

## Neue Maße braucht die Welt

Vor der Französischen Revolution hatte fast jede Stadt eigene Maße für Gewicht, Länge und dgl.. Dies war für den immer stärker werdenden Handel zwischen den Regionen und Ländern ein großes Hindernis. Denn Angaben von Größen, wie Meile, Elle, Unze und dgl., lieferten kein eindeutiges Ergebnis, so dass Missverständnisse und Betrügereien leichtgemacht wurden. Mit der französischen Revolution wurde von Seiten der französischen Machthaber u.a. versucht ein einheitliches Maßsystem einzuführen. Damit sollten der Handel gefördert und Betrügereien leichter aufgedeckt werden. Dadurch wurden Waren eindeutig vergleichbar. Wenn jemand 5 m Stoff anbot, dann konnte der potenzielle Empfänger sehr gut einschätzen, welche Menge er erhalten würde. Die wichtigsten Maße, die als Standard eingeführt wurden, waren dabei

- Das sogenannte Urmeter: Dazu wurden umfangreiche Expeditionen unternommen, um die Größe eines Meridians festzustellen. Der Meridian bildete die Grundlage des Meters. Das Urmeter wurde dann durch ein Edelmetallprofil mit festgelegter Länge definiert.
- Das sogenannte Urkilogramm: Ein Block einer speziellen, definierten Edelmetalllegierung mit festgelegtem Volumen als Vergleichsmaß in Paris stationiert.
- Die Sekunde: Als kleinste Zeiteinheit und als Teil des Tages, wie heute noch bekannt, definiert.

Dieses System setzte sich auch mit der Einführung des Dezimalsystems nach und nach in allen Ländern durch und beschleunigte den Fernhandel und die Einführung von Mustermessen. In vielen Ländern wurden Kopien vom Urkilogramm und Urmeter angefertigt, um vor Ort Eichungen von Waagen und Längenmessgeräten durchführen zu können.

Mit den Jahren ergaben sich Unstimmigkeiten zwischen den Kopien und den Originalen des Kilogramms. Aufgrund dieser winzigen, aber nachweisbaren Unterschiede bestand die Gefahr, dass die Definition nicht mehr eindeutig sein könnte. Das Original verlor aufgrund von schwachen Entgasungen an Masse. Außerdem wiegt ein Kilogramm aufgrund der unterschiedlichen Anziehungskraft und der Rotationsgeschwindigkeit der Erde nicht immer exakt gleich viel. Im normalen Leben spielen diese minimalen Unterschiede keine Rolle. Aber für die Wissenschaft, wo exakte Messungen zum Nachweis von Theorien immer wichtiger wurde, musste eine neue Definition der Maßeinheiten her. Zum Beispiel wirken sich bei der Vermessung von Sternentfernungen tausendstel von Gradsekunden enorm auf die exakte gemessene Entfernung aus. Zusätzlich kamen neue Messgrößen, wie z.B. der elektrische Strom und die Temperatur, als wichtige Beschreibungsmittel der Naturereignisse hinzu. Auch hierfür mussten Standardmaßeinheiten gefunden werden.

Die Wissenschaft und Technik braucht exakte Definitionen und ein Grundgerüst zu den Maßeinheiten. Denn zwischen den Wissenschaftlern müssen Ergebnisse austauschbar, vergleichbar und nachvollziehbar sein. Welche Probleme falsche Maßeinheiten haben könnten, zeigten Marssonden der USA, bei denen die Verwendung unterschiedlicher System zum Absturz und damit zum Verlust von Sonden führte, die einige hundert Millionen Dollar gekostet haben.

