# Modul 2
## Atomkraft

Inhalt

Handreichung zum Modul
Vortrag Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?
Arbeitsblatt Wie funktioniert ein Atomkraftwerk? 2-01

# Handreichung Modul 2: Atomkraft

Fast die gesamten hochradioaktiven Abfälle und ein Großteil der schwach- und mittelradioaktiven Abfälle in Deutschland stammen aus der Nutzung der Atomenergie. Die Probleme mit dem Atommüll und die Debatten über eine verantwortungsvolle Lagerung der Abfälle sind von der jahrzehntelangen Nutzung der Atomenergie und der gesellschaftlichen Auseinandersetzung darum geprägt. Deshalb sollen die Schülerinnen und Schüler mit diesem Modul verstehen, was Atomkraft ist und wie ein Atomkraftwerk funktioniert.

**Vortrag: Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?**
Für fachfremde Lehrkräfte stellen wir einen vereinfachten Vortrag mit Folien zur Verfügung, der diesem Material beiliegt. Die dazugehörige Power-Point-Präsentation steht zum Download auf der Seite www.atommuellreport.de zur Verfügung.
Vor Beginn des Vortrages sollte darauf hingewiesen werden, dass sich die Schülerinnen und Schüler die Fachbegriffe aufschreiben sollen, da sie anschließend im Lückentext abgefragt werden.
Teil des Vortragmaterials ist eine Auflistung möglicher Störfälle in einem Atomkraftwerk jenseits der beiden Katastrophen in Tschernobyl und Fukushima, die in Modul 3 behandelt werden. Aus diesen realen Beispielen, die sich auf die verschiedenen Barrieren beziehen, kann eine Auswahl getroffen werden.

**Überleitung zu Modul 3**
Schließt das Modul 3 an das Modul 2 an, werden die Schülerinnen und Schüler ausgehend von den Störfallszenarien des Vortrages in die Aufgaben für Modul 3 eingeführt. Diese sollen sie in Arbeitsgruppen in Hausarbeit erledigen, wofür mindestens ein Woche Zeit gegeben werden muss.

Zur Vertiefung der Funktionsweise eines Atomkraftwerks sind folgende Filme gut geeignet:

► Planet Schule – SWR: Wie funktioniert ein Atomkraftwerk
www.youtube.com/watch?v=zGVQCJ_br5w
Dauer: 3.25 Minuten, Methode: Bilder aus einem Atomkraftwerk, Animationen
Inhalt: Der Film erklärt die Kettenreaktion und ihre Steuerung in einem Atomreaktor sowie den Antrieb der Dampfturbine in einem Druckwasserreaktor.

► Thomas Schwenke / Green Translation Service: Funktionsweise von Kernkraftwerken (KKW) / Atomkraftwerken (AKW)
www.youtube.com/watch?v=17ryGl5Tucw
Dauer: 4.47 Minuten, Methode: Animation
Inhalt: Der Film erklärt detailliert die Komponenten und die Funktionsweise eines Atomkraftwerks.

► Thomas Schwenke / Green Translation Service: Funktionsweise von Kernspaltung und Kernreaktion im Atomkraftwerk
www.youtube.com/watch?v=r0-eLdnzEnA
Dauer: 4.05 Minuten, Methode: Animation
Inhalt: Der Film erklärt detailliert die Kettenreaktion und ihre Steuerung in einem Atomreaktor.

