

Das Maß der Dinge

Teil I: Die Geschichte der Basiseinheiten

Monika Rech-Heider

Das »Système international d’unités (SI)« oder auf Deutsch »Internationales Einheitensystem« definiert für alles Messbare in der Welt sogenannte sieben Basiseinheiten. 2019 hat das System seinen letzten Schliff erhalten. Einheiten wie Meter, Sekunde oder Kilogramm, aber auch Ampere, Mol, Kelvin und Candela sind nun »bis in die Ewigkeit« definiert. Das war nicht immer so. Ein Überblick über die Geschichte der SI-Einheiten – und was die Neudefinitionen mit der Geodäsie zu tun haben.

Die schlechte Nachricht zuerst: Das Urkilogramm verliert an Gewicht. Die gute direkt hinterher: Seit dem 20. Mai 2019 interessiert das niemanden mehr. Dieser Tag, der Weltmetrologietag des Jahres 2019, wird von den Hütern der Maße und Gewichte als »globale Revolution« gefeiert. Noch heute geraten Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler der metrologischen Institute weltweit beinahe in Ekstase, wenn sie auf jenen denkwürdigen Tag zurückblicken, an dem die Neudefinitionen der Einheiten im *Système international d’unités* offiziell in Kraft getreten sind. Dieses heute weltweit in mehr als 100 Ländern verwendete Einheitensystem für physikalische Größen ging nämlich

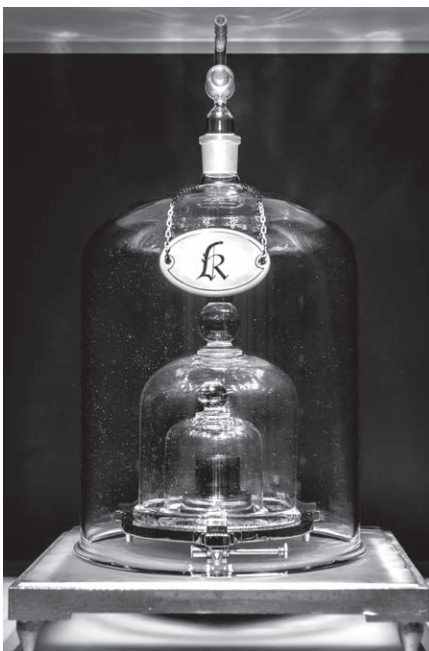
just an jenem denkwürdigen Montag an den Start. Pünktlich um 0 Uhr war das Kilogramm mittels in jahrzehntelangen Experimenten gemessenen Naturkonstanten nun neu definiert – mit einer Definition von Bestand. Und nicht nur das Kilogramm, auch die Einheiten Ampere, Kelvin und Mol gelten seit diesem Moment als unumstößlich und bis in alle Ewigkeiten definiert.

Das in der Geodäsie geradezu minutiös im Einsatz befindliche Längenmaß Meter (seit 1983) sowie das Zeitmaß (Sekunde, seit 1967) und die Einheiten Volt und Ohm »waren die Streber im Einheitensystem«, wie Dr. Jens Simon von der Physikalisch-Technischen Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig sie beschreibt. Sie waren also Vorreiter im Wettstreit um physikalische Einheiten, die »für alle Zeiten« und auf Basis sogenannter Naturkonstanten definiert werden sollten. »Stiefkind der Basiseinheiten war das Kilogramm«, so Simon, »mit dessen Definition taten sich die Metrologen sehr, sehr schwer«. An jenem denkwürdigen Montag im Mai 2019 zeugten jubelnde Metrologieinstitute und eine staunende Weltöffentlichkeit davon, dass wissenschaftliche Neudefinitionen der SI-Einheiten – einschließlich des Kilogramms – gelungen waren. Was hat es damit genau auf sich? Und welche Auswirkungen hat das Ganze für die Geodäsie?

