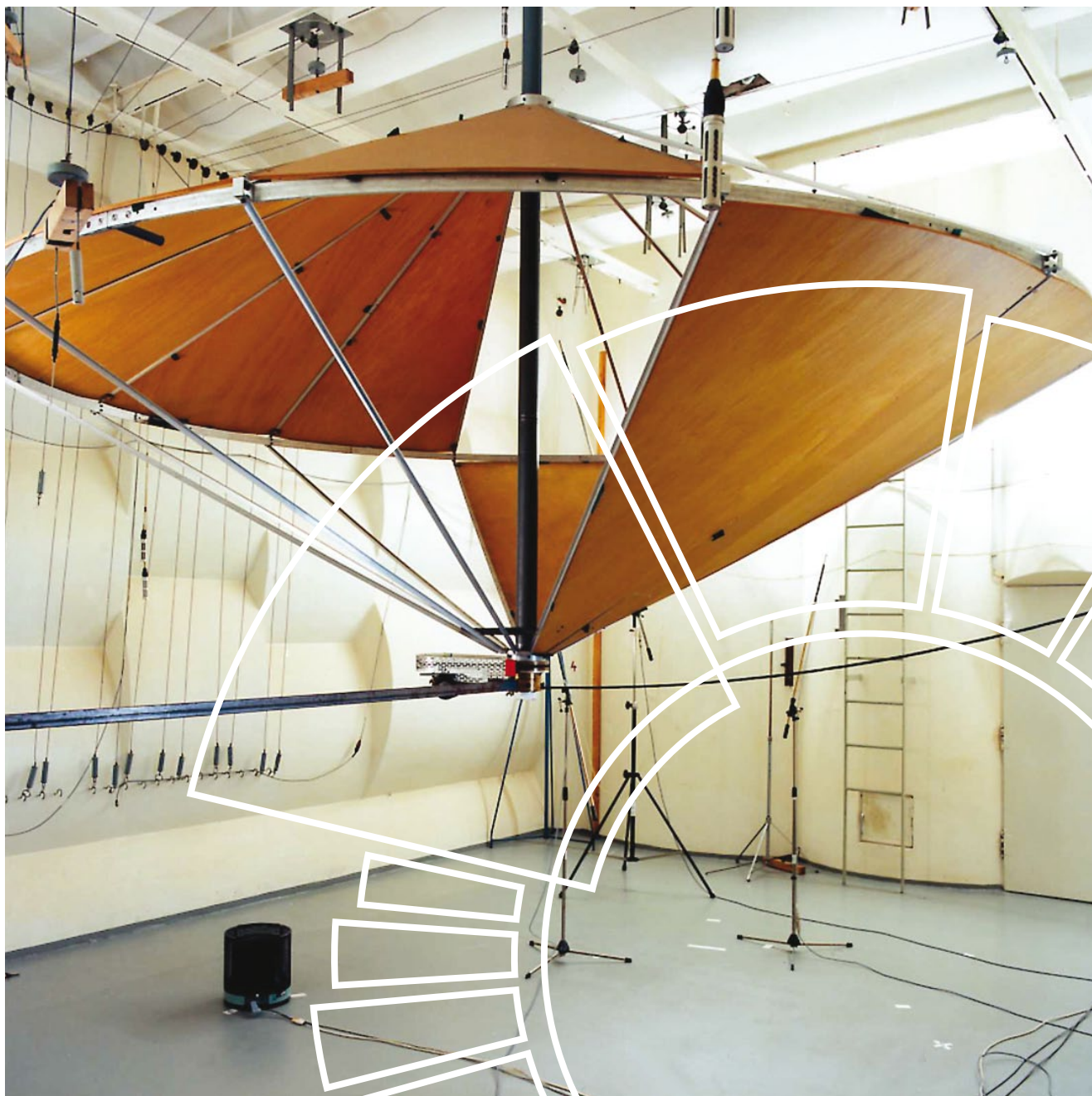


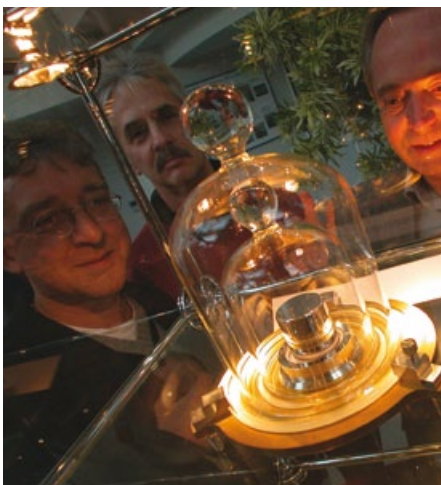
ABTEILUNG 1

## Mechanik und Akustik



## Mechanik und Akustik

Wie schwer, wie stark, wie schnell, wie laut? Die mechanischen und akustischen Größen sind in Abteilung 1 zu Hause. Neben Grundlagenforschung geht es vor allem auch um Prüfungen im gesetzlichen Messwesen.



Er ist in Deutschland das „Maß aller Massen“: der nationale Kilogramm-Prototyp in der PTB.

### Kilogramm

Ein kleiner Metallzylinder von 39 Millimeter Höhe und 39 Millimeter Durchmesser trägt die gesamte Verantwortung – wenn es darum geht zu sagen, was ein Kilogramm ist. Eine Kopie dieses Ur-Kilogramms, das im Internationalen Büro für Maße und Gewichte (BIPM) in Sèvres bei Paris unter drei Glaslocken in einem Panzerschrank liegt, trägt die Nummer 52, wird in der PTB aufbewahrt und hat die Aufgabe, der „Nationale Kilogrammprototyp Deutschlands“ zu sein. Doch wer eine unbekannte Masse bestimmen will, braucht mehr als nur ein einziges Vergleichs-Massestück. Die PTB baut daher – von diesem Prototyp ausgehend – eine ganze Masseskala auf: Anwender in der Wirtschaft können sich an diese Masseskala „anschließen“ und ihre Gewichtstücke und Massenormale zwischen einem Milligramm und 5000 Kilogramm in der PTB prüfen oder kalibrieren lassen. Zugleich ist das Kilogramm aktueller Forschungsstoff, denn die Metrologen würden sich lieber auf Naturkonstanten als auf ein körperliches Ding verlassen, vor allem wenn sich dieses im Laufe der Zeit verändert.

Eine Neudefinition peilt das internationale Projekt „Avogadro-Konstante“ mit einer Silizium-Kugel als Probanden an: Das Ziel dieses Projektes, an dem auch die PTB teilnimmt, ist es, die Anzahl der Atome der 1-kg-Silizium-Kugel so genau zu „zählen“, dass man eines Tages das Kilogramm als ein bekanntes Vielfaches einer Atommasse neu definieren kann. ■



