermann von Helmholtz und Friedrich Kohlrausch. Hermann von Helmholtz, der Reichskanzler der deutschen Wissenschaft, wie er damals genannt wurde, hatte die Reichsanstalt nach den Vorstellungen etabliert, die er gemeinsam mit Werner von Siemens entwickelt hatte. Friedrich Kohlrausch, der „Meister der messenden Physik“, so eine Bezeichnung von Willy Wien, übernahm nach dem Tode von Helmholtz das Präsidentenamt. Er setzte die Helmholtz'schen Pläne konsequent fort und führte das junge Institut zur „institutionellen Reife“, wie David Cahan es in seinem Buch „Meister der Messung“ ausführte. 1905 wurde dann Kohlrausch, gesundheitlich schwer angegriffen, von Emil Warburg (Bild 1) abgelöst.

Emil Warburg war nach nicht einmal 20 Jahren der Reichsanstalt ihr erster Erneuerer. Man könnte sagen, dass er die Reichsanstalt ordentlich aufmischte, nicht zuletzt auch organisatorisch. Es dauerte allerdings bis 1914, ehe er seine Pläne umsetzen konnte, nämlich die bisherigen beiden Abteilungen, die Technische und die Physikalische Abteilung, aufzulösen und die PTR nach fachli-

chen Gesichtspunkten neu zu strukturieren – eine Struktur, die zumindest prinzipiell auch heute noch besteht. Wesentlicher war aber, dass er in richtiger Würdigung der damals stattfindenden Umwälzungen in der Physik (Einsteins Relativitätstheorie, die Entdeckung der Radioaktivität und die aufkommende Quantenphysik) die Ansicht vertrat, dass diese neue Physik auch in der Reichsanstalt präsent sein müsse. In diesem Sinne gründete er das Laboratorium für Radioaktivität, für dessen Leitung er Hans Geiger gewinnen konnte, der bei Rutherford in Manchester forschte, und er beauftragte, beeindruckt durch die Erfolge von Kammerling Onnes in Leiden, Walther Meißner mit dem Aufbau einer Tieftemperatur-Apparatur – beides Entscheidungen, die sich als wegweisend erwiesen, auch wenn die Wirkungen aufgrund des Ersten Weltkriegs erst deutlich verzögert eintraten. Er bemühte sich, wenn auch vergeblich, Albert Einstein für die PTR zu gewinnen. „Warburg wollte mich an die Reichsanstalt balancieren“, schrieb Einstein dazu in einem Brief. Warburg hatte jedoch großen Anteil daran, dass Einstein in der PTR als Gastwissenschaftler arbeitete und von 1916 bis 1933 Mitglied des Kuratoriums der PTR war. Warburg baute ein neues Starkstromlabor auf und errichtete ein störungsfreies magnetisches Labor auf dem Telegraphenberg bei Potsdam. Seine vom Kuratorium unterstützten Bemühungen um weitere Finanzmittel insbesondere für die Grundlagenforschung blieben allerdings ohne Erfolg. Vielmehr war man seitens der Regierung der Meinung, dass es der Reichsanstalt schon sehr gut ginge, was sich z. B. in der an Warburg gerichteten Anfrage ausdrückte, „warum die Reichsanstalt vergoldete Gewichtstücke“ habe. Warburgs Antwort war so schlicht wie richtig: „weil Massivgold zu teuer ist“.

Angesichts dieser Situation bemühte sich Warburg – wieder mit Unterstützung des Kuratoriums –, private Mittel für die wissenschaftliche Arbeit einzuwerben. Als Folge dieser Bemühungen wurden der Helmholtz-Fonds und die damals von der AEG finanzierte Emil-Rathenau-Stiftung gegründet. Start für den Helmholtz-Fonds war ein Aufruf, der an über 5 000 Personen, Firmen und Verbände versandt wurde mit der Bitte, Geld für den „Helmholtz-Fonds für die wissenschaftliche Forschung“ zu spenden.

* Prof. Dr. Ernst O. Göbel, ehemaliger Präsident der PTB (1995–2011)
E-Mail: ernst.o.goebel@ptb.de

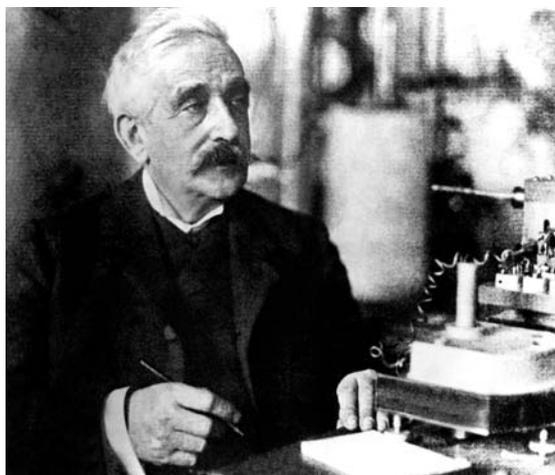


Bild 1:
Emil Warburg, ca. 1920
(Quelle: Bildarchiv Preußischer Kulturbesitz, Berlin;
David Cahan „Meister der Messung“, VCH 1992)

Auszug aus dem Aufruf zur Gründung des Helmholtz-Fonds**Streng vertraulich**

[...]

Die Reichsanstalt ist in den Behördenorganismus des Reichs eingefügt, und die an ihr wirkenden Forscher sind dem Reichsbesoldungsgesetze vom 15. Juli 1909, das Zulagen im einzelnen Fall nur insoweit bewilligt, als der Reichshaushaltsetat bestimmt, unterworfen. Hierdurch wird kein Einkommen gewährleistet, welches mit den Bezügen vergleichbar ist, die hervorragende Physiker in der Industrie oder an der Universität erhalten.

Schon manch ausgezeichnete Kräfte sind dadurch der Reichsanstalt verloren gegangen; andere hat sie um deswillen nicht gewinnen können.

Wenn auch die Reichsverwaltung in Übereinstimmung mit Bundesrat und Reichstag niemals geklagt hat, die Reichsanstalt zu entwickeln – ihr Ausgabenetat von 1905, dem Dienstantritt des Präsidenten Warburg, bis zum Etat 1912 ist von rund 400 000 Mark auf rund 620 000 Mark gewachsen und neue Laboratorien mit einem Bau- und Einrichtungswerte von rund 950 000 Mark sind in den letzten Jahren hinzugetreten –, so bieten doch die zu Geschäftsbedürfnissen und Experimenten bestimmten Fonds nicht die für eine im Strome der wissenschaftlichen Entwicklung stehenden Anstalt erforderliche Beweglichkeit und Auskömmlichkeit.

Studienreisen an gleichgerichtete Anstalten in Europa oder Amerika, rechtzeitige Beschaffung kostbarer Instrumente haben ganz unterbleiben oder zum Nachteil der Forschung hinausgeschoben werden müssen.

Erfahrungen und Beobachtungen dieser Art haben es den Mitgliedern des Kuratoriums als ein dringendes Bedürfnis für das weitere Blühen und fernere erfolgreiche Wirken der Reichsanstalt erscheinen lassen, daß ein Fonds gesammelt werde, aus dem die Mittel zur Erreichung der vorbezeichneten Zwecke gewährt werden können.

[...]

Berlin, im Juli 1912

28 Persönlichkeiten unterzeichneten den Aufruf, unter ihnen Wilhelm Förster, Carl von Linde, Walter Nernst, Max-Planck, Wilhelm Conrad Röntgen, Otto Schott, Friedrich Kohlrausch, die Brüder Arnold ¹ und Wilhelm von Siemens, Wilhelm Wien und natürlich Emil Warburg.

Der Fonds gewann mehr als 200 Geldgeber, die sich verpflichteten, entweder fünf Jahre lang jährlich 1 000 Mark zu zahlen, oder eine einmalige Zahlung von 5 000 Mark zu leisten. Zu den Hauptspendern in den ersten Jahren gehörten die Friedrich Krupp A.G. (50 000 Mark), die Siemens & Halske A.G. und die Siemens-Schuckertwerke G.m.b.H. (je 50 000 Mark), Arnold, Wilhelm und Carl von Siemens (je 10 000 Mark), Carl Linde (10 000 Mark), Carl Zeiss und Schott & Co. (10 000 Mark), Bayer & Co. (5 000 Mark) und die Dillinger Hüttenwerke (5 000 Mark). Der Hermann von Helmholtz-Fonds wurde nach der Verabschiedung der Satzung am 1. August 1913 in das Vereinsregister des königlichen Amtsgerichts Berlin-Mitte unter Nr. 1684 eingetragen. Bei seiner Gründung hatte der Fonds Kapitaleinlagen von 260 000 Mark. Das jährliche Zinseinkommen von etwa 10 000 Mark sollte lt. Satzung für die Förderung der wissenschaftlichen Arbeiten der PTR verwendet werden. Für die Verwendung der Mittel sah die Satzung anders als heute schlicht und einfach eine Ergänzung der Grundfinanzierung der PTR vor.

Aus der Satzung des Helmholtz-Fonds e. V., Berlin, 26. Mai 1913**§2**

Aus den Mitteln des Vereins soll die Physikalisch-Technische Reichsanstalt in den Stand gesetzt werden:

1. ausgezeichnete Kräfte zur Förderung der Forschungen der Anstalt zu gewinnen und zu erhalten,
2. ihren Mitgliedern und ständigen Mitarbeitern zu Studienreisen an gleichgerichtete Anstalten in Europa oder überseeischen Staaten Beihilfen zu gewähren,
3. kostbare Instrumente, für die staatliche Mittel nicht verfügbar gemacht werden können, rechtzeitig zu beschaffen.

Gleichzeitig bestimmte die Satzung die Einrichtung eines Verwaltungsrates, der über die Verwendung der für die Vereinszwecke verfügbaren Mittel zu beschließen hatte. (Dabei war zugleich die Jährlichkeit aufgehoben. Wie es in der Satzung aus dem Jahr 1913 heißt: „Er [der Verwaltungsrat] ist nicht verpflichtet, die Einnahmen des Vereins in dem Jahre, in dem sie erwachsen, zu verwenden [...].“)

¹ Arnold von Siemens war der älteste Sohn von Werner von Siemens, verheiratet mit Ellen von Helmholtz, den Groß- bzw. Urgroßeltern des ehemaligen Schatzmeisters des Helmholtz-Fonds, Ruprecht von Siemens, und der heutigen Schatzmeisterin, Dr. Nathalie von Siemens. Arnold von Siemens war Mitglied des „Preußischen Herrenhauses, der 1. Kammer des preußischen Parlaments. Der älteste Sohn des Ehepaares war Hermann von Siemens.

Der Verwaltungsrat sollte aus mindestens sechs, höchstens zehn Mitgliedern bestehen, Mitglieder ex officio waren der Präsident des Kuratoriums als Vorsitzender und der Präsident der PTR als stellvertretender Vorsitzender. Dazu kamen zwei weitere Mitglieder des Kuratoriums sowie zwei weitere aus den Vereinsmitgliedern. Der Verwaltungsrat wählte aus seinen Mitgliedern einen Schatzmeister. Der erste Verwaltungsrat setzte sich dann wie folgt zusammen:

Vorsitzender:

Dr. Lewald, Präsident des Kuratoriums der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Direktor im Reichsamt des Innern;

Stellvertretender Vorsitzender:

Dr. Warburg, Präsident der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt, Wirklicher Geheimer Oberregierungsrat.

Mitglieder:

Friedrich Krupp, Aktiengesellschaft, Essen a. R.,

Dr. Ritter v. Linde, Königlich Bayerischer Geheimer Rat, ordentlicher Professor an der Technischen Hochschule zu München,

Dr. Nernst, Königlich Preußischer Geheimer Regierungsrat, ordentlicher Professor an der Universität zu Berlin,

Arnold v. Siemens, Ingenieur, Mitglied des Preussischen Herrenhauses, zu Berlin, Schatzmeister.

Zum ersten Schatzmeister, der die mit der Verwaltung des Vereinsvermögens zusammenhängenden Geschäfte führte, wurde Arnold von Siemens gewählt. (Bis heute wird dieses verantwortungsvolle Amt von einem Mitglied der Familie von Siemens wahrgenommen, Bild 2) Die ersten Mittel wurden 1914/15 bewilligt und zwar 1 500 Mark für Studienreisen von Hugo Schultze und Erich Giebe nach Leiden zum Besuch des Labors von Kammerling Onnes und nach Teddington ins National Physical Laboratory.

Zur Begründung führte Präsident Warburg in einem Schreiben an den Schatzmeister, Arnold von Siemens, bei der Beantragung aus:

„Es ist im allgemeinen höchst wünschenswert, daß unsere Beamten die Arbeitsmethoden fremder Laboratorien durch Augenschein näher kennen lernen. Bis jetzt sind nur Fremde – besonders Amerikaner – zu uns gekommen. Speziell liegt für Dr. Giebe ein großes Interesse vor, die Arbeiten in Teddington über Ohmbestimmung kennen zu lernen, da er selbst mit Professor Grüneisen eine solche Arbeit gemacht hat; für Dr. Scheibe ist besonders das Leidener Laboratorium interessant wegen seiner mit Geheimrat Holborn unternommenen Arbeiten über die Zustandsgleichung der Gase. Beide Herren gehören zu unseren tüchtigsten Beamten. Ich halte es ferner für angezeigt, gerade die älteren ständigen Mitarbeiter etwas aufzumuntern, da dieselben durch – allerdings unvermeidliche – Einschreibungen von außen etwas verstimmt sind.“

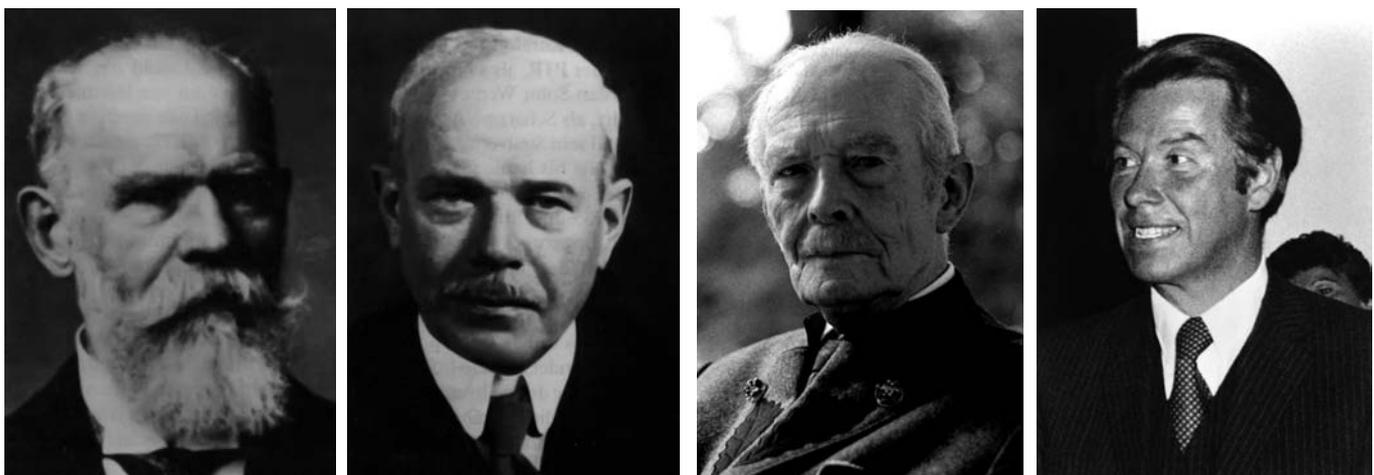


Bild 2:
Ehemalige Schatzmeister des Helmholtz-Fonds Arnold von Siemens (Schatzmeister 1913–1918), Carl Friedrich von Siemens (1918–1941), Hermann von Siemens (1941–1985), Ruprecht von Siemens (1985–2010)
(Quelle: H. Kaase „Der Helmholtz-Fonds e. V.“, in: Forschen-Messen-Prüfen; 100 Jahre Physikalisch-Technische Reichsanstalt/Bundesanstalt 1887–1987“, Physik-Verlag, 1987)

Außerdem wurden für 8 500 Mark Geräte angeschafft. Durch den Ausbruch des Ersten Weltkrieges konnten aber nur 2 500 Mark verausgabt werden, so dass im Jahr 1915 der Fonds 15 000 Mark übrig hatte, die Warburg in Kriegsanleihen anlegte. 1916 wurden nochmals 6 000 Mark verausgabt. Im Wesentlichen wurden aber über den Ersten Weltkrieg hinaus die Mittel satzungsgemäß verwendet. Die Inflation 1922/23 und die anschließende Währungsreform verzehrten dann allerdings die Ertragsbasis komplett, und erst 1929 konnte die Förderung in bescheidenem Umfang durch die Gewährung einer „Wohlfahrtrente“, die jährlich bei der Reichsregierung zu beantragen war, wieder aufgenommen werden. Allerdings wurde 1935 durch die Auflösung des Kuratoriums die Arbeit des Verwaltungsrats und damit des Fonds wieder unterbrochen, und schließlich stellte der Fonds in den Wirren der letzten Kriegsjahre des Zweiten Weltkrieges seine Tätigkeit vollständig ein.

2 Der Fonds nach 1953

1953 wurde der Helmholtz-Fonds dann auf Betreiben des damaligen PTB-Präsidenten Richard Vieweg rekonstituiert. In der neuen Satzung wurde als Empfänger der Zuwendungen die Physikalisch-Technische Bundesanstalt als Nachfolgerin der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt bestimmt. Der Verein, so sagt es die Satzung, verfolgt ausschließlich und unmittelbar gemeinnützige Zwecke im Sinne des Abschnitts „Steuerbegünstigte Zwecke“ der Abgabenordnung.²

Der Vorstand des Vereins setzt sich zusammen aus dem Präsidenten der PTB als Vorsitzendem (damals

Prof. Vieweg), dem Vizepräsidenten als stellvertretendem Vorsitzenden (damals Prof. Scheibe) und dem Schatzmeister (damals Dr. Hermann von Siemens). Als Satzungszweck wird definiert, Wissenschaft und Forschung auf dem Gebiet der physikalisch-technischen Präzisionsmessung und der hiermit verbundenen wissenschaftlichen Arbeitsgebiete zu fördern.

Aus der Satzung des Helmholtz-Fonds

Der Satzungszweck wird insbesondere verwirklicht durch Förderung

- des wissenschaftlichen Nachwuchses,
- der wissenschaftlichen Information und Diskussion,
- des internationalen Austausches wissenschaftlicher Erkenntnisse,
- der Arbeit an neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen durch Ausschreibung und Verleihung von Preisen (z. B. Helmholtz-Preis).

Zielgruppen des Vereins sind in erster Linie die wissenschaftlichen Arbeitsbereiche der für die Metrologie zuständigen Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zu Braunschweig und Berlin.

In den Satzungszweck wurde die „Ausschreibung und Verleihung von Preisen“ allerdings erst anlässlich des 60-jährigen Bestehens des Helmholtz-Fonds aufgenommen, sodass der Helmholtz-Preis erstmals 1973 ausgerufen wurde.

² Als gemeinnützige Zwecke definiert die Abgabenordnung: „Eine Körperschaft verfolgt gemeinnützige Zwecke, wenn ihre Tätigkeit darauf gerichtet ist, die Allgemeinheit auf materiellem, geistigem oder sittlichem Gebiet selbstlos zu fördern.“



Bild 3:

Der derzeitige Vorstand des Verwaltungsrates besteht aus dem Vorsitzenden, Prof. Dr. Joachim Ullrich (Präsident der PTB), dem stellvertretenden Vorsitzenden, Prof. Manfred Peters (Vizepräsident der PTB), und der Schatzmeisterin, Dr. Nathalie von Siemens (Geschäftsführender Vorstand der Siemens Stiftung, München).

Die derzeitige Satzung erhöht die Zahl der Mitglieder des Verwaltungsrats auf mindestens sieben, höchsten fünfzehn, dem ex officio neben dem Vorstand auch noch ein Vertreter des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie angehört.

Neben dem Vorstand besteht der Verwaltungsrat derzeit aus folgenden Mitgliedern:

- *Dr. Norbert Schultes*
Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie, Referat VII A 3, Berlin
- *Dr. Alfred Hauff*
Gelnhausen
- *Dr. Johannes Lagois*
Dräger Safety AG & Co. KGaA, Lübeck
- *Dipl.- Phys. Veronika Martens*
Sartorius Weighing Technology GmbH, Göttingen
- *Dr. Augustin Siegel*
Oberkochen
- *Dr. Klaus Rudolf Wurster*
Buxtehude

3 Die Situation des Helmholtz-Fonds heute

Der Helmholtz-Fonds finanziert seine Aktivitäten heute nicht mehr ausschließlich durch die Erträge des Vermögens, sondern im Wesentlichen durch die Beiträge der Mitglieder und durch Spenden. Jedem Mitglied ist die Höhe seines Beitrags selbst überlassen. Die Mitglieder des Helmholtz-Fonds werden durch Einladungen zu den Seminaren des Fonds, bei denen sie von den Gebühren befreit sind, und durch regelmäßige Zusendung von Veröffentlichungen der PTB über die wissenschaftlichen Ergebnisse und Veranstaltungen informiert.

Die derzeitige Situation des Fonds spiegelt sich u. a. im Bericht der Schatzmeisterin Dr. Nathalie von Siemens für die Jahre 2011 und 2012. Zum 1. Januar 2012 waren 40 Firmen bzw. Privatpersonen Mitglieder des Helmholtz-Fonds, wovon inzwischen allerdings zwei ihre Mitgliedschaft gekündigt haben. Die größten Beitragszahler sind die Siemens AG und die Volkswagen AG. Dazu kommen eine regelmäßige jährliche Spende des Stifterverbands für die Deutsche Wissenschaft e. V. in Höhe von 5 000 €, großzügige Sonderspenden des Hauses der Technik 2011 und 2012 und Sonderspenden anlässlich des 125-jährigen Jubiläums der PTB durch einige Mitglieder des Fonds. Der Helmholtz-Fonds ist allen Mitgliedern und Spendern selbstverständlich zu großem Dank verpflichtet ist. Obwohl der Helmholtz-Fonds seine Aktivitäten nach wie vor ausreichend finanzieren kann, beklagt die Schatzmeisterin in ihren Berichten der Jahre 2011 und 2012 die Entwicklung der Mitgliederzahl, da in den letzten Jahren eher große Firmen – meist dann auch große Beitragszahler

– ausgeschieden sind. Zudem haben die Mitglieder seit der Umstellung von DM auf den Euro ihre Beiträge nicht erhöht, so dass es seit über 20 Jahren keinen Inflationsausgleich gegeben hat.

Das Kapital des Vereins beläuft sich derzeit auf etwas über 200 000 €. 2012 wurden insgesamt 24 000 € an Förderungszuschüssen ausgezahlt. Zusätzliche Ausgaben z. B. für den Helmholtz-Preis 2012 waren durch hierfür gebildete Vorsorgen aus den Vorjahren abgedeckt. Zusätzlich wurden für die Jubiläums-Veranstaltung zum 100-jährigen Bestehen des Fonds sowie für die Finanzierung des Helmholtz-Preises 2014 zurückgestellt.

3.1 Fördermaßnahmen des Helmholtz-Fonds

Zentrale Aufgabe des Helmholtz-Fonds ist es nach wie vor, Forschung und Entwicklung auf dem Arbeitsgebiet der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt zu fördern. Im Einzelnen verfolgt der Fonds diese Aufgabe durch gezielte Förderungen des wissenschaftlichen Nachwuchses, durch die finanzielle Förderung von PTB-Seminaren und Workshops, die dem Erfahrungsaustausch zwischen Forschungsinstituten, Hochschulen und Industrie dienen, durch die Prämierung von ausgezeichneten Arbeiten und durch die Verleihung des Helmholtz-Preises für hervorragende wissenschaftliche Arbeiten auf dem Gebiet der Metrologie.

Die Arbeitsgebiete der PTB sind die Metrologie und die physikalische Sicherheitstechnik. Metrologie – so definiert es das VIM, das internationale Wörterbuch der Messtechnik – ist die Wissenschaft des Messwesens mit all seinen theoretischen und experimentellen Aspekten, insbesondere die theoretische und experimentelle Analyse von Messunsicherheiten. Metrologie beinhaltet insbesondere die Realisierung der Einheiten des internationalen Einheitensystems (SI) und deren Verbesserung und damit verbunden die Präzisionsmesstechnik sowie die Bestimmung von Fundamental- und Naturkonstanten. Der Nobelpreispräger und begnadete Metrologe John Hall fasste es treffend zusammen mit der Aussage „Metrology truly is the Mother of Science“³.

Bei der Unterstützung des wissenschaftlichen Nachwuchses waren die finanziellen Zuschüsse für Reisen zur Teilnahme an wissenschaftlichen Veranstaltungen und Tagungen im In- und Ausland der wesentliche Anteil. Das galt insbesondere für Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter ohne feste Anstellung an der PTB, also vorwiegend Diplomanden, Doktoranden und Praktikanten. Getreu dem Motto, das der ehemalige Schatzmeister Ruprecht von Siemens geprägt hat: „Der Helmholtz-Fonds hilft, Sinnvolles zu tun, wo die bürokratischen Hürden einer Behörde dies nicht ermöglichen.“ Der Förderbedarf ist aber in den

³ J. L. Hall, *Phil. Trans. R. Soc. A*, **369**, (2011), 4090

PTB-Seminare im Jahr 2013

- Berechnung der Messunsicherheit – Empfehlung für die Praxis
Leitung *Dr. S. Mieke*, März 2013
- Aktuelle Fortschritte von Kalibrierverfahren im Nieder- und Hochfrequenzbereich
Leitung: *Drs. J. Melcher, T. Schrader*, Mai 2013
- Temperatur 2013 – Verfahren und Geräte in der Temperatur- und Feuchtemesstechnik,
Leitung: *Drs. J. Hollandt, S. Rudtsch* Juni 2013
- 13. BAM/PTB Kolloquium zu Fragen der chemischen und physikalischen Sicherheitstechnik
Leitung: *Dr. T. Stolz*, Juni 2013
- Optische Bildverarbeitung – Standardisierung von Performanzanalyse,
Leitung: *Dr. F. Härtig*, Oktober 2013,
- Vakuumultraviolette und extremultraviolette Metrologie
Leitung: *Drs. F. Scholze, A. Gottwald*, November 2013
- Strahlenschutzdosimetrie in gepulsten Photonen-Strahlungsfeldern
Leitung: *Dr. O. Hupe*, November 2013

letzten Jahren als Folge der stark angewachsenen Drittmittel, insbesondere auch von der europäischen Kommission, die diese Reisemittel für alle Projektmitarbeiter zur Verfügung stellt, stetig zurückgegangen. Es soll jedoch nicht unerwähnt bleiben, dass der Fonds für die Nachwuchsförderung auch Zuschüsse zu Forschungsaufenthalten im In- und Ausland gewähren kann – eine Maßnahme, die durchaus stärker in Anspruch genommen werden könnte.