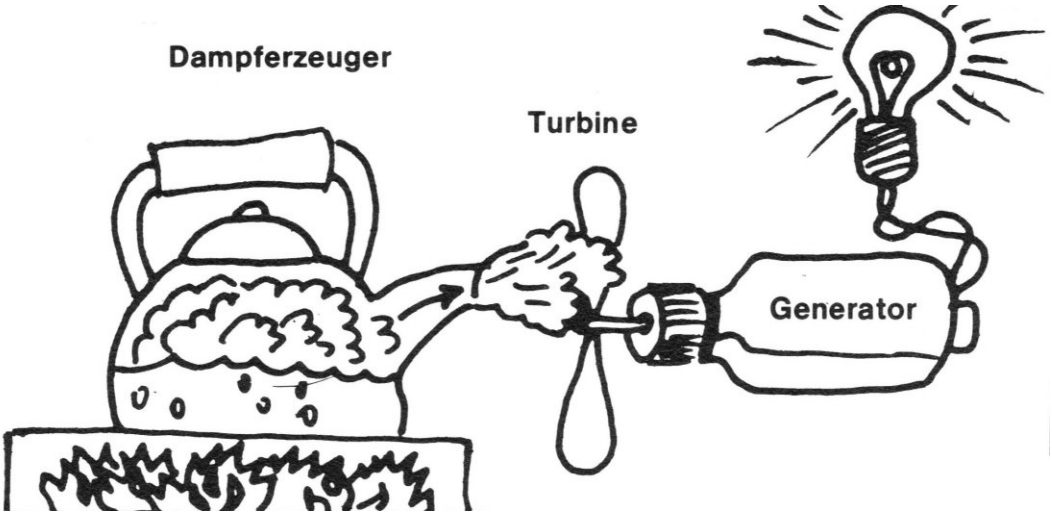
**Lückentext-Musterlösung**

Die Musterlösungen sind in der Online-Ausgabe nicht enthalten.

# Vortrag: Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?

Alle Kraftwerke, die aus Wärme Strom erzeugen, arbeiten nach dem gleichen Prinzip: Mittels Hitze wird Wasser in Wasserdampf überführt. Dieser Dampf treibt eine Turbine an. Durch die Drehung der Turbine wird ein Generator angetrieben. Dieser Generator erzeugt den elektrischen Strom.

Der ursprünglich eingesetzte Rohstoff für die Wärmeerzeugung ist dabei austauschbar. Es kann sich um Kohle, Öl, Gas oder Uran handeln.



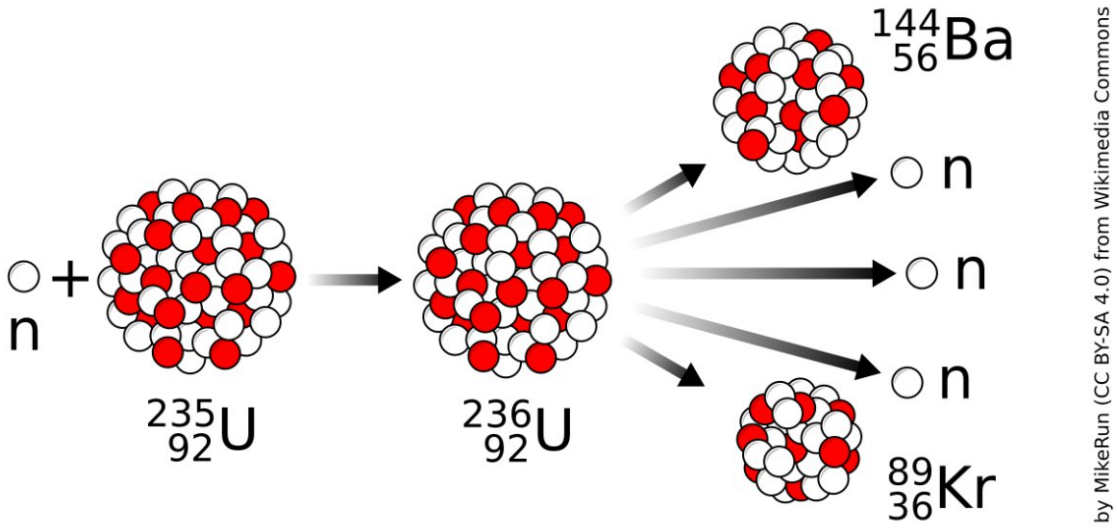

Der ursprünglich eingesetzte Rohstoff für die Wärmeerzeugung ist dabei austauschbar. Es kann sich um die Primärenergieträger Kohle, Öl, Gas oder Uran handeln.

---

In einem Atomkraftwerk wird die Wärme durch eine kontrollierte Kettenreaktion erzeugt.

