



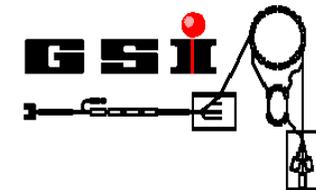
Max-Planck-Institut für Kernphysik

*“Gewichtsprobleme physikalischer Art
– Atome auf die Waage gestellt”*



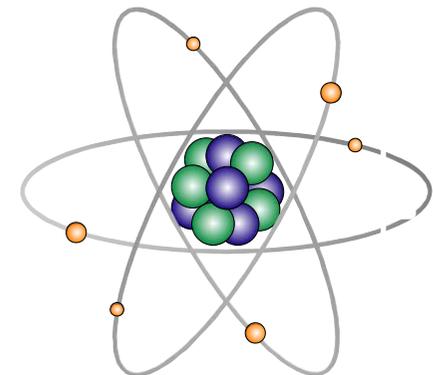
Klaus Blaum

24.01.2009





Gewichtsprobleme ???



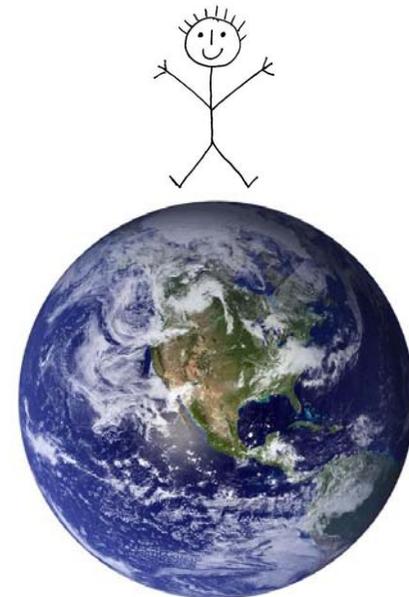


Masse und Gewicht

- Die **Masse** m ist eine Grundgröße jeder Materie und wird in der Einheit „Kilogramm“ (kg) gemessen
- Das **Gewicht** (oder genauer die **Gewichtskraft** \vec{F}) ist die Kraft, mit der sich zwei Körper aufgrund ihrer Massen anziehen



$$F = m \cdot g$$





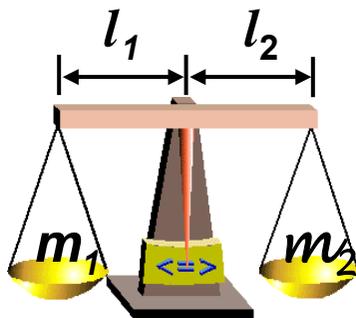
Das Wiegen I

Frage: Wie wiegt man?

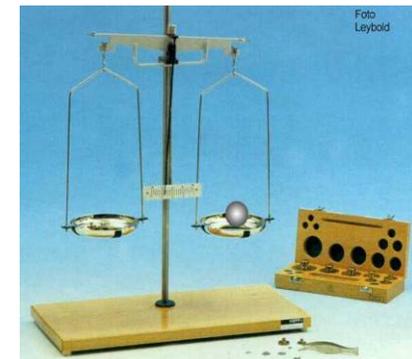
Antwort: Durch Vergleich mit einer bekannten Masse!

Beispiel 1: Die Balkenwaage

Grundlage: Das Hebelgesetz



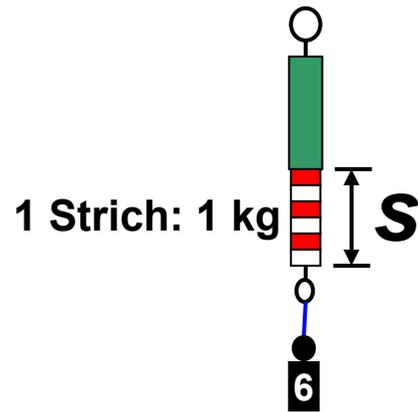
$$m_1 \cdot l_1 = m_2 \cdot l_2$$





Das Wiegen II

Beispiel 2: Die Federwaage



Grundlage: Die Federkraft

$$m = k \cdot s$$

k nennt man die Federkonstante

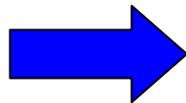




Messen und Genauigkeit



Eine Person wiegt $m = 100$ kg und die Waage zeigt auf $\Delta m = 0,1$ kg genau an.



