

Herzlich willkommen zum Experten-Vortrag



Atomkraft Chancen & Risiken ...eine unaufgeregte Analyse

Dr. Andreas Kronenberg
ehemaliger designierter Inspektor der IAEA

Renaissance der Kernenergie?

- Fracking-Gas verhindert noch die Renaissance in den USA
- Energiekrise: Deutschland hat Fracking-Gas für 10+ Jahre
- IPCC:

Brennstoff	CO ₂ -eq pro kWh	Tote pro TWh _{el}
Braunkohle	1150	Kohle 26,4
Steinkohle	820	(Öl 18,4)
Erdgas	593	2,8
Biomasse	230	4,6
Wasserkraft	24	1,3
Kernenergie	12	0,03
Wind	13	0,04
Solar	35	0,02

✓ **Energiewende gescheitert: Fracking-Gas während wir neue Reaktoren entwickeln und bauen!**

Geschichte (diffuser Ängste)

- zuerst Hiroshima und Nagasaki
- militärisches Wettrüstung und die reale Gefahr eines Atomkrieges
- Informationspolitik der Betreiber, Probleme mit sicherheitsrelevanten und öffentlich-zugänglichen Informationen
- Three Mile Island, Tschernobyl, Fukushima
- Katastrophen-Filme, Boulevard-Journalismus
- Journalisten und Lehrer der 68iger-Generation
- Parteien und Vereinigungen, deren einziges Ziel/ Existenz es ist Kernenergie abschaffen zu wollen, z.B. IPPNW



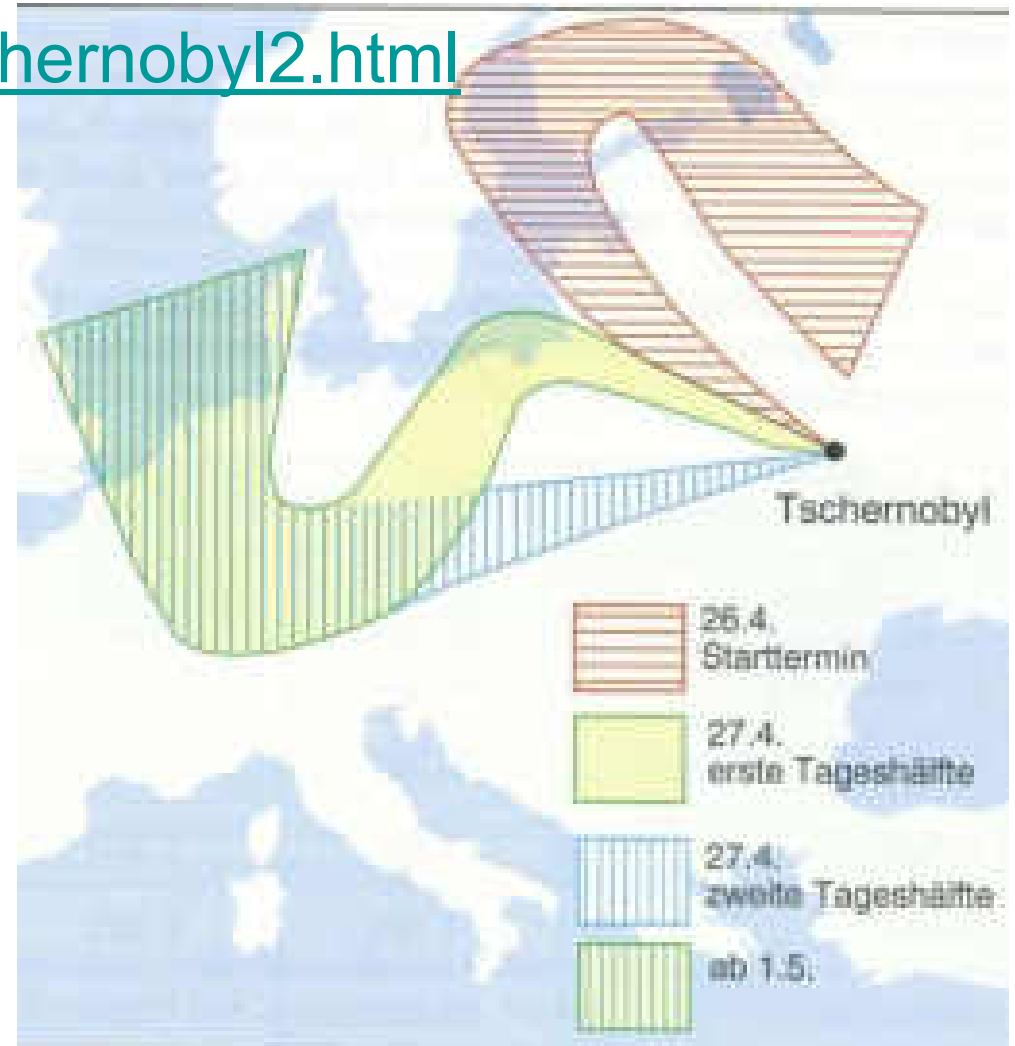
1.) Technische Aspekte:

- Reaktortyp nicht inhärent sicher wie Wasserreaktoren
- völlig ausgezogene Regelstäbe verursachen zuerst Reaktivitätszufuhr
- Test unter Reaktorbetriebsbedingungen
- Anzeigeeinstrumente

2.) reale Schadensbeschreibung:

- Besonders betroffen: Ukraine, Weiss-Russland, Skandinavien, Deutschland, Teile des Balkans
- 600,000 Liquidatoren (28 Tote)
- 180t U, 3% Radioaktivität (Iod, Cs, Sr)

3.) Statistik von Erkrankungen unter Berücksichtigung sozialer Faktoren; Vergleich mit "normaler" Sterberate, Leukämie-Erkrankungen, Missbildungen



Fukushima



www.kernenergie-wissen.de
email: kronenberg@kernchemie.de

Fukushima

Sie kennen alle die Bilder von zerstörten KKW-Blöcken:

Wasserstoff-Explosion!

Deutsche Wasserstoff-Wirtschaft

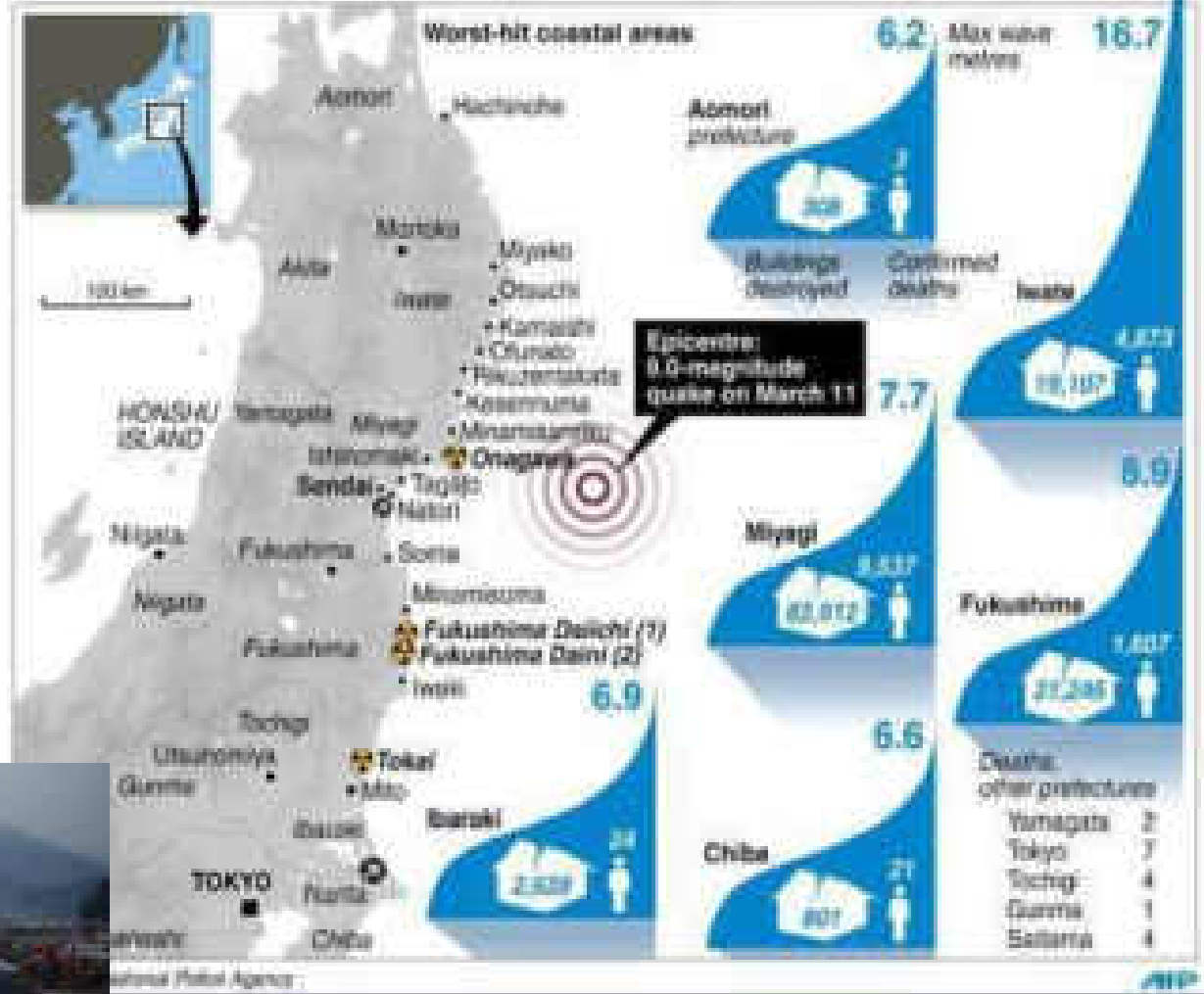


March 2011 Japanese quake and tsunami

15,864 confirmed deaths

2,633 missing

6,148 injured



- Tsunami-Risiko im Prozentbereich
- Notstromdiesel auf der See-Seite
- Managementstruktur in Japan (Hierarchien/Entscheidungen in Tokio)
- ~~Hinterfragende Sicherheitskultur~~

Geschichte beginnt bei Oklo

- Vor 2 Mrd. Jahren $^{235}\text{U} = 3-4\%$
(^{235}U zerfällt 6mal schneller als ^{238}U)
- Regenwasser=Moderator, n von
Höhenstrahlung und Spontanspalt.
- mehrere hunderttausend Jahre - Wärme
von rund 100 Mrd kWh (= modernes KKW
in knapp 4 Jahren)
- **> 10 t Uran gespalten, ~ 4 t Pu
und ~ 10 t Spaltprodukte gebildet**



Wärmeleistung von $\sim 50 \text{ W/m}^2$ um ein Vielfaches höher, als heute geplante Endlager für hochaktive Abfälle, keine technischen Barrieren, keine optimalen geologischen Bed.:

U, Np, Pu, Nb, Y, Tc, Zr, RE bleiben im Kern

Rb, Cs, Ba, Sr, Edelgase, Mo, Cd, Pb, Iod wandern

“Nuclear energy is the only non-greenhouse gas-emitting energy source that can effectively replace fossil fuels and satisfy global demand.” Patrick Moore, Greenpeace-Founder

Mythos: Bauzeiten?: 7,5 Jahre!

Baukosten pro kWh?

Schweizer Studie 2019

(Baukosten pro kWh für in 2019 gebaute Anlagen)

Solar: 10-26 Rappen (5-18*)

Wind: 15-20 Rappen (10-15*)

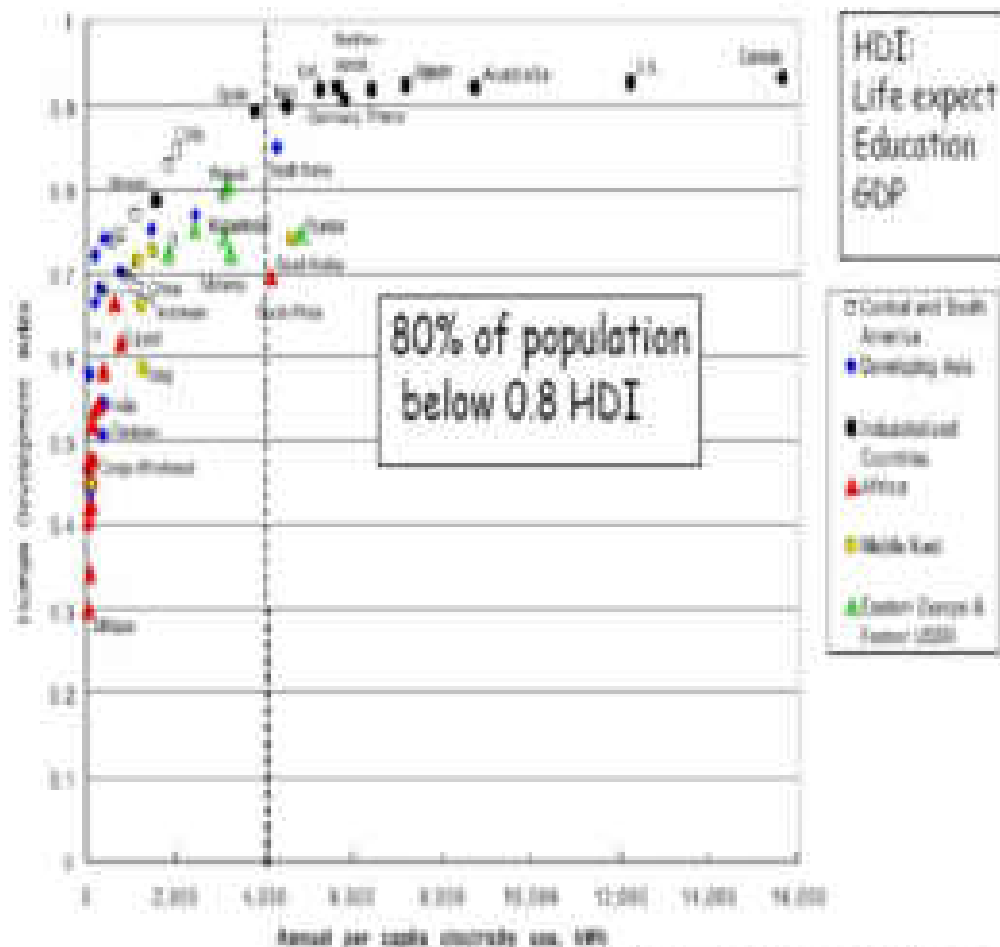
KE: 5-12 Rappen

(*Prognose für 2035)

...

