



INITIATIVE

AUF KURS, ABER NICHT AUF LINIE!

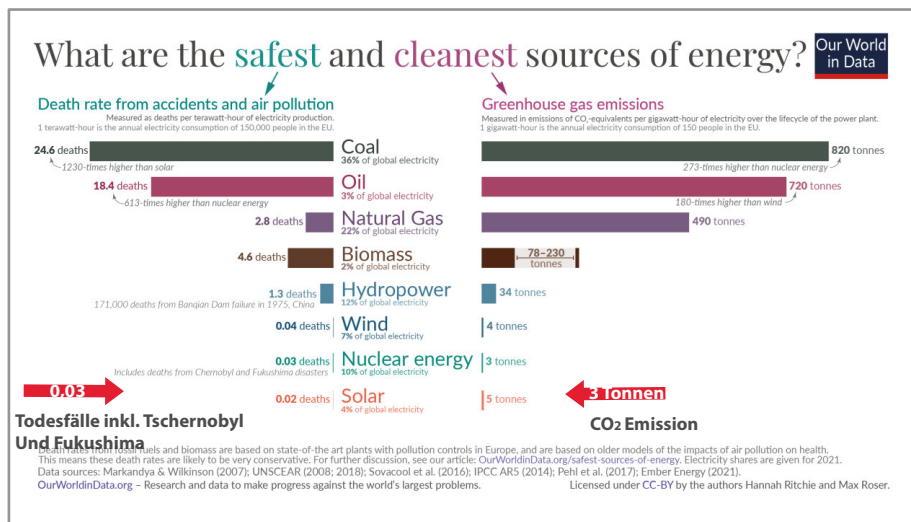


Die Nutzung der Kernenergie ist sicher!

Wenn wir an nukleare Sicherheit denken, kommen uns oft zwei Unfälle in den Sinn: **Tschernobyl** und **Fukushima**. Diese Unfälle verursachen verständlicherweise viele Befürchtungen hinsichtlich der Sicherheit der Kernkraftwerke (KKW) und der eventuell daraus entstehenden negativen Folgen.

Aber ist diese Angst realistisch?

Betrachten wir zunächst die allgemeine Unfallstatistiken in der Industrie der Energieerzeugungen.



Diese Statistik von **Our World in Data** zeigt, dass die Kernenergie nach der Photovoltaik die sicherste Technologie in der Stromerzeugung ist. Nur **0,03 Todesfälle** pro erzeugter Terawattstunde (TWh). Im Vergleich dazu sind bei den fossilen Energieformen, z.B. bei der **Kohle, 24,6 Unfalltote** pro TWh zu beklagen - mehr als **800 Mal soviel**!

Wurde diese Energieform deshalb abgeschaltet? **Nein!** Sie soll abgeschaltet werden wegen des hohen Ausstoßes an CO₂.

Auch hier punktet die Kernenergie. Mit nur **3 Tonnen CO₂ Ausstoß** pro Terawattstunde im Vergleich zu **820 Tonnen** bei der **Kohle**.

Tschernobyl wäre heute nicht mehr möglich

Die **Technologie** aus den Anfängen der 1980er Jahre **ist veraltet** und wird heute nicht mehr verbaut, denn aus diesem Unfall lernten die Ingenieure und zogen ihre Konsequenzen. Bei den bestehenden, und z.T. heute noch selten in Betrieb befindlichen KKW, wurden umfangreiche **Sicherheitsmaßnahmen nachgerüstet**, die eine Wiederholung - nach Aussage der Fachkundigen - unmöglich machen.

Welche Gefahren wären theoretisch möglich und wie werden sie vermieden?

