

Sicherheit im Kernkraftwerk

Lehrerinformation



1/7

Arbeitsauftrag	Die SuS bringen Beschreibungen der verschiedenen Sicherheitsbarrieren in die richtige Reihenfolge. Sie stellen einen Zusammenhang zwischen Sicherheitsprinzipien und ihrer Anwendung beim Betrieb eines KKW her.
Ziel	Die SuS können passive und aktive Sicherheitselemente der Kernenergie nennen und voneinander unterscheiden.
Material	Auftragsblätter Infotext Lösungsblätter
Sozialform	Gruppenarbeit (drei oder vier SuS)
Zeit	30 Minuten

Zusätzliche
Informationen:

- Die SuS überlegen sich, welche und wie viele Sicherheitsprinzipien in anderen Bereichen der Technik/des alltäglichen Lebens zur Anwendung kommen.
- Weitere Infos unter <https://www.kernenergie.ch/de/Sicherheit-in-Kernkraftwerken.html>
- Zahlreiche Informationen, Gutachten und aktuelle Berichte zur Sicherheit der Schweizer Kernanlagen findet man auf der Website der nationalen Aufsichtsbehörde: www.ensi.ch

Sicherheit im Kernkraftwerk

Arbeitsblatt



2/7

Aufgabe:

Ordne nach dem Lesen des Infotextes den nachfolgenden detaillierten Beschreibungen eine der sechs verschiedenen Sicherheitsbarrieren zu.

Passive Sicherheitselemente



Die mit 1,5 bis 2 m Dicke massivste Sicherheitsbarriere kann auch einem Flugzeugabsturz standhalten.



Der ca. 20 bis 25 cm dicke Stahlmantel umschließt die Brennelemente, die Steuerstäbe und das Wasser des primären Kühlkreislaufs. Zusammen mit den anschliessenden Rohrleitungen schliesst er auch eventuell aus Hüllrohren ausgetretene gasförmige Spaltprodukte vollständig ein und schluckt den Hauptanteil an Neutronen- und Gamma-Strahlung.



Dieses Gefäß ist sowohl gasdicht als auch druckfest und besteht aus ca. 4 cm dickem Stahl. Falls es im primären Kreislauf (= Reaktorkreislauf) zu einem Leck kommt, kann es das austretende Wasser-/Dampfgemisch mit allen eventuell darin enthaltenen radioaktiven Stoffen aufnehmen und zurückhalten.



Als Brennstoff bei der Kernspaltung dient Uranoxid, das zu Pellets gepresst und ähnlich wie Keramik gebrannt wird. So hat es eine feste Kristallstruktur, in der die nicht gasförmigen radioaktiven Spaltprodukte (z.B. Barium und Krypton) fest eingebunden sind.



Dieser Mantel aus Beton hat die Aufgabe, den Rest der Neutronen- und Gamma-Strahlung zu absorbieren.



Das zu Tabletten gepresste Uranoxid befindet sich in etwa fingerdicken Rohren, die aus Zircaloy bestehen. Dieses Material hat ähnliche Eigenschaften wie Stahl, ist aber viel neutronendurchlässiger. Die Enden dieser Rohre werden gasdicht verschweisst.

Sicherheit im Kernkraftwerk

Arbeitsblatt



3/7

Aufgabe:

Im nachfolgenden Text sind konkrete Beispiele beschrieben, wie die im Infotext genannten Sicherheitsprinzipien beim Betrieb eines KKW funktionieren. Ordne jedem Beispiel das zutreffende Prinzip zu. Es können mehrere Prinzipien auf ein Beispiel zutreffen.

Aktive Sicherheitselemente



Bei stark erhöhter Temperatur im Reaktor kann sich das brennbare Gas Wasserstoff bilden. Um eine Knallgasreaktion mit Sauerstoff unmöglich zu machen, wird die Luft im Sicherheitsbehälter während des Betriebs mit nicht brennbarem Stickstoffgas ersetzt.



Die Steuerstäbe hemmen die Neutronenaktivität, wenn sie sich zwischen den Brennstäben befinden. Beim Druckwasserreaktor sind die Steuerstäbe oberhalb der Brennelemente „parkiert“. Sie werden von Elektromagneten gehalten. Wenn es zu einem Stromausfall im KKW kommt, schalten die Elektromagneten aus und die Steuerstäbe fallen durch die Schwerkraft von alleine zwischen die Brennelemente. Indem sie die Neutronen absorbieren, stoppen sie die Kernreaktion.



