



## **38. Lektion**

**Wie alt ist Ötzi wirklich, oder wie wird eine Altersbestimmung durchgeführt?**

**Lernziel:**

**Radioaktive Isotope geben  
Auskunft über das Alter von  
organischen Materialien, von  
Gesteinen und von der Erde.**

Begriffe

Quellen natürlicher Radioaktivität

Quellen kosmischer Radioaktivität

C14 Altersbestimmung

Massenspektrometrie



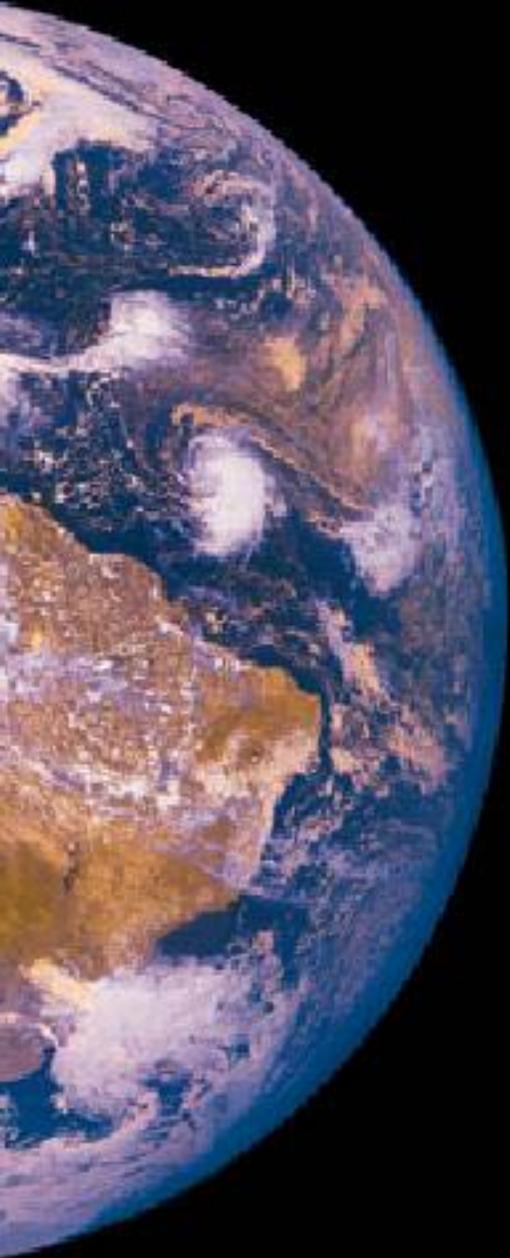
1991 haben Wanderer hoch in den Ötztaler Alpen in der Nähe der Grenze zwischen Österreich und Italien im Tauwasser eines Gletschers eine Mumie entdeckt.

Erste Altersbestimmung ergab ca 5300 Jahren. Damit ist „Ötzi“ die älteste bekannte Mumie.

Wie wurde die Altersbestimmung durchgeführt?

# Wie alt ist das Universum?





Wie alt ist die Erde?



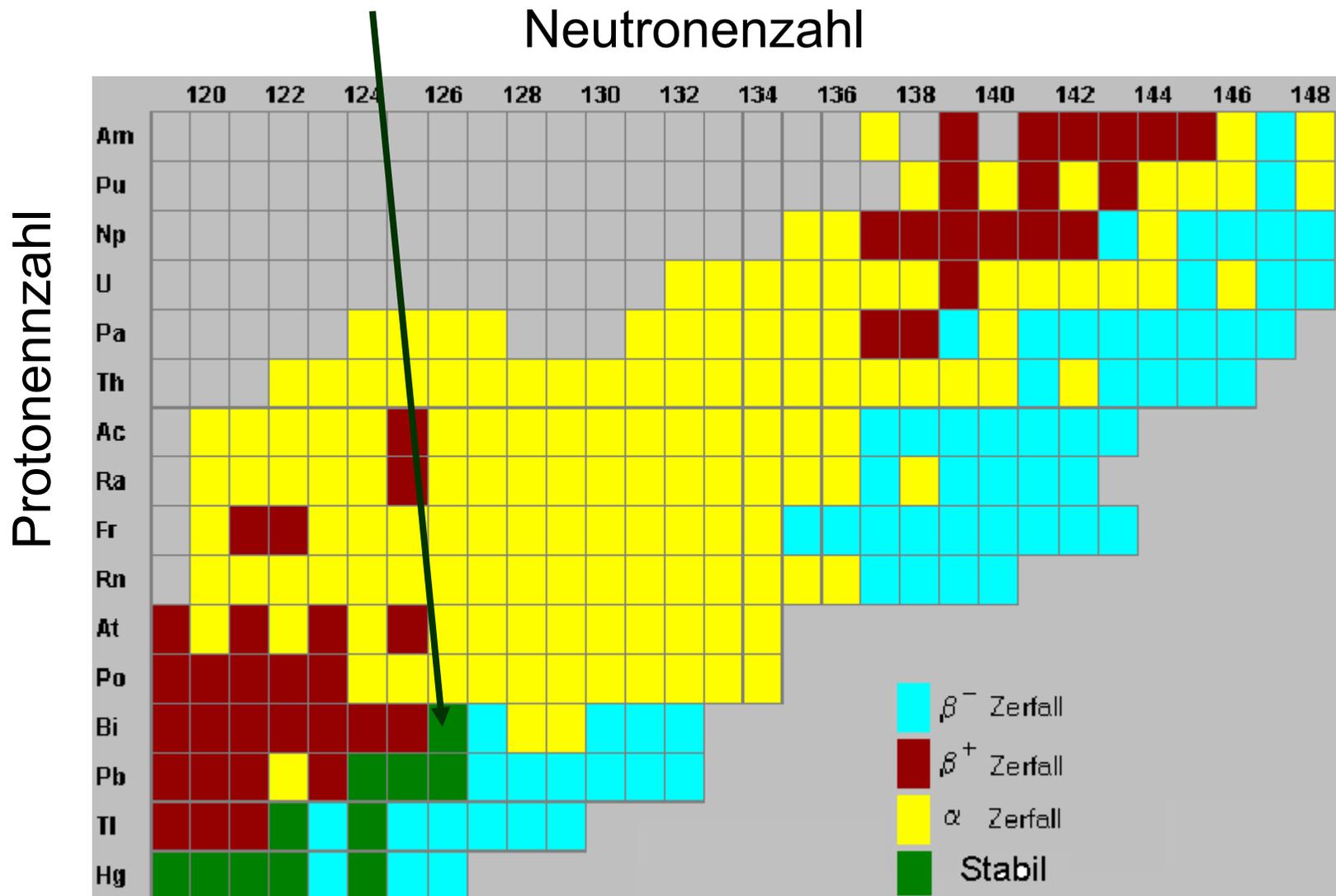
Um festzustellen wie alt Gesteine sind, muss man nicht deren Mineralien identifizieren, sondern die chemische Zusammensetzung bestimmen. Gibt es in den Gesteinen radioaktive Isotope mit bekannten Halbwertszeiten?