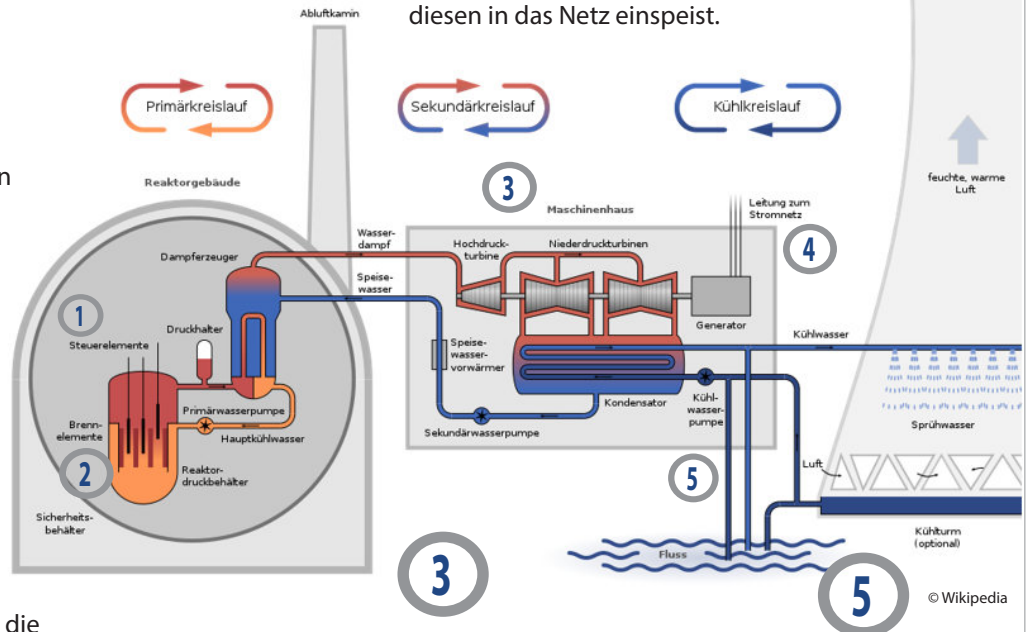
- **Überdruck im Reaktorkern** (Containment)
- **Wasserstoffexplosion**
- **Kernschmelze**
- **Terrorgefahr und Flugzeugabstürze**
- **Verstrahlung im Umfeld**
- **Atommüll Endlagerung**

Um diese (Nicht-) Gefahren einschätzen zu können, schauen wir uns einmal die Techniken dazu an, müssen jedoch zunächst das Wirkprinzip eines Kernkraftwerkes verstehen:

Wie funktioniert ein Kernkraftwerk (Bsp.: Druckwasserreaktor)?

1
Die Steuerelemente heben und senken sich und steuern dadurch den Prozess der Kernreaktion. Im Falle eines Stromausfalles fallen diese herunter (max. Senkposition) und beenden damit schlagartig diese Kernreaktion.

2
Zwischen den Brennelementen findet die Kernreaktion statt, moderiert durch das Kühlwasser. Dieses erhitzt sich und wird unter hohem Druck im „**Druckbehälter**“ flüssig gehalten.



Im Maschinenhaus wird der zuvor im Reaktorgebäude erzeugte Wasserdampf den zwei Hochdruck- und Niederdruckturbinen zugeführt.

Das abgekühlte Wasser des Primärkreislaufes **UND** frisches Kühlwasser aus dem Fluss wird dem Primärkreislauf wieder zugeführt. Der Prozess beginnt erneut!

Aufbau eines Kernkraftwerks mit Druckwasserreaktor, sichtbar ist der Primärkreis (rot im Containment), der Sekundärkreis befindet sich im Maschinenhaus und der Tertiärkreis zum Fluss befindet sich im Kühlturm.

Der Betriebsdruck des Wassers wird anders als beim Siedewasserreaktor so hoch gewählt, dass es bei der vorgesehenen Betriebstemperatur nicht siedet. Die Brennstäbe sind daher gleichmäßig benetzt, die Wärmeverteilung an ihrer Oberfläche ist ausgeglichen, und die Dampfphase mit ihrer besonderen Korrosionswirkung entfällt. Die gleichmäßige Wärmeverteilung bewirkt ein ruhiges Regelverhalten bei guter Ausnutzung der freiwerdenden Energie.

Das im Reaktorkern erhitzte Wasser (Primärkreislauf) gibt in einem Dampferzeuger seine Wärme an einen getrennten Wasserdampf-Kreislauf ab, den Sekundärkreislauf. Der **Sekundärkreislauf ist frei von Radioaktivität** aus Abrieb und Korrosionsprodukten, was z. B. die Wartung der Dampfturbine wesentlich erleichtert.

Meist wird leichtes Wasser (H₂O) als Kühlmedium für die Brennstäbe, also als Transportmedium für die gewonnene Wärmeenergie verwendet. Diese Reaktoren gehören daher zu den Leichtwasserreaktoren. Weltweit gibt es nach Angaben der Internationalen Atomenergie-Organisation rund 300 (von 409) dieser Reaktoren bzw. Kraftwerke (Stand 2023).

Das wichtigste Bauteil ist der **Sicherheitsbehälter**.