Im KKW Gösgen sind insgesamt elf Pumpen für den Abtransport der Wärme/Nachwärme aus dem Reaktor vorhanden. Eine einzige dieser elf Pumpen genügt, um einen ausreichenden Abtransport sicherzustellen.



Wenn die Kernspaltung in einem Reaktor zu intensiv ist und dadurch zu viel Wärme entsteht, beginnt das Kühlwasser im Bereich der Brennelemente zu verdampfen. Es bildet sich ein Wasser-Gas-Gemisch. Da Gas die Neutronen aber nicht genügend abremst, fehlen für die Kernspaltung nötige langsame Neutronen und die Kernspaltung wird gedrosselt. Dasselbe geschieht bei einem Verlust von Kühlwasser durch ein Leck.



Während der ersten zehn Stunden nach einer Abschaltung des Reaktors ist die notwendige Nachkühlung der Brennstäbe sichergestellt, ohne dass das Betriebspersonal irgendwie eingreifen muss. .



Werden bei einer massiven Einwirkung aus der Umwelt (Flugzeugabsturz, Erdbeben etc.) technische Anlagen wie z. B. die Stromversorgung oder die Kühlpumpen unbrauchbar, so kommt das Notstandsgebäude zum Einsatz. Das Notstandsgebäude ist so gebaut, dass es einen Flugzeugabsturz oder ein starkes Erdbeben unbeschadet übersteht. Es enthält in doppelter Ausführung alle technischen Einrichtungen, die notwendig sind, um die ausreichende Notkühlung des Reaktors zu gewährleisten.

Sicherheit im Kernkraftwerk

Informationstext



4/7

Sicherheit in Kernkraftwerken

Bei der Diskussion um Kernkraftwerke steht das Thema Sicherheit an erster Stelle. In diesem Abschnitt erfährst du, was der Begriff Sicherheit für die Bauweise und den Betrieb eines Kernkraftwerks bedeutet, und mit welchen technischen Sicherheitseinrichtungen und Massnahmen dafür gesorgt wird, dass ein Kernkraftwerk nicht zu einer Gefahr für die Umwelt wird.

Die mit der Radioaktivität verbundene Strahlung kann für den Menschen schädlich sein. Oberstes Gebot für den Betrieb eines KKW ist deshalb, dass keine radioaktiven Stoffe aus dem Reaktor in die Umwelt gelangen dürfen (dieses Gebot gilt auch für chemische Fabriken, die mit hochgiftigen Stoffen arbeiten).

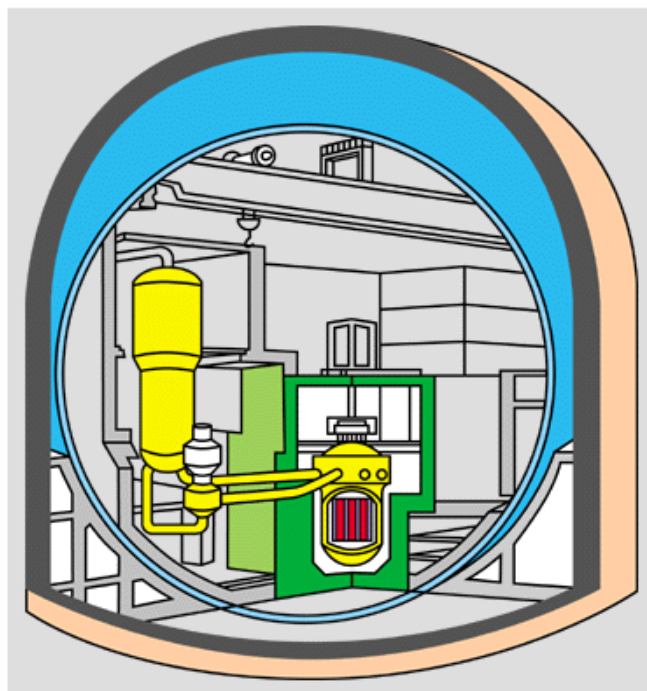
Passive Sicherheitselemente (Sicherheitsbarrieren)

