

**16/17.03.2020**

- 1) Halbwertszeit und Zerfallsreihen
  - a. Lies dir die Seiten 238/239 durch (siehe unten).
  - b. Bearbeite Aufgabe 1-5.
  
- 2) Die Aktivität
  - a. Lies dir Seite 240/241 durch (siehe unten).
  - b. Bearbeite Aufgabe 1-6.

**23/26.03.2020**

- 1) Kernspaltung
  - a. Lies dir die Seiten 246/247 durch (siehe unten).
  - b. Bearbeite Aufgabe 1-5.
  
- 2) Die Kettenreaktion
  - a. Recherchiere, was man unter einer Kettenreaktion versteht.
  - b. Erkläre, was man unter der kritischen Masse von U-235 versteht.

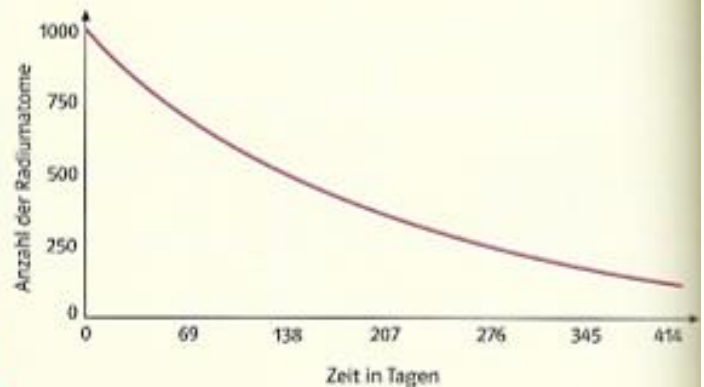
**31.03. / 2.04.2020**

- 1) Das Kernkraftwerk
  - a. Zeichne den Aufbau eines Kernkraftwerkes.
  - b. Nenne die wichtigsten Bauteile im Reaktorgebäude und erkläre ihre Funktion.

Die Aufgaben werden in der Stunde nach den Ferien auf Vollständigkeit überprüft und die Lösungen werden besprochen.



1 Mit der C-14-Methode kann das Alter von mumifizierten Tieren bestimmt werden.



2 Zerfallskurve von Polonium-210

## ⊙ Halbwertszeit und Zerfallsreihen

### Von der Hälfte die Hälfte

Im Jahr 1898 entdeckte die Physikerin MARIE CURIE (1867 – 1934) zusammen mit ihrem Ehemann PIERRE CURIE (1859 – 1906) das radioaktive Element Polonium. Das Isotop Polonium-210 kommt in der Natur am häufigsten vor. Bei der Untersuchung dieses Isotops stellten die CURIES fest, dass nach 138 Tagen die Hälfte des Poloniums zerfallen war.

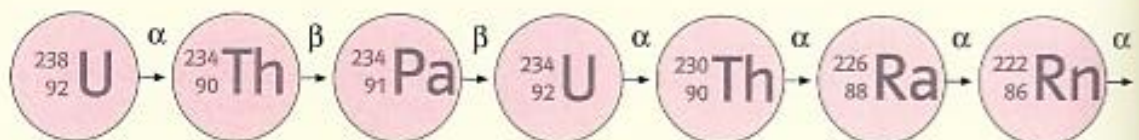
Man könnte annehmen, dass nach weiteren 138 Tagen dieses Poloniumisotop vollständig zerfallen wäre. Jedoch: Nach jeweils 138 Tagen zerfällt nur die Hälfte des vorhandenen Poloniumisotops. Das bedeutet, dass nach 138 Tagen noch die Hälfte der ursprünglichen Poloniummenge vorhanden ist. Nach 276 Tagen (2 · 138 Tage) ist noch ein Viertel dieses Poloniumisotops vorhanden, usw. (> B 2).

Aus diesen Messungen wurde eine Gesetzmäßigkeit abgeleitet: In gleichen Zeitspannen zerfällt die Hälfte der Atomkerne eines radioaktiven Elements. Eine solche Zeitspanne nennt man **Halbwertszeit**. Sie ist für verschiedene Elemente und für deren Isotope unterschiedlich lang (> B 5).