Ein erster Schritt auf ein einheitliches, jeder Zeit nachweisbares Maßsystem war die Nutzung von Ereignissen auf atomarer Ebene. Diese Art der Ereignisse sind relativ unabhängig von äußeren Einflüssen und können an jedem Ort nachvollzogen werden und somit als Vergleichsmaß dienen. Das große Ziel war aber ein Maßsystem, das auf Naturkonstanten zurückgeführt werden kann. Nach langen Forschungsarbeiten, bei denen Messprozeduren für die Naturkonstanten mit hoher Genauigkeit entwickelt wurden, wurde das neue Maßeinheitensystem eingeführt. Die Naturkonstanten wurden dabei mit zwei unabhängigen Messprozeduren ermittelt. Zwischen den beiden Prozeduren durften nur minimale Unterschiede sein, um den Wert der Naturkonstante

anzuerkennen. Das neue System schließt wie bisher sieben Grundeinheiten ein, aus denen sich alle anderen ableiten lassen.

Tabelle 1: SI-Grundeinheiten

Basiseinheit	Bedeutung	Definierende Naturkonstante
Sekunde (s)	Zeit t	Frequenz $\Delta\nu$ (Cäsium-Strahlung)
Meter (m)	Länge l	Vakuum-Lichtgeschwindigkeit c
Kilogramm (kg)	Masse m	Planck-Konstante h
Ampere (A)	Elektrische Stromstärke I	Elementarladung e
Kelvin (k)	Temperatur T	Boltzmann-Konstante
Mol (mol)	Stoffmenge n	Avogadro-Konstante $N_A$
Candela (cd)	Lichtstärke $I_v$	Photometrisches Strahlungsäquivalent $K_{cd}$

Aus diesen Maßeinheiten lassen sich alle anderen Maßeinheiten ableiten, z.B. das Newton für Gewicht/Kraft ( $N = \text{kg} \cdot \text{m} / \text{s}^2$ ), Volt für die elektrische Spannung ( $V = \text{kg} \cdot \text{m}^2 / \text{A} \cdot \text{s}^3$ ), usw.

Um einfach große und kleine Größenordnung platzsparender darstellen zu können sind auch Vorsätze für die Maßeinheiten definiert worden. Die Bezeichnungen werden der Maßeinheit vorangestellt.

Tabelle: Vorsätze für Maßeinheiten

Bezeichnung	Kurzbezeichnung	Maßstab	Beispiel	Meßgröße
Atto	a	$10^{-18}$	As - Attosekunde	Zeit
Femto	f	$10^{-15}$	fF - Femtofarad	Kapazität
Pico	p	$10^{-12}$	pF - Picokelvin	Temperatur
Nano	n	$10^{-9}$	ns - Nanovolt	Spannung
Mikro	$\mu$	$10^{-6}$	$\mu\text{H}$ - Mikrohenry	Induktivität
Milli	m	$10^{-3}$	mm - Millimeter	Länge
Kilo	k	$10^3$	kg - Kilogramm	Masse
Mega	M	$10^6$	MPa - Megapascal	Druck
Giga	G	$10^9$	G $\Omega$ - Gigaohm	Widerstand
Tera	T	$10^{12}$	TW - Terawatt	Leistung
Peta	P	$10^{15}$	PJ - Petajoule	Energie
Exa	E	$10^{18}$	Ebit - Exabit	Speicher
Zetta	Z	$10^{21}$	Zbit - Zettabit	Speicher
Yotta	Y	$10^{24}$	YByte - Yottabyte	Datenmenge

Einige Besonderheiten sind dabei zu beachten. Minute, Stunde, Tag und andere Zeitangaben werden nicht mit diesen Vorsätzen versehen (z.B. kTag ist nicht zulässig). Beim Kilogramm werden die Vorsätze nicht auf das Kilogramm, sondern auf das Gramm angewendet (Gg ist richtig, Mkg ist falsch). In Deutschland ist die Physikalisch-technische Bundesanstalt (PTB) in Braunschweig für die Eichung der Maßeinheiten zuständig.

Trotz der Einführung des neuen Maßeinheitensystems ändert sich für Sie als Normalbürger nicht. Sie können weiterhin ihre Uhr, ihren Zollstock und ihre Waage benutzen. Die neuen Definitionen ergeben keine Konsequenzen für den normalen Umgang mit den Maßeinheiten, da die Größe der Maßeinheiten sich nicht geändert haben. Geändert hat sich die Definition, die jetzt unabhängig von menschengemachten Größen ist und nur auf Naturkonstanten beruht.