Der Reaktordruckbehälter eines Druckwasserreaktors ist von einem oder mehreren ineinander geschachtelten Sicherheitsbehältern (Containments) umgeben. Die Sicherheitsbehälter haben keine betriebliche Funktion, sondern dienen dem Abschluss verschiedener Betriebsbereiche gegeneinander und nach außen.

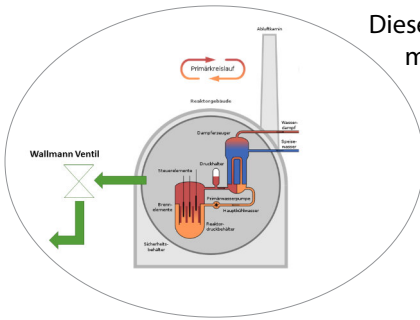
Bei den in der Auslegung berücksichtigten normalen oder besonderen Betriebszuständen beschränken die inneren Sicherheitsbehälter den **Austritt von radioaktivem Dampf** oder **radioaktivem Gas** auf möglichst kleine Mengen. Die äußeren Sicherheitsbehälter sollen eine Fremdeinwirkung von außen auf den Reaktor verhindern. Jeder Sicherheitsbehälter ist für einen bestimmten maximalen Druck von innen und für eine bestimmte maximale Einwirkung (Impulsbelastung) von außen bemessen.

Ältere KKW besaßen lediglich ein Betriebsgebäude, das Wettereinwirkung auf die Anlage verhindert, aber keinen Abschluss gegen Dampfaustritt, keinen Schutz gegen explosionsartig erhöhten Druck oder gegen Aufprall eines Flugkörpers bietet.

Solche Anlagen sind heute (ab 2016) in Westeuropa nicht mehr in Betrieb.

AUF KURS, ABER NICHT AUF LINIE!

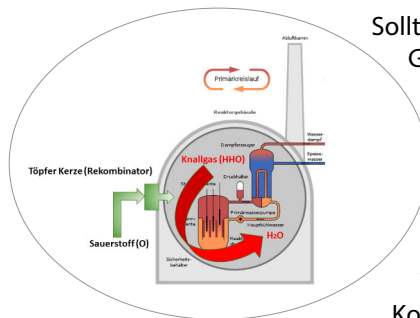
Gefahr durch Überdruck im Reaktorkern



Dieser Gefahrenquelle begegnete man mit dem Einbau eines sogenannten „**Wallmann Ventils**“, mit dem der Druck im Containment (Sicherheitsbehälter) überwacht und ggfs. im Falle eines Überdrucks reduziert (Venting) wird. Ähnlich einem Ventil in einem Schnellkochtopf wird der Überdruck (heißer Wasserdampf) abgelassen. In älteren KKW wurden diese Ventile aufgrund der Untersuchungen und Vorschläge der **Reaktor-Sicherheitskommission (RSK)** nachgerüstet und wurden ab 1987 gesetzlich zur Pflicht.

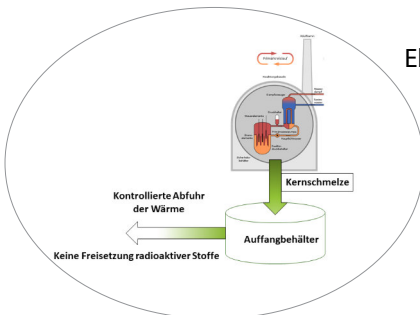
Den Namen bekam das Ventil zu Ehren eines deutschen *Ministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit* **Walter Wallmann**.

Gefahr durch Wasserstoffexplosion



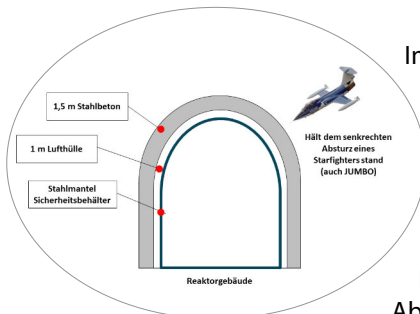
Sollte die Steuerung der nuklearen Kernreaktion versagen, bildet sich u. U. ein explosives Gasmisch im Sicherheitsbehälter. Je nach Volumen-Verhältnis zwischen Wasserstoff (H) und Sauerstoff (O) kann das explosive Knallgas (HHO) entstehen. Knallgas bildet sich, wenn das Volumenverhältnis des Wasserstoffs größer als 18% und kleiner als 76 % ist. Bei weniger als 18% ist dieses Gemisch zwar entzündlich, aber nicht explosiv. Bei größer als 76 % ist es jedoch nicht mehr explosiv. Die Töpferkerze, auch als **Rekombinator** bezeichnet, bläst nun im Gefahrenfall Sauerstoff in das Gemisch im Sicherheitsbehälter, wobei sich wiederum das Mischungsverhältnis zwischen Wasserstoff und Sauerstoff positiv ändert und es nun zu Wasser „rekombiniert“. **Es ist ungefährlich geworden**. Auch diese Techniken wurden als Konsequenz aus Tschernobyl in den bestehenden KKW nachgerüstet. Auch **Töpfer** war ein deutscher Umweltminister!