An- und Abfahren sowie Regelbarkeit der Leistung eines modernen Druck- oder Siedewasser-Reaktors

Global Distribution of Electricity & Development



Source: Posternak, "Global Energy Futures and Human Development: A Framework for Analysis"

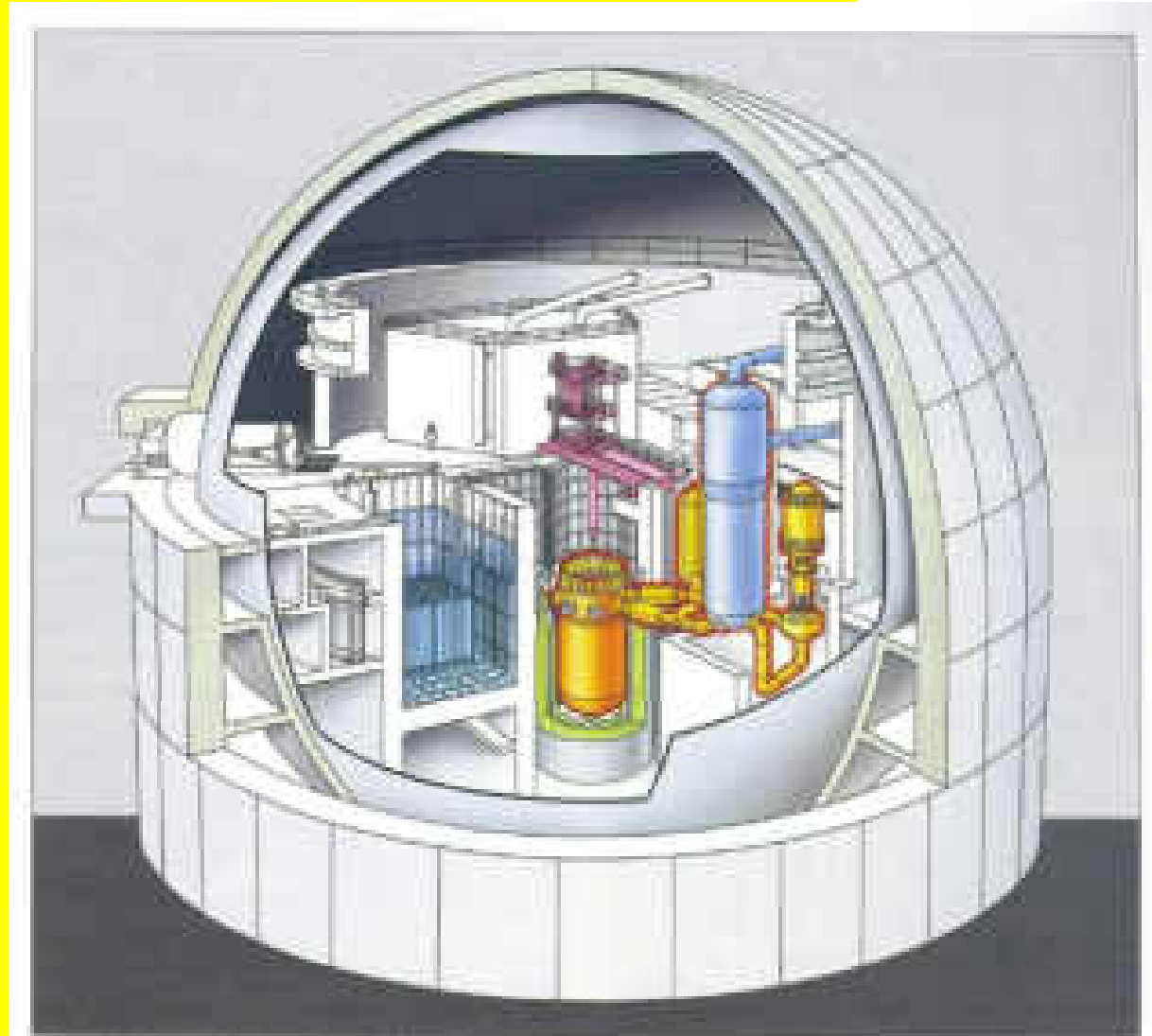
Konvoi – Reaktorhalle (Emsland, Isar-2, GKN-2)

1480 MW_{el}

Reaktorkern 2,88 m im Durchmesser, 2,46m hoch

**Reaktordruck-
Behälter** (siehe
nächste Folie) ist
etwa 10 m hoch
und wiegt 385 t
25 cm Wandstärke

Liefert
pro Sekunde
2 Tonnen Satt-
dampf von etwa
285 °C , 66 bar



“Gross-Technik”

1kg U-235 hat den Energieinhalt von
93 Waggon mit je 30t Kohle, oder
67 Kesselwagen mit je 30 t Heizöl

Nachzerfallswärme: Anfangs ~5% der Aus-
gangsleistung, nimmt mit der Zeit auf 2% ab
→ also 150 bis 60 MW bei 3000 MWth



1300MW_{el}
Anlage:

10¹⁰ Ci
Gesamt-
Aktivität

im radioaktiven
Gleichgewicht
(nach etwa
2 Jahren)

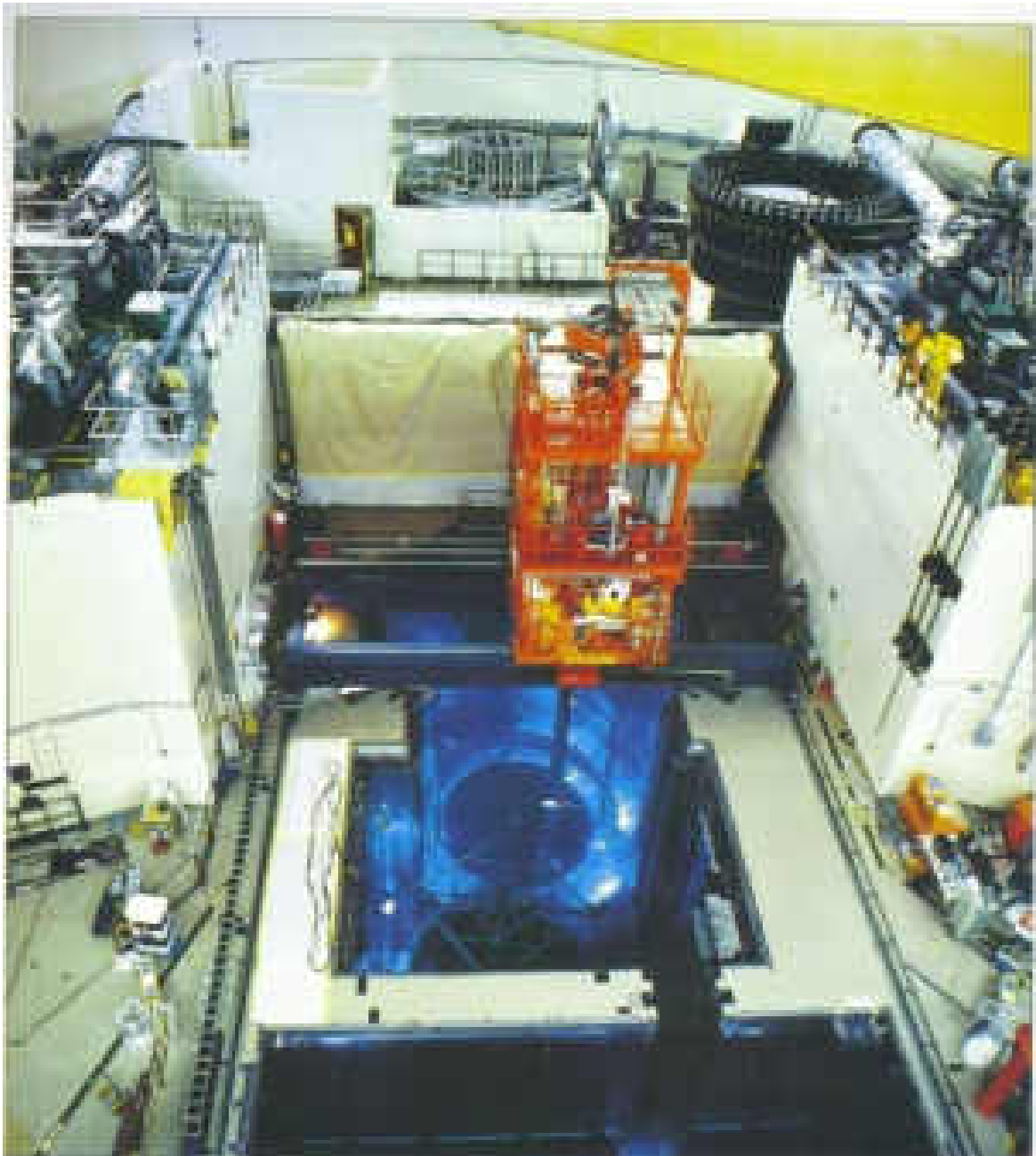




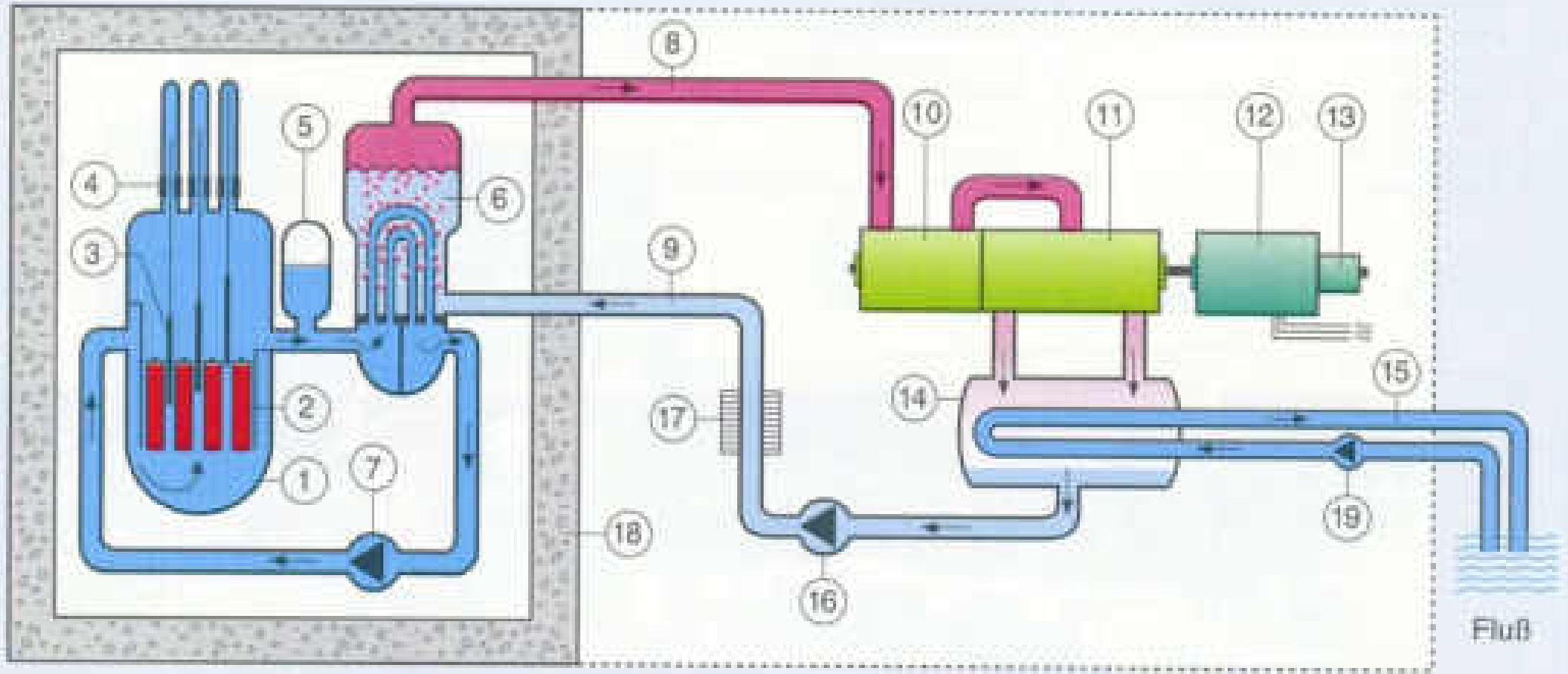
Dampf-Turbine (ähnlich Kohlekraftwerk)