Wie aktiv sind diese Isotope heute noch?

Kann man heute noch Uran, Thorium, oder  $^{40}\text{K}$  mit extrem langen Halbwertszeiten in den Gesteinen finden?



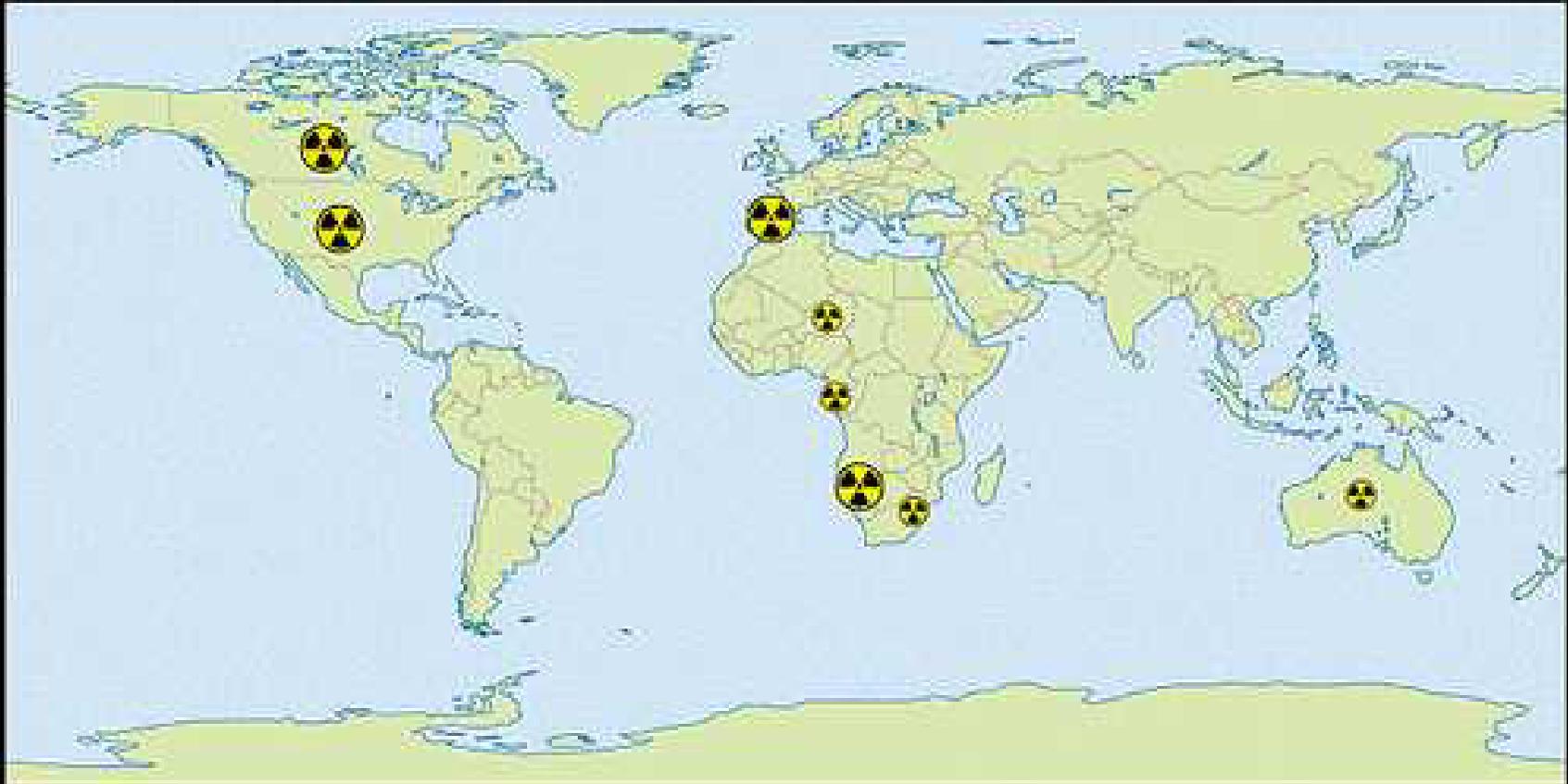
# Ende der Stabilität von Kernen...



