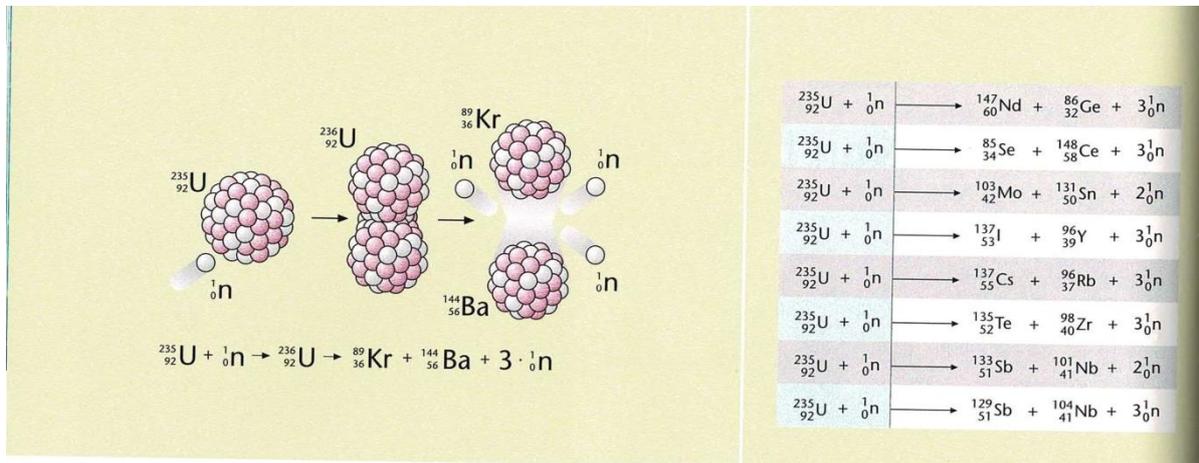


Hier die neuen Aufgaben für die ersten 2 Wochen nach den Osterferien.

Lesen den Text der Doppelseite, übernehme die Überschrift und den blauen Text ins Heft und bearbeite dann die Aufgaben 1-2 (Antworten ins Heft) Ergänze zu Aufgabe 1 die Zeichnung 1 von Seite 144



1 Spaltung von U-235 in Cäsium und Rubidium

2 Spaltmöglichkeiten von U-235

Die Kernspaltung

Künstliche Kernumwandlungen

Anfang des 20. Jahrhunderts versuchten Wissenschaftler, Kernumwandlungen künstlich auszulösen. Dazu beschossen sie Atomkerne mit α -Teilchen, Neutronen, Protonen und anderen Teilchen.

Solche Versuche führte auch der italienische Physiker ENRICO FERMI (1901–1954) durch. Er erkannte den besonderen Vorteil von Neutronen zum Beschuss von Atomkernen.

Da Neutronen elektrisch neutral sind, dringen sie leicht in Atomkerne ein. Die α -Teilchen dagegen werden wegen ihrer positiven Ladung vom ebenfalls positiv geladenen Atomkern abgestoßen.

Aus Uran wird Plutonium

Wenn beispielsweise Uran mit Neutronen beschossen wird, dann kann es zu Kernumwandlungen kommen.

Natur-Uran ist ein Isotopengemisch. Es besteht hauptsächlich aus U-238 (ca. 99%) und aus kleinen Anteilen U-235 und U-234. Die Atomkerne des Isotops U-238 können

Neutronen einfangen (\triangleright B4). Dabei verschmelzen beide und es entsteht U-239. Dieses ist jedoch radioaktiv und wandelt sich um in Neptunium Np-239. Das Neptunium-Isotop zerfällt ebenfalls, und es bildet sich Plutonium Pu-239.

Die Atome von Neptunium und Plutonium sind schwerer als Uran, weil sie mehr Protonen enthalten. Elemente, deren Protonenzahl größer ist als 92, werden als Transurane bezeichnet (\triangleright B3).

Die Entdeckung der Kernspaltung

Viele Wissenschaftler versuchten, neue Atomkerne zu erzeugen, so auch die deutschen Physiker OTTO HAHN (1879–1968), LISE MEITNER (1878–1968) und FRITZ STRASSMANN (1902–1980).

Ihre Experimente im Jahr 1938 führten jedoch zu einem anderen Ergebnis.