## Die Kettenreaktion in den Brennelementen

Brennelemente sind meist mehrere Meter lang und bestehen aus mehreren Brennstäben. In diesen Brennstäben befindet sich der Brennstoff. Das sind Pellets mit Uran, zu 5 % Uran 235 und zu 95 % Uran 238.




Uran 235 besteht aus 92 Protonen und 143 Neutronen. Sobald ihm ein weiteres Neutron zugeführt wird, spaltet sich Uran 235 in zwei leichtere Atomkerne. Darüber hinaus entstehen zwei bis drei freie Neutronen und Wärme. Diese freien Neutronen spalten wiederum zwei bis drei Uran 235-Atome. Bei jeder Spaltung werden Neutronen frei, so dass sich die Menge an freien Neutronen potenziert. Das ist die Kettenreaktion.

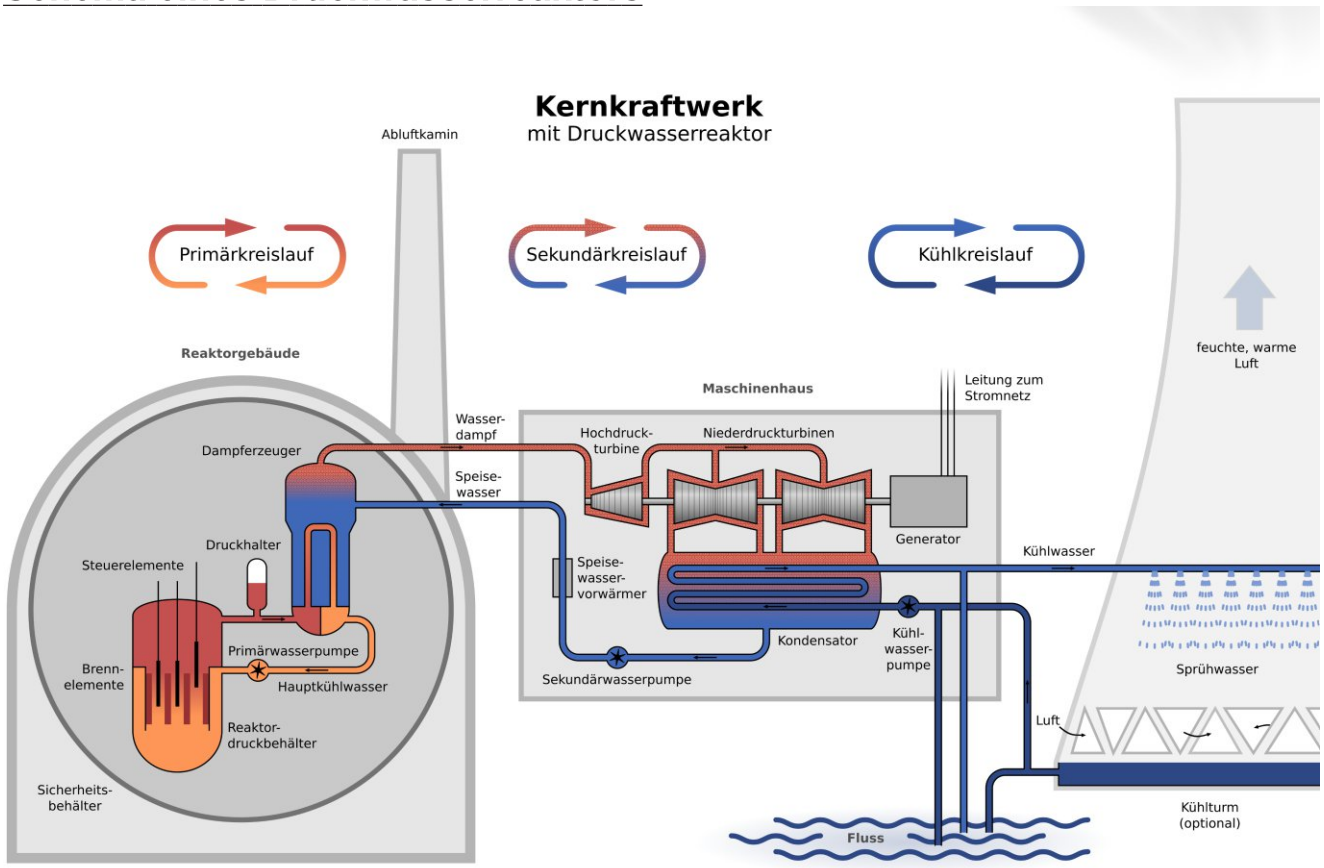
## Moderator und Steuerstäbe

In einem Atomkraftwerk kann diese Kettenreaktion nur aufrechterhalten werden, wenn die Brennelemente in einem Moderator stehen, der die entstehenden Neutronen abbremst. Ansonsten wären diese zu schnell und die Wahrscheinlichkeit, dass ein Neutron ein Uranatom-235 trifft, zu gering. Im Druckwasserreaktor übernimmt die Funktion des Moderators das Wasser des sogenannten Primärkreislaufs.

Modell eines Reaktordruckbehälters mit einem aufgeschnittenen Brennelement. Das blaue Licht stellt den Moderator dar. (Deutsches Museum), Foto: Tiia Monto via Wikimedia Commons (CC-BY-SA-3.0)

Über den Brennelementen befinden sich Steuerstäbe, die per Motor in das Becken abgelassen werden können. Mittels der Steuerstäbe kann die Kettenreaktion verlangsamt bzw. beendet werden. Sie bestehen aus Rohren mit Material, das viele Neutronen absorbieren (=aufnehmen) kann, meist Cadmium- oder Borverbindungen. Je tiefer die Steuerstäbe eingefahren werden, desto mehr Neutronen werden absorbiert und die Leistung des Reaktors sinkt bis zum völligen „Herunterfahren“. Ohne funktionierende Steuerstäbe ist eine Abschaltung eines Atomkraftwerks nicht möglich.