Blick in die Prototypwaage, mit der 1-kg-Massenormale an den nationalen Kilogramm-Prototypen angeschlossen werden können.

### Waagen

Waagen sind etwas für Messkünstler – wenn es, wie bei der 1-kg-Prototypwaage der PTB, um allerhöchste Genauigkeit bei der letzten Stelle hinter dem Komma geht. Waagen sind aber auch etwas ganz Alltägliches – wenn etwa der Preis einer Ware zuverlässig bestimmt werden soll. So übersteigt der Wert der in Deutschland jährlich über Wägungen abgerechneten Waren 500 Milliarden Euro. Sobald eine Waage im amtlichen oder geschäftlichen Verkehr eingesetzt wird, braucht sie zuvor eine anerkannte Zulassung. Die PTB führt dazu (in Abhängigkeit vom Waagentyp) nationale oder europäische Bauartprüfungen durch und erteilt pro Jahr im Schnitt über 100 Zulassungen für nichtselbsttätige Waagen und über 50 Zulassungen für selbsttätige Waagen. Voraussetzung: Die Waage hat alle messtechnischen Prüfungen, die ihre späteren realen Einsatzbedingungen simulieren, bestanden.

So verschieden die Waagen auch sind – von der präzisen Apothekerwaage bis zur robusten Gabelstaplerwaage – die PTB kann sie alle testen. Überprüft und zertifiziert werden darüber hinaus alle am Wägesystem beteiligten Komponenten, von der an die Waage angeschlossenen Kasse bis zum dahinterstehenden PC samt Software. ■



## Kraft

Die obersten Instanzen, die höchsten nationalen Normale, für die Kraft sind in der PTB in mehreren Variationen vertreten, denn die realisierte Kraftskala erstreckt sich über mehr als sieben Zehnerpotenzen: von kleinen Kräften (weniger als ein Newton) bis zu 16,5 Millionen Newton. Und jeder Bereich auf dieser Skala verlangt nach einer auf ihn zugeschnittenen Kraft-Normalmesseinrichtung.