Sie beschossen Uran mit Neutronen, um dadurch schwerere Atomkerne herzustellen. Zu ihrem großen Erstaunen fanden sie jedoch zwei leichtere Elemente. Die Wissenschaftler erkannten:

Die Kerne des Uranisotops U-235 waren gespalten worden. Der Urankern mit 92 Protonen hatte sich in einen Bariumkern mit 56 Protonen und einen Kryptonkern mit 36 Protonen geteilt (▷ B1).

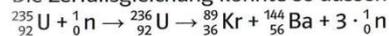
Der Ablauf einer Kernspaltung

Zur Spaltung von U-235 sind langsame Neutronen besonders gut geeignet. Für jede Kernspaltung wird ein Neutron benötigt.

Die Spaltung läuft folgendermaßen ab:

- Ein Neutron trifft auf den U-235-Atomkern.
- Der Kern nimmt das Neutron auf und es bildet sich kurzzeitig U-236.
- Innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde spaltet sich der Kern.
- Er zerplatzt in zwei kleinere Kerne, die mit hoher Geschwindigkeit auseinander fliegen.
- Gleichzeitig werden Neutronen frei (▷ B1). Sie können weitere Urankerne spalten.

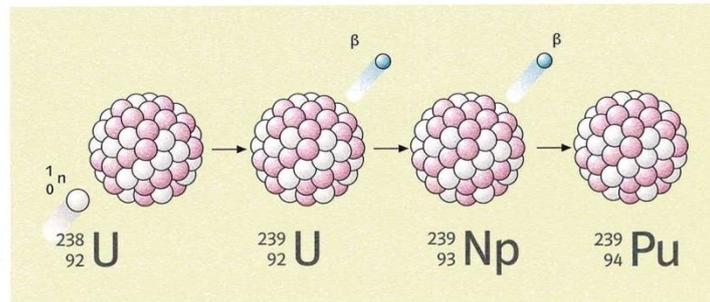
Die Zerfallsgleichung könnte so aussehen:



Bei der Spaltung von U-235 können auch andere Spaltprodukte entstehen (▷ B2). Dabei werden zwei oder drei Neutronen frei.

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*

3 Uran und einige Transurane



4 Kernumwandlungen

Energiebilanz

Bei jeder **Kernspaltung** wird eine große Menge an Energie freigesetzt. Sie tritt auf in Form der Bewegungsenergie der Spaltprodukte und der Neutronen sowie in Form der γ -Strahlung.

Insgesamt wird bei einer Kernspaltung mehr Energie frei, als zum Beschuss mit Neutronen aufgewendet werden muss.

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

AUFGABEN

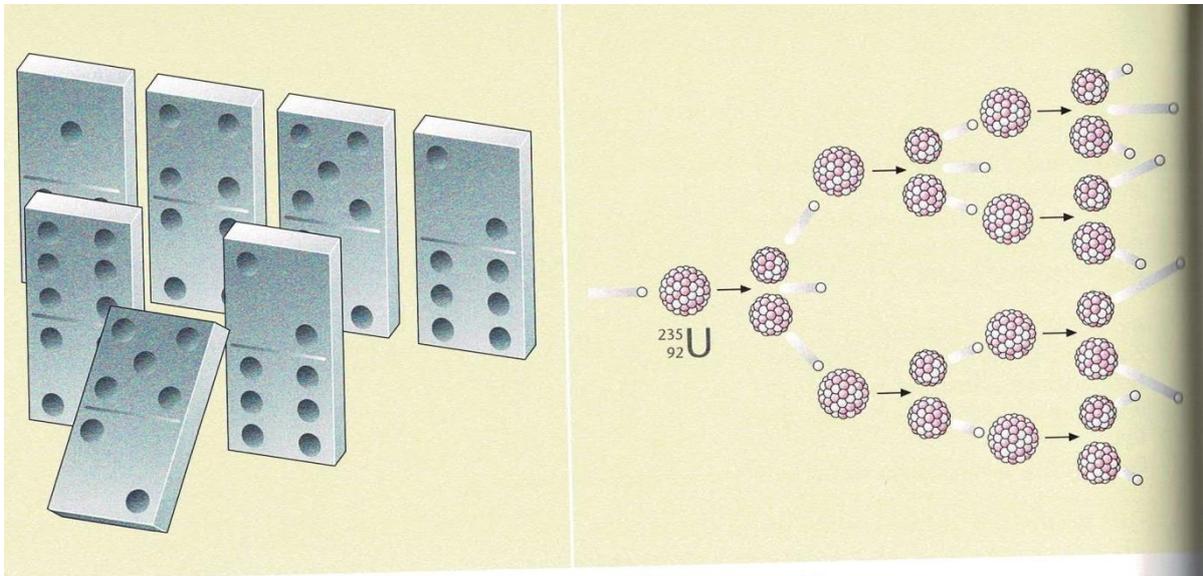
- 1 Beschreibe den Ablauf der Kernspaltung von U-235.
- 2 Gib an, was die Schreibweise ${}_0^1\text{n}$ bedeutet.
- 3 Beschreibe drei Möglichkeiten der Spaltung von U-235. (▷ B2).
- 4 Wenn U-235 in Sb und Nb gespalten wird, können zwei oder drei Neutronen frei werden. Erkläre dies mit Bild 2.
- 5 Informiere dich, mit welcher Geschwindigkeit die Neutronen den Kern nach einer Spaltung verlassen. Vergleiche mit der Geschwindigkeit eines Flugzeugs.
- 6 Beschreibe den Unterschied zwischen natürlichen und künstlichen Kernumwandlungen.

