

## 1. Naturkonstanten für Zeit und Länge

Siehe auch: <https://www.mediatheque.lindau-nobel.org/videos/38523/si-units-iii-de>

### a) Definition der Zeit

Bereits seit 1967 wird die **Sekunde** messtechnisch durch den Übergang zwischen den beiden *Hyperfeinstruktur*niveaus des Grundzustandes von Atomen des Cäsium-Isotops  $^{133}\text{Cs}$  definiert. Dabei entspricht eine Sekunde dem 9 192 631 770-fachen der Periodendauer der dabei auftretenden Strahlung.

Die **definierende Naturkonstante** ist dabei die Frequenz  $\Delta \nu = 9192631770 \text{ s}^{-1}$ .

Daraus folgt für die **Definition der Basiseinheit**:  $1 \text{ s} = \frac{9192631770}{\Delta \nu(^{133}\text{Cs})}$

### b) Definition der Länge

Im Jahr 1983 wurde zur Bestimmung des **Meters** die *Lichtgeschwindigkeit* auf den präzisen Wert  $c = 299792458 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$  festgelegt. Ein Meter ist dann die Länge der Strecke, die das Licht im Vakuum während der Dauer von  $1/299792458$  Sekunden durchläuft.

Zeigen Sie durch Rechnung, dass sich für die **Definition der Basiseinheit** folgender Wert ergibt:

$$1 \text{ m} = 30,663318 \dots \frac{c}{\Delta \nu(^{133}\text{Cs})}$$

c) Begründen Sie, warum die Definitionen von Sekunde und Meter durch die Naturkonstante  $c$  verbunden sind!

## 2. Die Neugestaltung der Kilogramm-Definition

### a) Probleme mit und wegen des Kilogramms

Bis zum Jahr 2019 waren das in einem Tresor des internationalen Büros für Maße und Gewichte in der Nähe von Paris aufbewahrte „Urkilogramm“ (**Abb. 1**) sowie deren offizielle und zahlreiche nationale Kopien die Grundlage für alle Massen. Doch bei Massenvergleichen stellte man fest, dass fast alle Kopien schwerer waren als das Original – niemand kann bis heute exakt belegen, warum das so ist. Allerdings war klar, dass das Urkilogramm abgelöst werden musste – schließlich hängen vom Urkilogramm andere Einheiten wie etwa *Ampere* – oder *Mol* ab mit der Folge, dass diese Einheiten wegen des Kilogramms Probleme hatten.



Abbildung 1: Foto: Japs 88 – wikipedia.org

## b) Neudefinition des Kilogramms mittels des Planck'schen-Wirkungsquantums $h$

**Siehe auch:** <https://www.mediatheque.lindau-nobel.org/videos/38522/si-units-ii-de>

Für die Neudefinition des **Kilogramms** wurde eine Naturkonstante ausgewählt, deren Einheit das kg enthält und deren Messwert mit extrem hoher Genauigkeit bestimmt werden kann – die Wahl fiel auf das *Planck'sche Wirkungsquantum*  $h$ :

$$h = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \text{Js} = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

Zur Realisierung für ein zukünftig stabiles Kilogramm wurden zwei Experimente erdacht und realisiert:

- Beim so bezeichneten *Wattwagen-Experiment* wird die auf ein Massestück wirkende Schwerkraft durch eine elektromagnetische Kraft kompensiert, wodurch ein Wert für  $h$  errechnet werden kann.
- Parallel dazu wurde eine perfekt geschliffene Kristallkugel aus hochreinem Silizium aus der Masse von 21,442... Quadrillionen Atomen gebaut, deren Anzahl sich aufgrund der Kristallstruktur extrem genau zählen lässt. Diese sogenannte *Avogadro-Experiment* enthält als Ergebnis die „Avogadro-Konstante  $N_A$ “, aus der sich wiederum das Planck'sche Wirkungsquantum ermitteln lässt.
- Damit sind die Ergebnisse aus dem Wattwagen-Experiment und der Siliziumkugel vergleichbar – sobald die Ergebnisse aus beiden Versuchen konsistent waren, war der Weg zum neuen Kilogramm frei.

**Aufgabe:** Recherchieren Sie in Lehrbüchern und im Internet, was man unter „Avogadro-Konstante“ und „Planck'schen Wirkungsquantum“ versteht und informieren Sie sich über die beiden Versuche zur Neubestimmung des Kilogramms!

**Tip:** Erste Erklärungen und Erläuterungen bietet folgendes Youtube-Video:

<https://www.youtube.com/watch?v=l8jZln8pBJA>

## c) Der Wert für das Planck'sche Wirkungsquantum beträgt

$$\text{Js} = 6,62607015 \cdot 10^{-34} \frac{\text{kg} \cdot \text{m}^2}{\text{s}}$$

Lösen Sie diese Beziehung nach der Einheit kg auf und erläutern Sie ihr Ergebnis in Hinblick auf das Planck'sche Wirkungsquantum – auch unter Einbeziehung von **Abb. 2!**

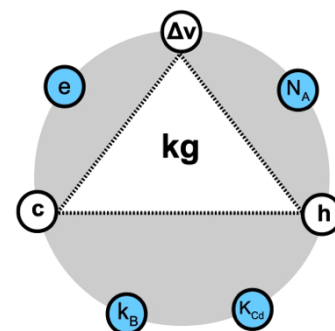


Abbildung 2: Wolfgang Vogg