

## Naturkonstanten als Maß aller Dinge

- Naturkonstanten definieren künftig die Einheiten im Internationalen Einheitensystem (SI)
- Das neue Einheitensystem tritt am 20. Mai 2019 in Kraft
- Es bildet eine Art universelle Sprache und ist offen für technologische Innovationen

Die Welt ist sich in vielen Dingen nicht einig. Aber alle wollen mit denselben Maßen messen. Ein Wunsch, der sich in einer globalisierten Welt wirtschaftlich buchstäblich auszahlt. Am Weltmetrologietag am 20. Mai 2019 kommt es daher zu einem Paradigmenwechsel (Metrologie ist die Wissenschaft vom physikalisch präzisen Messen). Vorbei die Zeiten, in denen ein Metallzylinder vorschreibt, was ein Kilogramm sein soll, oder eine spezifisch herzustellende Isotopenmischung von Wasser die Einheit der Temperatur festlegt. Das Internationale Einheitensystem (Système international d'unités, kurz: SI) erfährt mit der 26. Generalkonferenz für Maß und Gewicht im November 2018 eine grundsätzliche Änderung: Naturkonstanten definieren dann alle physikalischen Einheiten, darunter die Lichtgeschwin-

digkeit  $c$ , das Plancksche Wirkungsquantum  $h$  und die Boltzmann-Konstante  $k$ .

Unzulänglichkeiten bei den Definitionen von Kilogramm, Kelvin und Co. machen diesen Paradigmenwechsel notwendig. Besonders prägnant: Das Ur-Kilogramm und seine Kopien unterscheiden sich in ihrer Masse zum Teil um ein halbes Mikrogramm pro Jahr [siehe Physikkonkret Nr. 22] – ein auf Dauer unhaltbarer und im Detail unverstandener Effekt. Ähnlich ergeht es anderen Einheiten, was ironischer Weise derzeit dazu führt, dass die offiziellen Werte der Naturkonstanten regelmäßig angepasst werden mussten und daher „veränderlich“ waren! So bekam die Ladung des Elektrons alle vier Jahre einen neuen Zahlenwert – obwohl sie sich real natürlich nicht geändert hat.

Deswegen nehmen die Metrologie-Institute künftig das Stabilste, was die Physik zu bieten hat: Naturkonstanten! Diese tauchen in allen fundamentalen Gleichungen der Physik auf und bestimmen somit das „Regelwerk“ der Natur. Nachdem metrologische Institute auf der ganzen Welt in extrem aufwendigen Experimenten die Werte der wichtigsten Naturkonstanten möglichst exakt gemessen haben, werden deren Werte im November 2018 nun ein für alle Mal festgelegt.

Alle Einheiten lassen sich dann als Kombination von Naturkonstanten darstellen: Die Sekunde mit dem Bezug auf einen Elektronenübergang im Cäsiumatom und der Meter mit dem Bezug zur Lichtgeschwindigkeit hatten dies schon vorge-macht; und auch die elektrischen Einheiten Volt und Ohm hatten sich schon bei Quanteneffekten und entsprechenden Konstanten für ihre Realisierung bedient. Mit der Neuregelung ist das Kilogramm jetzt sehr eng mit dem Planckschen Wirkungsquantum  $h$  verkoppelt, das Kelvin mit der Boltzmann-Konstante  $k$  und das Ampere mit der Elementarladung  $e$ . Für

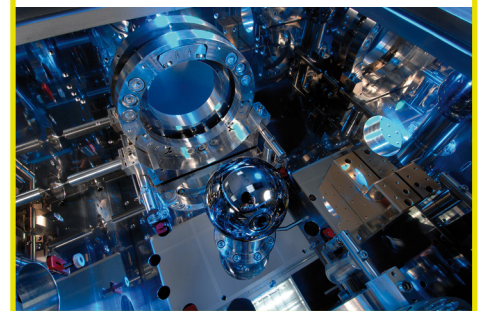


Dieter Meschede, Präsident der Deutschen Physikalischen Gesellschaft

„Ein universelles Einheitensystem ist vieles in einem: eine diplomatische Meisterleistung, ein ästhetisches Gebilde und ein technologisches Versprechen.“

### Abb. 2

Im Avogadro-Experiment wurden anhand nahezu perfekter Einkristallkugeln aus Silizium (hier in einem Kugelinterferometer) gleich zwei Naturkonstanten bestimmt: die Avogadro-Konstante  $N_A$  und das Planck'sche Wirkungsquantum  $h$ . Nach der Festlegung der Konstanten sind derartige Si-Kugeln eine Möglichkeit, das Kilogramm zu realisieren. (Foto: PTB)



eine vollständige Darstellung kommen freilich noch weitere Konstanten hinzu.