## Schema eines Druckwasserreaktors

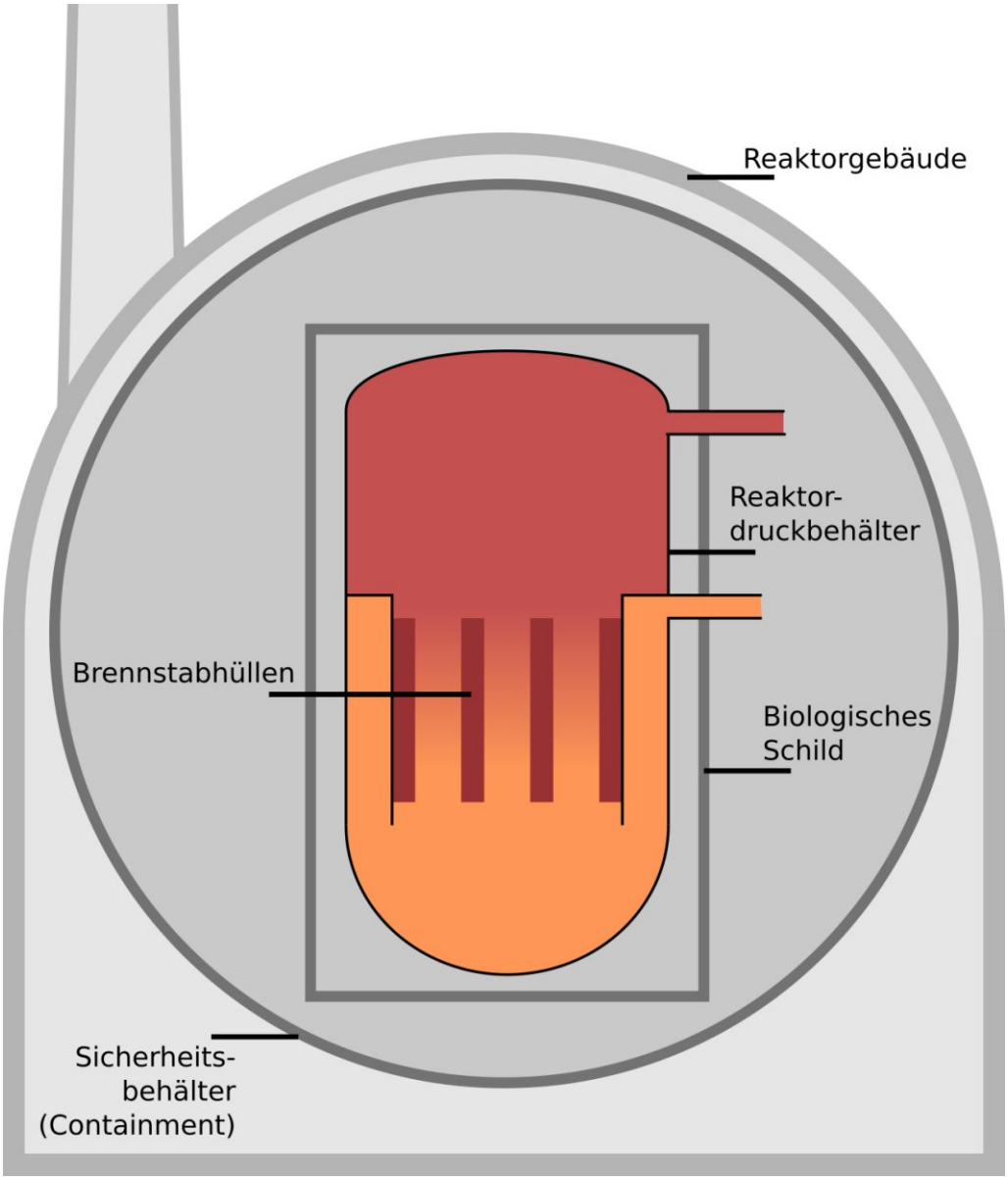



Grafik: San Jose und Niabot via Wikimedia Commons (CC-BY-3.0)

Der am häufigsten in Deutschland gebaute Reaktortyp ist der Druckwasserreaktor.
Im Reaktorgebäude befindet sich der Reaktordruckbehälter mit den Brennelementen, umgeben von Wasser als Moderator und den Steuerstäben. Der Reaktordruckbehälter hat eine Höhe von 12 – 22,4 m, einen Durchmesser von 5 – 6,8 m und eine Wandstärke von 17 – 25 cm, je nach Bauart. Er muss hohen Druck (etwa 150 bar), ständige radioaktive Bestrahlung und enorme Hitze (ca. 300°C) aushalten. Der hohe Druck verhindert, dass das Wasser bei 300°C zu kochen beginnt.
Durch einen Wärmetauscher erhitzt das 300°C heiße Wasser des Primärkreislaufs das Wasser im Sekundärkreislauf. Dieses Wasser, das nicht unter dem selben Druck steht, verdampft im Dampferzeuger.
Der Dampf verlässt den Sicherheitsbehälter im Reaktorgebäude und treibt die Turbine an. Diese treibt ihrerseits den Generator an, der Strom erzeugt, so wie im ersten Bild beim Dampfkessel vereinfacht dargestellt. Anschließend wird der Dampf im Kondensator wieder verflüssigt und in den Sekundärkreislauf zurückgeleitet.
Die dabei abgeschiedene Wärme wird über den dritten Wasserkreislauf, den Kühlkreislauf, abtransportiert und in den Fluss abgeleitet. Bei den meisten Atomkraftwerken gibt es zusätzlich einen Kühlturm. In einem Kühlturm wird das erhitzte Wasser unten in den Kühlturm eingesprüht, so erwärmt sich die Luft, dehnt sich aus und strömt zusammen mit dem Dampf nach oben. Dabei zieht vom unteren Rand jeweils frische Kaltluft nach (Kamineffekt). Zusätzlich wird das gekühlte Wasser zum Abregnen gebracht und ebenfalls in den Fluss abgeleitet.