Hauptkühlmittelpumpe



Aufbau eines Kernkraftwerks



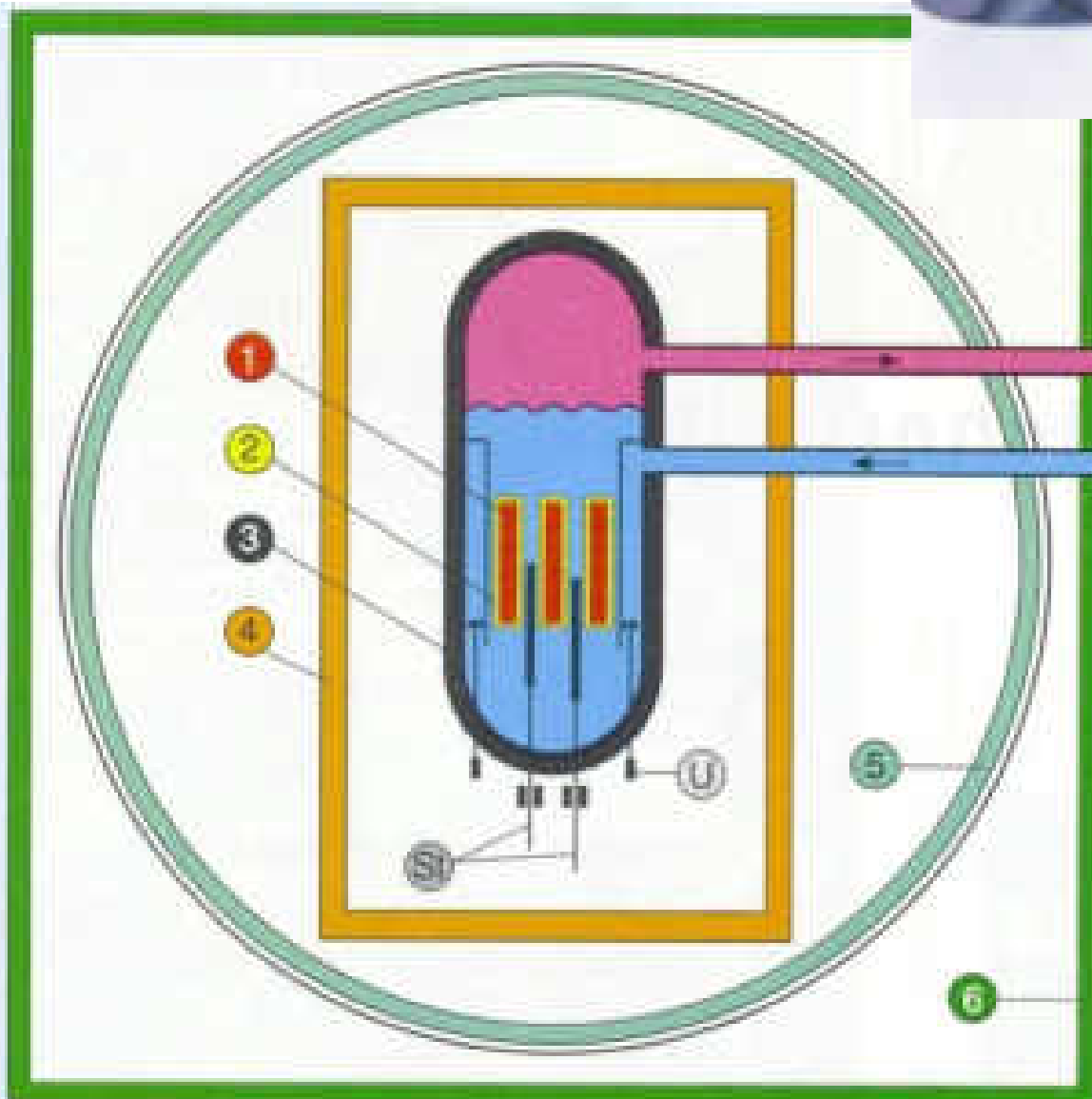
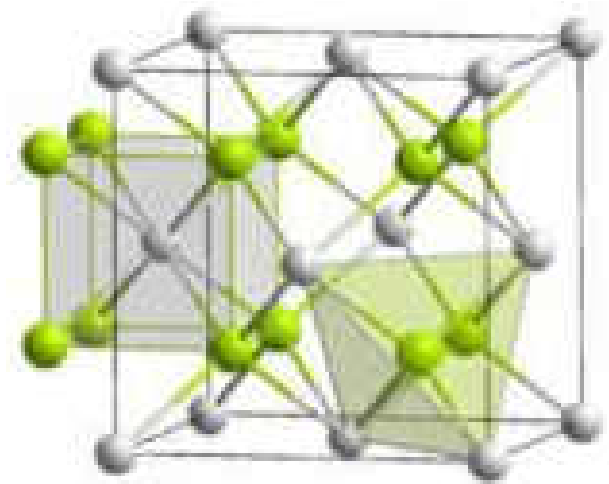
1 Reaktordruckbehälter
2 Uranbrennelemente
3 Steuerstäbe
4 Steuerstabantriebe
5 Druckhalter

6 Dampferzeuger
7 Kühlmittelpumpe
8 Frischdampf
9 Speisewasser
10 Hochdruckteil
der Turbine

11 Niederdruckteil
der Turbine
12 Generator
13 Erregermaschine
14 Kondensator
15 Flußwasser

16 Speisewasserpumpe
17 Vorwärmanlage
18 Betonabschirmung
19 Kühlwasserpumpe

Barrieren- konzept



- 1 Brennstoff-Kristallgitter
- 2 Brennstabhülle
- 3 Reaktordruckbehälter
- 4 Biologischer Schild
- 5 Sicherheitsbehälter mit Dichthaut
- 6 Reaktorgebäude
- St Steuerstäbe
- U Umwälzpumpen

Sicherheitsbehälter SWR: Ø rund 30 m, Wandstärke max 30 mm (DWR: 56 m, 38mm)

schnellschließende Armaturen in den nach außen führenden Rohrleitungen

Dichthaut: in einigen cm Abstand etwa 4 mm Stahl – Unterdruck im Zwischenraum

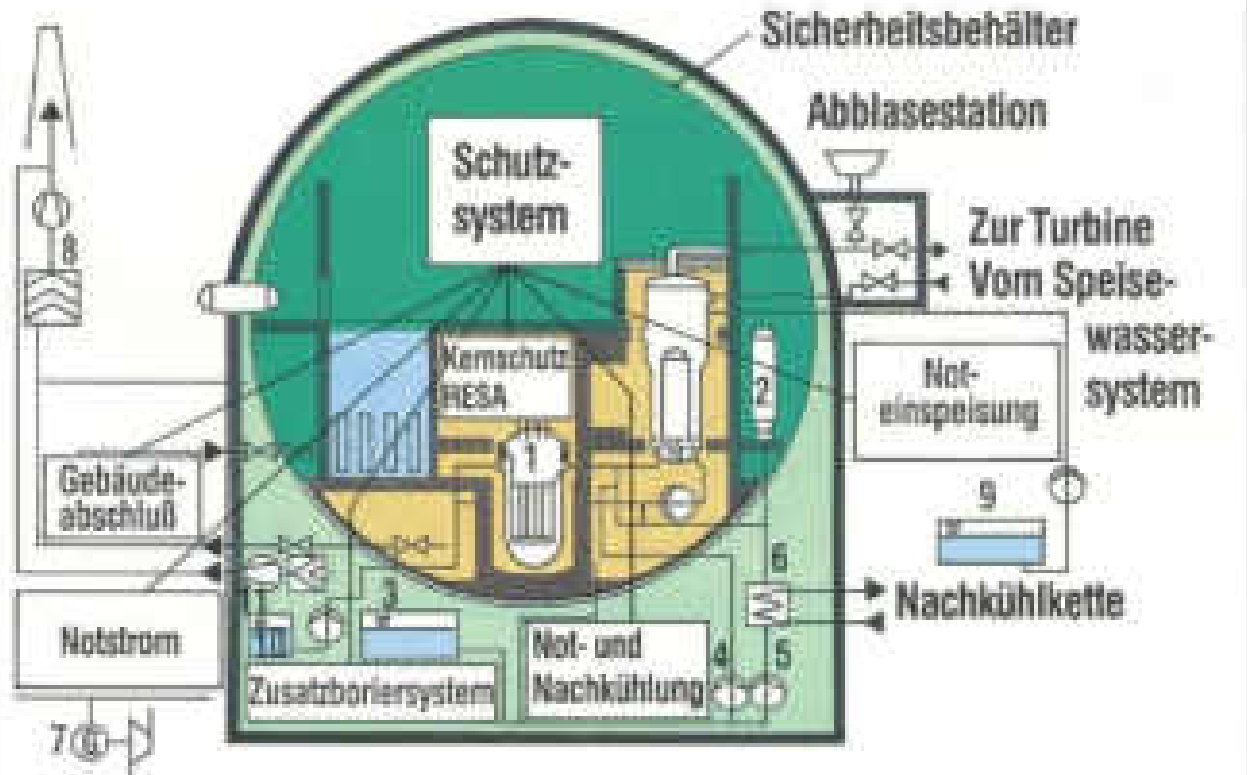


Abb. 7.3.6
Aufbau des Sicherheitsbehälters auf dem Gelände eines Kernkraftwerkes



Abb. 7.3.7
Der fertige Sicherheitsbehälter eines Siedewassersreaktors wird in das Reaktorgebäude gefahren

Begehrbar...



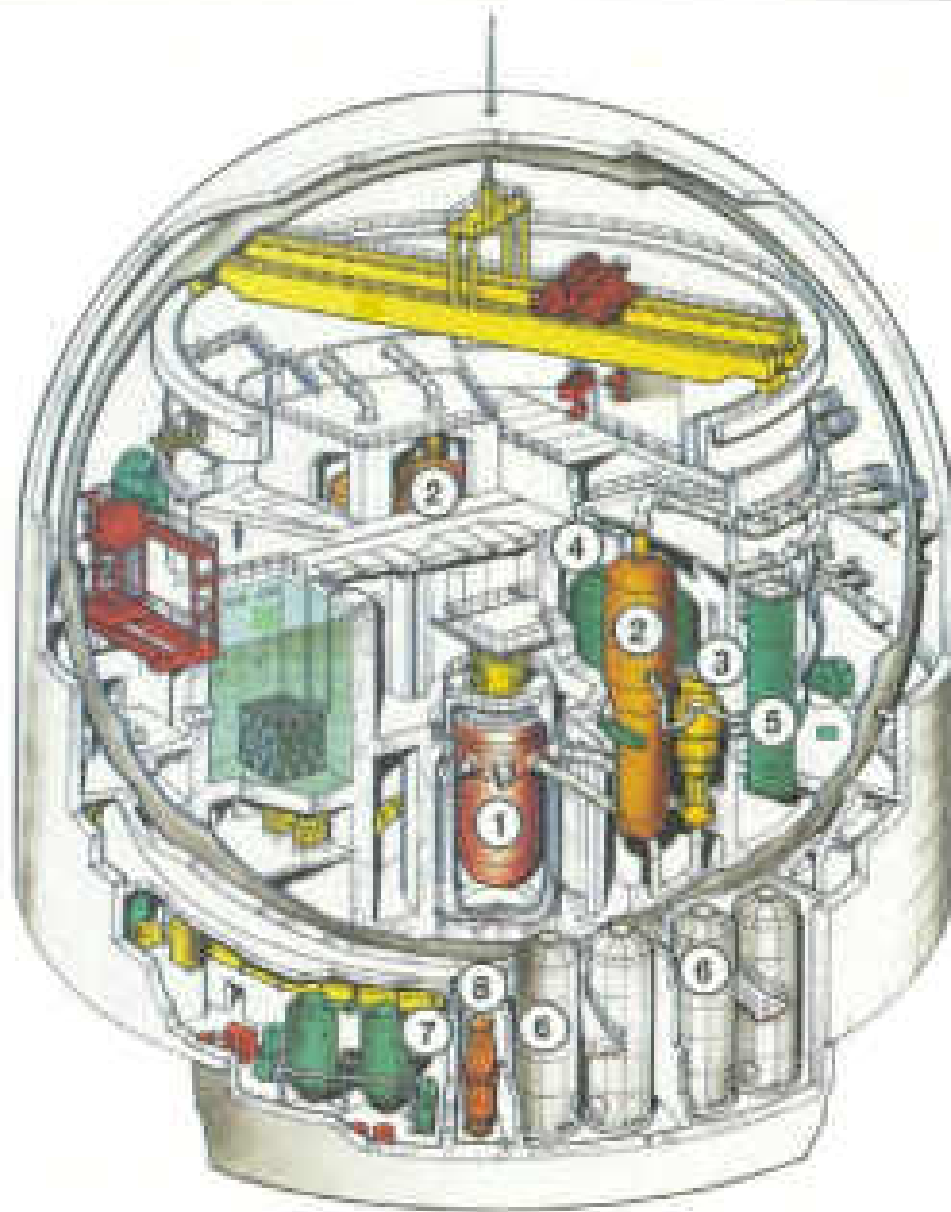
Unterdrucksystem nach innen immer niedrigerer Druck, so dass Radioaktivität nie nach außen, sondern nach innen transportiert würde; Abluft über Filter

- 1 Reaktor-Schnellabschaltssystem
- 2 Druckspeicher
- 3 Flutbecken
- 4 Sicherheitseinspeisepumpe
- 5 Nachkühlpumpe
- 6 Nachwärmekühler
- 7 Notstromsystem
- 8 Fortluftfilter
- 9 Notspeisesystem
- 10 Borsäurebehälter
- 11 Ringraum-Absauganlage

- während Betrieb durch Personenschleuse begehrbar
- während Betrieb begehrbar
- während Betrieb nicht begehrbar

Sicherheit

Wie wahrscheinlich ist ein „GAU“?



Primärkreis

- 1 Reaktordruckbehälter
- 2 Dampferzeuger (4)
- 3 Hauptkühlmittelpumpen (4)
- 4 Druckhalter

Notkühlkreis

- 5 Druckspeicher (4 x 2)
- 6 Flutbehälter (4)
- 7 Sicherheitseinspeisepumpen (4)
- 8 Nachwärmekühler (4)

Wahrscheinlichkeitsrechnung:

Literaturtip:

No Way: The Nature of the Impossible

by Philip J. Davis and David Park (editors),

siehe bei Amazon USA
(nur noch gebraucht!)

