

Bericht Jörg Wetterau, Linsengericht

Vom Nobelpreis zu einer neuen Definition des Kilogramms

Der Nobelvortrag von Klaus von Klitzing

Eine Idee von Max Planck wurde am 20. Mai 2019 Wirklichkeit. Von diesem Tag an beruhen sämtliche Einheiten des Internationalen Einheiten-Systems (SI-System) auf Naturkonstanten. Zuvor waren das Kilogramm und das damit verbundene Mol über einen materiellen Prototypen – das Urkilogramm – definiert worden. Klaus von Klitzing hat mit seiner Entdeckung des Quanten-Hall-Effekts entscheidend zu dieser Neuerung beigetragen.

Der Abschied vom berühmten Kilogramm-Prototypen war von dem Internationalen Büro für Maß und Gewichte (IBPM) seit langem vorbereitet. Doch als der Nobelpreisträger seinen Vortrag in Saarbrücken hielt, war die definitive Ablösung des Urkilogramms noch nicht beschlossen, ebenso war nicht klar, welche Methode zur Realisierung des Kilogramms die Spitzenstellung einnehmen wird – eine elektrische Messung unter Nutzung des Quanten-Hall-Effekts mit der Kibble-Waage oder die Herstellung einer Silicium-Kugel aus einer definierten Zahl von Atomen (Avogadro-Projekt). So stand der Vortrag von Professor von Klitzing ganz im Banne der wahrhaft historischen Entscheidung. Sie führte zu einer Revolution der Metrologie, der Wissenschaft vom Messen. Manche sprechen sogar von der zweiten großen Revolution nach der Französischen Revolution. Zu deren dauerhaften Folgen gehören nämlich die Schaffung eines weltumfassenden Einheitensystems, welches dauerhaft Gültigkeit hat, nach dem Motto „A tous les temps, à tous les peuples“.

Wie viel wiegt ein Kilogramm? Lange Zeit war klar: So viel wie das Urkilogramm aus einer Platin-Iridium-Legierung, das seit 1889 gut gesichert in einem Tresor im Internationalen Büro für Maße und Gewichte bei Paris liegt. Doch der Metallzylinder von 39 Millimetern Höhe und 39 mm Durchmesser hat wie seine zahlreichen Kopien ein Problem: Die Massen der Metallkörper sind nicht mehr identisch, und sie verlieren, wenn auch nur minimalst, an Gewicht. Da aber das Urkilogramm das Maß aller Dinge war, musste auch der Wert von Naturkonstanten an das Urkilogramm angepasst werden, d. h. die Naturkonstanten erhielten von Zeit zu Zeit einen neuen Wert – eine paradoxe Situation, und besonders für theoretische Physiker völlig unbefriedigend. Bereits Max Planck hatte im Jahr 1900 vorgeschlagen, die grundlegenden Maßeinheiten über Naturkonstanten zu definieren, so dass sie universelle, dauerhafte Geltung hätten. Max Planck spielte dann auch in dem Vortrag eine große Rolle.

Gefragt war eine Idee für eine Neudefinition des Kilogramms, die weltweit gültig und auf weniger als 50 Millionstel Gramm genau ist. „Hat jemand hier im Saal eine Idee?“, fragte Nobel-

preisträger Klaus von Klitzing die mehr als 800 Zuhörer im Saarbrücker Staatstheater bei der Jahresversammlung der Gesellschaft Deutscher Naturforscher und Ärzte (Abb. 1).

Klaus von Klitzing selbst fällt bei dieser Neudefinition eine bedeutende Rolle zu. Denn bei der Neufestlegung des Kilogramms spielt die von ihm entdeckte Konstante, die ihm 1985 den Nobelpreis eintrug, eine Schlüsselrolle (Abb. 2). Der Quanten-Hall-Effekt und die daraus abgeleitete von-Klitzing-Konstante machen neben anderen Effekten der Quantenphysik die universelle Kilogramm-Definition möglich. Am 16. November 2018 – zwei Monate nach seinem Nobelvortrag in Saarbrücken – stimmten die Vertreter der Generalkonferenz für Maß und Gewicht in Versailles über ein neues Einheitensystem ab – und das Urkilogramm wird nun über die Planck-Konstante – für deren Bestimmung wiederum die von-Klitzing-Konstante entscheidend ist – neu definiert.