## Sicherheitsbarrieren

Bei den neueren Atomkraftwerken gibt es eine ganze Reihe von Barrieren, die einen Austritt von Radioaktivität in die Umwelt – über die erlaubten Grenzwerte hinaus – verhindern sollen.




auf Grundlage einer Grafik von San Jose und Niabot (CC-BY-3.0)

**Die Brennstabhüllen:**
Die Brennstabhüllen werden gasdicht verschweißt. Solange alle Schweißnähte dicht sind und kein Loch in einem Hüllrohr auftritt, halten die Hüllrohre alle Spaltprodukte in ihrem Inneren.
Der Reaktordruckbehälter: Er ist aus Stahl mit einer Wandstärke von 17 – 25 cm.

**Das biologische Schild:**
Eine Betonhülle aus 2 m dickem Stahlbeton, die den Reaktordruckbehälter umschließt. Das biologische Schild dient vor allem auch der Abschirmung der Direktstrahlung aus dem Reaktordruckbehälter.

**Der Sicherheitsbehälter (Containment):**
Ein kugelförmiger Sicherheitsbehälter, der das biologische Schild und den Dampferzeuger einschließt. Der Sicherheitsbehälter besteht innen aus einer Stahlhaut. Der Zwischenraum zwischen dem biologischen Schild und dem Sicherheitsbehälter wird auf Unterdruck gehalten, so dass bei einem Leck keine Gase austreten können, da diese bei Unterdruck stets nach innen gesaugt werden.

**Das Reaktorgebäude:**
Das Gebäude besteht aus 1,5 – 2 m dickem Stahlbeton und umschließt die gesamte Anlage. Es soll auch gegen eine Einwirkung von außen (z.B. Flugzeugabsturz) Sicherheit bieten.

## Probleme, die auftreten (können)

Das mehrstufige Sicherheitskonzept in den Atomkraftwerken soll ein hohes Niveau an Sicherheit sowohl gegenüber technischem, als auch menschlichem Versagen bieten. Trotzdem bleiben Risiken.

[Einige Beispiele, aus denen eine Auswahl für den Vortrag getroffen werden kann]

**Verformte und beschädigte Brennstabhüllen:**
Bereits im Normalbetrieb entstehen Veränderungen durch Strahleneinwirkung und Korrosion. Sie verursachen in einem kleinen Teil der Hüllrohre Risse, die zum Austritt der gasförmigen Spaltprodukte führen können. Zudem können sie negative Auswirkungen auf die Kühlung der Brennelemente und auf die Kontrolle der Kettenreaktion haben.
Quelle: www.rskonline.de/sites/default/files/reports/epanlagersk474hp.pdf

**Risse im Reaktordruckbehälter:**
Je länger Stahl mit Neutronen bestrahlt wird, umso spröder wird er und desto weniger kann er Temperaturunterschiede vertragen. Wenn dann bei einem Vorfall bei einer Hitze von 300°C kaltes Notkühlwasser eingeleitet werden muss, kann es zu einem sogenannten Sprödbruch kommen und der Reaktordruckbehälter bersten.
Schlagzeilen machen seit einigen Jahren die belgischen Atomkraftwerke Doel und Tihange in der Grenzregion zu Aachen. Im Reaktordruckbehälter wurden tausende von Rissen entdeckt. Nicht geklärt ist, ob diese Risse von Anfang an im Stahl waren oder durch den Betrieb entstanden und größer werden. Vorsorglich wurden 2017 in der Region Aachen Jodtabletten verteilt, die im Falle einer Reaktorkatastrophe vor Schilddrüsenkrebs schützen sollen.
Quelle: epaper.staedteregion-aachen.de/information-fur-die-bevolkerung-in-der-umgebung-des-kernkraftwerkes-tihange-b/57998338

**Kühlmittelverlust:**
Einer der schwersten Unfälle in Deutschland ereignete sich am 16. Dezember 1987. Durch ein Leck in einem Ventil im AKW Biblis A ging eine große Menge an Kühlmittel verloren. Drei Arbeitsschichten hatten übersehen, dass das Ventil nicht ordnungsgemäß schloss. Insgesamt traten 107 Liter radioaktiv kontaminiertes Kühlwasser aus. Bei einem vollständigen Kühlmittelverlust erhitzen die Brennstäbe unaufhaltsam weiter, es kommt zu einer Kernschmelze. Entweder führt dies zu einer Explosion, die den Reaktor zerstört, oder die geschmolzene Masse frisst sich durch den Reaktorboden in das Erdreich.
Quelle: magazin.spiegel.de/EpubDelivery/spiegel/pdf/13531238