Die finanzielle Förderung von PTB-Seminaren und Workshops ist ein zentrales Element des Helmholtz-Fonds, wenn auch inzwischen kein sonderlich kostenintensives, da die meisten Seminare kostendeckend sind. Extrem wichtig sind aber sowohl die Ausfallgarantie, die der Fonds im Allgemeinen übernimmt, als auch die Möglichkeit der Vorfinanzierung der Kosten. Da beides für die Organisation der Seminare und Workshops eine Grundvoraussetzung ist, kommt hier dem Helmholtz-Fonds eine tragende Rolle zu, da die Regeln des öffentlichen Dienstes für diese Situation nicht angemessen sind. Die Seminare werden unter der Leitung von Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern der PTB durchgeführt und finden meist in der PTB statt. Die Seminare und Workshops dienen der wissenschaftlichen Kommunikation zwischen Wissenschaft und Wirtschaft. Der Erfolg dieses Anliegens lässt sich messen an der im Allgemeinen erfreulich hohen Teilnehmerzahl von Spezialisten und Vertretern ihres Faches aus der Industrie, aus anderen Forschungseinrichtungen und anderen staatlichen Einrichtungen wie z. B. Eichbehörden.

Speziell sei hier noch auf das BAM/PTB Kolloquium im Juni 2013 hingewiesen. Wie die Nummerierung andeutet, handelt es sich um eine Serie von Kolloquien und Seminaren, die von der PTB und

ihrer „Schwesterbehörde“, der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), gemeinsam geplant und wechselseitig durchgeführt werden. Das Thema Sicherheitstechnik wird von beiden Einrichtungen gemeinsam und koordiniert bearbeitet, wobei in der PTB der Schwerpunkt auf der physikalischen Sicherheitstechnik liegt. Diese Kooperation beider Häuser und die gemeinsame Diskussion mit Anwendern und Nutzern sind beispielhaft.

Zu den vom Helmholtz-Fonds finanzierten Veranstaltungen gehören auch die seit 1997 etablierten Helmholtz-Symposien zu aktuellen Themen der Metrologie.

Themen bisheriger Helmholtz-Symposien

2012	Metrology, the Universe and Everything
2009	Temperatur
2007	Was ist Masse?
2005	Mathematics for Metrology
2003	Metrologie und Erdbeobachtung
2002	Fühlen oder Messen?
2001	Metrologische Aspekte der Biotechnologie
2000	New Frontiers and Opportunities in Biomagnetism
1999	Precision Measurement of Electromagnetic Radiation
1998	Natürliche und künstliche Gitterstrukturen
1997	Materie- und Photonen-Interferometrie

Um einen zusätzlichen Ansporn für die Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Metrologie einschließlich der metrologischen Dienstleistungen wie z. B. Prüfung und Kalibrierung zu bieten, vergibt der Helmholtz-Fonds Geldprämien an Mitarbeiter der PTB sowie an externe Personen für Arbeiten, die aus dem allgemeinen Leistungsniveau deutlich herausragen. Dies gilt auch für PTB-Doktoranden, wenn deren Dissertationen mit ausgezeichnet oder sehr gut bewertet werden. In den letzten Jahren wurden bis zu fünf Promotoren pro Jahr prämiert.



Bild 4: Helmholtz-Symposium „Metrology, the Universe and Everything“ im Jubiläumsjahr 2012 mit 641 Teilnehmern, davon 220 Gäste aus dem weltweiten Ausland und 210 Gäste aus Forschung, Wirtschaft und Politik aus Deutschland.

Seit einigen Jahren werden auch Auszubildende mit entsprechend herausragendem Abschluss mit einer Geldprämie ausgezeichnet, um einerseits auch hier einen zusätzlichen Ansporn zu schaffen, andererseits aber auch den wesentlichen und unverzichtbaren Beitrag der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter in der technischen Infrastruktur zu würdigen. Ohne sie ginge gar nichts in der PTB. 2012 beispielsweise wurden eine Tischlerin, eine Feinwerkmechanikerin und ein Feinwerkmechaniker ausgezeichnet.

Schließlich muss an dieser Stelle noch die Prämie für Patentanmeldungen genannt werden. Die Patentpolitik und -verwertung war schon in der Reichsanstalt ein kontrovers diskutiertes Thema – gerade auch in der Amtszeit von Emil Warburg – und hat sich auch in der PTB fortgesetzt mit einer derzeit befriedigenden Regelung. Demnach darf die PTB Patente anmelden und verwerten, z. B. durch Lizenzvergabe, kann dies aber auch den beteiligten Mitarbeitern freistellen. In jedem Fall wird eine erfolgreiche Patentanmeldung mit einer Prämie aus dem Helmholtz-Fonds ausgezeichnet. In den letzten sieben Jahren schütete der Fonds insgesamt 80 Patentprämien aus.

Schließlich finanziert der Helmholtz-Fonds jeweils einem Preisträger im Wettbewerb „Jugend forscht“ einen mehrwöchigen Aufenthalt in einem Laboratorium der PTB. Im Jahr 2013 ist das Lars Rokita aus Hamburg (Jg. 1994), der für seine Arbeit „Hochgenaue Temperaturmessung mittels Laserinterferometrie“ im Bundeswettbewerb Fach Physik den 3. Platz erreicht hat.



Bild 5a: Verleihung des ersten Helmholtz-Preises. Präsident Prof. Dr. U. Stille überreicht die Urkunde an den Preisträger, Dr.-Ing. Werner Farr.



Bild 5b: Prof. Dieter Kind während seiner Laudatio auf den Preisträger.

3.2 Der Helmholtz-Preis

Und – last but not least – verleiht der Helmholtz-Fonds den *Helmholtz-Preis für herausragende Arbeiten auf den Arbeitsgebieten der PTB*. Der Helmholtz-Preis ist das Flaggschiff des Helmholtz-Fonds. Er wurde erstmals 1973 anlässlich des 60-jährigen Bestehens des Fonds durch den Schatzmeister Dr. Hermann von Siemens mit folgendem Text ausgerufen: „Es ist mir eine große Ehre und Freude, aus Anlaß des 60-jährigen Bestehens des Helmholtz-Fonds e. V. den Helmholtz-Preis 1973 auszurufen. Mit der Stiftung dieses Preises soll im Rahmen eines Wettbewerbes eine wissenschaftliche Arbeit aus dem Bereich ‚Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Präzisionsmessung physikalischer Größen‘ prämiert werden. Der Preis soll den Physikern und Ingenieuren in der Bundesrepublik Deutschland als Anreiz dienen, sich verstärkt mit der Metrologie, der Wissenschaft vom Messen, zu befassen, einem Forschungsgebiet, das für Physik und Technik gleichermaßen wichtig ist.“ Weiter führte Dr. von Siemens aus: „Die Bestimmungen über die Verleihung des Preises sehen im Einzelnen Folgendes vor: Die Arbeit muss in der Bundesrepublik Deutschland (einschließlich West-Berlin) entstanden sein, eine originäre Einzelleistung darstellen, abgeschlossen und zum Zeitpunkt des Einreichens unveröffentlicht sein. Der Preis besteht in einer einmaligen Zuwendung von fünftausend DM und einer Urkunde.“ Am Ende seiner Ansprache drückte Dr. von Siemens den folgenden Wunsch aus: „Ich wünsche, dass dieser Preis dem mit ihm verbundenen Namen des ersten Präsidenten der PTR/PTB Ehre macht“. Ein Wunsch der sich zweifellos erfüllt hat.

Als Preisrichter für die Vergabe des ersten Preises wurden damals benannt:

- Prof. Karl Heinz Beckurts, damals noch tätig an der Kernforschungsanlage Jülich, dem heutigen Forschungszentrum Jülich,
- Prof. Ulrich Grigull, TU München,
- Prof. Dieter Kind, damals Direktor des Instituts für Hochspannungstechnik und Elektrische Anlagen an der TU Braunschweig,
- Prof. Hermann Mintrop, Universität Hannover, und
- Prof. Wilhelm Waidelich, damals TH Darmstadt.

Die Verleihung erfolgte am 19. Februar 1974 in einer Feierstunde in der Kongresshalle in Berlin an Herrn Dr.-Ing. Werner Farr für die Arbeit „A Rb-Magnetometer for magnetic field strength measurements with wide range and high sensitivity“. Die Laudatio auf den Preisträger hielt Prof. Kind im Namen der fünf Preisrichter. Darin führte er unter anderem aus: „Genaue Messungen sind aber die

Voraussetzung für die reproduzierbare Darstellung und Regelung einer physikalischen Größe.“ Nicht nur diese Aussage machte ihn offensichtlich in hohem Maße attraktiv als kommenden Präsidentschaftskandidaten der PTB.

1980 wurde der Preis als Sonderpreis für die CPEM, die *Conference on Precision Electromagnetic Measurement* ausgerufen, die von der PTB in Braunschweig ausgerichtet wurde. Der Preis ging damals an die Kollegen D. J. E. Knight, G. J. Edwards, P. R. Pearce und N. R. Cross vom *National Physical Laboratory* in Teddinton, UK, für die genaue Bestimmung der Frequenz des Methan-stabilisierten He-Ne-Lasers bei 88 THz. Von 1987 bis 1999 wurden jeweils Preise auf bis zu drei Gebieten vergeben, wobei neben der *Präzisionsmessung physikalischer Größen* die Arbeitsgebiete *Physikalische Meßtechnik in Medizin, Strahlen- und Umweltschutz* und *Physikalische Sicherheitstechnik* aufgenommen wurden; jeder Preis bestand aus einer Urkunde und einer einmaligen Zuwendung von 10 000 DM.

Der Helmholtz-Preis 1987 wurde im Rahmen des 100-jährigen Jubiläums der PTR/PTB zum Abschluss der Ausstellung „Maß und Messen“ in der Staatsbibliothek Preußischer Kulturbesitz in Berlin verliehen. Für den Bereich *Präzisionsmessung physikalischer Größen* ging der Preis an Dr. Fritz Riehle und Prof. Burkhard Wende. Die weiteren Preise gingen 1987 an Dr. Sergio N. Erné, und Prof. Dr. Manfred Hoke für den Bereich *Physikalische Messtechnik in Medizin, Strahlen- und Umweltschutz* und an Dr. Hans Förster, Dr. Henrikus Steen für das Arbeitsgebiet *Physikalische Sicherheitstechnik*. Seit 2001 wird der Helmholtz-Preis nicht mehr geteilt, sondern als Einzelpreis vergeben.



Bild 6:
Helmholtz-Preisverleihung 1987. Schatzmeister Ruprecht von Siemens bei der Preisübergabe für den Bereich Präzisionsmessung physikalischer Größen an Dr. Fritz Riehle und Prof. Burkhard Wende.



Bild 7:
Der Helmholtz-Preis 2012 ging an Anke Wagner (1. v. l.), Sven Sturm (3. v. l.) und Klaus Blaum (4. v. l.) vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg für die Arbeit: „Der g -Faktor des gebundenen Elektrons in wasserstoffähnlichem Silizium – Der empfindlichste Test der Quanten-Elektrodynamik gebundener Zustände“.

Weiter auf dem Bild: Schatzmeisterin Dr. Nathalie v. Siemens (2. v. l.) und Prof. Dr. Joachim Ullrich (rechts).

2012 wurde der Preis wieder in Verbindung mit einem Jubiläum, der 125-Jahr-Feier der PTR/PTB, verliehen. Die Ausschreibung weist gegenüber den Anfängen des Helmholtz-Preises einige markante Änderungen auf und zwar nicht nur die Preissumme betreffend. Der Preis wird nun, auch der wissenschaftspolitischen Entwicklung Rechnung tragend, europaweit für *Präzisionsmessungen in Physik, Chemie und Medizin* ausgeschrieben.

Für 2014 wird der Helmholtz-Preis nun zum siebzehnten Mal ausgelobt. Angesichts der Liste der Preisträger ist wohl festzustellen, dass der Helmholtz-Preis ausnahmslos „ins Schwarze getroffen hat“ (Respekt und Dank an die Juroren!) und in weiser Voraussicht Arbeiten prämiert hat, die die Metrologie und die Forschung insgesamt nachhaltig befruchtet haben.

Dieser Auszug aus dem Förderspektrum des Helmholtz-Fonds wollte die Bedeutung des Fonds für die PTB und darüber hinaus für die Metrologie veranschaulichen. Der Fonds hat sein nutzbringendes Wirken nun über 100 Jahre eindrucksvoll unter Beweis gestellt. Obwohl ihm inzwischen als Namensverwandte eine „große Schwester“ beschert wurde, die Helmholtz-Gemeinschaft, hat er seine besondere Rolle behalten und ist für die Förderung der Metrologie einzigartig und unverzichtbar.

 <p>AICON 3D Systems GmbH www.aicon.de</p>	 <p>Aqura GmbH AG vormals Degussa AG www.aqura.de</p>	 <p>BASF SE, Ludwigshafen www.basf.de</p>	 <p>Berthold Technologies GmbH & Co. KG, Bad Wildbad www.berthold-tech.de</p>	 <p>Technik fürs Leben Robert Bosch GmbH, Stuttgart www.bosch.de</p>
 <p>Brüel & Kjær GmbH, Bremen www.brueelkjaer.de</p>	 <p>Crane Payment Solutions GmbH, Buxtehude</p>	 <p>Dräger Safety AG & Co. KGaA, Lübeck www.draeger.com</p>	 <p>EBARA Precision Machinery Europe GmbH, Hanau www.ebara-europe.com</p>	
 <p>EMH metering GmbH & Co. KG, Wittenburg www.emh-meter.de</p>	 <p>ENSECO GmbH, Saalfeld www.enseco.de</p>	 <p>Prof. Dr. Artur Fischer, Waldachtal www.fischerwerke.de</p>	 <p>GÖRLITZ AG www.goerlitz.com</p>	
 <p>GTM Gassmann Testing and Metrology GmbH, Bickenbach www.gtm-gmbh.com</p>	 <p>Dr. Johannes Heidenhain GmbH, Traunreut www.heidenhain.de</p>	 <p>Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH, Darmstadt www.hbm.com</p>	 <p>Hexagon Metrology GmbH vormals Leitz Messtechnik GmbH, Wetzlar www.leitz-metrology.de</p>	
 <p>Hydrometer GmbH, Ansbach www.hydrometer.de</p>	 <p>Knick Elektronische Messgeräte GmbH & Co. KG, Berlin www.knick.de</p>	 <p>Carl Mahr Holding GmbH, Göttingen www.mahr.de</p>	 <p>Meinberg Funkuhren GmbH & Co. KG, Bad Pyrmont www.meinberg.de</p>	
 <p>Mettler-Toledo GmbH, Gießen www.mt.com</p>	 <p>Physik Instruments (PI) GmbH & Co. KG, Karlsruhe www.physikinstrumente.de</p>	 <p>Physikalisch-Technische Werkstätten Dr. Pychlau GmbH, Freiburg www.ptw.de</p>	 <p>Rubotherm GmbH, Bochum www.rubotherm.de</p>	
 <p>Sartorius Lab Instruments GmbH & Co. KG, Göttingen Sartorius Industrial Scales GmbH & Co. KG Bovenden, www.sartorius.de</p>	 <p>Scheidt und Bachmann GmbH, Mönchengladbach www.scheidt-bachmann.de</p>	 <p>Schorch GmbH, Mönchengladbach www.schorch.de</p>	 <p>Siemens AG, München www.siemens.de</p>	
 <p>R. STAHL Schaltgeräte GmbH, Waldenburg www.stahl.de</p>	 <p>TESTO AG, Lenzkirch www.testo.de</p>	 <p>Trench Germany GmbH, Bamberg www.trenchgroup.com</p>	 <p>Vacuumschmelze GmbH, Hanau www.vacuumschmelze.de</p>	 <p>Volkswagen AG, Wolfsburg www.volkswagen.de</p>
 <p>Werth Messtechnik GmbH, Gießen www.werthmesstechnik.de</p>	 <p>YXLON International GmbH, Hamburg www.yxlon.de</p>	 <p>Carl Zeiss AG, Oberkochen www.zeiss.de</p>	<p>Persönliche Mitglieder</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dipl.-Ing. Ruprecht v. Siemens • Dr. Nathalie v. Siemens • Dipl.-Phys. Veronika Martens 	

Bild 9:
Mitglieder des Helmholtz-Fonds (Stand: Nov. 2013)

Helmholtz-Preis – Für herausragende Arbeiten in der Metrologie

Der mit 20 000 € dotierte Helmholtz-Preis ist die bedeutendste deutsche Auszeichnung in der Metrologie. In der Regel alle zwei Jahre ehren der Helmholtz-Fonds und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft mit ihm hervorragende wissenschaftliche und technologische Forschungsarbeiten auf dem Fachgebiet „Präzisionsmessung in Physik, Chemie und Medizin“.

Erstmals wurde der Helmholtz-Preis im Jahr 1973 aus Anlass des 60-jährigen Bestehens des Helmholtz-Fonds ausgerufen, um Physikern und Ingenieuren im deutschen Sprachraum einen Anreiz zu geben, sich verstärkt mit Metrologie zu befassen. Von 1987 bis 1999 wurden jeweils Preise

auf bis zu drei Gebieten vergeben; jeder Preis bestand aus einer Urkunde und einer einmaligen Zuwendung in Höhe von 10 000 DM. Seit 2001 wird der Helmholtz-Preis nicht mehr geteilt, sondern als Einzelpreis für metrologische Höchstleistungen vergeben.

Insgesamt wurden bisher (also zwischen den Jahren 1973 und 2013) 29 Arbeiten mit dem Helmholtz-Preis ausgezeichnet. Im Folgenden werden alle Preisträger und ihre prämierten Arbeiten in chronologischer Folge kurz vorgestellt. Diese Kurzporträts hat der Wissenschaftsjournalist Dr. Rainer Scharf verfasst, dem an dieser Stelle herzlich gedankt sei!

Die Redaktion

Kontaktadresse des Autors

Dr. Rainer Scharf
Oberstraße 19
56587 Straßenhäus
E-Mail: r.scharf@krw-online.de

Zur Förderung von Wissenschaft und Forschung verleiht der Helmholtz-Fonds e. V. und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. gemeinsam den

Helmholtz-Preis 2014

Mit dem Helmholtz-Preis werden seit 1973 hervorragende wissenschaftliche und technologische Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Messwesens im Rahmen von Wettbewerben ausgezeichnet. Er wird vergeben auf dem Fachgebiet

Präzisionsmessung in Physik, Chemie und Medizin

Der Preis besteht aus einer Urkunde und ist mit **20000 €** dotiert.

Die eingereichte Arbeit muss im europäischen Raum oder in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen, die in der Bundesrepublik Deutschland tätig sind, entstanden sein und eine originäre Leistung darstellen, die erst kürzlich abgeschlossen wurde. Sie kann experimentell oder theoretisch sein und sich sowohl auf Grundlagen als auch auf Anwendungen beziehen.

Bewerbungsschluss: 15.01.2014

Der Helmholtz-Preis 2014 wird am 24. Juni 2014 im Haus der Wissenschaft in Braunschweig im Rahmen des Helmholtz-Symposiums verliehen.

Ansprechpartner für Rückfragen
Dr. Robert Wynands
Koordinator Helmholtz-Preis
robert.wynands@ptb.de
Tel.: (0531) 592 1009

Genaue Hinweise zu den einzureichenden Bewerbungsunterlagen finden Sie auf der Webseite des Helmholtz-Fonds: www.helmholtz-fonds.de

Helmholtz-Fonds e. V., c/o Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, www.helmholtz-fonds.de

Ausschreibung des Helmholtz-Preises 2014

HELMHOLTZ-PREIS 1973 (Preisverleihung am 19.02.1974)**Dr.-Ing. Werner Farr****für die Arbeit „Ein Rubidium-Magnetometer zur Messung von magnetischen Feldstärken im weiten Bereich und mit hoher Empfindlichkeit“**

Magnetische Feldstärken mit Licht gemessen

Der Helmholtz-Preis wurde erstmals 1973 anlässlich des 60-jährigen Bestehens des Helmholtz-Fonds ausgerufen. Mit ihm sollte eine Arbeit der „Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet der Präzisionsmessung physikalischer Größen“ prämiert werden. Die mit 5 000 DM dotierte Auszeichnung erhielt 1974 als erster der Elektroingenieur und Physiker Dr.-Ing. Werner Farr für seine Arbeit „Ein Rubidium-Magnetometer zur Messung von magnetischen Feldstärken im weiten Bereich und mit hoher Empfindlichkeit“. Er hatte am 1. Physikalischen Institut der Universität Heidelberg im Rahmen seiner von Ernst Otten betreuten Promotionsarbeit ein miniaturisiertes Präzisionsmagnetometer entwickelt, das nach dem Prinzip des optischen Pumpens arbeitete.

Das Herzstück des Magnetometers war eine Sonde mit einer $0,09 \text{ cm}^3$ großen Glaszelle, welche mit gasförmigem Rubidium gefüllt war. Nachdem man die Zelle in das zu messende Magnetfeld gebracht hatte, bestrahlte man sie durch eine Glasfaser mit dem Licht einer Rubidiumspektrallampe, das zirkular polarisiert worden war. Durch das intensive Licht wurden die Rubidiumatome in der Zelle wiederholt aus dem Grundzustand $^2S_{1/2}$ in den angeregten Zustand $^2P_{1/2}$ gebracht, aus dem sie durch Fluoreszenz in den Grundzustand zurückkehrten. Dabei wurde wegen der Auswahlregeln für elektrische Dipolstrahlung je nach Polarisationsrichtung des Lichtes der Hyperfeinzustand mit $F=2$ und $m_F = +2$ bzw. -2 immer stärker besetzt, während sich die anderen Unterniveaus entleerten. Durch dieses optische Pumpen wurden die Atome magnetisch stark polarisiert. Der Grad der Polarisierung ließ sich anhand der Intensität des von der Zelle durchgelassenen Lichts bestimmen. Mit Hilfe einer kleinen, um die Glaszelle gewickelten Spule wurden die Atome einem Radiofrequenzsignal ausgesetzt, das sie resonant zu Übergängen zwischen Zuständen mit unterschiedlichem m_F anregte. Dadurch wurde die Polarisation zerstört, was zu einer Änderung der gemessenen Lichtintensität führte. Die Radiofrequenz wurde mit einem elektronischen Oszillator erzeugt und auf die Resonanz abgestimmt. Aus der berechneten Magnetfeldabhängigkeit der Resonanzfrequenz konnte man schließlich die magnetische Feldstärke ermitteln. Mit dem Magnetometer ließen sich Feldstärken von 10^{-7} Tesla bis 10^{-1} Tesla punktweise messen und stabilisieren. Dabei wurde eine Messgenauigkeit von 10^{-9} Tesla erreicht. Das geringe Sondenvolumen gestattete es, Magnetfelder im Luftspalt von Eisenmagneten zu detektieren. Werner Farr und Ernst Otten meldeten für das Magnetometer ein Patent an, das von der Bruker Physik AG in Karlsruhe übernommen wurde, die das Gerät auch produziert und vertrieben hat. Optisch gepumpte Magnetometer werden heute u. a. in der Archäologie eingesetzt.



Prof. Dr. Ulrich Stille (li.),
Dr.-Ing. Werner Farr (re.)

Werner Farr, 1939 in Pforzheim geboren, studierte Elektrotechnik in Karlsruhe. Mit dem Abschluss als Diplomingenieur ging er an die Universität Heidelberg und übernahm dort am 1. Physikalischen Institut die Leitung des Elektroniklabors. Das von ihm hervorragend geleitete Labor ermöglichte es den Heidelberger Kern- und Teilchenphysikern, große Experimente etwa am CERN und am DESY mit modernster, selbstentwickelter Elektronik auszustatten. Auf Anregung von Ernst Otten entwickelte Farr das Rubidium-Magnetometer, wofür er in Karlsruhe zum Dr.-Ing. promoviert wurde. Für diese Arbeit wurde Farr u. a. von Otten für den Helmholtz-Preis vorgeschlagen. Nach 1983 übersiedelte Farr in die USA. Er war leitend tätig für die LeCroy Research Systems Corporation bei New York, die sich auf die Herstellung von Instrumenten und Bauteilen für Experimente der Hochenergiephysik spezialisiert hatte. Ab 1996 war er selbständiger Berater für Forschung und Entwicklung. Er ist seit 2004 im Ruhestand und lebt jetzt auf Hawaii.

Literatur

- W. Farr and E.-W. Otten: A Rb-Magnetometer for a Wide Range and High Sensitivity. Appl. Phys. 3, (1974), 367

HELMHOLTZ-PREIS 1975 (Preisverleihung am 08.03.1977)**Dr.-Ing. Bruno Fuhrmann, Dr. Volkmar Kose****für die Arbeit „Genaue und langzeitstabile elektrische Gleichstrom- und Gleichspannungsquelle“**

Stabile Gleichstrom- und Gleichspannungsquelle



Volkmar Kose (li.), 1936 in Stettin geboren, studierte Physik in Göttingen und wurde dort 1967 promoviert. 1968 begann er seine Tätigkeit in der PTB in Braunschweig mit der Aufgabe, ein Spannungsnormal auf der Grundlage des Josephson-Effekts zu entwickeln. Von 1977 bis 1989 leitete er die Abteilung „Elektrizität“ der PTB, die in dieser Zeit auf den Gebieten der Elektrischen Einheiten und der Präzisionsmesstechnik ihre weltweit führende Position erlangte. 1993 wurde er Vizepräsident der PTB, und 1998 trat er in den Ruhestand.

Bruno Fuhrmann (re.), 1943 in Bielefeld geboren, studierte Elektrotechnik an der TU Braunschweig und war dort 1975 Oberingenieur am Institut für Grundlagen der Elektrotechnik und elektrische Messtechnik. 1978 wurde er an den Fachbereich Maschinenbau der Fachhochschule Bielefeld berufen.

Der britische Physiker Brian Josephson sagte 1962 einen überraschenden Effekt zwischen schwach gekoppelten Supraleitern voraus, der die Reproduzierung von Einheitsspannungen mit hoher Präzision ermöglicht. Diesen Josephson-Effekt beobachtet man an einem stromdurchflossenen Kontakt aus zwei heliumgekühlten Supraleitern, die durch eine dünne nichtleitende oder normaleleitende Schicht getrennt sind. Strahlt man eine Mikrowelle mit der Frequenz f auf diesen Kontakt, so zeigt seine Strom-Spannungs-Kennlinie Stufen konstanter Spannung $U_n = n \cdot K_J^{-1} \cdot f$. Die Josephson-Konstante $K_J = 2e/h$ (mit der Elektronenladung e und der Planck-Konstante h) beträgt etwa $5 \cdot 10^{14}$ Hz/V. Mit Frequenzen von 10 bis 70 GHz kann man auf diese Weise Spannungen von einigen 100 μ V erzeugen. Pionierarbeit bei der Erstellung eines Josephson-Spannungsnormalen leisteten Dr.-Ing. Bruno Fuhrmann von der

TU Braunschweig und Dr. Volkmar Kose von der PTB Braunschweig, die für ihre Arbeit „Genaue und langzeitstabile elektrische Gleichstrom- und Gleichspannungsquelle“ mit dem Helmholtz-Preis 1975 ausgezeichnet wurden. Zugleich wurde damit die erfolgreiche Zusammenarbeit zweier Wissenschaftler aus der universitären und der außeruniversitären Forschung gewürdigt.

