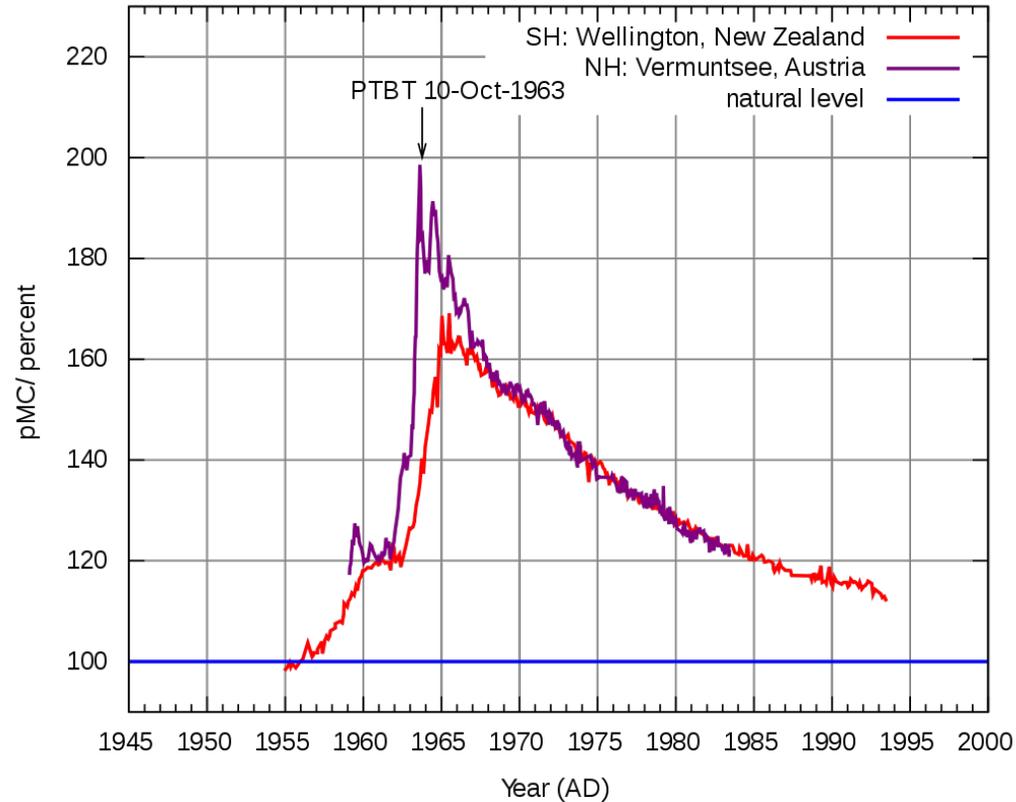


# $^{14}\text{C}$ - ein ganz spezieller Kohlenstoff



René Reifarh  
Goethe-Universität Frankfurt  
[www.exp-astro.de](http://www.exp-astro.de)

# Elemente und Isotope

0 Neutron

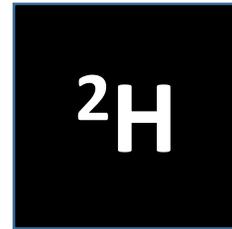
1 Neutron

2 Neutronen

2 Protonen  
Helium



1 Proton  
Wasserstoff



0 Proton

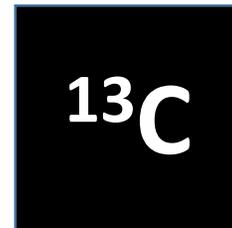
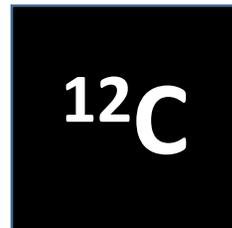


# Kohlenstoffisotope

6 Neutronen

7 Neutronen

6 Protonen  
Kohlenstoff



# Kohlenstoffisotope

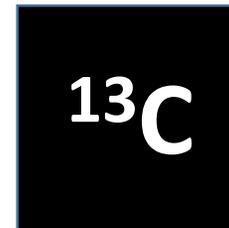
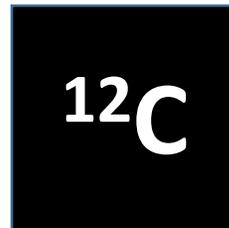
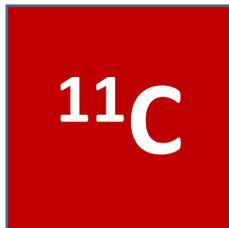
5 Neutronen

6 Neutronen

7 Neutronen

8 Neutronen

6 Protonen  
Kohlenstoff



# Kohlenstoffisotope

5 Neutronen

6 Neutronen

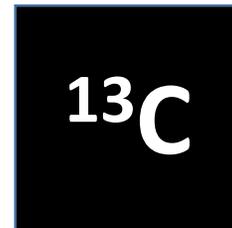
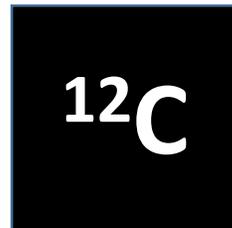
7 Neutronen