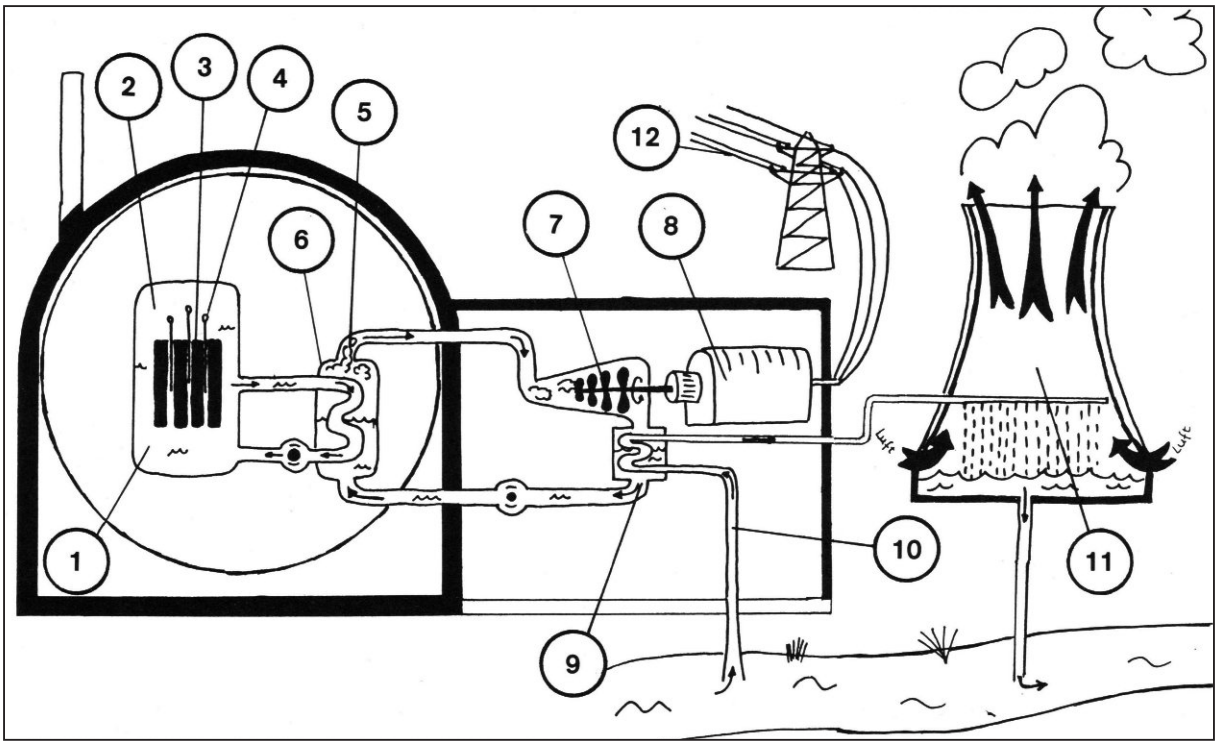
Aufräumarbeiten im US-amerikanischen Reaktor Three Miles Island. Bei einem Unfall 1979 war etwa ein Drittel des Reaktorkerns geschmolzen. Quelle: Metropolitan Edison Company

**Renegade-Alarm für deutsche Atomkraftwerke:**
Keines der aktuell betriebenen Atomkraftwerke ist gegen einen Absturz eines großen Verkehrsflugzeuges gesichert. Das Reaktorgebäude hält höchstens dem Absturz einer mittelgroßen Militärmaschine stand. In den letzten Jahren wurde deshalb bereits häufiger ein sogenannter „Renegade"-Alarm ausgelöst, ein Vor-Alarm, der einen terroristischen Angriff unterstellt und zur Evakuierung des Atomkraftwerks führt. Dazu kommt es beispielsweise, wenn ein Pilot einen falschen Code funkt oder sich auf Anfrage der Flugsicherheit nicht meldet. Am 10. März 2017 wurde ein solcher Renegade-Alarm öffentlich, weil vor dem AKW Brunsbüttel demonstriert wurde, als die Beschäftigten das AKW räumen mussten.
Quelle: presse.wdr.de/plounge/wdr/programm/2017/03/20170316_atomlraftwerke.html