„Ich bin stolz darauf, dass ich eingeladen worden bin, dort den Eröffnungsvortrag zu halten, vor diesem Gremium, das für die ganze Welt das neue Einheitensystem festlegt. Da werde ich auch versuchen, den mehr politisch angehauchten Delegationsver-

Nur zum persönlichen Gebrauch



Abb. 1. Einladung zum Abendvortrag, mit dem sich die GDNÄ der Öffentlichkeit präsentierte.

tertern die Begeisterung für Wissenschaft zu vermitteln. Und zu zeigen, wie wichtig Grundlagenforschung ist, denn die hat durch meine Erkenntnisse dazu beigetragen, dass alle SI-Einheiten auf physikalische Konstanten zurückzuführen sind. Ich halte ja viele Vorträge weltweit, aber dieser Vortrag hat dann noch eine besondere emotionale Note. Denn schließlich bin ich ja gewissermaßen der Schuldige, dass die Masse neu definiert wird“, sagte Professor von Klitzing in einem Interview für die *Naturwissenschaftliche Rundschau*, das er im Anschluss an seinen GDNÄ-Vortrag gab (vgl. NR 10 /2018, S. 489).

Die Generalkonferenz setzt sich aus Vertretern aus 60 Mitgliedsstaaten und 41 assoziierten Staaten zusammen und trifft sich alle vier bis sechs Jahre. Deutschland ist seit 1875 dabei. Die Weichen für das neue Einheitensystem wurden bereits bei der Generalkonferenz 2014 gestellt. Voraussetzung für die Realisierung der Kilogramm-Definition war laut Internationalem Büro für Maß und Gewicht (BIPM) „jede Methode, die vereinbar ist mit den Gesetzen der Physik und verwendet werden kann, um eine SI-Einheit zu realisieren“. Das BIPM hatte zudem bereits 2016 festgelegt, dass drei unabhängige Institute in der Lage sein sollen, die für die Realisierung des Kilogramms nötigen

Experimente durchzuführen, und zwar übereinstimmend bis auf 50 µg genau.

Tatsächlich kam es wie erhofft: Seit dem 20. Mai 2019 wird das Kilogramm durch eine elektrische Wägung, bei der die von-Klitzing-Konstante sowie auch eine zweite, nach dem US-amerikanischen Physiker und Nobelpreisträger Brian D. Josephson benannte Konstante eine Rolle spielen (Abb. 3), definiert. Auch ein ganz anders geartete Methode, die unter Federführung der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig entwickelt wurde (bekannt als Avogadro-Projekt, weil sie über die Herstellung einer ultrareinen Kugel aus Silicium-28-Isotopen aus genau N_L Teilchen – der sog. Avogadrozahl – erfolgt), kam zum Zug. Beide Experimente erlauben es, ausgehend von einem festen Wert für die Planck-Konstante, ein Kilogramm mit der geforderten Genauigkeit zu realisieren.

Damit sind nun sämtliche sieben Basisgrößen, die wir zur Vermessung der Welt benötigen, über Naturkonstanten festgelegt: Sekunde durch die Frequenz, Meter durch die Lichtgeschwindigkeit, Kilogramm durch die Planck-Konstante, Ampere durch die Elementarladung, Kelvin durch die Boltzmann-Konstante, die Stoffmenge Mol durch die Avogadro-Konstante sowie die Lichtstärke Candela durch das photometrische Strahlungsäquivalent.

„Die Neudefinition der SI-Einheiten ist ein großer Schritt für die Wissenschaft, im täglichen Leben, werden Sie davon aber wenig merken“, so von Klitzing. Und er beruhigte sogleich die Goldbarrenbesitzer, denn „die Masse eines ‚neuen Kilogramms‘ wird zum Zeitpunkt der Umstellung exakt mit dem altbekannten Kilogramm übereinstimmen“. Der Goldbarren wird also zumindest von der Masse her nicht an Wert verlieren.