Die Geburtsstunde des metrischen Systems

Um das zu verstehen, müssen wir eine Reise durch Raum und Zeit antreten. Springen wir gedanklich von Berlin aus 878.000 Meter Richtung Südost und rund 7 Milliarden Sekunden (nach der Definition von 2019) in die Vergangenheit. Wir finden uns in Paris wieder, im Jahr 1791, also inmitten der französischen Revolution. Die verfassunggebende Versammlung hat soeben beschlossen, dass eine universelle Längeneinheit her muss, dass also Schluss sein soll mit Ellen, Füßen, Ruten und Zoll der unterschiedlichen Fürstentümer. Das ganze Durcheinander der unzähligen, nicht aufeinander abgestimmten Maße und die damit verbundene Umrechnung beeinträchtigen Handel und Wissenschaft erheblich. Während die rheinländische Elle 61 Zentimeter maß, betrug die Bremer Elle 54,7 Zentimeter und die Wiener Tuchelle auf 77,6 Zentimeter. Das barg verständlicherweise jede Menge Sprengstoff.

Ein einheitliches System sollte her. »Schon das war eine Revolution«, erklärt Simon von der PTB. »Der revolutionäre Gedanke war, dass man ein Längenmaß haben wollte, zu dem die ganze Welt »ja« sagen konnte.« Die französischen Geometer Jean-Baptiste Joseph Delambre und Pierre Méchain bekamen also 1791 die ehrenvolle Aufgabe zugewiesen, den Erdumfang neu zu vermessen. Denn als



Links: Das Urkilogramm oder genauer: »Le Grand K«, das im Internationalen Büro für Maß und Gewicht (BIPM) aufbewahrt wird.

Unten: Eine der nationalen Kopien des Urmeters. Diese Kopie (mit der Nr. 23) ist Deutschland zugelost worden und befindet sich in der PTB.



Foto: BIPM

Foto: PTB

Referenz für das neue Maß sollte ab sofort die Erde selbst gelten. Die beiden zogen daraufhin triangulierend von Dünkirchen nach Barcelona (und umgekehrt). Sie ermittelten annähernd genau den Erdumfang und nannten diesen Umfang »40.000 Kilometer«. Um die Entfernung für den Menschen gut anfassbar darzustellen, entschloss man sich, den zehnmillionsten Teil des Viertels des Erdumfangs, der auf dem Längengrad von Paris verläuft, als Meter festzulegen. Kurz, als Meter sollte aus Gründen der Handhabbarkeit folgendes Maß gelten: 40.000 Kilometer geteilt durch vier gleich 10.000 Kilometer, dies geteilt durch zehn Millionen und voilà, das Urmeter (oder der Vorläufer davon) war geboren. Die Geburtsstunde des ab diesem Zeitpunkt sogenannten metrischen Systems fällt nach einigem Vorgeplänkel auf den 22. Juni 1799, als das »Urmeter« in Form eines Platin-Metallstabs festgelegt wird.

Da man über das Längenmaß hinaus auch nach einem einheitlichen Maß für die Masse suchte, erfand man rasch das Kilogramm. Um zu einem einheitlichen »metrischen System« zu kommen, definierte man das Kilogramm als Würfel von einem Kubikdezimeter destilliertem Wasser und realisierte seine »anfassbare« Entsprechung in Form eines etwa vier Zentimeter hohen Platin-Iridium-Zylinders, der als Urkilogramm definiert wurde. »Meter und Kilogramm waren Kinder der französischen Revolution. Die Demokratisierung der Einheiten sollte die Abhängigkeit von der Willkür der Fürsten verringern«, erklärt Simon. Endlich Ordnung im System, und das für einen langen Zeitraum.

Das metrische System fand mehr und mehr Anerkennung. Am 20. Mai 1875 unterzeichneten 17 Staaten mit der »Meterkonvention« einen internationalen Vertrag mit dem Ziel, alle Maße und Gewichte international zu vereinheitlichen. Ab 1889 übernahm die »Generalkonferenz für Maß und Gewicht« mit Sitz in Paris die Hoheit über das Urmeter und das Urkilogramm und sorgte für die Verteilung von Duplikaten jenes Urkilogramms und jenes Urmeters an die Mitgliedsstaaten. Im Jahr 1948 entwarf die Generalkonferenz ein Einheitensystem mit den sechs Basiseinheiten: Meter für Längen, das Kilogramm für Massen, die Sekunde für die Zeit, das Ampere für die Stromstärke, das Kelvin für die Temperatur und die Candela für die Lichtstärke. Seit 1960 heißt das System »*Système International d'unités*« mit der Abkürzung SI. Erst 1973 kam mit dem Mol das Maß für die Stoffmenge hinzu.