**Normalbetrieb und Niedrigstrahlung:**
Jenseits der Frage katastrophaler Abläufe sind die gesundheitlichen Auswirkungen von Atomkraftwerken im Normalbetrieb umstritten. Jedes Atomkraftwerk gibt im Normalbetrieb über die Abluft und das Abwasser Radioaktivität ab. Diese bleibt zwar unterhalb der gesetzlichen Grenzwerte, trotzdem wird ihre Auswirkung auf die Gesundheit kontrovers beurteilt. In einer groß angelegten Studie für das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) kam das Deutsche Kinderkrebsregister im Jahr 2007 zu dem Ergebnis, dass in einem 5-Kilometer-Umkreis der Atomkraftwerke häufiger Krebs bei Kindern zu finden ist. Die Ambivalenz der Deutung dieses Ergebnisses kann man auf der Seite des BfS lesen:
„Es zeigte sich im Nahbereich um deutsche Kernkraftwerke ein signifikant erhöhtes Risiko bei Kindern unter 5 Jahren, an Krebs zu erkranken. […] Aus den Ergebnissen lässt sich keine sichere Aussage darüber ableiten, ob die von den Leistungsreaktoren ausgehende Radioaktivität kausal mit den erhöhten Erkrankungsraten zusammenhängt."
Quelle: www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/ergebnisse/kikk/kikk-studie.html

# Wie funktioniert ein Atomkraftwerk?






**Schematische Darstellung eines Druckwasserreaktors**
1: Wasser im Primärkreislauf | 2: Reaktordruckbehälter | 3: Brennelemente | 4: Steuerstäbe
5: Wasserdampf | 6: Dampferzeuger | 7: Turbine | 8: Generator | 9: Kondensator
10: kaltes Flußwasser | 11: Kühlturm | 12: elektrischer Strom

**A1: Ergänzt folgenden Lückentext:**

Alle Kraftwerke, die aus Wärme Strom erzeugen, arbeiten nach dem gleichen Prinzip: Eine Wärmequelle (Kohle, Öl, Gas, Uran) überführt Wasser in Wasserdampf, der dann eine Turbine antreibt.
Im Atomkraftwerk dient die Spaltung von Urankernen als Wärmequelle.

Im _____ befindet sich der Reaktorkern mit den _____. Die Kernspaltung wird durch das Herausziehen der _____ in Gang gesetzt. Die dabei freiwerdende Energie erhitzt das _____, das den Reaktorkern umgibt und ihn gleichzeitig kühlt. Das heiße Wasser (über 300°C bei einem Druck von 150 bar) wird zum _____ gepumpt, wo es das Wasser eines zweiten Wasserkreislaufs (Sekundärkreislauf) in _____ überführt. Der Wasserdampf wird über die _____ geleitet, die durch ihre Drehung den _____ antreibt. Dieser liefert schließlich den _____. Der Wasserdampf muss mit Hilfe von _____ wieder zum Kondensieren gebracht werden. Das kondensierte Wasser sammelt sich im _____, von wo es zum Wärmeaustauscher zurückgepumpt wird. Das Kühlwasser muss, bevor es in den Fluss zurückgeleitet wird, zunächst im _____ durch Luftzufuhr gekühlt werden.

Das Kühlsystem darf nicht ausfallen. Wird die Kühlung des Reaktors unterbrochen, überhitzt dieser. Das dann folgende Schmelzen des Reaktorkerns wird als Kernschmelze bezeichnet. Es kommt zum Super-GAU und große Mengen an Radioaktivität werden in die Umgebung freigesetzt.