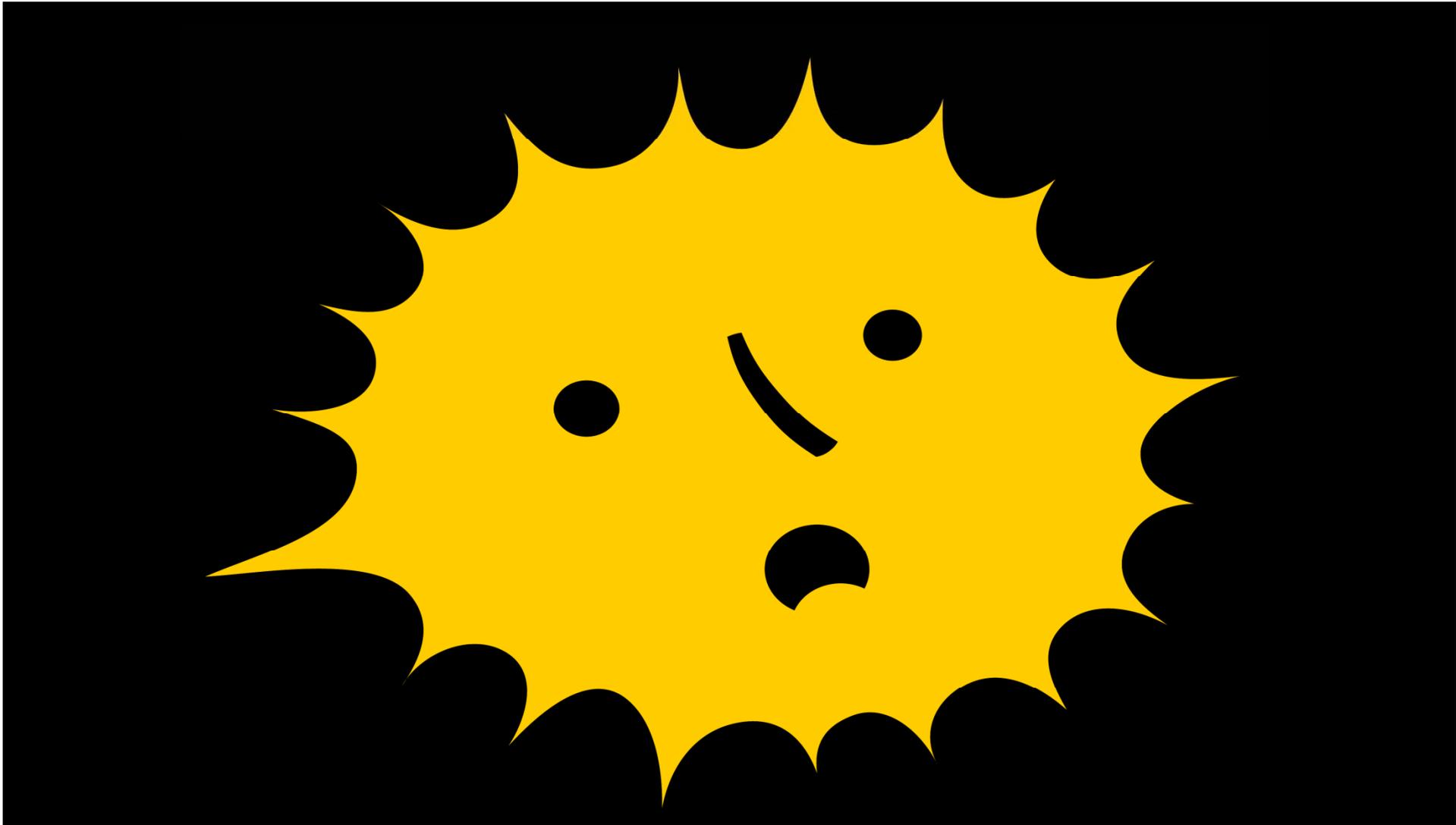
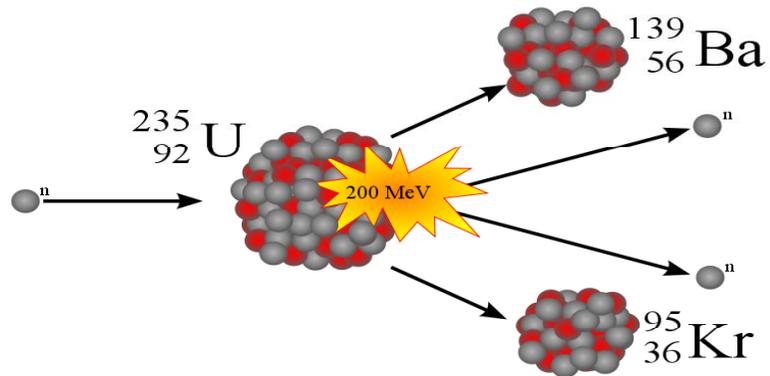