Wahrscheinlichkeiten geben einen Vergleich zwischen verschiedenen Prozessen/Abläufen

→ **Sie sind KEINE Absolutwerte!**

Sicherheitskonzept

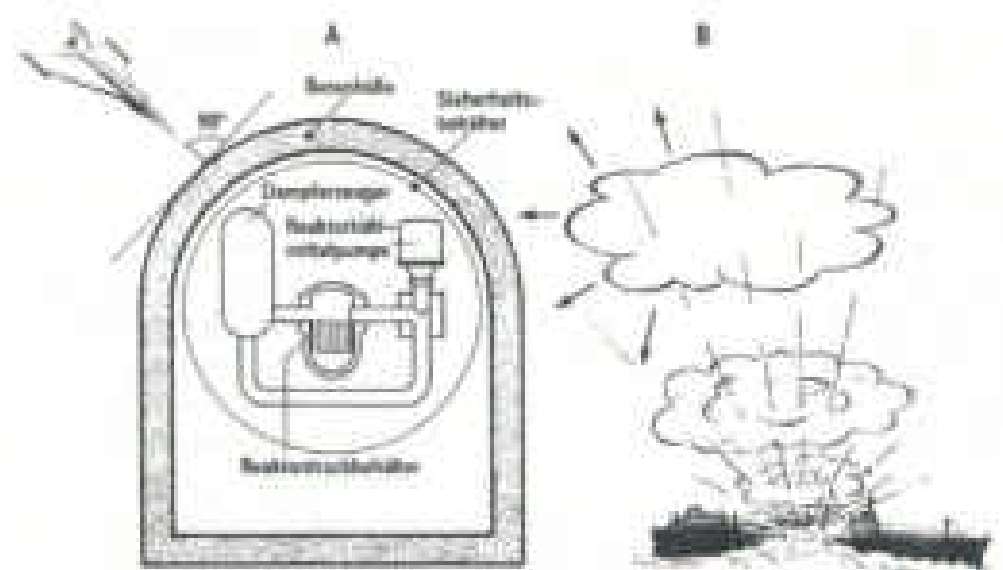
- Hochwertige Materialien, Qualitätsprüfung (regelmäßige Ultraschall-Prüfungen, Bestrahlungsproben)
- Redundanz (n+2)
- **Konservativ(st)e** Auslegung: Auslegungsreserven
- fehlerverzeihende Systeme/automatische Leittechnik
- Entmaschung und Diversität

➤ **Aktive Sicherheitssysteme**

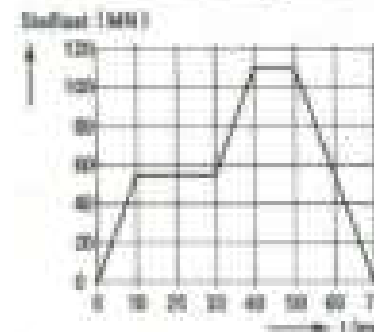
➤ **Passive Sicherheitssysteme**

Terror-Gefahr

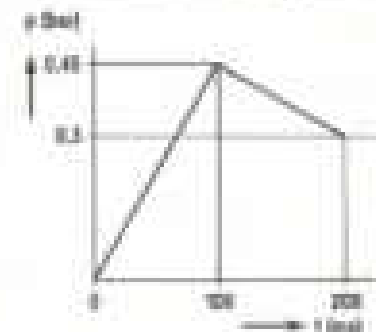
- <http://kernenergie-wissen.de/terroristen.html>
(später auch gedruckt in der dtsh. Zeitschrift
"Homeland Security" 1(2003)48)
- wenig "reizvoll", da keine Sofort-Toten
- aber Panik, wegen "grüner" Panik-Politik
- Flugzeugabsturz
- Explosionsdruckwelle



A: Flugzeugabsturz mit Stoffzeit - Zeit - Diagramm



B: Explosionsdruckwelle mit Überdruck - Zeit - Diagramm



Gelöste Entsorgungsfrage?

Unterschieden werden:

- Schwach- und mittelaktive Abfälle
(Betriebsabfälle, Abfälle aus Forschung/Medizin):
 - Schacht Konrad (stillgelegtes Eisenbergwerk) und Schichtanlage Asse, Morsleben,
- Gorleben (für hochradioaktive Abfälle):
 - Zwischenlager für abgebrannte BE, Pilotkonditionierungsanlage Gorleben
 - Gorleben – aus 140 Salzstöcken gewählt, Salzeigenschaften, Alter & Geschichte des Salzstocks, bisher ca. 1,5 Mrd. Euro Forschungsgeld
 - Moratorium von SPD/Grünen 1999:
KEINE Forschung, KEINE Besucher



Asse & Gorleben – ein Politikum

Asse = Versuchsbergwerk (Salzabbau 1899-1965) ; Fässer: Aktivität in Bitumen eingegossen; in 10% von insgesamt 131



001_001
001_001: Versuchsbergwerk Asse (Salzabbau) im Untertagebau

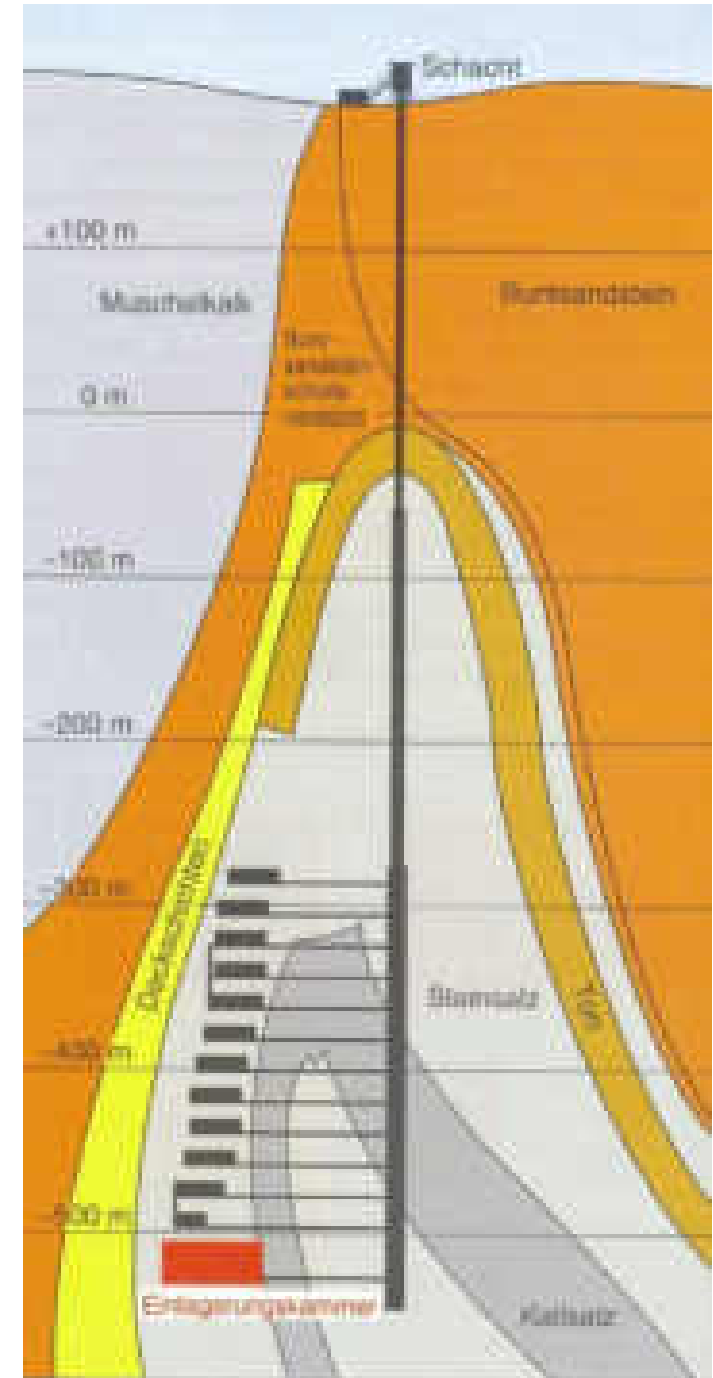


001_001
001_001: Versuchsbergwerk Asse (Salzabbau) im Untertagebau

Abbaukammern sind 125.000 Gebinde mit schwach- und mittelaktiven Abfällen.

Es war immer vorgesehen geflutet zu werden (s.a. Finnland) !!!

10 μ Sv/Jahr



Dosis-Vergleich Energieerzeugung

Energieträger	Effektive Dosis in der Umgebung in μSv pro GWa
Braunkohle	0,5 bis 2
Steinkohle	1 bis 4
Erdöl	1
Torf	2 bis 4
Erdgas	0,2 bis 1
Geothermie	} Dosis für Mitarbeiter zum Teil erheblich!!!
Wasserkraft	
Kernenergie	0,2 bis 2

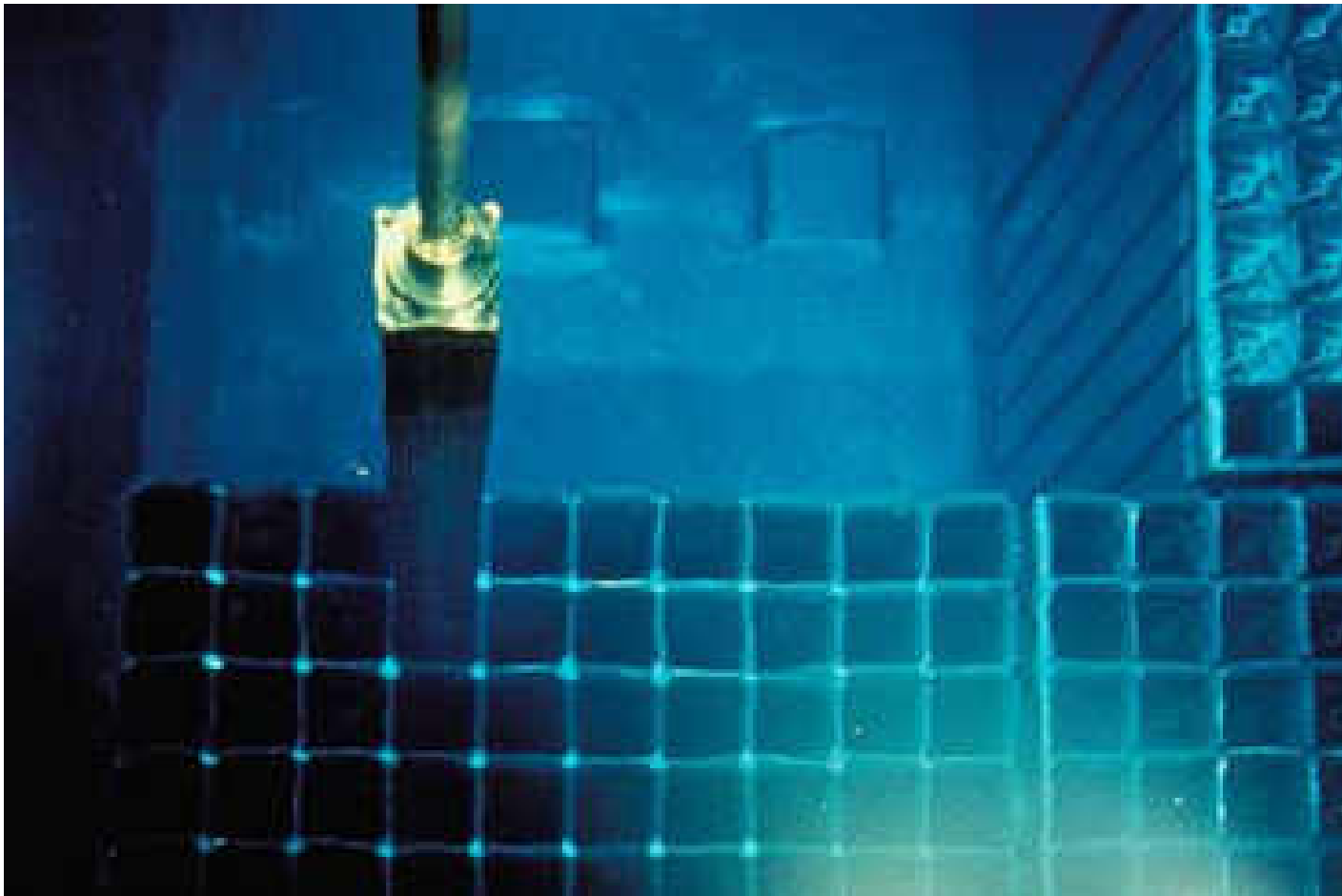
Erdgas hat bis zu 50 kBq/m^3 Radon; typisch sind 1 kBq/m^3 Radon.
2 Mrd. m^3 Gas für 1 GWa elektrische Energie heißt $2 \cdot 10^{12} \text{ Bq}$, d.h. 0,2 bis $1 \mu\text{Sv/a}$ in der Nähe der Anlage

Ein Kernkraftwerk emittiert weniger Radioaktivität als ein Kohlekraftwerk! (+C-14)

Was wir „abgebrannt“ nennen...

- 95,5% Uran (~1% U-235), 0,9% Plutonium, 0,1% andere Ac
- 3,1% nicht radioaktive Spaltprodukte,
- 0,1 % langlebiges Tc und Iod + 0,1 % andere langlebige
- 0,2 % kurzlebigen Cs und Sr (HWZ ~ 30 Jahre)

Wir nutzen nur etwa 5% des Energieinhalts!



