

# Atomkraftwerke

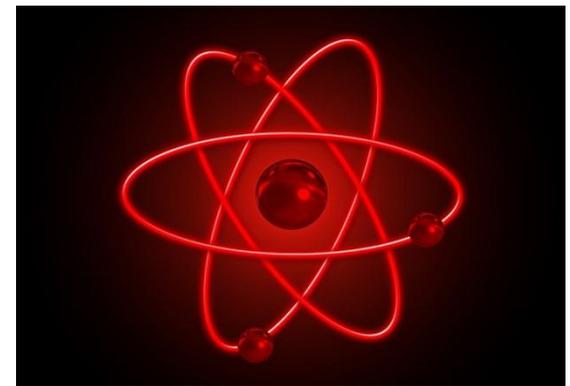
## Aufbau, Funktion & Risiken



forstschule.at



- Gewinnung von Brennstoff
- Aufbau eines AKWs
- Funktion
- Risiken und Gefahren
- AKW Unfälle
- Alternativen für AKW

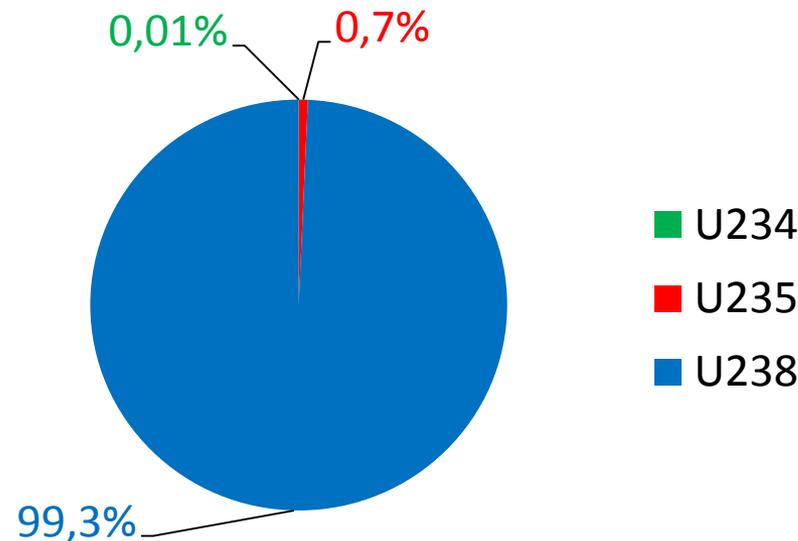


- Ein Atomkraftwerk dient zur Erzeugung von Strom. In einem Reaktor befindet sich in Brennstäben spaltbares Material (Uran). Bei Anregung (durch Neutronen) zerfällt das Uran in neue Elemente und gibt dabei Wärme ab.
- Diese Wärme dient zur Erzeugung von Dampf unter hohem Druck. Dieser Dampf treibt eine Turbine an die wiederum einen Generator antreibt. Dieser erzeugt schlussendlich elektrischen Strom.



## Uran

- Uran ist ein Element aus der Gruppe der Metalle. Es besitzt die Ordnungszahl 92.
- Von Uran existieren 3 natürliche Isotope mit folgender Verteilung:



# Brennstoffgewinnung (Uran)

## ➤ Problemstellung:

Nur Uran 235 ist spaltbar. Die natürliche Verteilung von **0,7% Uran 235** ist zu wenig für einen Reaktor.

## ➤ Lösung:

Man muss das Uran 235 **anreichern**. Dazu sind chemische und physikalische Verfahrenstechniken von Nöten.



**Bild:** reines Uran, 1dm<sup>3</sup> wiegt 18,9kg!

# Gewinnung von Uran

- Uran kommt in der Natur nie rein (gediegen) vor, immer als Mineral (Salz).
- Die Pechblende  $U_3O_8$  ist ein sehr häufig vorkommendes Uranmineral.
- Uranminen existieren in Nordamerika, Afrika, Russland, GUS-Staaten, China und Australien (Bild)



**Bild:** Pechblende, Uranoxid



**Bildquelle:** Kakadu National Park uranium mining  
[https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Ranger\\_Uranium\\_Mine#/media/File:Ranger\\_Uranium\\_Mine\\_01.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Ranger_Uranium_Mine#/media/File:Ranger_Uranium_Mine_01.jpg)  
**Bildautor:** Alberto Otero García from Barcelona, Spain  
[01.08.2017]

## ➤ Chemische Umformung zu $\text{UF}_6$ (Uranhexafluorid)

$\text{UF}_6$  ist ein Fluoridsalz des Urans, das bei  $56^\circ\text{C}$  bereits gasförmig ist. In Gasform kann dieses Salz in Zentrifugen oder Effusionstrennkammern in  $\text{U}235$  und  $\text{U}238$  getrennt werden aufgrund der unterschiedlichen Masse der Isotope.