# Strahlende Stille Fukushima nach der Katastrophe

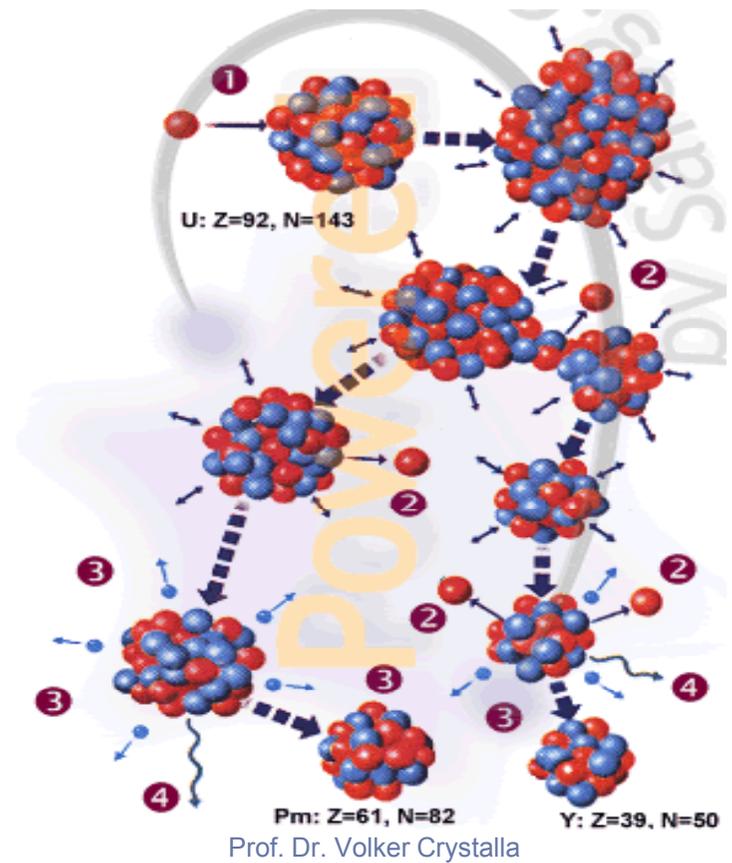
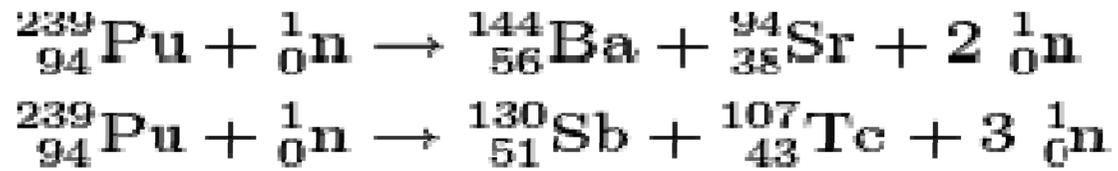
Prof. Dr. Volker Crystalla







Quelle: [de.wikipedia.org/wiki/Kernspaltung](https://de.wikipedia.org/wiki/Kernspaltung)



## Plutonium-Erbrütung

- $^{238}\text{U} + n \Rightarrow ^{239}\text{U} \Rightarrow \beta\text{-Zerfall} \Rightarrow ^{239}\text{Np} \Rightarrow \beta\text{-Zerfall} \Rightarrow ^{239}\text{Pu}$