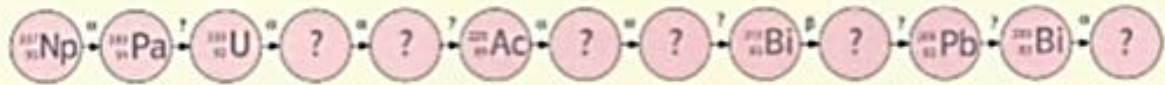
### Altersbestimmung mit Radioaktivität

Lebewesen nehmen über Luft und Nahrung ständig radioaktiven Kohlenstoff C-14 auf. Nach dem Tod wird kein Kohlenstoff mehr aufgenommen. Ab diesem Zeitpunkt verringert sich durch radioaktiven Zerfall die Anzahl der C-14 Atome. Die Halbwertszeit beträgt 5 730 Jahre. Das bedeutet: nach 5 730 Jahren ist nur noch die Hälfte der C-14 Atome vorhanden.

Mithilfe der **C-14-Untersuchung** kann das Alter von organischen Substanzen



3 Zerfallsreihe U-238



## 4 Zu Aufgabe 3

bestimmt werden. 1991 fanden Bergwanderer in den Alpen eine Mumie ( $\approx$  B 1). Aus der Menge des verbliebenen C-14 in seinem Körper konnte sein Todeszeitpunkt bestimmt werden. Sein Alter beträgt demnach etwa 5 300 Jahre.

## Zerfallsreihen

Wenn ein radioaktives Element zerfällt, dann entstehen meist ein neues radioaktives Element. Dieses zerfällt erneut, usw. Man erhält eine **Zerfallsreihe**. An ihrem Ende entsteht ein Element, das nicht mehr radioaktiv ist.

Bild 2 zeigt die Zerfallsreihe für das Uran-Isotop  $^{238}_{92}\text{U}$ . Ein Urankern sendet ein  $\alpha$ -Teilchen aus. Es entsteht Thorium  $^{234}_{90}\text{Th}$ . Thorium ist ein  $\beta$ -Strahler. Dabei wandelt sich ein Neutron in ein Proton und ein Elektron um. Aus Thorium entsteht so Protactinium  $^{234}_{91}\text{Pa}$ . Der Zerfall setzt sich fort. Am Ende der Reihe steht Blei  $^{206}_{82}\text{Pb}$ . Dieses Isotop ist nicht radioaktiv. So nehmen im Laufe von Milliarden von Jahren die Uranvorräte der Erde ab und die Bleivorräte zu. Man kennt vier Zerfallsreihen: Th-232, U-235, U-238 und Np-237. Die Np-237-Zerfallsreihe endet als einzige nicht bei Blei, sondern bei Thallium (Tl-205).

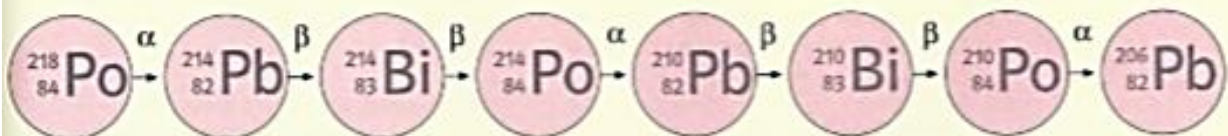
Die Zeitspanne, in der jeweils die Hälfte der Atomkerne eines radioaktiven Elements zerfällt, nennt man **Halbwertszeit**.