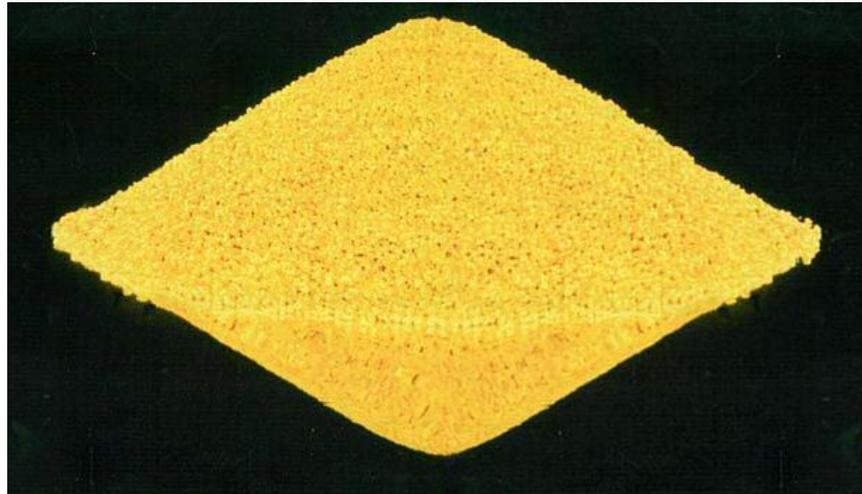
# Brennstoffgewinnung (Uran)

## ➤ Chemische Isolierung:

Uranoxid wird in Schwefelsäure ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) aufgelöst und mit Ammoniaklösung ( $\text{NH}_4\text{OH}$ ) gefällt; dabei entsteht:

Ammoniumdiuranat ( $(\text{NH}_4)_2\text{U}_2\text{O}_7$ )

...das auch Yellowcake genannt wird aufgrund des Aussehens:



## ➤ Chemische Isolierung (Fortsetzung):

...der Yellowcake wird mit Salpetersäure ( $\text{HNO}_3$ ) gelöst. Unlösliche Begleitstoffe werden entfernt. Es entsteht:



Durch vorsichtige Pyrolyse wird anschließend reines: Uran-(VI)-Oxid  $\text{UO}_3$

Aus diesem Oxid wird vorerst  $\text{UF}_4$  Urantetrafluorid hergestellt und anschließend bei  $300^\circ\text{C}$  in Fluorgasatmosphäre das  $\text{UF}_6$  (Bild: festes  $\text{UF}_6$  in einer Glasampulle)



# Brennstoffgewinnung (Uran)



## ➤ Physikalischer Trennung der Uranisotope:

... es liegt nun  $\text{UF}_6$  vor das noch immer aus 99,3% U238 Nuklide und 0,7% U235 Nuklide besteht.

➤ Die Trennung der Isotope kann nur über die Massendifferenz von 3g/mol physikalisch erwirkt werden.

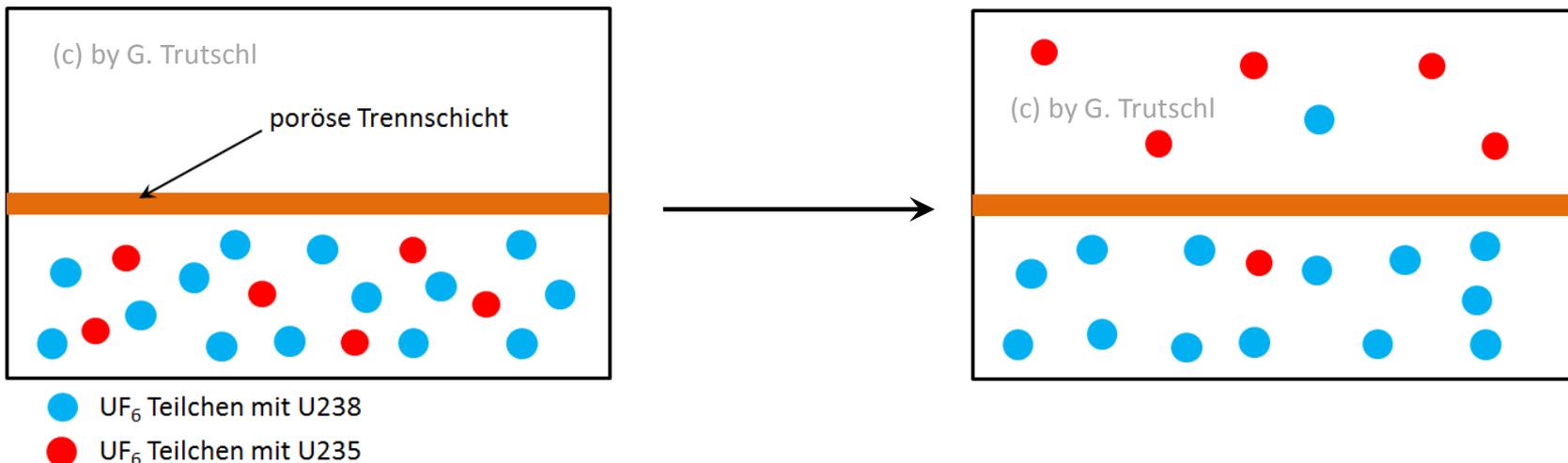
➤ 2 Standardverfahren sind dazu im Einsatz:

- Effusionstrennkammer
- Zentrifugen

# Brennstoffgewinnung (Uran)

## ➤ Effusionstrennkammer

Unter Effusion versteht man, dass leichte Gasteilchen aufgrund der Kinetischen Gastheorie (alle Gasteilchen haben bei gleicher Temperatur dieselbe kinetische Energie) schneller durch kleine Öffnungen fliegen als schwere, sprich sie haben eine höhere Effusionsgeschwindigkeit.



## ➤ Zentrifugen

Die schwereren Gasteilchen werden nach außen gedrückt durch die Rotation. Die leichteren wandern nach oben.

- Leichte Gasteilchen
- Schwere Gasteilchen

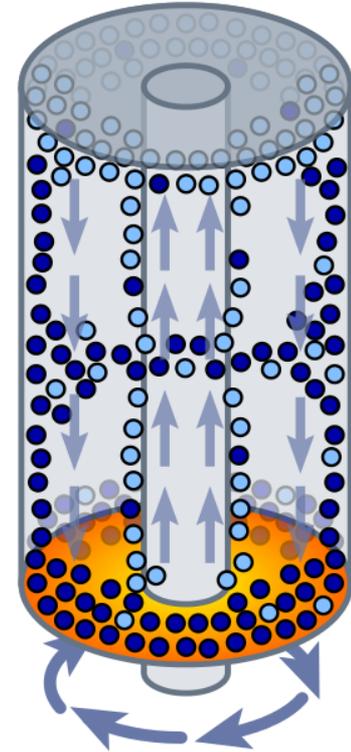


Bild: Zentrifuge  
Gemeinfrei, Bildquelle:  
<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1257584>  
[2.8.2017]

# Brennstoffgewinnung (Uran)

## Uranpellets

- Das reine angereicherte Uran wird wieder in Uranoxid umgewandelt und in Pellets gepresst. Diese werden in einen Brennstab eingefüllt. (Bild oben rechts)
- Mehrere Brennstäbe zusammen ergeben ein Brennelement.
- Mehrere Brennelemente werden in einen Reaktor eingeführt.



**Bild: Uranpellets und Brennstab**

Bildquelle:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Nuclear\\_fuel\\_pellets.jpeg](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/a/ae/Nuclear_fuel_pellets.jpeg)

[2.8.17]



**Bild: Brennelement aus mehreren Brennstäben**

Bildquelle: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Nuclear\\_fuel\\_element.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Nuclear_fuel_element.jpg)