8 Neutronen

7 Protonen  
Stickstoff



6 Protonen  
Kohlenstoff



# Kohlenstoffisotope

7 Protonen  
Stickstoff

6 Protonen  
Kohlenstoff

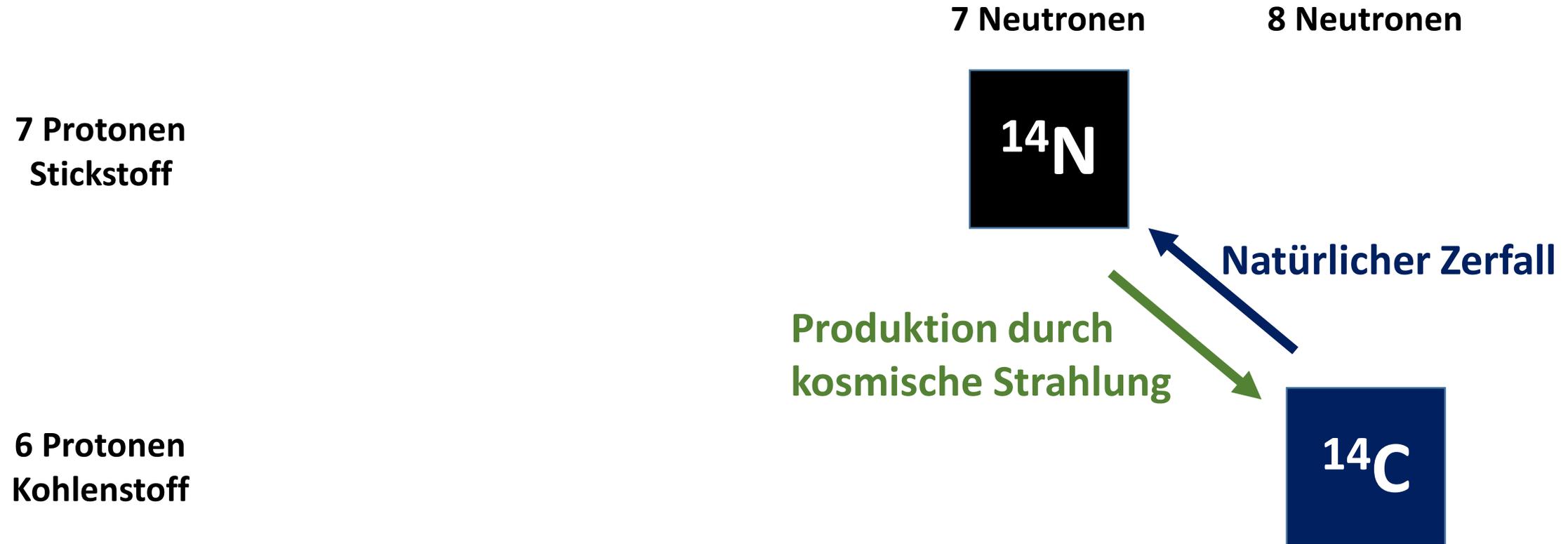
7 Neutronen

8 Neutronen

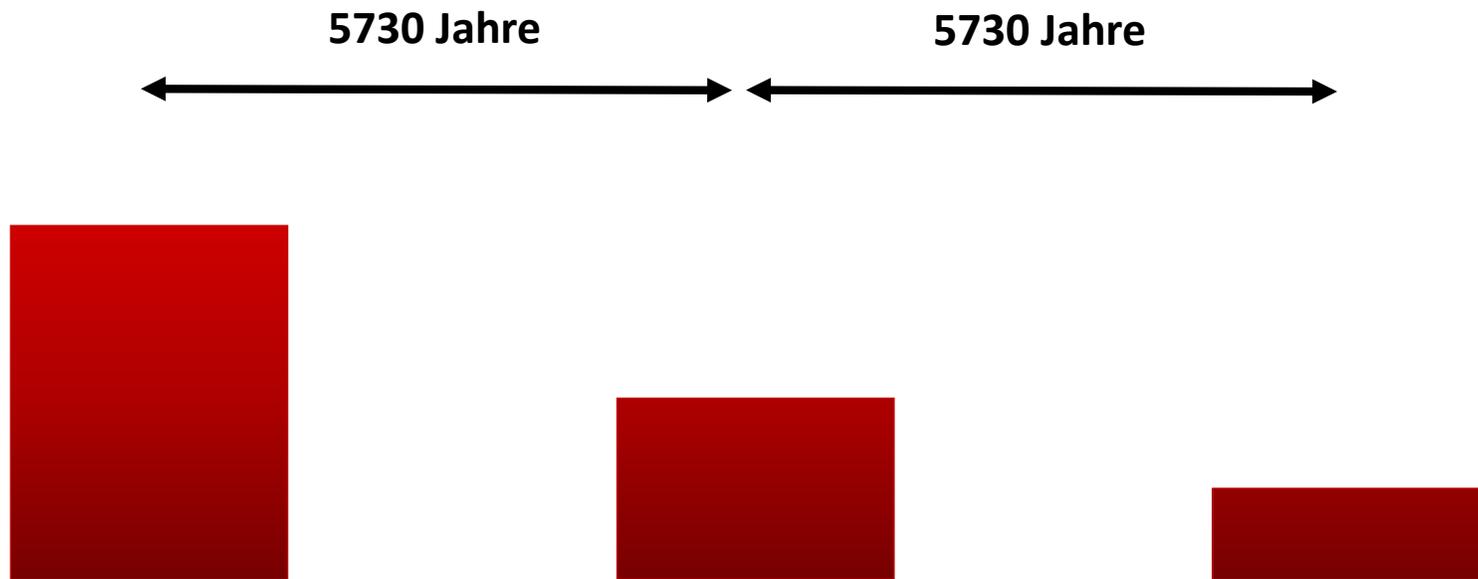


Produktion durch  
kosmische Strahlung

Natürlicher Zerfall

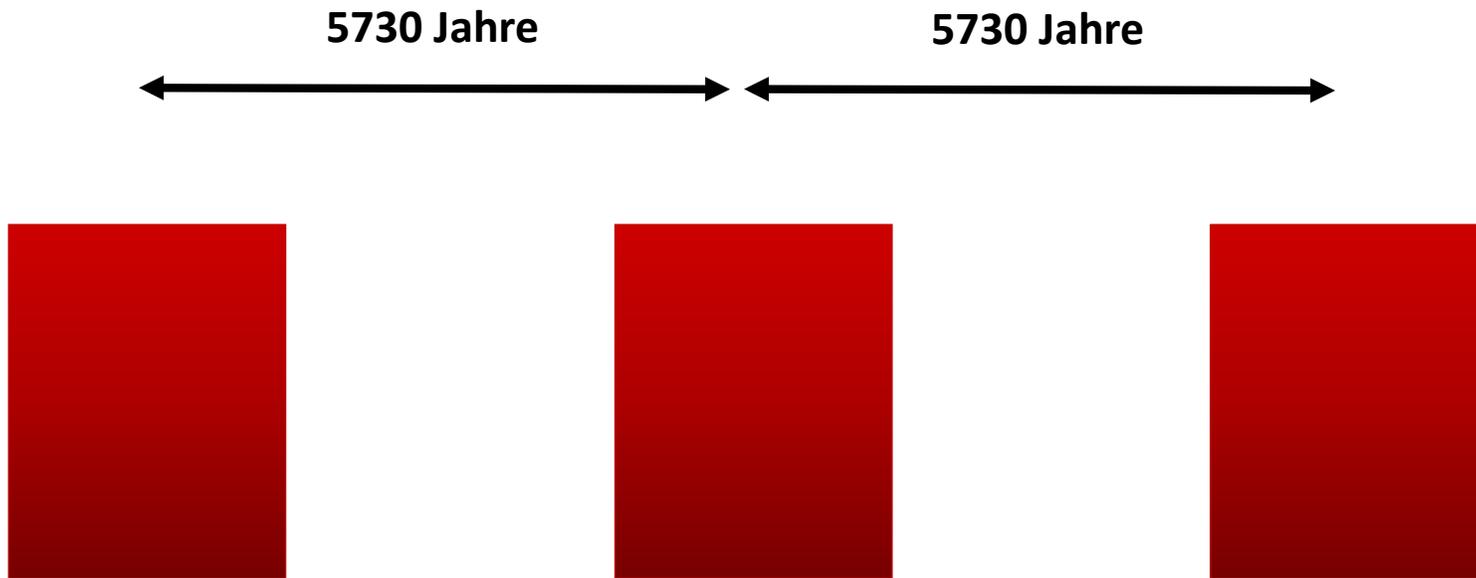


# $^{14}\text{C}$ – 5730 Jahre Halbwertszeit

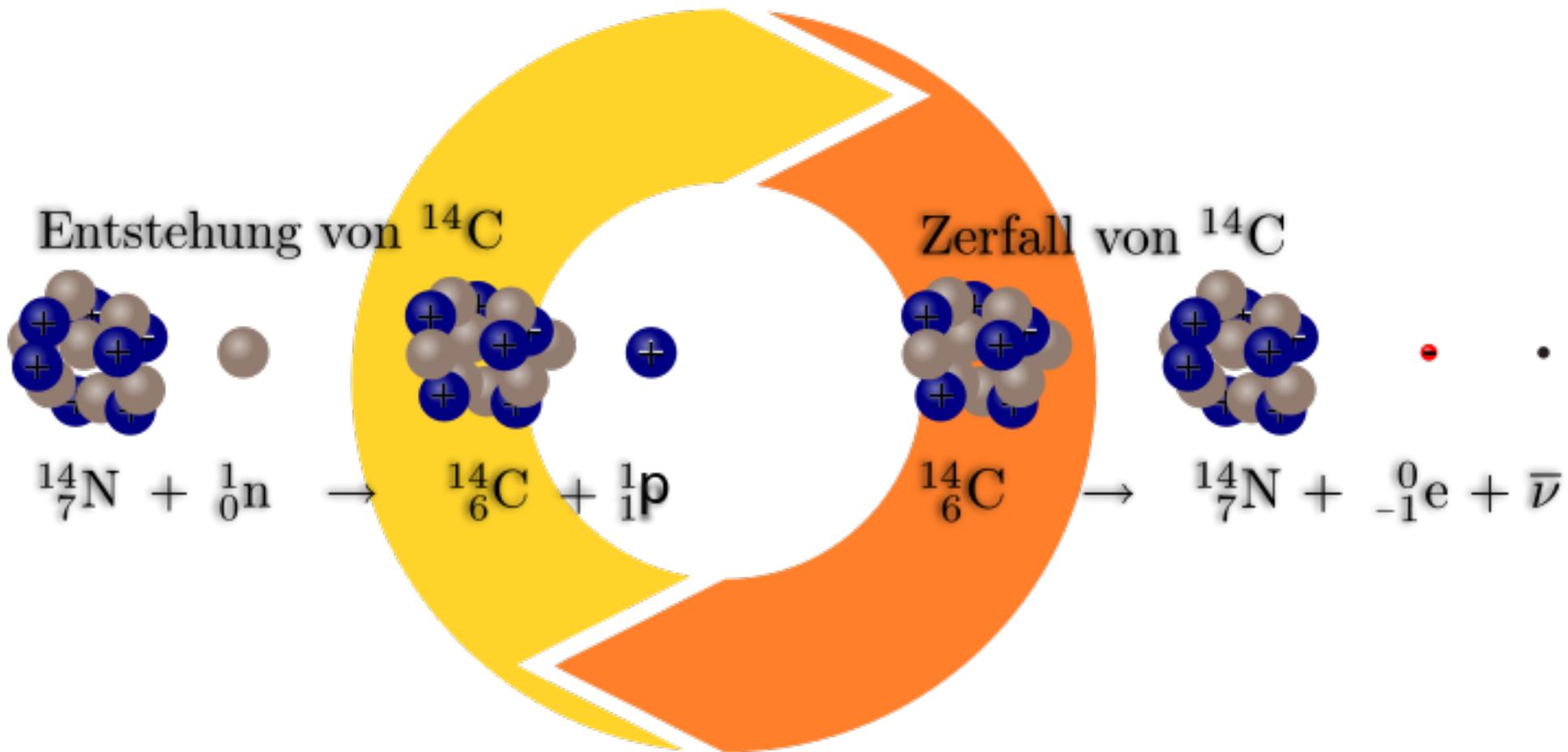


Radioaktive Zerfälle – Halbierung nach Ablauf einer gewissen konstanten Zeit

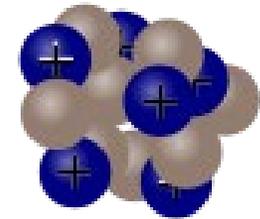
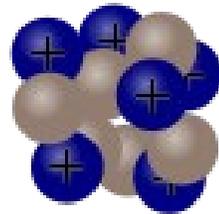
# $^{14}\text{C}$ – 5730 Jahre Halbwertszeit, konstante Produktion



Radioaktive Zerfälle – Fließgleichgewicht bei konstanter Produktion

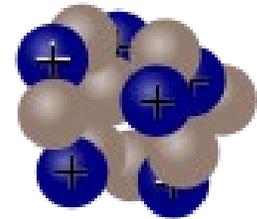
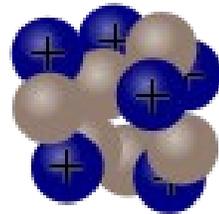


Gleichgewicht bei  
lebenden Organismen



$$\text{Anzahl } ^{12}\text{C} = 10^{12} \cdot \text{Anzahl } ^{14}\text{C}$$

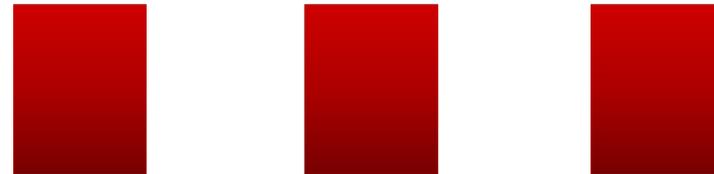
Gleichgewicht bei  
lebenden Organismen



$$\text{Anzahl } ^{12}\text{C} = 10^{12} \cdot \text{Anzahl } ^{14}\text{C}$$

5730 Jahre

5730 Jahre



# Sind wir radioaktiv? Ja – $^{14}\text{C}$

- 10% Kohlenstoff
- 12 kg (bei 120 kg Körpergewicht)
- $10^3$  mol
- $6 \cdot 10^{26}$  C-Atome
- $6 \cdot 10^{14}$   $^{14}\text{C}$  Atome!!
- **Etwa 3000 Zerfälle pro Sekunde!**

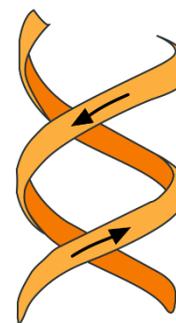


# Sind wir radioaktiv? Ja – $^{14}\text{C}$

- 10% Kohlenstoff
- 12 kg (bei 120 kg Körpergewicht)
- $10^3$  mol
- $6 \cdot 10^{26}$  C-Atome
- $6 \cdot 10^{14}$   $^{14}\text{C}$  Atome!!
- **Etwa 3000 Zerfälle pro Sekunde!**



- Körpereigene Reparaturen



a



b



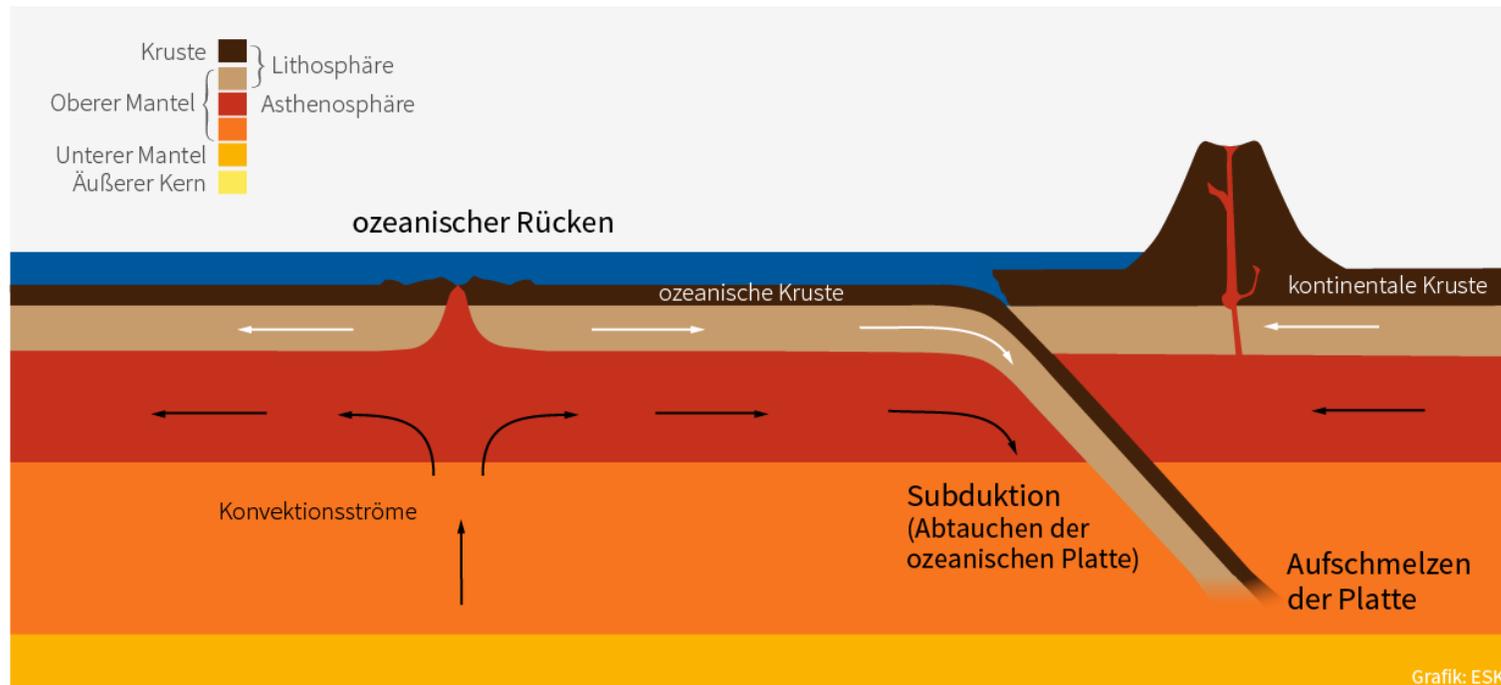
# Sind wir radioaktiv? Ja – $^{40}\text{K}$