...alle Kerne mit größerem Z oder N als Bi-209 zerfallen spontan, am häufigsten mit α-Zerfall

# Warum findet man heute immer noch Uran, obwohl es schon längst in Blei zerfallen sein sollte?

WORLD Uranium Production



## URANIUM



> 10 % world production



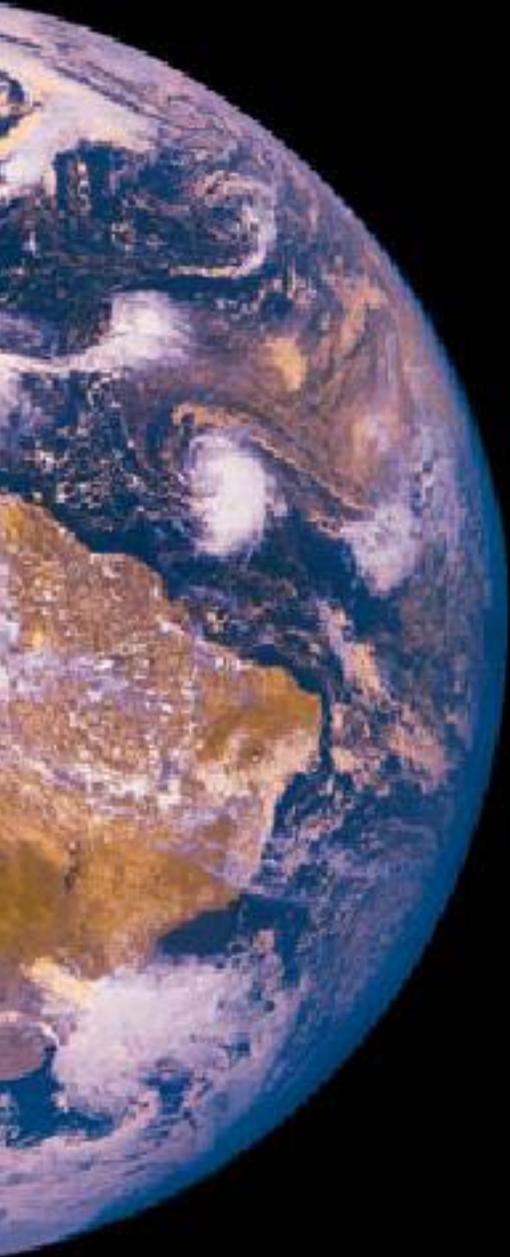
1 - 10 % world production

Isotope und  
Halbwerts-  
zeiten  
terrestrischer  
radioaktiver  
Quellen

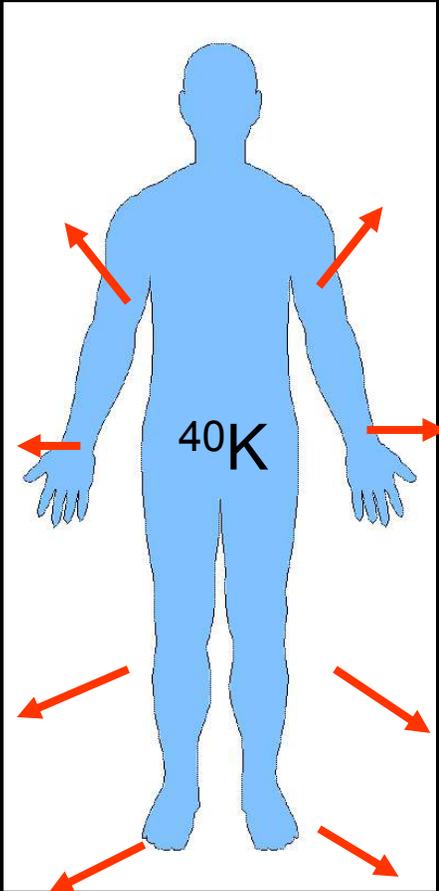
Isotop	Zerfalls- art	Folge- produkt	Halbwerts- zeit
$^{238}\text{U}$	Alpha	$^{234}\text{Th}$	$4,51 \times 10^9 \text{a}$
$^{235}\text{U}$	Alpha	$^{231}\text{Th}$	$7,1 \times 10^8 \text{a}$
$^{232}\text{Th}$	Alpha	$^{228}\text{Ra}$	$1,4 \times 10^{10} \text{a}$
$^{226}\text{Ra}$	Alpha	$^{222}\text{Rn}$	$1,6 \times 10^3 \text{a}$
$^{222}\text{Rn}$	Alpha	$^{218}\text{Po}$	4d
$^{40}\text{K}$	Beta-	$^{40}\text{Ca}$	$1,26 \times 10^9 \text{a}$

# Radioaktive Vase





Die Welt muss mindestens  $4.5 \times 10^9$  Jahre alt sein, sonst dürfte es heute kein Uran und seine Folgeprodukte mehr geben



Die Tatsache, dass wir heute noch radioaktiv sind, beweist dass die Welt mehr als  $10^9$  Jahre alt sein muss.