Genauigkeit

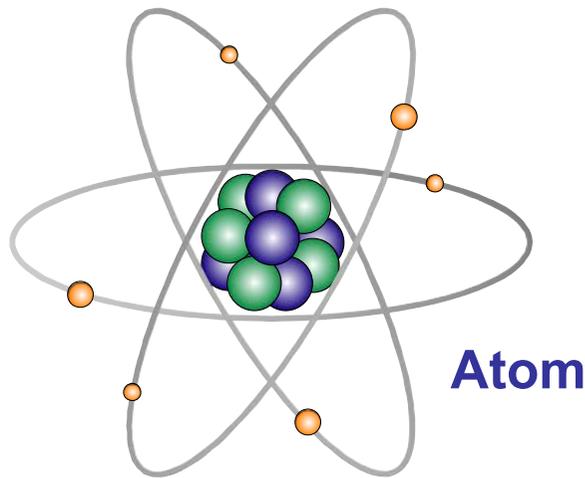
$$\Delta m/m = 0,001 = 10^{-3}$$



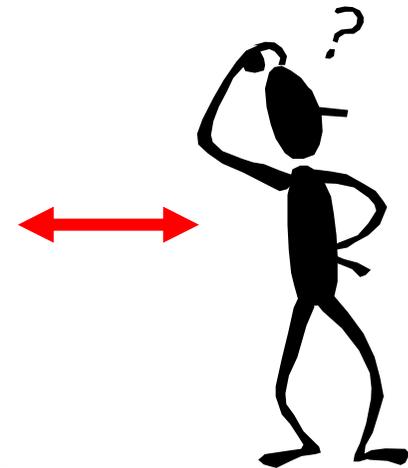


Wie schwer ist ein Atom?

Das Gewichtsverhältnis zwischen **Atom** und **Mensch** ist gleich dem Gewichtsverhältnis zwischen einem **Reiskorn** und der **Erde**!



$$= N \cdot \text{green sphere} + Z \cdot \text{purple sphere} + Z \cdot \text{orange sphere} - \text{binding energy}$$



Mensch



Reiskorn

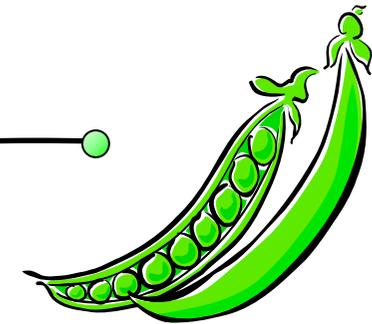


Erde





Ein Genauigkeitsvergleich

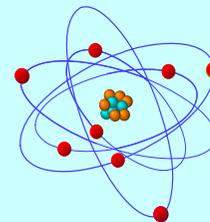


$$\Delta m \approx 0,6 \text{ g}$$

$$\frac{\Delta m}{m} \approx 1 \cdot 10^{-9}$$

$$m = 600 \text{ T} = 600\,000\,000 \text{ g} = 6 \cdot 10^8 \text{ g}$$

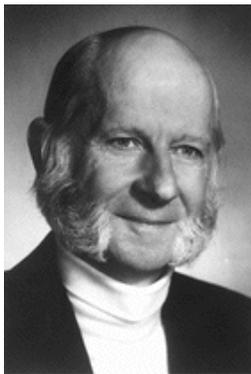
Jedoch: Genauigkeit auf atomarer Skala erforderlich!