Das von Fuhrmann und Kose entwickelte Spannungsnormal bestand aus zwei Josephson-Kontakten, einem ohmschen Spannungsteiler und einem SQUID (Superconducting Quantum Interference Device), die alle mit flüssigem Helium auf 2 Kelvin gekühlt wurden. Durch Bestrahlung der Kontakte mit Mikrowellen von 70 GHz wurde zunächst eine Referenzspannung von 3 mV erzeugt. Daraus gewannen die Forscher mit Hilfe des Spannungsteilers eine Spannung im Bereich von 1 V. Sie ließen dazu einen konstanten Gleichstrom von 30 mA durch den Spannungsteiler fließen und verglichen die über einem Teilwiderstand von 0,1 Ω abfallende Spannung mit der Referenzspannung. Den Unterschied zwischen den beiden Spannungen maßen sie mit einem SQUID-Pikovoltmeter. Nachdem der Spannungsteiler auf die Referenzspannung eingestellt war, fiel über seinen Gesamtwiderstand von 32 Ω eine Spannung von 960 mV ab, die nun mit herkömmlichen, auf Weston-Normalelementen beruhenden Spannungsnormalen verglichen werden konnte. Mit dem Josephson-Spannungsnormal konnten Gleichspannungen und Gleichströme mit einer Genauigkeit von $3 \cdot 10^{-9}$ stabilisiert und reproduziert werden. Inzwischen fertigt man an der PTB Josephson-Reihenschaltungen, mit denen sich Spannungen von bis zu 15 Volt bei einer relativen Unsicherheit von etwa 10^{-9} reproduzieren lassen. Durch Ansteuern der einzelnen Josephson-Kontakte könnten fast beliebige, präzise Gleichspannungen von -10 V bis $+10$ V eingestellt werden

Literatur

- *Volkmar Kose et al.*: Maintaining the Unit of Voltage at PTB via the Josephson Effect. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement **23**, (1974), 271

HELMHOLTZ-PREIS 1977 (Preisverleihung am 20.03.1979)**Dr. Hannes Lichte****für die Arbeit „Ein Elektronen-Auflicht-Interferenzmikroskop zur Präzisionsbestimmung von Unebenheiten und Potentialunterschieden auf Oberflächen“**

Mikroskopie mit interferierenden Elektronenwellen

Verglichen mit dem Lichtmikroskop erreicht ein Elektronenmikroskop eine erheblich höhere Lateralauflösung, da die Wellenlänge der zur Abbildung benutzten Elektronen (die eine Energie von einigen 10 keV haben) nur ein 100 000-stel der Lichtwellenlänge beträgt. Hingegen waren die Elektronenmikroskope bei der Tiefenauflösung den Lichtmikroskopen lange Zeit klar unterlegen. Das änderte sich, als mit Hilfe von interferierenden Elektronenwellen auf Oberflächen Unebenheiten und Strukturen sichtbar gemacht werden konnten, deren Höhe kleiner als 1 Nanometer war. Den Durchbruch auf diesem Gebiet hat Dr. Hannes Lichte mit dem Aufbau eines Interferenzmikroskops für Elektronenwellen geschafft. Für seine Arbeit „Ein Elektronen-Auflicht-Interferenzmikroskop zur Präzisionsmessung von Unebenheiten und Potentialunterschieden auf Oberflächen“ erhielt er den Helmholtz-Preis 1977.

Lichtes Elektronen-Interferenzmikroskop arbeitete nach dem Prinzip des lichtoptischen Michelson-Interferometers. In diesem zerlegt ein Strahlteiler die von einer Lichtquelle kommenden Lichtwellen in zwei Teilwellen, die jeweils von einem Spiegel reflektiert werden und anschließend wieder zusammenkommen und interferieren. Ist der eine Spiegel eine glatte Referenzfläche, der andere hingegen uneben, so kann man aus der Form und Verschiebung der auftretenden Interferenzstreifen die Ausdehnung und Höhe der Unebenheiten ermitteln. Beim Elektronen-Interferenzmikroskop wurden die von einer Quelle kommenden Elektronenwellen durch ein Biprisma in zwei Teilwellen zerlegt. Das von Gottfried Möllenstedt und Heinrich Düker 1954 entwickelte elektronenoptische Biprisma bestand aus einem metallisierten Quarzfaden von 1 Mikrometer Dicke, der gespannt wurde und ein negatives elektrostatisches Potential hatte. Ein Umlenkmagnet lenkte die beiden Teilwellen rechtwinklig ab auf einen Elektronenspiegel, wo sie auf zwei unterschiedliche Bereiche trafen, die den beiden Interferometerspiegeln entsprachen. Das negative Potential des Elektronenspiegels sorgte dafür, dass sich ihm die Elektronenwellen nur auf etwa 200 nm annäherten, bevor sie umkehrten. Dann durchliefen sie erneut den Umlenkmagneten und trafen auf ein zweites Biprisma, das ein positives Potential hatte und die beiden Teilwellen zusammenführte, sodass sie interferierten. Dabei zeigte es sich, dass Höhenunterschiede von atomarer Größenordnung die Phase der Elektronenwellen um 2π verschieben. Mit diesem Elektronenmikroskop konnte Lichte Oberflächenunebenheiten mit einer Höhe von weniger als 0,1 nm sichtbar machen und ausmessen. Auch Potentialunterschiede in einer Oberfläche ließen sich mit einer Genauigkeit von weniger als 1 mV bestimmen.

Literatur

- *Hannes Lichte*: Ein Elektronen-Auflicht-Interferenzmikroskop zur Präzisionsmessung von Unebenheiten und Potentialunterschieden auf Oberflächen. PTB-Mitteilungen **89**, (1979), 229
- *Hannes Lichte* and *Michael Lehmann*: Electron holography – basics and applications. Rep. Prog. Phys. **71**, (2008), 016102
- *D. Wolf* et al.: Electron holographic tomography. Curr. Opin. Solid State Mater. Sci. **17**, (2013), 126



Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (li.),
Dr. Hannes Lichte (re.)

Hannes Lichte, geboren 1944 in Braunschweig, studierte Physik in Kiel und anschließend in Tübingen. Dort am Institut für Angewandte Physik bei Gottfried Möllenstedt baute und betrieb er im Rahmen seiner Diplom- und Doktorarbeit zwischen 1970 und 1978 sein Auflicht-Interferenzmikroskop für Elektronenwellen, wofür er 1977 promoviert wurde. Er wurde später in Tübingen auf eine Professur berufen. In der Sylvesternacht 1986 gelang es ihm, das erste Elektronenhologramm mit atomarer Auflösung aufzunehmen. „Für die Weiterentwicklung der Elektronenholographie“ erhielt er 1987 zusammen mit Gottfried Möllenstedt und anderen den Körber-Preis für die Europäische Wissenschaft, und 1989 bekam er den Ernst-Ruska-Preis. 1994 wurde er Professor für physikalische Messtechnik an der TU Dresden und war dort maßgeblich am Aufbau des Triebenberg-Labors für höchstauflösende Elektronenmikroskopie und Elektronenholographie beteiligt.

HELMHOLTZ-PREIS 1980 (Preisverleihung am 26.06.1980)**Dr. David J. E. Knight, Dr. Gordon J. Edwards, Peter R. Pearce, Nigel R. Cross****für die Arbeit „ $A \pm 3$ parts in 10^{11} measurement of the frequency of the methane-stabilized, helium-neon laser at 88 THz“**

Laserfrequenz präzise gemessen



Dr. David Knight (li.),
Dr. Gordon Edwards (M.),
Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (re.)

David Knight wurde 1937 in Bude, Cornwall, geboren. In Oxford studierte er Physik und promovierte 1965 am dortigen Engineering Department. 1966 ging er zur Division of Quantum Metrology am NPL in Teddington, wo er 1987 Leiter der Abteilung „Time and Frequency“ wurde. Seit 1994 im Ruhestand, ist er für das NPL beratend tätig.

Gordon Edwards, 1941 geboren, studierte von 1961 bis 1964 Physik in Cambridge und erhielt 1969 seinen D. Phil. an der University of Sussex. Er ging 1970 zur Division of Quantum Metrology am NPL, um an der Messung der Lichtgeschwindigkeit zu arbeiten. Dort führte er Präzisionsmessungen von Laserfrequenzen durch. Später widmete er sich der Anwendung von Lasern zur Temperaturmessung. 2001 ging er in den Ruhestand, er ist aber noch für das NPL in Teilzeit tätig.

Nigel Cross, 1946 in Isleworth, Middlesex geboren, kam 1962 als Auszubildender ans NPL. 1971 erhielt er einen Honours Degree in Maschinenbau von der Surrey University. Er entwickelte Detektoren für den Joint European Torus in Culham und für die ESA. Seit 2006 im Ruhestand, ist er beratend für das NPL tätig.

Peter Pearce wurde 1950 in geboren, kam 1970 zum NPL und ist 2000 verstorben.

Der 1980 zum vierten Mal verliehene Helmholtz-Preis war ein Sonderpreis. Er wurde anlässlich der in diesem Jahr in Braunschweig stattfindenden „Conference on Precision Electromagnetic Measurements“ (CPEM 80) für die beste auf dieser Konferenz vorgetragene Arbeit ausgeschrieben. Diese mit 5000 DM dotierte Auszeichnung erhielten die vier englischen Physiker Dr. David J. E. Knight, Dr. Gordon J. Edwards, Peter R. Pearce und Nigel R. Cross, die am National Physical Laboratory (NPL) in Teddington, England, arbeiteten. In ihrem Vortrag mit dem Titel „ $A \pm 3$ parts in 10^{11} measurement of the frequency of the methane-stabilized, helium-neon laser at 88 THz“ berichteten sie, wie sie die Frequenz eines He-Ne-Lasers, stabilisiert mit Hilfe einer Absorptionslinie des Methans bei $3,39 \mu\text{m}$ Wellenlänge, mit einer zuvor unerreichten Genauigkeit von 2 kHz bestimmt hatten.

Am National Bureau of Standards in Boulder hatte man 1972 durch Messung der Wellenlänge und der Frequenz des methanstabilisierten He-Ne-Lasers bei $3,39 \mu\text{m}$ die Lichtgeschwindigkeit mit einer Genauigkeit von 1 m/s bestimmt. Darauf beruhte die 1983 erfolgte Neudefinition des Meters als die Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von $(1/299\,792\,458)$ Sekunden durchläuft. Die Arbeit von Knight und seinen Kollegen war Teil der Bemühungen, in Vorbereitung der späteren Neudefinition des Meters die Frequenz und Wellenlänge des He-Ne-Lasers möglichst genau zu messen. Knight et al. haben diese Frequenz über eine aufwendige Frequenzkette bestimmt, die vier verschiedene Oszillatoren enthielt. Zunächst wurde die Frequenz eines optisch gepumpten Methylalkohollasers, die bei 4,2 THz lag, mit der 43. Harmonischen der Mikrowellenfrequenz eines 99-GHz-Klystrons verglichen und durch elektronische Auszählung der Schwebungsfrequenz gemessen. Im nächsten Schritte wurde die Frequenz eines CO_2 -Lasers, die bei 29 THz lag, mit der 7. Harmonischen des Methylalkohollasers verglichen. Hier war die Differenz jedoch so groß, dass noch die 3. Harmonische einer Mikrowellenfrequenz von 95 GHz abgezogen werden musste, um eine elektronisch auszählbare Schwebungsfrequenz im MHz-Bereich zu erhalten. Die 3. Harmonische der CO_2 -Laser-Frequenz wurde dann mit der Frequenz eines He-Ne-Lasers verglichen, wobei hier eine 55-GHz-Frequenz abgezogen werden musste. Schließlich wurde die Frequenz dieses He-Ne-Lasers mit der zu messenden Frequenz des methanstabilisierten He-Ne-Lasers verglichen. Sie betrug demnach $(88\,376\,181\,616 \pm 3)$ kHz. Um diese hohe Messgenauigkeit zu erreichen, sorgten Knight und seine Kollegen dafür, dass sich die Labortemperatur um weniger als $0,1 \text{ }^\circ\text{C}$ pro Stunde änderte, was ihnen dadurch erleichtert wurde, dass damals ein ungewöhnlich kaltes Sommerwetter herrschte.

Literatur

- *D. J. E. Knight et al.*: Measurement of the Frequency of the 3.39- μm Methane-Stabilized Laser to ± 3 Parts in 10^{11} . IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement **IM-29**, (1980), 257

HELMHOLTZ-PREIS 1981 (Preisverleihung am 16.03.1981)**Dr. Frank Spieweck****für die Arbeit „Entwicklung eines Laser-Frequenznormals hoher Präzision im sichtbaren Spektralbereich bei 582 THz“**

Hochpräzises Laserfrequenznormal im Sichtbaren

Wie schon der vierte so wurde auch der fünfte Helmholtz-Preis für Präzisionsmessungen im Bereich der Laserphysik vergeben. Die mit 5000 DM dotierte Auszeichnung ging 1981 an Dr. Frank Spieweck von der PTB Braunschweig für seine Arbeit „Entwicklung eines Laser-Frequenznormals hoher Präzision im sichtbaren Spektralbereich bei 582 THz“. Für die Messung von Längen mittels Interferenz haben frequenz- oder wellenlängenstabilisierte Laser eine herausragende Bedeutung. Da für eine Längenmessung durch Lichtinterferenz mehrere verschiedene Lichtwellenlängen benötigt werden, hatte man in der PTB seit 1968 an der Stabilisierung nicht nur einer roten Laserlinie gearbeitet, wie sie der jodstabilisierte He-Ne-Laser liefert, sondern auch einer grünen Laserlinie. Ab 1972 wurden mit Hilfe von Jodmolekül-Absorptionslinien auch Argonionen-Laser stabilisiert, deren grüne Linie bei 582 THz im Jahr 1975 mit hoher Genauigkeit bestimmt werden konnte. Nach Vergleichsmessungen mit PTB-Lasern in England und Frankreich wurde der Wellenlängenwert der Linie, der bei 514,5 nm liegt, 1979 international empfohlen. Allerdings hatten unabhängige Frequenzmessungen, die am MIT und am Laboratoire de Physique des Lasers (LPL) in Paris durchgeführt worden waren, für eine bestimmte Hyperfeinstrukturkomponente der Linie eine überraschend große Differenz von 43,5 kHz ergeben. Diese Diskrepanz aufzuklären, war ein Ziel der Arbeit von Frank Spieweck.

Dazu baute er zwei transportable frequenzstabilisierte Argonionen-Laser. Die Kurzzeitschwankungen der Laserfrequenz beseitigte er, indem er diese mit der Resonanzfrequenz eines kompakten Fabry-Perot-Resonators stabilisierte. Zur Langzeitstabilisierung stimmte er die Laserfrequenz auf eine Jodmolekül-Referenzlinie ab. Anschließend wurden die Frequenzen der beiden Laser miteinander verglichen, indem deren Strahlung überlagert und die dabei auftretende Schwebungsfrequenz gemessen wurde. Während der eine Laser auf eine bestimmte Hyperfeinkomponente abgestimmt war, wurde der andere Laser nacheinander auf die zu messenden Komponenten stabilisiert. Wie sich zeigte, schwankten die Schwebungsfrequenzen nur um 200 Hz. Im Laufe von vier Monaten wichen die Frequenzen der beiden Laser höchstens um 1,6 kHz voneinander ab. Die an der PTB gemessenen Frequenzen der Hyperfeinkomponenten stimmten mit den am LBL in Paris ermittelten Frequenzen auf etwa 1 kHz überein, sodass die erwähnte Diskrepanz ausgeräumt werden konnte. Die Frequenzunsicherheit seiner beiden transportablen Laser schätzte Spieweck auf 5,5 kHz ab, was einer relativen Unsicherheit von weniger als 10^{-11} entsprach. Der Argonionen-Laser zusammen mit einem jodstabilisierten He-Ne-Laser ermöglicht es, Längen sehr genau und auf einfache Weise durch Interferenz zu messen. Zudem ist die Frequenz des jodstabilisierten Argonionen-Lasers wegen des großen Frequenzabstandes zum jodstabilisierten He-Ne-Laser ein wichtiger Bezugspunkt für die Kalibrierung von Spektrallinien.

Literatur

- *F. Spieweck*: Entwicklung eines Laser-Frequenznormals hoher Präzision im sichtbaren Spektralbereich bei 582 THz. PTB-Mitteilungen **91**, (1981), 336



Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (li.),
Dr. Frank Spieweck (re.)

Frank Spieweck, geboren 1937 in Fichtenau bei Berlin, begann 1958 ein Physikstudium in Braunschweig, das er 1963 mit einer Diplomarbeit über „Untersuchungen an zwei Bandensystemen des Stickstoffes“ abschloss. Seit 1966 arbeitete er im Laboratorium für die Längeneinheit der PTB Braunschweig. Von dort aus hatte er 1974 mit einer Arbeit über den Argonionen-Laser bei Herbert Welling an der damaligen Technischen Hochschule Hannover promoviert. Später war er wissenschaftlicher Laborleiter an der PTB und arbeitete u. a. am Projekt zur Bestimmung der Avogadro-Konstante mit, das zur Vorbereitung einer Neudefinition des Kilogramm durchgeführt wird. Seit 1999 ist er im Ruhestand.

HELMHOLTZ-PREIS 1983 (Preisverleihung am 14.03.1983)

Dipl.-Phys. Günther Ebert, Dipl.-Phys. Thomas Herzog, Dipl.-Phys. Harald Obloh, Dipl.-Phys. Bert Tausendfreund für die Arbeit „Zur Anwendung des Quantisierten Hall-Effektes in der Metrologie“

Nützlicher Quanten-Hall-Effekt



Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (li.), und die vier Preisträger

(v. l. n. r.) **Günther Ebert**, geboren 1953 in Kitzingen in Bayern, studierte Physik in Würzburg, wo er am Institut von Gottfried Landwehr, betreut von Klaus von Klitzing, 1979 seine Diplomarbeit machte. Nach einem Abstecher in die Industrie ging er an die TU München und promovierte dort 1983, wobei wiederum von Klitzing sein Betreuer war. 1985 ging er erneut in die Industrie. Seit 2006 ist er am Fraunhofer-Institut für Solare Energiesysteme in Freiburg tätig.

Bert Tausendfreund, 1954 in München geboren, studierte Physik an der TU München und wurde dort 1984 von Klaus von Klitzing promoviert. Er arbeitete anschließend als Entwicklungsingenieur bei Heraeus und ließ sich von 1989 bis 1993 zum Patentanwalt ausbilden. Diesen Beruf übte er bis 2006 aus, seither ist er im Ruhestand.

Harald Obloh, geboren 1954 in Os-nabrück, studierte Physik in Clausthal-Zellerfeld und an der TU München. Betreut von Klaus von Klitzing fertigte er dort 1982 seine Diplomarbeit und 1986 seine Dissertation an. Bis 1987 war er Postdoktorand bei von Klitzing am MPI für Festkörperforschung in Stuttgart. Seither ist er am Fraunhofer Institut für Angewandte Festkörperforschung in Freiburg tätig.

Thomas Herzog (keine Informationen).

Wie schon der Josephson-Effekt (s. Helmholtz-Preis 1975) so stellt auch der Quanten-Hall-Effekt einen Zusammenhang her zwischen makroskopischen elektrischen Größen einerseits und den Naturkonstanten e (Elementarladung) und h (Planck-Konstante) andererseits. Klaus von Klitzing fand mit dem Quanten-Hall-Effekt, den er 1980 entdeckte, einen neuen Weg, elektrische Widerstandswerte mit sehr hoher Genauigkeit zu realisieren. Wird eine dünne, stromdurchflossene Schicht („zweidimensionales Elektronengas“) bei sehr tiefen Temperaturen einem starken Magnetfeld ausgesetzt, das senkrecht zur Schicht steht, so zeigt der Hall-Widerstand R_H , also der Quotient aus Hall-Spannung und Stromstärke, bei Änderung des Magnetfeldes eine stufenförmige Kennlinie. Auf den Stufen ist der Hall-Widerstand konstant mit den diskreten Werten:

$R_H = R_K/i$ ($i = 1, 2, \dots$), die man mit hoher Genauigkeit reproduzieren kann. Die Größe R_K , die „von Klitzing-Konstante“, ist durch $R_K = h/e^2$ gegeben. Ihr Wert beträgt etwa 25,8 k Ω . Die sich aus dem Quanten-Hall-Effekt ergebende Möglichkeit zur Realisierung von Widerstandswerten wurde schon 1980 von der PTB und anderen Metrologie-Instituten aufgegriffen. Welche physikalischen Systeme sich am besten für eine Präzisionsmessung der von Klitzing-Konstanten R_K eignen, untersuchten die vier Diplomphysiker Günther Ebert, Thomas Herzog, Harald Obloh und Bert Tausendfreund als Doktoranden bei von Klitzing. Für ihre Arbeit „Zur Anwendung des Quantisierten Hall-Effektes in der Metrologie“ wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 1983 ausgezeichnet, der mit 5 000 DM dotiert war.

Im Rahmen ihrer Arbeit hatten die vier Physiker den Hall-Widerstand von Silizium-MOS-Transistoren und Indiumantimonid-Feldeffekttransistoren sowie von verschiedenen Halbleiterheterostrukturen so genau wie möglich gemessen. Wie die Messungen an GaAs-AlGaAs-Heterostrukturen bei einer Temperatur von 1,5 Kelvin und in einem Magnetfeld von etwa 8 Tesla ergaben, blieb der Hall-Widerstand innerhalb eines Magnetfeldbereichs von ca. 1 Tesla nahezu konstant. Seine relative Änderung betrug nur einige 10^{-8} . Heute kann man mit GaAs-AlGaAs-Heterostrukturen, die man z. B. durch Molekularstrahl-Epitaxie herstellt, auf den beiden besonders gut ausgeprägten Widerstandsstufen mit $i = 2$ und $i = 4$ Widerstandswerte mit einer relativen Unsicherheit von wenigen 10^{-9} reproduzieren. Ebenso genau ist auch die von Klitzing-Konstante bekannt und reproduzierbar. Dank des Quanten-Hall-Effektes und des Josephson-Effektes können die elektrischen Einheiten Ohm und Volt einheitlich definiert und weitergegeben werden.

Literatur

- G. Ebert et al.: Zur Anwendung des Quantisierten Hall-Effektes in der Metrologie. PTB-Mitteilungen **93**, (1983), 293
- Franz Josef Ahlers und Uwe Siegner: Stromstärke – Die SI-Basiseinheit Ampere. PTB-Mitteilungen **122**, (2012), 59

HELMHOLTZ-PREIS 1985 (Preisverleihung am 25.03.1985)**Prof. Dr. Günter Werth****für die Arbeit „Der Ionenkäfig als Frequenzstandard“**

Gefangene Ionen als Frequenzstandard

Obwohl Cäsiumatomuhren schon 1955 entwickelt wurden, sind sie bis heute maßgeblich für die Zeitmessung. Seit 1967 definiert man die Sekunde als „das 9 192 631 770fache der Periodendauer der dem Übergang zwischen den beiden Hyperfeinstrukturniveaus des Grundzustandes von Atomen des Nuklids ^{133}Cs entsprechenden Strahlung“. In einer Cäsiumuhr fallen die Atome in einer Fontäne durch einen Mikrowellenresonator, dessen Frequenz dabei auf die atomare Anregungsfrequenz abgestimmt wird. Doch schon früh hatte die Suche nach Alternativen zur Cäsiumuhr begonnen. So verfolgte Günter Werth an der Universität Mainz Ende der 1970-er Jahre den Ansatz, für eine Atomuhr ionisierte Atome in einem Ionenkäfig, einer „Paul-Falle“, mit elektrischen Feldern festzuhalten. Dadurch waren sie vor Stößen und anderen störenden Umwelteinflüssen viel besser geschützt als die Atome in der Cäsiumuhr. Zudem konnte man die Atome nahezu beliebig lange beobachten. Beides sollte eine genauere Frequenzmessung ermöglichen. Für seine Arbeit „Der Ionenkäfig als Frequenzstandard“ erhielt Prof. Dr. Günter Werth den mit 8 000 DM dotierten Helmholtz-Preis 1985.

Werth benutzte Ionen des Elements Quecksilber, später dann Ytterbium und Barium als „Frequenzgeber“. Diese Atome besitzen im Grundzustand zwei Hyperfeinniveaus, deren Energien sich um einige GHz unterscheiden. Wie stark die beiden Hyperfeinniveaus jeweils besetzt waren, wurde mit einem Farbstofflaser abgefragt, der die Atome durch optisches Pumpen aus einem der beiden Niveaus entfernte und in einen höheren Zustand brachte. Von dort kehrten sie unter Abgabe von Licht in den Grundzustand zurück. Wurden die Atome mit Mikrowellen bestrahlt, deren Frequenz auf den Übergang zwischen den beiden Hyperfeinniveaus abgestimmt war, so änderte sich die Besetzung dieser Niveaus und damit auch der Intensität der Lumineszenz. So ließ sich an der Lichtintensität ablesen, wie genau die Mikrowellenfrequenz mit der Hyperfeinstrukturaufspaltung übereinstimmte. Schließlich wurde die resonante Mikrowellenfrequenz mit einer Cäsiumuhr ermittelt. Anhand der aufgenommenen Resonanzlinien konnte z. B. die Hyperfeinstrukturaufspaltung der ^{171}Yb -Ionen mit einer Genauigkeit von $3 \cdot 10^{-12}$ gemessen werden. Werth hielt es damals für möglich, durch Ausschalten verschiedener Fehlerquellen eine Genauigkeit von 10^{-15} zu erreichen, was seither in Experimenten der NASA verwirklicht wurde. Frequenzstandards im Mikrowellengebiet auf der Basis gespeicherter Quecksilberionen werden heute als potentielle Uhren im europäischen Navigationssystem Galileo in Betracht gezogen. Inzwischen ist es möglich geworden, Atome mit Laserlicht auf sehr tiefe Temperaturen zu bringen und einzeln, nahezu bewegungslos in Ionen-Fallen für Monate festzuhalten. Durch die Technik des Frequenzkammes, für die Theodor Hänsch und John Hall 2005 den Nobelpreis erhielten, gelingt es heute, die extrem scharf definierten Anregungsfrequenzen „verbotener“ optischer Übergänge von gespeicherten Ionen zu bestimmen. Optische Atomuhren, die beispielsweise mit Ytterbiumionen betrieben werden, zeigen relative Instabilitäten von einigen 10^{-17} . Damit bekommen die Cäsiumuhren, deren Frequenzstabilität „nur“ bei etwa 10^{-15} liegt, ernsthaft Konkurrenz.



Prof. Dr.-Ing. Dieter Kind (li.),
Prof. Dr. Günter Werth (re.)