Wenn ein Stoff nicht in die Umwelt gelangen soll, muss er sehr gut „verpackt“ werden. In den in Westeuropa verwendeten Leichtwasserreaktoren werden radioaktive Stoffe und radioaktive Strahlung durch sechs Sicherheitsbarrieren am Austreten in die Umwelt gehindert. Von innen nach aussen werden die folgenden Sicherheitsbarrieren jeweils von der nachfolgenden eingeschlossen:

1. das starre Kristallgitter des Brennstoffs
2. die gasdicht verschweissten Metallhüllen der Brennstäbe
3. die Umschliessung des Reaktorkühlkreislafs (beim Siedewasserreaktor Reaktordruckgefäss genannt)
4. die Betonhülle (auch der thermische Schild genannt)
5. der Sicherheitsbehälter (wird im Englischen Containment genannt)
6. die nach aussen abschliessende Stahlbetonhülle

Sicherheitsbarrieren

- Brennstoff
- Hüllrohr
- Umschliessung Reaktorkühlkreislauf
- Betonabschirmung
- Sicherheitsbehälter
- Stahlbetonhülle



Sicherheit im Kernkraftwerk

Informationstext



5/7

Aktive Sicherheitselemente

Die sechs aufeinanderfolgenden Barrieren bilden noch keine volle Garantie für den zuverlässigen Einschluss von radioaktiven Stoffen. Deshalb wird in einem KKW mithilfe von unterschiedlichen Prinzipien ein zuverlässiger Betrieb sichergestellt. Neben den mehrfachen Barrieren kommen auch folgende Prinzipien zur Anwendung:

1. Das Prinzip der Ausfallsicherheit: jeder Fehler löst sofort eine Schutzreaktion aus (Fail-Safe-Prinzip).
2. das Prinzip der mehrfach vorhandenen und voneinander unabhängigen Anlagenteile (Prinzip der Redundanz)
3. das Prinzip der vorbeugenden Analyse von möglichen Betriebsstörungen und das Einrichten notwendiger Gegenmassnahmen
4. Das Prinzip der passiven Rückkopplung: Systeme sind so konstruiert, dass sie sich bei einer Störung mit unerwünschter Entwicklung von alleine abbremsen.
5. das Prinzip der Reduktion von Bedienungsfehlern durch automatisches Auslösen von Gegenmassnahmen im Störfall

Sicherer Umgang mit Störungen

Kernkraftwerke sind technische Einrichtungen, in welchen fast während des ganzen Jahres unter zum Teil extremen Umgebungsbedingungen (hoher Druck, hohe Temperatur) Maschinen in Betrieb sind. Überall, wo Maschinen in Betrieb sind, kann es trotz bester Materialqualität und sehr gut ausgebildetem Personal zu Betriebsstörungen kommen, auch in KKW's. Das oberste Ziel von allen angewendeten Sicherheitsmassnahmen besteht deshalb immer darin, die Auswirkungen einer Störung unter allen denkbaren Umständen auf das KKW selbst zu beschränken. Die Umgebung des KKW darf nicht in Mitleidenschaft gezogen werden.

Haupt-Sicherheitsprinzip eines KKW

Radioaktives Material kann nur dann in einem für den Menschen gefährlichen Ausmass aus einem Kernreaktor austreten, wenn der Brennstoff durch Überhitzung schmilzt (= Kernschmelze) und dabei seine Kristallgitterstruktur verliert (= 1. Barriere). Das Uranoxid könnte dann nicht mehr die radioaktiven Spaltprodukte zurückhalten. Der Kernreaktor muss folglich so gebaut sein, dass er bei einer Überhitzung mit einem automatischen Ausschalten der Kernspaltung reagiert. Nach einem Stoppen der Kernspaltung produzieren die Brennstäbe jedoch immer noch eine Nachwärme, die mit einem Kühlmittel abgeführt werden muss, um eine nachträgliche Überhitzung zu vermeiden. Die Nachkühlung der abgeschalteten Brennstäbe muss also ebenfalls ausreichend gewährleistet sein.

Zusammenfassung

Oberstes Ziel beim Betrieb eines KKW ist es, zu vermeiden, dass Radioaktivität in die Umwelt austritt. Also muss man das Überhitzen und Schmelzen des Reaktorkerns vermeiden. Bei drohender Überhitzung muss der Reaktor sicher und schnell abgestellt werden können. Die Kühlung des abgestellten Reaktors und das Abführen der Nachzerfallswärme müssen sichergestellt sein.