Nun gut, mag man denken, was gibt es denn an diesem wunderbar einfachen Einheitensystem noch zu verbessern? Allein, alles Stoffliche ist der Veränderung unterworfen. »Metrologen reisten immer mal wieder mit ihren Koffern von Meter- und Kilogrammduplikaten nach Paris, um sie paarweise zu vermessen und mit den Originalen

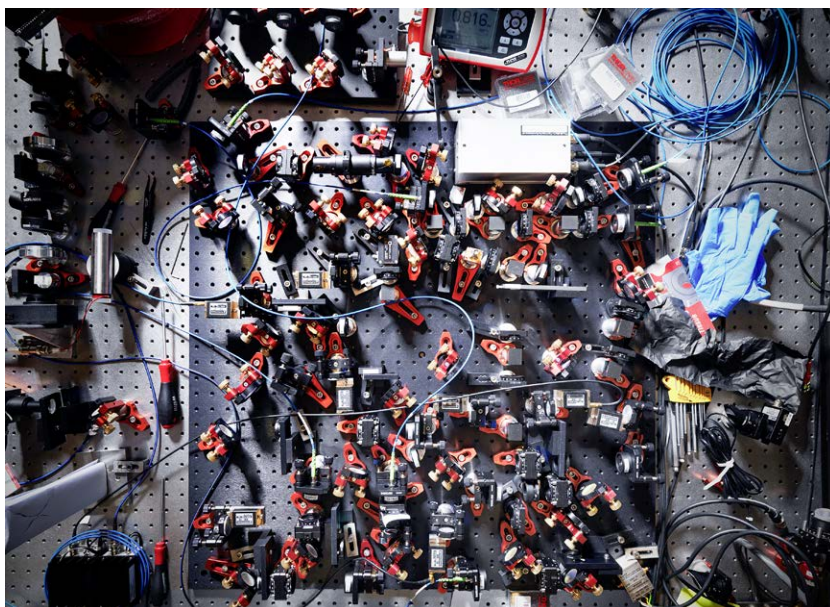


Foto: PTB

Für die meisten ein Wimmelbild, für die Wissenschaftler und Wissenschaftlerinnen im Zeitlabor der PTB ein typischer Arbeitsplatz für Atomuhren der nächsten Generation.

zu vergleichen«, so Simon. Dabei mussten sie im Verlauf der Jahre bitter feststellen, dass die Idee, Maße anhand von Materie zu definieren, nur ein erster Vorstoß in Richtung eines unverbrüchlichen internationalen Einheitensystems sein konnte. Die Messwerte zwischen den »Ur-Maßen« und ihren Duplikaten variierten, das Urkilogramm beispielsweise ab der achten Stelle hinter dem Komma, was als mehrere Mikrogramm beispielsweise bei der Dosierung von Medikamenten durchaus eine elementare Größe darstellt.

Wie also wollte man sich dem Problem der veränderlichen Maße entledigen? Man suchte nach etwas Unveränderlichem, an dem sich die Maßeinheiten anlehnen ließen.

Naturkonstanten retten die Maße

Nach langem Nachdenken, Messen und Forschen landeten die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler bei Naturkonstanten. Wie der Name vermittelt, handelt es sich bei diesen um numerische Werte von Phänomenen, die in der Natur vorkommen und die weder räumlich noch zeitlich Veränderungen unterworfen sind noch sich verändern lassen. Deren Zahlenwerte beruhen auf Messungen und sind abhängig von dem gewählten Einheitensystem. Nun sollte der Spieß umgedreht werden: Maßeinheiten sollten also durch einen direkten Bezug auf die Naturkonstanten definiert werden. Damit war endlich Schluss mit der Veränderlichkeit der Einheiten durch Alterungsprozesse von Materie.

In Teil II lesen Sie, wie vor allem die Basiseinheiten Sekunde, Meter und Kilogramm zu ihren Definitionen kamen und was das für die Geodäsie bedeutet.

Kontakt: monika.rech@rheintext.com