Gefahr durch Kernschmelze



Ebenfalls als Konsequenz aus Tschernobyl wurden in allen neuen KKW sog. **Auffangbehälter** eingebaut, die im Falle einer Kernschmelze diese **radioaktive Masse auffangen** und **kontrolliert abführen**. Dadurch dass die Masse sich nun ausdehnen kann, entspannt der nukleare Prozess und die Prozesswärme kommt nahezu zum Erliegen. Die danach weiter bestehende Restwärme ist gut zu handhaben und stellt keine große Gefahr dar. Die **radioaktive Masse** ist ebenfalls „eingekapselt“.

Gefahr durch Terroranschläge und Flugzeugabstürze



Immer wieder wurde von Kritikern der Kernenergie die Gefahr eines terroristischen Anschlages heraufbeschworen. Auch hier hat sich die Technologie drastisch verbessert. So ist der sog. Sicherheitsbehälter, in dem der nukleare Prozess stattfindet, in einem dicken Stahlbetonmantel eingekapselt. Dieser besitzt eine Stärke von 1,5 m. Es folgt dann eine 1 m dicke Lufthülle. Letztlich besteht der Sicherheitsbehälter innen dann aus einem robusten Stahlmantel. Diese Umkapselung ist nun so stark, dass sie einen vertikalen Absturz z.B. eines Starfighters problemlos übersteht. Das Gleiche gilt auch für den Absturz eines Passagierflugzeuges (Jumbo). Somit sind die Behälter damit auch gegen terroristische Abstürze eines gekaperten Flugzeuges gesichert.

Statistische Sicherheit von Kernkraftwerken

In der Kerntechnik ist es üblich, die Wahrscheinlichkeit von Unfällen statistisch zu berechnen. Man unterscheidet zwischen

- **CDF** (Core Damage Frequency) Kernschadenshäufigkeit **OHNE** Freisetzung von Radioaktivität und
- **LRF** (Large Release Frequency) Kernschadenshäufigkeit **MIT** Freisetzung von Radioaktivität.

AUF KURS, ABER NICHT AUF LINIE!

Unfallwahrscheinlichkeit (LRF) verschiedener Reaktortypen in Jahren



Kontext

DWR	Druckwasserreaktor
SWR	Siedewasserreaktor
EPR	Druckwasserreaktor 3. Gen.
HTR	Hochtemperaturreaktor
MSR	Flüssigsalzreaktor

Abb.: Verbesserung der Unfallwahrscheinlichkeit mit jeder neuen KKW-Generation

Allerdings sind diese Berechnungen sehr umstritten und die Unfälle von **Tschernobyl** und **Fukushima** beweisen „angeblich“ das Gegenteil, da dazwischen „nur“ 40 Jahre liegen.

Der Unfall von Tschernobyl 1986

Das KKW Tschernobyl diente im Wesentlichen auch militärischen Zwecken im kalten Krieg und stand unter der Aufsicht des sowjetischen KGB. In unmittelbarer Nachbarschaft standen große Antennenfelder mit einem sehr hohen Energiebedarf zur feindlichen Flugzeug- und Raketenabwehr (Experimente zur Ausschaltung der feindlichen Steuerungselektronik) mittels Energiestrahlen. In den späten 1980er Jahren untersuchte der russische Kernphysiker Prof. Tschescherow die Tschernobyl Ruine und stellte seltsame Phänomene fest. Weiterhin bewies er durch Zeugenbefragungen und weitere Fakten, dass vor der Explosion ein Erdbeben stattfand, welches die Steuerung des KKW außer Betrieb setzte. (siehe Filmbericht „Die Wahrheit über Tschernobyl“). Dass KKW stand zwar auf einer „Erdspalte“, jedoch nicht in einem erdbebengefährdeten Gebiet. Der KGB verschleierte diese Fakten - wer gestand im Kommunismus schon Fehler ein - und gab der Bedienungsmannschaft die Schuld, die dafür auch für mehrere Jahre inhaftiert wurde. Über die Auslösung des Erdbebens rankt sich bis heute eine bestimmte Theorie! Der Unfall verursachte ca. **50 Todesfälle**. *