Führe den Versuch zu Kernspaltung in der Simulation durch

<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/nuclear-fission>

Ergänze dein Wissen: <https://www.youtube.com/watch?v=rt4eWIPpnnC>

Lesen Sie den Text der Doppelseite, übernehmen Sie die Überschrift und den blauen Text ins Heft und bearbeiten dann die Aufgaben 1-6 (Antworten ins Heft)



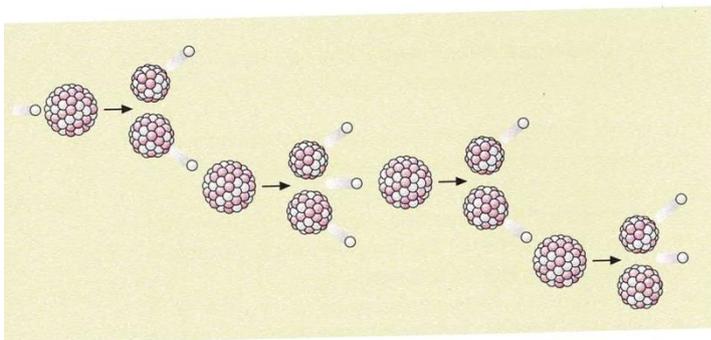
1 Dominosteinmodell

2 Unkontrollierte Kettenreaktion

Die Kettenreaktion

Wenn im Bild 1 der erste Dominostein kippt, fallen gleich zwei weitere um, dann vier, dann acht usw. Eine **Kettenreaktion** ist in Gang gekommen. Dieses Domino-Modell übertragen wir nun auf die Kernspaltung. Ein langsames Neutron spaltet einen U-235-Kern in zwei neue Kerne. Dabei werden zwei oder drei Neutronen frei. Jedes Neutron kann einen weiteren Urankern spalten (\triangleright B2). Bei jeder weiteren Spaltung werden immer mehr Neutronen frei. Die Zahl der Spaltungen wächst deshalb

sehr schnell an. Es ist eine Kettenreaktion in Gang gekommen. Wenn dieser Prozess einmal begonnen hat, kann man ihn nicht mehr aufhalten. Solche **unkontrollierte Kettenreaktionen** laufen in Kernwaffen ab. Dabei werden riesige Energiemengen frei. In einem Kernkraftwerk läuft eine **kontrollierte Kettenreaktion** ab (\triangleright B3). Dazu wird die Anzahl der Neutronen begrenzt, die weitere Spaltungen auslösen können. So wird sichergestellt, dass die Zahl der Kernspaltungen gleich bleibt. Sie kann so nicht unkontrolliert ansteigen.



3 Kontrollierte Kettenreaktion

Kritische Masse

Damit eine Kettenreaktion zustande kommt, muss ein Uranblock genügend Masse besitzen. Die Mindestmasse, ab der eine Kettenreaktion zustande kommt, heißt **kritische Masse**. Sie beträgt bei U-235 ungefähr 50 kg. Das entspricht einer Kugel mit einem Durchmesser von etwa 17 cm. Ist zu wenig Masse vorhanden, verlassen Neutronen das Material durch die Oberfläche. Sie verursachen somit keine weiteren Spaltungen.