Die ältesten Gesteine, die man auf der Erde findet sind Meteoriten. Diese weisen ein Alter von  $4.6 \times 10^9$  Jahren auf. Die ältesten Gesteine auf der Erde wurden auf  $3.9 \times 10^9$  Jahren datiert.

Gesteine auf der Erde sind bereits mehrfach wiederverwertet worden. Beim Abtauchen in große Tiefen und Kontakt mit dem radioaktiven Kern, wird die Uhr von den Isotopen neu gesetzt. Daher erscheinen die „Oberflächengesteine“ der Erde jünger.

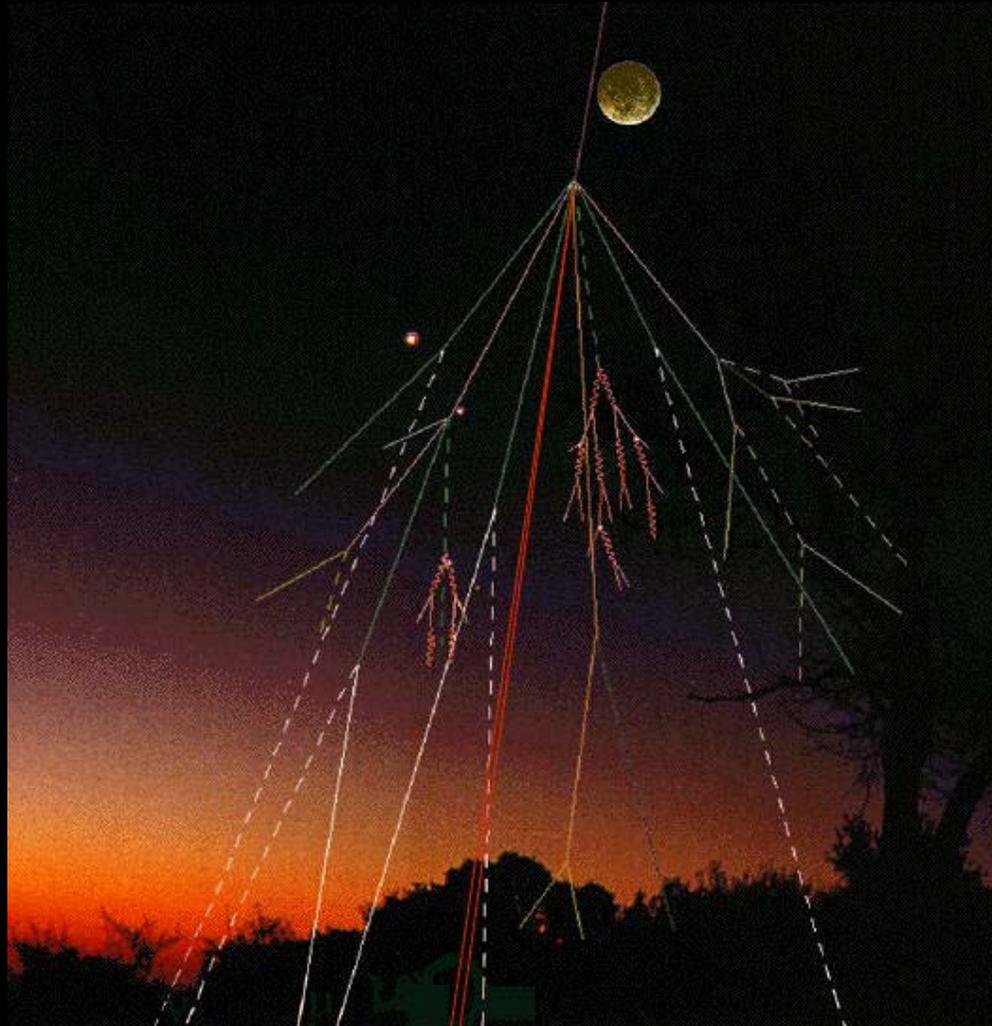
Die ältesten Gesteine auf der Erde findet man in der Canadian Shield Gegend, die ca. 3.8 bis 3.96 Milliarden Jahre alt sind.