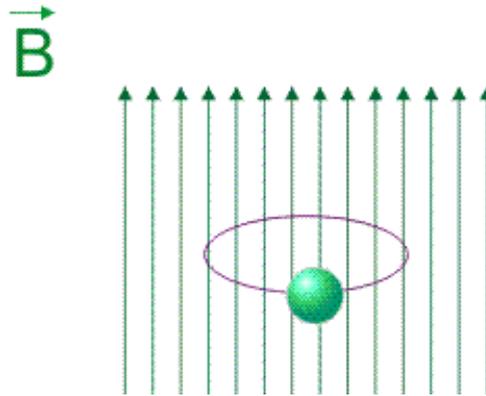


Speicherung von Atomen

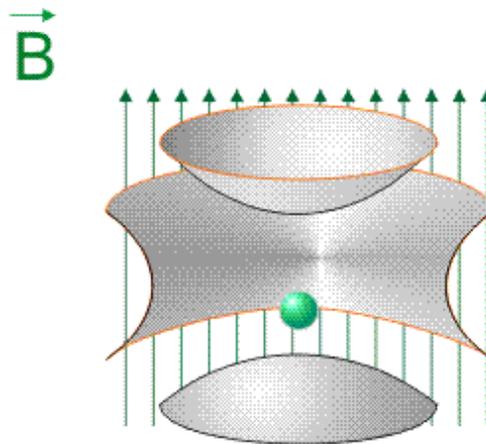
Penningfalle: Speicherung von Ionen durch Überlagerung von elektrischen und magnetischen Feldern



Hans G. Dehmelt
(Physik Nobelpreis
1989)



$$\omega_c = \frac{qB}{m}$$

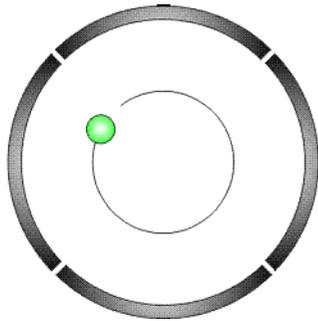


~~$$\omega_z = \text{const.} \sqrt{\frac{qU_0}{m}}$$
$$\omega_r = \frac{U_0}{B r_0^2}$$~~

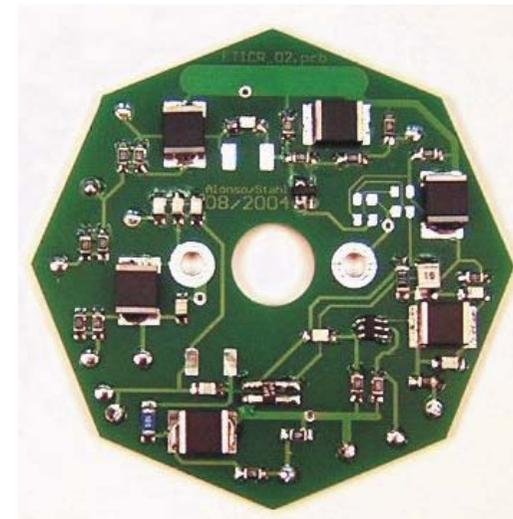




„Wiegen“ von Atomen



- Ein **einzelnes Ion** induziert einen **Spiegelstrom** in den Segmenten der Ringelektrode.
- Über einem Widerstand fällt eine entsprechende **Spannung** ab.
- Über eine mathematische Transformation erhält man die **Frequenz** des induzierten Ionensignals und damit die **Masse** des Atoms.