Frei gesetzte Energie

Bei der Spaltung von 1 kg Uran-235 wird eine Energie von etwa 23 000 000 kWh freigesetzt. Das entspricht etwa der Energie, die bei der Verbrennung von 2 600 t Steinkohle, 6 400 t Holz oder 2 200 000 l Heizöl frei wird (▷ B 4). Mit dieser Energiemenge könnte man 1 000 Einfamilienhäuser ein Jahr lang beheizen.

Keine Kettenreaktion im Natur-Uran

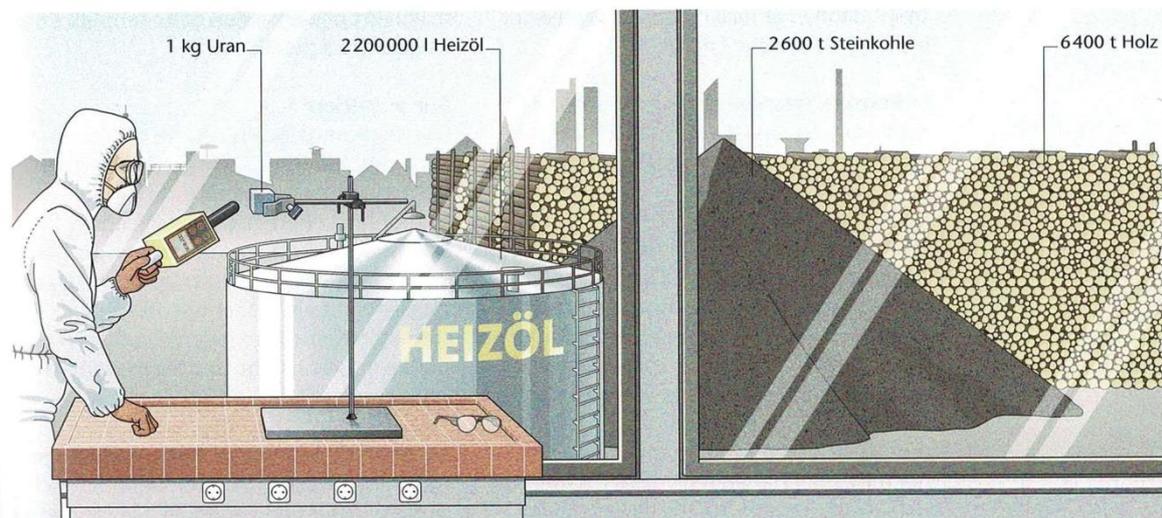
Im natürlichen Uran kommt es nicht zu einer Kettenreaktion. Das hat mehrere Gründe:

- Für die erste Spaltung muss ein Neutron vorhanden sein. Es kann der Höhenstrahlung oder dem Spontanzfall eines Urankerns entstammen. Der Spontanzfall von Urankernen ist sehr selten.
- Das Neutron muss die richtige Geschwindigkeit haben, um einen U-235-Kern spalten zu können. Meistens sind die Neutronen viel zu schnell.
- U-238-Kerne können freie Neutronen einfangen.
- Natur-Uran enthält nur äußerst wenig spaltbares U-235. Deshalb ist die Wahrscheinlichkeit sehr gering, dass ein Neutron auf einen U-235-Kern trifft.

Neutronen, die bei der Spaltung frei werden, können weitere Urankerne spalten. Es entsteht eine unkontrollierte Kettenreaktion. Man kann eine Kettenreaktion kontrollieren, indem man einen Teil der Neutronen einfängt.

AUFGABEN

- 1 Gib mit eigenen Worten wieder, was man unter einer „Kettenreaktion“ versteht.
- 2 Erkläre, was man unter der kritischen Masse von U-235 versteht.
- 3 Gib an, wie viel Öl (Dichte rund $0,97 \text{ g/cm}^3$), Steinkohle oder Holz im Vergleich zu Uran bei der Energiegewinnung benötigt werden (▷ B 4).
- 4 Beschreibe Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen unkontrollierter und kontrollierter Kettenreaktion.
- 5 Beschreibe die Kettenreaktion bei U-235.
- 6 Begründe, welchen Vorteil es hat, wenn U-Boote mit Kernreaktoren betrieben werden.