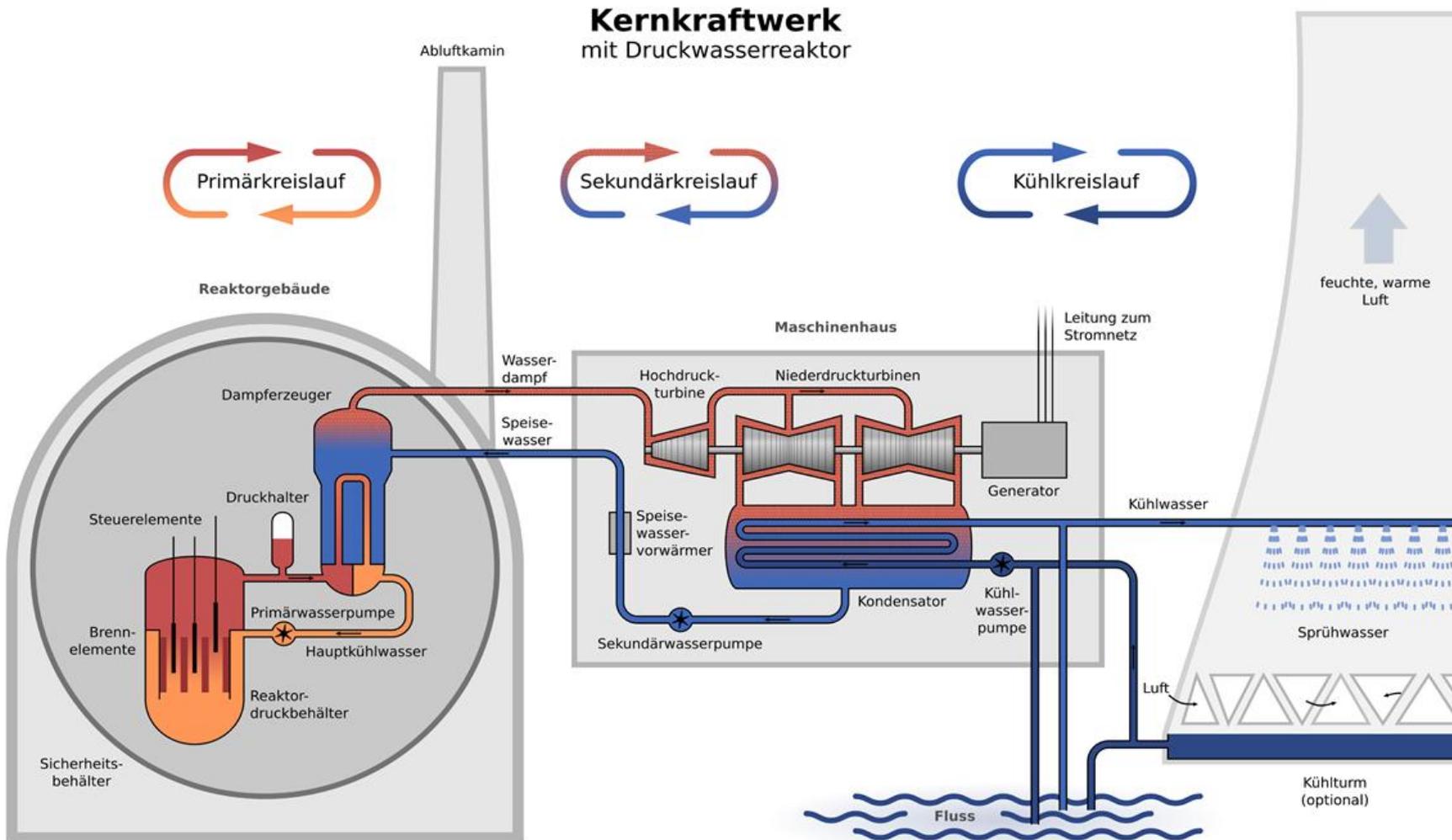
[2.8.17]

## Bestandteile eines AKWs:

- Reaktorgebäude (1m dicke Betonwand)
- Maschinenhaus (Dampfturbine, Generator & Pumpen)
- Kühlturm oder großer Fluss mit genügend Wasserführung über das ganze Jahr über.