Sollte das Erdbeben wahr sein, und alle Fakten sprechen dafür, war „**nicht die Kerntechnologie originär**“ schuld an dem Unglück, sondern ein **Naturereignis**.

Der Unfall von Fukushima 2011

Dieser Unfall wurde durch ein Seebeben (Tsunami) der Stärke 9.0 ausgelöst. Alle KKW in Japan schalteten jedoch rechtzeitig ihren Betrieb aufgrund des Erdbebenalarms vorschriftsmäßig ab. Aufgrund der hohen Tsunamiwellen wurden die Notkühlsysteme, die ebenerdig platziert waren, was man heute als Konstruktions- und Systemfehler bezeichnet, überflutet und versagten. In der Folge kam es zu Wasserstoffexplosionen (siehe oben). Dieser Kraftwerktyp verfügte nicht über Sicherheitsmaßnahmen wie z.B. oben beschrieben.

In der **Folge des Tsunamis** starben ca. **22.000 Menschen**, **nicht** aber **an den Folgen** der KKW Explosion.

Auch hier gilt, „**nicht die Kerntechnologie war originär**“ schuld an den vielen Todesopfern, sondern ein **Naturereignis**.

Im Jahr 2018 berichtete die japanische Regierung, dass inzwischen **ein Arbeiter an Lungenkrebs** infolge der Strahlenbelastung durch das Ereignis gestorben sei. Im letzten Jahrzehnt wurde in zahlreichen Studien untersucht, ob für die lokale Bevölkerung ein erhöhtes Krebsrisiko besteht. Es scheint kein erhöhtes Risiko für Krebs oder andere strahlenbedingte gesundheitliche Auswirkungen zu geben. Im Jahr 2016 stellte die Weltgesundheitsorganisation fest, dass das **Risiko erhöhter Krebstodesfälle in Japan sehr gering** sei. *

Fazit

Selbstverständlich sind diese Unfälle schlimm und sollten nicht verharmlost werden. Die Frage ist nur, kann man diese Unfälle der Kerntechnologie allgemein anlasten mit dem Argument, diese Technologie ist nicht sicher und nicht beherrschbar, so das Narrativ der Gegner der Kernenergie. **JEDE** menschliche Technik besitzt Gefährdungspotential, egal ob Strassen- oder Flugverkehr, Chemie- oder sonstige Technik.

Als Beispiel sei nur das Unglück des Chemiewerkes im indischen Bhopal 1984 erwähnt - verursacht durch menschliche Fehler. Hier starben in direkter Folge des Unglücks geschätzt zwischen 3800 und 25.000 Menschen und 500.000 wurden teils schwer verletzt. Erfolgte hier jemals der Ruf, alle Chemiewerke der Welt stillzulegen? **NEIN!**

Das Atommüll Problem



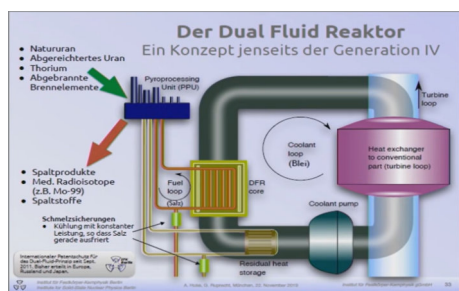
Der sog. Atommüll ist ein alles beherrschendes Thema, wenn es um die Sicherheit und Folgerisiken der Kerntechnologie geht. Selbstverständlich gibt es auch hier maßgebliche Fortschritte bei der Wieder- Aufbereitung des Atommülls.

„Ein Atommüllproblem gibt es nicht“ - so jedenfalls Experten aus der Branche. Das Wort wird als Totschlagargument politisch gebraucht. Die Entsorgung abgebrannter Brennelemente, die Behandlung radioaktiver Abfälle und Rückbau der KKW sind technisch gelöst.

„Nach **300 Jahren ist 99,9 % weg**, zerfallen und stabil. Dann hat das umgebende Gestein oder das Salz im Endlager mehr Radioaktivität als der Atommüll“.