Die Anlagen arbeiten nach unterschiedlichen Prinzipien. Während Kräfte bis 2 Millionen Newton durch die unmittelbare Massewirkung von Belastungskörpern im Schwerfeld der Erde erzeugt werden können, bedient man sich für größere Kräfte des Verfahrens der hydraulischen Übersetzung – etwa um Kraftaufnehmer zu kalibrieren, die bei Schaufelradbaggern im Tagebau oder bei Offshore-Ölplattformen eingebaut sind. Ähnliche Normalmesseinrichtungen sind für das Drehmoment vorhanden. Hier werden die Kräfte über einen Hebelarm auf ein Drehmomentmessgerät übertragen. Die größte Anlage kann Drehmomente bis zu 1,1 Millionen Newtonmeter messen. Dass Kraftmessungen etwas mit Sicherheit zu tun haben, wird bei Crashtests mit Dummies besonders deutlich. Wie stark die Kraft ist, die bei dem künstlichen Unfall auf den Dummy einwirkt, ermitteln Kraftaufnehmer überall an seinem Körper. Diese Geräte werden von den Automobilfirmen regelmäßig in ihren Kalibrierlaboratorien überprüft. Die dabei eingesetzten Kraftmessmaschinen lassen sich direkt auf die Normale der PTB rückführen. Ihre Kalibrierdienstleistungen, d. h. die Weitergabe der Kraftskala und der Drehmomentskala, erfüllt die PTB sowohl national als auch international. Und bei der weltweiten Harmonisierung der Kraft- und der Drehmomentskala spielt die PTB als Pilotlabor eine aktive Rolle. ■



Die größte Kraftmesseinrichtung der PTB, die mit direkter Massewirkung arbeitet: die 2-MN-Normalmesseinrichtung.

## Geschwindigkeit

Sind Sie zu schnell gefahren? Wenn Sie dies, da Sie als „Verkehrssünder“ ertappt worden sind, auf einem Bußgeldbescheid feststellen, werden Sie sich ärgern, aber an der Macht des Faktischen ist kaum zu rütteln. Denn eines ist (ziemlich) sicher: Das Messergebnis Ihrer Geschwindigkeit ist zuverlässig, da jedes eingesetzte Messgerät (ob Radaranlage, Lichtschranke oder Induktionsschleife) eine Bauartprüfung in der PTB bestanden hat und von einer Eichbehörde geeicht wurde. So verlangt es das deutsche Eichgesetz, das vor den Folgen falscher Messwerte schützen soll. Die wichtigste Anforderung an eine Bauartzulassung besteht darin, dass der Messfehler eines Gerätes wirklich niemals die zulässigen Fehlergrenzen überschreiten darf (3 km/h bei Geschwindigkeitswerten bis 100 km/h, 3 % bei Geschwindigkeitswerten oberhalb 100 km/h). Einen zentralen Punkt bei der Bauartprüfung bilden Vergleichsmessungen im Straßenverkehr mit einer hochgenauen PTB-Referenzanlage, die stets mehrere tausend Einzelmessungen umfasst. ■



© Albrecht / fotolia.com

## Dynamik

Ein Buch auf einem Tisch übt auf diesen eine Gewichtskraft aus – die Kraft wirkt statisch, d. h. nicht zeitabhängig. Doch in der Wirklichkeit tauchen auch noch ganz andere Kräfte auf – solche, die nur kurzzeitig wirken, etwa bei einem Stoß, oder solche, die ständig die Richtung oder Intensität ändern, wie bei jeder Schwingung. Auf diese dynamischen Verhältnisse müssen sich auch die Messtechniker einstellen. Die PTB hat daher mehrere, teilweise weltweit einzigartige Normalmesseinrichtungen entwickelt und aufgebaut, mit denen mechanische Größen wie Beschleunigung, Druck oder Kraft mit sinus- und stoßförmigen Zeitabhängigkeiten erzeugt und mit Laser-Interferometern hochgenau gemessen werden. Im Gegensatz zu den üblichen statischen Messungen sind hiermit dynamische Kalibrierungen von Aufnehmern möglich. Erst so sind die Messunsicherheiten im „dynamischen Realfall“ vertrauenswürdig. Auch im Weltraum kann Bewegungsenergie gefährlich werden, beispielsweise wenn ein Raumschiff mit einem Brocken Weltraumschrott (z. B. aus Rückständen von anderen Raketenmotoren) kollidiert. Bei den hohen Geschwindigkeiten haben selbst winzige Teilchen hohe Durchschlagskraft. Mit einem Einschlag-Energiedetektor, den die PTB entwickelt und testet, soll diese Gefahr zukünftig abgeschätzt werden. ■