# Aufbau eines AKWs



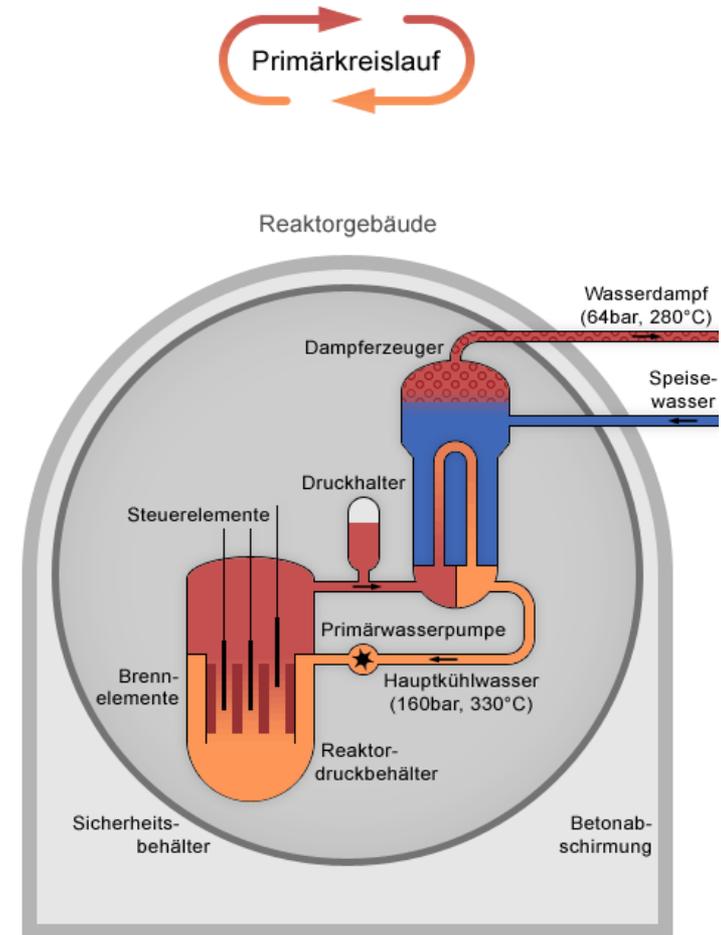
Bildquelle: [https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk\\_mit\\_Druckwasserreaktor.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.png)

Bildautor: [San Jose, Niabot](#) (SVG version) - [File:Nuclear power plant pwr diagram de.png](#)

[2.8.17]

# Das Reaktorgebäude

Im Reaktor befinden sich die **Brennelemente** und **Steuerelemente**. Die Steuerstäbe regulieren die freigesetzten Neutronen. (Sie fangen sie ein.) Somit kann die Kettenreaktion gesteuert und die Leistung kontrolliert werden. Im Reaktor befindet sich Wasser das radioaktiv ist. Dieses heiße Wasser  $330^{\circ}\text{C}$  steht unter hohem Druck 160bar und generiert im **Dampferzeuger** den Dampf ( $64\text{bar}$ ,  $280^{\circ}\text{C}$ ). Der Dampf wird zur Dampfturbine geleitet.



Bildquelle:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk\\_mit\\_Druckwasserreaktor.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.png)

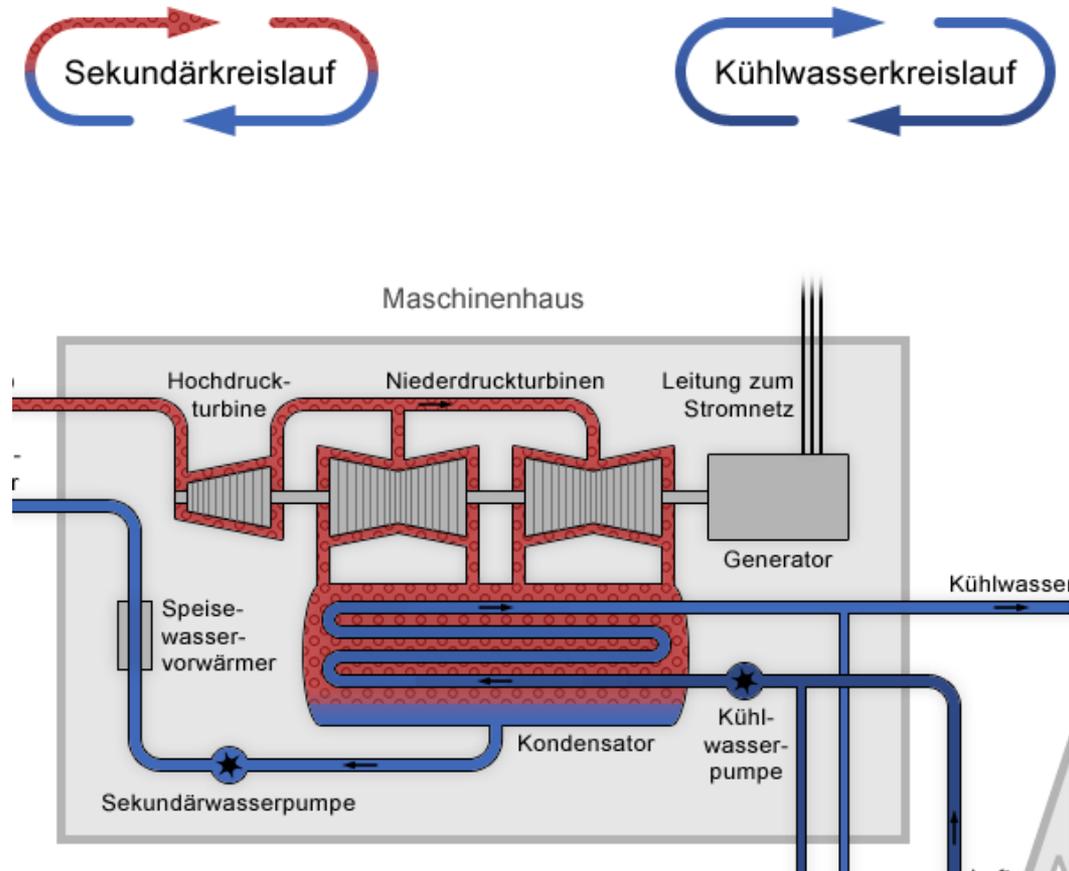
Bildautor: [San Jose, Niabot](#) (SVG version) - [File:Nuclear power plant pwr diagram de.png](#)