Das komplett neu definierte Einheitensystem beseitigt die Mängel des bisherigen Systems, wobei die Änderungen im täglichen Leben nicht bemerkbar sind. Der Vorteil ist jedoch überzeugend: Naturkonstanten gelten überall. Damit bildet das neue SI gewissermaßen eine universelle Sprache, im Gegensatz zum Ur-Kilogramm oder dem Tripelpunkt von Wasser, die auf historisch gewachsenen, durch Herstellungsvorschriften definierten Objekten basierten. Damit ist das SI für alle Zeiten und an jedem Ort offen für alle technologischen Innovationen.

### Abb. 1



Wenn die Änderungen im Internationalen Einheitensystem (SI) am Weltmetrologietag am 20. Mai 2019 in Kraft treten, spielen die Werte ausgewählter Naturkon-

stanten die Hauptrolle (siehe Tab. 1). Sie definieren sowohl die bisherigen Basiseinheiten als auch alle abgeleiteten Einheiten. (Grafik: PTB)

### Tab. 1 Die Werte der Naturkonstanten für das neue Einheitensystem

- Frequenz des Hyperfeinstrukturübergangs des Grundzustands im  $^{133}\text{Cs}$ -Atom  $\Delta\nu = 9\,192\,631\,770\text{ s}^{-1}$
- Lichtgeschwindigkeit im Vakuum  $c = 299\,792\,458\text{ m s}^{-1}$
- Planck-Konstante  $h = 6,626\,070\,15 \cdot 10^{-34}\text{ J s}$  ( $\text{J s} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-1}$ )
- Elementarladung  $e = 1,602\,176\,634 \cdot 10^{-19}\text{ C}$  ( $\text{C} = \text{A s}$ )
- Boltzmann-Konstante  $k = 1,380\,649 \cdot 10^{-23}\text{ J K}^{-1}$  ( $\text{J K}^{-1} = \text{kg m}^2 \text{s}^{-2} \text{K}^{-1}$ )
- Avogadro-Konstante  $N_A = 6,022\,140\,76 \cdot 10^{23}\text{ mol}^{-1}$
- Das Photometrische Strahlungsäquivalent  $K_{\text{cd}}$  einer monochromatischen Strahlung der Frequenz  $540 \cdot 10^{12}\text{ Hz}$  ist genau gleich  $683\text{ lm W}^{-1}$  (Lumen durch Watt).

# Deutsche **Physikalische** Gesellschaft

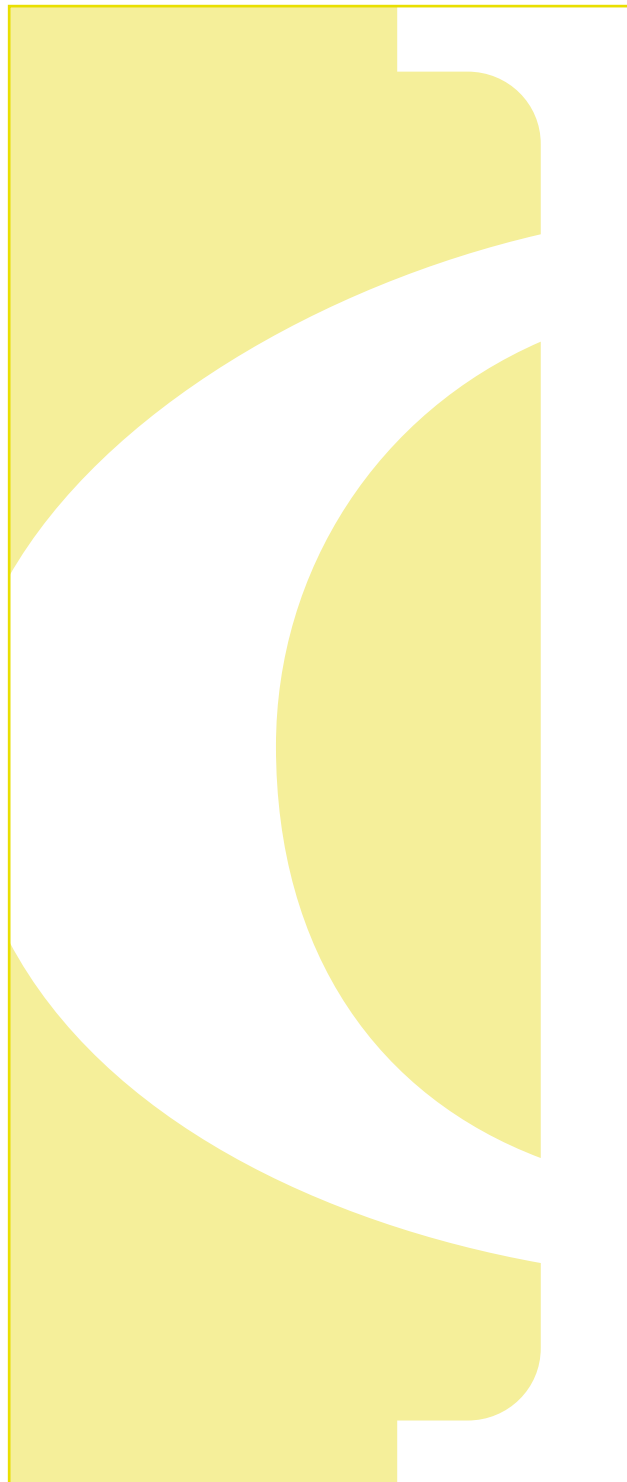
**Die Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V. (DPG)**, deren Tradition bis in das Jahr 1845 zurückreicht, ist die älteste nationale und mit rund 62.000 Mitgliedern auch die größte physikalische Fachgesellschaft weltweit. Sie versteht sich als Forum und Sprachrohr der Physik und verfolgt als gemeinnütziger Verein keine wirtschaftlichen Interessen. Die DPG unterstützt den Gedankenaustausch innerhalb der wissenschaftlichen Gemeinschaft mit Tagungen und Publikationen. Sie engagiert sich in der gesellschaftspolitischen Diskussion zu Themen wie Nachwuchsförderung, Chancengleichheit, Klimaschutz, Energieversorgung und Rüstungskontrolle. Sie fördert den Physikunterricht und möchte darüber hinaus allen Neugierigen ein Fenster zur Physik öffnen.