Günter Werth, geboren 1938 im westfälischen Hagen, hat Physik in Göttingen und dann in Bonn studiert, wo er 1969 von Wolfgang Paul, dem Erfinder der „Paul-Falle“ und späteren Physik-Nobelpreisträger, promoviert wurde. Nach einer Postdoktorandenzeit am NASA Goddard Space Flight Center habilitierte er 1974 in Mainz. Er wurde 1977 auf eine Professur in Mainz berufen und blieb dort bis zur seiner Emeritierung 2005. Seine Forschungsgebiete waren die Atomphysik und die Quantenoptik. Insbesondere erforschte er die physikalischen Eigenschaften von Ionen in Fallen. Er führte Präzisionsmessungen des magnetischen Moments des Elektrons in wasserstoffähnlichen Ionen durch und testete damit die Quantenelektrodynamik in gebundenen Systemen. Außerdem bestimmte er den bisher genauesten Wert für die Elektronenmasse.

Literatur

- G. Werth: Der Ionenkäfig als Frequenzstandard. PTB-Mitteilungen **95**, (1985), 233
- Andreas Bauch: Zeit – Die SI-Basis-einheit Sekunde. PTB-Mitteilungen **122**, (2012), 23

HELMHOLTZ-PREIS 1987 (Preisverleihung am 14.05.1987)**Dr. Fritz Riehle, Prof. Dr. Burkhard Wende****für die Arbeit „Ein Elektronenspeicherring als primäres Strahlungsnormal zur Realisierung strahlungsoptischer Einheiten“**

Elektronenspeicherring als primäres Strahlungsnormal



Ruprecht v. Siemens mit den zwei Preisträgern

Fritz Riehle (2. v. r.), 1951 in Zell am Harmersbach geboren, studierte Physik in Karlsruhe, wo er 1977 promovierte und 1981 habilitierte. 1982 ging er zur PTB Berlin und leitete dort bis 1987 die Arbeitsgruppe „Grundlagenradiometrie“ im PTB-Labor bei BESSY. 1987 kam er zur PTB Braunschweig, wo er von 1989 bis 2000 das Labor „Längeneinheit“ leitete. Seit 2000 hat er die Leitung der Abteilung „Optik“ in der PTB. Die Universität Hannover ernannte ihn 2011 zum Honorarprofessor. 2013 wurde er Fellow of the American Physical Society. Er erhielt den Helmholtz-Preis 1999 zum zweiten Mal.

Burkhard Wende (r.), 1937 in Berlin geboren, studierte an der TU Berlin Physik und trat nach seinem Diplom 1963 in die PTB Berlin ein. Zudem promovierte er 1966 an der TU Karlsruhe, wo er auch habilitierte und 1970 Privatdozent wurde. In der PTB Berlin leitete er ab 1974 die Gruppe für Hochtemperatur- und Vakuumphysik. Ab 1977 hatte er in Karlsruhe eine Professur und war später auch Honorarprofessor an der TU Berlin. Ab 1995 war er Leiter der Abteilung für Temperatur und Synchrotronstrahlung an der PTB Berlin, zudem leitete er die PTB Berlin von 1998 bis zu seinem Eintritt in den Ruhestand 2002. Er wirkte entscheidend mit bei der Konzeption und der Errichtung der Berliner Speicherringe BESSY I und BESSY II, und er initiierte den Bau der PTB-eigenen Metrology Light Source.

Anlässlich des 100. Jubiläums der PTR/PTB wurde der Helmholtz-Preis 1987 in drei Themenbereichen vergeben. Im Bereich „Präzisionsmessung physikalischer Größen“ ging die Auszeichnung an Dr. Fritz Riehle und Prof. Dr. Burkhard Wende von der PTB Berlin für ihre Arbeit „Ein Elektronenspeicherring als primäres Strahlungsnormal zur Realisierung strahlungsoptischer Einheiten“. Als Max Planck 1900 seine berühmte Strahlungsformel aufstellte, konnte er auf die genauen Messungen der Hohlraumstrahlung zurückgreifen, die an der PTR in Berlin durchgeführt worden waren. Von Plancks Strahlungsformel ausgehend, verwendete man zur Darstellung spektraler Strahlungsleistungen zunächst Hochtemperatur-Hohlraumstrahler als primäre Strahlungsnormal. Bei kurzen Wellenlängen unterhalb von 250 Nanometer ist die Emission dieser Strahler jedoch

zu schwach, als dass sie sich für ein Strahlungsnormal nutzen ließen. Im Gegensatz dazu emittieren Elektronenspeicherringe intensive Synchrotronstrahlung vom sichtbaren Spektralbereich bis zum Röntgenbereich. Die spektrale Verteilung dieser Strahlung hängt nur von wenigen Parametern ab und wird durch eine Formel gegeben, die Julian Schwinger 1949 für die Strahlungsemission radial beschleunigter relativistischer Elektronen aus den Gesetzen der klassischen Elektrodynamik abgeleitet hatte.

Wie Riehle und Wende 1984 nachwiesen, stellte der Speicherring BESSY I in Berlin ein neues Strahlungsnormal dar, das dem Hohlraumstrahler deutlich überlegen war. Dazu musste man die Parameter des Speicherrings sehr genau messen und ihn so optimieren, dass sich seine spektrale Strahlungsleistung mit Hilfe der Schwinger-Formel beschreiben ließ. Während diese Formel für ein einzelnes Elektron gilt, das auf einer Kreisbahn umläuft, bewegten sich in BESSY I jedoch bis zu 10^{12} Elektronen auf unterschiedlichen Kreisbahnen. Dadurch wich die Strahlungsemission des Speicherrings von den Vorhersagen der Schwinger-Formel ab. Indem Riehle und Wende die Orts- und Winkelverteilung der Elektronen im Speicherring anhand der gemessenen Winkelabhängigkeit der Strahlung bestimmten, konnten sie mit Hilfe der Schwinger-Formel die spektrale Strahlungsleistung des Speicherrings mit hoher Genauigkeit berechnen. Dadurch dass man die Zahl der Elektronen, die in BESSY I gespeichert waren, auf ein Elektron erniedrigte, konnte man die Strahlungsintensität um bis zu zwölf Zehnerpotenzen verändern. Das Speicherringnormal wurde bis zu seiner Stilllegung 1999 für die Kalibrierung von Empfänger- und Strahler-Gebrauchsnormen vom nahen IR bis in den Bereich weicher Röntgenstrahlung genutzt. Seit Januar 1999 setzt die PTB den Elektronenspeicherring BESSY II als primäres Strahlungsnormal ein, insbesondere vom Vakuum-UV bis zum Röntgenbereich. Ergänzend zu BESSY II steht der PTB seit Frühjahr 2008 mit der Metrology Light Source (MLS) ein primäres Strahlungsnormal für Spektralbereiche vom IR bis zum extremen UV zur Verfügung.

Literatur:

- *F. Riehle und B. Wende*: Ein Elektronenspeicherring als primäres Strahlungsnormal zur Realisierung strahlungsoptischer Einheiten vom Infraroten bis in den Bereich weicher Röntgenstrahlung. PTB-Mitteilungen **97**, (1987), 360
- *Roman Klein, Reiner Thornagel, Gerhard Ulm*: Der Speicherring BESSY II als primäres Strahlernormal. PTB-Mitteilungen **115**, (2005), 8

HELMHOLTZ-PREIS 1987 (Preisverleihung am 14.05.1987)**Dr. Sergio N. Erné, Prof. Dr. Manfred Hoke****für die Arbeit „Auditorisch evozierte Hirnstamm-Magnetfelder, ausgelöst durch Stimulation mit kurzen Tonimpulsen“**

Hirnstamm-Magnetfelder erstmals gemessen

Der Helmholtz-Preis wurde 1987 zum ersten Mal für eine Arbeit im Bereich „Physikalische Messtechnik in Medizin, Strahlen- und Umweltschutz“ vergeben. Er ging an Dr. Sergio N. Erné von der PTB Berlin und Prof. Dr. Manfred Hoke von der Universität Münster für ihre Arbeit „Auditorisch evozierte Hirnstamm-Magnetfelder, ausgelöst durch Stimulation mit kurzen Tonimpulsen“. Ihnen war es gelungen, Magnetfelder von nur einigen Femto-Tesla (10^{-15} Tesla) zu messen, die im Hirnstamm durch akustische Anregung erzeugt worden waren. Dies waren die schwächsten biomagnetischen Signale, die man bis dahin gemessen hatte.

Die elektrischen Aktivitäten der Zellen und Organe des menschlichen Körpers verursachen Magnetfelder, deren Nachweis einen direkten und berührungslosen Einblick in das Körperinnere ermöglicht. Dies ist insbesondere für die Neurologie interessant, die damit ein diagnostisches Hilfsmittel z. B. für die Erforschung der Epilepsie erhält. So bemühten sich Mitte der 1980-er Jahre Forscher in den USA, allerdings vergeblich, durch akustische Stimulation im Hirnstamm hervorgerufene Magnetfelder zu messen. Diese Magnetfelder erwiesen sich als so schwach, dass sie nur, nach Ausschaltung aller magnetischen Störfelder durch aufwendige Abschirmtechniken, mit Hilfe von extrem empfindlichen SQUID-Magnetometern gemessen werden konnten. An der PTB Berlin hatten Sergio Erné und seine Mitarbeiter eine magnetische Abschirmkammer und ein besonders empfindliches Magnetometer gebaut, die er und Manfred Hoke bei ihren Messungen an Probanden benutzten. Die Probanden waren normal hörende junge Frauen, die in der Kammer saßen. Eine Sequenz von etwa 4 ms langen elektrischen Pulsen mit einer Frequenz von 1 kHz wurde auf einen außerhalb der Kammer befindlichen Kopfhörer gegeben. Die von diesem erzeugten akustischen Signale wurden durch einen Plastikschlauch in die Kammer geleitet und den Probanden so zu Gehör gebracht. Die Komponente des im Gehirn evozierten Magnetfeldes, die senkrecht zum Schädel des jeweiligen Probanden stand, wurde mit einem SQUID-Magnetometer auf der Kopfoberfläche an bestimmten Punkten des Hinterkopfs in der parieto-occipitalen Region aufgenommen. Gleichzeitig zu den magnetischen Messungen wurden auch konventionelle elektrische Messungen der akustisch hervorgerufenen Hirnstammpotentiale durchgeführt. Nach Filterung und Digitalisierung der aufgenommenen Signale zeigt es sich, dass die magnetischen Signale mit bestimmten Komponenten der akustisch evozierten Hirnstammpotentiale zeitlich perfekt übereinstimmten. Es war damit gelungen, anhand von Magnetfeldern räumlich aufgelöst Vorgänge im Innern des Hirnstamms zu beobachten. In den folgenden Jahren nahm die Magnetoenzephalographie einen enormen Aufschwung, an dem Manfred Hoke entscheidend beteiligt war. Mit ihr lassen sich u. a. Hirnareale lokalisieren, die epileptische Anfälle auslösen. Sergio Erné hat u. a. die magnetischen Signale des peripheren Nervensystems untersucht. Darüber hinaus hat er die Möglichkeiten der Magnetfeldbildung zum Beispiel zur Untersuchung des schlagenden menschlichen Herzens erforscht und entsprechende Geräte entwickelt und bis zur Industriereife gebracht.



Sergio Nicola Erné (li.), 1944 in Venedig geboren, studierte Physik an der Universität Padua, wo er 1969 promovierte. Er ging 1972 zur PTB Berlin und leitete dort von 1987 bis 1992 das Labor für Biomagnetismus. Bis 2005 war er an der Universität Ulm und an der Universität Chieti in Italien tätig. Von 2006 bis 2009 war er an der Universität Jena Leiter des Fachbereichs „Biosignale und Bildgebungstechnologien“ der Neurologischen Klinik. Seit 2006 ist er Technischer Leiter und Geschäftsführender Gesellschafter der BMDSys Production GmbH in Günzburg, die Systeme für die klinische Anwendung der Magnetfeldbildung insbesondere in der Kardiologie entwickelt.

Manfried Hoke (re.) wurde 1933 in Meißen geboren, studierte in Jena Physik und Medizin und setzte in Hamburg sein Medizinstudium fort. Dort wurde er 1960 in Medizin promoviert. 1963 ging er an die Universität Münster, wo er 1973 habilitierte und 1977 auf eine Professur berufen wurde. Ab 1986 leitete er das Institut für Experimentelle Audiologie an der Hals-Nasen-Ohren-Klinik der Universität Münster. 1998 ging er in den Ruhestand, 2006 ist er verstorben.

Literatur

- S. N. Erné und M. Hoke: Auditorisch evozierte Hirnstamm-Magnetfelder, ausgelöst durch Stimulation mit kurzen Tonimpulsen. PTB-Mitteilungen 97, (1987), 365

HELMHOLTZ-PREIS 1987 (Preisverleihung am 14.05.1987)**Dr. Hans Förster, Dr. Henrikus Steen****für die Arbeit „Untersuchungen zum Ablauf turbulenter Gasexplosionen“**

Turbulente Explosionen



Hans Förster (li.) wurde 1944 in Freiwaldau (Tschechien) geboren. Er studierte Physik in Freiburg und Bielefeld, und wurde 1976 in Freiburg promoviert. 1979 kam er zur PTB Braunschweig und hat in der von Henrikus Steen geleiteten Gruppe gearbeitet. Später übernahm er das Labor „Explosionsdynamik“ und leitete es bis zu seiner Pensionierung 2009.

Henrikus Steen (re.), 1938 in Osteel (Ostfriesland) geboren, studierte Maschinenbau (Wärme- und Verfahrenstechnik) in Braunschweig und promovierte 1973 in Aachen. Er kam 1965 zur PTB Braunschweig und wurde 1980 Leiter der Gruppe „Grundlagen des Explosionsschutzes“. 1990 wechselte er zur Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung in Berlin, wo er Leiter der Abteilung „Chemische Sicherheitstechnik“ war. 1995 wurde er pensioniert.

Im Jahr 1987 wurde mit dem Helmholtz-Preis zum ersten Mal eine Arbeit im Bereich „Physikalische Sicherheitstechnik“ prämiert: Dr. Hans Förster und Dr. Henrikus Steen von der PTB Braunschweig erhielten die Auszeichnung für ihre „Untersuchungen zum Ablauf turbulenter Gasexplosionen“. Ein gasförmiges Gemisch aus Treibstoff und Luft, das sich entzündet, explodiert wesentlich heftiger wenn es turbulent strömt als wenn es ruht oder laminar fließt. Solche Turbulenzen können z. B. dort entstehen, wo das Gemisch in einem Rohr eine Engstelle passiert oder durch ein Leck ausströmt. Untersuchungen von Explosionen haben gezeigt, dass die Verbrennungsgeschwindigkeit, mit der die Verbrennung in der Mischung vorankommt, im turbulenten Fall viel größer ist als im laminaren. Wie Explosionen in turbulenten Gemischen ablaufen und wie sie von den charakteristischen makroskopischen Längenskalen der Turbulenz beeinflusst werden, untersuchten Hans Förster und Henrikus Steen mit an der PTB durchgeführten Explosionsexperimenten.

Sie verwendeten stöchiometrische Mischungen aus Propangas und Luft, die sie durch Düsen in einen geschlossenen zylindrischen Behälter mit einem Volumen von 1,5 m³ oder 0,055 m³ einströmen ließen. Vier elektrische Ventilatoren an der Innenwand des Behälters machten das Gemisch turbulent. Von einem elektrischen Funken wurde es im Zentrum des Behälters gezündet. Durch ein Sichtfenster verfolgte eine Hochgeschwindigkeitskamera die Flammenausbreitung, während der zeitliche Verlauf des Explosionsdrucks an der Behälterwand gemessen wurde. Die optisch ermittelte Flammengeschwindigkeit stimmte mit der aus dem Druckverlauf berechneten gut überein. Demnach lief die Explosion in zwei Phasen ab. Zunächst war die turbulente Flammengeschwindigkeit u_T nicht viel größer als die in früheren Experimenten gemessene laminare Flammengeschwindigkeit u_L . Doch nach einigen 10 Millisekunden beschleunigte sich die Explosion, und u_T konnte im größeren Behälter das Sechsfache von u_L erreichen, im kleineren Behälter immerhin das Vierfache. Dabei war es entscheidend für u_T , welche mittlere Größe L die in der turbulenten Strömung auftretenden Wirbel hatten. Je größer der Behälter war, desto größer und stärker waren die Wirbel, die die Flammenausbreitung beschleunigten. Wie Förster und Steen zeigen konnten, war u_T in guter Näherung eine Funktion der turbulenten Reynolds-Zahl $Re = u \cdot L/\nu$, mit der mittleren turbulenten Geschwindigkeitsschwankung u und der Viskosität ν . Demnach galt $u_T/u_L = (1 + 0,012 \cdot Re)^{0,5}$. Für die turbulente Flammengeschwindigkeit war somit neben der Geschwindigkeitsschwankung auch die charakteristische Längenskala L der Turbulenz entscheidend. Die Forscher schlossen daraus: „Für sicherheitstechnische Abschätzungen von Flammenbeschleunigungen, von Druckanstiegsraten oder von Spitzenwerten in Explosionsdruckwellen sind daher die Abmessungen des Behälters oder die Größe der explosionsfähigen Gemischwolke in Betracht zu ziehen.“ Diese Ergebnisse fanden seinerzeit starkes Interesse in der Sicherheitstechnik.

Literatur

- H. Förster und H. Steen: Untersuchungen zum Ablauf turbulenter Gasexplosionen. PTB-Mitteilungen 97, (1987), 368

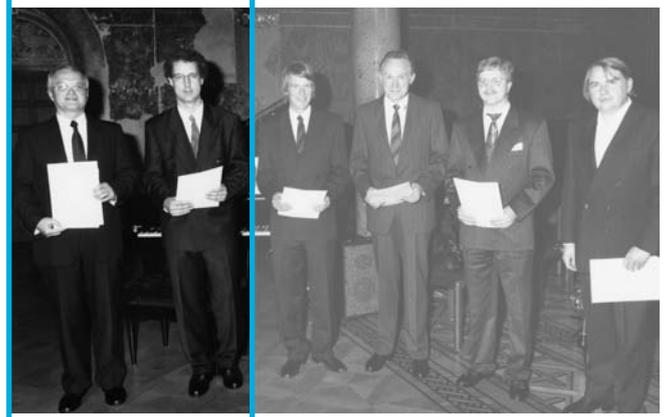
HELMHOLTZ-PREIS 1990 (Preisverleihung am 19.03.1990)**Dr.-Ing. Manfred Klonz, Dipl.-Phys. Thomas Weimann****für die Arbeit „Entwurf und Optimierung eines planaren Vielfachthermokonverters zur präzisen Rückführung des Effektivwertes von Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen“**

Planarer Vielfachthermokonverter

Die Werte von elektrischen Gleichspannungen und Widerständen lassen sich mit Hilfe des Josephson- bzw. des Quanten-Hall-Effekts mit einer relativen Unsicherheit von 10^{-9} reproduzieren. Für Wechselspannungen und Wechselstromstärken, die in der Messtechnik mindestens ebenso wichtig sind, gibt es keine genauen Realisierungen. Man führt deshalb die Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen zurück (AC-DC-Transfer), indem man z. B. die von einem Wechselstrom in einem Heizdraht hervorgerufene Temperaturerhöhung mit der von einem Gleichstrom bekannter Größe verursachten Erhöhung der Temperatur vergleicht. Für diese Aufgabe benutzt man Thermokonverter, in denen die Temperaturerhöhung des Heizdrahtes durch zahlreiche hintereinandergeschaltete Thermolemente gemessen wird.

Die früher gebräuchlichen Thermokonverter hatten einen komplizierten dreidimensionalen Aufbau. Sie mussten in Handarbeit unter dem Mikroskop hergestellt werden und waren deshalb ungeeignet für eine Massenfertigung, die der großen Nachfrage seitens der Kalibrierdienste und der Nationalen Metrologieinstitute hätte nachkommen können. Demgegenüber entwickelten Dr.-Ing. Manfred Klonz und Dipl.-Phys. Thomas Weimann von der PTB einen Thermokonverter, der sich mit Dünnschichttechniken herstellen ließ, wie sie in der Halbleiterindustrie eingesetzt werden. Für diese Arbeit wurde ihnen der mit 10 000 DM dotierten Helmholtz-Preis 1990 im Bereich „Präzisionsmessung physikalischer Größen“ verliehen.

Der planare Vielfachthermokonverter saß auf einem $2 \times 3 \text{ mm}^2$ großen und $3 \mu\text{m}$ dicken Fenster aus Siliziumoxid, das in einen $5 \times 8 \text{ mm}^2$ großen Siliziumchip anisotropisch geätzt worden war. Ein Heizer und 108 Thermolemente aus Kupfer und der Kupfer-Nickel-Legierung Konstantan wurden auf das Fenster aufgedampft. Der stromdurchflossene Heizer erwärmte das Fenster, das die Wärme nur sehr schlecht weiterleitete. Die dadurch verursachte Temperaturerhöhung wurde von den Thermolementen gemessen. Bis zu 100 Thermokonverter konnten auf einem Wafer gleichzeitig hergestellt werden. So war es möglich, das neue Messelement in hoher Stückzahl und mit großer Präzision zu fertigen. Da sich die Eigenschaften des planaren Vielfachthermokonverters in Abhängigkeit von der Größe und Form seiner Komponenten berechnen ließen, konnte man sie durch Computersimulation optimieren. Auf diese Weise stellten Klonz und Weimann einen planaren Vielfachthermokonverter her, der Wechselspannungen bei 2 V für Frequenzen von 10 Hz bis 1 MHz mit einer Unsicherheit von weniger als 10^{-6} messen konnte. Seither ist der Vielfachthermokonverter weiterentwickelt worden, sodass die Messunsicherheit für sehr niedrige Frequenzen im mHz-Bereich bei einigen 10^{-7} und für hohe Frequenzen bis 100 MHz bei einigen 10^{-6} liegt. Dadurch konnte die PTB ihre Spitzenstellung beim AC-DC-Transfer weiter ausbauen.



Manfred Klonz (li.), 1941 in Steinersdorf (Schlesien) geboren, studierte Hochfrequenz- und Nachrichtentechnik an der TH Hannover. 1967 kam er zur PTB Braunschweig, wo er bis 1975 im „Laboratorium für Wechselspannungsnormale“ arbeitete. 1987 wurde er an der TU Braunschweig promoviert. Bis 1990 war er im „Laboratorium für Elektrizitätszähler“ tätig, dann wechselte er in die Arbeitsgruppe „Thermoelektrische Sensoren“. Von 1993 bis 2003 leitete er die Arbeitsgruppe „Thermoelektrische Sensoren“, später „Wechselstrom-Gleichstrom-Transfer“ genannt. Bis zu seiner Pensionierung 2006 war er der Leiter des Fachbereichs „Gleichstrom und Niederfrequenz“.

Thomas Weimann (re.) wurde 1961 in Unna geboren, studierte Physik in Münster und schloss sein Studium 1987 mit einer Diplomarbeit ab, die an der PTB Braunschweig von Manfred Klonz betreut wurde. Weimann blieb bei der PTB und arbeitete bis 1990 auf dem Gebiet der Vielfachthermokonverter. Anschließend baute er den Bereich Elektronenstrahlolithographie innerhalb der PTB Braunschweig auf. 1995 wurde er in Münster mit einer Arbeit über den planaren Vielfachthermokonverter promoviert. Gegenwärtig leitet er die Arbeitsgruppe „Nanostrukturen“.

Literatur

- *Manfred Klonz und Thomas Weimann: Entwurf und Optimierung eines planaren Vielfachthermokonverters zur präzisen Rückführung des Effektivwertes von Wechselgrößen auf äquivalente Gleichgrößen. PTB-Mitteilungen* **100**, (1990), 243

HELMHOLTZ-PREIS 1990 (Preisverleihung am 19.03.1990)**Prof. Dr. Heinz-Jürgen Kluge, Prof. Dr. Norbert Trautmann****für die Arbeit „Ein Resonanzionisations-Massenspektrometer als analytisches Instrument für die Spurenanalyse“**

Ein Resonanzionisations-Massenspektrometer auf Spurensuche



Heinz-Jürgen Kluge (li.), 1941 in Sorau (Niederlausitz) geboren, studierte von 1960 bis 1967 Physik zunächst in Bonn und dann in Heidelberg, wo er 1970 promovierte. Als Postdoktorand forschte er am CERN. 1972 ging er an die Universität Mainz, wo er 1975 habilitierte und 1978 Professor für Experimentalphysik wurde. Er folgte 1994 einem Ruf nach Heidelberg und war von 1999 bis 2005 Forschungsdirektor der GSI in Darmstadt. 2006 erhielt er den Lise Meitner Prize for Nuclear Science. 2007 ging er in den Ruhestand.

Norbert Trautmann (re.) wurde 1939 in Straubing geboren. Er studierte von 1958 bis 1964 in Mainz Chemie und wurde dort 1968 promoviert, mit Fritz Straßmann als zweitem Gutachter. Von 1970 bis 1971 war er Postdoktorand bei Seaborg und Ghiorso am Lawrence Berkeley Laboratory. Er kehrte 1971 nach Mainz zurück und war zunächst stellvertretender Betriebsleiter und von 1991 bis 2005 Betriebsleiter am Forschungsreaktor TRIGA. 1981 begann seine Zusammenarbeit mit H.-J. Kluge, die zur Entwicklung der Resonanzionisations-Massenspektrometrie (RIMS) führte. Für seine wissenschaftlichen Leistungen erhielt er zahlreiche Auszeichnungen, so den Fritz-Straßmann-Preis (1984), den Otto-Hahn-Preis der Stadt Frankfurt am Main (1998) und den Glenn T. Seaborg Award for Nuclear Chemistry (2007). Seit 2005 ist er im Ruhestand.

Der Nachweis von extrem geringen Mengen giftiger oder radioaktiver Stoffe ist eine wichtige Aufgabe für die „Physikalische Messtechnik in Medizin und Umweltschutz“. In diesem Bereich wurden der Physiker Prof. Dr. Heinz-Jürgen Kluge und der Chemiker Prof. Dr. Norbert Trautmann, beide von der Universität Mainz, für ihre interdisziplinäre Arbeit „Ein Resonanzionisations-Massenspektrometer als analytisches Instrument für die Spurenanalyse“ mit dem Helmholtz-Preis 1990 geehrt. Das von ihnen entwickelte Gerät vereinte die Vorzüge der Massenspektrometrie und der resonanten Ionisationsanregung von Atomen mittels Laserlicht für den hochempfindlichen element- und isotopenspezifischen Nachweis. So lag die Nachweisgrenze für das radioaktive Isotop Plutonium-239 bei $2 \cdot 10^6$ Atomen, was $8 \cdot 10^{-16}$ Gramm

entspricht. Damit war diese Methode zwei Größenordnungen empfindlicher als die α -Spektroskopie, die das Plutonium-239 durch seinen α -Zerfall nachweist.