- 0.25% K
- 0.3 kg (bei 120 kg Körpergewicht)
- 7.5 mol
- $5 \cdot 10^{24}$  K-Atome
- $5 \cdot 10^{20}$   $^{40}\text{K}$  Atome!!
- **Etwa 13000 Zerfälle pro Sekunde!**

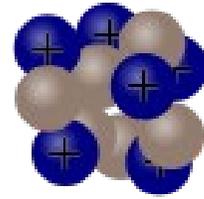


# Sind wir radioaktiv? Ja – $^{40}\text{K}$

- 0.25% K
- 0.3 kg (bei 120 kg Körpergewicht)
- 7.5 mol
- $5 \cdot 10^{24}$  K-Atome
- $5 \cdot 10^{20}$   $^{40}\text{K}$  Atome!!
- **Etwa 13000 Zerfälle pro Sekunde!**
- Eine der Ursachen für die Plattentektonik!



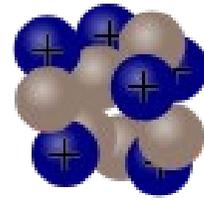
Ungleichgewicht bei  
toten Organismen



Anzahl  $^{12}\text{C}$   $>$   $10^{12}$  · Anzahl  $^{14}\text{C}$



Ungleichgewicht bei  
toten Organismen



Anzahl  $^{12}\text{C} > 10^{12} \cdot$  Anzahl  $^{14}\text{C}$



5730 Jahre

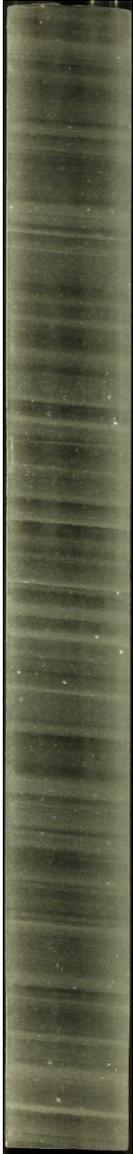
5730 Jahre



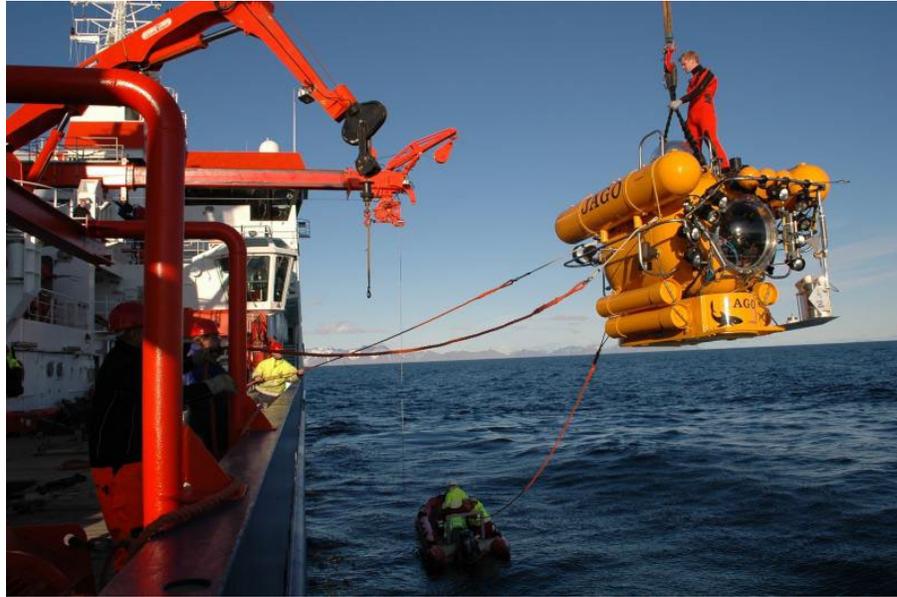
# Kalibration – mit Zeugen



# Kalibration - > 10'000 Jahre



$^{230}\text{Th}$  Datierung

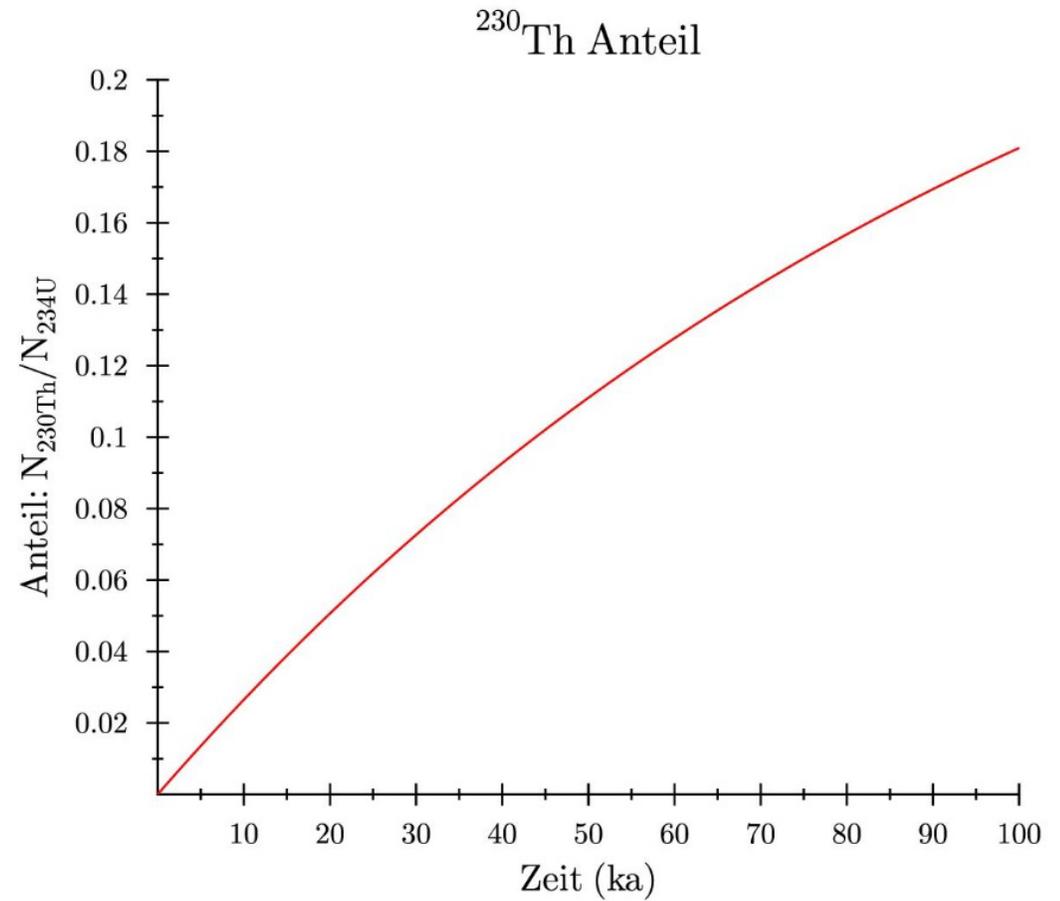
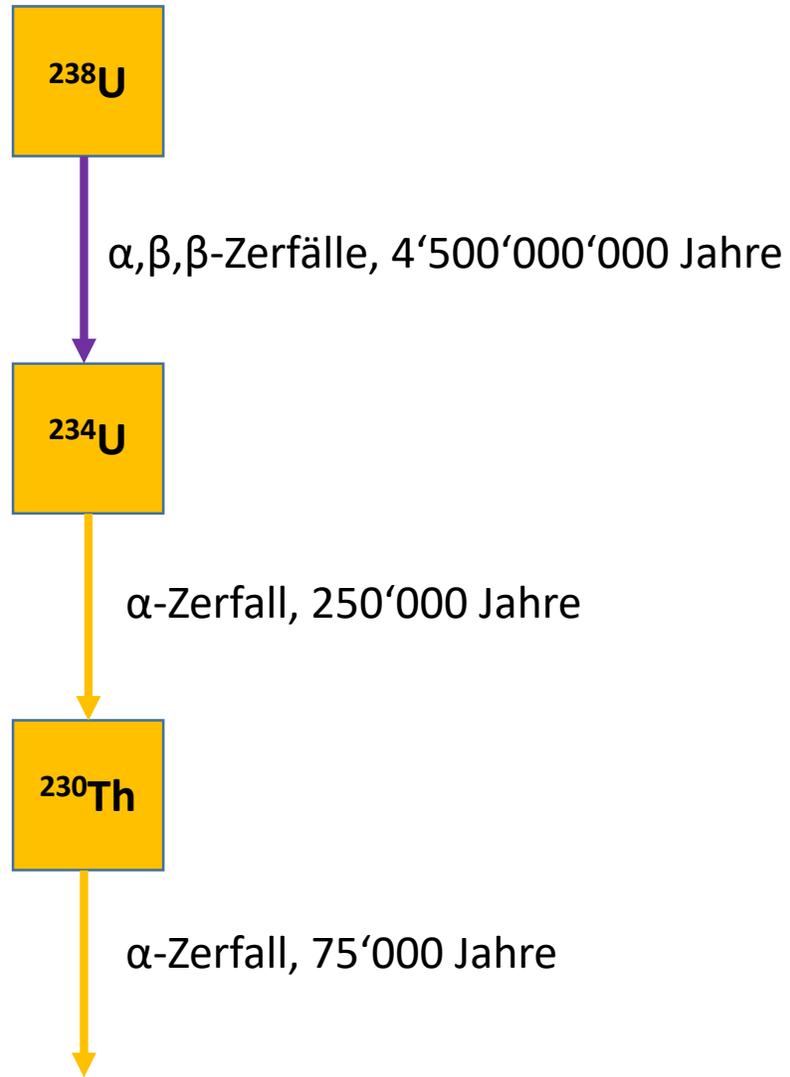


Von Karen Hissmann/GEOMAR - <https://www.geomar.de/service/kommunikation/bilddatenbank/>,  
CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=67666374>