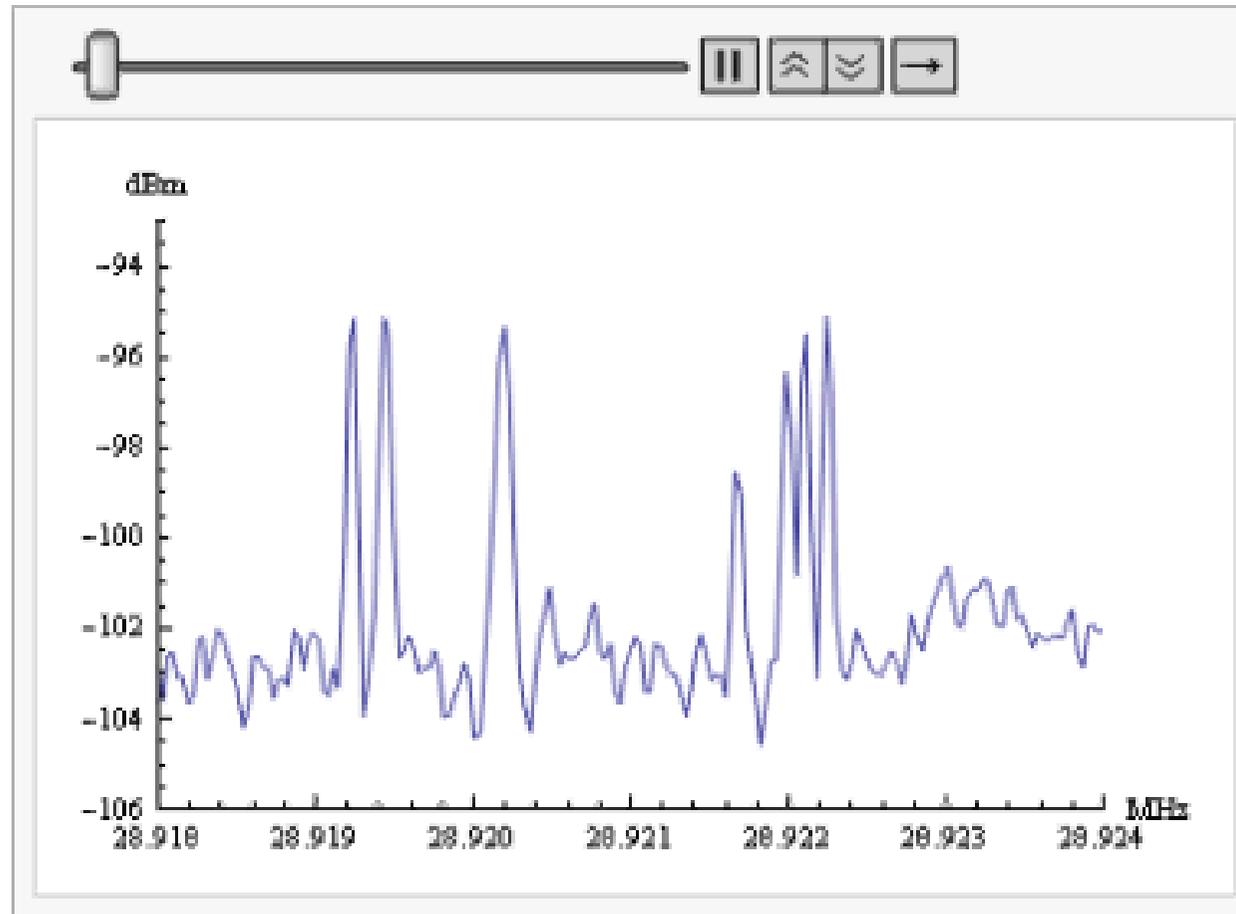


Station 5: Christian Roux



Einzelne Ionen sichtbar gemacht

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



Station 4: Sergey Eliseev, Daniel Rodriguez, Arno Trautmann



MAX PLANCK GESELLSCHAFT

Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



Die „Atomwaage“: Penning-Falle



Bemerkenswert:

Temperatur: $T = -270^\circ\text{C}$

Druck: $p \approx 10^{-16}$ mbar

Speicherdauer: *Monate*



DAS SCHLIMMSTE AM IONENKÄFIG
IST DIE KÄLTE UND DIE EINSAMKEIT

Station 3: Marta Ubieta

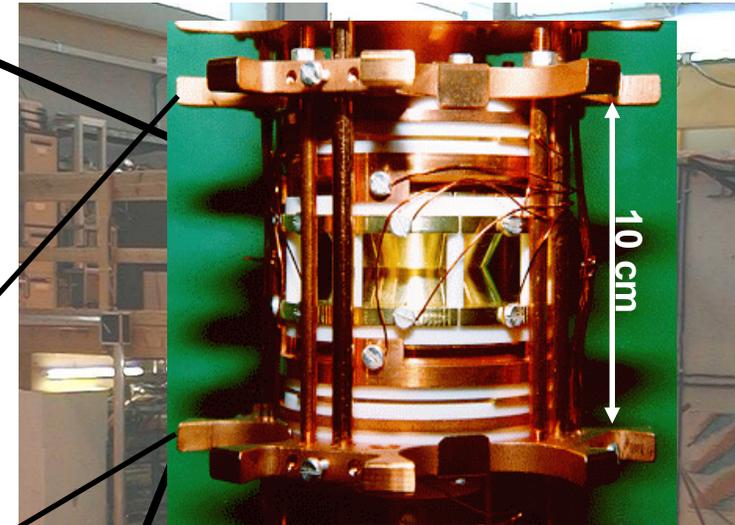


Das ISOLTRAP-Experiment

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



$B = 6 \text{ T}$



10 cm



1 m

Umlauffrequenz /
Zyklotronfrequenz:

$$\omega_c = \frac{q}{m} \cdot B$$



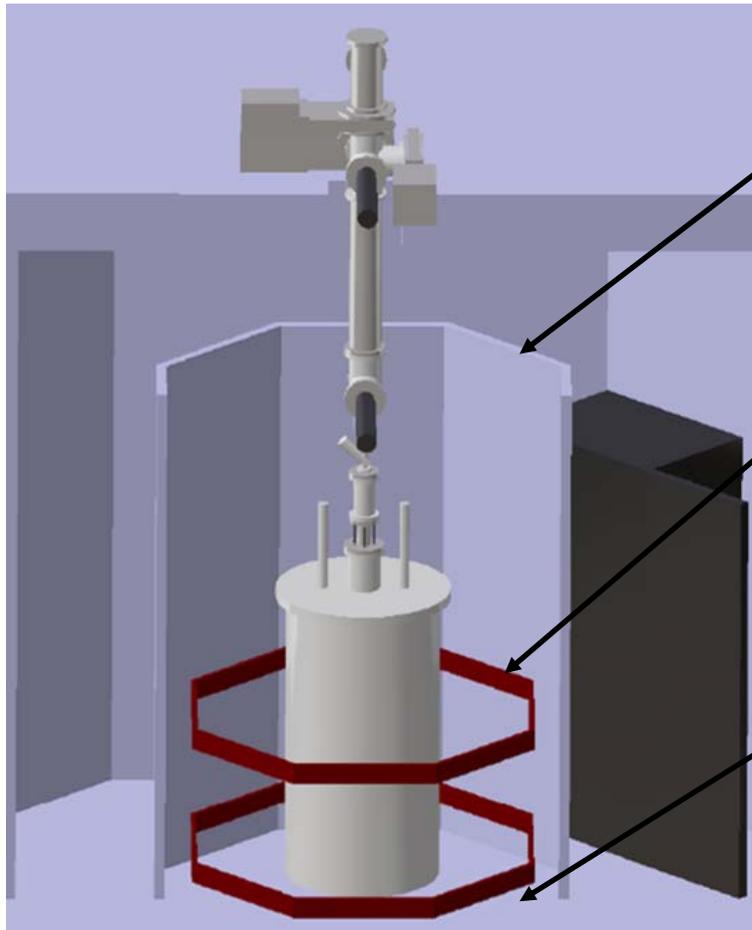
MAX PLANCK GESELLSCHAFT

Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



Das ^3T - ^3He Experiment

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS

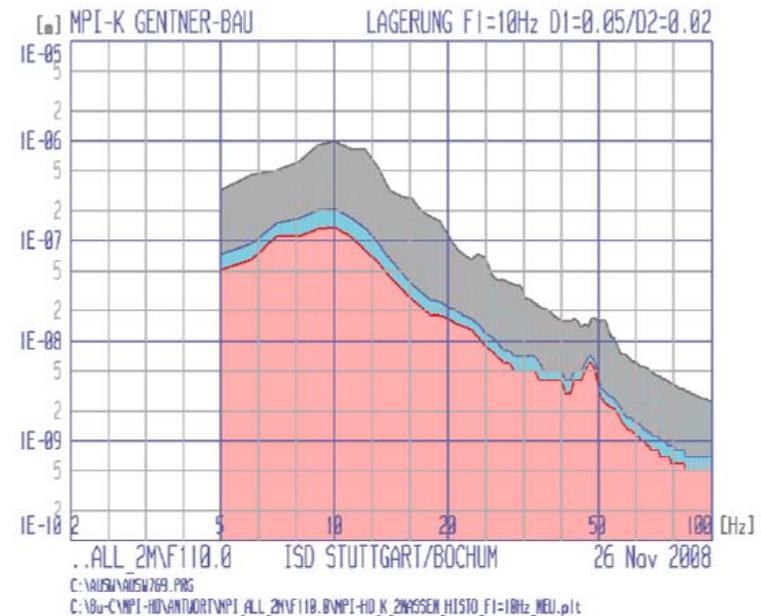


Temperatur stabilisierter Raum:
 $\Delta T < 0,1 \text{ }^\circ\text{C}$

Magnetfeldstabilität:
 $\Delta B/B < 17 \text{ ppt / h}$

vibrationsisolierter Boden:
 $\Delta x \leq 0.1 \text{ } \mu\text{m}$

Unser Ziel:
 $\Delta m(^3\text{T} \rightarrow ^3\text{He}) = 20 \text{ meV}$
 $\Delta m/m = 7 \cdot 10^{-12}$





Wo experimentieren wir?