1 tonne of SNF contains:

955.4 kg U

8.5 kg Pu

Minor Actinides (MAs)

0.5 kg ²³⁷Np

0.6 kg Am

0.02 kg Cm

Long-Lived fission

Products (LLFPs)

0.2 kg ¹²⁹I

0.8 kg ⁹⁹Tc

0.7 kg ⁹³Zr

0.3 kg ¹³⁵Cs

Short-Lived fission

products (SLFPs)

1 kg ¹³⁷Cs

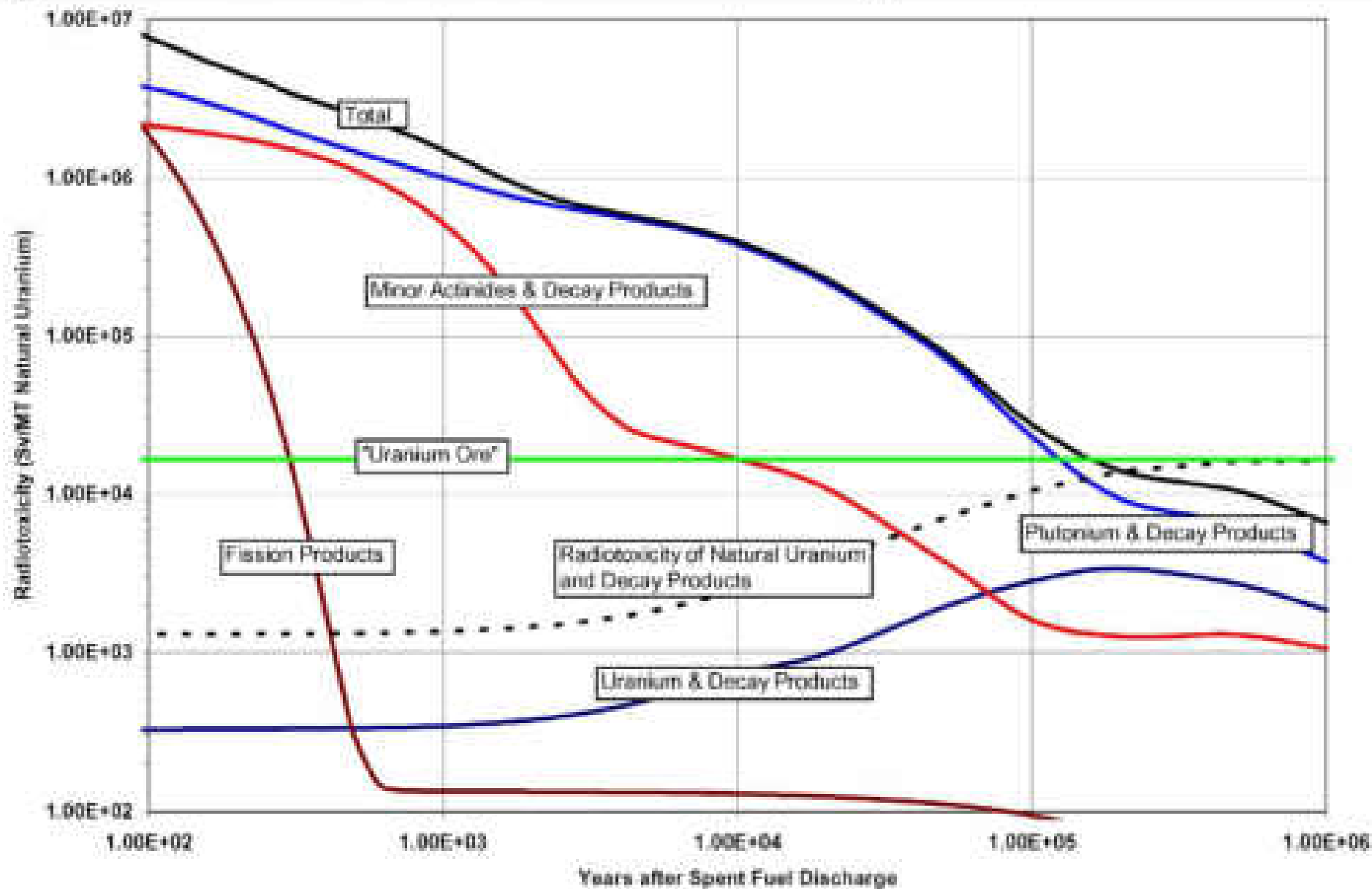
0.7 kg ⁹⁰Sr

Stable Isotopes

10.1 kg Lantanides

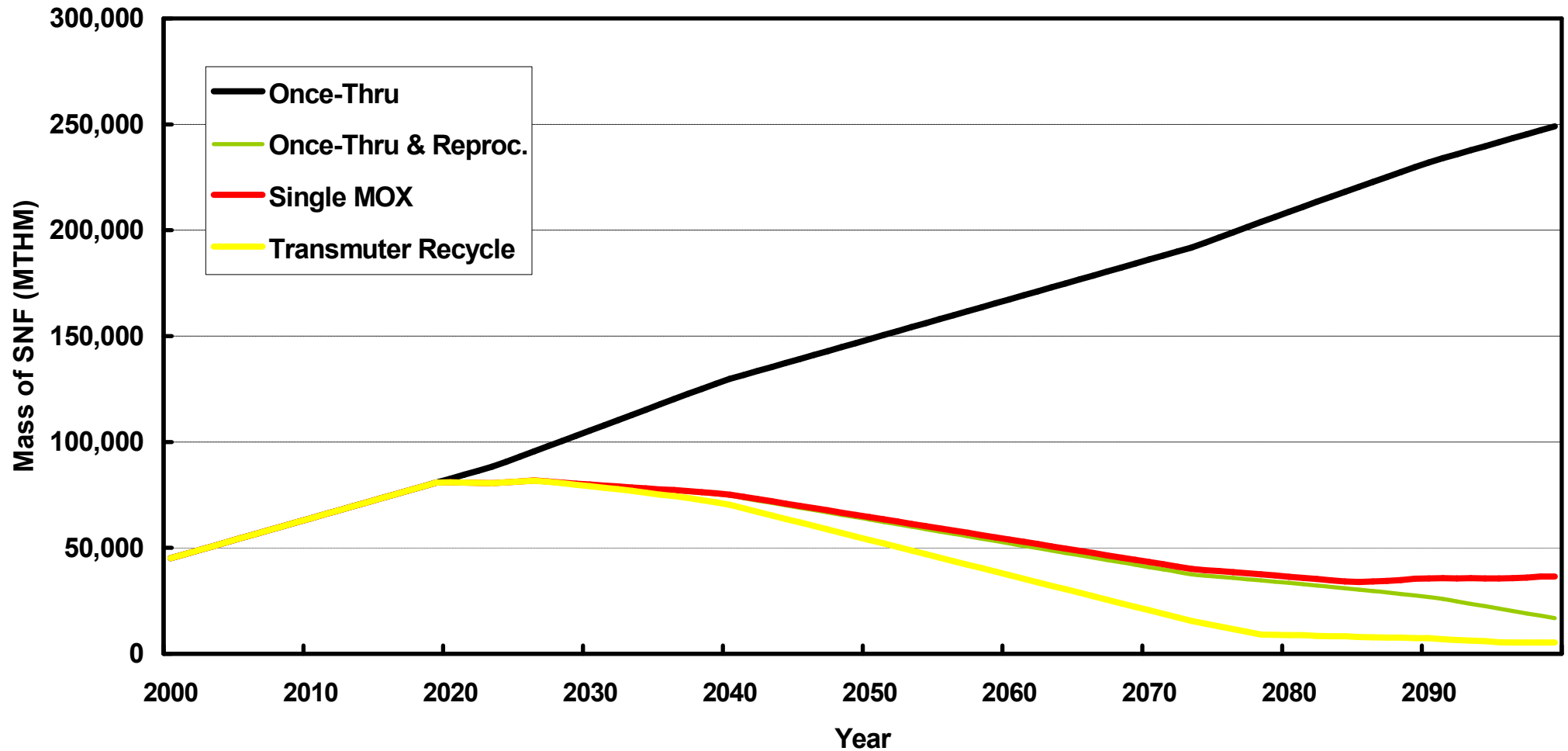
**21.8 kg other stable
(such as Pd, Rh, Ru)**

Spent PWR Fuel Radiotoxicity



Recycling in der Kerntechnik!

Spent Fuel Inventory - No Growth Scenario



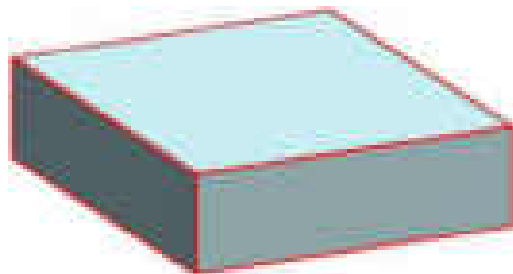
(Un)gelöstes Problem mit dem Abfall

Menge an hoch radioaktivem Abfall mit Ausstieg:

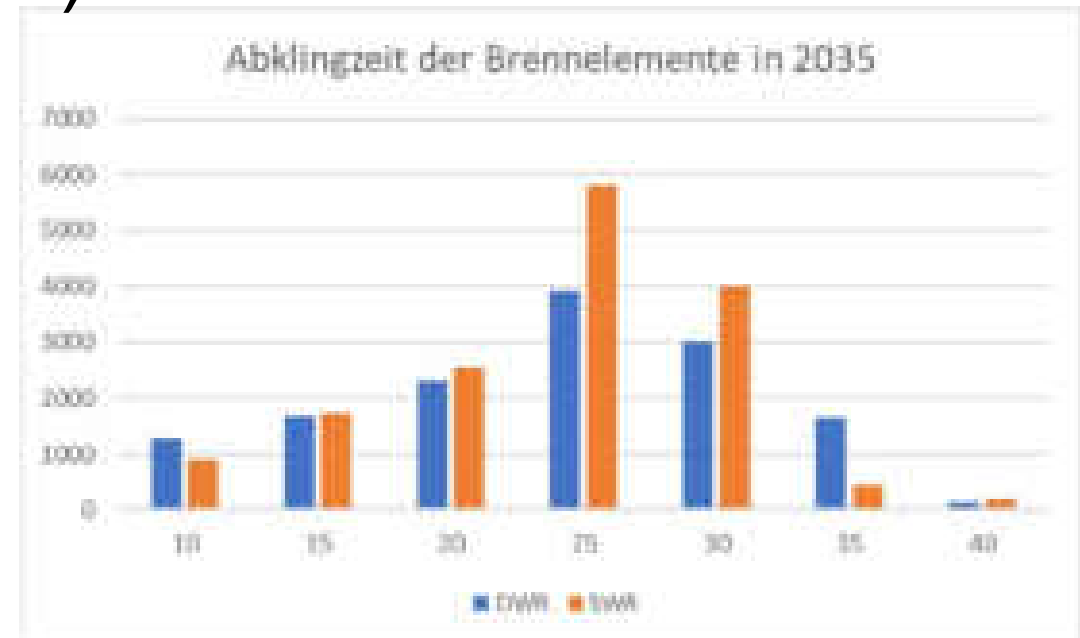
13980 Brennelemente aus DWR

15600 Brennelemente aus SWR

61 Castoren mit WWER, 265 Castoren aus La Hague,
21 aus Sellafield und 5 Castoren aus der WAK mit
Glaskokillen (Kapazität Zwischenlager Gorleben
allein: 420 Stellplätze, ~83%)



Pool für Wasserball: 20x30 m
(vgl. Standard Fussballfeld: 105x68m)
6,5 m Höhe für DWR, 2,5 m Höhe für
SWR macht zusammen 9 Meter!



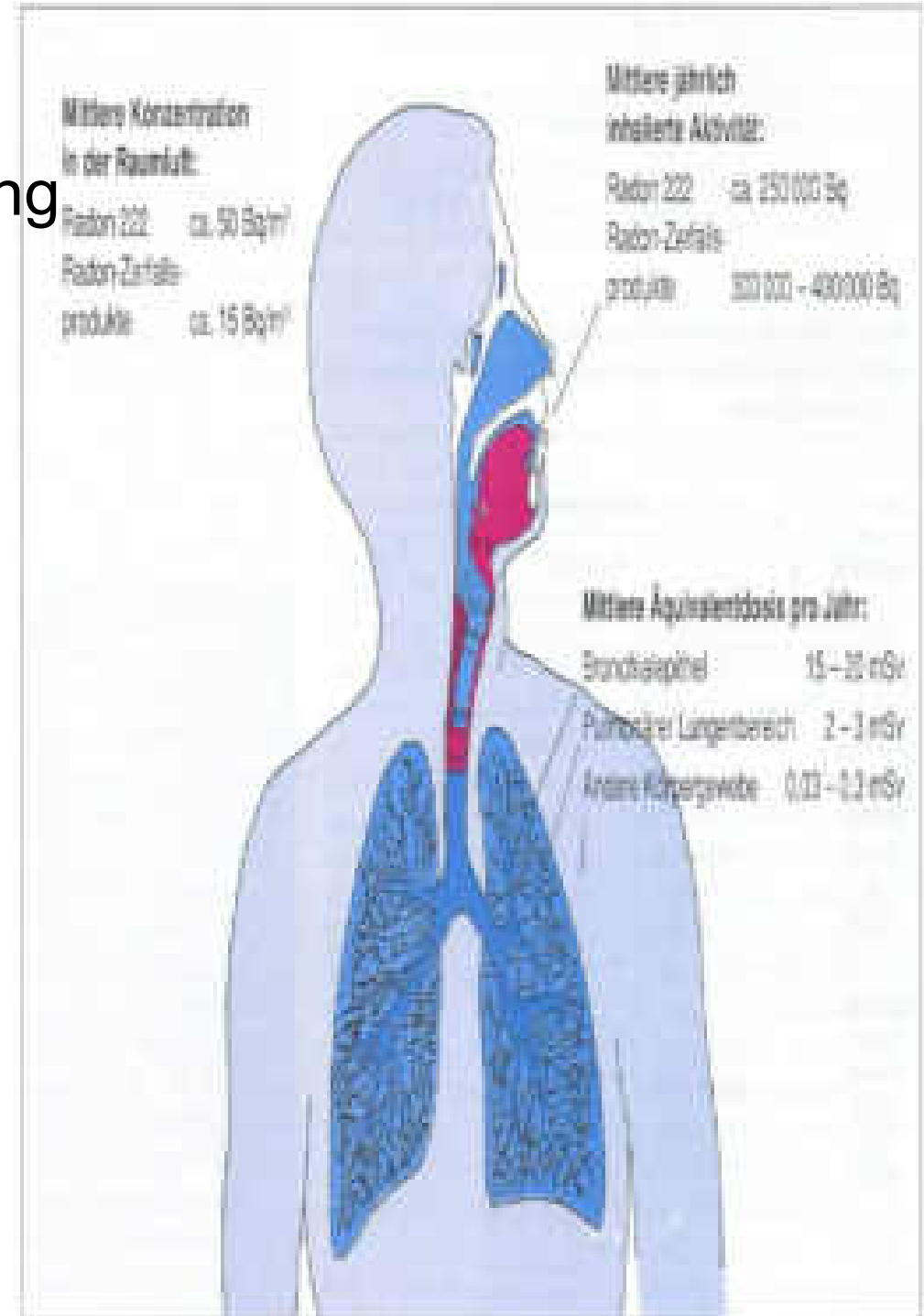
1,0 mSv Aufenthalt in Häusern
0,25 mSv körperinnere Bestrahlung
0,3 mSv kosmische Strahlung
0,45 mSv terrestrische Strahlung
0,02 mSv Fallout