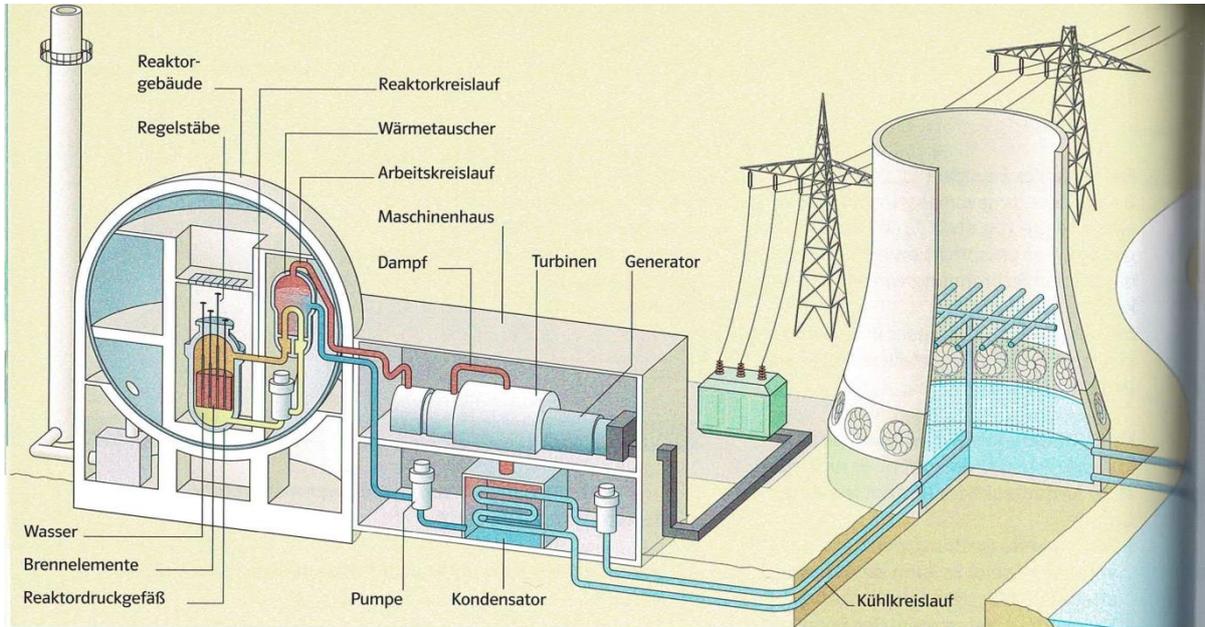
4 Um auf die Energie zu kommen, die bei der Spaltung von 1 kg U-235 frei wird, benötigt man große Mengen konventioneller Brennstoffe.

Führe den Versuch zu Kettenreaktion in der Simulation durch
<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/nuclear-fission>

Ergänze dein Wissen: <https://www.youtube.com/watch?v=dzvg2ltq6j8> bis 3min 33 sec

Schau dir das Video <https://www.youtube.com/watch?v=SfjnRenEJz0> zur Funktionsweise eines Kernkraftwerkes an.

Lese den Text der Doppelseite, übernehme die Überschrift und den blauen Text ins Heft und bearbeite dann die Aufgaben 1-6 (Antworten ins Heft)



1 Aufbau eines Kernkraftwerks

Das Kernkraftwerk

In konventionellen Wärmekraftwerken wird Kohle, Öl oder Gas verbrannt. Dadurch entsteht thermische Energie, mit der Wasser verdampft wird. Der Wasserdampf treibt dann eine Turbine an. Ein Generator erzeugt elektrische Energie.

In **Kernkraftwerken** entsteht die Wärme zum Erhitzen des Wassers durch Kernspaltung. Das geschieht im Reaktorgebäude.

Im Kernkraftwerk

Im Reaktorgebäude befindet sich das **Reaktordruckgefäß**. Hier findet eine kontrollierte Kettenreaktion statt. Im Reaktordruckgefäß sind die **Brennelemente** mit dem spaltbaren Material, dem **Kernbrennstoff**. Es ist ein Gemisch aus Uranisotopen. Im Kernkraftwerk wird nur U-235 gespalten. Dieses Isotop kommt im Natururan nur in geringen Mengen vor. Der Anteil von U-235 wird deshalb auf 2 bis 4% erhöht. Man sagt, das Uran wird angereichert.

Das Uran befindet sich in Tablettenform in den **Brennstäben**. Diese sind sehr dünn. Viele dieser Brennstäbe sind zu einem Brennelement zusammengefasst. Hunderte von Brennelementen befinden sich im Reaktordruckgefäß.