[2.8.17]

# Das Maschinenhaus

Der Dampf wird über die **Turbine** geleitet, die wiederum die Energie an den **Generator** abgibt der Strom erzeugt. Aus der Turbine muss der Dampf kondensiert werden und unter hohem Energieaufwand durch die **Sekundärwasserpumpe** wieder in den **Dampferzeuger** zurückgepumpt werden.

Primär- und Sekundärwasserkreislauf haben den Vorteil, dass die Turbine nie mit radioaktivem Wasser/Dampf in Kontakt kommt. Wartungsarbeiter sind im Sekundärkreislauf keiner Strahlung ausgesetzt.



Bildquelle:

[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk\\_mit\\_Druckwasserreaktor.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.png)

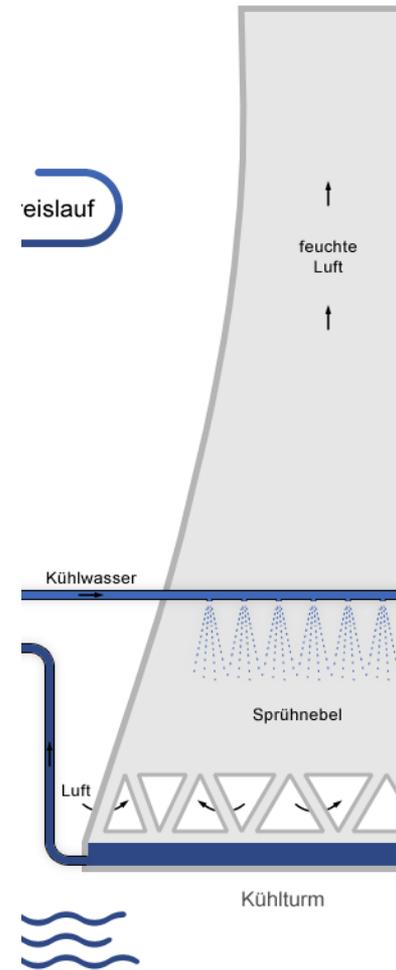
Bildautor: [San Jose, Niabot](#) (SVG version) - [File:Nuclear power plant pwr diagram de.png](#)

[2.8.17]

# Die Kühlung

Um den Dampf des Sekundärkreislaufs zu kühlen wird entweder in **Kühltürmen** gekühlt oder es ist ein großer Fluss in der Nähe der ausreichend Frischwasser das ganze Jahr über führt.

In manchen Fällen wird sogar Meerwasser zu Kühlung genutzt.



Bildquelle:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk\\_mit\\_Druckwasserreaktor.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/5/54/Kernkraftwerk_mit_Druckwasserreaktor.png)  
Bildautor: [San Jose](#), [Niabot](#) (SVG version) - [File:Nuclear power plant pwr diagram de.png](#)  
[2.8.17]

AKWs haben gegenüber anderen Kraftwerkstypen eine hohe Leistung. Hier ein paar typische Reaktoren von AKWs:

Reaktor	Netto-Leistung
Chooz, Frankreich	1500 MW
Isar 2, Deutschland	1410 MW
Ignalina, Russland	1380 MW
Browns Ferry, USA	998 MW
Quad Cities	829 MW
Chinon, Frankreich	480 MW

## ➤ **Kernspaltung** im Reaktor:

Mit thermischen Neutronen werden die **U235** Atome beschossen. Aus dem U235 entsteht kurzfristig das instabile **U236**, was anschließend in 2 weitere Elemente und 3 Neutronen zerfällt. Dabei wird eine große Menge an Wärme frei.