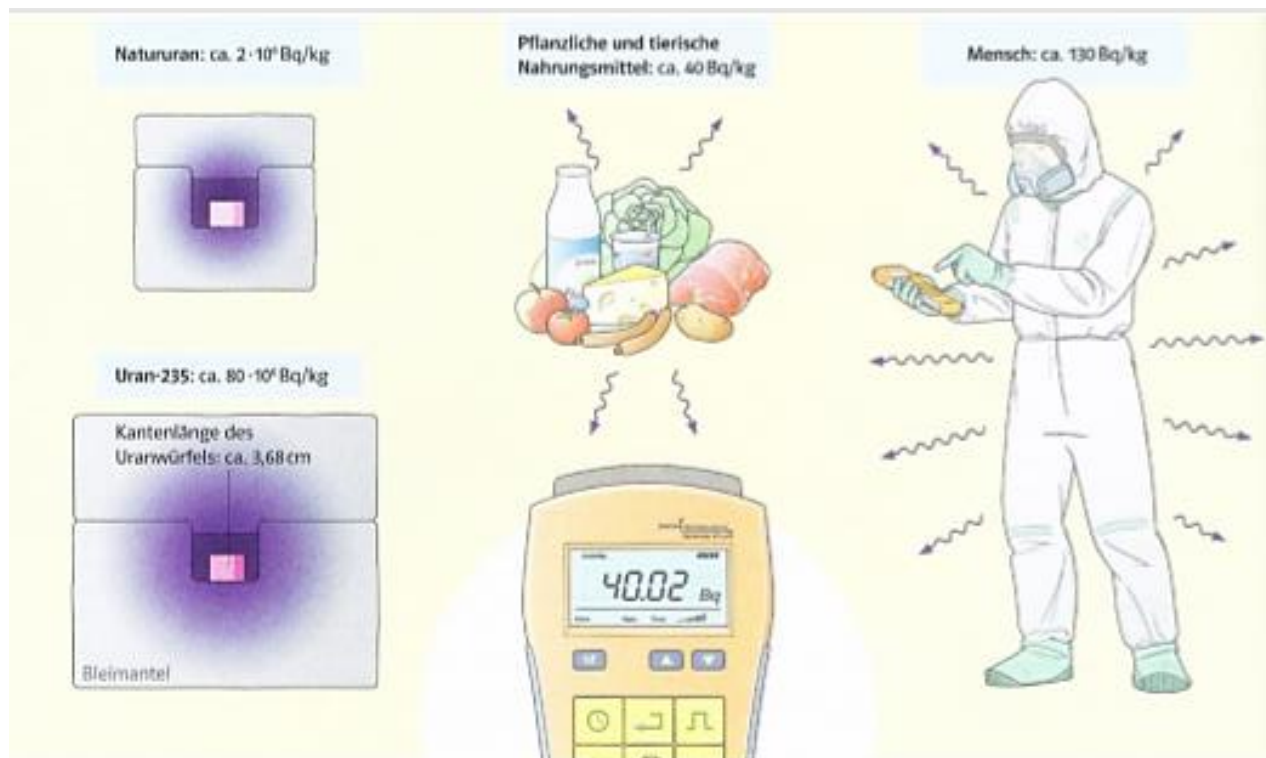
Radioaktives Element	Halbwertszeit
Polonium-214	$1,64 \cdot 10^{-4}$ Sekunden
Bismut-214	19,9 Minuten
Radon-222	3,824 Tage
Radium-226	$1,6 \cdot 10^3$ Jahre
Plutonium-239	$2,411 \cdot 10^4$ Jahre
Uran-235	$7,038 \cdot 10^8$ Jahre
Uran-238	$4,468 \cdot 10^9$ Jahre
Thorium-232	$1,405 \cdot 10^{10}$ Jahre

## 5 Halbwertszeiten

## AUFGABEN

- 1  Beschreibe, welche Information die Halbwertszeit über ein radioaktives Element gibt.
- 2  Ermittle aus Bild 3 die Anzahl der Radiumkerne nach 1600, 3 200, 4 800 Jahren. Notiere dies in einer Tabelle.
- 3  Zeichne die Zerfallsreihe aus Bild 4 ab. Vervollständige die Lücken und beschreibe die einzelnen Zerfälle.
- 4  Erkläre die C-14-Methode.
- 5  Polonium-210 hat eine Halbwertszeit von 138 Tagen.
  - a) Formuliere die zwei Vermutungen, die sich daraus entwickeln lassen.
  - b) Beschreibe und begründe, welche Vermutung sich bewahrt hat.





1 Durchschnittliche spezifische Aktivität

## Die Aktivität

### Aktivität

Verschiedene radioaktive Strahlungsquellen geben unterschiedlich viel Strahlung ab. Um die Strahlung vergleichen zu können, hat man die Größe **Aktivität** festgelegt. Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne in einer bestimmten Zeit zerfallen. Sie wird berechnet als der Quotient aus der Anzahl der Kernumwandlungen und der gemessenen Zeit.