# Canadian Shield Area View





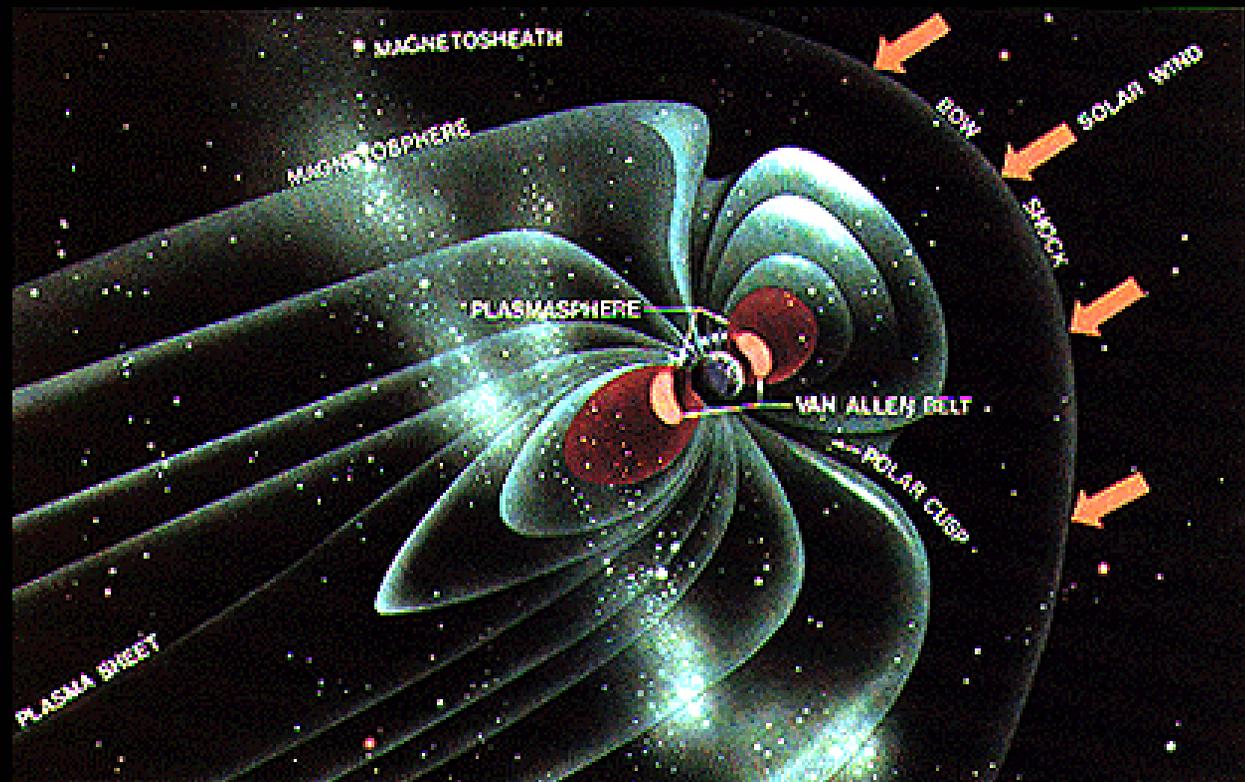
# Kosmische Quellen radioaktiver Strahlung



Was ist  
kosmische  
Strahlung und  
wo kommt sie  
her?

Kosmische Strahlung sind hoch energetische Teilchen: Protonen, He-Kerne, Elektronen, Myonen, Neutronen. Sie kommen von der Sonne oder von Supernova-Explosionen

Die meiste kosmische Strahlung wird durch unser Erdmagnetfeld abgeschirmt.



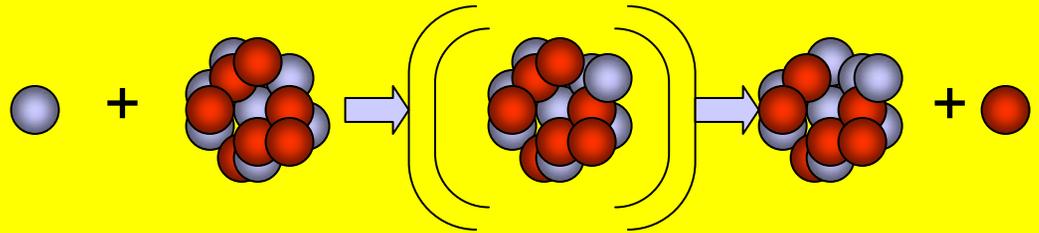
# Halbwertszeiten $T_{1/2}$ kosmisch erzeugter Isotope

Isotop	Zerfalls-art	Folge-produkt	Halbwerts-zeit
$^{14}\text{C}$	Beta-	$^{14}\text{N}$	5730a
$^3\text{H}$	Beta-	$^3\text{He}$	12,23a
$^7\text{Be}$	K-Einf.	$^7\text{Li}$	53,4d
$^{10}\text{Be}$	Beta-	$^{10}\text{B}$	$1,6 \times 10^6\text{a}$

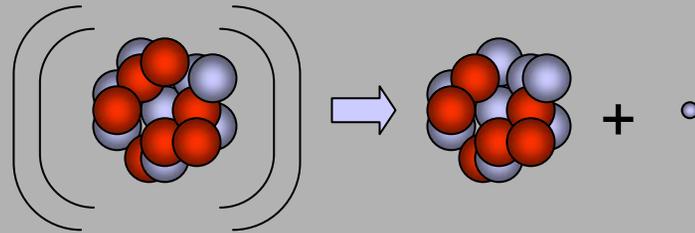
Kosmisch erzeugte Isotope werden immer wieder neu produziert und dann in Gesteinen oder in Organismen eingebaut. Die bekannteste Kernreaktion ist die von Stickstoff mit Neutronen zur Produktion von  $^{14}\text{C}$ .