## ➤ **Energieinhalt** von Uran 235:

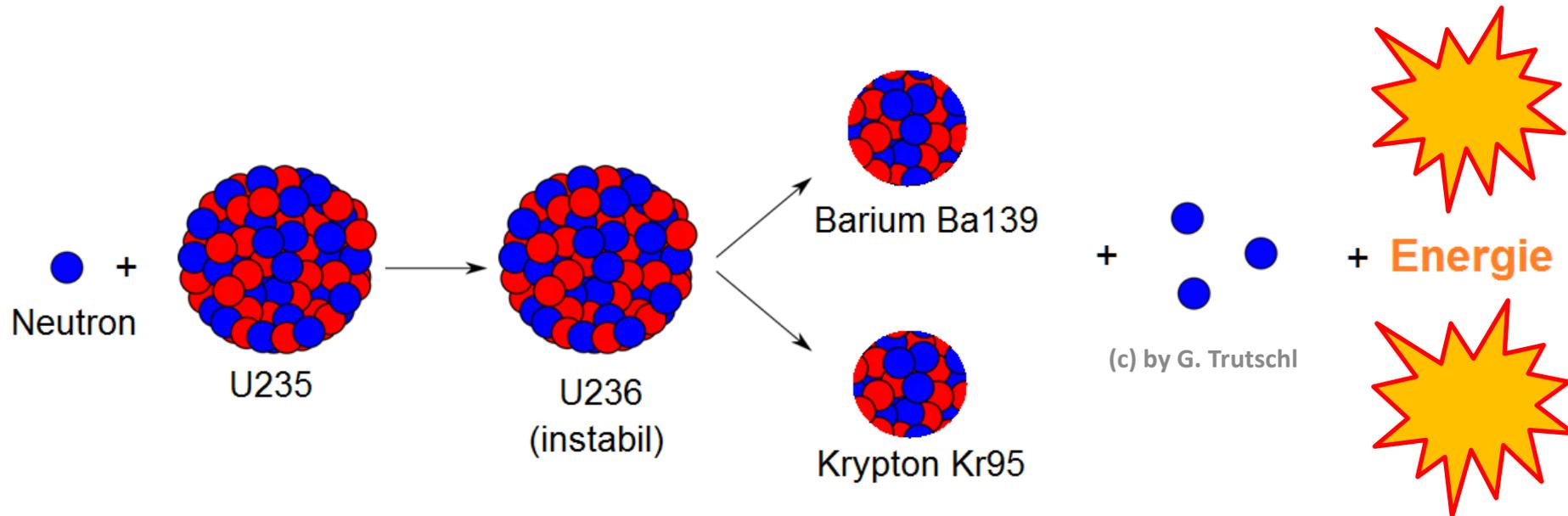
1g Uran235 gibt durch Kern-Spaltung 22,8MWh ab! (Enorme Energiemenge!)

# Funktion: Kernspaltung



forstschule.at

## ➤ Kernreaktion im Detail



## ➤ Risiken:

Immer wieder kommt es zu Störungen, Zwischenfällen und Unfällen in AKWs. Die Folgen für Mensch und Umwelt können katastrophal sein. Die schlimmsten Unfälle ereigneten sich in Tschernobyl (Ukraine 1986) und Fukushima. (Japan 2011). Riesige Gebiete wurden kontaminiert, unbewohnbar gemacht und die Bevölkerung leidet bis heute an den Folgen. Sehr oft sind Kinder Opfer der radioaktiven Strahlung, da sie die Strahlung am schlechtesten vertragen.



## Unfälle chronologisch:

- Hanford Site (Washington, USA) (1945-heute)
- Sellafield (Großbritannien) (10.10.1957)
- Three Mile Island (Pennsylvania, USA) (28.3.1979)
- Tschernobyl (Ukraine) (26.4.1986)
- Fukushima (Japan) (11.3.2011)

## ➤ Hanford Site (Washington, USA) (1945-heute)

Hanford Nuclear Complex war einer der größten Reaktoranlagen der USA zur Synthetisierung von waffenfähigem Plutonium für Atom-Bomben.

Die Reaktoranlagen und Tanks für radioaktivem Abfall wurden nur zum Teil rückgebaut. Viele Tanks sind zur Zeit undicht und verseuchen bis heute große Teile des Grundwassers und den Columbia River.

Jährlich gibt die USA bis zu 2 Mrd. US-Dollar aus um Dekontaminationsmaßnahmen durchzuführen.