Die Arbeit von Kluge und Trautmann beruhte auf der Idee, Atome des nachzuweisenden Elements oder Isotops gezielt in drei aufeinander folgenden Schritten erst anzuregen und dann zu ionisieren, sodass die geladenen Atome anschließend mit einem Massenspektrometer nachgewiesen werden konnten. Die Anregung und Ionisation der Atome erfolgte mit drei gepulsten und durchstimmbaren Farbstofflasern. Da bei den ersten beiden Schritten die Atome resonant angeregt wurden, war die Wahrscheinlichkeit, Störsubstanzen zu ionisieren, sehr klein und lag bei etwa 10^{-10} . Die in Pulsen ionisierten Atome konnten mit einem Flugzeitmassenspektrometer nach einzelnen Isotopen getrennt werden. Das zeigten die beiden Forscher am Beispiel der sieben natürlich vorkommenden Isotope des Gadoliniums, wobei die Massenauflösung $M/\Delta M$ bei 2700 lag. Wurde die resonante Anregung auf ein spezielles Isotop abgestimmt, so ließ sich dieses Isotop selektiv ionisieren und nachweisen, wobei andere Isotope stark unterdrückt wurden, wie das Beispiel von Plutonium belegte. So konnte anhand der Isotopenzusammensetzung des Plutoniums in einer Umweltprobe erkannt werden, ob es sich um Reaktorplutonium oder nuklearen Fallout handelte. Inzwischen hat die Resonanzionisations-Massenspektrometrie vielfältige Anwendungen gefunden als empfindliche Messmethode für Actiniden und andere Elemente, die in Umweltproben oder biologischen Proben enthalten sind oder in Beschleunigern etwa beim CERN hergestellt wurden.

Literatur

- *H.-J. Kluge und N. Trautmann*: Ein Resonanzionisations-Massenspektrometer als analytisches Instrument für die Spurenanalyse. PTB-Mitteilungen **100**, (1990), 251

HELMHOLTZ-PREIS 1990 (Preisverleihung am 19.03.1990)
Dr. Karl-Heinz Overhoff
für die Arbeit „Zum Durchzündverhalten von Tauchsicherungen“

Durchzündende Wirkung

Im Bereich „Physikalische und chemische Sicherheitstechnik“ wurden 1990 zwei Arbeiten mit dem Helmholtz-Preis ausgezeichnet. Die erste war eine Untersuchung zum „Durchzündverhalten von Tauchsicherungen“ von Dr. Karl-Heinz Overhoff, die aus seiner an der TU Dortmund angefertigten Dissertation hervorgegangen war. Eine Tauchsicherung verhindert das Übergreifen einer Flamme von einem explosionsgefährdeten Gasraum auf den Gaszulauf, indem sie das Gas durch eine Wasserschicht leitet. Dabei steigt das Gas in Form einzelner Bläschen zur Wasseroberfläche auf, wird im darüber liegenden Raum gesammelt und weitertransportiert. Tauchsicherungen werden u. a. eingesetzt, um bei der Ableitung explosiver Abgase aus Chemieanlagen und ihrer anschließenden Verbrennung sicherzustellen, dass es nicht zu Rückzündungen in die Produktionsanlagen kommt. Trifft eine Flamme von oben auf die Wasserschicht der Tauchsicherung, so sollen die Wasserwände zwischen den Blasen ein Fortpflanzen der Flamme und ihr Übergreifen auf die Zuleitung verhindern. Bei hoch reaktiven Gasen kann es jedoch schon bei niedrigen Belastungen der Tauchsicherung zum Durchzünden kommen.

Welche Vorgänge zum Durchzünden führen und wie sich die Durchzündsicherheit verbessern lässt, untersuchte Karl-Heinz Overhoff experimentell und durch mathematische Simulation. Zunächst verfolgte er mit einer Hochgeschwindigkeitskamera und einem Druckaufnehmer, wie sich Einzelblasen aus einem brennbaren Gasgemisch nach einer elektrischen Zündung unter Wasser verhielten. Weniger als 0,3 ms nach der Zündung stieg der Druck in der Blase auf etwa 4 bar an, um nach 2 ms unter den Umgebungsdruck zu fallen. Doch nach 2,8 ms schoss der Druck auf 50 bar hoch und führte anschließend mehrere gedämpfte Schwingungen aus. Solche unerwartet hohen Druckspitzen führte Overhoff darauf zurück, dass die Blasen nach ihrer explosionsbedingten Ausdehnung kollabierten und ein ähnliches Verhalten zeigten, wie man es von der Kavitation her kennt. An Reihen von sechs nebeneinander aufsteigenden Blasen konnte Overhoff das Durchzünden studieren. Während der Explosion der ersten Blase bildete sich ein Jet, der die benachbarte zweite Blase durchschlug und dabei so stark von innen komprimierte, dass in ihr die Zündbedingungen überschritten wurden. Daraufhin explodierte auch diese Blase. Anschließend durchschlug der Jet auch die weiteren Blasen, die dann entweder durch die Kompression oder aber durch direkten Blasenkontakt ebenfalls zündeten. Auf diese Weise kann eine auf die Wasseroberfläche einer Tauchsicherung auftreffende Flamme eine Kettenreaktion auslösen, die sich durch die Gasblasen fortpflanzt und zu einem Durchzünden führt. Die Wahrscheinlichkeit, dass es dazu kommt, ließe sich durch Vergrößerung der Blasenabstände verringern, etwa indem die Blasen durch eine erzwungene Strömung im Wasser voneinander getrennt werden. Als weitere Maßnahme schlug Overhoff vor, die bei der Explosion der Blasen freiwerdende Energie so schnell wie möglich zu entziehen, etwa durch Einbau von luftgefüllten Schläuchen, die die Jets der Blasen auf sich lenken und dadurch die Gefahr einer Zündübertragung auf benachbarte Blasen verringern.

Literatur

- *Karl-Heinz Overhoff*: Zum Durchzündverhalten von Tauchsicherungen. PTB-Mitteilungen **100**, (1990), 255



Karl-Heinz Overhoff wurde 1957 in Haltern am See geboren. Er studierte von 1978 bis 1984 Chemieingenieurwesen an der TU Dortmund, wo er 1988 promovierte. Seit 1989 arbeitet er bei der Hüls AG, heute Evonik Industries AG, in Marl, zunächst als Anlageningenieur und ab 2000 als Leiter im Technischen Controlling.

HELMHOLTZ-PREIS 1990 (Preisverleihung am 19.03.1990)**Dr. Bodo Plewinsky****für die Arbeit „Heterogene Detonationen und indirekte Zündvorgänge“**

Heterogene Detonationen



Bodo Plewinsky, 1939 in Potsdam geboren, studierte Chemie an der FU Berlin, wo er 1971 promovierte und 1978 habilitierte. Er blieb der FU Berlin von 1978 bis 2008 als Privatdozent verbunden. 1982 trat er in die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin ein und war wissenschaftlicher Mitarbeiter im Laboratorium „Reaktionen mit Sauerstoff“ der Abteilung „Chemische Sicherheitstechnik“. In dieser Abteilung leitete er von 1986 bis 2002 die Projektgruppe „Explosionsdynamik“. Er wurde 2002 pensioniert.

Die zweite Arbeit, die im Bereich „Physikalische und chemische Sicherheitstechnik“ mit dem Helmholtz-Preis 1990 ausgezeichnet wurde, behandelte „Heterogene Detonationen und indirekte Zündvorgänge“. Sie war von Dr. Bodo Plewinsky von der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM) in Berlin verfasst worden. Heterogene Detonationen laufen in heterogenen Systemen ab, die aus zwei oder mehr Phasen bestehen. Sie treten an Flüssigkeitsfilmen, aber auch an den Oberflächen kompakter Flüssigkeitsschichten, in Aerosolen, in Stäuben oder an einem Docht auf.

Der Anlass für Plewinskys Untersuchungen war ein Unfall im Labor eines deutschen Chemiewerkes. Dort wollte man Tetramethyl-dihydrogen-disiloxan (TMDS), das einen Docht benetzte, in einer kalorimetrischen Bombe in reinem Sauerstoff

bei einem Druck von ca. 40 bar verbrennen. Obwohl für das Gas, das den Docht umgab, eigentlich keine Explosionsgefahr bestand, da die Zusammensetzung der Gasphase oberhalb der oberen Explosionsgrenze lag, kam es beim Zündvorgang zu einer heftigen Detonation in der Bombe, die diese völlig zerstörte. Plewinsky wiederholte das Experiment in abgewandelter Form. Er verfolgte mit einer Hochgeschwindigkeitskamera, die bis zu 24 000 Bilder in der Sekunde aufnahm, wie sich an einem mit TMDS benetzten Baumwolldocht nach der Zündung in reinem Sauerstoff die Flamme ausbreitete und wie es dann zu einer Dochtdetonation kam. Zunächst lief eine kegelförmige Flammenfront mit etwa 1300 Meter/Sekunde den Docht entlang. Doch nach etwa 1/5000 Sekunde griff die Verbrennungsreaktion in den umgebenden Gasraum über, obwohl dessen Zusammensetzung oberhalb der oberen Explosionsgrenze lag, sodass auch in diesem Fall eine homogene Gasdetonation nicht möglich war. Die Ursache des erwähnten Laborunfalls war also eine Dochtdetonation gewesen. Außerdem konnte Plewinsky das Phänomen der indirekten Zündung beobachten. Die Zündung einer Flamme auf einer brennbaren Flüssigkeit ist selbst dann möglich, wenn die Zusammensetzung der Gasphase oberhalb der oberen Explosionsgrenze liegt und wenn der direkte Weg zwischen Zündquelle und Flüssigkeitsoberfläche durch ein Hindernis versperrt wird. Bodo Plewinsky konstatierte damals, dass die systematische Untersuchung der Oberflächendetonation und der indirekten Zündung für die Sicherheitstechnik von Chemieanlagen, in denen z. B. Oxidationen oder Chlorierungen von Kohlenwasserstoffen durchgeführt werden, von großer Bedeutung ist. Später arbeiteten er und seine Mitarbeiter auf dem Gebiet der Oberflächendetonationen. Sie stellten fest, dass sich Oberflächendetonationen nicht durch mechanische Hindernisse verhindern lassen. Außerdem untersuchten sie, wie heterogene Detonationen in Modellschäumen ablaufen und wie Blasen eines gasförmigen Oxidationsmittels in einem organischen Lösungsmittel durch Stoßwellen zur Explosion gebracht werden.

Literatur

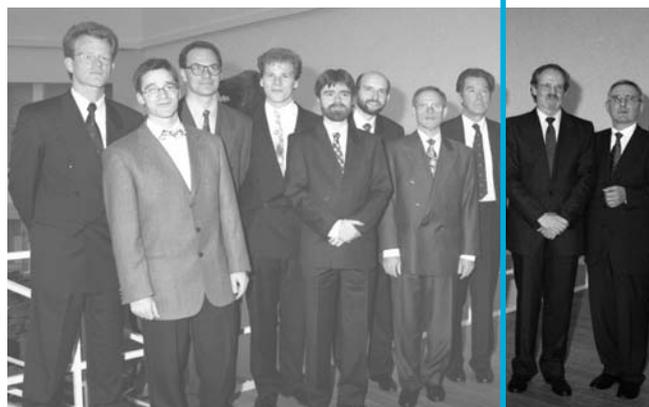
- *B. Plewinsky*: Heterogene Detonationen und indirekte Zündvorgänge. PTB-Mitteilungen **100**, (1990), 266

HELMHOLTZ-PREIS 1993 (Preisverleihung am 15.03.1993)**Dr. Hans Güsten, Prof. Dr. Ulrich Schurath****für die Arbeit „Ein neuartiger Ozonsensor für vielfältige Anwendungen in der Umwelt“**

Ein neuartiger Ozonsensor

Ozon ist ein allgegenwärtiger, wenn auch rarer Bestandteil der Erdatmosphäre. Am Erdboden in reiner Luft enthält jeder Kubikmeter Luft ca. 30 mm³ Ozon, was einem Mischungsverhältnis von 30 ppb (parts per billion) entspricht. Während die direkte Wirkung dieses Gases in höherer Konzentration auf Lebewesen schädlich ist, bildet das stratosphärische Ozon einen lebenswichtigen Schutzschild gegen die gefährliche UV-Strahlung der Sonne. Veränderungen des Ozongehalts in allen Schichten der Atmosphäre sind deshalb von großem Interesse und sollten zuverlässig gemessen werden. Einen hochempfindlichen, kompakten und schnell ansprechenden Ozonsensor entwickelten Dr. Hans Güsten vom Kernforschungszentrum Karlsruhe und Prof. Dr. Ulrich Schurath von der Universität Bonn Anfang der 1990er Jahre. Für ihre Arbeit wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 1993 im Bereich „Physikalische Messtechnik in Medizin und Umweltschutz“ ausgezeichnet.

Der neuartige Sensor nutzte die Chemolumineszenz, die das Ozon in Reaktion mit bestimmten organischen Farbstoffen erzeugt. Dazu wurde die ozonhaltige Luft mittels eines kleinen Ventilators mit hoher Geschwindigkeit in das lichtdicht verschlossene Innere des Sensors gesaugt. Dort strömte die Luft an dem Sensorkopf vorbei, der aus einer 2,5 cm großen mit Silicagel beschichteten Platte bestand, auf welcher der im blauen Spektralbereich emittierende organische Farbstoff Coumarin 47 absorbiert war. Das Ozon generierte mit dem Farbstoff ein schwaches bläuliches Leuchten, die Chemolumineszenz, die von einem Photomultiplier registriert wurde. Der Sensor hatte eine Reihe von günstigen Eigenschaften. Er war kompakt und etwa so groß wie eine Zigarrenkiste, wog weniger als 1 kg und verbrauchte weniger als 20 Watt, wohingegen gängige Ozondetektoren 15 kg wogen und 100 Watt verbrauchten. Außerdem war der Sensor schnell und empfindlich: Seine Ansprechzeit war kürzer als 0,1 s und seine Nachweisgrenze lag unter 0,1 ppb, während übliche Ozonmessgeräte Ansprechzeiten von 20 s und Empfindlichkeiten von 1 ppb aufwiesen. Dadurch ließen sich mit dem neuartigen Sensor schnelle Konzentrationsänderungen zeitlich auflösen, wie sie z. B. bei Ozonmessungen mit einem Flugzeug auftreten. Der Ozonsensor eignete sich auch hervorragend für Vertikalsondierungen in der Erdatmosphäre, bei denen man einen Sensor z. B. mit einem Ballon aufsteigen und, nach dem Platzen des Ballons in der Stratosphäre in 40 km Höhe, an einem Fallschirm herabschweben lässt. Die beim Auf- und Abstieg aufgezeichneten Ozonprofile sind nahezu identisch. Doch auch zur Überwachung der Ozonkonzentration in der Biosphäre oder am Arbeitsplatz eignete sich der Sensor. So wurden mit ihm kontinuierlich die vertikalen Ozonflüsse in ein Sonnenblumenfeld gemessen oder die schnellen Ozonkonzentrationsänderungen im Arbeitsfeld eines Schweißers überwacht. Der Ozonsensor von Güsten und Schurath wurde kommerziell verwertet und von anderen Forschungsinstituten nachgebaut und weiterentwickelt.



Hans Güsten (li.), geboren 1931 in Den Haag, studierte von 1953 bis 1959 Chemie in Mainz, ging nach dem Diplom 1960 an die Universität Karlsruhe und promovierte 1964. Von 1965 bis 1968 leitete er im Institut für Strahlenchemie des Kernforschungszentrums Karlsruhe die photochemische Arbeitsgruppe. Von 1968 bis 1970 war er in Palo Alto am Synvar Research Institute und an der Stanford University tätig. Ab 1971 leitete er am Kernforschungszentrum eine Arbeitsgruppe für nicht-nukleare Umweltforschung in Luft und Wasser. In dieser Zeit begann seine Zusammenarbeit mit Ulrich Schurath von der Universität Bonn. 1996 wurde er pensioniert, leitete aber bis 1998 Arbeiten in der Atmosphärenchemie.

Ulrich Schurath (re.), 1939 in Sofia geboren, studierte Chemie an der Universität Bonn, wo er 1969 promovierte. Danach erforschte er an der „Großen Bonner Kugel“ Gasreaktionen bei extrem niedrigen Drucken. Er habilitierte 1977 für das Fach Physikalische Chemie und wurde 1978 in Bonn auf eine Professur berufen. Seine Arbeitsgruppe erforschte physikalisch-chemische Prozesse in der Atmosphäre und führte quantenchemische und spektroskopische Untersuchungen durch. 1995 wurde er an die Universität Heidelberg und ans Institut für Meteorologie und Klimaforschung des Forschungszentrums Karlsruhe berufen. 2006 trat er in den Ruhestand.

Literatur

- *Hans Güsten, Ulrich Schurath*: Ein neuartiger Ozonsensor für vielfältige Anwendungen in der Umwelt. PTB-Mitteilungen **103**, (1993), 324

HELMHOLTZ-PREIS 1993 (Preisverleihung am 15.03.1993)**Dipl.-Phys. Thomas Andreae, Dipl.-Phys. Wolfgang König, Dipl.-Phys. Dietrich Leibfried,****Dr. Ferdinand Schmidt-Kaler, Dr. Robert Wynands****für die Arbeit „Absolute Frequenzmessung des 1S-2S-Übergangs in atomarem Wasserstoff und ein neuer Wert für die Rydberg-Konstante“**

Sehr genaue Frequenzmessung am Wasserstoff



(v. l. n. r.) **Thomas Andreae**, 1961 in Rüsselsheim geboren, studierte Physik an der TH Darmstadt und an der LMU in München, wo er 1993 bei Theodor Hänsch promovierte. Er arbeitet bei Philips Healthcare auf dem Gebiet der Medizintechnik.

Dietrich Leibfried, 1965 in Stuttgart geboren, studiert Physik an der LMU München und promovierte 1995 bei T. Hänsch. Seit 2001 arbeitet er am NIST in Boulder (USA), wo er seither die Quanteninformationsverarbeitung mit gefangenen Ionen erforscht.

Wolfgang König promovierte ebenfalls 1993 bei T. Hänsch. Seit 1996 arbeitet er beim Europäischen Patentamt in München auf dem Gebiet „Computer-Implemented Inventions“.

Ferdinand Schmidt-Kaler wurde 1962 in Bonn geboren. Er studierte Physik in Bochum und Bonn sowie an der TU München. 1992 promovierte er bei T. Hänsch und war anschließend bis 1995 Postdoktorand bei Serge Haroche in Paris. Ab 2005 war er Professor für Experimentalphysik in Ulm, 2010 wurde er nach Mainz berufen.

Robert Wynands, 1962 in Aachen geboren, hat in Aachen und am Caltech Physik studiert. Er promovierte 1993 an der LMU München bei T. Hänsch. 1998 habilitierte er sich in Bonn und ging 2003 nach Forschungsaufenthalten u. a. am NIST zur PTB Braunschweig, wo er von 2004 bis 2009 die Arbeitsgruppe „Zeitnormale“ leitete. Seither ist er Leiter des Präsidialen Stabes und seit 2012 auch Koordinator für den Helmholtz-Preis.

Von allen Atomen hat das Wasserstoffatom den einfachsten Aufbau, da es nur aus einem Proton und einem Elektron besteht. Dadurch ist es im Rahmen der Quantenelektrodynamik möglich, die atomaren Anregungsfrequenzen des Wasserstoffs mit sehr hoher Genauigkeit zu berechnen. Ein Vergleich der theoretischen Resultate mit den Ergebnissen von Präzisionsmessungen gestattet es, einerseits die Theorie zu überprüfen und andererseits Naturkonstanten wie die Rydberg-Konstante mit großer Präzision zu bestimmen. Solch eine grundlegende Präzisionsmessung hatten die Diplomphysiker Thomas Andreae, Wolfgang König und Dietrich Leibfried sowie Dr. Ferdinand Schmidt-Kaler und Dr. Robert Wynands am Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching durchgeführt. Für ihre Arbeit erhielten sie den

Helmholtz-Preis 1993 im Bereich „Präzisionsmessung physikalischer Größen“.

Die fünf Wissenschaftler aus einer Arbeitsgruppe von Theodor Hänsch maßen die Frequenz f_{1S-2S} des Übergangs vom Grundzustand 1S in den metastabilen Zustand 2S. Diese bei 2466 THz liegende Frequenz lässt sich sehr genau bestimmen, da die natürliche Linienbreite des Übergangs nur 1,3 Hz beträgt. Die Messung erfolgte in drei Schritten. Zuerst wurde der 1S-2S-Übergang mit Hilfe eines frequenzverdoppelten abstimmbaren Farbstofflasers durch Zweiphotonenanregung induziert. Dann wurde der Übergang nachgewiesen, indem man dem metastabilen 2S-Zustand mit Hilfe eines schwachen elektrischen Feldes den kurzlebigen 2P-Zustand beimischte und die spontane Emission der Resonanzlinie beobachtete. Schließlich wurde die Übergangsfrequenz indirekt mit der eines Cäsium-Standards verglichen. Dazu machten sich die Forscher zunutze, dass die Frequenz f eines methanstabilisierten Helium-Neon-Lasers und die Frequenz f_{1S-2S} ungefähr im Verhältnis 1 : 28 stehen. Zur Messung von f_{1S-2S} wurde über eine Frequenzkette die siebte Harmonische $7f$ erzeugt. Sie wurde anschließend über einen Referenzresonator mit der Frequenz $f_L = 7f - \Delta f$ des Farbstofflasers verglichen, der nach Frequenzverdopplung den 1S-2S-Übergang durch einen Zweiphotonenprozess resonant anregte: $f_{1S-2S} = 28f - 4\Delta f$. Durch Auszählen von Δf wurde schließlich die gesuchte Frequenz f_{1S-2S} ermittelt: $f_{1S-2S} = 2\,466\,061\,413,182(45)$ MHz mit einer relativen Unsicherheit von $1,8 \cdot 10^{-11}$, die 18-mal kleiner war als die Unsicherheit früherer Messungen. Mit Hilfe der Theorie lassen sich aus dieser Übergangsfrequenz auch andere Anregungsfrequenzen des Wasserstoffatoms mit vergleichbarer Präzision angeben und als sekundäre Frequenzstandards festlegen. Außerdem konnten die Preisträger einen verbesserten Wert für die Rydberg-Konstante ermitteln: $R_\infty = 109\,737,315\,684\,1(42)$ cm⁻¹. Im Jahr 2011 haben Forscher um Theodor Hänsch die Frequenz des 1S-2S-Übergang mit einer relativen Unsicherheit von $4,2 \cdot 10^{-15}$ gemessen, wobei sie die inzwischen entwickelten Frequenzkämme nutzen konnten.

Literatur

- *Thomas Andreae et al.*: Absolute Frequenzmessung des 1S-2S-Übergangs in atomarem Wasserstoff und ein neuer Wert für die Rydberg-Konstante. PTB-Mitteilungen **103**, (1993), 315
- *T. Andreae et al.*: Absolute Frequency Measurement of the Hydrogen 1S-2S Transition and a New Value of the Rydberg Constant. Phys. Rev. Lett. **69**, (1992), 1923

HELMHOLTZ-PREIS 1993 (Preisverleihung am 15.03.1993)**Dr. Ulrich von Pidoll, Dr. Helmut Krämer****für die Arbeit „Die Mindestzündenergie von Pulverlacken für die elektrostatische Pulverbeschichtung“**

Mindestzündenergie von Pulverlacken

Das lösungsmittelfreie Lackieren mit Pulverlacken wird wegen seiner Wirtschaftlichkeit und seiner hervorragenden Lackierergebnisse vielfältig eingesetzt, u. a. in der Haushaltsgerätfertigung und in der Automobilproduktion. Bei diesem Verfahren wird ein Gemisch aus Luft und Lackpartikeln, die durch eine Hochspannung elektrisch aufgeladen werden, von einem elektrostatischen Feld auf das zu lackierende Werkstück gelenkt. Das beschichtete Werkstück wird anschließend in einem Ofen erhitzt, so dass die Pulverteilchen schmelzen und eine gleichmäßige Lackschicht bilden. Wenn das leicht entzündliche Pulverlack-Luft-Gemisch in der Sprühpistole die Hochspannungselektrode passiert, muss sichergestellt sein, dass eventuell auftretende elektrische Entladungen von der Elektrode keine Explosion auslösen. Früher erfolgte dies durch eine Zündprüfung der Sprühpistole in einem explosionsfähigen Methan-Luftgemisch, heute wird die Entladeenergie weltweit nach einem Vorschlag von Ulrich von Pidoll mit einer speziellen Elektrode, die an ein Oszilloskop angeschlossen ist, rein elektrisch bestimmt. Die Betriebssicherheit der Sprühpistole ist gewährleistet, wenn deren maximal mögliche Entladeenergie niedriger ist als die Mindestzündenergie aller in der Praxis verwendeten Pulverlacke. Hierzu bestimmten Dr. Ulrich von Pidoll und Dr. Helmut Krämer von der PTB die Mindestzündenergie einer großen Zahl von unterschiedlichen Pulverlacken und untersuchten systematisch, von welchen physikalischen und chemischen Eigenschaften der Pulverlacke sie abhing. Sie konnten eine allgemeingültige Formel entwickeln, mit der sich die Mindestzündenergie von Pulverlacken hinreichend genau berechnen lässt. Für diese Arbeit wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 1993 im Bereich „Physikalische und Chemische Sicherheitstechnik“ ausgezeichnet.

Bei den Experimenten wurde das zu untersuchende Pulver unter einem Druck von 20 bar mit Luft durch eine Ringdüse in ein zuvor evakuiertes Zündgefäß eingeblasen. In diesem explosionsdruckfesten Kugelgefäß bildete sich eine gleichmäßig verteilte Pulverwolke. Danach wurde mit einer Drei-Elektroden-Funkenstrecke im Zündgefäß ein Zündfunke von variabler Energie erzeugt und der Minimalwert der Funkenenergie gemessen, der gerade noch ausreichte, das Pulver-Luft-Gemisch zu entzünden. Die gemessene Mindestzündenergie eines Pulverlackes war beispielsweise umso kleiner, je größer die Gesamtoberfläche war. Ein Pulverlack aus kleinen Partikeln ließ sich also leichter zünden als ein Pulverlack aus größeren Teilchen. Auch spielten die chemische Zusammensetzung und der Anteil nichtbrennbarer Stoffe eine große Rolle. Der absolut niedrigste Wert für die Mindestzündenergie wurde für superfeine Epoxid-Klarlacke gemessen und betrug 1,7 mJ. Die beiden Forscher schlugen vor, diesen Minimalwert bei der Zündprüfung von Sprüheräten für die Pulverlackierung zugrunde zu legen. Sowohl dieser Wert als auch die erwähnte Formel wurden inzwischen in europäische Normen übernommen.



Ulrich von Pidoll (li.) wurde 1956 in Köln geboren. Von 1975 bis 1980 studierte er physikalische Chemie an der TU Darmstadt, wo er 1984 promovierte. Von 1985 bis 1990 arbeitete er bei der Feldmühle AG. Anschließend ging er zur PTB Braunschweig und ist seither in der Arbeitsgruppe „Physikalische Zündvorgänge“ tätig. Seine Arbeit hat zur Aufstellung von zahlreichen deutschen, europäischen und internationalen Normen im Bereich der Sicherheit beigetragen.