## Flüssigkeiten

Wie viel Flüssigkeit jährlich in Deutschland durch Rohre, Schläuche, Abfüllanlagen und Zapfhähne fließt, ist beachtlich: 62 Millionen Tonnen Kraftstoffe, 38 Millionen Tonnen Heizöl, 5500 Milliarden Liter Trinkwasser, 32 Milliarden Liter Milch und 12 Milliarden Liter Bier sind nur einige der zu messenden Flüssigkeitsmengen. Entsprechend umfangreich sind die Zulassungen und Zertifizierungen der hierfür verwendeten Messgeräte und -anlagen, die alle dem Eichgesetz unterstehen. Jenseits der Routine-Prüfungen gilt es zugleich, neuartige, auf modernen Verfahren beruhende Messtechniken zu entwickeln, da Industrie und Wissenschaft wie auch Medizin, Umwelt- und Verbraucherschutz immer höhere Genauigkeiten bei der Mengen- und Durchflussmessung strömender Flüssigkeiten verlangen. Mit dem Hydrodynamischen Prüffeld verfügt die PTB über die weltweit genaueste Messeinrichtung auf diesem Gebiet und kann kleinste Messunsicherheiten von 0,02 % überdies in einem sehr großen Messbereich von 0,3 m<sup>3</sup>/h bis 2100 m<sup>3</sup>/h realisieren. ■



Messstrecken und Wägesysteme des Hydrodynamischen Prüffelds.

## Strömung

Wie schnell fließt ein Gas oder eine Flüssigkeit durch ein Rohr? Welche Windgeschwindigkeit herrscht im Windkanal? Solche Fragen können und werden mit einer speziellen Lasertechnik beantwortet, der Laser-Doppler-Anemometrie (LDA). Die Technik nutzt den Effekt, dass sich die Frequenz elektromagnetischer Wellen in einem bewegten, transparenten Medium verändert, wenn das Licht auf kleine Streuteilchen im strömenden Medium trifft. Über diesen Doppler-Effekt ist eine störungsfreie Geschwindigkeitsmessung strömender Gase und Flüssigkeiten möglich. Eingesetzt werden LDA, um Strömungen zu untersuchen, Windmessgeräte zu kalibrieren und Volumendurchflüsse zu messen.

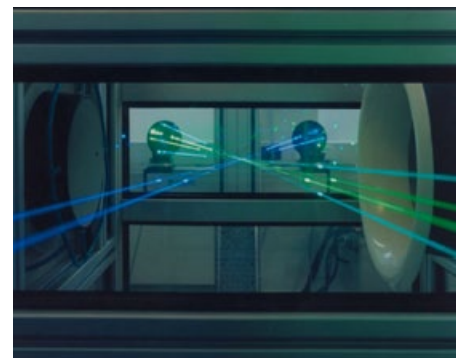
Wird z. B. das Geschwindigkeitsprofil eines Rohrquerschnitts gemessen, kann damit die Menge des durchströmten Mediums bestimmt werden. Insgesamt lässt sich mit der LDA-Technik die Einheit „Strömungsgeschwindigkeit“ präzise darstellen und weitergeben. ■

## Gase

Ganz Europa ist von einem gigantischen Rohrleitungssystem für Erdgas durchzogen. Nach Deutschland strömen im Jahr über 150 Milliarden Kubikmeter Erdgas,  $\frac{3}{4}$  davon werden im Land für die Energiegewinnung mit einem vergleichsweise geringen CO<sub>2</sub>-Ausstoß verbrannt. Wegen des großen Wertes dieser „Handelsware“ ist ein allseits akzeptiertes Abrechnungsmaß wichtig.