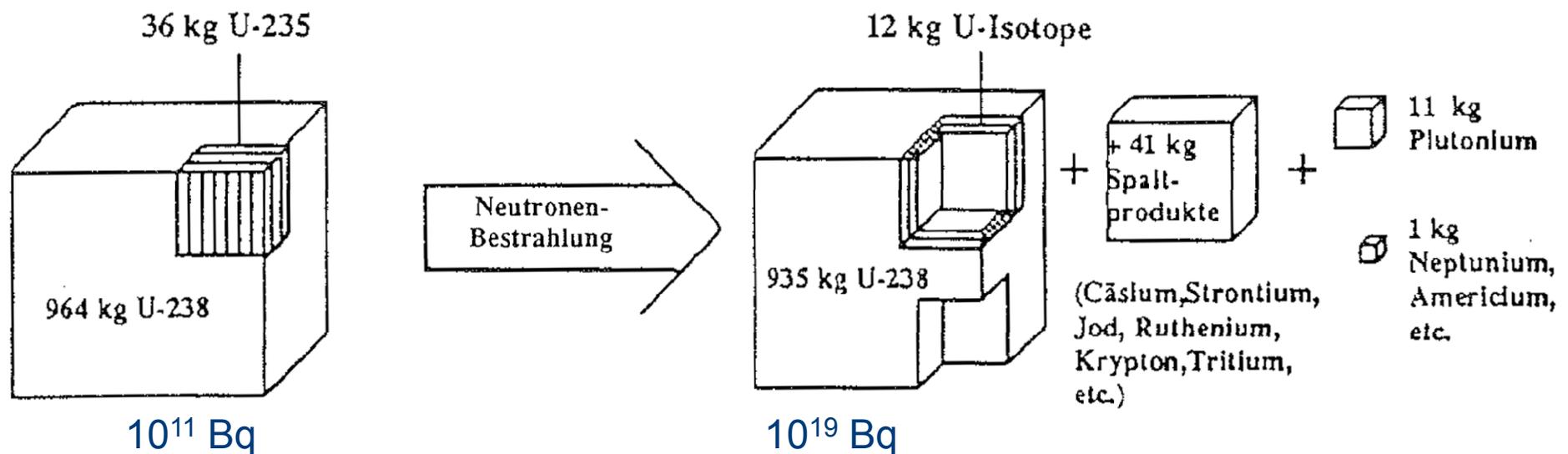
## Plutonium-Nutzung

- $^{239}\text{Pu}$  ebenso wie  $^{235}\text{U}$  zur Kettenreaktion geeignet
- begehrter „Bomben“-Stoff
- als MOX-Brennelemente in Kernreaktoren eingesetzt
  - Block III Fukushima
  - auch in Deutschland