Helmut Krämer (re.), 1937 in Hamm in Westfalen geboren, studierte von 1958 bis 1963 Physik in Göttingen. Anschließend ging er an die TH Darmstadt, wo er 1966 am Lehrstuhl für Elektrochemie promovierte. Nach Tätigkeiten am Chemical Department der University of Aberdeen (1966-67) und als Gymnasiallehrer in Hamm (1967-70) kam er 1970 zur PTB Braunschweig. Hier leitete er die Fachlaboratorien „Brennbare Flüssigkeiten“ (1980-86) und „Physikalische Zündvorgänge“ (1986-89). Von 1989 bis 1998 war er Direktor der Fachgruppe „Grundlagen der physikalischen Sicherheitstechnik“. Er ist 1998 verstorben.

Literatur

- U. von Pidoll, H. Krämer: Die Mindestzündenergie von Pulverlacken für die elektrostatische Pulverbeschichtung. PTB-Mitteilungen **103**, (1993), 329

HELMHOLTZ-PREIS 1996 (Preisverleihung am 15.04.1996)**Dipl.-Ing. Werner Hemmert****für die Arbeit „Dreidimensionale Schwingungsmessungen im Innenohr: Aufklärung der Frequenzselektivität des Gehörs“**

Schwingungen im Innenohr dreidimensional gemessen



Werner Hemmert wurde 1964 in Moosburg an der Isar geboren. Er studierte Elektrotechnik und Informationstechnik an der TU München. Von 1991 bis 1998 war er am Hörforschungszentrum der Universität Tübingen tätig und untersuchte die Mikromechanik des Innenohres. Für die dort durchgeführten Forschungsarbeiten wurde er 1997 an der Ruhr-Universität Bochum promoviert. Anschließend forschte er am MIT (1998-2000), bei IBM in Rüschlikon (2000-2001) und bei Infineon (2001-2007). Im Jahr 2007 wurde er auf eine Professur für „Bioanaloge Informationsverarbeitung“ an die TU München berufen.

Literatur

- *Werner Hemmert: Dreidimensionale Schwingungsmessungen im Innenohr: Aufklärung der Frequenzselektivität des Gehörs. PTB-Mitteilungen* **107**, (1997), 12
- *Werner Hemmert et al.: Three dimensional motion of the organ of Corti. Biophys. J.* **78**, (2000), 2285

Bei der Schallverarbeitung im Innenohr treten komplexe Vorgänge auf. Die vom Trommelfell aufgenommenen Schallschwingungen lösen in der Hörschnecke oder Cochlea eine Wanderwelle aus, die im Corti-Organ von motorischen Sinneszellen mit scharfer Frequenzabstimmung verstärkt wird. Diese Sinneszellen, die sogenannten äußeren Haarsinneszellen, sind im Innenohr zwischen zwei schwingende Membranen eingebettet, der Basilarmembran und der Tektorialmembran. Die Verstärkung beruht auf der einzigartigen Eigenschaft dieser Zellen, in Reaktion auf die Wanderwelle ihre Länge schnell verändern zu können. Das auf diese Weise für einen bestimmten Frequenzbereich lokal verstärkte Signal wird dann von den benachbarten inneren Haarsinneszellen aufgenommen und an der Synapse in Nervenimpulse

umgewandelt, die zum Gehirn geleitet werden. Wie sich das schwingende System aus Tektorialmembran und äußeren Haarsinneszellen bewegt, untersuchte Dipl.-Ing. Werner Hemmert von der Universität Tübingen mit Hilfe einer von ihm entwickelten Messapparatur, welche die schallinduzierten Schwingungen in drei Dimensionen optisch erfasste. Für seine Arbeit, die im Rahmen seiner Dissertation entstand, wurde er mit dem Helmholtz-Preis 1996 im Bereich „Physikalische Messtechnik in Medizin und Umweltschutz“ ausgezeichnet.

Die dreidimensionale Schwingungsmessung wurde unter einem Mikroskop mit Hilfe eines Laser-Doppler-Velozimeters und eines Photodiodensystems durchgeführt. Während mit dem Laserstrahl des Velozimeters die transversale Schwingungskomponente längs der optischen Achse des Mikroskops erfasst wurde, war die Photodiode für radiale Bewegungen senkrecht zum Laserstrahl empfindlich. Um die Empfindlichkeit der Diodenmessungen zu erhöhen, wurden Mikrokugeln aus Polystyrol auf das zu beobachtende Objekt aufgetragen. Hemmert präparierte die Cochlea eines Meerschweinchens so, dass das Corti-Organ mit den sensorischen Zellen und der Tektorialmembran optisch zugänglich waren. Die Schallstimulation in einem Frequenzbereich von 50 Hz bis 2 kHz erfolgte mit einem Lautsprecher über einen Schlauch durch das noch intakte Mittelohr. Wie die Mikromechanik der Cochlea funktioniert, zeigten die zweidimensionalen Messungen der transversalen Bewegung und der radialen Bewegungskomponente der Tektorialmembran. Die Bewegungsantwort der Basilarmembran zeigte im tieffrequenten Hörbereich des Meerschweinchens ein absolutes Maximum bei der „Bestfrequenz“ von 735 Hz. Die radiale Komponente hingegen zeigte eine ausgeprägte Resonanz bei 470 Hz. Dieses Verhalten beruht auf der komplexen Mikromechanik des Corti-Organes. So wird die Resonanz bei 470 Hz hervorgerufen durch die Masse der Tektorialmembran und die Steifigkeit der Stereozilien der äußeren Haarsinneszellen. Auf Grund seiner Messungen vermutete Hemmert, dass die massekontrollierte Schwingung der Tektorialmembran die richtigen Phasenbedingungen liefert, sodass die Kontraktion der äußeren Haarsinneszellen im Bereich unterhalb der Bestfrequenz Energie in die durch die Cochlea laufende Wanderwelle einkoppelt und sie dadurch verstärkt. Darüber hinaus eröffnete die von Hemmert eingeführte Technik neue Möglichkeiten, Funktionsstörungen des schwerhörigen Ohres, die z. B. bei einer Lärmschwerhörigkeit auftreten, besser zu verstehen.

HELMHOLTZ-PREIS 1996 (Preisverleihung am 15.04.1996)**Dr. Eckhard Krüger, Dr. Wolfgang Nistler, Dr. Winfried Weirauch****für die Arbeit „Bestimmung der Feinstrukturkonstanten durch Messung des Quotienten aus Planck-Konstante und Neutronenmasse“**

Feinstrukturkonstante neutronisch gemessen

Die Feinstrukturkonstante α bestimmt die Stärke der elektromagnetischen Wechselwirkung. Man hat die Größe dieser wichtigen Naturkonstante auf verschiedene Weise ermittelt: anhand der Hyperfeinstruktur myonischer Atome, durch Messung des magnetischen Moments des Protons oder des Elektrons sowie über den Quanten-Hall-Effekt. Auf gänzlich andere Weise ermittelten Dr. Eckhard Krüger, Dr. Wolfgang Nistler und Dr. Winfried Weirauch die Feinstrukturkonstante, indem sie an Neutronen Geschwindigkeitsmessungen durchführten. Die drei an der PTB beschäftigten Physiker wurden für ihre Arbeit mit dem Helmholtz-Preis 1996 im Bereich „Präzisionsmessung physikalischer Größen“ ausgezeichnet.

Die Feinstrukturkonstante $\alpha = e^2/(2\epsilon_0 hc)$ steht in einer einfachen Beziehung zur Elektronenmasse m_e und zur Rydberg-Konstanten R_∞ (die man aus Messungen von Atomspektren sehr genau kennt): $\alpha^2 = 2hR_\infty/(m_e c)$. Misst man in einem Experiment sowohl die Wellenlänge λ als auch die Geschwindigkeit v von Neutronen, so erhält man daraus nach der de Broglie-Beziehung: $h/m_n = \lambda v$. Da auch der Quotient von Neutronen- und Elektronenmasse $Q = m_n/m_e$ sehr genau bekannt ist, lässt sich α somit durch Präzisionsmessungen von λ und v sehr genau ermitteln: $\alpha^2 = (2R_\infty Q/c) \cdot (h/m_n)$. Eckhard Krüger und seine Kollegen maßen am Hochflussreaktor des Instituts Laue-Langevin in Grenoble die Wellenlänge und die Geschwindigkeit von Neutronen und bestimmten daraus den Quotient h/m_n mit einer relativen Unsicherheit von $7,7 \cdot 10^{-8}$. Ihr Experiment wandelte Fizeaus klassischen Versuch zur Messung der Lichtgeschwindigkeit ab, bei dem ein Lichtstrahl ein mit der Frequenz f rotierendes Zahnrad passiert, von einem weit entfernten Spiegel reflektiert wird und das Zahnrad erneut durchquert. Ändert man kontinuierlich den Abstand zwischen Zahnrad und Spiegel, so variiert die Helligkeit des zurückkommenden Lichts. Wenn der Spiegel zwischen zwei Helligkeitsmaxima um ΔL verschoben wurde, so beträgt die Lichtgeschwindigkeit $v = 2f\Delta L$. Die drei Forscher ließen spinpolarisierte Neutronen eine spezielle Magnetspule anstelle eines Zahnrades passieren, die die Spinrichtung der Neutronen mit einer Frequenz $f = 750$ kHz periodisch veränderte. Die Neutronen trafen auf einen Siliziumkristall, der durch Bragg-Reflexion nur solche Neutronen zurückwarf, die eine bestimmte, sehr genau bekannte Wellenlänge λ von etwa 0,25 nm hatten. Diese Neutronen passierten die Spule erneut und trafen auf einen Heuslerschen Kristall, der die Neutronen je nach ihrer Spinrichtung unterschiedlich gut reflektierte. Schließlich maß ein Detektor die Intensität des reflektierten Neutronenstrahls. Diese Intensität änderte sich periodisch, wenn der Abstand zwischen der Spule und dem Siliziumkristall verändert wurde. Die Abstandsdifferenz ΔL für aufeinanderfolgende Intensitätsminima maßen die Forscher durch Laserinterferometrie. Nach Fizeaus Formel erhielten sie die Geschwindigkeit v der Neutronen. Aus λ und v berechneten sie h/m_n und daraus schließlich die Feinstrukturkonstante α . Sie erhielten den reziproken Wert $1/\alpha = 137,036\ 010\ 8$, der eine relative Unsicherheit von $3,9 \cdot 10^{-8}$ hatte, was mit den Unsicherheiten der auf andere Weise ermittelten damaligen Werte für $1/\alpha$ vergleichbar war. Das Experiment wurde 1996 abgeschlossen, da eine wesentliche Verkleinerung der Messunsicherheit mit dieser Messmethode nicht möglich war. Der heute anerkannte Wert für $1/\alpha$ ist 137,035 999 11 mit einer Unsicherheit von $3,3 \cdot 10^{-9}$.



(v. l. n. r.) **Eckhard Krüger**, geboren 1934 in Preußisch Friedland, studierte Physik in Kiel, London und Freiburg i. Br., wo er 1966 promovierte. Anschließend ging er zur PTB Braunschweig. 1996 trat er in den Ruhestand, 1999 verstarb er.

Winfried Weirauch, 1931 in Aachen geboren, studierte Physik in Aachen und in Göttingen, wo er 1964 promoviert wurde. Er war bis 1969 an der Universität Göttingen und ging anschließend zur PTB Braunschweig. Seit 1996 ist er im Ruhestand.

Wolfgang Nistler, geboren 1940 in Tirschenreuth, studierte von 1960 bis 1966 Physik an der TU München und promovierte dort 1972. Am Garching Reaktor der TU München führte er bis 1975 Experimente mit thermischen Neutronen durch. Danach kam er zur PTB Braunschweig an das Labor für Neutronenbeugung, in dem Krüger und Weirauch arbeiteten. Das Neutronenexperiment lief zu dieser Zeit schon am Reaktor der PTB, allerdings noch nicht mit der erfolgreichen Methode. Nach 1996 widmete sich Wolfgang Nistler anderen Problemen der Neutronenphysik. 2003 wurde er pensioniert.

Literatur

- *Eckhard Krüger et al.*: Bestimmung der Feinstrukturkonstanten durch Messung des Quotienten aus Planck-Konstante und Neutronenmasse. PTB-Mitteilungen **106**, (1996), 393
- *Wolfgang Nistler, Winfried Weirauch*: Mit Neutronen zur Feinstrukturkonstanten. Physik in unserer Zeit **33**, (2002), 10

HELMHOLTZ-PREIS 1996 (Preisverleihung am 15.04.1996)

Dipl.-Ing. Aymeric Derville, Dr. Christian Willert, Dr. Markus Raffel, Dr. Jürgen Kompenhans
für die Arbeit „On the development of a digital evaluation system for three-dimensional particle image velocimetry“

Schnelle dreidimensionale Strömungsmessung



(v. l. n. r.) **Aymeric Derville** war Praktikant am DLR-Institut für Strömungsmechanik in Göttingen im Rahmen des IAESTE (International Association for the Exchange of Students for Technical Experience) Programms.

Christian Willert, geboren 1964 in Mayen in der Eifel, studierte von 1987 bis 1992 Ingenieurwissenschaften an der University of California in San Diego, wo er 1992 promovierte. Von 1994 bis 1997 arbeitete er am DLR-Institut für Strömungsmechanik in Göttingen. 1998 wurde er Projektleiter am DLR-Institut für Antriebstechnik in Köln. Seit 2007 ist er dort Leiter der Abteilung „Triebwerksmesstechnik“.

Markus Raffel, 1962 in Göttingen geboren, studierte Maschinenbau in Clausthal und Karlsruhe bevor er 1991 zum DLR-Institut für Strömungsmechanik nach Göttingen ging. Er promovierte 1993 an der Universität Hannover und habilitierte 2001 an der TU Clausthal. Nach einer gemeinsamen Berufung des DLR mit der Universität Hannover 2007 leitet er heute die Organisationseinheit „Hubschrauber“ am DLR-Institut für Aerodynamik und Strömungstechnik in Göttingen.

Jürgen Kompenhans (nicht im Bild) wurde 1946 in Eschwege geboren. Er studierte Physik in Göttingen und wurde dort 1976 promoviert. 1977 ging er an das DLR-Institut für Strömungsmechanik in Göttingen, wo er ab 1985 die PIV-Gruppe und von 2002 bis 2011 die Abteilung „Experimentelle Verfahren“ leitete. Seit 2011 ist er im Ruhestand.

Geschwindigkeitsfelder in strömenden Gasen oder Flüssigkeiten lassen sich schnell und automatisiert bestimmen, indem man in kurzem zeitlichem Abstand aufgenommene Bilder von Tracerteilchen mit dem Computer auswertet. Die Anwendungen dieses als „Particle Image Velocimetry“ (PIV) bezeichnete Verfahren reichen von der Aerodynamik über die Biologie, die Erforschung der Turbulenz in Flüssigkeiten und die Untersuchung von Verbrennungsvorgängen, bis zur Mikrofluidik. Anfangs ließen sich mit PIV nur die beiden Geschwindigkeitskomponenten ermitteln, die in einem zweidimensionalen Lichtschnitt lagen, der zweimal hintereinander zur Beleuchtung der Tracerteilchen erzeugt wurde. Anhand einer zusätzlichen Aufnahme der Teilchen, die sich in einem zum ersten Lichtschnitt parallelen zweiten Lichtschnitt befanden, konnte man

mit einem neu entwickelten Auswertungssystem auch die dritte Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu den Lichtschnittebenen bestimmen. Diese Doppelebenen-PIV entwickelten Dipl.-Ing. Aymeric Derville, Dr. Christian Willert, Dr. Markus Raffel und Dr. Jürgen Kompenhans von der damaligen Deutschen Forschungsanstalt (heute Zentrum) für Luft- und Raumfahrt (DLR) in Göttingen. Für ihre Arbeit erhielten sie den Helmholtz-Preis 1996 im Bereich „Informatik und Mathematik in der Messtechnik“.

Die Information über die Teilchengeschwindigkeiten, die in zwei aufeinanderfolgenden Aufnahmen enthalten war, gewannen die Forscher, indem sie untersuchten, wie sich die beiden Bilder durch relative Verschiebung lokal am besten zur Deckung bringen ließen. Dazu berechneten sie für verschiedene Verschiebungsvektoren die lokale Korrelation der Helligkeitsverteilungen in den beiden Bildern. Aus dem Maximum der Korrelation erhielten sie den Verschiebungsvektor, aus diesem und aus dem Zeitabstand zwischen den beiden Bildern die lokale Teilchengeschwindigkeit. Waren die Bilder für denselben Lichtschnitt aufgenommen worden, so ließen sich die beiden Geschwindigkeitskomponenten in der Schnittebene ermitteln. Aus den Bildern für parallele Lichtschnitte ergab sich die Geschwindigkeitskomponente senkrecht zu den Schnittebenen. Die Forscher prüften die Zuverlässigkeit ihres Verfahrens, indem sie durch Monte-Carlo-Simulation künstliche Teilchenbilder für ein bekanntes Strömungsfeld erzeugten und anschließend aus den Bildern das Strömungsfeld näherungsweise berechneten. Dann werteten sie mit ihrem Verfahren experimentelle Daten aus. Dazu hatten sie silberüberzogene Glaskugeln von 10 µm Durchmesser in einen mit Glycerin gefüllten Glaszylinder gegeben. Da sich der Deckel des Zylinders drehte, bewegten sich die Kugeln mit dem Glycerin, was von einer CCD-Kamera aufgezeichnet wurde. Mit einem Laserstrahl erzeugten die Forscher einen etwa 2 mm dicken Lichtschnitt durch den Zylinder. Anhand der Bilder von den Lichtschnitten konnten die Forscher die Radial-, Axial- und Azimutalgeschwindigkeit an beliebigen Punkten in der Schnittebene bestimmen. Das PIV-Verfahren hat sich inzwischen durchgesetzt als meistgenutzte optische Messtechnik für die Strömungsgeschwindigkeitsmessung in einer Ebene oder in einem Volumen, woran die Preisträger wesentlichen Anteil hatten.

Literatur

- *Aymeric Derville et al.*: On the development of a digital evaluation system for three-dimensional particle image velocimetry. PTB-Mitteilungen **107**, (1997), 19
- *M. Raffel et al.*: Particle Image Velocimetry. A Practical Guide. Berlin: Springer Verlag (2007)

HELMHOLTZ-PREIS 1999 (Preisverleihung am 27.03.1999)**Dipl.-Phys. Uwe Titt, Dr. Volker Dangendorf, Dr. Helmut Schuhmacher****für die Arbeit „Messung und Visualisierung der mikroskopischen Ionisationsverteilung von schnellen geladenen Teilchen in Materie“**

Wie ionisierende Strahlen wirken

Die Wirkung ionisierender radioaktiver Strahlen auf biologisches Gewebe ist von großem medizinischem und öffentlichem Interesse. Wie die Strahlung wirkt, hängt nicht nur von der Energiemenge ab, die sie an das Gewebe abgibt, sondern auch von den Details der Energieübertragung, also der Reaktion der geladenen Teilchen mit den Zellen und Zellstrukturen. Die im Strahlenschutz benutzten Größen wie die „Körperdosis“ dienen nur als grobe Abschätzung für die Strahlenwirkung, für die es keine direkten Messverfahren gibt. Verbesserte Möglichkeiten für die Erforschung der Strahlenwirkung auf Materie und für Anwendungen im Strahlenschutz eröffnete ein neuartiges Messinstrument, das Dipl.-Phys. Uwe Titt, Dr. Volker Dangendorf und Dr. Helmut Schuhmacher von der PTB entwickelt hatten. Mit diesem Gerät konnten sie die Ionisationsspuren, die geladene Teilchen in einem Gas hinterließen, dreidimensional abbilden und analysieren. Für ihre Arbeit erhielten die drei Wissenschaftler den Helmholtz-Preis 1999 für den Bereich „Messtechnik in Medizin und Umweltschutz“.

Bei dem Instrument handelte es sich um eine Spurendriftkammer, die optisch ausgelesen wurde. Die Strahlung drang in eine zylindrische Messkammer, die mit gasförmigem Triethylamin gefüllt war. Durchquerte ein energiereiches geladenes Teilchen den Gasraum, so hinterließ es eine Ionisationsspur. Die dort erzeugten freien Elektronen drifteten zu einem Anodengitter, hinter dem weitere gitterförmige Elektroden lagen. Diese beschleunigten die einzelnen Elektronen, so dass sie im Gas durch Stoßionisation Ladungslawinen auslösten, anhand deren sich die einzelnen Elektronen nachweisen ließen. Zudem regten die Ladungslawinen das Füllgas zu UV-Strahlung an, die den Messzylinder durch ein Quarzfenster verlassen konnte. Über einen Bildverstärker gewann eine CCD-Kamera aus dieser UV-Strahlung ein zweidimensionales Bild der Ionisationsspur. Wurde mit einer Anordnung von Photovervielfachern die zeitliche Entwicklung des Lichtsignals gemessen, so bekam das Bild der Ionisationsspur räumliche Tiefe und wurde dreidimensional. Auf diese Weise untersuchten die Forscher die Ionisationsspuren von Protonen, Deuteronen, Alpha-Teilchen und verschiedenen schwereren Ionen bei unterschiedlichen Einschussenergien. Leichte Teilchen wie Deuteronen und Alpha-Teilchen ließen sich bei niedrigen Energien anhand der Breite ihrer Spur unterscheiden. Die räumliche Auflösung der Ionisationsspuren war durch die Unsicherheit der Ortsbestimmung in Driftrichtung begrenzt, die etwa 2,7 mm betrug. Dies entspräche in dem dichteren biologischen Gewebe, das eine ähnliche atomare Zusammensetzung hat wie Triethylamin, einer Auflösung von 112 nm. Damit ließen sich die über die Ionisation des Gases gewonnenen Informationen auf biologische Strukturen übertragen. Davon versprach man sich ein besseres Verständnis der Strahlenwirkung auf biologisches Gewebe und Verbesserungen im Bereich des Strahlenschutzes und der Strahlentherapie. Später wurde das Verfahren, mit einer etwa dreifach höheren räumlichen Auflösung, bei Untersuchungen im Rahmen der Strahlentherapie mit Kohlenstoffionen eingesetzt, die am Helmholtz-Zentrum für Schwerionenforschung (GSI) in Darmstadt entwickelt wurde.



(v.l.n.r.) **Volker Dangendorf**, 1958 in Siegen geboren, studierte Physik in Siegen und Frankfurt. Nach einem Forschungsaufenthalt am Weizmann Institut in Israel wurde er 1990 in Frankfurt promoviert. 1991 kam er zur PTB Braunschweig, wo er im Bereich „Detektorentwicklung und Neutronenphysik“ arbeitet. **Helmut Schuhmacher**, 1950 in Heidelberg geboren, studierte Physik in Heidelberg und wurde 1981 am Institut für Biophysik der Universität des Saarlandes promoviert. Er kam 1986 zur PTB Braunschweig. Von 1997 bis 2003 leitete er das Labor „Neutronendosimetrie“. Seither ist er Leiter des Fachbereichs „Neutronenstrahlung“. **Uwe Titt** studierte Physik in Frankfurt und schloss sein Studium 1994 mit dem Diplom ab. Er war von 1994 bis 1997 als Doktorand in der PTB Braunschweig beschäftigt. 1999 promovierte er an der Universität Frankfurt. Jetzt hat er eine Professur am Department of Radiation Physics der University of Texas in Houston.

Literatur

- U. Titt, V. Dangendorf, H. Schuhmacher: Messung und Visualisierung der mikroskopischen Ionisationsverteilung von schnellen geladenen Teilchen in Materie. (Unveröffentlicht, 1999)
- U. Titt et al.: Development and application of an optical TPC for charged particle track structure imaging in microdosimetry. Nucl. Instrum. Meth. A 477, (2002), 536

HELMHOLTZ-PREIS 1999 (Preisverleihung am 27.03.1999)

Dr. habil. Fritz Riehle, Dr. Harald Schnatz, Dipl.-Phys. Tilmann Trebst, Dr. Jürgen Helmcke für die Arbeit „Atominterferometrie im Zeitbereich für Präzisionsmessungen“

Atominterferometer als Frequenzstandard



(v. l. n. r.) **Jürgen Helmcke**, geboren 1938 in Hannover, studierte Physik in Braunschweig und wurde dort 1972 zum Dr.-Ing. promoviert. Anschließend trat er in die PTB Braunschweig ein. 1977-1978 forschte er bei dem späteren Physik-Nobelpreisträger John Hall am JILA in Boulder, Colorado. 1978 wurde er Leiter des Labors „Längeneinheit“, 1989 übernahm er die Leitung des Fachbereichs „Quantenoptik und Längeneinheit“, die er bis zu seiner Pensionierung 2003 innehatte.

Tilmann Trebst, 1968 in Göttingen geboren, studierte Physik in Bonn und Sydney. In der PTB arbeitete er von 1995 bis 1999 als Doktorand in der Gruppe von Fritz Riehle. 1999 promovierte er in Hannover. 2012 gründete er die Firma LifePhotonic.

Harald Schnatz wurde 1957 in Nassau an der Lahn geboren. Er studierte Physik in Mainz und wurde dort 1986 promoviert. Von 1987 bis 1989 war er Wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Lasermedizin der Universität Düsseldorf. 1989 kam er zur PTB Braunschweig, wo er im Labor „Längeneinheit“ tätig war, dessen Leiter er 2004 wurde. Seit 2012 leitet er den Fachbereich „Quantenoptik und Längeneinheit“.

Fritz Riehle, 1951 in Zell am Harmersbach geboren, studierte Physik in Karlsruhe, wo er 1977 promovierte und 1981 habilitierte. 1982 ging er zur PTB Berlin und leitete dort bis 1987 die Arbeitsgruppe „Grundlagenradiometrie“ im PTB-Labor bei BESSY. Er erhielt 1987 den Helmholtz-Preis zum ersten Mal. Im selben Jahr kam er zur PTB Braunschweig, wo er von 1989 bis 2000 das Labor „Längeneinheit“ leitete. Seit 2000 ist er Leiter der Abteilung „Optik“ in der PTB.

Nach den Gesetzen der Quantenmechanik bewegen sich die Atome wie Wellen mit einer charakteristischen de Broglie-Wellenlänge $\lambda = h/p$, wobei h die Planck-Konstante und p der atomare Impuls ist. Für eine Geschwindigkeit von z. B. 700 m/s liegt λ in der Größenordnung von 10 pm. Dank dieser extrem kurzen Wellenlängen lassen sich durch Interferenz atomarer Wellen sehr präzise Messungen durchzuführen. Indem sie den Wellencharakter von Kalziumatomen nutzten, realisierten Dr. habil. Fritz Riehle, Dr. Harald Schnatz, Dipl.-Phys. Tilmann Trebst und Dr. Jürgen Helmcke von der PTB Braunschweig ein optisches Frequenznormal mit zuvor unerreichter Güte. Damit gelang es ihnen, die Frequenz und Wellenlänge eines Lasers mit einer relativen Unsicherheit von 10^{-13} konstant zu halten und zu messen. Für ihre Arbeit „Atominterferometrie im Zeitbereich für Präzisionsmessungen“ wurden die vier Forscher mit dem Helmholtz-Preis 1999 im Bereich „Präzisionsmessung“ ausgezeichnet, der mit 12 000 DM dotiert war.