Am Max-Planck-Institut für Kernphysik...



MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



MAX-PLANCK-GESellschaft

Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



Wo experimentieren wir?

...am TRIGA-Reaktor in Mainz,



an der GSI in Darmstadt...





Wo experimentieren wir?

... und am CERN!



MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



MAX-PLANCK-GESellschaft

Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



KATRIN: das weltweit größte Spektrometer

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



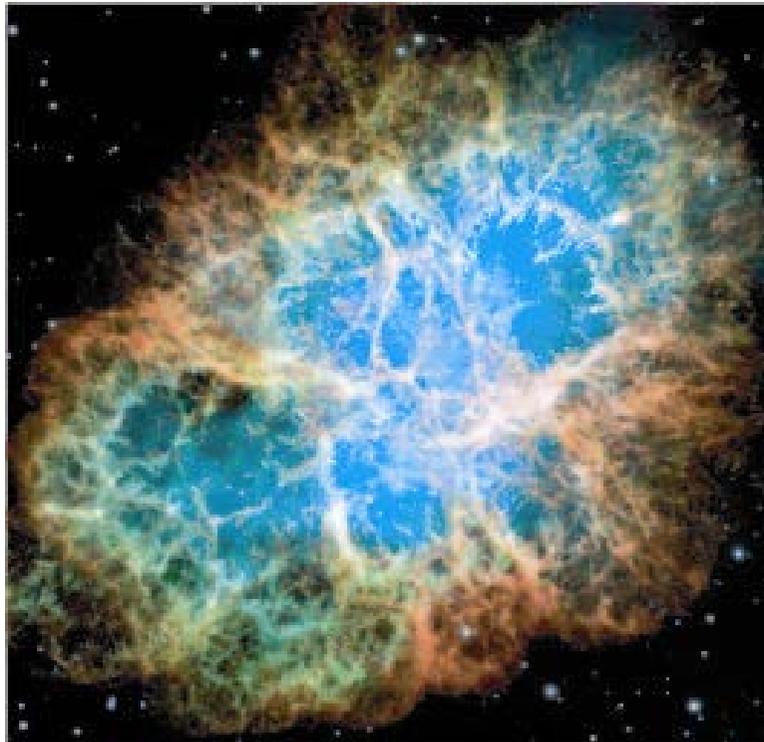
MAX-PLANCK-GESellschaft

Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



Fragen die es zu beantworten gilt

aus dem Bereich der **Weltentstehung:**



- Warum ist Eisen so viel häufiger als Gold?
- Warum gibt es die schweren Elemente überhaupt und wie sind sie entstanden?
- Wie können wir die Zusammensetzung des Universums erklären?



Zusammenfassung

- Erklärung von Masse, Gewicht und Genauigkeit
- Vorstellung von Balkenwaage und Federwaage
- Die Penningfalle als Messinstrument
- Das Wiegen von Atomen
- Die Forschungsinstitute **MPIK**, CERN, TRIGA und GSI





ENDE



Fragen



Antworten



Nichts wie weg?!?!

DANKE für Ihre Aufmerksamkeit.

Für Fragen: klaus.blaum@mpi-hd.mpg.de





Das MPI-K – Uni-Mz Fallenteam

MAX PLANCK INSTITUTE
FOR NUCLEAR PHYSICS



In Zusammenarbeit mit:

D. Beck, M. Block, J. Crespo, R. van Dyck, S. Eliseev, F. Herfurth, A. Kellerbauer,
H.-J. Kluge, M. Kretzschmar, Yu. Novikov, D. Pinegar, W. Quint,
L. Schweikhard, N. Trautmann, J. Walz, Ch. Weinheimer, G. Werth,
and the ISOLTRAP and SHIPTRAP Collaboration ...