Abrechnungsgrundlage ist neben dem Brennwert die Einheit „Kubikmeter im Normzustand“, die mit modernen Messgeräten mit einer Unsicherheit von etwa 0,15 % ermittelt werden kann. Doch die Messmethoden in Europa und damit auch die Messwerte beim grenzüberschreitenden Handel waren in der Vergangenheit leicht unterschiedlich. Mittlerweile haben sich Frankreich, die Niederlande und Deutschland auf einen gewichteten Mittelwert und damit auf ein einheitliches, harmonisiertes Bezugsniveau geeinigt. Faktisch ist damit eine Art „europäisches Normal“ für die Volumeneinheit für Hochdruckerdgas geschaffen worden.

Doch nicht nur die Industrie, sondern auch die privaten Kunden müssen sich am Ende auf richtige Gasmessungen verlassen können. Dass die mehr als 10 Millionen haushaltsüblichen Gaszähler (vorwiegend Balgengaszähler) richtig messen, wird einerseits durch Bauartzulassung und Konformitätsbewertung dieser Gaszähler sichergestellt, andererseits durch regelmäßige Überwachung und Überprüfung auf einem der mehreren hundert Prüfstände in Deutschland, die wiederum durch Vergleich mit dem nationalen Normal kalibriert sind. Damit sichert die PTB eine hohe messtechnische Qualität aller für den Verkauf von Erdgas dienenden Messgeräte. ■



Kalibrierung eines Windmessgeräts (Anemometers) mit Hilfe der Laser-Doppler-Anemometrie.

## Ultraschall

Einer der ersten Kontakte mit der Außenwelt ist unhörbar – das erste Foto eines Kindes wird mit Ultraschall „geknipst“. Solche Ultraschallbilder gehören in zahlreichen Arztpraxen zum Standard, für die Untersuchung von Embryos und Föten im Mutterleib ebenso wie für den allgemeinen Routinecheck der inneren Organe bei erwachsenen Patienten. Damit die Ultraschall-Geräte korrekt und sicher betrieben werden können, muss ihr Schallfeld umfassend gemessen und charakterisiert werden. Hierzu stehen in der PTB mehrere Messplätze zur Verfügung – für diagnostische, therapeutische oder chirurgische Ultraschall-Geräte. Basis aller dieser Messungen sind natürlich die Einheiten des Ultraschalls, das Pascal für den Schalldruck und das Watt für die Schallleistung, die in der PTB realisiert werden. ■



Ist das Kind auch wirklich gesund? Mit Hilfe von modernem 4D-Ultraschall lässt sich vieles schon lange vor der Geburt herausfinden.



Hallraum der PTB: Der rotierende Schirm sorgt dafür, dass der Schall einer Geräuschquelle möglichst gleichmäßig im Raum verteilt wird.

## Hörschall

Stille herrscht in einem der ungewöhnlichsten Räume der PTB: im „reflexionsarmen Raum“. Alle sechs (!) Wände sind hier so gestaltet, dass jeder auftreffende Schall nicht wie gewöhnlich reflektiert, sondern nahezu vollständig „verschluckt“ wird. So lassen sich Schallpegelmessgeräte und Mikrofone frei von Raumeinflüssen akustisch prüfen. Schallpegelmessgeräte sind die wichtigsten Messgeräte zur Messung von Lärm. Lärm beeinträchtigt die Lebensqualität, kann gesundheitliche Beeinträchtigungen beim Menschen hervorrufen und führt zu erheblichen Kosten. Im Rahmen einer Bauartprüfung stellt die PTB die Eichfähigkeit von Schallpegelmessgeräten und Schallkalibratoren fest. Mit Hilfe spezieller Mikrofone wird die Einheit des Schalldrucks (je nachdem, ob das Mikrofon zur Anwendung im freien Schallfeld oder in einer Druckkammer vorgesehen ist) im Rahmen einer Freifeld- oder Druckkalibrierung weitergegeben. Darüber hinaus leistet die PTB einen wichtigen Normungsbeitrag für Schallmessgeräte. Dazu gehören auch Schallintensitätsmessgeräte, Personenschallexposimeter sowie Geräte zur Messung von Flugzeuggeräuschen. Aber auch wenn man nicht mehr hört, ist die PTB gefragt: Die regelmäßige Prüfung von Audiometern wird durch die Bereitstellung und Prüfung „künstlicher Ohren“ durch die PTB ermöglicht. Außerdem werden Referenzhörschwellen, gewissermaßen das „goldene“ Ohr für alle neuen audiologischen Verfahren, bestimmt und zur Verfügung gestellt. ■