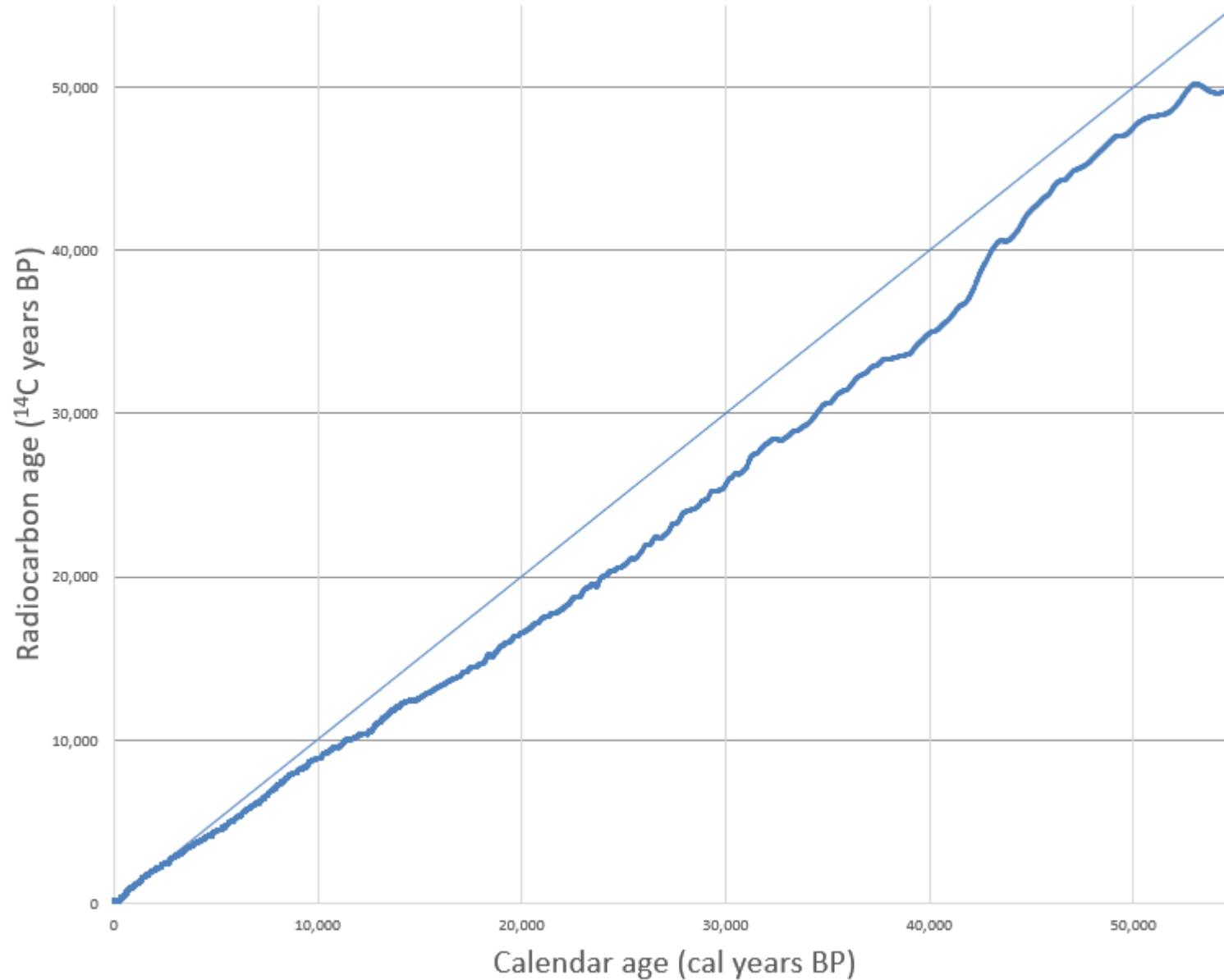


Von Rainer Lippert –  
Eigenes Werk, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1016989>

# Kalibration – $^{230}\text{Th}$



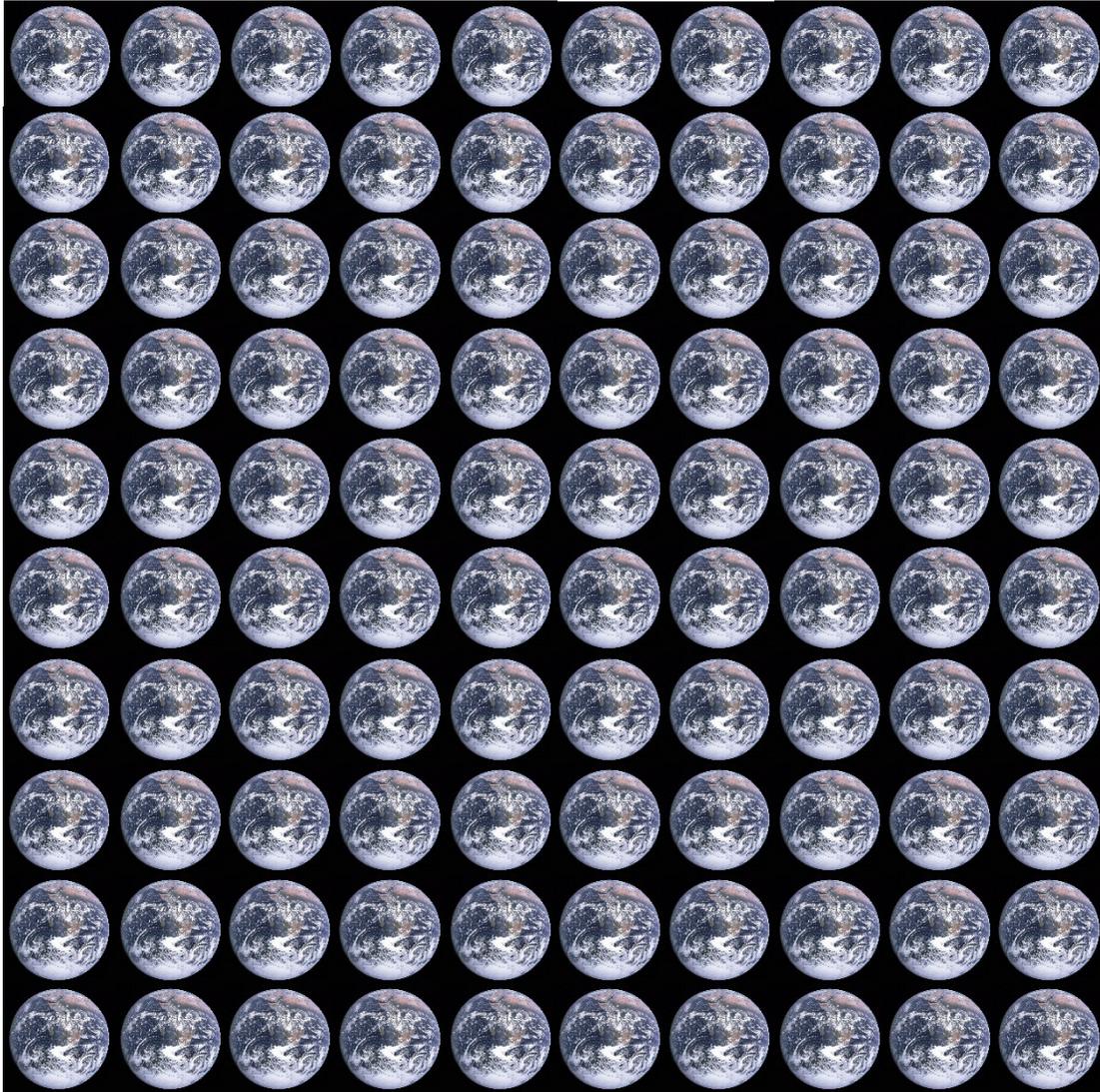
# IntCal20 calibration curve



Variation durch:

- Sonnenzyklus
- Erdmagnetfeld
- **Kohlenstoffzyklus**

# Die Nadel im Heuhaufen



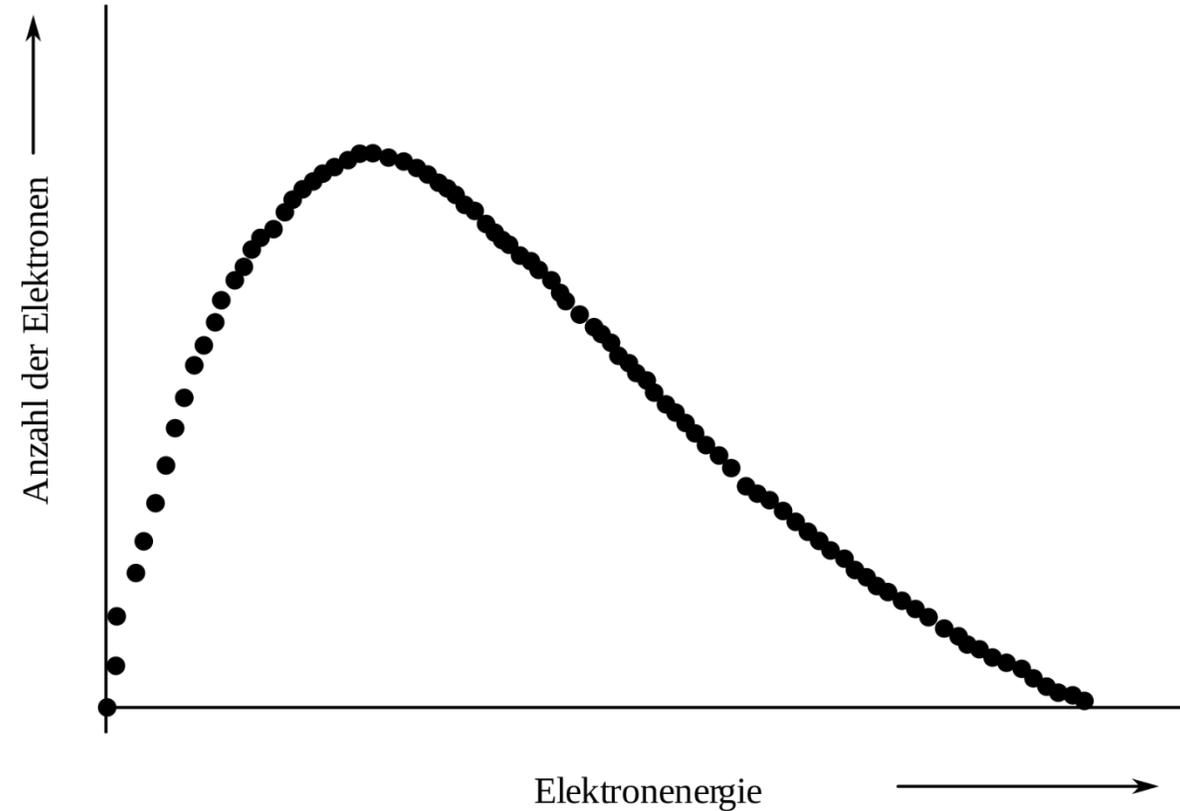
$10^{12}$   $^{12}\text{C}$  Atome  
100 Erden