Das von Jürgen Helmcke und seinen Kollegen entwickelte Atominterferometer verwendete einzelne Kalziumatome, die mit Laserlicht gekühlt und anschließend in einer magnetooptischen Falle gefangen wurden. Nach dem Abschalten der Falle wurde solch ein Atom mit einem Laserpuls bestrahlt. Dabei absorbierte es mit 50 % Wahrscheinlichkeit ein Photon, wobei es vom Grundzustand in einen langlebigen angeregten Zustand überging. Da sich der Impuls des Atoms durch die Absorption des Photons änderte, teilte sich das atomare Wellenpaket in eine angeregte und eine nichtangeregte Teilwelle, die sich in unterschiedliche Richtungen bewegten. Nach Wartezeiten von jeweils etwa 100 μ s wurde das Atom von zwei weiteren Laserpulsen getroffen, was dazu führte, dass die beiden Teilwellen sich nach dem zweiten Puls wieder aufeinander zu bewegten und beim dritten Puls miteinander interferierten. Das Interferenzsignal war durch die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass das Atom im angeregten Zustand detektiert wurde, was anhand seines Fluoreszenzleuchtens geschah. Aus dem Interferenzsignal ließ sich der Phasenunterschied der beiden Teilwellen ermitteln, der u. a. davon abhing, wie gut der Laser auf die Anregungsfrequenz des Atoms abgestimmt war. Dadurch dass die Forscher den Phasenunterschied konstant hielten, konnten sie die Laserfrequenz mit sehr hoher Präzision stabilisieren. Die relative Unsicherheit der Frequenz schätzten sie zu $2,5 \cdot 10^{-13}$ ab. Im Verlauf von zweieinhalb Jahren wichen die Messungen der Frequenz eines Farbstofflasers, der mit dem Atominterferometer stabilisiert wurde, um weniger als 90 Hz voneinander ab, was einem relativen Frequenzunterschied von 10^{-13} entsprach. Die hohe Frequenzstabilität solcher Laser hoffte man, für noch genauere Atomuhren zu nutzen, während ihre entsprechend hohe Wellenlängenstabilität diese Laser zu den damals genauesten Längennormalen machte. Da der Phasenunterschied der beiden interferierenden atomaren Teilwellen auch von der Beschleunigung abhing, die auf die Atome wirkte, ließ sich das Atominterferometer auch zu einem hochempfindlichen Sensor für Beschleunigungs- und Gravitationskräfte machen. Mit solchen Sensoren könnten z. B. Erdöl- oder Erzlagerstätten anhand der lokalen Schwankungen der Erdanziehung aufgespürt werden.

Literatur

- *Fritz Riehle et al.: Time-Domain Atom Interferometry for Precision Measurements. Preprint (1999)*

HELMHOLTZ-PREIS 2001 (Preisverleihung am 25.06.2001)**Dr. Jochen Bonn, Dr. Christian Weinheimer****für die Arbeit „High precision measurement of the tritium beta spectrum near its endpoint and upper limit on the neutrino mass“**

Eine Obergrenze für die Neutrinomassen

Das Neutrino ist von allen Elementarteilchen das rätselhafteste. Wolfgang Pauli hatte die Existenz dieses elektrisch neutralen und nur schwach wechselwirkenden „Geisterteilchens“ 1930 postuliert, um die Energie- und Drehimpulserhaltung beim Betazerfall nicht aufgeben zu müssen. Der zunächst für unmöglich gehaltene direkte Nachweis des Neutrinos gelang 1956 Clyde Cowan und Frederick Reines. Später fand man, dass es neben dem Elektron-Neutrino (und seinem Antiteilchen) noch zwei weitere Neutrinoarten gibt: das Myon- und das Tau-Neutrino. Überraschenderweise können sich Neutrinos von einer Art in eine andere umwandeln. Dies ist nur möglich, wenn die drei Neutrinoarten unterschiedliche Massen haben. Da Neutrinos im Universum sehr häufig vorkommen, haben die Werte der Neutrinomassen einen großen Einfluss auf die kosmische Entwicklung. Eine präzise obere Schranke für die Masse des Elektron-Neutrinos bestimmten Dr. Jochen Bonn und Dr. Christian Weinheimer aus der Arbeitsgruppe von Ernst Otten an der Universität Mainz. Für ihre Arbeit wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 2001 ausgezeichnet. Der Preis wurde erstmals gemeinsam vom Helmholtz-Fonds und vom Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft vergeben.

Zur Bestimmung einer oberen Schranke für die Masse des Elektron-Neutrinos analysierten die beiden Physiker und ihre Kollegen in Mainz den Betazerfall von Tritium. Zerfällt ein Tritiumkern, so entstehen ein Helium-3-Kern, ein Elektron und ein Elektron-Antineutrino. Da der Tochterkern eine viel größere Masse besitzt als das Elektron und das Neutrino, nimmt er zwar einen merklichen Impuls aber nahezu keine Energie auf. Die beim Zerfall freiwerdende Energie verteilt sich in zufälliger Weise auf das Elektron und das Neutrino. Am Endpunkt des Energiespektrums des Elektrons bei 18,6 keV, wo dessen Energie maximal ist, macht sich der Einfluss der Neutrinomasse m_ν in subtiler Weise bemerkbar. Zum einen ist der Endpunkt des Spektrums zu niedrigen Energien hin verschoben um $m_\nu c^2$. Zum anderen ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Elektron eine bestimmte Energie hat, um einen Wert proportional zu m_ν^2 verringert. Nimmt man etwa $m_\nu = 1 \text{ eV}/c^2$ an, so hat nur ein extrem kleiner Bruchteil von $2 \cdot 10^{-13}$ der entstandenen Elektronen eine Energie, die so nahe am Endpunkt des Energiespektrums liegt, dass man den Einfluss von m_ν auf das Spektrum erkennen kann. Die Forscher haben das Energiespektrum solcher Elektronen vermessen, die möglichst nahe an der Maximalenergie lagen. Dazu haben sie mit zwei supraleitenden Spulen ein Magnetfeld erzeugt, dessen Feldlinien an den Spulen zusammengeschnürt und im Raum zwischen ihnen aufgebauscht waren. In der einen Spule befand sich die Tritiumprobe in Form eines gefrorenen Films, in der anderen ein Elektronendetektor. Die beim Zerfall des Tritiums entstandenen Elektronen bewegten sich entlang der Feldlinien in den aufgebauchten Bereich, wo sie auf eine von Ringelektroden erzeugte elektrische Potentialschwelle variabler Höhe trafen. Nur solche Elektronen konnten diese Schwelle überwinden und zum Detektor gelangen, die eine hinreichend große Energie hatten. Auf diese Weise fanden die Forscher eine untere Schranke für die Maximalenergie der Elektronen, aus der sie eine obere Schranke für die Neutrinomasse herleiteten: $m_\nu < 2,8 \text{ eV}/c^2$. Inzwischen konnten sowohl die Mainzer Forscher als auch Wissenschaftler in Troitsk (Russland) diesen Wert auf $2,05 \text{ eV}/c^2$ verbessern. Deutliche Fortschritte erhofft man sich vom Karlsruhe Tritium Neutrino (KATRIN) Experiment am Karlsruhe Institut für Technologie (KIT), das derzeit von einer internationalen Kollaboration aufgebaut wird, unter Beteiligung von Christian Weinheimer und – bis zu seinem Tod – Jochen Bonn. Es soll die obere Schranke für m_ν auf $0,2 \text{ eV}/c^2$ absenken oder die Neutrinomasse finden.



Christian Weinheimer (li.) wurde 1962 in Mainz geboren. Er studierte Physik und Mathematik an der Universität Mainz und promovierte dort 1993. Nach einem zweijährigen Aufenthalt am CERN habilitierte er 2000 mit der durch den Helmholtz-Preis ausgezeichneten Arbeit. Im Anschluss an eine Professur in Bonn ist er seit 2004 Universitätsprofessor in Münster. Er ist einer der beiden Sprecher des KATRIN-Experiments und an weiteren Experimenten der Kern-, Teilchen- und Astroteilchenphysik beteiligt.

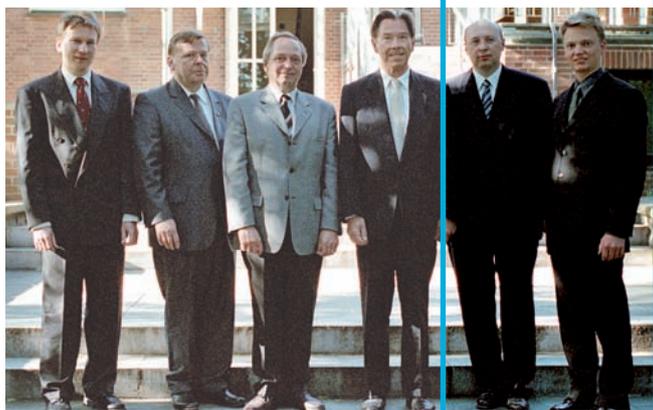
Jochen Bonn (re.), 1944 in Mannheim geboren, studierte in Heidelberg Physik. Mit Experimenten am CERN promovierte er 1975 bei Ernst Otten in Heidelberg. Danach war er wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universität Mainz und an vielen kern- und teilchenphysikalischen Experimenten beteiligt. Er war einer der beiden Technischen Leiter und nach seiner Pensionierung technischer Berater des KATRIN-Experiments. 2012 ist er verstorben.

Literatur

- *Ch. Weinheimer et al.*: High precision measurement of the tritium β spectrum near its endpoint and upper limit on the neutrino mass. *Physics Letters B* **460**, (1999), 219
- *E. W. Otten and C. Weinheimer*: Neutrino mass limit from tritium β decay. *Rep. Prog. Phys.* **71**, (2008), 086201

HELMHOLTZ-PREIS 2001 (Preisverleihung am 25.06.2001)**Dr. Stefan W. Hell, Dr. Thomas A. Klar****für die Arbeit „Durchbruch der Auflösungsgrenze in der Fernfeld-Fluoreszenzmikroskopie (STED-Mikroskopie)“**

Schärfere Bilder mit dem Lichtmikroskop



Stefan Hell (li.) wurde 1962 in Arad (Rumänien) geboren. Er studierte von 1981 bis 1987 Physik in Heidelberg und promovierte dort 1990. Anschließend arbeitete er als freier Erfinder, forschte dann von 1991 bis 1993 am Europäischen Molekularbiologischen Laboratorium in Heidelberg und von 1993 bis 1996 in Oxford und an der Universität Turku in Finnland, wo er die Idee zur STED-Mikroskopie hatte. Er habilitierte 1996 in Heidelberg und ging zum Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen, wo er seit 2002 Direktor und Leiter der Abteilung NanoBiophotonik ist.

Thomas Klar (re.), geb. 1970 in Kösching in Bayern, studierte Physik an der Universität München. Er promovierte 2001 an der Universität Heidelberg mit einer Arbeit zur STED-Lithographie, die er bei S. Hell in Göttingen angefertigt hatte. 2007 habilitierte er in München und wurde an die TU Ilmenau berufen. Seit 2010 ist er Universitätsprofessor an der Universität Linz.

Literatur

- *Thomas A. Klar and Stefan W. Hell:* Subdiffraction resolution in far-field fluorescence microscopy. *Optics Letters* **24**, (1999), 954
- *T. A. Klar et al:* Fluorescence microscopy with diffraction resolution barrier broken by stimulated emission. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* **97**, (2000), 8206
- *Stefan W. Hell:* Nanoskopie mit fokussiertem Licht. *Physik Journal*, Dezember 2007, S. 47

Das Lichtmikroskop ist für die Biologie und die Medizin ein unverzichtbares Instrument. Anders als das Elektronenmikroskop oder das Rasterkraftmikroskop kann es tief ins Innere von biologischen Zellen schauen, und im Gegensatz zum Röntgenmikroskop tötet das Lichtmikroskop die beobachteten Zellen nicht ab. Doch lange schien es, als ließen sich mit dem Lichtmikroskop keine Details sichtbar machen, die kleiner als 200 Nanometer sind, was für die anderen genannten Mikroskope kein Problem ist. Der Grund für diese Beschränkung liegt in der 1873 von Ernst Abbe gefundenen Auflösungsgrenze des Lichtmikroskops, das zwei Objekte nur dann voneinander trennen kann, wenn ihr Abstand nicht kleiner ist als die halbe Wellenlänge des zur Abbildung benutzten Lichtes. Sind die Objekte jedoch mit fluoreszieren-

den Molekülen markiert, so kann man unter Einbeziehung der Molekülzustände bei der Bilderzeugung die Abbesche Auflösungsgrenze aufheben. Dies gelang Dr. Stefan Hell und Dr. Thomas Klar vom Max-Planck-Institut für Biophysikalische Chemie in Göttingen. Für ihre Arbeit wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 2001 ausgezeichnet.

Bei der von Stefan Hell und Thomas Klar entwickelten STED-Mikroskopie (STED steht für Stimulated Emission Depletion oder stimulierte Emissionslöschung) können die fluoreszierenden Moleküle, die auf dem abzubildenden Objekt sitzen, in einem hellen oder einem dunklen Zustand sein. Ein fokussierter grüner Laserstrahl bringt sie vom dunklen in den hellen Zustand, sodass sie fluoreszieren. Normalerweise werden dabei alle Moleküle im Laserlichtfleck angeregt, der stets größer ist als die halbe Laserwellenlänge. Doch die beiden Forscher fanden einen Weg, den leuchtenden Bereich wesentlich kleiner zu machen. Dazu werden die Moleküle zusätzlich mit einem fokussierten roten Laserstrahl belichtet, dessen räumliches Intensitätsprofil man so verändert hat, dass sein Lichtfleck die Form eines Rings aufweist, mit einem winzigen dunklen Loch im Zentrum. Werden der grüne und der rote Lichtfleck übereinander gelegt, so können die Moleküle im Loch des Rings weiterhin fluoreszieren. Doch die weiter außen liegenden Moleküle werden vom roten Licht durch stimulierte Emission vom hellen in den dunklen Zustand gebracht, sodass ihre Fluoreszenz unterdrückt wird. Auf diese Weise entsteht ein fluoreszierender Bereich, der kleiner als 20 nm sein kann. Indem die Forscher ein Untersuchungsobjekt mit den beiden übereinander liegenden Lichtflecken abstrahlten und die auf ihm sitzenden Moleküle nacheinander zum Leuchten brachten, erzeugten sie eine Abbildung, die die Abbesche Auflösungsgrenze weit unterbot und 20 nm große Details sichtbar machte. Inzwischen haben Hell und seine Mitarbeiter andere hochauflösende Verfahren der Lichtmikroskopie entwickelt, die ohne stimulierte Emission arbeiten. Bei ihnen regt der ringförmige Laserstrahl die außerhalb des Lochs liegenden Moleküle aus dem hellen in einen dunklen Zustand an, in dem sie geparkt werden. Da man die verschiedenen Organellen in einer biologischen Zelle mit geeigneten fluoreszierenden Molekülen markieren kann, lassen sich mit den neuen Verfahren lichtmikroskopische Aufnahmen und sogar Filme von lebenden Zellen machen, die eine unerreichte Detailfülle aufweisen und für die Zellbiologie von unschätzbarem Wert sind. Thomas Klar und seine Mitarbeiter an der Universität Linz arbeiten derzeit daran, das Prinzip der STED-Mikroskopie auf die optische Lithographie zu übertragen.

HELMHOLTZ-PREIS 2003 (Preisverleihung am 30.06.2003)**PD Dr. med. Dr. rer. nat. Wolfgang Rudolf Bauer****für die Arbeit „Messung der Mikrozirkulationsparameter Intrakapillarvolumen, Kapillarrekretierung und Durchblutung im Herzmuskel mittels NMR-Tomographie“**

Blick ins Herz mit NMR-Tomographie

Für die Diagnostik vieler Erkrankungen des menschlichen Herzens ist es wichtig, dass man die myokardiale Mikrozirkulation, also den Blutkreislauf in den Kapillaren des Herzmuskels, möglichst genau misst. So wird z. B. eine verminderte Kapillardichte für die Herzmuskelschwäche nach einem Herzinfarkt verantwortlich gemacht. Doch es gibt nur wenige nichtinvasive, das Herz nicht belastende Techniken, mit denen sich die Mikrozirkulation erfassen lässt. Die für eine Anwendung beim Patienten in Frage kommenden nuklearmedizinischen Verfahren haben nur eine geringe räumliche Auflösung, wodurch die Qualität und Zuverlässigkeit der Diagnose beschränkt wurden. Hingegen ermöglicht es die Kernspinsonanz- oder NMR-Bildgebung, die Mikrozirkulation im Herzmuskel, dem Myokard, quantitativ und räumlich aufgelöst zu messen. PD Dr. med. Dr. rer. nat. Wolfgang Rudolf Bauer und die von ihm geleitete Arbeitsgruppe „Kardiale Magnetresonanztomographie und Biophysik“ von der Medizinischen Universitätsklinik Würzburg entwickelten NMR-Messmethoden, mit denen sie das relative Kapillarovolumen, die Mikrozirkulation und deren Anteil an der gesamten Durchblutung des Herzmuskels messen konnten. Damit ließen sich z. B. Funktionsstörungen in den Herzkranzgefäßen erkennen. Für die Arbeit wurde Wolfgang Rudolf Bauer mit dem Helmholtz-Preis 2003 ausgezeichnet, der mit 15 000 € dotiert war.

Die von Bauer und seinen Mitarbeitern entwickelten Verfahren beruhten darauf, dass zwischen den Parametern der Mikrozirkulation und den NMR-Parametern ein Zusammenhang besteht. Die mittels Kernspintomographie im Herzen lokal gemessenen Größen waren die longitudinale und die transversale Relaxationszeit T1 bzw. T2, mit denen die spinpolarisierte Protonen in einem Magnetfeld nach einer Störung in ihren Ausgangszustand zurückkehrten. Gab man ein geeignetes Kontrastmittel in die Herzgefäße, so wechselwirkten die Protonenspins mit ihm und konnten schneller relaxieren. Während das Kontrastmittel in den Blutgefäßen verblieb, diffundierten die Protonen auch in das umliegende Gewebe. Dadurch änderten sich aufgrund der Kontrastmittelgabe die Relaxationszeiten sowohl in den Blutgefäßen als auch im Myokard, wenn auch unterschiedlich stark. Wie die Forscher durch Messungen und biophysikalische Modelle zeigen konnten, bestand zwischen dem relativen intrakapillären Blutvolumen RBV, das das Volumen der Kapillaren zum Gesamtvolumen des Herzens in Beziehung setzt, und den Relaxationszeitänderungen ein Zusammenhang: $RBV = \Delta(1/T1_{Myokard})/\Delta(1/T1_{Blut})$. Auf diese Weise konnten die Forscher detaillierte RBV-Karten der Herzens aufnehmen, die Auskunft über die lokale Mikrozirkulation gaben. Ein weiteres Verfahren kam ohne Kontrastmittel aus, indem es die magnetischen Eigenschaften der Kapillaren nutzte. Wenn das Hämoglobin in der Kapillare seinen Sauerstoff an das Gewebe abgibt, entsteht paramagnetisches Desoxyhämoglobin, das die transversale Relaxationszeit T2 der Protonenspins verkürzt. Da die vorhandene Menge an Desoxyhämoglobin proportional zur Kapillardichte und damit zum relativen intrakapillären Blutvolumen RBV ist, kann man dieses aus lokalen Messungen von T2 ermitteln. Mit diesen und weiteren Verfahren entwickelten Bauer und seine Mitarbeiter wertvolle Werkzeuge für die Diagnostik vieler Herzerkrankungen.



(v. l. n. r.) Prof. Dr. Ernst O. Göbel,
Dr. Ditmar Staffelt,
Dr. Dr. Wolfgang R. Bauer
Dipl.-Ing. Ruprecht v. Siemens

Wolfgang Rudolf Bauer, (3. v. l.) 1961 geboren, studiert von 1980 bis 1988 Medizin und Physik in Münster, an der TU München und an der University of Illinois in Urbana. 1988 promovierte er in Medizin an der TU München. Er arbeitete von 1989 bis 1999 zunächst als Assistenz- und dann als Oberarzt an der Universität Würzburg bzw. am Klinikum Mannheim der Universität Heidelberg. 1998 habilitierte er in Heidelberg, 2003 wurde er an der Universität Würzburg in Physik promoviert. Hier hat er seit 2004 eine Professur am Zentrum für Innere Medizin.

Literatur

- *Wolfgang Rudolf Bauer*: Messung der Mikrozirkulationsparameter Intrakapillarvolumen, Kapillarrekretierung und Durchblutung im Herzmuskel mittels NMR-Tomographie. (Unveröffentlicht, 2003) (bio.physik.uni-wuerzburg.de/people/kh/Helmholtzpreis.pdf)

HELMHOLTZ-PREIS 2005 (Preisverleihung am 13.06.2005)**Dr. Martin Heumann und Dr. Thomas Uhlig****für die Arbeit „Messung von Hysteresekurven einzelner magnetischer Teilchen im Nanometerbereich“**

Nanoteilchen beim Ummagnetisieren beobachtet



(v. l. n. r.) Dr. Martin Heumann,
Prof. Dr. Bernhard Kramer,
Prof. Dr. Ernst O. Göbel,
Dr. Eckhard Franz,
Dr. Thomas Uhlig,
Prof. Dr. Josef Zweck,
Dipl.-Ing. Ruprecht v. Siemens

Magnetische Datenspeicher enthalten zahllose mikroskopisch kleine Magnetpartikel. Die permanente Magnetisierung eines solchen Teilchens kann in zwei entgegengesetzte Richtungen zeigen und somit ein Bit speichern. Mit einem hinreichend starken Magnetfeld lässt sich die Magnetisierungsrichtung umkehren, wobei eine Hysterese auftritt, wie man sie von makroskopischen Magneten kennt. Um eine immer größere Speicherdichte zu erzielen, macht man die Magnetpartikel immer kleiner, wodurch sich ihr Verhalten beim Ummagnetisieren verändern kann. Wie die Hysteresekurven von magnetischen Nanopartikeln aussehen, konnten Dr. Martin Heumann und Dr. Thomas Uhlig aus der Arbeitsgruppe von Josef Zweck in Regensburg mit einem modifizierten Elektronenmikroskop aufklären. Für die aus ihren Dissertationen

hervorgegangene Arbeit „Messung von Hysteresekurven einzelner magnetischer Teilchen im Nanometerbereich“ wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 2005 ausgezeichnet.

Die beiden jungen Forscher führten ihre Untersuchungen an zylindrischen Nanomagneten aus Permalloy durch, die 6–8 nm dick waren und einen Durchmesser von 100 nm oder mehr hatten. Wie ein solches Nanoteilchen magnetisiert war, machten sie mit einem Elektronen hologramm sichtbar. Dazu brachten sie das Teilchen in den Elektronenstrahl eines umgebauten Elektronenmikroskops, sodass es von einer Elektronenwelle durchquert wurde, die anschließend mit einer Referenzwelle überlagert und zur Interferenz gebracht wurde. Dabei entstand ein Hell-Dunkel-Muster aus Bereichen hoher und niedriger Elektronenstrahlintensität. Die Magnetisierung des Nanoteilchens übte eine Lorentz-Kraft auf die durchfliegenden Elektronen aus, sodass sich die Phase der Elektronenwelle änderte. Die Phasenänderung gab dem Interferenzmuster eine charakteristische Gestalt, aus der die Forscher die Magnetisierung ermittelten. Auf diese Weise konnten sie Abbildungen der magnetischen Konfigurationen eines Nanoteilchens mit einer bis dahin unerreicht hohen räumlichen Auflösung von unter 10 nm gewinnen. Sie untersuchten die Ummagnetisierung der Nanoteilchen, indem sie mit einer stromdurchflossenen Elektronenlinse ein Magnetfeld variabler Stärke erzeugten, das der Magnetisierung der Teilchen entgegenwirkte. Erreichte das Magnetfeld die „Schaltfeldstärke“, so drehte es die Richtung der Magnetisierung um, wie die Forscher aus der Änderung des Interferenzmusters ersahen. Dabei zeigte jedes Teilchen eine individuell verlaufende Hysteresekurve, die mehrere Magnetisierungsstufen aufweisen konnte. Auch wenn zwei Nanomagnete in derselben Weise hergestellt worden waren, unterschieden sich ihre Hysteresekurven wie auch ihre Schaltfeldstärken dennoch deutlich voneinander. Das lag u. a. daran, dass die Nanoteilchen geringfügig voneinander abweichende Formen hatten. Darüber hinaus konnten Heumann und Uhlig an sehr kleinen Partikeln erstmals beobachten, wie eine einzige magnetische Domäne ummagnetisiert wurde. Das individuelle Verhalten der Nanomagnete muss man berücksichtigen, will man Magnetspeicher auf der Grundlage von Nanoteilchen herstellen.

Literatur

- M. Heumann, T. Uhlig, and J. Zweck: True Single Domain and Configuration-Assisted Switching of Submicron Permalloy Dots Observed by Electron Holography. *Phys. Rev. Lett.* **94**, (2005), 077202

Martin Heumann (li.) wurde 1974 in Vilshofen geboren. Er studierte Physik in Regensburg und promovierte dort 2005. Seitdem arbeitet er in einem Unternehmen der Messtechnik.

Thomas Uhlig (re.), 1975 in Traunstein geboren, studierte ebenfalls Physik in Regensburg und promovierte dort 2004. Er ging 2005 zum Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt in Oberpfaffenhofen, wo er jetzt Flugdirektor für das europäische Columbus-Modul der ISS und ein Trainingsteam leitet, das neue Flight Controller und Astronauten für die ISS ausbildet.

HELMHOLTZ-PREIS 2007 (Preisverleihung am 18.07.2007)**Dr. Göstar Klingelhöfer****für die Arbeit „Entwicklung eines Miniaturisierten Mößbauer-Spektrometers“**

Miniaturisiertes Mößbauer-Spektrometer

Das Miniaturisierte Mößbauer-Spektrometer MIMOS, das unter der Leitung von Dr. Göstar Klingelhöfer von seinem Team an der Universität Darmstadt und später an der Universität Mainz entwickelt und gebaut wurde, ist ein hochempfindlicher Sensor, mit dem man die mineralogische Zusammensetzung z. B. von Felsenmalereien in Brasilien oder von Pigmenten in antiken Vasen untersucht hat. Weltweite Berühmtheit erlangte das 2003 von Klingelhöfer und seinen Mitarbeitern gebaute Spektrometer MIMOS 2. Es war der „Mineralogie-Explorer“ der Mars-Rover „Spirit“ und „Opportunity“, die im Januar 2004 auf der Oberfläche unseres Nachbarplaneten landeten und dort nach mineralogischen Spuren von früheren Wasservorkommen suchten. Für seine Arbeit „Entwicklung eines Miniaturisierten Mößbauer-Spektrometers“ erhielt Göstar Klingelhöfer den mit 20 000 € dotierten Helmholtz-Preis 2007.