Abb. 2. Im Vorgriff auf die historische Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM).

Wie es zur Neudefinition des Kilogramms kam

Klaus von Klitzing sieht sich als „Ur-Ur-Enkel“ von Max Planck (1858 – 1947), und zwar nicht nur ideell, sondern über eine regelrechte Ahnengalerie. Den Beweis lieferte er über den Stammbaum der Doktorväter. Max Planck, der in den Jahren 1921/22 auch GDNÄ-Präsident war, betreute Max von Laue, dieser Max Kohler, und dieser wiederum Gottfried Landwehr, der am Ende der Doktorvater von Klaus von Klitzing war. Max

Planck selbst erhielt 1918 den Physik-Nobelpreis, und auch sein Name ist mit einer Konstante verbunden: Klitzing zeigte dabei den schlichten, weißen Grabstein von Max Planck, den nur der berühmte Name und weiter unten „seine“ vielleicht noch berühmtere – auf jeden Fall aber unvergängliche – Planck-Konstante zierte: $h = 6,62 \times 10^{-34} \text{ W s}^2$ ist dort zu lesen (Abb. 4).

Von Klitzing führte aus, warum gerade der von ihm entdeckte Quanten-Hall-Effekt für die Neudefinition der SI-Einheiten so elementar wichtig ist und die entscheidende Voraussetzung für die revolutionäre Umstellung vom Urkilogramm auf eine physikalische Konstante war.

Der von ihm entdeckte Quanten-Hall-Effekt (QHE) tritt auf, wenn ein zweidimensionales Elektronengas bei sehr tiefen Temperaturen (ca. 2 K) einem starken, senkrecht dazu wirkenden Magnetfeld (ca. 15 Tesla) ausgesetzt ist. In einer nur ein Atom dicken Kristallschicht ändert sich dann der elektrische Widerstand nicht kontinuierlich (wie beim klassischen Hall-Effekt), sondern „quantisiert“. Dabei ist der Hall-Widerstand stets ein ganzzahliger Bruchteil des Naturkonstanten-Quotienten h/e^2 (h = Plancksches Wirkungsquantum, e = Elementarladung),



Abb. 3. Die beiden Nobelpreisträger Brian D. Josephson und Klaus von Klitzing bei ihrer ersten Begegnung bei dem Nobelpreisträgertreffen 2016. Eingebildet sind die beiden nach ihnen benannten Naturkonstanten, über die mittels der Kibble-Waage eine genaue Bestimmung von h möglich ist.

woraus sich eine neue Konstante, die von-Klitzing-Konstante R_K ergibt. Der Quanten-Hall-Effekt wurde seit 1.1.1990 weltweit für präzise Eichungen von elektrischen Widerständen eingesetzt. Darüber hinaus wird er nun zur Neudefinition des Kilogramms herangezogen. Der QHE bzw. die von-Klitzing-Konstante kommt ins Spiel, um beim elektronischen Kilogramm eine direkte Beziehung zwischen dem Gewicht eines Kilogramms und dem Planckschen Wirkungsquantum h herzustellen. Dieses hat die Dimension J_s (Energie mal Zeit, also $\text{m}^2 \text{kg/s}$) und ist damit direkt mit dem Kilogramm gekoppelt.