# Produktion von $^{14}\text{C}$

Reaktion von Neutronen mit  
Stickstoff-14 -Kernen:

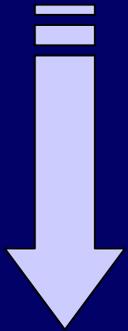


$^{14}\text{C}$  ist ein Elektronen-Emitter. Mit einer Halbwertszeit von 5730 Jahren zerfällt  $^{14}\text{C}$  wieder zurück in Stickstoff:

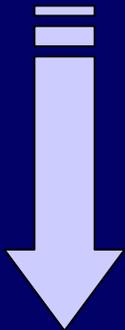


# Zerfall von $^{14}\text{C}$

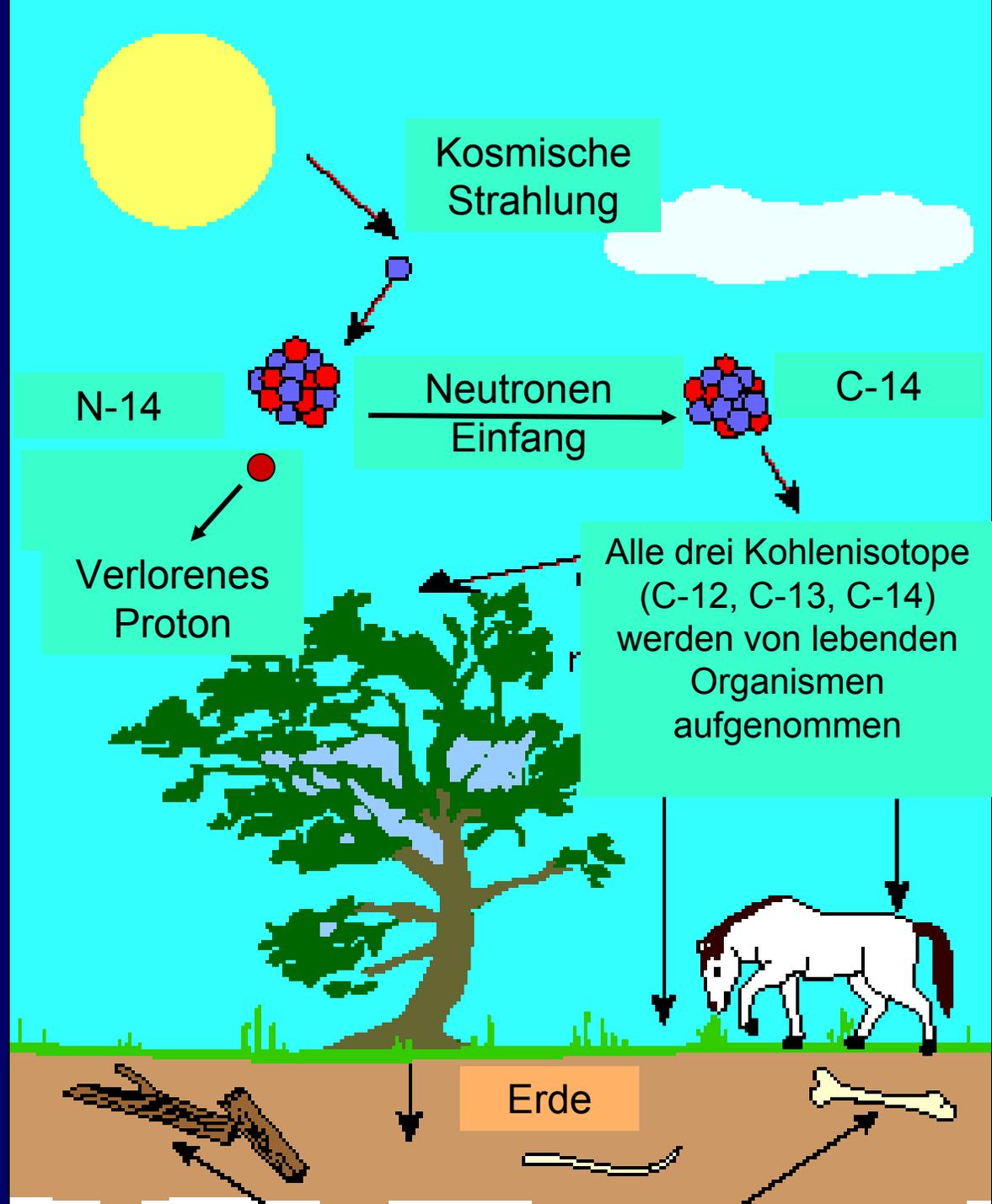
Produktion von C-14



Einbau in lebende Organismen



Zerfall in N-14



$^{14}\text{C}$

## Gleichgewicht in der Natur

In lebendem Material wird ständig  $^{14}\text{C}$  über  $\text{CO}_2$  bzw. über die Nahrungskette aufgenommen.