<0,02 mSv Technik, Forschung
<0,01 mSv Kerntechnik
<0,01 mSv Beruf

Σ 2,0 – 2,4 mSv/ Jahr

+ 1,5 mSv Medizin

Σ 3,5 mSv / Jahr total ←



Bestrahlung durch die Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten: Die Tochterprodukte des radioaktiven Edelgases werden sehr inhomogen auf den Oberflächen der Atemwege abgedepotiert. Aus diesem Grund ist die Strahlendosis in den einzelnen Lungenbereichen unterschiedlich. Im mittleren Teil

Natürliche Strahlung

- Strahlenbiologie und Strahlenwirkung – separates Topic (in Bezug auf Krümmel sehr interessant)
- Kosmische Höhenstrahlung (Flug FFM-NY=0,06 mSv)
- K-40 (Standard-Mensch: 9000 Bq)
- Fallout-Pu von Kernwaffenversuchen
- Uran (und dessen Zerfallsprodukte) in der Natur (U-Häufigkeit=3g pro t / häufiger als Au, Ag, Pb, Hg):
im Haus, Dünger (2 Mill. t Dünger=2000 GBq U und 1500 GBq Ra-226), Rauchen (Po – russ. Spion)

Weite Variation weltweit:

Weserbergland/Braunschweig: 0,58 mSv pro Jahr (58 mrem/a)

Harz/Spessart : 1,02 mSv pro Jahr (102 mrem/a)

Bayerischer Wald: 1,46 mSv pro Jahr (146 mrem/a)

Katzenbuckel (bei Eberbach, Baden-Württemberg) : 6,30 mSv pro Jahr

Granit-Bezirke in Frankreich: 2,5 / max 4 mSv/Jahr; Atlantikküste in Brasilien:

8 mSv/ max. 200, Monazit-Sand in Indien: 10 mSv/max 40, Iran 18 mSv/max 450 mSv/Jahr

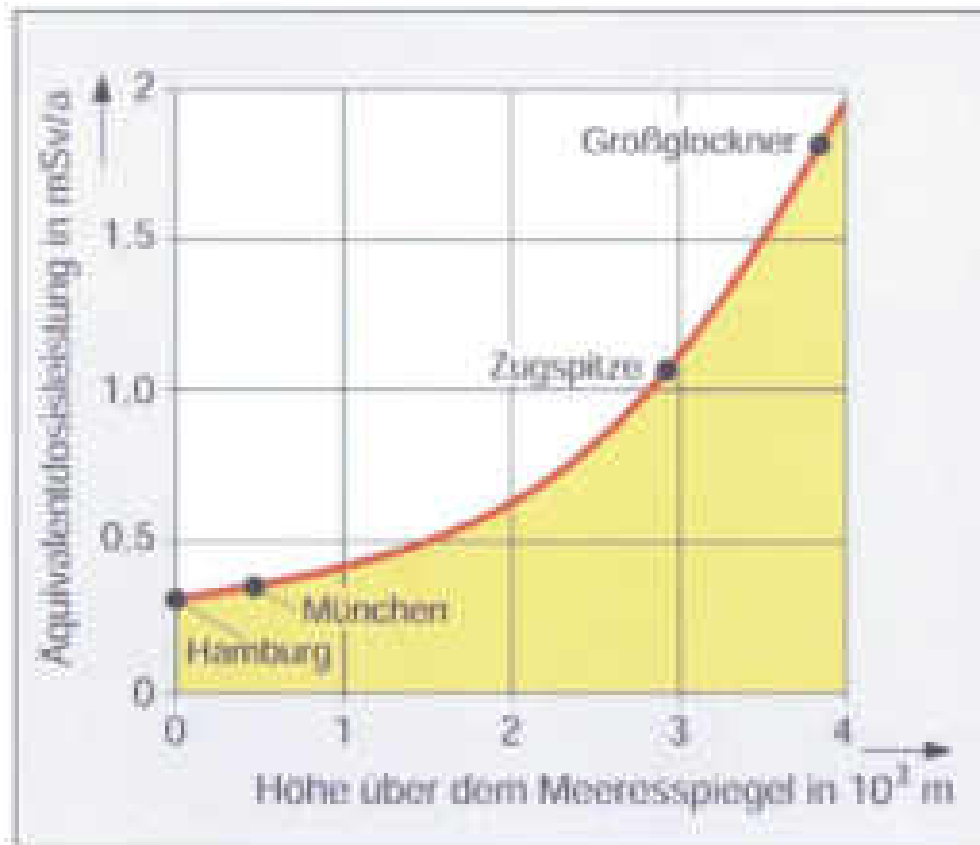


Abb. 8-8: Dosisleistung durch kosmische Strahlung; mittlere Breiten

Bundesland	Ortsdosisleistung, mSv/a
Baden-Württemberg	0.38
Bayern	0.42
Berlin	0.19
Brandenburg	0.18
Bremen	0.26
Hamburg	0.35
Hessen	0.37
Mecklenburg-Vorpommern	0.22
Niedersachsen	0.29
Nordrhein-Westfalen	0.36
Rheinland-Pfalz	0.42
Saarland	0.49
Sachsen	0.35
Sachsen-Anhalt	0.27
Schleswig-Holstein	0.32
Thüringen	0.39

Tab. 8-9: Ländermittelwerte der terrestrischen Strahlendosis im Freien

Radionuklid	Halbwertszeit	Freigesetzte Aktivität in 10^{18} Bq
H-3	12,32 a	240
C-14	5,730 a	0,22
Sr-90	28,5 a	0,6
Zr-95	64,0 d	150
Ru-106	368 d	12
I-131	8,02 d	700
Cs-137	30,17 a	1
Ce-144	284,8 d	30
Pu-239	$2,41 \cdot 10^4$ a	0,01
Pu-240	6,560 a	0,01

Tab. 5-4: Aktivität einiger Radionuklide, die insgesamt bei den oberirdischen Kernwaffentests freigesetzt wurden

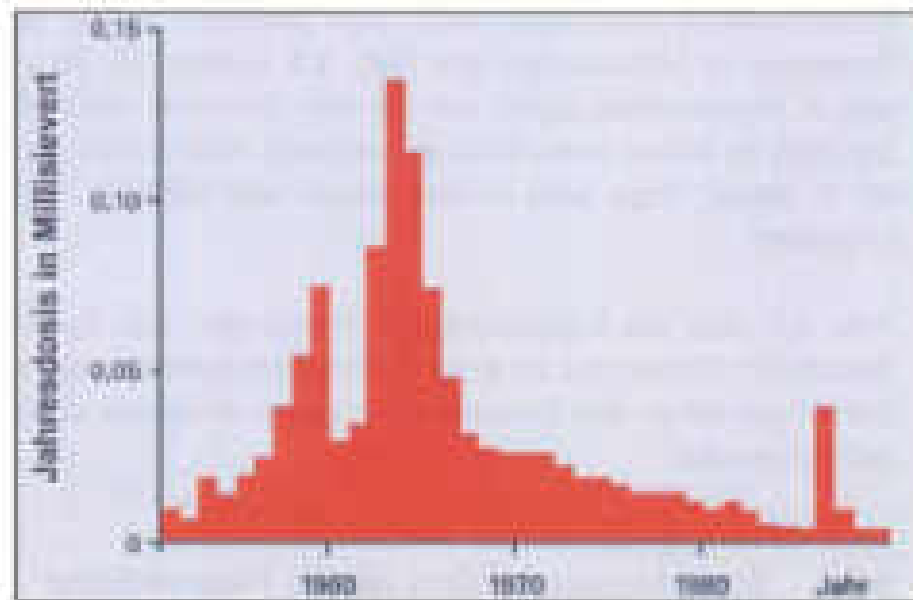


Abb. 9.5: Jährliche Dosis in Mitteleuropa durch die Kernwaffentests und den Reaktorunfall in Tschernobyl

10^{18} !

10^{16}

Bq

Pu

=

3 - 5

Tonnen

Pu !!!!

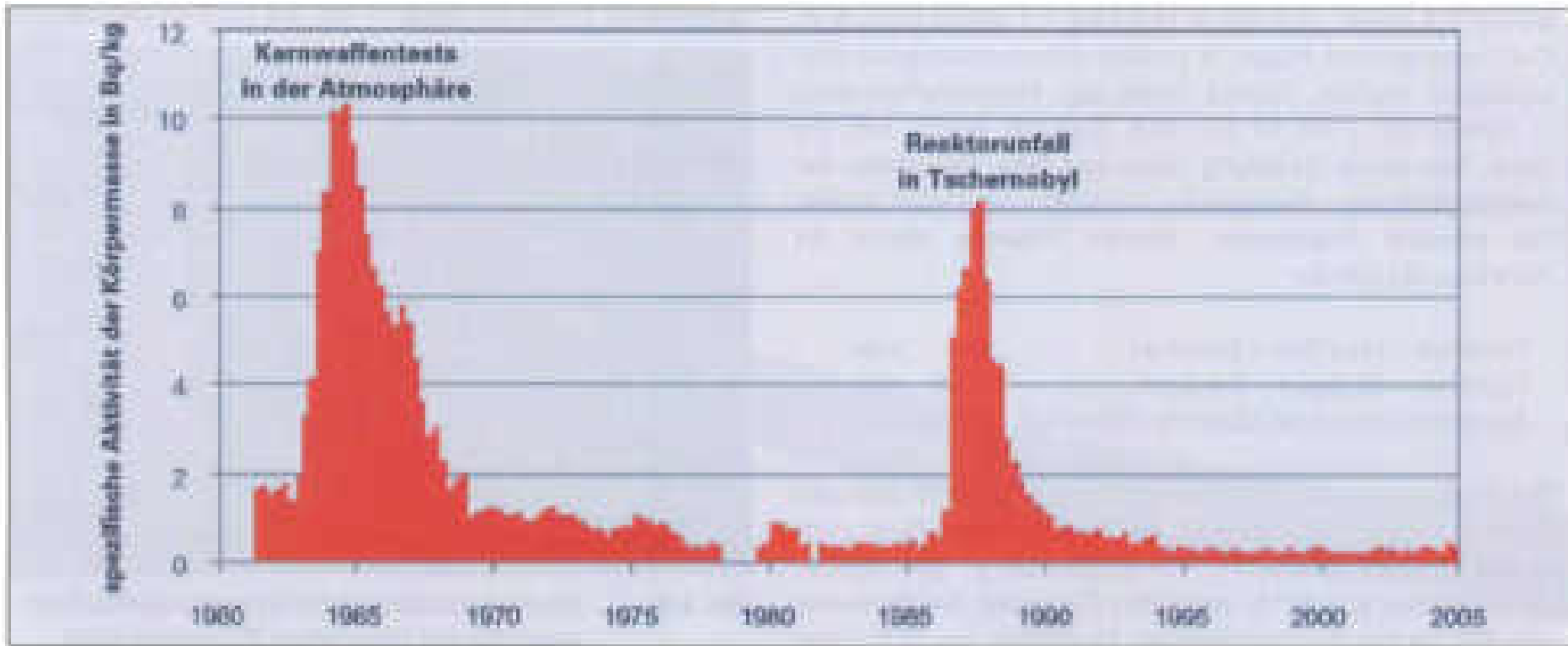
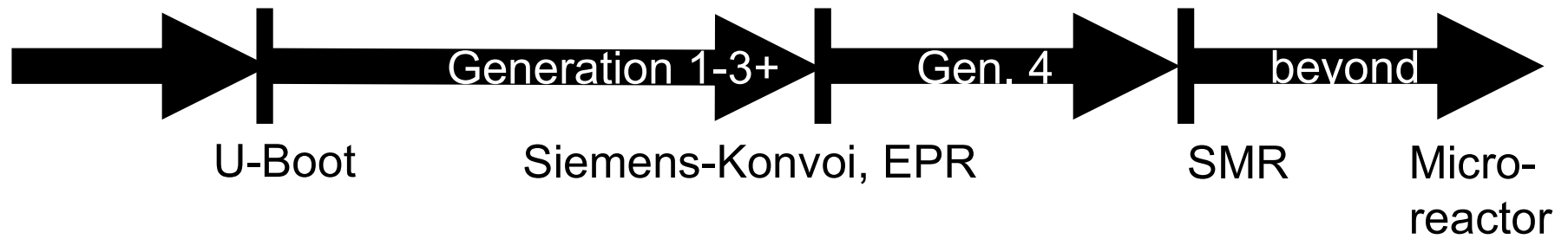