## Energie- und Atommüll-Erzeugung

Brennwert:  
Uran (3,5%)  
Kohle

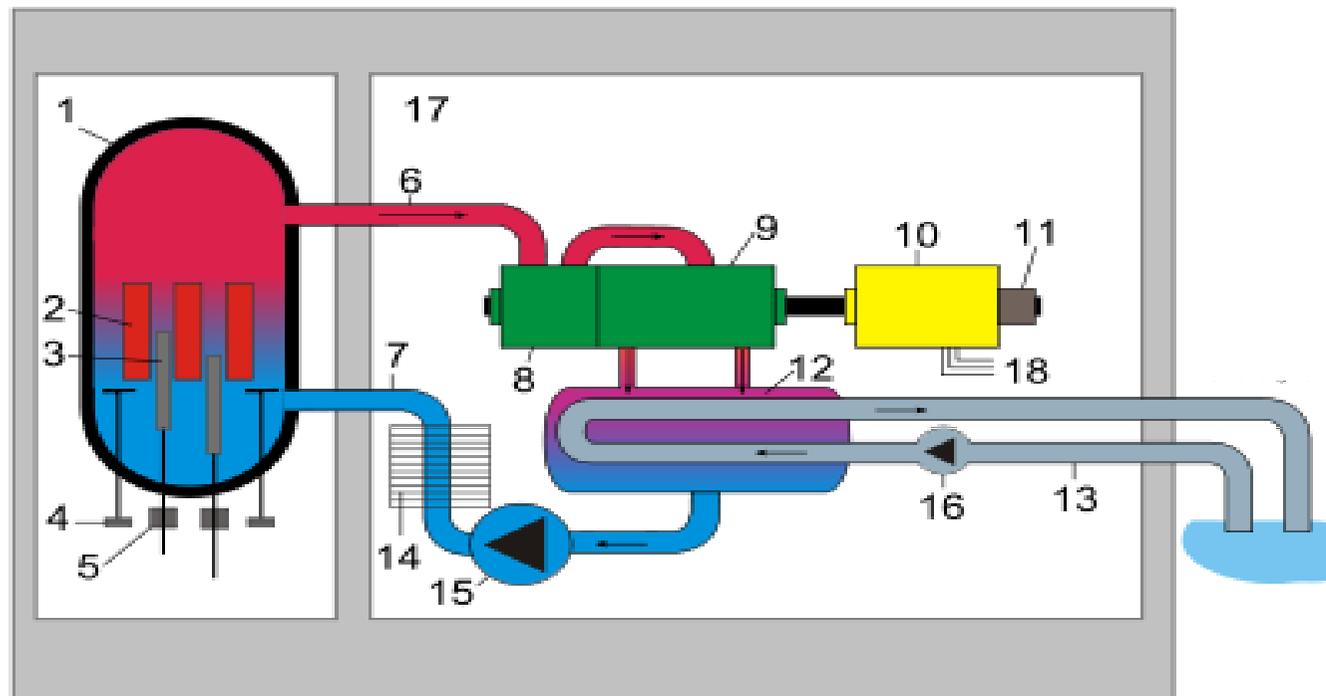
$10^9$  kWh/t  
 $10^4$  kWh/t



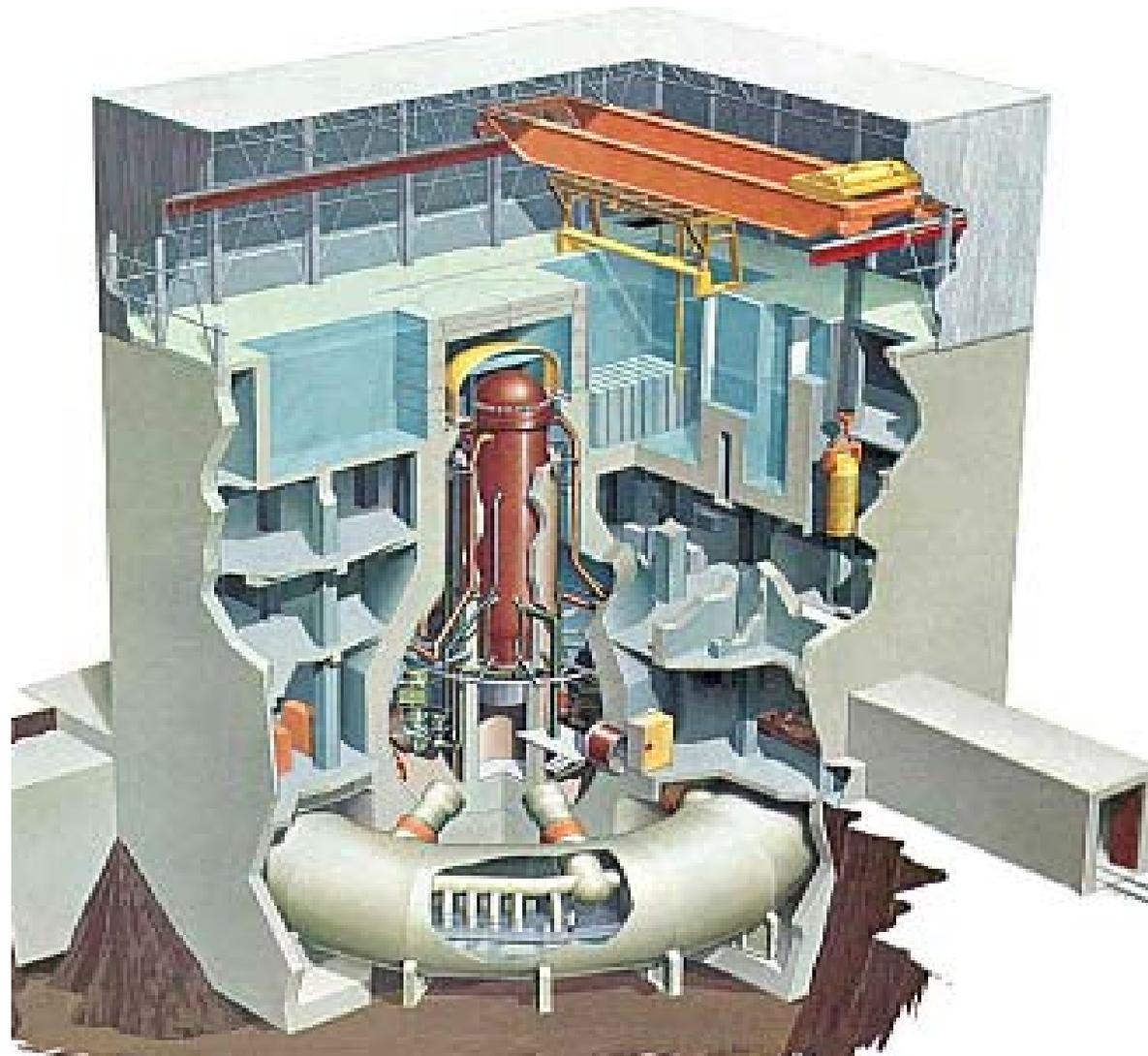
Quelle: Kernforschungszentrum Karlsruhe 3014, 1983, modifiziert.