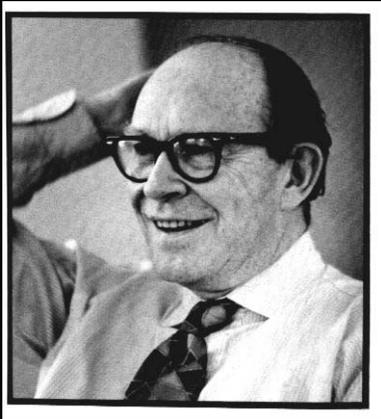
Es kommt damit zu einem mittleren Gleichgewicht für das Verhältnis von

$$^{14}\text{C}/^{12}\text{C} = 1.3 \times 10^{-12}.$$

In einem Gramm Kohlenstoff sind  $6.5 \times 10^{10}$  radioaktive  $^{14}\text{C}$ -Kerne, enthalten.

Zahl der Zerfälle pro Gramm Kohlenstoff ca.

**13.5 Zerfälle/Minute**



Willard Frank  
Libby

Nobelpreis für  
Chemie 1960

1946 führte Willard Frank Libby die  $^{14}\text{C}$  – Methode zur Altersbestimmung von Fossilien ein.



Die  $^{14}\text{C}$  – Methode wird üblicherweise und nicht ganz korrekt auch **C14-Methode** genannt.

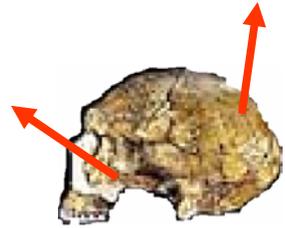
# Kohlenstoff-datierung

Nach Tod und Verwesung wird kein Kohlenstoff mehr ausgetauscht. Damit nimmt die Zahl der Zerfälle stetig ab.

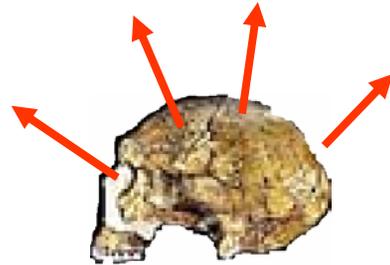
Die Zahl der Zerfälle pro Minute sagt uns wie alt ein Knochen ist.



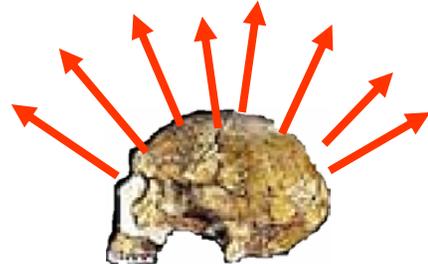
2000 AC



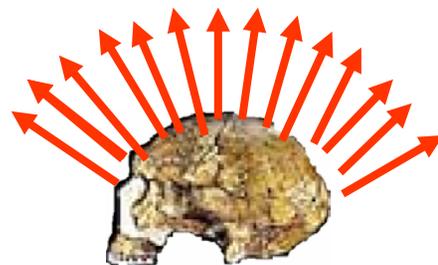
3730 BC



9460 BC



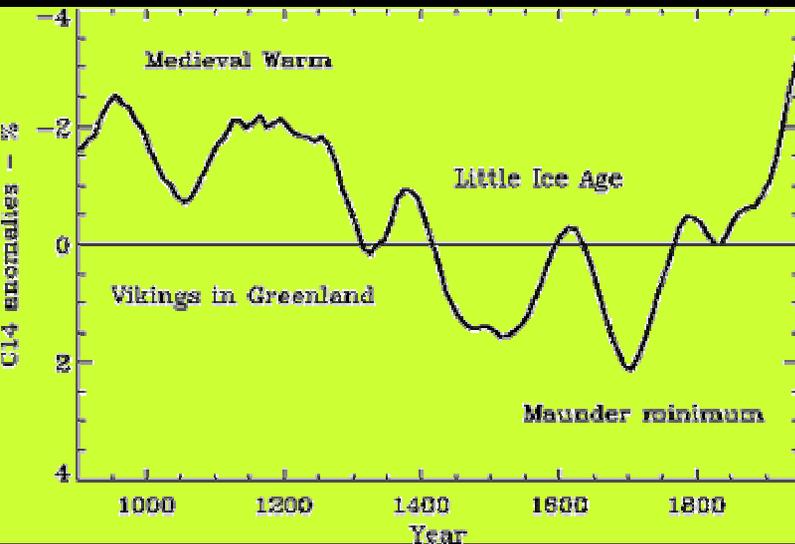
15190 BC



20920 BC

# C14 Schwankung

C14 Produktionsrate variiert mit der Zeit wegen zeitlicher Schwankungen der kosmischen Strahlung. Die kosmische Strahlung hängt stark von der Zahl der Supernovae Explosionen ab, vom Sonnenwind und von der Abschirmung durch das Erdmagnetfeld. Außerdem haben Atomexplosionen Einfluss auf die C14 Konzentration in der Atmosphäre.



Daher reicht die C14 Methode zur Altersbestimmung alleine nicht aus und muss durch geologische und geomagnetische Daten ergänzt werden.