Allerdings hat die neue Definition des Kilogramms auch Konsequenzen für die von-Klitzing-Konstante. Dieser elektrische Widerstand ist nun keine Messgröße mehr, sondern ebenfalls in dem neuen SI-System definitorisch exakt festgelegt mit



Abb. 4. Mehr als eine Marginalie: Den unteren Rand des Grabsteins von Max Planck zierte ein Leiste mit dem Wert des Wirkungsquantum h , das im Laufe der Zeit einige Neubestimmungen erfuhr. Damit hat es ein Ende: Der Wert ist nun festgelegt und ist die Grundlage der neuen Kilogrammdefinition.

dem Wert $R(k) = 25812,8074593 \text{ Ohm}$, ein Wert, den ein findiger Hersteller von Widerständen schon 1986 als „ganzen Klitzing“ bezeichnete und drahtgewickelte Hochpräzisions-Widerstände als „Klitzing auf Lager“ bereithielt, erinnerte sich von Klitzing in seinem humorvollen und mit mancher Anekdote gewürzten Nobelvortrag.

Zu Realisierung seiner Arbeiten am QHE arbeitete von Klitzing in Grenoble mit seinen Kollegen in der Regel nachts, da dann der Strom für die Experimente preiswerter war und weniger Messstörungen zu erwarten waren. Diese Nachtaktivität hat von Klitzing nach eigenen Aussagen auch als Emeritus bis heute beibehalten. „Selbstverständlich standen Baguettes, Käse und Rotwein immer in der Nähe“, schmunzelte der Nobelpreisträger, als er dem Publikum ein gestelltes Photo für die Presse in seinem Labor aus dem Jahr 1985 zeigte.

Seine Nobelpreis-würdige Entdeckung des QHE kam für ihn selber völlig unerwartet, denn eigentlich ging es bei seiner Grundlagenforschung um das Verständnis von Elektronenbewegungen in MOSFETs (Silicium-Feldeffekttransistoren). Die Forschung an diesem wichtigsten Bauelement der Mikroelektronik führte schließlich zur unerwarteten Entdeckung des quantisierten Hall-Effekts, führte er aus. Gut 100 Jahre nach der Entdeckung des Hall-Effekts durch den Briten Edwin Hall im Jahre 1879 gelang Klaus von Klitzing seine wegweisende Entdeckung 1980. Er führte in Grenoble zunächst Standardmessungen des Hall-Effekts an Mikroelektronikbauteilen durch, konnte sich aber gewisse Abweichungen seiner experimentellen Kurve von der idealen Kurve zunächst nicht erklären (Abb. 5), denn es zeigte sich „ein unerwartetes Plateau in der Nähe des oberen Papierrandes. Und als Wissenschaftler ist meine Aufgabe, Dreck von echten Messwerten zu unterscheiden. Und dieses Plateau musste ich verstehen. Das war quasi der Anfang von meiner Entdeckung“, sagte von Klitzing. Dieses Plateau erwies sich dann tatsächlich als sehr präziser Hall-Widerstand mit dem Wert der von Klitzing-Konstante R_K . „Man muss neugierig fragen

Nur zum persönlichen Gebrauch

© Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft Stuttgart

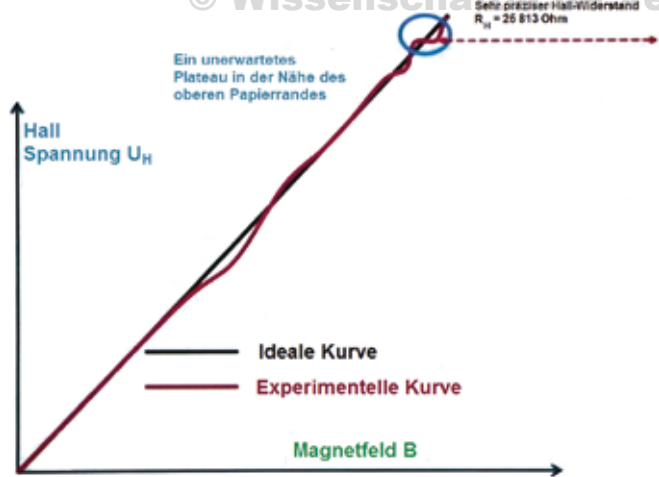


Abb. 5. Die Hall-Spannung U_H ($U_H \sim B \cdot I$) ist eine Proportionalitätskonstante und enthält Informationen über die Elektronenkonzentration. Hierauf richtete K. v. Klitzing sein Augenmerk bei seinen Experimenten an den MOSFETs, um den Elektronenfluss in diesen ubiquitären Bauelementen der Elektronik besser zu verstehen.

und verstehen wollen, das ist Forschung“, gab er den Zuhörern mit auf den Weg.