Abb. 9.6: Cs-137-Körperaktivität der Karlsruher Referenzgruppe

Reaktor-Generationen



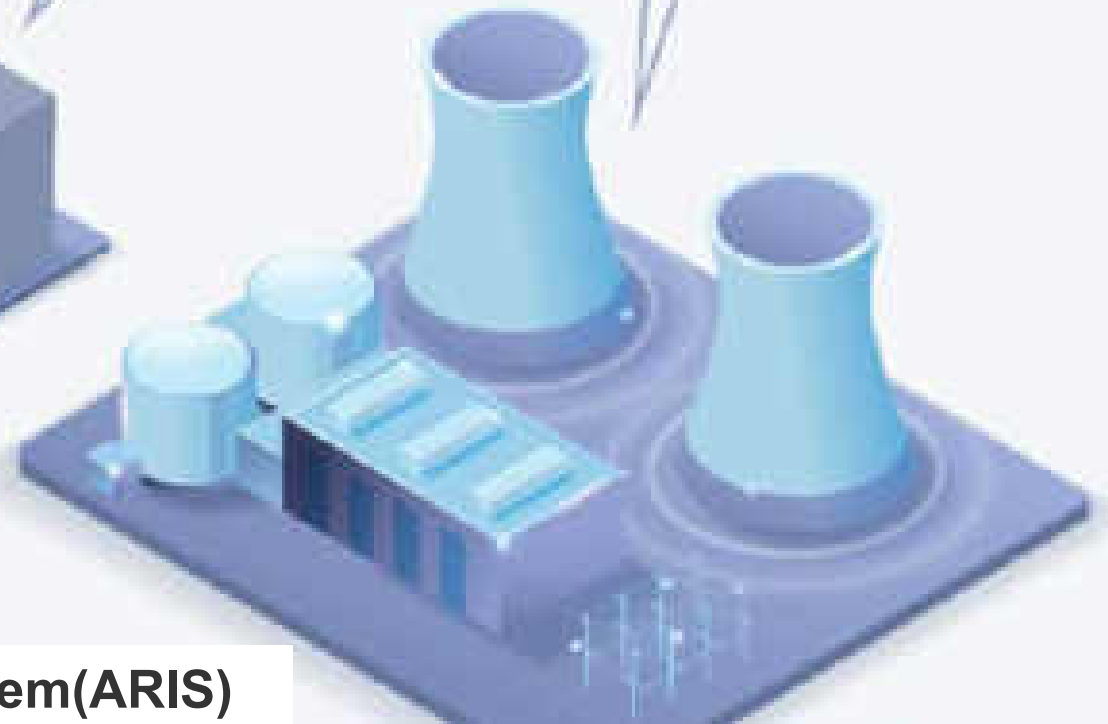
Microreactor
1 MW – 20 MW



Small Modular
Reactor
20 MW – 300 MW



Large-Scale
Reactor
300 MW – 1,000+ MW



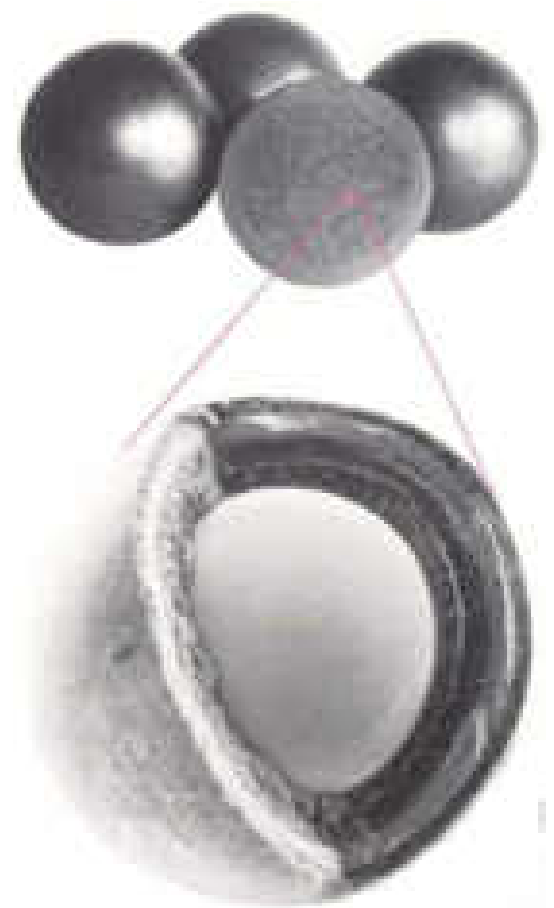
IAEA

International Atomic Energy Agency

Advanced Reactors Information System (ARIS)

4th Generation

- Kugelhaufenreaktor Schulten, Jülich: heute in Südafrika (ohne Dtl.)
- noch höhere passive Sicherheit
- Modulbauweise um Konstruktions- und Genehmigungskosten zu sparen (RISIKO)
- Höheren Wirkungsgrad (heute um die 35% bei DWR)
- Neue Konzepte: superkritisches Wasser, Hochtemperatur-Gas (Kopplung mit Industrieprozessen), Schnellen Brüter (Kalkar), Salzschnmelzen



Zukunft – wohin geht es weltweit

- EPR (Siemens-Framatom), AP1000 (Westinghouse)
- Uran-Markt, Wiederaufarbeitung
- Proliferation
- Neue Märkte: Öl-Länder starten Forschung und Lehre / Kooperationen, Südost-Asien

Far far away:

- Kernfusion, Transmutation
- Isotopenbatterien, Nuklearantrieb für Raumfahrt

Nuklearschiff “Otto Hahn”



38 MW_{th} für 900 Tage Einsatz, 1,7 Tonnen UO₂, 12 BE

Kern: 1,05 m Ø und 0,83 m hoch, aber RDB 2,36 m im Durchmesser und 8,6 m hoch, Innenvolumen 35m³

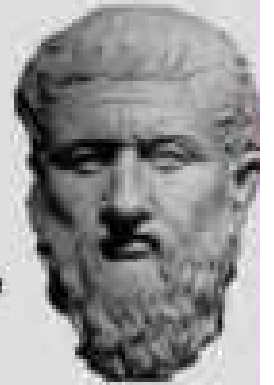
17 Kn (31 km/h), 16870 BRT, 11000 PS

33 Häfen angefahren, insgesamt 650'000 Seemeilen



Niemand wird mehr
gehasst, als
derjenige der
die Wahrheit
sagt.

Platon



WIRTSCHAFT Tipps von Experten

So einfach ist Energiesparen

"Wer Putin Schaden will, spart Energie": Diese Lo...
ausgegangen. Dabei reichen kleine Maßnahmen, s...
Sandra Bögger.

COR



Brennelement-Transporte

- Beispiel für Sicherheitsstandard in der Kerntechnik
- Castor-Behälter: aus einem Stück gefertigt, 40 cm Wandstärke, Doppeldeckelsystem, wiegen leer 100 t
- <http://kernenergie-wissen.de/castor.html>



- einen direkten (rundherum) Brand mit Temperaturen über 800 °C für 30 min,
- Fall aus 9 m Höhe (Aufprallgeschwindigkeit 48 km/h) auf eine unnachgiebige Stahlbetonplatte mit 200 mm Stahlplatte, (Deckelbereich!!!)
- Fall aus 1 m auf einen 20 cm hohen Metall-Dorn,
- Tauchtest über 1 h in 200m, und 8h in 15 m Wassertiefe

Ein weiterer Versuch: Zur Simulation eines Flugzeugabsturzes unmittelbar auf einen Behälter prallte ein Geschoss von einer Tonne Gewicht mit Schallgeschwindigkeit auf die Kühlrippen - Schäden dort, aber nicht am eigentlichen Behälter.



anderes
Bild

**Eisenbahnzug (Lok mit drei Wagons) bei Tempo 165 auf einen Muster-
Behälter prallen. Befund: keiner! Die Auswertung der Messungen ergab,
dass die auf die ungünstigste Stelle am Behälter einwirkenden Kräfte
(Deckel und seine Schrauben) der Hälfte jener Belastung entsprachen, die
beim Falltest auf 9 Meter erreicht wurde!**



Siehe
Bild
BfS

Containers Passed Every Test



Politische Rahmenbedingungen

- Ausbildung & Forschung langfristig
- *Allg. Technik-Feindlichkeit <-> Dtl. = high tech Export*
- Internationale Kollaborationen – “Input” von Grenzgebieten – Auswirkung auf neue Technologie / Abkopplung von der Entwicklung (vgl. Raumfahrt)
- Unsere Sicherheitsstandards werden nicht wahr(/über)nommen weil “wir” ja aussteigen...
- Risiko / Bewältigung im Fall eines Unfalls “von aussen” ... KEINE EXPERTEN MEHR!
- Notwendige Dauer ein neues Kraftwerk zu bauen
- Investitionssummen künstlich hoch wegen - politisch
- Vgl. mit chemischer Industrie, Gentechnik

Technologie-Gesellschaft

- **Früher:** Anwendungen von “friedlichen Explosionen” um Seen anzulegen, Atom-getriebenes Auto (1958, Henry Ford-Museum, Michigan)
- Technik-Begeisterung des Aufschwungs
- **Heute:** “Strom kommt aus der Steckdose...”
- Spiegelbild Universität
- Roman Herzog: Grundsatzrede vom 26. April 1997 in Berlin:
- “Kaum eine Anstrengung zur Reform, die nicht sofort als Anschlag auf den Sozialstaat unter Verdacht gerät. Ob Kernkraft, Gentechnik oder Digitalisierung: Wir leiden darunter, daß die Diskussionen bei uns bis zur Unkenntlichkeit verzerrt werden - teils ideologisiert, teils einfach idiotisiert. Solche Debatten führen nicht mehr zu Entscheidungen, sondern sie münden in Rituale, die immer wieder nach dem gleichen Muster ablaufen, nach einer Art Sieben-Stufen-Programm:
- Diese Rituale könnten belustigend wirken, wenn sie nicht die Fähigkeit, zu Entscheidungen zu kommen, gefährlich lähmen würden. Wir streiten uns um die unwichtigen Dinge, um den wichtigen nicht ins Auge sehen zu müssen.”

Anwendung von Radioaktivität

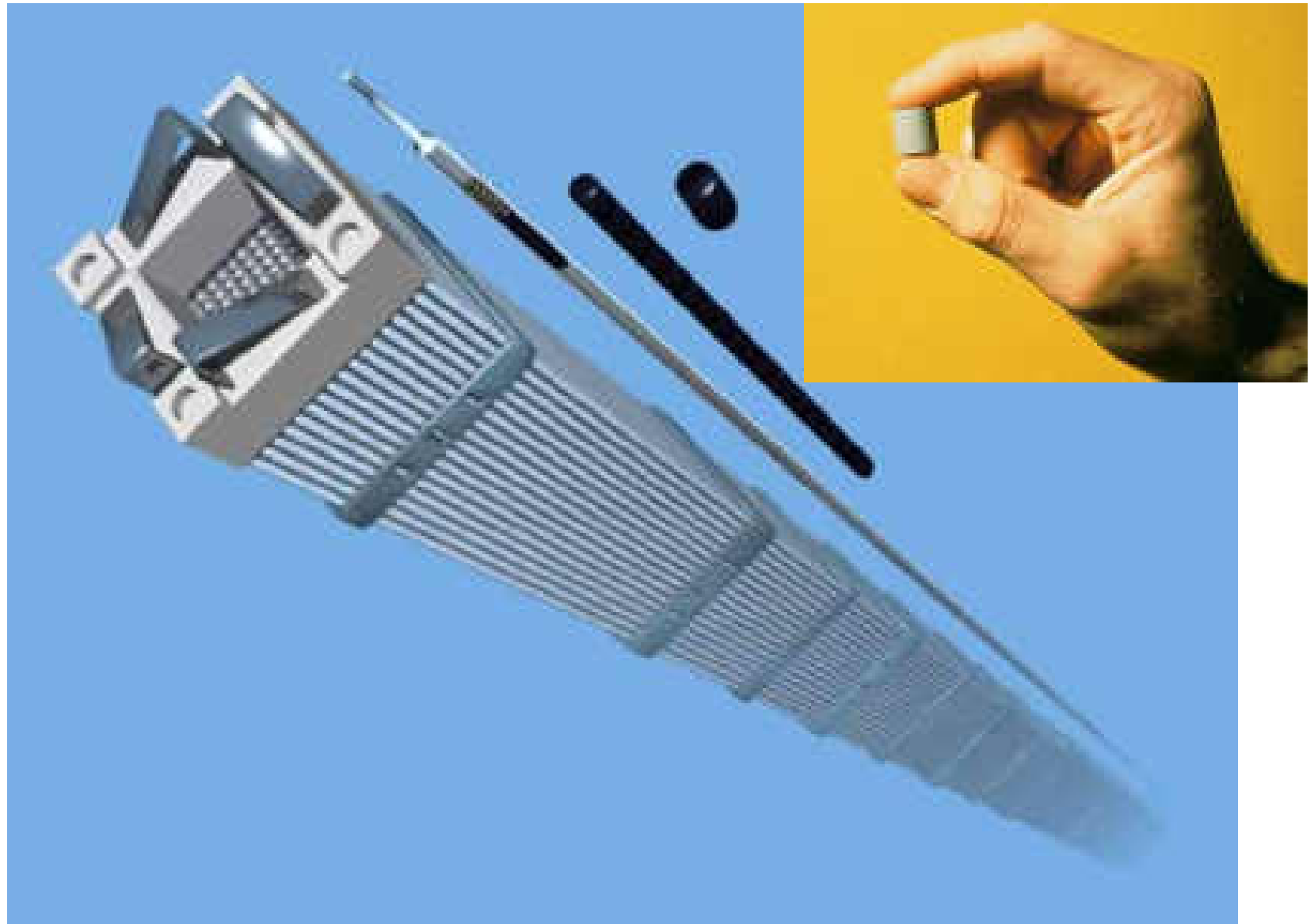
- Nuklearmedizin:
 - Diagnostik: FDG: Parkinson, Alzheimer, Iod: Schilddrüsenfunktion
 - Therapie: markierte Verbindungen (α -Strahler), Schwerionenbestrahlung
- Nuklear-getriebene U-Boote, Eisbrecher (7 russ.)
- Sonden, Füllstands- und Dickemessungen, Feuchtigkeitsgehalt, Öl-Exploration
- Schweißnahtkontrolle, *Rauchmelder*, *Isotopenbatterie*, Lebensmittelbestrahlung, Klärschlammsterilisation ...

What is Waste?