– 1  $^{14}\text{C}$  Atom  
– 1 Mensch

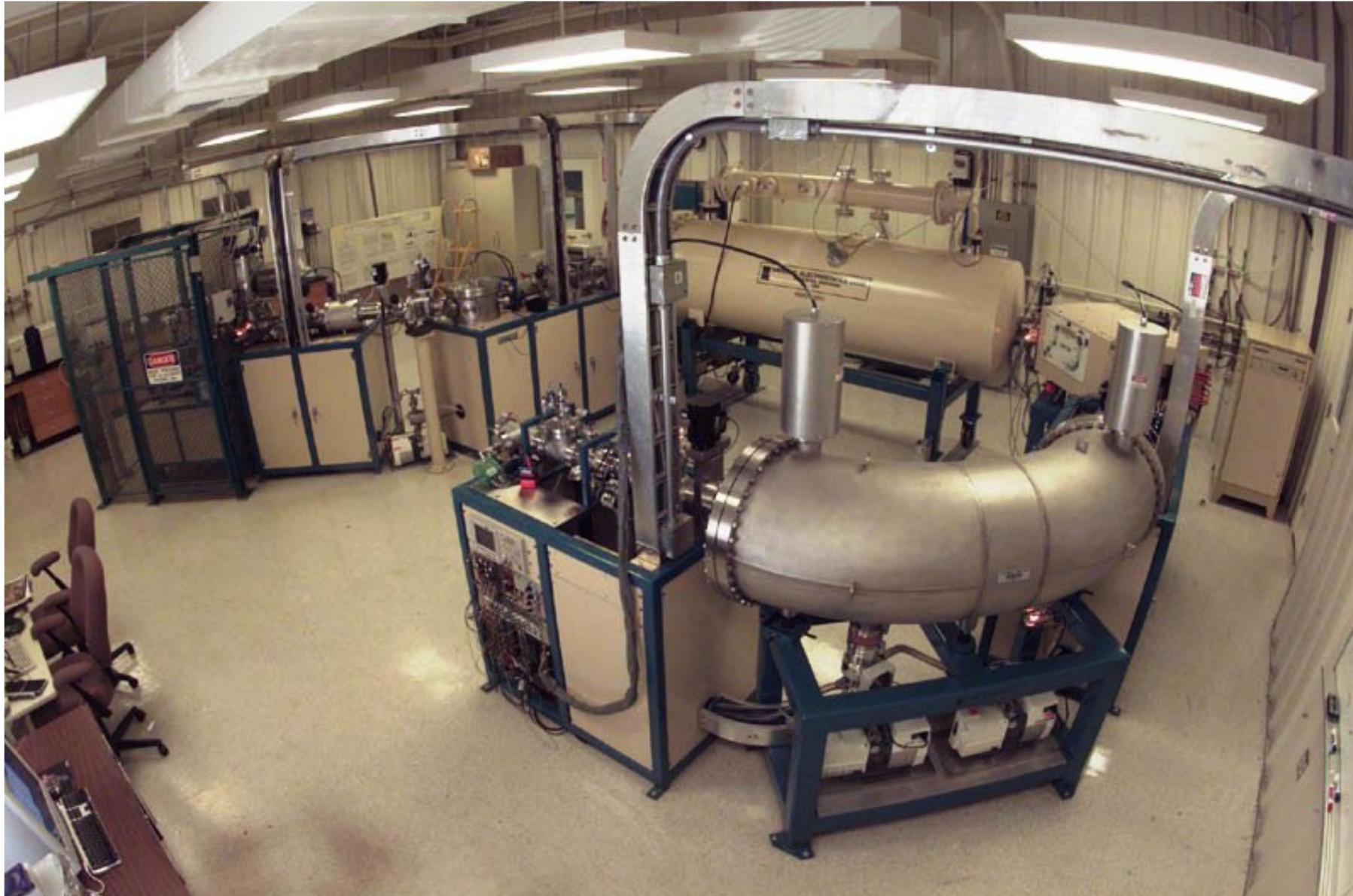


# Detektion der Radioaktivität

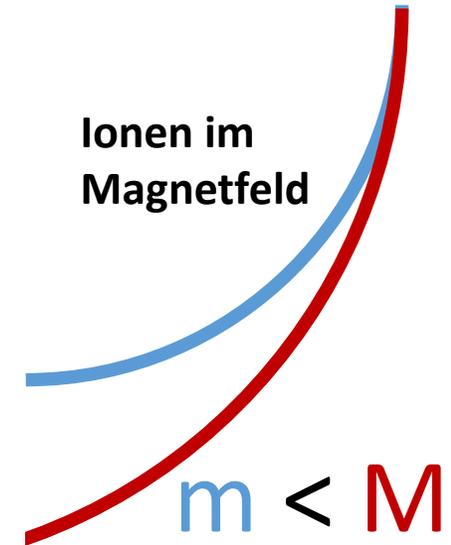
- Keine Gamma-Emission
- Nieder-energetische Elektronen
- Große Halbwertszeit, daher geringe Aktivität
- Große Probenentnahmen nötig
- Flüssigszintillatoren



# Beschleuniger-Massen-Spektrometrie (AMS)

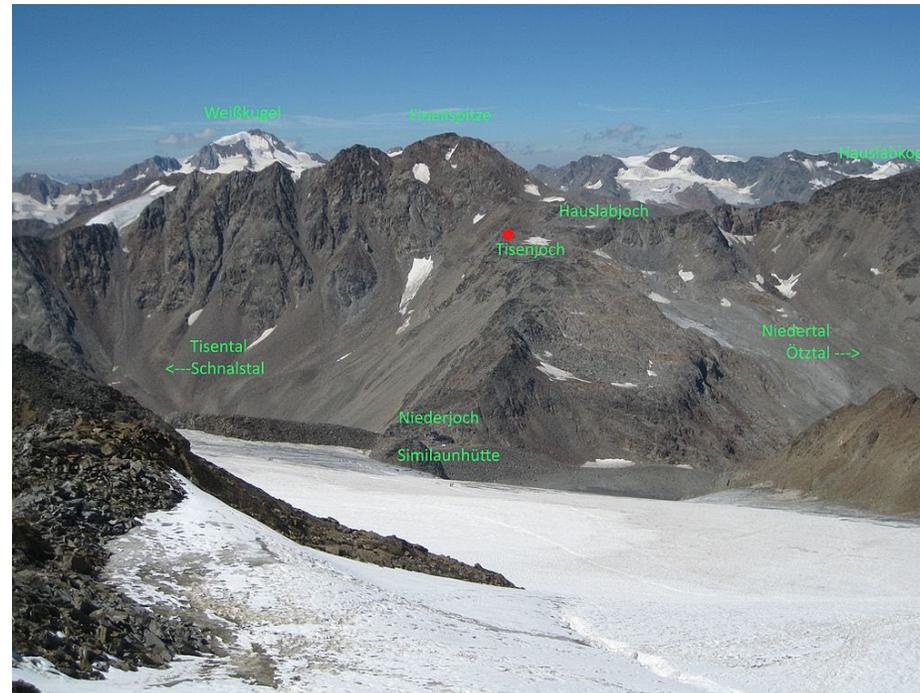
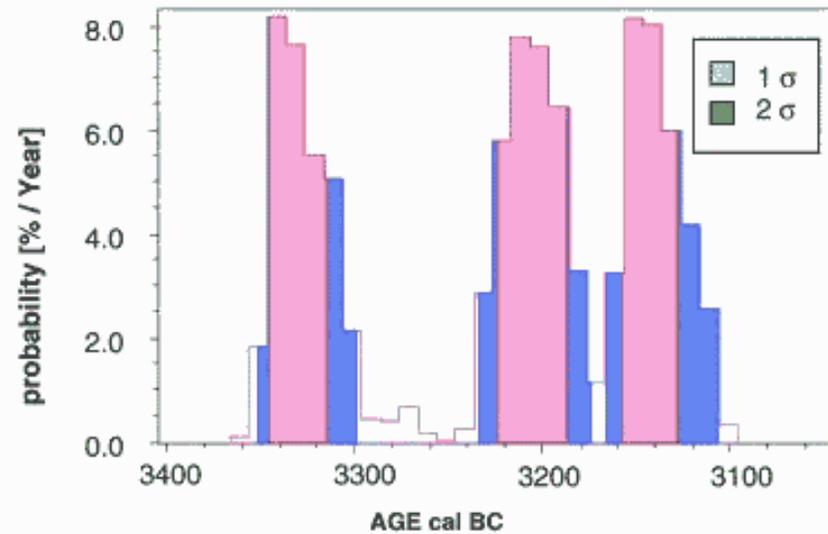
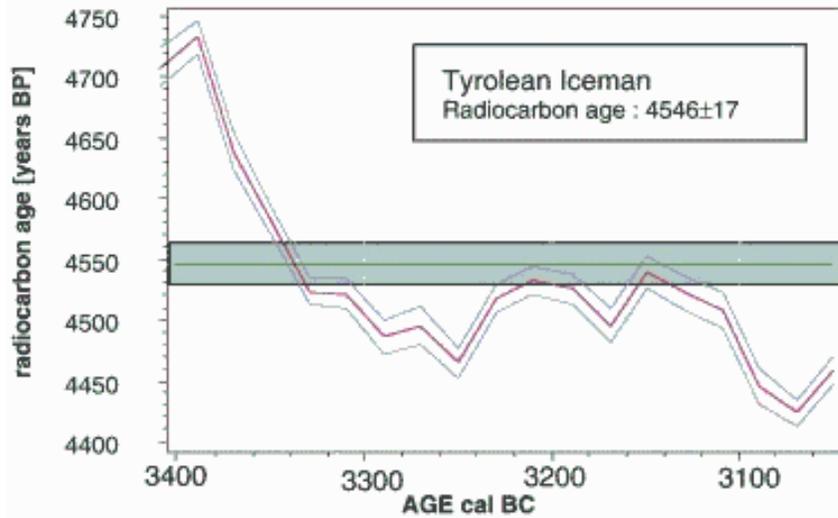


