

Neue Maße für die Welt

Im Mai dieses Jahres wurde eine wesentliche Überarbeitung des Internationalen Einheitensystems (SI: *Système International d'Unités*) in Kraft gesetzt. Ab jetzt werden alle Einheiten letztlich auf Naturkonstanten zurückgeführt und damit von der technischen Realisierung von Referenzobjekten unabhängig. Damit wurde z.B. das bisher in Paris verwahrte Urkilogramm als international anerkanntes Grundmaß für die Masse quasi in Rente geschickt. Diese Reform des SI wird sich auch auf zukünftige Entwicklungen neuer Technologien auswirken.

Messen ist ein Alltagsprozess, den man oft als nahezu selbstverständlich wahrnimmt. Auf der anderen Seite ist er von grundlegender Bedeutung für den Handel, das Ingenieurwesen, praktisch alle Industriezweige, die Medizin und natürlich auch die Wissenschaften selbst. In einer stark vernetzten Welt ist es unabdingbar, dass überall und zu jedem Zeitpunkt Klarheit darüber herrscht, wie und in welchen Einheiten man etwas misst. Andernfalls können sich Ereignisse wie der Absturz des Mars Climate Orbiters beim Anflug auf die Marsoberfläche wiederholen. Dieser kam zustande, weil ein Teil des Systems das internationale Einheitensystem SI nutzte, während ein anderer, unabhängig davon entwickelter, angloamerikanische Maßeinheiten benutzte.

Das Internationale Einheitensystem SI definiert insgesamt sieben sogenannte Basiseinheiten, namentlich die Sekunde, das Meter, das Kilogramm, das Kelvin (als Maß für die Temperatur), das Ampere (als Maß für die Stromstärke), das Mol (als Maß für die Stoffmenge) sowie das Candela (als Maß für die Lichtstärke). Am 20. Mai dieses Jahres wurden einige Maßeinheiten – Mol, Kelvin, Ampere und Kilogramm – neu definiert, was erst auf Grund der wissenschaftlichen und technologischen Fortschritte der letzten Jahrzehnte möglich war. Mit dieser Neudefinition sind nun sämtliche Basiseinheiten über die Werte fundamentaler Naturkonstanten definiert. Die Verknüpfung mit makroskopischen Objekten, wie bis zum Schluss das Urkilogramm oder die Bezugnahme auf spezifische Materialeigen-

schaften (Triple-Punkt des Wassers) für die Definition der Temperaturskala, ist damit endgültig obsolet geworden. Man kann sagen, dass die Metrologie, die Wissenschaft des Messens, sich damit vom direkten Bezug auf den Menschen und seine Wahrnehmung emanzipiert.

Die Neudefinition des Kilogramms wurde nötig, weil man festgestellt hatte, dass sich die exakte Masse des Urkilogramms sowie seiner Kopien im Laufe der Zeit immer stärker unterschieden. Erschwerend kommt hinzu, dass man nicht feststellen kann, ob die Kopien an Gewicht zugelegt haben oder ob das Original leichter geworden ist. Die neue Definition verknüpft das Kilogramm von nun an mit dem Planckschen Wirkungsquantum, einer fundamentalen Naturkonstanten, welche für die Beschreibung quantenmechanischer Prozesse benötigt wird. Deren Wert wird durch die Neudefinition fest vorgegeben und erlaubt zusammen mit der Definition der Einheiten für Zeit und Länge die Bestimmung von Massen. Hierfür können zwei verschiedene Ansätze gewählt werden.

Das ist zum einen die sogenannte Watt- oder Kibble-Waage. Diese beruht auf zwei unterschiedlichen Messungen. Zunächst wird eine Masse mittels des Magnetfeldes einer stromdurchflossenen Spule im Gleichgewicht gehalten. Anschließend bewegt sich diese Spule mit konstanter Geschwindigkeit durch ein Magnetfeld und induziert dadurch eine Spannung, die ebenfalls gemessen werden kann. Mittels dieser beiden Messungen lässt sich die Masse bestimmen, da die benötigten Naturkonstanten, einschließlich der Planck-Konstante, alle bekannt sind. Ein alternativer Ansatz nutzt neben der Planck- noch die Avogadro-Konstante, welche die Anzahl der Atome in einer bestimmten Stoffmenge angibt. Kennt man diese und bestimmt über eine Kristallstrukturanalyse mittels Röntgenstrahlen und Laserinterferometrie die Anzahl der Atome in einer (nahezu) perfekten Kugel aus hochreinem Silizium, so kann man daraus deren Masse berechnen.

Insgesamt führt die Reform des SI also dazu, dass die Definitionen von Messgrößen nun exakt und mit keinem Fehler mehr behaftet sind. Ein weiterer Vorteil der Definition der Basiseinheiten über Naturkonstanten ist, dass diese allgemein verfügbar sind und man sich nicht mehr auf ein Artefakt beziehen muss, welches weder stabil noch leicht zu reproduzieren ist. Ein zentraler Vorteil der Neudefinition schließlich ist, dass man damit künftig auch andere Messmethoden und -verfahren entwickeln kann. Dies ist vor allem dann von Interesse, wenn man besonders kleine Massen im Bereich von einigen Milligramm messen möchte. Mittels der alten Definition war zunächst ein sehr aufwendiges und fehlerbehaftetes Vorgehen nötig, um ausgehend vom Urkilogramm kleinere Massen messbar zu machen. Nun ist dies einfach über miniaturisierte Versionen der Kibble-Waage möglich. An diesen wird bereits gearbeitet, beispielsweise bei der Physikalisch Technischen Bundesanstalt in Braunschweig, welche das nationale Metrologieinstitut in Deutschland ist. Auf diese Weise wird es künftig möglich sein, auch kleinste Massen mit sehr großer Genauigkeit zu messen. Dies wird sich beispielsweise auf den pharmazeutischen Bereich auswirken, wo es um die Messung kleiner Massen mit möglichst großer Genauigkeit geht. So ist die zu erwartende Präzision der Massebestimmung für den Bereich der sogenannten personalisierten Medizin von Interesse. Hier werden Medikamente gezielt an Hand des genetischen Profils eines Patienten dosiert, wofür es extrem genauer Messungen bedarf. Schließlich wird man Kibble-Waagen künftig auch für die Messung anderer physikalischer Größen einsetzen können. Insbesondere die exakte Messung auch sehr kleiner Kräfte wird hiermit möglich sein. Diese und ähnliche aus der Reform des SI resultierenden erweiterten technischen Möglichkeiten werden Auswirkungen auf die Entwicklung neuer Technologien haben, auch wenn diese im Einzelnen derzeit gar nicht absehbar sind.

Dr. Marcus John