Gut moderiert

Die bei der Kernspaltung entstehenden Neutronen sind sehr schnell. Für weitere Spaltvorgänge müssen die Neutronen abgebremst werden. Das geschieht in Bremssubstanzen, den **Moderatoren**. Die Brennstäbe sind in Wasser getaucht. Das Wasser wirkt als Moderator. Die abgebremsten Neutronen gelangen dann wieder in Brennstäbe und lösen weitere Spaltvorgänge aus.

Zwischen den Brennelementen sind **Regelstäbe** angebracht. In diesen befinden sich Stoffe wie Bor und Cadmium. Sie fangen Neutronen ein. So kann die Kettenreaktion

gesteuert werden (\triangleright B 2). Sind die Regelstäbe heruntergefahren, kommt die Kettenreaktion zum Stillstand.

Der Wärmetauscher

Durch die Kernspaltung wird viel Energie freigesetzt. Das Wasser im Reaktor erhitzt sich auf über 300°C . Hoher Druck im Druckbehälter verhindert das Sieden des Wassers. Dieses heiße Wasser wird in den Wärmetauscher geleitet. Dort wird es abgekühlt und fließt dann wieder in den Druckbehälter zurück.

Das heiße Wasser des Arbeitskreislaufs wird im Wärmetauscher abgekühlt. Dabei gibt es seine Energie an das Wasser des Kühlkreislaufs ab. Dort entsteht Wasserdampf.

Das Wasser im Reaktor ist radioaktiv und darf nicht nach außen gelangen. Deshalb gibt es die beiden getrennten Wasserkreisläufe: den Arbeitskreislauf und den Kühlkreislauf (\triangleright B 1).

Energieumwandlung

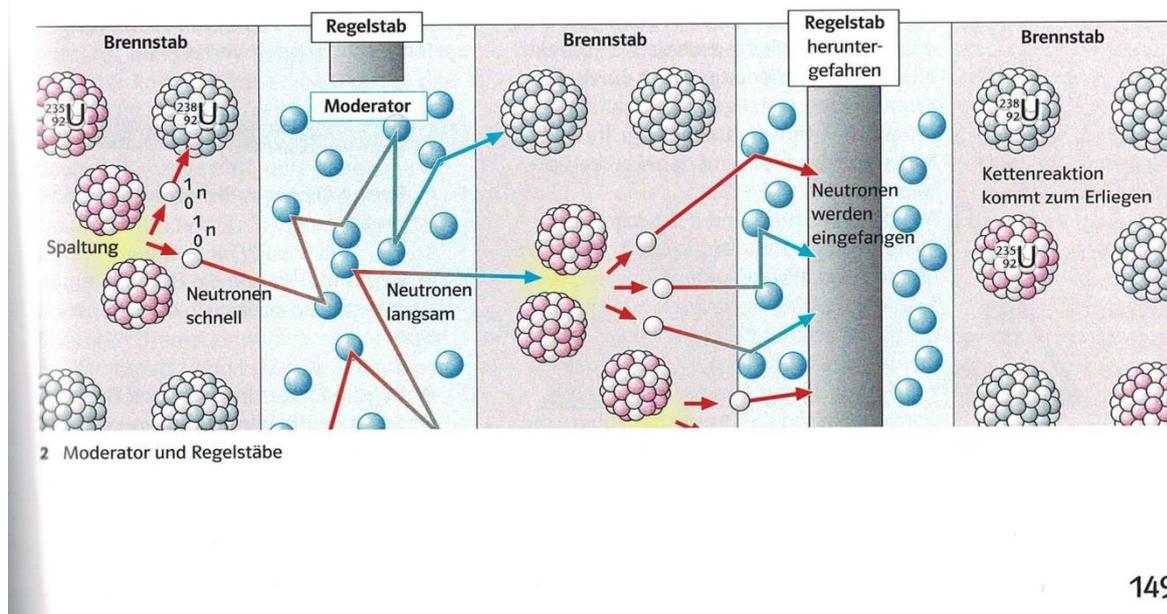
Der Dampf treibt eine Turbine an, die mit einem Generator gekoppelt ist. Dieser Generator wandelt die mechanische Energie der Turbine in elektrische Energie um.