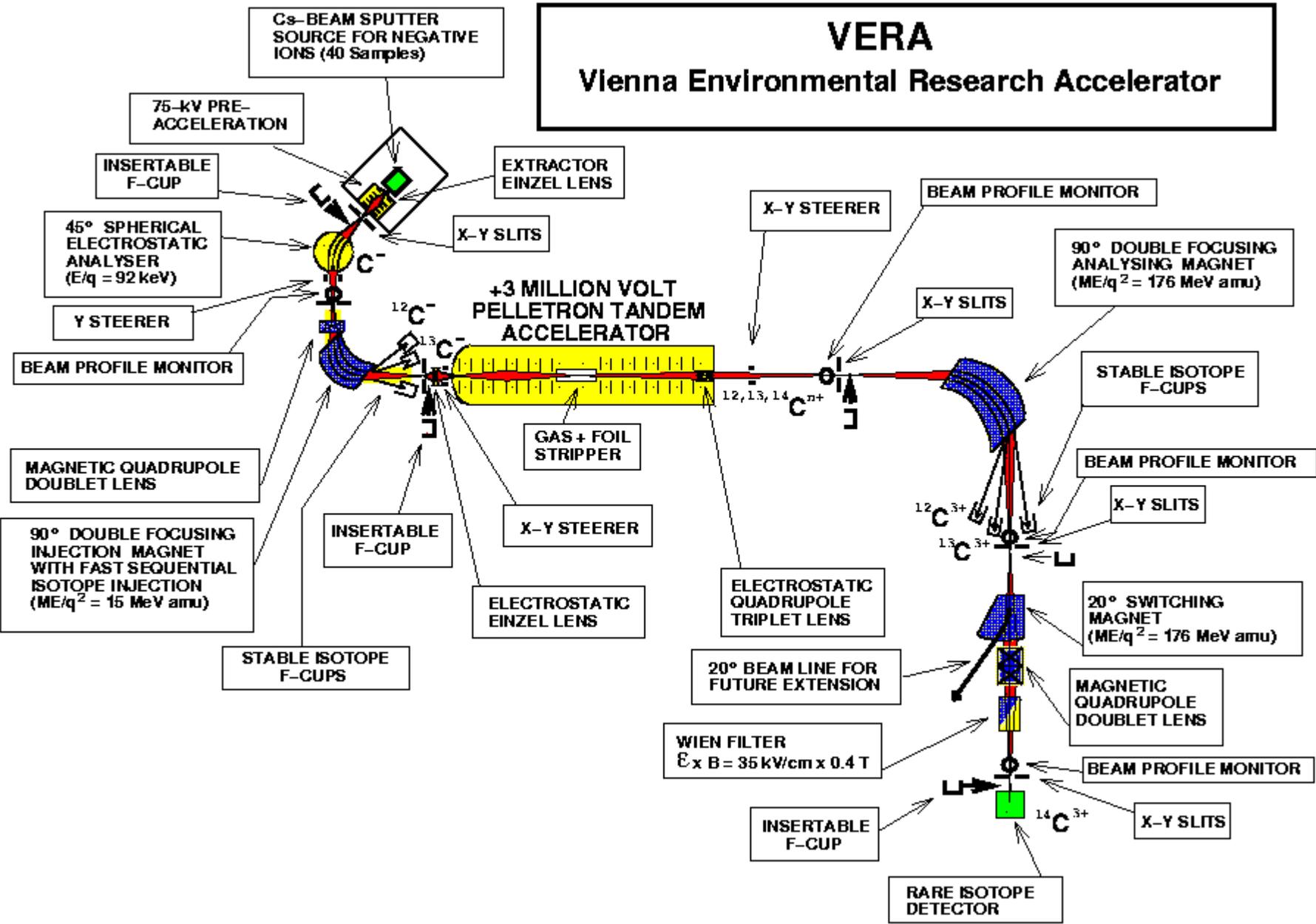
Die C14 Methode ist am besten auf Fossilien anwendbar, die zwischen 500 und 50000 Jahren alt sind.

Bei alten Proben ist die  $\beta$ -Aktivität sehr gering. Man muss sehr lange zählen um eine hinreichende statistische Genauigkeit von ca. 1% zu erzielen.

Anstatt den  $\beta$ -Zerfall zu zählen, kann man mit höherer Genauigkeit und wesentlich schneller das  $^{14}\text{C}/^{12}\text{C}$  Verhältnis mit einem Massenspektrometer bestimmen. Dies gilt insbesondere für sehr alte und sehr kleine Proben.

Um z.B. eine 30000 Jahre alte Probe mit einem 1g Kohlenstoff auf 1% Genauigkeit zu datieren, muss man 500 Stunden zählen. Im Gegensatz dazu kann man mit dem Massenspektrometer 1 mg Probe innerhalb von nur einer Stunde mit der gleichen Genauigkeit bestimmen.

# VERA Vienna Environmental Research Accelerator



# Zusammenfassung

C14 wird aus N14 durch Neutroneneinfang gewonnen

C14 wird in den lebenden Körper mit einer konstanten Häufigkeit eingebaut

C14 hat eine Halbwertszeit von 5730 Jahren

Mit der C14 Methode kann man das Alter von Fossilien zwischen 500 und 50000 Jahren bestimmen

Anstatt die  $\beta$ -Zählrate zu messen, kann man schneller und mit höherer Genauigkeit das C14/C13/C12 Verhältnis mit einem Massenspektrometer bestimmen und daraus das Alter bestimmen



**Viel Erfolg  
für die  
Zukunft...**