Bild: Der Columbia River

Bildquelle: Von DOE photo - official DOE website:

[www.hanford.gov](http://www.hanford.gov), Gemeinfrei,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=2538487>

[2.8.17]



Bildquelle:

Von United States Department of Energy - Image N1D0069267.,

Gemeinfrei,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=3504581>

[2.8.17]

## ➤ Sellafield (Großbritannien) (10.10.1957)

Sellafield ist eine Wiederaufbereitungsanlage. 1957 kam es zu einem Brand im Reaktor Windscale und zur Freisetzung großer Mengen an Radioaktivität.

Es sind bis zu 240 Personen durch die Radioaktivität an Krebs erkrankt.

Auch heute noch gelangen immer wieder radioaktive Substanzen in das Meer.

(2005 entwichen unbemerkt über 83000 Liter hochradioaktive Flüssigkeit über einen längeren Zeitraum ins Meer!)



Bild: Sellafield Wiederaufbereitungsanlage

Bildquelle:

Von Simon Ledingham, CC BY-SA 2.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=7938296>

[2.8.2017]0

## ➤ Three Mile Island (Pennsylvania, USA) (28.3.1979)

In Three Mile Island erfolgte eine partielle Kernschmelze nach Ausfall des Primärwasserkreislaufes. Der Reaktorblock 2 war irreparabel und wurde stillgelegt.

Es entwichen große Mengen an Kryptongas 85 mit einer Aktivität von  $1,67 \cdot 10^{15}$  Becquerel in die Atmosphäre!

Die Zahl der Geschädigten durch die Strahlung nach dem Unfall wurde bis heute verschleiert. Die Dunkelziffer geht von einigen Tausend aus.



Bild: Three Mile Island Komplex

Bildquelle: Von United States Department of Energy -

<http://ma.mbe.doe.gov/me70/history/photos.htm> Copyright status: Identified on DOE page as "DOE photo", i.e. not copyrighted., Gemeinfrei, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=1111348> [2.8.2017]

## ➤ Tschernobyl, Ukraine (26.4.1986)

In Tschernobyl ereignete sich bei einer Übung am Reaktor 4 eine Kernschmelze. Die Katastrophe gilt bis heute als die schlimmste bei AKW Unfällen. Der Reaktor hat sich tief in das Erdreich eingeschmolzen. Eine große Sperrzone wurde um das Gebiet errichtet. Viele Soldaten wurde als Liquidatoren zur Beseitigung von hochradioaktivem Material des explodierten Blocks eingesetzt.

60.000 direkte Opfer und weitere tausende sollen an der radioaktiven Strahlung gestorben sein.

Eine weitere Studien geht von 400.000 direkten und indirekten Toten aus.

Mit EU-Mitteln wird zur Zeit ein dichter Sarkophag um den Reaktorblock 4 errichtet, damit durch Wind kein radioaktives Material verfrachtet werden kann.



## ➤ Fukushima (11.3.2011)

Die Seismometer leiteten nach dem schweren Seebeben vor Japans Ostküste eine Notabschaltung der Reaktorblöcke ein. Die Notstromversorgung und Frischwasserkühlpumpenanlagen wurden durch den Tsunami zerstört. Durch die fehlende Kühlung überhitzten sich die Reaktoren durch die Nachzerfallswärme und das entstehende Knallgas und der hohe Druck ließen die Reaktoren explodieren. Die Reaktoren schmolzen teilweise. Wie viele Tote es direkt und indirekt durch ausgetretene Radioaktivität gibt ist bis heute unklar und wird seitens der japanischen Regierung und des Kraftwerksbetreibers verschleiert. Es wurde eine Sperrzone um das Kraftwerk errichtet und viele tausend Einwohner evakuiert und umgesiedelt.



Bild: Zerstörte Blöcke

Bildquelle: Von Digital Globe - Earthquake and Tsunami damage-Dai Ichi Power Plant, Japan, CC BY-SA 3.0,

<https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=14983011>

## ➤ Müllprobleme, Entsorgung:

Bis heute ist unklar wie man sicher mit dem Atommüll umgehen soll. Derzeit versucht man den Müll unterirdisch in Tunnelanlagen, ehemaligen Bergwerken oder Salzstöcken einzulagern. Durch Erdbeben oder Risse im Untergrund kann der radioaktive Müll allerdings wieder freigesetzt werden.

Das Müllproblem wird auch viele nachkommende Generationen noch beschäftigen. Die Kosten sind derzeit kaum abschätzbar.



# Alternativen

➤ Wasser, Sonne, Wind! ...und das fast kostenlos!