„Es ist eine experimentelle Tatsache: Alle quantisierten Hall-Widerstände liefern denselben Wert auf mindestens zehn Stellen“ führte er weiter aus. Seine Entdeckung hatte schon kurze Zeit später weitreichende Folgen in der Metrologie. So gab beispielsweise die Physikalisch-Technische Bundesanstalt in Braunschweig bekannt, dass „gemäß internationaler Vereinbarung für die von-Klitzing-Konstante R_K der Wert 25 812,807 Ohm exakt festgelegt und als R_{K-90} bezeichnet wird. Dieser Wert wird ab dem 1. 1. 1990 für die Weitergabe des Ohm, der Einheit des elektrischen Widerstands, benutzt.“

Aber ebenso hat diese Konstante eine Bedeutung für die Neudefinition der SI-Einheiten. Die Planck-Konstante steht über Einsteins Formel $E = mc^2$ und Plancks Formel $E = h\nu$ in unmittelbarer Beziehung zur Masse m .

Von Klitzing zeigte in einer historischen Rückschau auch eine frühe Definition des Kilogramms: So hatte man bereits 1795, im Nachklang der Französischen Revolution, beschlossen, die damals wichtigsten Einheiten für die Größen Masse, Länge und Zeit (die beiden ersteren metrisch) eindeutig festzulegen. Ein Kilogramm entsprach damals zunächst einem Kubikdezimeter – also einem Liter – Wasser bei der Temperatur des schmelzenden Eises. Doch das war international nicht gebrauchsfähig, da zu ungenau. Denn es kommt dabei auf die Reinheit des Wassers und seine Ausdehnung an, die nicht einheitlich auf der Welt sind. Schließlich wurde im Anschluss an die Internationale Meterkonvention (1875) neben dem Urmeter ein Kilogramm-Prototyp aus einer Platin-Iridium-Legierung hergestellt, der ab 1889 das Kilogramm festlegte. Zusammen mit Kopien in den Eichinstituten verschiedener Länder wurde er bis 2019 als Maß genutzt. 1901 wurde festgelegt: Ein Kilogramm ist die Einheit der Masse, es ist gleich der Masse des Internationalen Prototyps des Urkilogramms nach Reinigung mit der BIPM-Methode. „Mit anderen Worten, wenn der Prototyp verloren geht, weiß keiner

mehr, was ein Kilogramm ist. Deswegen bin ich dafür, dass es ersetzt wird“, so von Klitzing.

Zudem wurde das Urkilogramm bzw. das Arbeitskilogramm des BIPM in Paris durch die starke Benutzung „beschädigt“, was zu einer sprungartigen Verringerung der Masse von 37 μg innerhalb von fünf Jahren geführt habe, so von Klitzing weiter. Die Kopien hätten allesamt ohnehin feinste Abweichungen, was möglicherweise an dem zum Zeitpunkt der Herstellung unterschiedlichen Mengen an eingeschlossenen Gasen in der Edelmetallschmelze liegen könnte, die im Laufe der Jahre und Jahrzehnte ausgegast sind und die Masse daher minimalst verringerten.

Die Bemühungen um ein auf materiellen Prototypen basierendes Einheitensystem waren schon frühzeitig als unbefriedigend angesehen worden. So hat der berühmte Physiker James Clerk Maxwell (1831 – 1879) auf bessere Möglichkeiten zur Definition von Maßeinheiten hingewiesen: „Wenn wir also absolut unveränderliche Einheiten der Länge, der Zeit und der Masse schaffen wollen, so müssen wir diese nicht in den Abmessungen, in der Bewegung und in der Masse unseres Planeten suchen, sondern in der Wellenlänge, der Frequenz und der Masse der unvergänglichen und vollkommen gleichartigen Atome“, zitierte ihn von Klitzing. Allein, technisch möglich war dies erst über 100 Jahre nach Maxwells visionärer Aussage, wie wir heute wissen. Etwa bei der Nutzung der Frequenz zur genauen Zeitmessung in Atomuhren.