Zu Ehren des französischen Physikers HENRI BECQUEREL (1852 - 1908) ist die Einheit der Aktivität Becquerel (Bq). 1 Becquerel bedeutet einen Kernzerfall in einer Sekunde. Als Formelzeichen für die Aktivität wird  $A$  verwendet.

### Spezifische Aktivität

Damit du beurteilen kannst, wie gefährlich ein radioaktiver Stoff ist, musst du

neben seiner Aktivität auch seine Masse berücksichtigen. Es ist ein Unterschied, ob ein Tanklastwagen oder eine Tasse eine Aktivität von 500 Bq aufweist.

Die **spezifische Aktivität** ist der Quotient aus der Aktivität eines radioaktiven Stoffes und seiner Masse. Sie erhält das Formelzeichen  $a$  und die Einheit 1 Becquerel pro Kilogramm (1 Bq/kg).

### Strahlende Lebensmittel

Pflanzen nehmen über Wurzeln und Blätter Wasser, Luft und Nährstoffe auf. So gelangen auch radioaktive Substanzen in die Pflanzen.

Über die Nahrung werden diese Stoffe dann von Menschen und Tieren aufgenommen ( $\gg$  B 2). Auch der Mensch strahlt. Von besonderer Bedeutung ist die

„Weide-Kuh-Mensch-Kette“. Die Kuh nimmt beim Fressen von Gras radioaktives Jod-131 auf.

Dieses Iod-131 gelangt über die Milch in den menschlichen Körper. Da Kleinkinder relativ viel Milch trinken, sind sie besonders gefährdet. Sie haben daher einen besonders hohen Iod-131-Gehalt in ihrem Körper. Das Iod lagert sich in der Schilddrüse ab. Störungen in der Hormonbildung können die Folge sein. Deutsches Mineralwasser darf eine spezifische Aktivität bis 0,6 Bq/kg aufweisen. Je nachdem, wie hoch der Urananteil des Gesteins ist, kann das Mineralwasser über die Zerfallsreihe des Uran mit Ra-226 belastet sein.

Die Aktivität gibt an, wie viele Kerne in einer bestimmten Zeit umgewandelt werden.

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Kernumwandlungen}}{\text{Zeit}}$$

Formelzeichen:  $A$

Einheit: Becquerel (1 Bq)

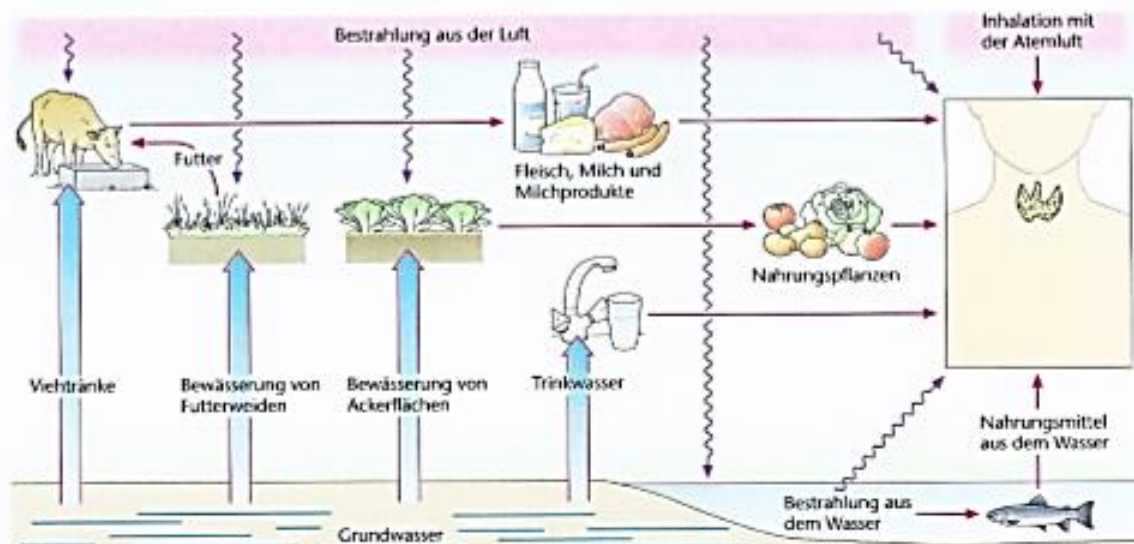
$$\text{Spezifische Aktivität} = \frac{\text{Aktivität}}{\text{Masse}}$$