Prof. Dr. Volker Crystalla

## Siedewasserreaktor



- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Brennelemente,  
bestehend aus Brennstäben
- 3 Steuerstäbe
- 4 Umwälzpumpen
- 5 Steuerstabantriebe
- 6 Heißdampf
- 7 Speisewasser (Moderator)
- 8 Hochdruckturbine
- 9 Niederdruckturbine
- 10 Generator
- 11 Erreger
- 12 Kondensator
- 13 Kühlwasser  
(in Deutschland: Kühltürme )
- 14 Vorwärmer
- 15 Speisewasserpumpe
- 16 Kühlwasserpumpe
- 17 Betonabschirmung
- 18 Stromleitung

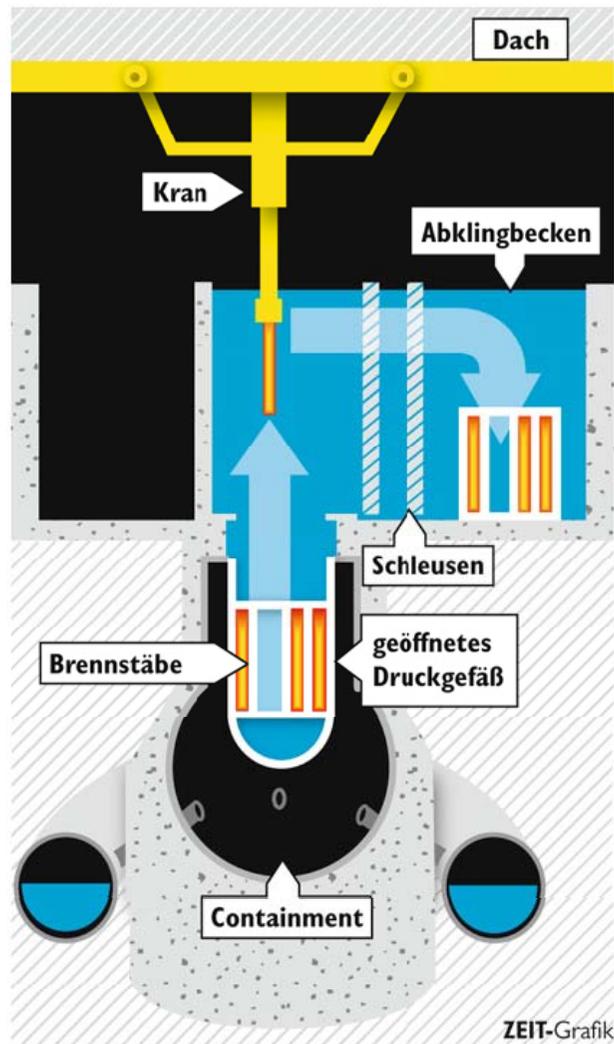


### Siedewasserreaktor

Die Grafik zeigt den Schnitt durch einen Siedewasserreaktor wie er auch im japanischen Fukushima steht. Im Zentrum befindet sich der Reaktordruckbehälter mit den Kernbrennstäben. Unterhalb des orange gefärbten Lastenkranes liegt das Abklingbecken, in dem verbrauchte Brennstäbe ihre Restwärme nach und nach abgeben sollen.

©U.S. Nuclear Regulatory Commission

Gefunden in:  
spektrumdirekt  
[http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/detail.php?id=1066570&\\_z=8...](http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/detail.php?id=1066570&_z=8...)  
16. März 2011  
und  
spektrumdirekt  
[http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/detail.php?id=1067278&\\_Z=8...](http://www.spektrumdirekt.de/sixcms/detail.php?id=1067278&_Z=8...)  
Ausgabe vom 25. März 2011



### Stabwechsel

Brennstoff-Austausch in einem Siedewasserreaktor:  
 Zum Entladen werden die Deckel des Containments und des  
 Reaktordruckgefäßes abgenommen, das Innere wird bis auf die Höhe des  
 Wasserspiegels im Abklingbecken geflutet. Dann öffnet sich die Schleuse,  
 und ein Kran hebt die abgebrannten Brennelemente aus dem  
 Reaktordruckgefäß heraus, hinüber in ein Gestell im Becken.  
 Die abgebrannten Elemente strahlen extrem stark, müssen daher unter  
 Wasser bleiben. Im Abklingbecken bleiben sie viele Monate lang.  
 Währenddessen müssen sie ständig **gekühlt** werden. HST