## Angewandte Akustik

Der Lärm macht vor unseren eigenen vier Wänden nicht halt! 80 % der Bevölkerung haben direkte Nachbarn und 90 % davon hören diese zwangsweise. Außerdem beschallen immer mehr technische Anlagen unsere Wohnungen. Dem „akustischen Umweltschutz“ in diesem Bereich haben sich die Bauakustiker der PTB verschrieben. Sie betreiben nicht nur diverse Prüfstände, um der Weiterleitung von Schall in Gebäuden auf die Spur zu kommen, sondern sie entwickeln auch völlig neue Messverfahren, um die „Lärmfähigkeit“ von Schallquellen überhaupt

messbar und damit auch vorhersagbar zu machen. Beispiele hier für sind Abwassergeräusche oder der sogenannte Trittschall. Die PTB-Akustiker arbeiten auch an der Verbesserung bestehender akustischer Messverfahren, die wegen des extrem komplexen physikalischen Hintergrundes vielen Unsicherheitsfaktoren unterliegen. Alle diese Erfahrungen sind in der Industrie, bei der obersten Bauaufsicht und bei der Normen- und Regelung hochwillkommen. ■



# Fachbereiche und Kontakt

## Abteilungsleiter

Dr. Roman Schwartz  
Telefon: (0531) 592-1010  
Telefax: (0531) 592-1015  
E-Mail: roman.schwartz@ptb.de

## Fachbereich 1.1 Masse

- Darstellung Masse
- Waagen
- Dynamisches Wägen
- IT-Wägetechnik

Dr. Dirk Ratschko  
Telefon: (0531) 592-1100  
E-Mail: dirk.ratschko@ptb.de

## Fachbereich 1.2 Festkörpermechanik

- Darstellung Kraft
- Darstellung Drehmoment
- Periodische Kräfte

Dr. Rolf Kumme  
Telefon: (0531) 592-1200  
E-Mail: rolf.kumme@ptb.de

## Fachbereich 1.3 Geschwindigkeit

- Geschwindigkeitsmessgeräte
- IT-Verkehrsmessgeräte
- Dynamische Druckmessung

Prof. Dr. Frank Michael Jäger  
Telefon: (0531) 592-1300  
E-Mail: frank.jaeger@ptb.de

## Sekretariat

Cindy Rogasch  
Telefon: (0531) 592-1011  
Telefax: (0531) 592-1015  
E-Mail: cindy.rogasch@ptb.de

Physikalisch-Technische Bundesanstalt  
Abteilung 1: Mechanik und Akustik  
Bundesallee 100  
38116 Braunschweig  
www.ptb.de

## Fachbereich 1.4 Gase

- Strömungsmesstechnik
- Gasmessgeräte
- Hochdruck-Gas

Dr. Helmut Többen  
Telefon: (0531) 592-1400  
E-Mail: helmut.toebben@ptb.de

## Fachbereich 1.5 Flüssigkeiten

- Flüssigkeitsmessgeräte
- Flüssigkeitsprüfstände
- Rückführung Flüssigkeitsmessungen

Dr. Gudrun Wendt  
Telefon: (0531) 592-1500  
E-Mail: gudrun.wendt@ptb.de

## Fachbereich 1.6 Schall

- Hörschall
- Ultraschall
- Geräuschesstechnik

Dr. Christian Koch  
Telefon: (0531) 592-1600  
E-Mail: christian.koch@ptb.de

## Fachbereich 1.7 Akustik und Dynamik

- Darstellung Beschleunigung
- Angewandte Akustik
- Stoßdynamik

Prof. Dr. Werner Scholl  
Telefon: (0531) 592-1700  
E-Mail: werner.scholl@ptb.de

Die Abteilung führt Grundlagenforschung auf dem Gebiet der mechanischen und akustischen Messgrößen durch. In der Abteilung werden entsprechende Normale entwickelt, um die Messskalen mit höchster Genauigkeit darzustellen und weiterzugeben. Wichtig ist weiter der Aufbau von Messeinrichtungen zur Durchführung von Prüfungen, hier insbesondere für das gesetzliche Messwesen und den DKD. Mitarbeiter beraten in allen Fragen der einschlägigen Messtechnik. ■