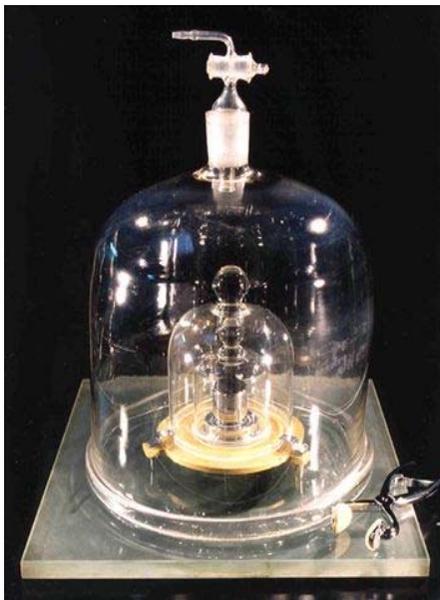
Klaus.Blaum@mpi-hd.mpg.de



Was ist ein „Kilogramm“?

Seit der 1. Generalkonferenz für Maß und Gewicht 1889 ist die Einheit der Masse wie folgt festgelegt:

Das Kilogramm ist die Einheit der Masse; es ist gleich der Masse des Internationalen Kilogrammprototyps.



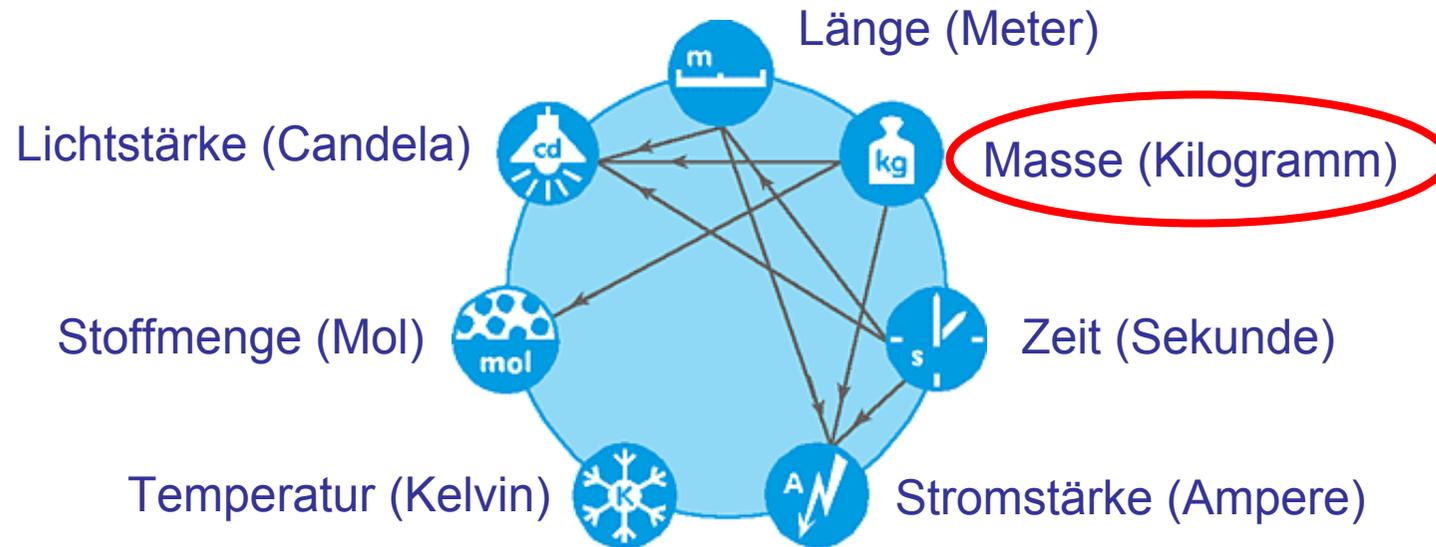
Das Internationale Kilogrammprototyp

- Zylinder mit 39 mm Höhe und 39 mm Durchmesser
- Legierung von 90% Platin und 10% Iridium
- Standort: Internationales Büro für Maß und Gewicht in Sèvres bei Paris

*Gewichtsverluste:
Bis zu 70 Mikrogramm (0.00007 kg)*



Definition der Basiseinheiten



Größe	Einheit	Früher	Heute (Neudefinition)
Länge	Meter (m)	Urmeter	Das Meter ist die Länge der Strecke, die Licht im luftleeren Raum während der Dauer von $(1 / 299\,792\,458)$ Sekunden durchläuft.
Masse	Kilogramm (kg)	Urkilogramm	Das Kilogramm ist die Masse von einer bestimmten Anzahl N an Atomen einer bestimmten Sorte