Aus „DIE ZEIT“ vom 24.3.2011  
 Titel: „Stabwechsel“ und „GAU im Pool“  
 Quelle: [www.zeit.de/2011/13/Abkuehlbecken](http://www.zeit.de/2011/13/Abkuehlbecken)

Leistungsdichte im Reaktor: 100 MW/m<sup>3</sup> entsprechend 10<sup>5</sup> Sv/s  
natürliche Strahlenbelastung: 1-5 mSv/Jahr gemittelt 10<sup>-10</sup> Sv/s

Unterschied: 10<sup>15</sup> oder eine Billionarde

**1 : 1 000 000 000 000 000**

- 1 : 1 000 000 000 000 000 zur Leistungsdichte im laufenden Reaktor
- 1 : 100 000 000 000 000 zur Leistungsdichte im abgeschalteten Reaktor
- 1 : 1 000 000 000 000 im Abklingbecken
- 1 : 100 000 000 letale Dosis (nach 7 min Exposition)
- 1 : 10 000 000 letale Dosis (nach 1 h Exposition)
- 1 : 10 000 000 max. Lebens-Dosis (nach 7 min Exposition)
- 1 : 1 000 000 max. Lebens-Dosis (nach 1 h Exposition)

## verschiedene Wege der Gefährdung

- Material aus dem Reaktor wird freigesetzt
  - Jod-131  $t_{1/2} = 8$  Tage Beta- und Gamma-Strahler
  - Cäsium-137  $t_{1/2} = 30$  Jahre Beta-Strahler
  - Strontium-90  $t_{1/2} = 29$  Jahre Beta-Strahler
  - Plutonium-239  $t_{1/2} = 24\ 000$  Jahre Alpha-Strahler
  - ... und viele mehr
- Aerosole, Fall-Out, radioaktive Partikel in Abluft-Fahne
  - Eintrag in die Biosphäre, in die Nahrungskette
  - Verdünnung, aber auch Anreicherung in Biosystemen

## verschiedene Wege der Gefährdung (Forts.)

- Strahlung aus der Kettenreaktion
- und Strahlung vom Reaktor-Abbrand
  - Brennstäbe im Reaktor
  - Brennstäbe, verbraucht (Abklingbecken,...)
  - sonstiger Atommüll
- Wellen-Strahlung
  - Gamma-Strahlung
- Teilchen-Strahlung
  - Alpha-Strahlung
  - Beta-Strahlung
  - Neutronen-Strahlung

## Strahlenkrankheit (Strahlensyndrom)

- **Symptome:** Übelkeit, Erbrechen, Blutbildveränderungen, Entzündungen, punktförmige lokale Blutungen, Strahlengeschwür, Abgeschlagenheit, Fieber, Diarrhoe.
- **Schwellenwert:** ja (*ca. 250 mSv = 1/4 Sievert*)
- **Deterministische Wirkung:** Jeder Betroffene erkrankt
- **Dosis-Wirkungs-Zusammenhang:**  
Je höher die Dosis, desto schwerer die Krankheitssymptome.
- **Tödlich:** ja, bei hohen Dosen. (*3 - 4 Sievert*) ( $LD_{50/30}$ )
- **Zeitlicher Verlauf:**  
Symptome treten nach Stunden oder Tagen auf, können nach Tagen oder Wochen abklingen und in Wellen wieder verstärkt auftreten. Es handelt sich um **Kurzzeitfolgen**. Sie sind als **direkte Folge der Bestrahlung** erkennbar.

## weitere Strahlenkrankheiten

- durch Tschernobyl als Strahlenschäden bekannt:
  - Blutarmut,
  - Uveitis (Entzündung des inneren Auges) bei Babies,
  - Katarakt (grauer Star),
  - Veränderung der Schilddrüsen,
  - Neurologische Defekte,
  - chron. Kopfschmerz,
  - Immunschwäche,
  - Infektions-krankheiten verschiedenster Art, z.B. Tuberkulose,
  - Osteomyelitis (Knochenmark-Entzündung)
- Schwellenwert: ????
- Stochastische Wirkung: ????
- Dosis-Wirkungs-Zusammenhang: ????
- Zeitlicher Ablauf: wenig bis keine Latenzzeit.

## Langzeitfolgen (Erbschäden)

- **Genetische Defekte in der Keim-Bahn**
  - Veränderungen am Erbmateriale der Zellen,  
die für die „Weitergabe des Lebens“ zuständig sind
- **Symptome:**
  - Mißbildungen,
  - Fehlgeburtenrate erhöht,
  - Sex-Odds-Rate erhöht,
  - Krebs- und Leukämierisiko für Kinder bestrahlter Eltern erhöht.
- Erbschäden erwartet man erst in den nächsten Generationen.
- Es handelt sich um typische Langzeitfolgen, die schwer als direkte Folge der Bestrahlung erkennbar oder nachweisbar sind.