Formelzeichen:  $a$

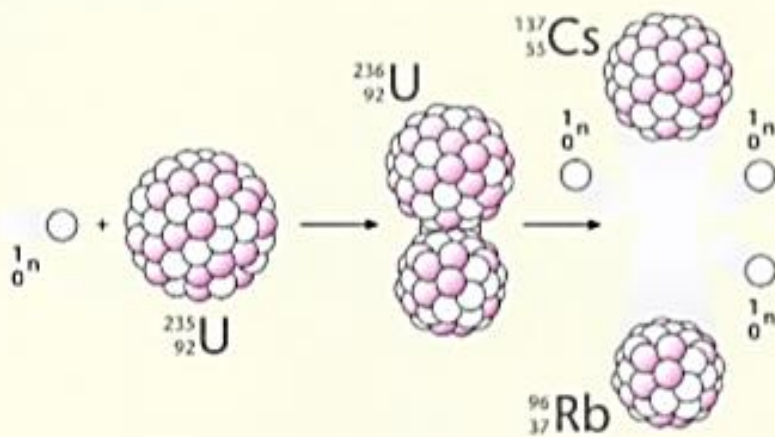
Einheit: Bq/kg

### AUFGABEN

- Gib in einer Tabelle Formelzeichen und Einheit der Aktivität und der spezifischen Aktivität an.
- Beschreibe den Unterschied zwischen der Aktivität und der spezifischen Aktivität.
- Eine radioaktive Substanz hat eine Aktivität von 3000 Bq. Berechne die Kernumwandlungen, die in zwei Minuten stattfinden.
- Ein Cäsium-137-Präparat hat die Aktivität  $A = 4\,000\,000$  Bq. Berechne die spezifische Aktivität, wenn 10 g dieses Präparat in einer Tonne Wasser gelöst wird.
- In Wildfleisch werden 2000 Bq nachgewiesen. Bewerte diese Aussage.
- Ein radioaktives Präparat hat die spezifische Aktivität  $a = 16\,000$  Bq/kg. 8 g dieses Stoffes werden in 10 kg Wasser gelöst. Berechne die spezifische Aktivität des Wassers.



2 So gelangen radioaktive Substanzen in den menschlichen Körper.



1 Spaltung von U-235 in Caesium und Rubidium



2 Spaltmöglichkeiten von U-235

## Die Kernspaltung

Nachdem 1932 der Engländer JAMES CHADWICK (1891–1974) das Neutron entdeckte, erkannte der italienische Physiker ENRICO FERMI (1901–1954) bald den Nutzen der Neutronen zum Beschuss von Atomkernen. Da Neutronen elektrisch neutral sind, dringen sie leicht in Atomkerne ein.  $\alpha$ -Teilchen dagegen werden wegen ihrer zweifach positiven Ladung vom ebenfalls positiv geladenen Atomkern abgestoßen. Sie sind deshalb als Beschussmaterial weniger geeignet.

Wissenschaftler begannen, Elemente, z. B. Uran, mit Neutronen zu beschießen. Bei einem solchen Beschuss kann es zu Kernumwandlungen kommen (► B 4). Ein vom Urankern eingefangenes Neutron kann sich im Kern z. B. in ein Proton und ein Elektron umwandeln. Das Elektron verlässt den Kern. Es entsteht ein neues Element mit 93 Protonen, das schwerer ist als Uran. Es hat den Namen Neptunium.

Alle Elemente, deren Protonenzahl größer ist als 92, werden als Transurane bezeichnet (► B 3).

### Die Kernspaltung

Die deutschen Wissenschaftler OTTO HAHN (1879–1968), LISE MEITNER (1878–1968) und FRITZ STRASSMANN (1902–1980) beschossen Urankerne mit Neutronen. Sie vermuteten, dass dadurch schwerere Atome entstehen müssten.