1983 legte die Generalkonferenz für Maß und Gewicht (CGPM) erstmals den Wert für eine Naturkonstante fest. Die Lichtgeschwindigkeit wurde auf exakt 299792458 m/s festgelegt. „Man hat also eine Naturkonstante zementiert, um eine Einheit zu definieren und das Meter hat sich entsprechend danach zu richten. Die Meter-Definition erfolgte also vom Urmeter über die atomare Wellenlänge bis zur Naturkonstante der Lichtgeschwindigkeit, die heute gültig ist“, beschrieb Nobelpreisträger Klaus von Klitzing.

Wie eingangs erwähnt, hat auch Max Planck dafür geworben, Naturkonstanten als Grundlage für die Definition von Maßeinheiten zu nutzen. In den „Annalen der Physik (1, 1900) schrieb der spätere Nobelpreisträger: „Dem gegenüber dürfte es nicht ohne Interesse sein zu bemerken, dass die Möglichkeit gegeben ist, Einheiten für Länge, Masse, Zeit und Temperatur aufzustellen, welche unabhängig von speziellen Körpern oder Substanzen, ihre Bedeutung für alle Zeiten und für alle, auch ausserirdische und aussermenschliche Culturen notwendig behalten und welche daher als ‚natürliche Maaseinheiten‘ bezeichnet werden können.“

Klaus von Klitzing stellte klar, dass die Naturkonstanten die besten zeit- und ortsunabhängigen Größen sind und damit ideal geeignet für ein stabiles Maßsystem. Ein Problem ist lediglich die präzise Messung der Konstanten. Laser beispielsweise haben die Messung der Lichtgeschwindigkeit ermöglicht.

Für die genaue Bestimmung des Kilogramms über die präzise Messung des Planckschen Wirkungsquantums gibt es mehrere experimentelle Möglichkeiten. Eine hochgenaue Bestimmung von h kann mit Hilfe des Quanten-Hall-Effekts und eines weiteren quantenphysikalischen Effekts, der Josephson-Spannung, mit der Kibble-Waage vorgenommen werden. Diese ermöglicht

einen äußerst präzisen Vergleich von mechanischer und elektrischer Leistung (daher auch Watt-Waage genannt). Parallel – und in Ergänzung zu Messungen mit der Kibble-Waage – ist die Bestimmung von h und der Avogadro-Konstante N_A (sie hängen über die molare Planck-Konstante hN_A zusammen) mit der erforderlichen Reproduzierbarkeit auch über die Herstellung einer hochgenau gefertigten Siliciumkugel möglich.

Bei dem Avogadro-Projekt waren die experimentellen Voraussetzungen neu zu schaffen. Die Kibble-Waage war dagegen schon weltweit von verschiedenen Instituten genutzt worden. Und es ist eine Grundbedingung in der Metrologie, dass es mindestens drei unabhängige Gruppen gibt, die damit arbeiten.

„Mein Herz schlägt naturgemäß mehr für die Kibble-Waage, die einen elektrischen Zugang zum Kilogramm ermöglicht, denn dabei wird der Quanten-Hall-Effekt genutzt“, bekannte von Klitzing freimütig. „Aber ich finde es schön, dass unterschiedliche Experimente zum selben Ergebnis kommen. Und entscheidend ist, dass nun endlich das Nebeneinander bei der Bestimmung der Basisgrößen – etwas das klassische, unpraktische Urkilogramm als Eichkörper versus einer Messvorschrift, die auf der Planck-Konstante basiert – ein Ende findet“.