## Langzeitfolgen (Krebs, Leukämie)

- **Veränderungen am Erbmateriale in Körperzellen** (somatische Gendefekte)
- **Symptome:**
  - Maligne Tumore,
  - Neoplasma (Neubildungen),
  - Leukämien.
- **Schwellenwert:** keiner
- **stochastische Wirkung:** einzelne Betroffene erkranken
- **Dosis-Wirkungs-Zusammenhang:**  
Je höher die Dosis, desto größer die Zahl der Erkrankungen.  
Die Schwere der Symptome hängt nicht von der Strahlendosis ab.
- **Tödlich:** ja, für die Mehrzahl der Erkrankten
- **Zeitlicher Ablauf:**  
Nach einmaliger Bestrahlung ist das Krebsrisiko für den Rest des Lebens erhöht. Man rechnet mit einer Latenzzeit von 5 bis 30 Jahren.
- Die Symptome einer strahleninduzierten Krebs-Erkrankungen sind von denen der übrigen Krebs-Erkrankungen kaum unterscheidbar.
- Es handelt sich um Langzeitfolgen, die schwer als direkte Folge der Bestrahlung erkennbar oder nachweisbar sind.

Was können wir tun?

Was kann man tun?

- „Aktentasche über den Kopf halten“
- Abstand halten
- Kontamination vermeiden evtl. abwaschen
- Atemluft von radioaktiven Partikeln freihalten
- Lebensmittel vor Verzehr auf Kontamination prüfen  
(Wasser, Gemüse, Pilze, Fleisch, Fisch,...)

## Medizinische Hilfe

- Jodtabletten
  - helfen **NUR** gegen \*Jod-induzierten Schilddrüsenkrebs
  - müssen **kurz vor** Belastung mit radioaktivem Jod gegeben werden
  - bei hohen Jod-Dosen drohen Nebenwirkungen
- Krebs-Behandlung und -Nachsorge
- Versorgung bei Gewebeschädigungen
- Versorgung bei Immunschwäche und sekundären Infektionen
- Knochenmarks-Transplantation
  - kann bestenfalls zerstörte Stammzellen des blutbildenden Systems ersetzen

## Probleme der „friedlichen Nutzung der Kernenergie“

- Kontinuierliche Kontamination der gesamten Welt und Umwelt mit „unauffälligen“ Mengen an Radioaktivität.
  - ca. 2,5 mSv/Jahr natürliche Hintergrundstrahlung
  - Wenn die Strahlenaktivität in unserer Umwelt durch Technik und Medizin um 1 mSv/Jahr erhöht wird, werden auf Dauer in Deutschland viele Tausend zusätzliche letale Krebserkrankungen induziert.  
(rechnerisch 3 000 neue Fälle pro Jahr bei einem RF von 5% pro Sievert)
  - Wir konterkarieren die Möglichkeiten zur Lebenserhaltung, die die Medizin uns bietet!

## Probleme der „friedlichen Nutzung der Kernenergie“ (Forts.)

- Proliferation
- Machtkonzentration
- Vertrauensverlust
  - Rechtssystem,
  - Gutachtersystem,
  - Vernetzung von  
Politik, Sicherheitspolitik, Aufsichtsbehörden, Banken & Industrie