Nachdem der Dampf seine Arbeit verrichtet hat, wird er an wassergekühlten Rohren vorbeigeleitet. Der Dampf kondensiert. Das Wasser wird zum Wärmetauscher zurückgepumpt. Reaktoren, die nach diesem Prinzip arbeiten, heißen Druckwasserreaktoren. Es gibt aber noch andere Reaktortypen.

In Kernkraftwerken wird die Kernenergie zur Erwärmung von Wasser und zur Erzeugung von Wasserdampf genutzt. Über Turbine und Generator wird dann mechanische Energie in elektrische Energie umgewandelt.

AUFGABEN

- Nenne die wichtigsten Bauteile im Reaktorgebäude und im Maschinenhaus (\triangleright B 1).
- Nenne die Aufgabe eines Kernkraftwerks.
- Begründe, warum es in einem Kernkraftwerk drei getrennte Wasserkreisläufe gibt.
- Beschreibe die Aufgaben des Wassers im Reaktor.
- Begründe die Notwendigkeit von Moderatoren im Reaktor.
- Beschreibe die Energieumwandlungen im Kernkraftwerk mit Hilfe von B 1.



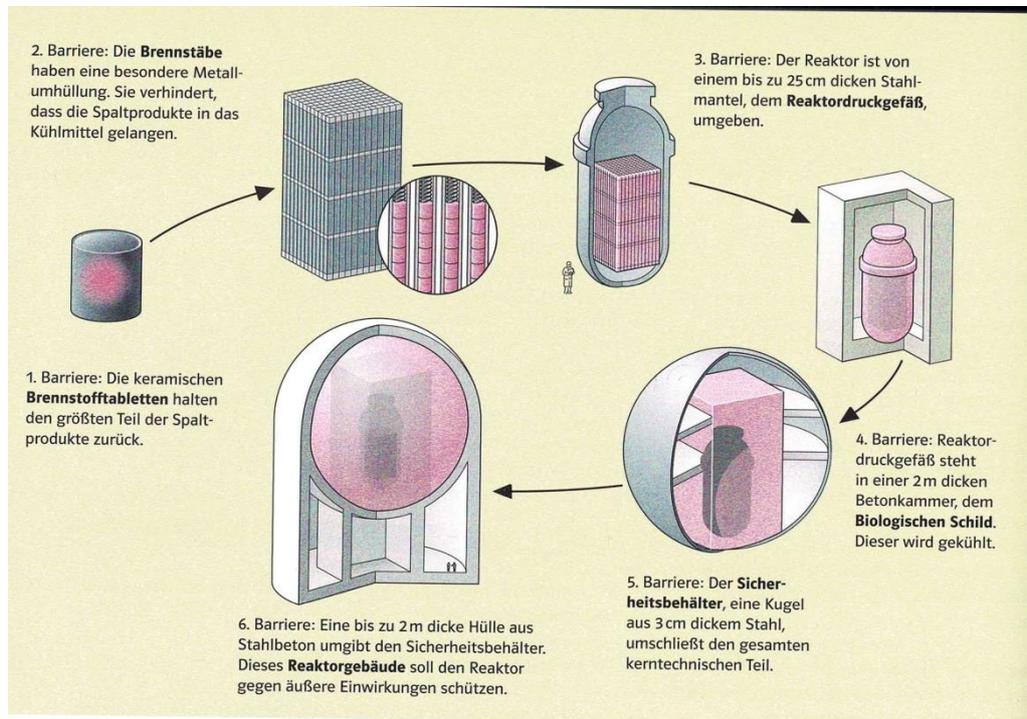
149

Probiere die Simulation zum Kernreaktor durch

<https://phet.colorado.edu/de/simulation/legacy/nuclear-fission>

Ergänze dein Wissen: <https://www.youtube.com/watch?v=dzvg2ltq6j8> ab 3min 33 sec

Lesen Sie den Text, übernehmen Sie die Überschrift und den blauen Text ins Heft und bearbeiten dann die Aufgaben 1 (Antwort ins Heft)



1 Sicherheitsbarrieren eines Kernkraftwerks

Sicherheit in Kernkraftwerken

Ein Kernkraftwerk muss so gesichert sein, dass in keinem Fall Strahlung oder radioaktive Stoffe in die Umwelt gelangen. Dies muss auch bei einem technischen Defekt oder einem Bedienungsfehler durch das Kraftwerkspersonal gelten. Sogar die Möglichkeit terroristischer Angriffe und Naturkatastrophen sind dabei zu berücksichtigen.