MIMOS nutzt den Mößbauer-Effekt zur Spektroskopie von Atomkernen. Dazu wird Gammastrahlung, die von angeregten Kernen emittiert wurde, von anderen Kernen resonant absorbiert und anschließend wieder abgestrahlt. Die Atome sind in Kristallgittern eingebaut, wodurch die Emission und die Absorption rückstoßfrei ablaufen, sodass die Emissions- und Absorptionslinien ihre extrem kleine natürliche Linienbreite zeigen. Nur wenn die Emission- und die Absorptionswellenlänge genau übereinstimmen, was mit Hilfe des Doppler-Effekts durch eine langsame Bewegung der Gammastrahlenquelle erreicht wird, kommt es zur Absorption mit anschließender Abstrahlung, die von einem Detektor registriert wird. Da die chemischen Bindungen der Atome die Anregungsfrequenzen der Atomkerne geringfügig und in charakteristischer Weise verändern, kann man mit der Mößbauer-Spektroskopie unterschiedliche Bindungszustände von bestimmten Atomen wie Eisen unterscheiden. MIMOS hat als Strahlungsquelle Kobalt-57-Kerne, die sich durch Elektroneneinfang in angeregte aber stabile Eisen-57-Kerne umwandeln, welche anschließend Gammastrahlung abgeben. Durch Mößbauer-Spektroskopie von Eisen kann MIMOS den Gehalt verschiedener Eisenminerale in einer Material- oder Gesteinsprobe ermitteln und diese dadurch charakterisieren. Da MIMOS im Gegensatz zu herkömmlichen Mößbauer-Spektrometern sehr handlich ist, nur 400 Gramm wiegt und eine Leistung von 2 Watt verbraucht, eignet es sich für einen mobilen Einsatz vor Ort. Diese Vorzüge erweckten das Interesse der NASA und der ESA, die daraufhin ihre Marsmissionen mit einer weltraumtauglichen Version von MIMOS ausrüsteten. Das miniaturisierte Mößbauer-Spektrometer konnte im Marsgestein bestimmte Eisenverbindungen nachweisen, die nur in feuchter Umgebung entstanden sein konnten. Demnach muss es einst auf dem Mars große Mengen von Wasser gegeben haben.



(v. l. n. r.) Prof. Dr. Ernst O. Göbel,
Dr. Andreas Schlüter,
Dr. Gert Hoffmann,
Prof. Dr. Heinz Kluge,
Dr. Göstar Klingelhöfer

Göstar Klingelhöfer wurde 1956 in Gedern, Oberhessen, geboren. Er studierte Physik an der TU Darmstadt und promovierte 1990 am dortigen Institut für Kernphysik. 1999 ging er an die Universität Mainz und leitete dort die Gruppe „Experimentelle Planetologie“, die sich u. a. der Erforschung des Mars widmete. Dazu kamen nach 2007 weitere Projekte zur Erforschung des Marsmondes Phobos, von Kometen im Rahmen des ESA-Projektes ROSETTA sowie spezieller Ziele auf dem Erdmond.

Literatur

- G. Klingelhöfer: Mössbauer In Situ Studies of the Surface of Mars. *Hyperfine Interactions* **158**, (2004) 117

HELMHOLTZ-PREIS 2009 (Preisverleihung am 23.06.2009)

Dr. Tobias Kippenberg, Dr. Ronald Holzwarth und Dipl.-Phys. Pascal Del'Haye für die Arbeit „Entwicklung von optischen Frequenzkämmen auf einem Chip“

Frequenzkamm aus dem Chip



Prof. Dr. Ernst O. Göbel (li.), Dipl.-Ing. Ruprecht v. Siemens (re.), und die drei Preisträger

(v. l. n. r.) **Tobias Kippenberg** wurde 1976 in Berlin geboren. Er studierte Physik und Elektrotechnik in Aachen und ging dann ans Caltech, wo er 2004 promovierte. Von 2005 bis 2009 leitete er am MPI für Quantenoptik eine Nachwuchsgruppe in der Abteilung von T. Hänsch. 2009 wurde er an die ETH Lausanne (EPFL) berufen, seit 2013 ist er dort Ordentlicher Professor.

Ronald Holzwarth, 1969 in Stuttgart geboren, studierte Physik an der Universität Tübingen und an der University of Oregon. Nach dem Physikdiplom 1997 in Tübingen ging er an die Universität München zu T. Hänsch, bei dem er 2001 promovierte. Anschließend gründete er zusammen mit T. Hänsch und M. Mei die Menlo Systems GmbH, deren Geschäftsführer er ist. Außerdem ist er Gruppenleiter am MPI für Quantenoptik.

Pascal Del'Haye wurde 1982 in München geboren. Er hat Physik in Aachen und an der Universität München studiert, wo er 2011 bei T. Hänsch promovierte. Aus seiner Diplomarbeit und seiner Dissertation, die er am MPI für Quantenoptik anfertigte, ging die mit dem Helmholtz-Preis prämierte Arbeit hervor. Gegenwärtig ist er Postdoktorand am NIST in Boulder.

Literatur

- P. Del'Haye et al.: Optical frequency comb generation from a monolithic microresonator. *Nature* **450**, (2007), 1214

Optische Frequenzkämme, für deren Entwicklung Theodor Hänsch und John Hall im Jahr 2005 den Physik-Nobelpreis erhielten, haben die Frequenzmessung im Bereich des sichtbaren Lichtes und der UV-Strahlung revolutioniert. Mit ihnen lassen sich hohe Frequenzen um 1000 Terahertz in niedrigere, elektronisch auszählbare Megahertzfrequenzen übersetzen und dadurch sehr genau bestimmen. Die Frequenzkämme haben die extrem aufwendigen und ungenaueren Frequenzketten ersetzt, mit denen man früher große Frequenzunterschiede überbrückte. Auf herkömmliche Weise werden Frequenzkämme mit Femtosekundenlasern erzeugt, deren Lichtpulse man durch spezielle Glasfasern schickt, in denen nichtlineare optische Effekte das kammartige Frequenzspektrum des Laserlichts erheblich verbreitern. Ein alternatives Verfahren

zur Erzeugung von Frequenzkämmen entwickelten Dr. Tobias J. Kippenberg, Dr. Ronald Holzwarth und Dipl.-Phys. Pascal Del'Haye vom Max-Planck-Institut für Quantenoptik in Garching. Für ihre Arbeit wurden sie mit dem Helmholtz-Preis 2009 ausgezeichnet, der mit 20 000 € dotiert war.

Die drei Forscher erzeugten die optischen Frequenzkämme mit Mikroresonatoren, in die kontinuierliches Laserlicht eingekoppelt wurde. Die auf einem Chip sitzenden Resonatoren aus Quarzglas hatte eine Form, die einem Pilz ähnelte. Sie hatten einen etwa 50 µm großen Hut, in dessen kreisförmigem Rand mit einem IR-Laser Flüstergaleriemoden angeregt wurden. In diesen Moden lief die Laserstrahlung durch Totalreflexion in der Nähe des Randes um, so dass dort hohe Lichtintensitäten auftraten. Dadurch kam es zu optisch nichtlinearen Prozessen, bei denen zunächst aus zwei Laserphotonen von gleicher Frequenz zwei Photonen mit unterschiedlichen Frequenzen entstanden. Solch ein neues Photon konnte sich nun seinerseits zusammen mit einem Laserphoton in zwei weitere Photonen mit neuen Frequenzen umwandeln. Auf diese Weise kam es zu einer Kaskade von Photonen, deren Frequenzen ein breites Spektrum bildeten und mit sehr großer Genauigkeit alle den gleichen Abstand voneinander hatten. Dadurch entstand ein breiter und sehr präziser Frequenzkamm, dessen Licht aus dem Resonator ausgekoppelt wurde. Da solch ein Mikroresonator sehr klein ist, hatten die „Zähne“ im Frequenzkamm sehr große Abstände. So ließ sich ein großer Frequenzunterschied mit wenigen Frequenzen des Frequenzkamms überbrücken, auf die deshalb eine viel größere Laserleistung entfallen konnte als auf die dichtliegenden Frequenzen eines herkömmlichen Frequenzkamms. Mögliche Anwendungen der neuen Frequenzkämme sind neben der Messung optischer Frequenzen und der Entwicklung noch präziserer Atomuhren auch die Erzeugung von zahlreichen genau definierten Frequenzen für die optische Telekommunikation durch Glasfasern. Mittlerweile ist es gelungen, Frequenzkämme mit vielen unterschiedlich aufgebauten Mikroresonatoren zu erzeugen, beispielsweise mit hochintegrierten Siliziumnitrid-Mikroresonatoren, bei denen der Wellenleiter und der Resonator auf einem Substrat integriert sind. Solche Systeme eignen sich hervorragend für den Einsatz in der Praxis. So konnte die Gruppe um Tobias Kippenberg gemeinsam mit Forschern aus Karlsruhe solche Frequenzkämme in der Telekommunikation einsetzen. Die Defense Advanced Research Projects Agency des Pentagon fördert die Weiterentwicklung der neuartigen Frequenzkammgeneratoren für ihre Nutzung in kompakten Atomuhren.

HELMHOLTZ-PREIS 2012 (Preisverleihung am 28.03.2012)**Dipl.-Phys. Anke Wagner, Dipl.-Phys. Sven Sturm, Prof. Dr. Klaus Blaum****für die Arbeit „Der g -Faktor des gebundenen Elektrons in wasserstoffähnlichem Silizium – Der empfindlichste Test der Quantenelektrodynamik gebundener Zustände“**

Der g -Faktor des Elektrons

Präzisionsmessungen der magnetischen Eigenschaften des Elektrons haben in der Entwicklung der Quantenelektrodynamik (QED) eine wichtige Rolle gespielt. So hatte man 1947 für das magnetische Moment des Elektrons einen geringfügig größeren Wert gemessen, als von der Dirac-Theorie vorhergesagt wurde. Diese Diskrepanz konnte erst die QED ausräumen. Das magnetische Moment μ und der Spin s des Elektrons erfüllen die Gleichung $\mu = g \cdot \mu_B \cdot s / \hbar$, wobei μ_B das Bohrsche Magneton ist. Für den dimensionslosen g -Faktor des Elektrons ergaben die seither durchgeführten Messungen immer genauere Werte, die mit den Resultaten von immer umfangreicheren QED-Berechnungen übereinstimmten. Bekanntlich wirkt sich bereits die Interaktion des Elektrons mit dem Vakuum auf den g -Faktor aus. Ist das Elektron indes an einen Atomkern gebunden, so führt dessen starkes elektrisches Feld dazu, dass sich der Zahlenwert des g -Faktors deutlich ändert. Den g -Faktor eines Elektrons in solch einem wasserstoffähnlichen, stark geladenen Ion haben Dipl.-Phys. Sven Sturm, Dipl.-Phys. Anke Wagner und Prof. Dr. Klaus Blaum vom Max-Planck-Institut für Kernphysik in Heidelberg mit hoher Präzision gemessen. Für ihre Arbeit erhielten sie den Helmholtz-Preis 2012.

Die von Anke Wagner und Sven Sturm im Rahmen ihrer Dissertationen durchgeführten Experimente griffen auf ein von Heinz-Jürgen Kluge und Günter Werth in Mainz entwickeltes Verfahren zurück. Dabei wurde ein stark gekühltes und 13-fach geladenes Silizium-28-Ion, dem somit nur ein Elektron verblieben war, in einer Penning-Falle mit elektrischen und magnetischen Feldern in einem sehr guten Vakuum festgehalten. Während das Ion, das die Masse M und die Ladung q hatte, im Magnetfeld B eine Zyklotronbewegung mit der Frequenz $f_C = q \cdot B / (2\pi M)$ durchführte, präzedierte das magnetische Moment des Elektrons im B -Feld mit der Larmor-Frequenz $f_L = g \cdot \mu_B \cdot B / \hbar$. Indem die Forscher die Zyklotron- und die Larmor-Frequenz maßen, konnten sie aus deren Quotienten den g -Faktor ermitteln: $g = (2f_L / f_C) \cdot q \cdot m / (e \cdot M)$. Die Zyklotron-Frequenz wurde anhand der Spiegelladungsströme gemessen, die das kreisende Ion in den Elektroden der Penning-Falle hervorrief. Um die Larmor-Frequenz zu ermitteln, bestrahlten die Forscher das Ion mit Mikrowellen, deren Frequenz sie veränderten. Dabei beobachteten sie, bei welcher Frequenz Resonanz auftrat und der Elektronenspin sich umkehrte. Hatte solch ein Spin-Flip stattgefunden, so ließ sich dies daran erkennen, dass die longitudinalen Oszillationen, die das Ion in der Penning-Falle längs der Magnetfeldlinien ausführte, ihre Frequenz geringfügig änderten. Die so ermittelte Resonanzfrequenz stimmte mit der Larmor-Frequenz überein. Die drei Wissenschaftler erhielten für den g -Faktor das Resultat: $g = 1,995\,348\,958$ mit einer Unsicherheit von wenigen 10^{-10} , das hervorragend mit dem Ergebnis der QED-Berechnungen übereinstimmte. Damit waren die Messungen so empfindlich, dass sie den Einfluss der Atomkerngröße auf das magnetische Moment des Elektrons aufspüren konnten. Die QED hat somit auch diesen bisher strengsten Test erfolgreich bestanden.

Literatur

- S. Sturm *et al.*: g Factor of Hydrogenlike $^{28}\text{Si}^{13+}$. Phys. Rev. Lett. **107**, (2011), 023002
- Sven Sturm, Günter Werth und Klaus Blaum: Electron g -factor determinations in Penning traps. Ann. Phys. (Berlin) **525**, (2013), 620



Prof. Dr. Joachim Ullrich (re.), Dr. Nathalie v. Simens (2. v.l.) und die drei Preisträger

(v.l.n.r.) **Anke Wagner** wurde 1983 in Mainz geboren. Sie studierte Physik an der Universität Mainz und wurde 2013 in Heidelberg von Klaus Blaum promoviert. Anschließend ging sie an die Florida State University in Tallahassee, wo sie als Postdoktorandin im Bereich der Hochpräzisionsmassenmessungen forscht. Sie ist die erste Helmholtz-Preisträgerin. Die Auszeichnung hat sie sehr stark motiviert, auf diesem Forschungsgebiet weiter zu arbeiten. Zugleich war für sie der Helmholtz-Preis der Höhepunkt der hervorragenden Zusammenarbeit mit Blaum und Sturm.

Sven Sturm, 1981 in Koblenz geboren, studierte Physik in Heidelberg und machte 2007 das Diplom mit einer am CERN durchgeführten Arbeit. Anschließend ging er nach Mainz, wo er 2012 von Klaus Blaum promoviert wurde. Seit 2012 ist er Gruppenleiter am MPI für Kernphysik in Heidelberg.

Klaus Blaum wurde 1971 in Bad Sobernheim geboren. Er studierte Physik in Mainz und schloss sein Studium 1997 mit einer bei Ernst Otten angefertigten Diplomarbeit ab, von dem er im Jahr 2000 auch promoviert wurde. Nach einer Zeit als Postdoktorand am CERN, u. a. in der Arbeitsgruppe von H.-J. Kluge, war er von 2004 bis 2008 in Mainz Leiter einer Helmholtz-Hochschul-Nachwuchsgruppe. 2007 wurde er Direktor und wissenschaftliches Mitglied des MPI für Kernphysik in Heidelberg. Seit 2008 ist er zudem Honorarprofessor an der Universität Heidelberg.

Aktuelles aus der OIML

Bericht über die 48. Sitzung des CIML in Ho-Chi-Minh-Stadt, Vietnam

Roman Schwartz¹, Susanne Ludwig²

Die 48. Sitzung des Internationalen Komitees für das gesetzliche Messwesen (CIML) fand vom 8. bis 11. Oktober 2013 in Ho-Chi-Minh-Stadt (Saigon), Vietnam, statt, wo im Vorfeld auch das eintägige Seminar zum Thema „Operation of the OIML Mutual Acceptance Arrangement (MAA)“ abgehalten wurde.

Das CIML tagt jährlich, wählt den Präsidenten und die beiden Vizepräsidenten der OIML (Internationale Organisation für das Gesetzliche Messwesen), genehmigt den Strategie-, Prioritäten- und Aktionsplan, überwacht die technischen Arbeiten und das Internationale Büro für das gesetzliche Messwesen (BIML) in Paris.

144 Teilnehmer aus 40 Mitgliedstaaten und 11 korrespondierenden Mitgliedstaaten waren vertreten. Zur deutschen Delegation gehörten neben den o. g. Autoren auch Johann Fischer, Direktor des Landesamts für Mess- und Eichwesen Berlin-Brandenburg als Vertreter der Bundesländer und Herr Prof. Kochsiek, Vizepräsident a. D. der PTB, ehemaliger CIML-Präsident und inzwischen Ehrenmitglied der OIML.

Vertreten waren auch wieder internationale und regionale Organisationen, zu denen die OIML Verbindungen unterhält wie das Internationale Büro für Maß und Gewicht (BIPM), die „International Electrotechnical Commission“ (IEC) und der Europäische Verband der Waagenhersteller (CECIP).

Alle Beschlüsse der 48. CIML-Sitzung können auf den neugestalteten, übersichtlichen Internetseiten der OIML (www.oiml.org) aufgerufen werden [1, 2]. Die wichtigsten Entscheidungen und Entwicklungen werden nachfolgend vorgestellt.

1 Neue OIML-Mitgliedstaaten

Als neue Vollmitglieder wurden Montenegro und Zambia (letzteres wieder aufgenommen) begrüßt. Die Zahl der korrespondierenden Mitgliedstaaten erhöhte sich durch den Beitritt von Irak und Uganda, Jemen sowie Guinea, Korea (DVRK) und Ruanda (die drei letztgenannten wieder aufgenommen) auf 67.

¹ Dir. u. Prof. Dr. Roman Schwartz, Leiter der Abteilung 1 „Mechanik und Akustik“ der PTB, deutsches Mitglied im Internationalen Komitee für das Gesetzliche Messwesen (CIML) und 1. CIML-Vizepräsident, E-Mail: roman.schwartz@ptb.de

² Susanne Ludwig, OIML-Geschäftsstelle der PTB, E-Mail: susanne.ludwig@ptb.de



Bild 1: Impressionen aus einem wirtschaftlich aufstrebenden, aber immer noch überwiegend armen Land mit sehr freundlichen Menschen.

2 Management-Audit

In seinem Bericht erwähnte der CIML-Präsident, Peter Mason (UK) das erfolgreich abgeschlossene Management-Audit durch einen externen Auditor, der dem BIML unter der Leitung des neuen Direktors Stephen Patoray (USA) erhebliche Fortschritte in allen wichtigen Management-Bereichen attestiert.

3 Zusammenarbeit mit anderen Organisationen

In seinem Bericht hob der CIML-Präsident außerdem die sehr guten Beziehungen des BIML zum BIPM, sowohl auf Leitungs- als auch auf Arbeitsebene, hervor. Gute Kontakte bestehen auch zwischen der OIML und anderen internationalen Organisationen, wie ISO, IEC, ILAC, IAF und CECIP.

4 Neue technische Richtlinien für die OIML verabschiedet

Mit der Verabschiedung der vorerst letzten Revision des OIML-Dokuments B 6-1 *Directives for OIML technical work* verfügt die OIML nun über eine gute und langfristig tragfähige Grundlage für die Arbeiten in den technischen Komitees und Projektgruppen.

5 OIML-Publikationen

Folgende OIML-Publikationen wurden verabschiedet:

Vocabularies:

- OIML V 1 *International vocabulary of terms in legal metrology (VIML)*

Recommendations:

- OIML R 46-3 *Active electrical energy meters, Test report format*
- OIML R 49-1 *Water meters for cold potable water and hot water, Metrological and technical requirements*
- OIML R 49-2 *Water meters for cold potable water and hot water, Test methods*
- OIML R 49-3 *Water meters for cold potable water and hot water, Test report format*
- New OIML Recommendation *Instruments for continuous measuring CO and NOx in stationary source emissions*

Documents:

- OIML D 11 *General requirements for measuring instruments – Environmental conditions*

Basic Publications:

- OIML B 14 *Procedure for the election of the CIML President and Vice-Presidents*

Alle OIML-Publikationen stehen im Internet zur freien Verfügung [3].

Gleichzeitig wurde die Revision der folgenden OIML-Publikationen beschlossen:

- OIML R 100 *Atomic absorption spectrometer systems for measuring metal pollutants* (TC 16/SC 2)
- OIML D 8:2004 *Measurement standards. Choice, recognition, use, conservation and documentation* (TC 4)

Außerdem wurde folgendes neue Projekt verabschiedet:

- *New project: Guidance for defining the system requirements for a certification system for pre-packages* (TC 6)

Im OIML TC 6 „Prepackages“ wird seit Jahren kontrovers über die Einführung eines „OIML-Zertifizierungssystems für Fertigpackungen“ mit dem Ziel der Unterstützung von Ländern beim Aufbau nationaler Systeme für die Fertigpackungskontrolle auf der Basis der OIML-Empfehlungen R 79 und R 87 diskutiert. Aus verschiedenen Gründen wurde dieser Vorschlag nun endgültig vom CIML abgelehnt. Als Kompromiss wurde das oben genannte, neue Projekt mehrheitlich verabschiedet, wobei die Vorbehalte einiger CIML-Mitglieder in der Resolution vermerkt wurden (s. Resolution Nr. 2013/13).

6 OIML-Seminar

Wie bereits gesagt, fand im Vorfeld der CIML-Sitzung am 7. Oktober 2013 unter der Leitung des Autors ein Seminar **über die bisherigen Erfahrungen** des seit 2006 implementierten OIML-Rahmenabkommens zur gegenseitigen Anerkennung von Prüfergebnissen (Mutual Acceptance Arrangement, MAA) statt. Ein ausführlicher Bericht wird demnächst auf der OIML-Webseite veröffentlicht [4]. Daher seien hier nur die wichtigsten Diskussionsergebnisse und Beschlüsse zusammengefasst:

- Dort, wo bereits sogenannte DoMCs (Declarations of Mutual Confidence) existieren (OIML-Empfehlungen R 49, R 60 und R 76, d. h. Wasserzähler, Wägezellen und nichtselbsttätige Waagen), besteht unter den fast zwanzig Teilnehmern inzwischen ein recht großes Vertrauen in das System.
- Weitere Maßnahmen zur Sensibilisierung der OIML-Mitglieder, die das System bisher noch nicht nutzen, sind erforderlich.
- Das Basisdokument zum MAA, OIML B10 *Framework for a Mutual Acceptance Arrangement on OIML Type Evaluations*, muss überarbeitet werden, um das Prozedere noch transparenter und verständlicher zu machen.
- Eine Ad-Hoc-Gruppe, die sich aus CIML-Mitgliedern, Mitglieder des CPR (Committee on

Participation Review) und Vertretern von Herstellerverbänden zusammensetzt, wird eingesetzt, um Vorschläge zur weiteren Verbesserung der Akzeptanz des MAA-Zertifizierungssystems, zur Vereinfachung der CPR-Prozeduren und langfristig auch zur möglichen Verschmelzung der beiden parallel existierenden OIML-Zertifizierungssysteme, das Basis- und das MAA-System, zu einem einzigen Zertifizierungssystem zu untersuchen.

7 Beratergruppe für Entwicklungsländer

Von einigen Mitgliedsländern wurde erneut der Wunsch nach einem Gremium geäußert, das die Initiativen und Projekte zum gesetzlichen Messwesen in Entwicklungshilfelandern und -regionen koordiniert. Solche Gremien hat es bereits in anderer Form in der OIML gegeben, sie wurden aber wegen mangelnder Resonanz in den betreffenden Ländern aufgelöst. Das CIML beschloss daher die Gründung einer vorläufigen Beratergruppe unter der Leitung von China, die unter Berücksichtigung der früheren Erfahrungen bis zur nächsten CIML-Sitzung Vorschläge erarbeiten soll.

8 Personalien und Ehrungen

Dr. Yukinobu Miki, CIML-Mitglied für Japan, wurde zum 2. CIML-Vizepräsidenten gewählt.

Die von Dr. Seiler, dem ehemaligen Leiter des Fachbereichs „Technische Zusammenarbeit“ der PTB, initiierte OIML-Auszeichnung für „exzellente Beiträge von Entwicklungsländern zum gesetzlichen Messwesen“ ging in diesem Jahr an Magdalena Chuwa, CIML-Mitglied für Tansania.

9 Termine

Die 49. CIML-Sitzung wird im November 2014 in Auckland, Neuseeland, stattfinden. Weitere OIML-Veranstaltungen und Termine finden sich auf der OIML-Webseite unter [5].

10 Referenzen

- [1] <http://www.oiml.org/>
- [2] <http://www.oiml.org/en/structure/ciml/pdf/48-ciml-resolutions-english.pdf>
- [3] <http://www.oiml.org/en/publications/introduction>
- [4] <http://www.oiml.org/en/events/oiml-seminars>
- [5] <http://www.oiml.org/en/events/calendar>



Bild 2:
Teilnehmer der 48. Sitzung des Internationalen Komitees für Gesetzliches Messwesen (CIML) in Ho-Chi-Minh-Stadt (Vietnam)

Zur Förderung von Wissenschaft und Forschung verleihen der Helmholtz-Fonds e. V. und der Stifterverband für die Deutsche Wissenschaft e. V. gemeinsam den

Helmholtz-Preis 2014



Mit dem Helmholtz-Preis werden seit 1973 hervorragende wissenschaftliche und technologische Forschungsarbeiten auf dem Gebiet des Messwesens im Rahmen von Wettbewerben ausgezeichnet. Er wird vergeben auf dem Fachgebiet

Präzisionsmessung in Physik, Chemie und Medizin

Der Preis besteht aus einer Urkunde und ist mit **20000 €** dotiert.

Die eingereichte Arbeit muss im europäischen Raum oder in Zusammenarbeit mit Wissenschaftlern/Wissenschaftlerinnen, die in der Bundesrepublik Deutschland tätig sind, entstanden sein und eine originäre Leistung darstellen, die erst kürzlich abgeschlossen wurde. Sie kann experimentell oder theoretisch sein und sich sowohl auf Grundlagen als auch auf Anwendungen beziehen.

Bewerbungsschluss: 15.01.2014

Der Helmholtz-Preis 2014 wird am 24. Juni 2014 im Haus der Wissenschaft in Braunschweig im Rahmen des Helmholtz-Symposiums verliehen.

Ansprechpartner für Rückfragen

Dr. Robert Wynands
Koordinator Helmholtz-Preis
robert.wynands@ptb.de
Tel.: (0531) 592 1009

Genaue Hinweise zu den einzureichenden Bewerbungsunterlagen finden Sie auf der Webseite des Helmholtz-Fonds: www.helmholtz-fonds.de

Helmholtz-Fonds e. V., c/o Physikalisch-Technische Bundesanstalt,
Bundesallee 100, 38116 Braunschweig, www.helmholtz-fonds.de