Max Planck und Klaus von Klitzing sind quasi für die Nachwelt untrennbar nicht nur als Nobelpreisträger, sondern auch physikalisch über die jeweiligen Konstanten miteinander verbunden. Und letztlich schließt sich durch die Festlegung eines neuen internationalen Einheitensystems der Kreis. Bei seinem Nobelvortrag zeigte von Klitzing nicht nur den Weg dieser Idee bis zur Umsetzung, sondern übermittelte Max Planck zum 100. Jahrestag seines Nobelpreises zeitgemäß vom GroßenHaus@StaatstheaterSaarland eine E-Mail an MaxPlanck@himmel.univ, in der er diesem symbolisch den exakten Wert für „seine“ Konstante ($h = 6,62607015 \times 10^{-34}$ Js) mitteilte. Diese Aktion kam beim Publikum sehr gut an.

„Max Planck war begeistert von den Konstanten. Er hat zwar nicht wirklich an die Quantentheorie geglaubt, aber die Fundamentalkonstanten, die haben ihn geprägt und darauf hat er sich konzentriert. Zu seinem damaligen 80. Geburtstag hatte Planck von seinen Kollegen einen schon recht genauen Wert von h erhalten.“ Hier zeigte sein Ur-Ur-Enkel von Klitzing einen Auszug aus einem fiktiven Telegramm, das 1938 in einem von Herbert Stuart, Werner Heisenberg und Peter Debye vorgetragenen

schmerzhaften Einakter „Die Präzisionsbestimmung des Planckschen Wirkungsquantums“ Max Planck überreicht wurde. Der damalige „neue Präzisionswert des Wirkungsquantums“ war $h = 6,543210 \cdot 10^{-34}$ Js. „Weitere Dezimalen wegen der Heisenbergschen Unschärfe nicht angebar“, teilten sie dem (unfreiwilligen) Begründer der Quantenphysik mit. „Erst dank moderner Quantentechnologie können wir heute den genauen Wert des Planckschen Wirkungsquantums festlegen“, sagte von Klitzing.

Doch auch wenn heute die Vision von Max Planck Wirklichkeit geworden ist, wird die Arbeit der Metrologie weitergehen, machte von Klitzing am Ende deutlich. Zukünftig dürfte eine „Planck-Waage“ das Kilogramm realisieren. Von dieser gibt es einen von der PTB mit der TU Ilmenau entwickelten Prototypen. Bei der Planck-Waage wird das Gewicht eines Massestücks nicht mit einem anderen Gewicht verglichen, sondern über die Kraft eines elektrischen Messapparates, wobei die Plancksche Konstante entscheidend ist.

Zum Abschluss ließ von Klitzing Max Planck mit einer Tonbandaufnahme zu Wort kommen. Klar und bestimmt rief dieser in Erinnerung, dass die großen lebenswichtigen wissenschaftlichen Leistungen wie die Entdeckung der Röntgenstrahlen ohne Rücksicht auf Nutzanwendung und nur im Interesse der reinen Forschung zustande gekommen sind. Plancks Credo, dass dem Anwenden das Erkennen vorausgehen müsse (Leitspruch der Max-Planck-Gesellschaft), schloss sich von Klitzing vorbehaltlos an. Das Entscheidende werde „auf Seitenwegen, nicht auf direktem Weg, durch Abarbeiten einer Roadmap“, erreicht. Mit dieser Botschaft verabschiedete sich der Nobelpreisträger, der zwischendrin auch mal seine Nobelpreismedaille aus der Jackettasche hervorgeholt hatte, vom begeisterten Publikum.



Dr. **Jörg Wetterau** (geb. 1966) studierte Chemie an der Justus-Liebig-Universität in Gießen und war bis zu seiner Promotion 1998 als Fachjournalist tätig (Stipendiat für Wissenschaftsjournalismus des VCI). Danach wechselte er als Pressereferent zum Industriegase-Hersteller Messer Griesheim nach Krefeld. Bis 2018 betreute er beim Technologiekonzern Heraeus in Hanau die Technologiekommunikation. Er ist freiberuflich als Moderator und Fachjournalist für Technologie,

Innovation und Wissenschaft aktiv.
www.labor-für-kommunikation.de