Aus diesem Grund sind alle wichtigen Systeme in einem Kraftwerk mehrfach vorhanden und arbeiten unabhängig voneinander. Im Notfall muss die Kettenreaktion möglichst schnell gestoppt werden. Dazu werden die Regelstäbe möglichst schnell vollständig in den Reaktor eingefahren. Danach müssen die Brennstäbe über eine längere Zeit gekühlt werden.

Die Freisetzung von radioaktiven Stoffen und Strahlung wird durch mehrere Sicherheitsbarrieren verhindert. Alle wichtigen Systeme sind doppelt vorhanden.

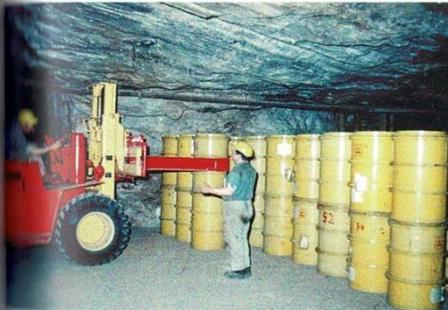
AUFGABEN

- 1 Nenne die sechs Sicherheitsbarrieren.
- 2 Begründe, warum die Betonkammer auch biologischer Schutzschild genannt wird.
- 3 Begründe, warum Stahl und Beton als Schutzstoffe verwendet werden. Recherchiere auch in anderen Quellen.

Schau dir das Video <https://www.youtube.com/watch?v=nMWnVHQwtp0> bis 1min 36 sec an.

Lese den Text, übernehme die Überschrift und den blauen Text ins Heft und bearbeite dann die Aufgaben 1-2 (Antwort ins Heft)

Radioaktive Abfälle



1 Lagerung radioaktiver Stoffe im Salzbergwerk

Wohin mit dem radioaktiven Müll?

Bei der Nutzung der Kernenergie entstehen radioaktive Abfälle. Besonders die radioaktiven Abfälle aus Kernkraftwerken sind hoch radioaktiv und werden noch in einigen tausend Jahren radioaktive Strahlung abgeben. Der Atommüll kann Mensch und Umwelt gefährden. Radioaktive Abfälle müssen deshalb so sicher gelagert werden, dass keine radioaktiven Stoffe in die Umwelt gelangen können.

Entsorgung von Brennelementen

Jedes Jahr werden in den Kernkraftwerken einige Brennelemente ausgetauscht. Die abgebrannten Brennelemente müssen entsorgt werden.

Nach der Entnahme aus dem Reaktor sind die abgebrannten Brennelemente noch stark radioaktiv und sehr heiß. Sie werden deshalb für etwa fünf Jahre in gekühlten Wasserbecken (Abklingbecken) gelagert. Das Wasser dient als Schutz vor der Strahlung und nimmt die Wärme auf.

Zur weiteren Entsorgung werden die abgebrannten Brennelemente in spezielle Behälter verpackt und in ein **Zwischenlager** am Kraftwerk gebracht. Dort werden sie über Jahrzehnte aufbewahrt, bis sie sicher endgelagert werden können.

Endlagerung

Die meisten radioaktiven Abfälle aus der Industrie, der Forschung und der Medizin sind schwach und mittel radioaktiv. Die Brennelemente aus Kernreaktoren enthalten dagegen hoch radioaktive Stoffe mit extrem langen Halbwertszeiten.

Alle radioaktiven Abfälle müssen, ohne Lebewesen zu gefährden, für lange Zeit sicher und gut abgeschottet gelagert werden. Das bezeichnet man als Endlagerung. Das Problem, alle anfallenden radioaktiven Abfälle sicher zu lagern, ist bis heute noch nicht endgültig gelöst. Bisher lagert man sie in Metallfässern tief unter der Erde in ehemaligen Salzbergwerken (► B1).

Radioaktive Abfälle müssen sicher entsorgt und endgelagert werden.

AUFGABEN

- 1 Beschreibe, wie radioaktive Abfälle gelagert werden müssen.
- 2 Beschreibe den Weg der Entsorgung von Brennelementen.
- 3 Recherchiere über die Endlagerung in Salzbergwerken. Finde Argumente für pro und contra.



2 Radioaktive Stoffe müssen durch Warnsymbole gekennzeichnet sein