Deutscher Kilogrammprototyp



Nationales Kilogrammprototyp Nr. 52 der Bundesrepublik Deutschland

- **1:1 Kopie des Internationalen Kilogrammprototyps**
- **Aufbewahrung (PTB) unter normalen Bedingungen**
- **Vergleich alle 10 Jahre mit dem Original in Sèvres**



Probleme

*Gewichtsverluste:
Bis zu 70 Mikrogramm (0.00007 kg)*

Welche Auswirkungen hat das?

*Weltjahresproduktion an Reis:
825 Millionen Tonnen*

*Der Fehler beim Verkauf entspricht mehr
als 60 Tonnen, also mehreren LKW
Ladungen.*

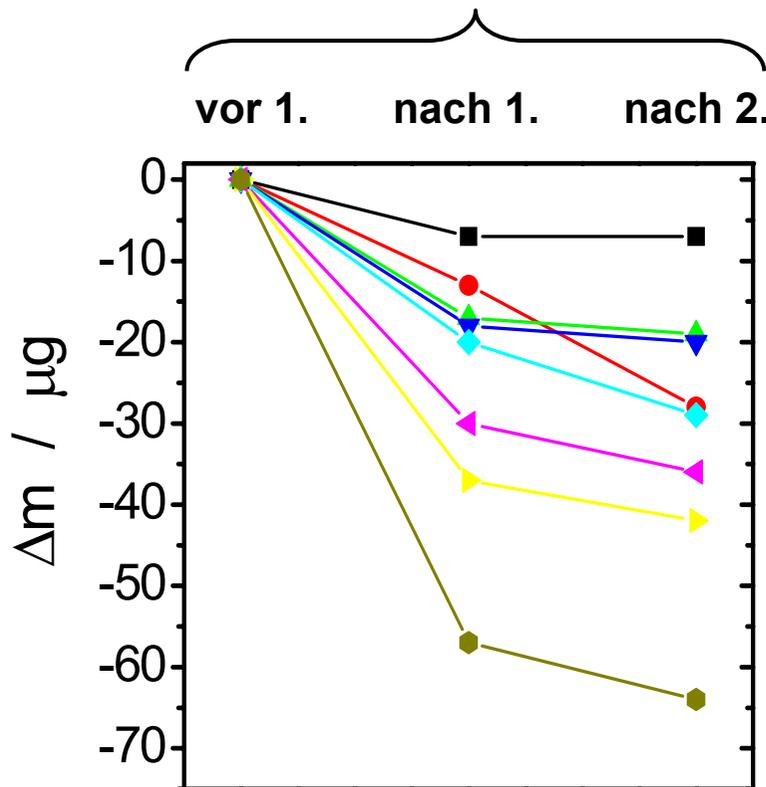


Problem der Prototypen

Die Kilogrammstandards verlieren an Gewicht.
D.h. ein kg ist nicht mehr länger ein kg!

Reinigen und Waschen

Gewichtsverlust



Standard

Tag des erstmaligen
Reinigungs und Waschens

25

22. Oktober 1982

K1 und 8(41)

Sept./Okt. 1957

43 und 32

12. März 1965

47

Sept./Okt. 1957

7

K

14. September 1946





Neudefinition des Kilogramms

Das Avogadro Projekt:

“Das Kilogramm ist die Masse von einer bestimmten Anzahl N an Kohlenstoffatomen der Masse 12 u ”

“Rezeptur“

- ① **Produziere einen perfekten Siliziumkristall**
- ② **Mache eine Kugel daraus**
- ③ **Messe ihren Durchmesser**
- ④ **Bestimme den Gitterparameter**
- ⑤ **Messe die Verunreinigungen**
- ⑥ **Berechne die Anzahl an Silizium Atomen**
- ⑦ **Bestimme die Isotopenhäufigkeit**
- ⑧ **Messe das $^{28}\text{Si}/^{12}\text{C}$ Massenverhältnis**
- ⑨ **und erfülle jeden Schritt mit einer Genauigkeit von 10^{-8} - 10^{-9} !**