Ionen im  
Magnetfeld

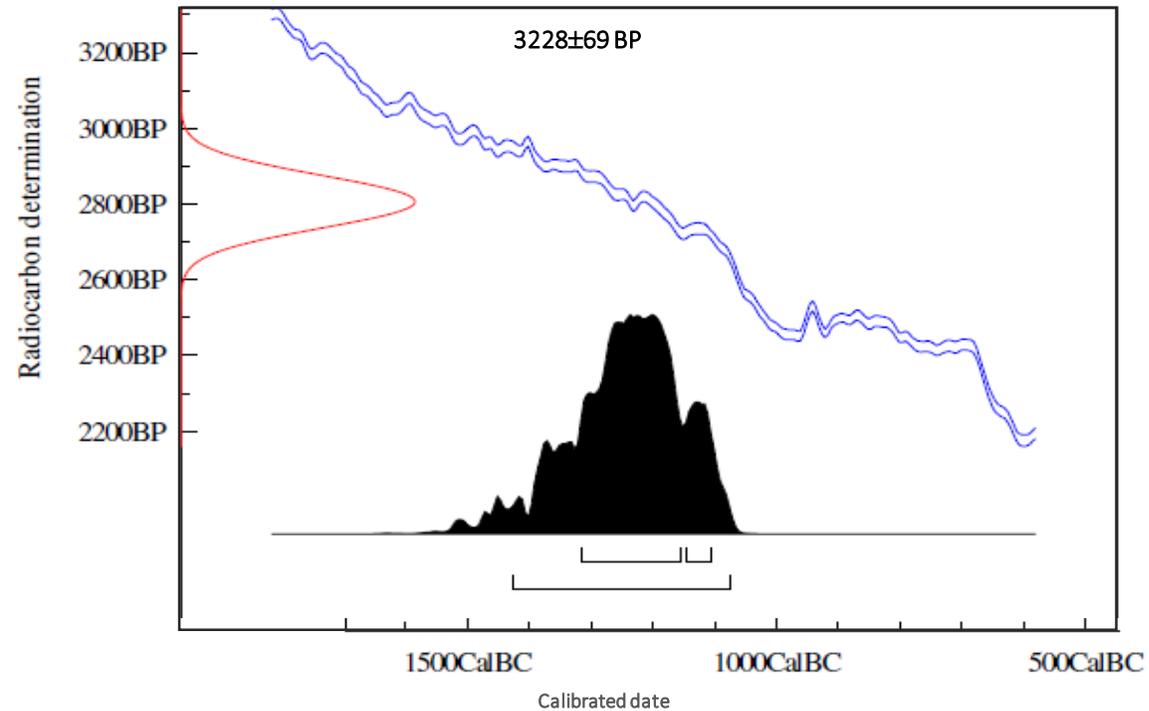
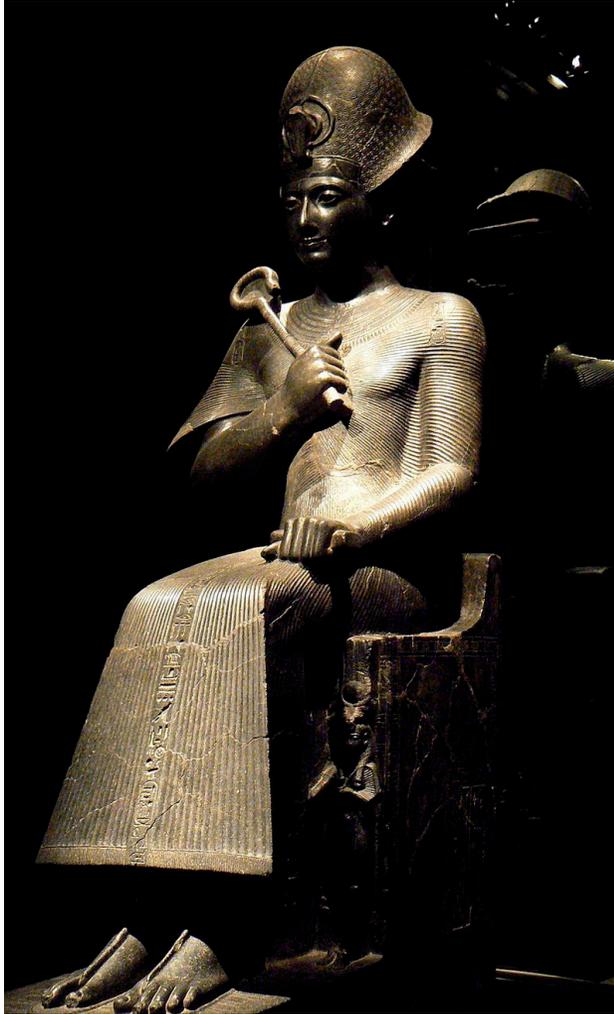


# Wann starb Ötzi?

Tree ring calibration curve



# Ramses II - (\* um 1303 v. Chr.; † 27. Juni 1213 v. Chr.)



# Grabtuch von Turin

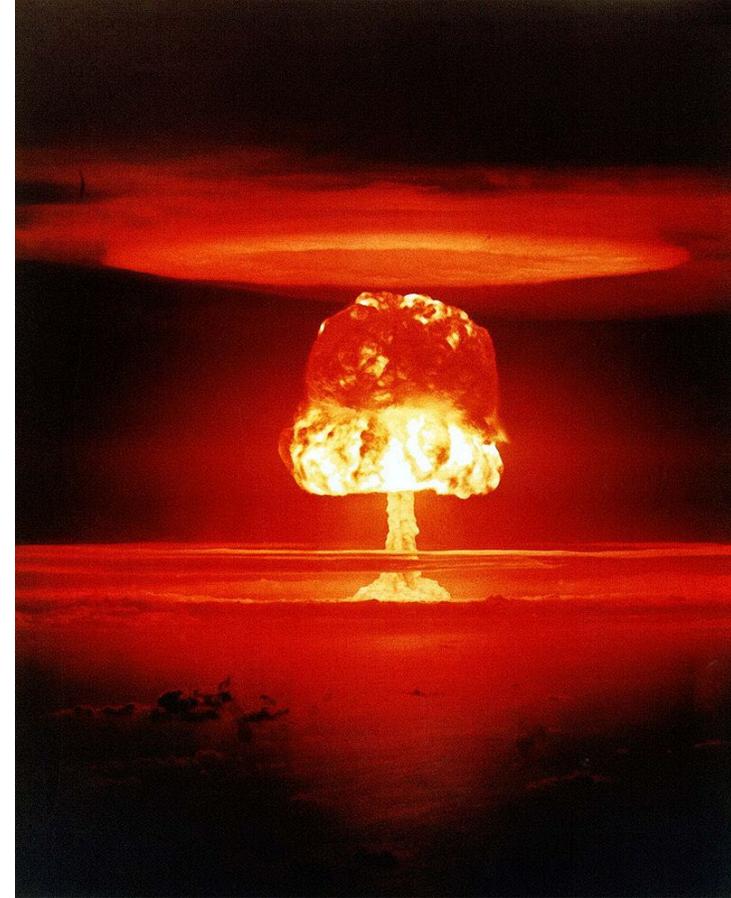
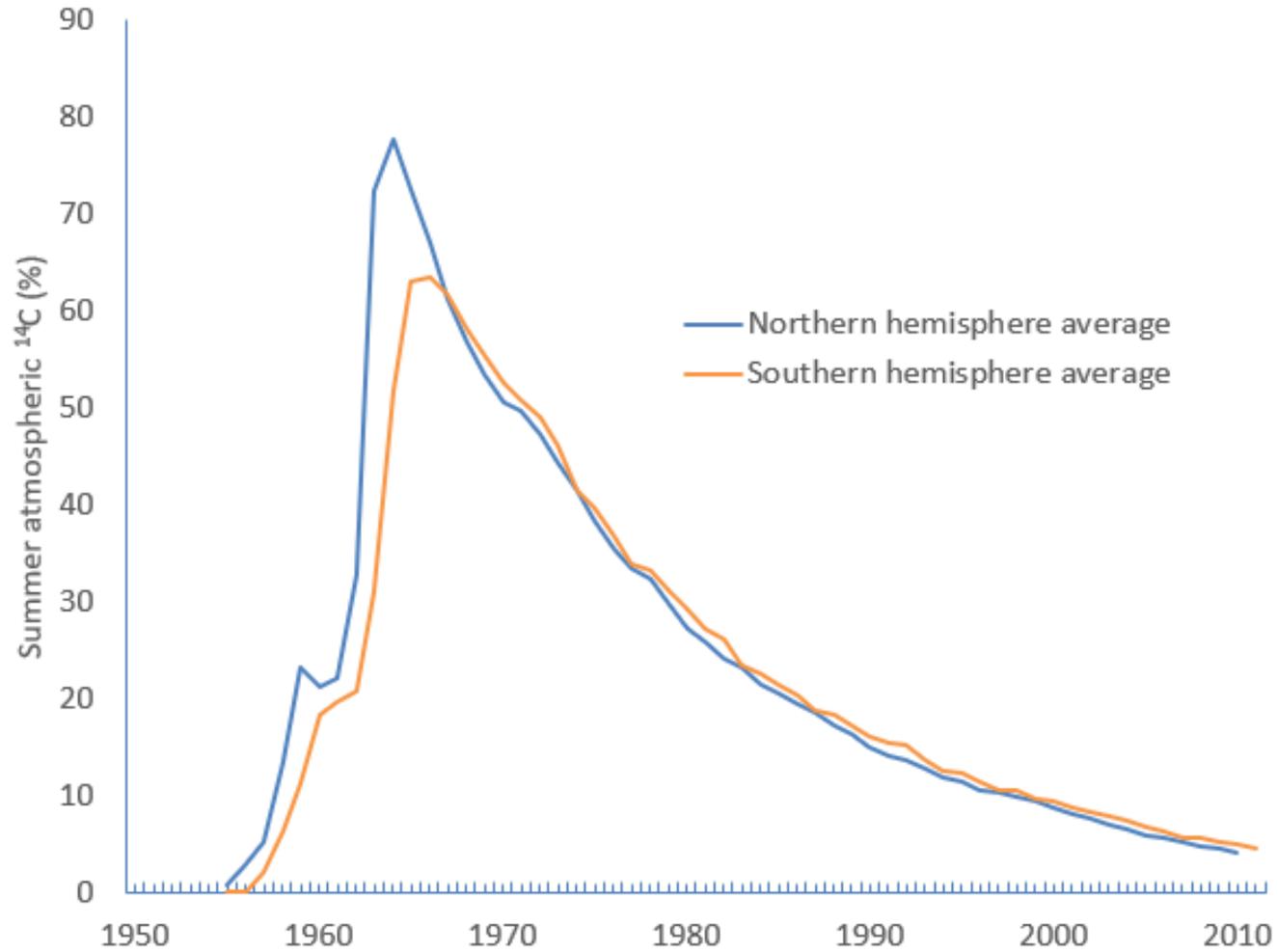


$^{14}\text{C}$ -Datierung:

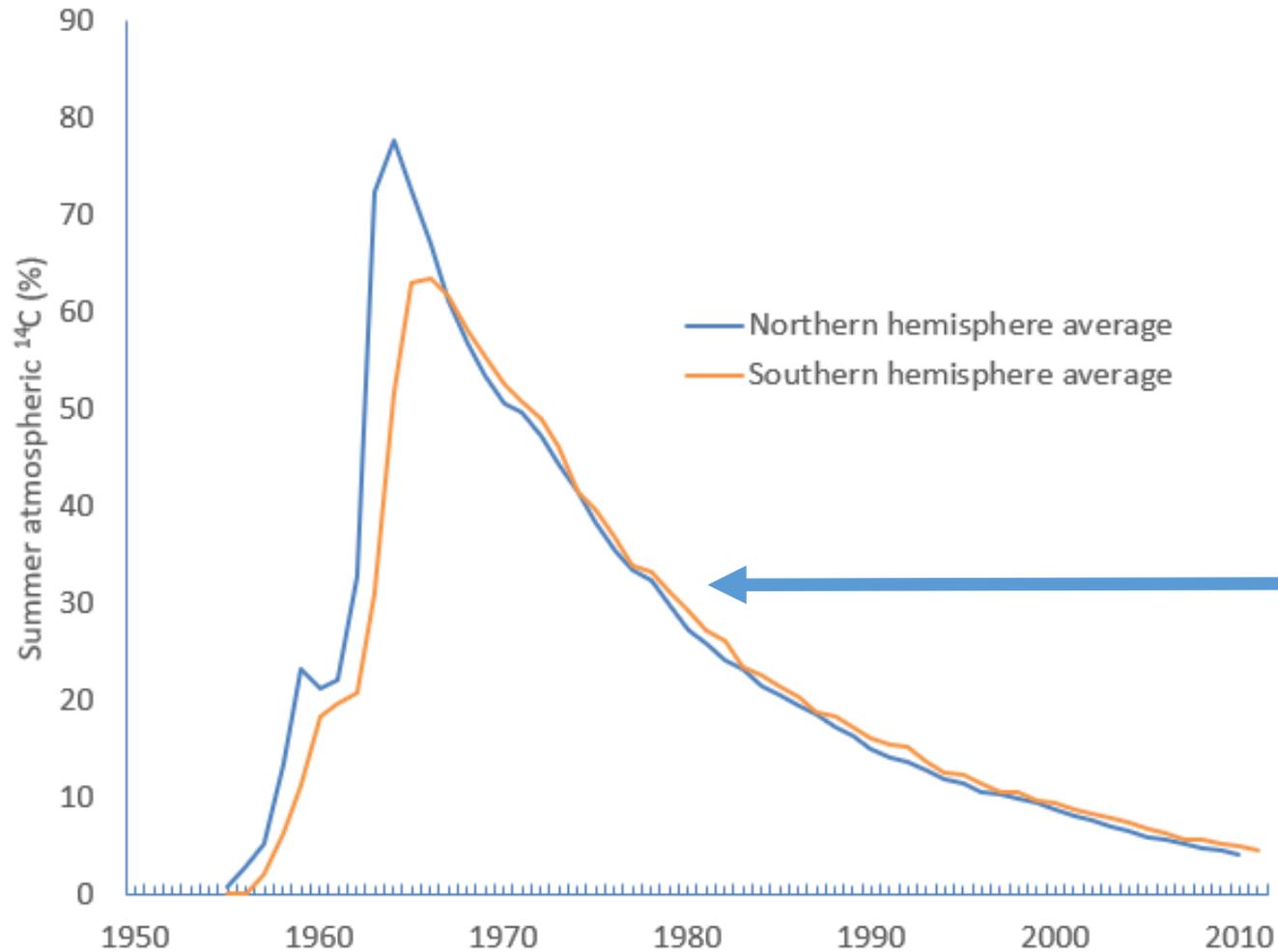
1325 AC

(95% c.l. 1260 – 1390 AC)

# Atomwaffentests



# Atomwaffentests



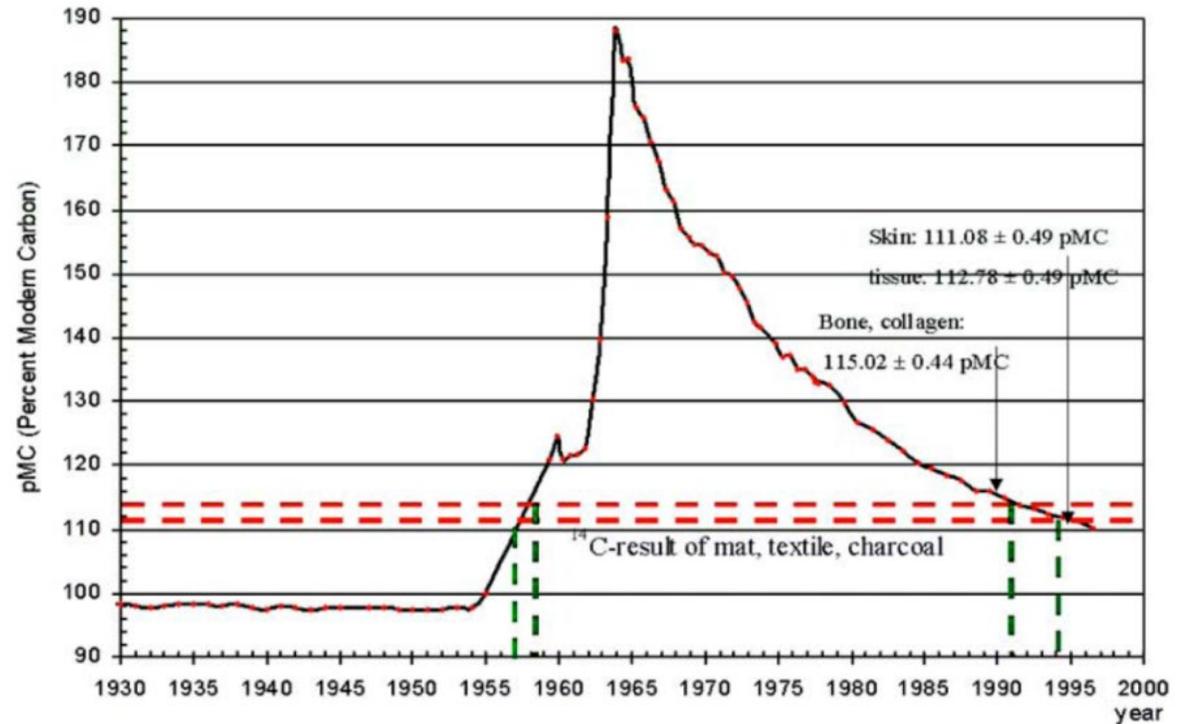
Rückgang mit  
Halbwertszeit von etwa 10  
Jahren!

**Jüngeres Material hat nun  
WENIGER C-14!**

# Moderne Datierung - Whiskey



# Moderne Datierung – Historische Funde



Mord im Jahr 1993 statt friedlicher Tod vor 3000 Jahren

# Moderne Datierung - Elfenbein



Handel mit Elfenbein jünger  
als 1. Juni 1947  
**VERBOTEN!**

# Moderne Datierung - Kunst

Teil der Serie?



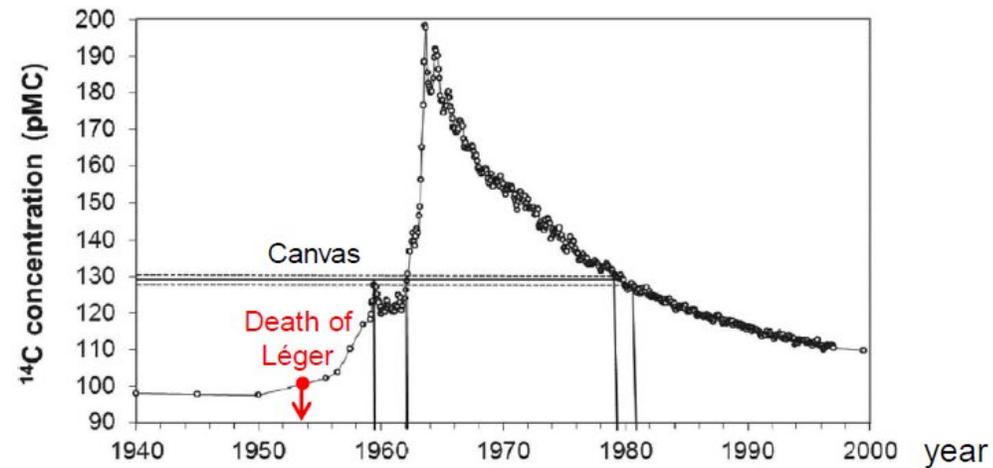
*Contraste de formes*, Fernand Léger (?)  
Peggy Guggenheim Collection, Venice



*Contraste de formes*, Fernand Léger (1881-1955), 1913,  
Solomon G. Guggenheim Foundation, New York