Sicherheit im Kernkraftwerk

Lösungsblatt



6/7

Lösungen:

Passive Sicherheitselemente

- 6 Die mit 1,5 bis 2 m Dicke massivste Sicherheitsbarriere kann auch einem Flugzeugabsturz standhalten.
- 3 Der ca. 20 bis 25 cm dicke Stahlmantel umschließt die Brennelemente, die Steuerstäbe und das Wasser des primären Kühlkreislaufs. Zusammen mit den anschließenden Rohrleitungen schließt er auch eventuell aus Hüllrohren ausgetretene gasförmige Spaltprodukte vollständig ein und schluckt den Hauptanteil an Neutronen- und Gamma-Strahlung.
- 5 Dieses Gefäß ist sowohl gasdicht als auch druckfest und besteht aus ca. 4 cm dickem Stahl. Falls es im primären Kreislauf (= Reaktorkreislauf) zu einem Leck kommt, kann es das austretende Wasser-/Dampfgemisch mit allen eventuell darin enthaltenen radioaktiven Stoffen aufnehmen und zurückhalten.
- 1 Als Brennstoff bei der Kernspaltung dient Urandioxid, das zu Pellets gepresst und ähnlich wie Keramik gebrannt wird. So hat es eine feste Kristallstruktur, in der die nicht gasförmigen radioaktiven Spaltprodukte (z.B. Barium und Krypton) fest eingebunden sind.
- 4 Dieser Mantel aus Beton hat die Aufgabe, den Rest der Neutronen- und Gamma-Strahlung zu absorbieren.
- 2 Das zu Tabletten gepresste Urandioxid befindet sich in etwa fingerdicken Rohren, die aus Zircaloy bestehen. Dieses Material hat ähnliche Eigenschaften wie Stahl, ist aber viel neutronendurchlässiger. Die Enden dieser Rohre werden gasdicht verschweisst.

Sicherheit im Kernkraftwerk

Lösungsblatt



7/7

Aktive Sicherheitselemente

3

Bei stark erhöhter Temperatur im Reaktor kann sich das brennbare Gas Wasserstoff bilden. Um eine Knallgasreaktion mit Sauerstoff unmöglich zu machen, wird die Luft im Sicherheitsbehälter während des Betriebs mit nicht brennbarem Stickstoffgas ersetzt.

1

Die Steuerstäbe hemmen die Neutronenaktivität, wenn sie sich zwischen den Brennstäben befinden. Beim Druckwasserreaktor sind die Steuerstäbe oberhalb der Brennelemente „parkiert“. Sie werden von Elektromagneten gehalten. Wenn es zu einem Stromausfall im KKW kommt, schalten sich die Elektromagneten aus und die Steuerstäbe fallen durch die Schwerkraft von alleine zwischen die Brennelemente. Indem sie die Neutronen absorbieren, stoppen sie die Kernreaktion.

2

Im KKW Gösgen sind insgesamt elf Pumpen für den Abtransport der Wärme/Nachwärme aus dem Reaktor vorhanden. Eine einzige dieser elf Pumpen genügt, um einen ausreichenden Abtransport sicherzustellen.

4

Wenn die Kernspaltung in einem Reaktor zu intensiv ist und dadurch zu viel Wärme entsteht, beginnt das Kühlwasser im Bereich der Brennelemente zu verdampfen. Es bildet sich ein Wasser-Gas-Gemisch. Da Gas die Neutronen aber nicht genügend abbremst, fehlen für die Kernspaltung nötige langsame Neutronen und die Kernspaltung wird gedrosselt. Dasselbe geschieht bei einem Verlust von Kühlwasser durch ein Leck.

5

Während der ersten zehn Stunden nach einer Abschaltung des Reaktors ist die notwendige Nachkühlung der Brennstäbe sichergestellt, ohne dass das Betriebspersonal irgendwie eingreifen muss.

2/3

Werden bei einer massiven Einwirkung aus der Umwelt (Flugzeugabsturz, Erdbeben etc.) technische Anlagen wie z. B. die Stromversorgung oder die Kühlpumpen unbrauchbar, so kommt das Notstandsgebäude zum Einsatz. Das Notstandsgebäude ist so gebaut, dass es einen Flugzeugabsturz oder ein starkes Erdbeben unbeschadet übersteht. Es enthält in doppelter Ausführung alle technischen Einrichtungen, die notwendig sind, um die ausreichende Notkühlung des Reaktors zu gewährleisten.