## Qualitätsfaktor nach Strahlenschutzverordnung

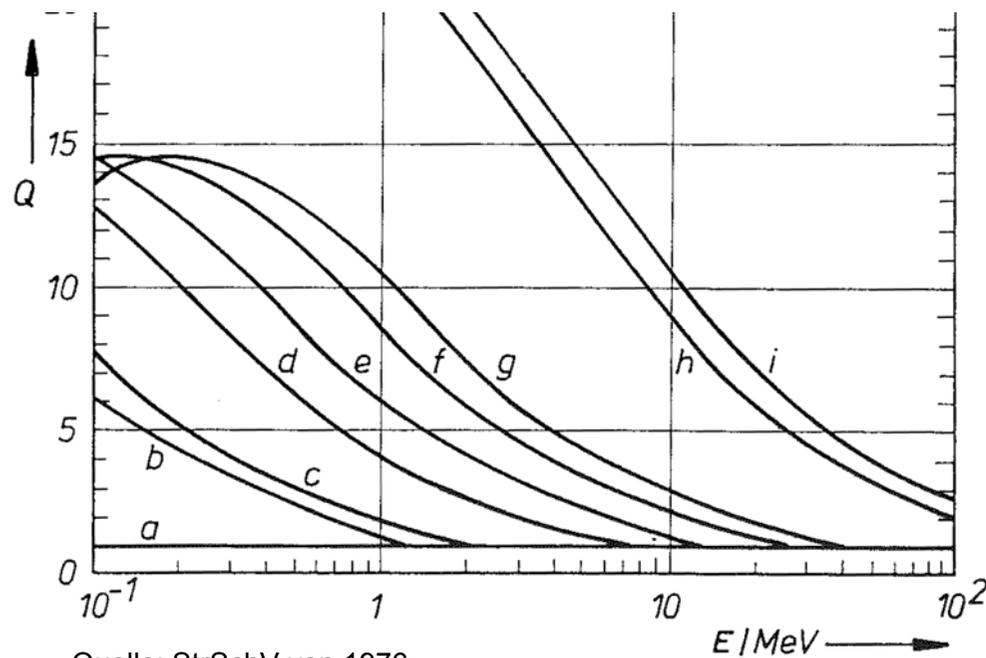


Tabelle VII 2:

Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $\bar{Q}$

Strahlung	$\bar{Q}$
Röntgen- und Gammastrahlung, Betastrahlung, Elektronen und Positronen	1
Neutronen nicht bekannter Energie	10
Alphastrahlung aus Radionukliden	20

Quelle: StrSchV von 1989

## Qualitätsfaktor nach Strahlenschutzverordnung

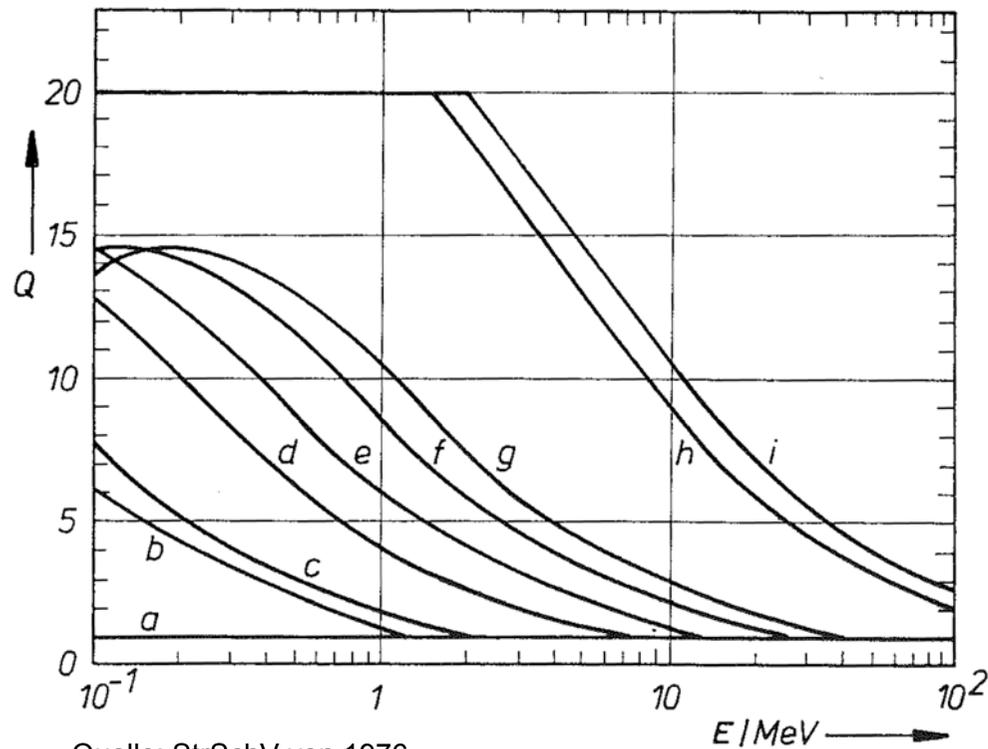


Tabelle VII 2:

Werte des effektiven Qualitätsfaktors  $\bar{Q}$

Strahlung	$\bar{Q}$
Röntgen- und Gammastrahlung, Betastrahlung, Elektronen und Positronen	1
Neutronen nicht bekannter Energie	10
Alphastrahlung aus Radionukliden	20

Quelle: StrSchV von 1989

Ich kann freilich nicht sagen,  
ob es besser wird, wenn es anders wird,  
aber soviel kann ich sagen:  
Es muß anders werden, wenn es gut werden soll.

Georg Christoph Lichtenberg