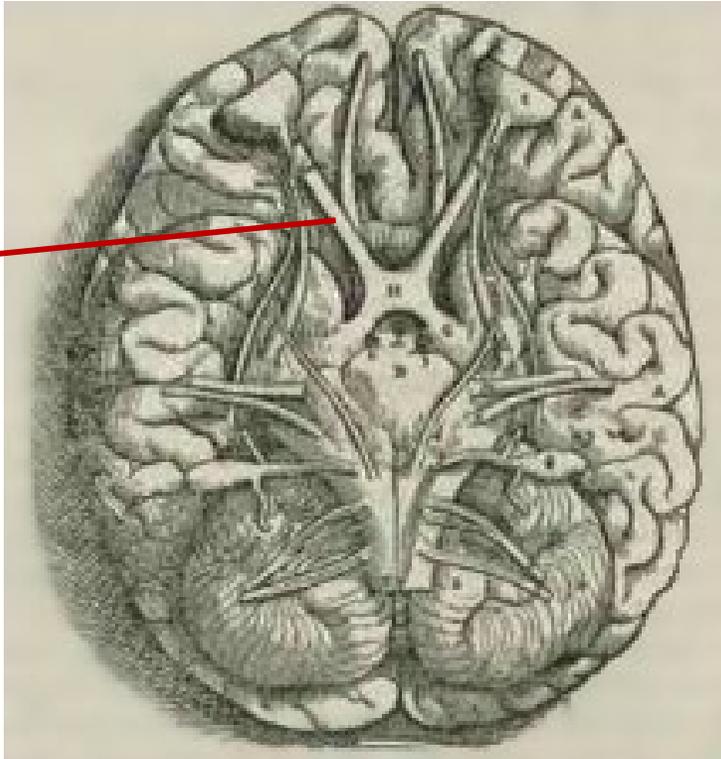


Detail of the canvas sample

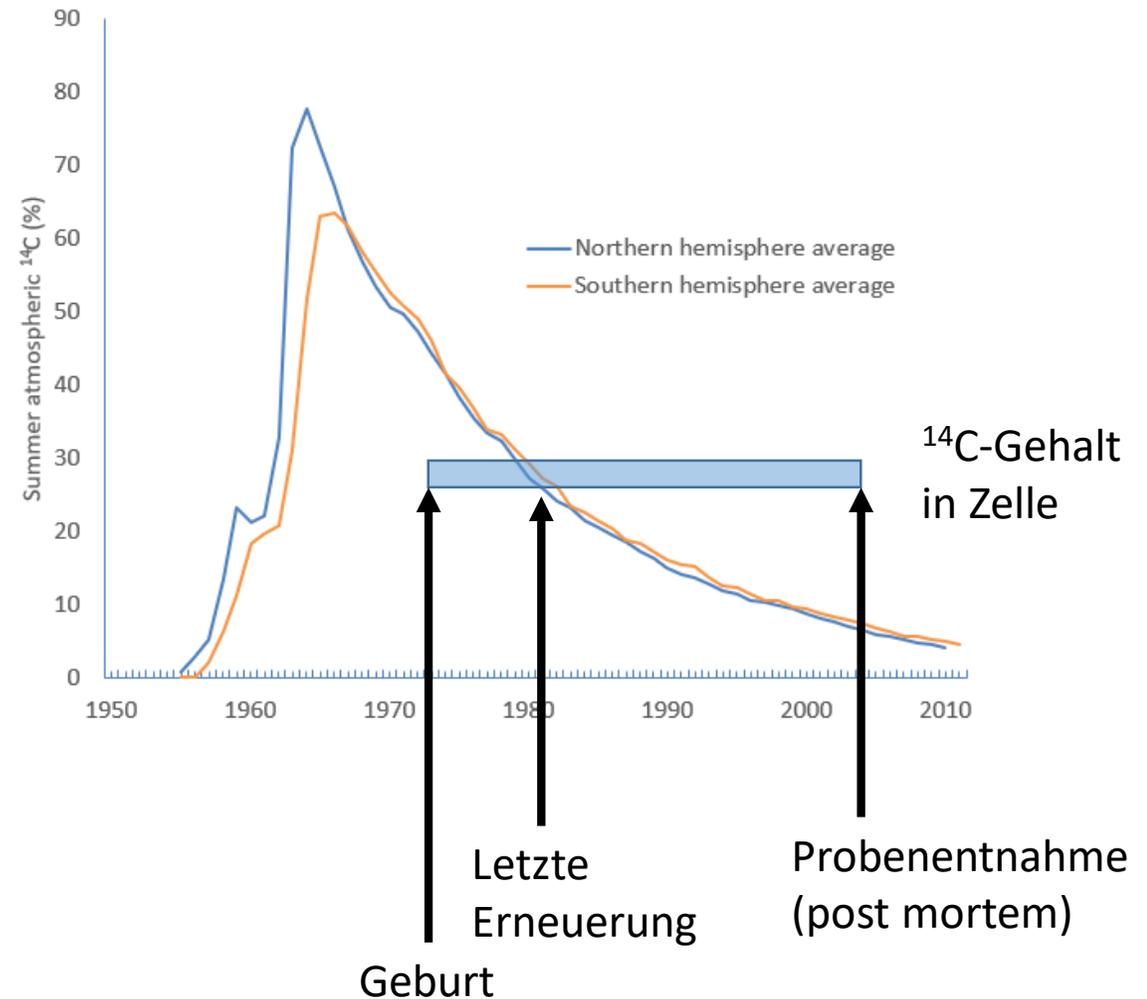


# Moderne Datierung - Biologie

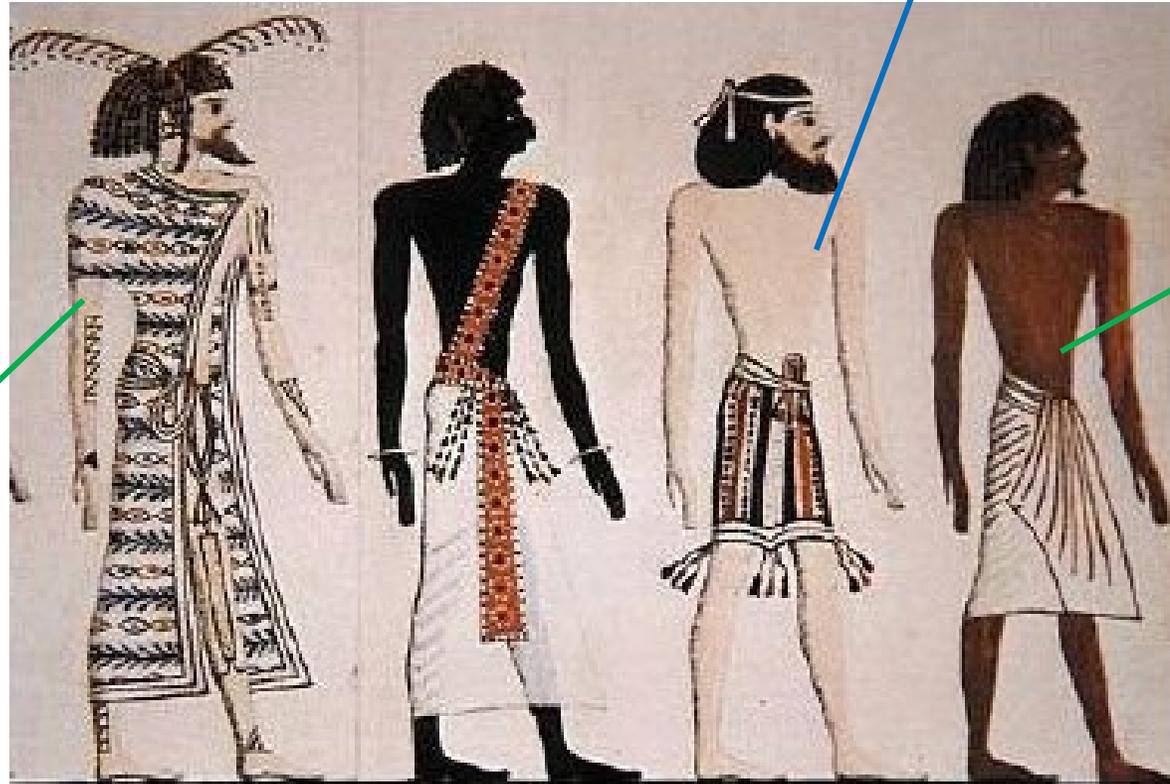
Sehnerv



Letzte Erneuerung eindeutig datierbar, wenn Individuum nach 1965 geboren wurde



# Moderne Datierung - Biologie

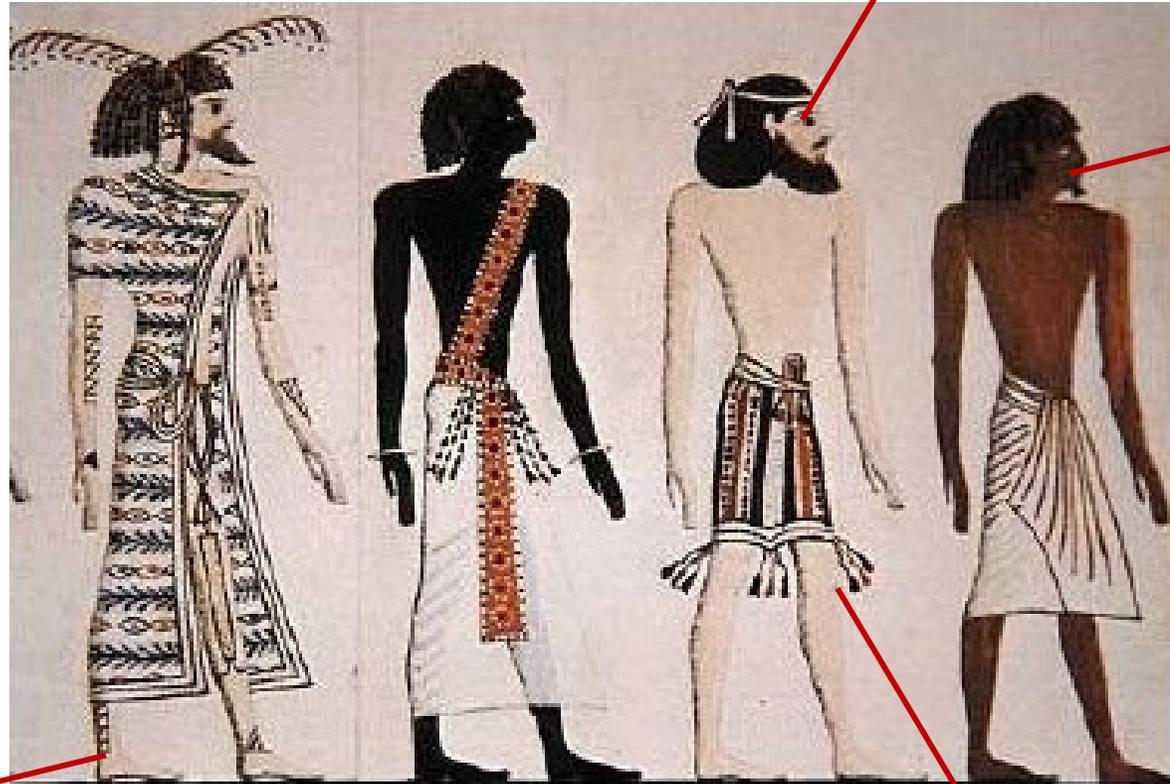


Herzmuskel

Fett

Skelett-  
muskulatur

# Moderne Datierung - Biologie

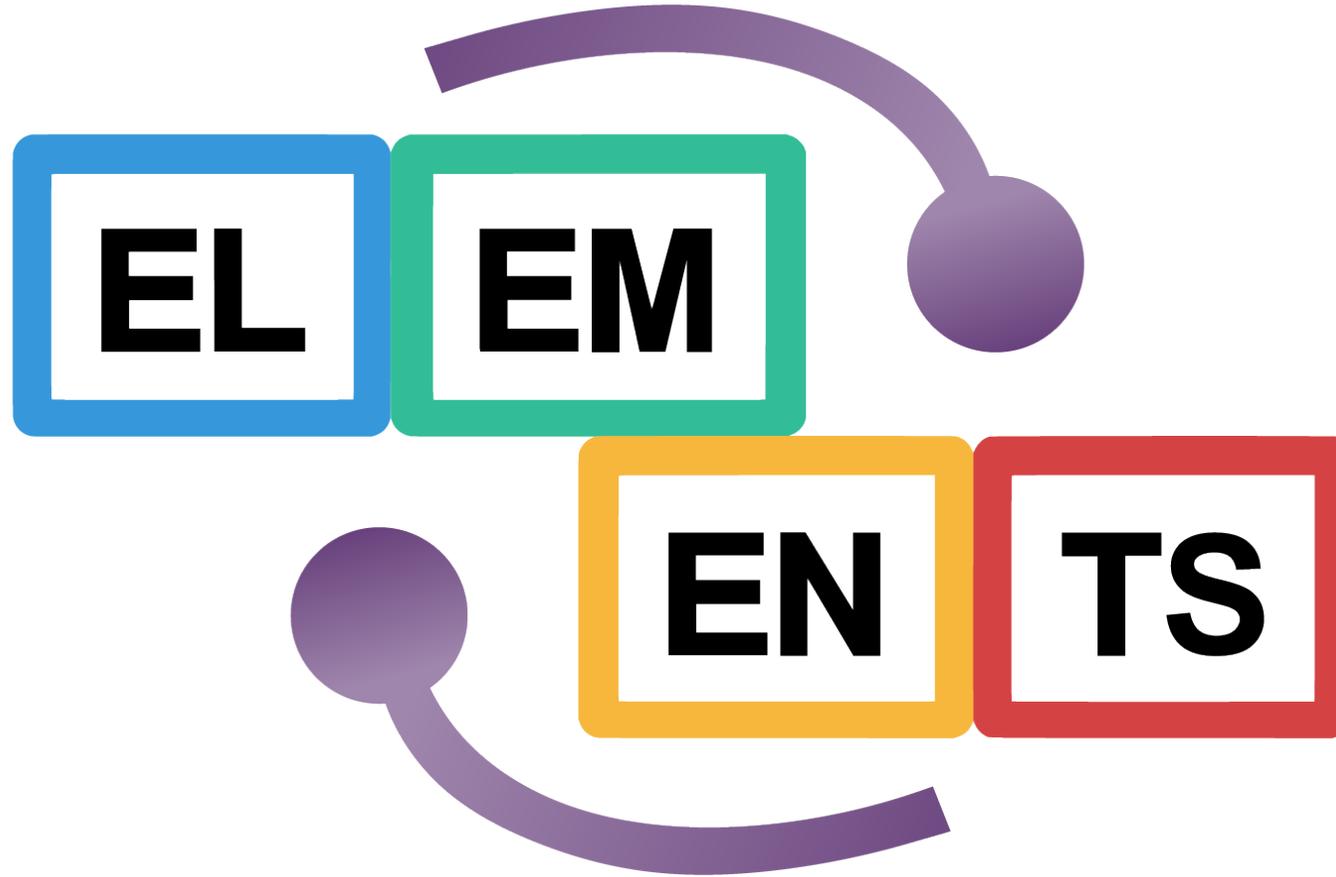


Augenlinse

Zahnschmelz

Achilles-Sehne

Knorpel im Knie



<https://elements.science>