Zu ihrem großen Erstaunen fanden sie jedoch Elemente, deren Kerne leichter waren. Sie konnten Barium nachweisen. Barium hat nur 56 Protonen, ist also wesentlich leichter als Uran.

Kurze Zeit später fanden HAHN und STRASSMANN auch das zweite Bruchstück: Krypton, ein Gas. Der Urankern (92 Protonen) war in einen Bariumkern (56 Protonen) und einen Kryptonkern (36 Protonen) gespalten worden.

Durch genauere Untersuchungen fanden die Wissenschaftler heraus, dass sie nur die Kerne des Uranisotops U-235 spalten konnten.

#### Spaltprodukte

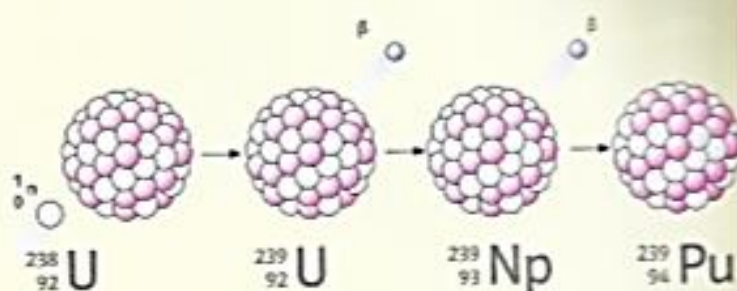
Wird U-235 mit Neutronen beschossen, können verschiedene Spaltprodukte und zwei oder drei Neutronen entstehen ( $\rightarrow$  B 1; B 2). Gleichzeitig wird eine große Menge an Energie frei, und zwar in Form von Bewegungsenergie der Spaltprodukte und der Neutronen sowie in Form der  $\gamma$ -Strahlung.

Auf die Geschwindigkeit kommt es an. Uranisotope lassen sich mit Neutronen besonders leicht spalten. Allerdings eignen sich dazu nicht alle Neutronen gleich gut. Es kommt auf ihre Geschwindigkeit an.

Uran	U	92
Neptunium	Np	93*
Plutonium	Pu	94
Americium	Am	95*
Curium	Cm	96*
Berkelium	Bk	97*
Californium	Cf	98*
Einsteinium	Es	99*
Fermium	Fm	100*
Mendelevium	Md	101*
Nobelium	No	102*
Lawrencium	Lr	103*
Rutherfordium	Rf	104*
Dubnium	Db	105*
Seaborgium	Sg	106*
Bohrium	Bh	107*
Hassium	Hs	108*
Meitnerium	Mt	109*

\* Elemente, die ausschließlich künstlich erzeugt worden sind

#### 3 Uran und einige Transurane



#### 4 Kernumwandlungen

Zur Spaltung von U-235 sind langsame Neutronen besonders gut geeignet. U-238 lässt sich hingegen nur mit schnellen Neutronen spalten.

#### Energiebilanz

Bei der Spaltung von Urankernen wird mehr Energie frei als zum Beschuss mit Neutronen aufgewendet werden muss. Die frei werdenden Neutronen können weitere Urankerne spalten. Auf diese Weise werden große Energiemengen frei.

Bei der Kernspaltung wird der Atomkern mit Neutronen beschossen. Es entstehen zwei neue Kerne. Neutronen und Energie werden frei.

#### AUFGABEN

- 1  Beschreibe den Ablauf der Kernspaltung von U-235.
- 2  Erkläre, was die Schreibweise  $^1_0n$  bedeutet.
- 3  Beschreibe drei Möglichkeiten der Spaltung von U-235 ( $\rightarrow$  B 2).
- 4  Wenn U-235 in Krypton (Kr) und Barium (Ba) gespalten wird, können zwei oder drei Neutronen frei werden. Erkläre dies mit Bild 2.
- 5  a) Recherchiere die Geschwindigkeiten langsamer und schneller Neutronen und gib diese in der Einheit km/h an.  
b) Vergleiche die Geschwindigkeiten mit der Geschwindigkeit von Flugzeugen. Recherchiere, wenn nötig.