„Nicht verbrauchtes Uran, Plutonium und andere Transurane, **96 %** in einem solchen Brennelement, sind **wertvoller Kernbrennstoff**. Bei einer Wiederaufarbeitung erhält man aus **2 abgebrannten** Elementen ein **neues MOX-Element** (Mischoxid: **Plutonium und Uran**)“.

Das Atommüll- bzw. Endlagerproblem wird allerdings von Experten SEHR kontrovers diskutiert. Man befürchtet undichte Endlager mit Austritt von Radioaktivität in die Biosphäre und Grundwasserbelastung (Radionuklidwanderung).

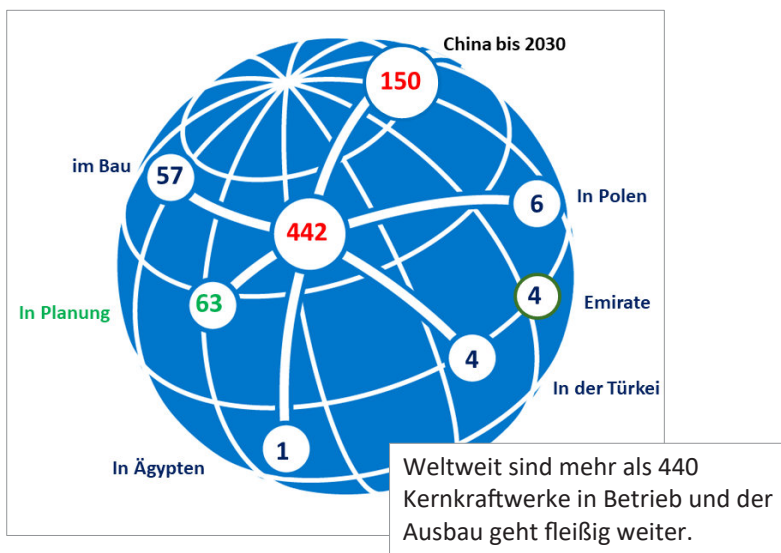


Zukunft der Kernkraftwerke

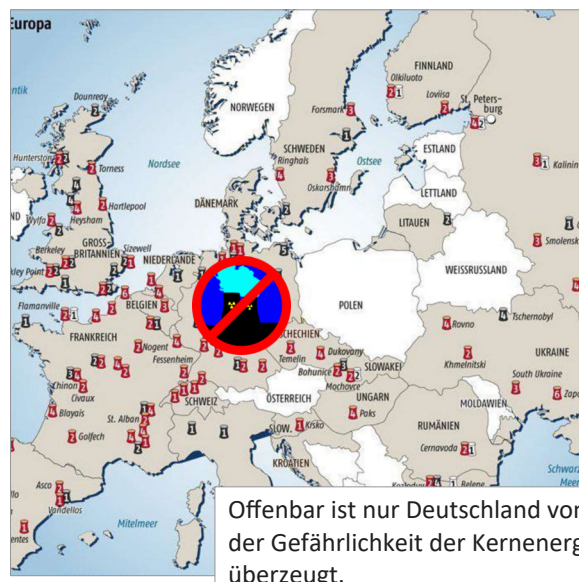
Die neuen Dual Fluid Reaktoren (Flüssigsalzreaktoren) verbrennen den Atommüll als Rohstoff und lösen somit weitestgehend das alte Endlagerproblem. Der Energievorrat in diesem Atommüll soll in Deutschland für ca. 100 Jahre reichen. Bei diesen Typen fällt nur minimaler Atommüll an, der jedoch schwach radioaktiv ist und nach ca. 100 Jahren ungefährlich sein soll.

Die Holländer z.B. machen es vor. Sie suchen keine Endlager sonder bauen Zwischenlager aus zugänglichen Betonröhren. So kann eine zukünftige Verwertung jederzeit erfolgen. Sie betrachten den Atommüll nämlich als **Energiereserve** für die Zukunft!

Kernkraftwerke weltweit



Kernkraftwerke in Europa



* siehe auch Bericht **Our World in Data** „Wie hoch waren die Todesopfer in Tschernobyl und Fukushima“. Dieser Bericht befasst sich auch ausführlich mit den Spätfolgen der beiden Unfälle!!!

Quellen: WIKIPEDIA , www.klimanachrichten.de „Abschied von der Kernenergie“