In der DPG sind Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler, Studierende, Lehrerinnen und Lehrer, in der Industrie tätige oder einfach nur an Physik interessierte Personen ebenso vertreten wie Patentanwälte oder Wissenschaftsjournalisten. Gegenwärtig hat die DPG neun Nobelpreisträger in ihren Reihen. Weltberühmte Mitglieder hatte die DPG immer schon. So waren Albert Einstein, Hermann von Helmholtz und Max Planck einst Präsidenten der DPG.

Die DPG finanziert sich im Wesentlichen aus Mitgliedsbeiträgen. Ihre Aktivitäten werden außerdem von Bundes- und Landesseite sowie von gemeinnützigen Organisationen gefördert. Besonders eng kooperiert die DPG mit der Wilhelm und Else Heraeus-Stiftung.

Die DPG-Geschäftsstelle hat ihren Sitz im Physikzentrum Bad Honnef in unmittelbarer Nähe zur Universitäts- und Bundesstadt Bonn. Das Physikzentrum ist nicht nur ein Begegnungs- und Diskussionsforum von herausragender Bedeutung für die Physik in Deutschland, sondern auch Markenzeichen der Physik auf internationalem Niveau. Hier treffen sich Studierende und Spitzenwissenschaftler bis hin zum Nobelpreisträger zum wissenschaftlichen Gedankenaustausch. Auch Lehrerinnen und Lehrer reisen immer wieder gerne nach Bad Honnef, um sich in den Seminaren der DPG fachlich und didaktisch fortzubilden.

In der Bundeshauptstadt Berlin ist die DPG ebenfalls präsent. Denn seit ihrer Vereinigung mit der Physikalischen Gesellschaft der DDR im Jahre 1990 unterhält sie dort das Magnus-Haus. Dieses 1760 vollendete Stadtpalais, das den Namen des Naturforschers Gustav Magnus trägt, ist eng mit der Geschichte der DPG verbunden: Aus einem Gelehrntreffen, das hier regelmäßig stattfand, ging im Jahre 1845 die „Physikalische Gesellschaft zu Berlin“, später die DPG hervor. Heute finden hier Kolloquien und Vorträge zu physikalischen und gesellschaftspolitischen Themen statt. Gleichzeitig befindet sich im Magnus-Haus Berlin auch das historische Archiv der DPG.



## **Deutsche Physikalische Gesellschaft e. V.**

Geschäftsstelle      Tel.: 02224 / 92 32 - 0  
Hauptstraße 5      Fax: 02224 / 92 32 - 50  
53604 Bad Honnef      E-Mail: dpg@dpg-physik.de

Die Deutsche Physikalische Gesellschaft  
dankt ihrem Autor  
Dr. Dr. Jens Simon von der Physikalisch-Technischen  
Bundesanstalt (PTB).