- Coal tar was regarded as an annoying byproduct of town-gas and metallurgical-coke production for over 100 years
- Today: synthetic dyes, pharmaceuticals, perfume, soaps, naphthalene, anthracene (approx. 15×10^6 t/year production worldwide)
- Uranium: until 1940 byproduct of radium (only little used to color ceramics and glass)
- Rare earths from Monazit sand; Th in gas la no longer used: Nd glasses



d Into Fuel Assemblies



Utilization of fission products



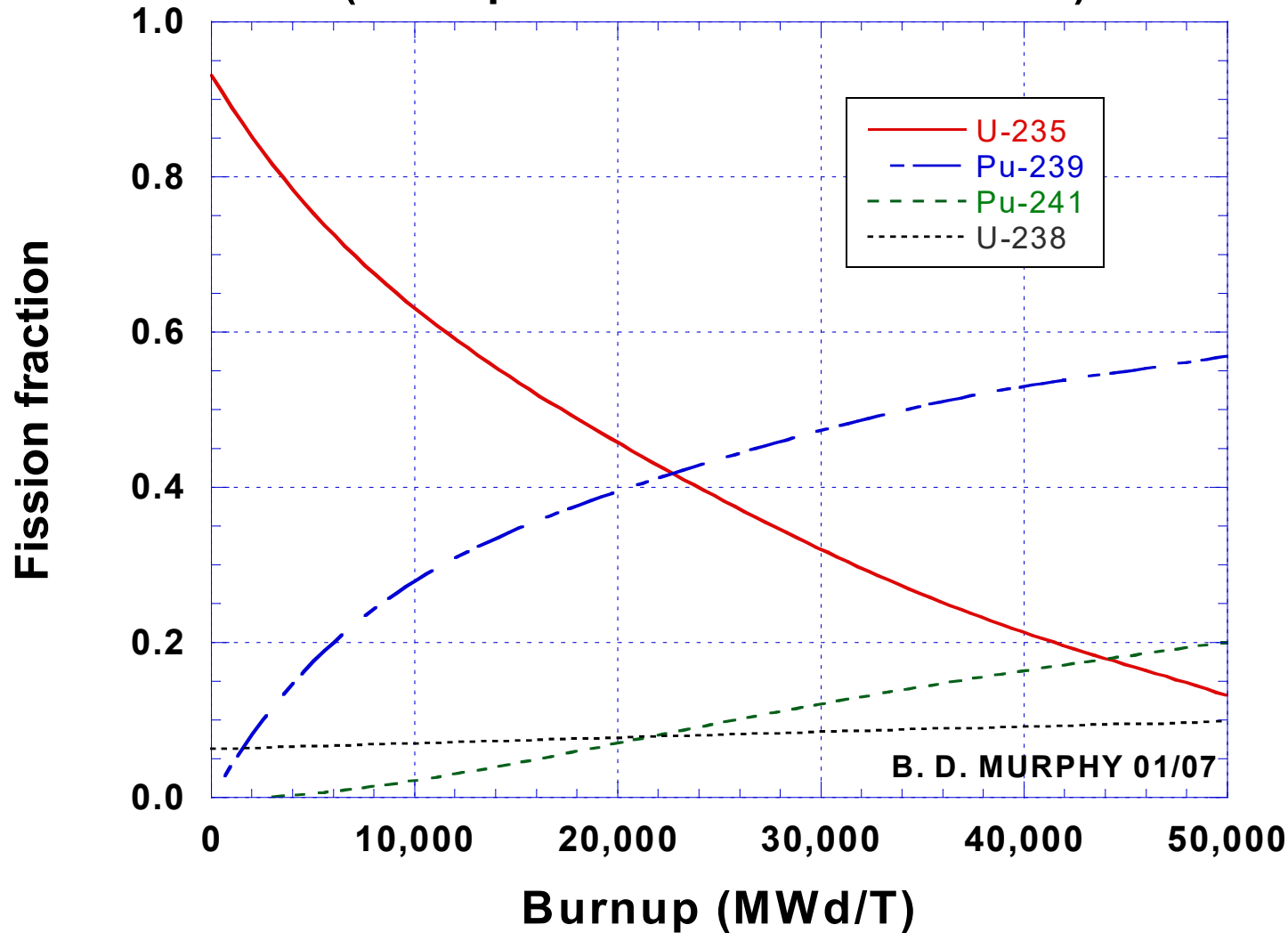
- Tc to prevent of fouling by marine growth as well as corrosion underwater and water-floated objects.
- Ru, Rh, Pd – catalysts in chemical industry or off-gas treatment
- Rare earths for special steels
- Cf-252 as neutron source: detect explosives (N), cement and coal industry (70\$/ μg)
- Am-241 in smoke detectors; mixed with Be to produce neutrons: material inspection (aircrafts), oil well borehole analysis, soil density, coal ash, thin coatings measurements, XRF
- Kr-85: thickness gauges, airport runway lights, methane gas tracer
- Tritium: luminescent exit lights, tracing water or methane on petroleum fields
- Sr-90: radioisotope batteries for weather stations
- Cs-137: Food irradiation and sterilization of medical supply etc.
- Controlling insect pests (sterilization of insects – chemical means often destroy pollinators and other beneficial insects plus leaving toxic residues in the food chain – used by IAEA)

Radiotoxicity of Plutonium

- Approx. 300 t produced by cosmic rays (Pu-244 in r-process)
- 3 -5 t due to >400 nuclear test above ground
- When taken in by mouth, Pu is less poisonous than if inhaled!
- Most dangerous aerosols, e.g. PuO₂
 - Particle size important: 0.1 μm – 30% reach the lung; 1 μm – 0.03% reach the lung
- Transfer into body fluid depends on physical-chemical properties of the compound
- In body fluid: 50% go to skeleton, 30% to liver, rest excreted (bio half life is 50 years in bones, 20 years in liver)
- Biochemical toxicity only observed at about LD50 = 1mg Pu239/kg in blood (intravenous)
- Lethal dose for human: 0.05 g Pu-239 (100 MBq) inhalation
- Alphas cause lung cancer and leukemia

Diskussion MOX-BE

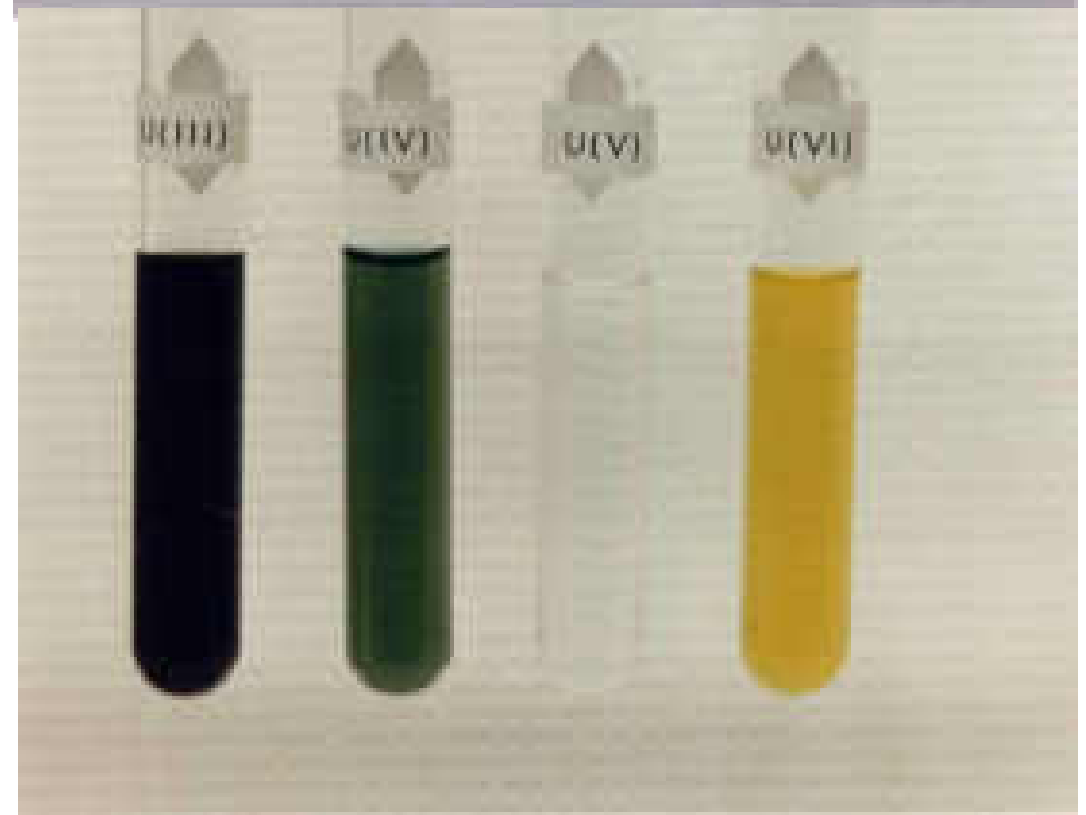
Fission Contributions of Actinides
(example is from a 17x17 PWR)



Stichwort:
Plutonium-Wirtschaft

Giftigkeit von Pu
Waffenfähigkeit von Pu

**Reaktor-Plutonium
ist KEIN
Waffen-Plutonium!**



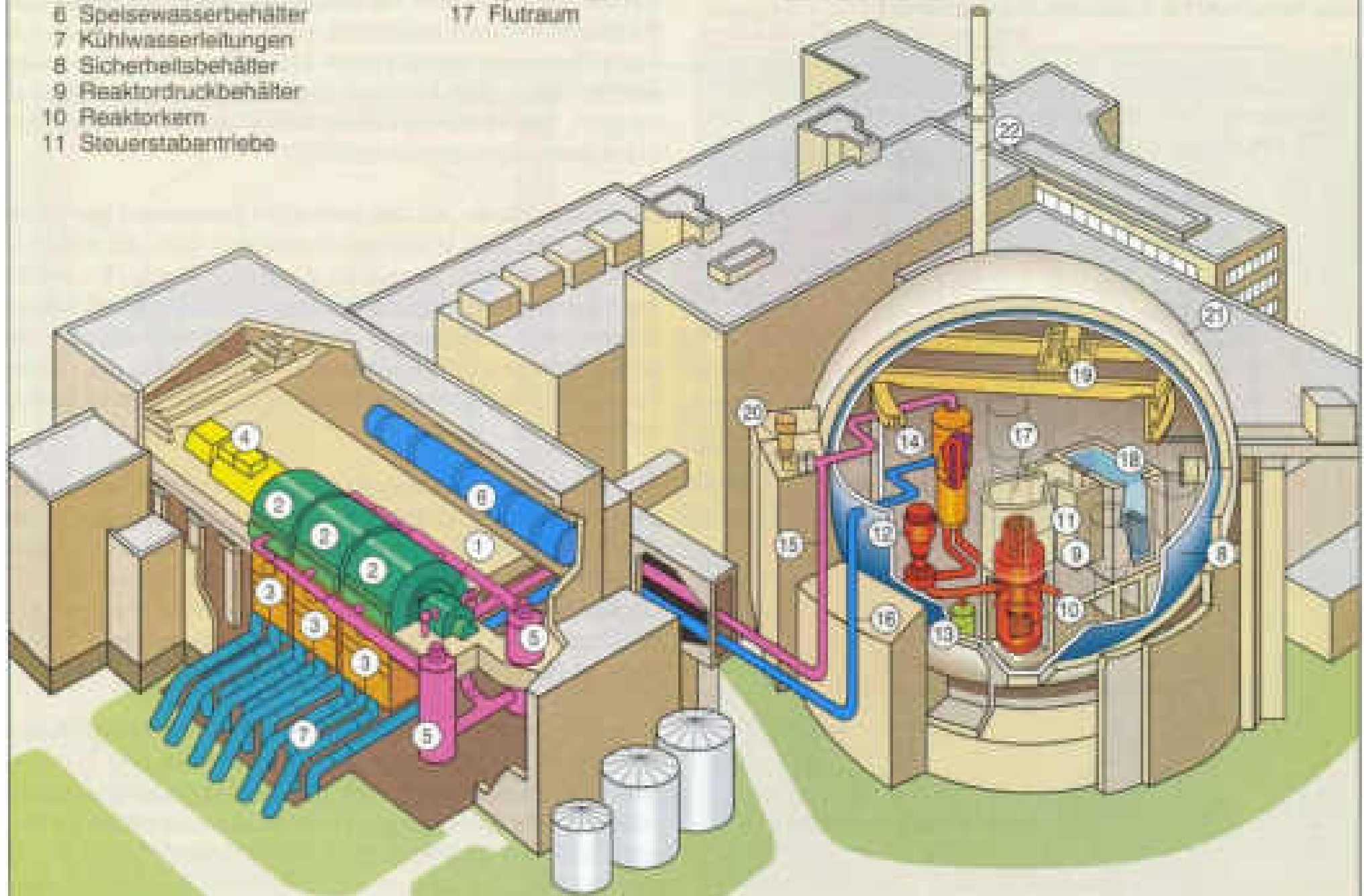
“Pu, die giftigste Substanz”?

Substance	LD 50 in mg/kg	
Ethanol	10,000	injection
Morphin	900	injection
Nicotin	1	injection
Pu-239	1	injection
	2	inhalation
Tetradotoxin	0.1	injection
Dioxin	0.001	injection
Botolinustoxin	0.00001	injection

- 1 Hochdruckturbine
- 2 Niederdruckturbine
- 3 Kondensator
- 4 Generator mit Erregermaschine
- 5 Zwischenüberhitzer
- 6 Speisewasserbehälter
- 7 Kühlwasserleitungen
- 8 Sicherheitsbehälter
- 9 Reaktordruckbehälter
- 10 Reaktorkern
- 11 Steuerstabsantriebe

- 12 Hauptkühlmittelpumpe
- 13 Druckhalter
- 14 Dampferzeuger
- 15 Frischdampf
- 16 Speisewasser
- 17 Flutraum

- 18 Brennelemente-Lagerbecken
- 19 Brennelemente-Wechselmaschine
- 20 Druckabbausystem
- 21 Betonabschirmung
- 22 Abluftkamin



- 1 Hochdruckteil der Turbine
- 2 Niederdruckteil der Turbine
- 3 Kondensator
- 4 Generator mit Erregermaschine
- 5 Zwischenüberhitzer
- 6 Kühlwasserleitungen
- 7 Frischdampf

- 8 Sperrwasser
- 9 Sicherheitsbehälter
- 10 Reaktordruckbehälter
- 11 Reaktorkern
- 12 Umwälzpumpen
- 13 Steuerstäbe
- 14 Flutraum

- 15 Brennelemente-Lagerbecken
- 16 Brennelemente-Wechselmaschine
- 17 Druckabbausystem
- 18 Abluftkamin



Abb. 6.1.2
 Räumliche Anordnung wichtiger Komponenten im Kernkraftwerk Krümmel (vereinfachte Darstellung)

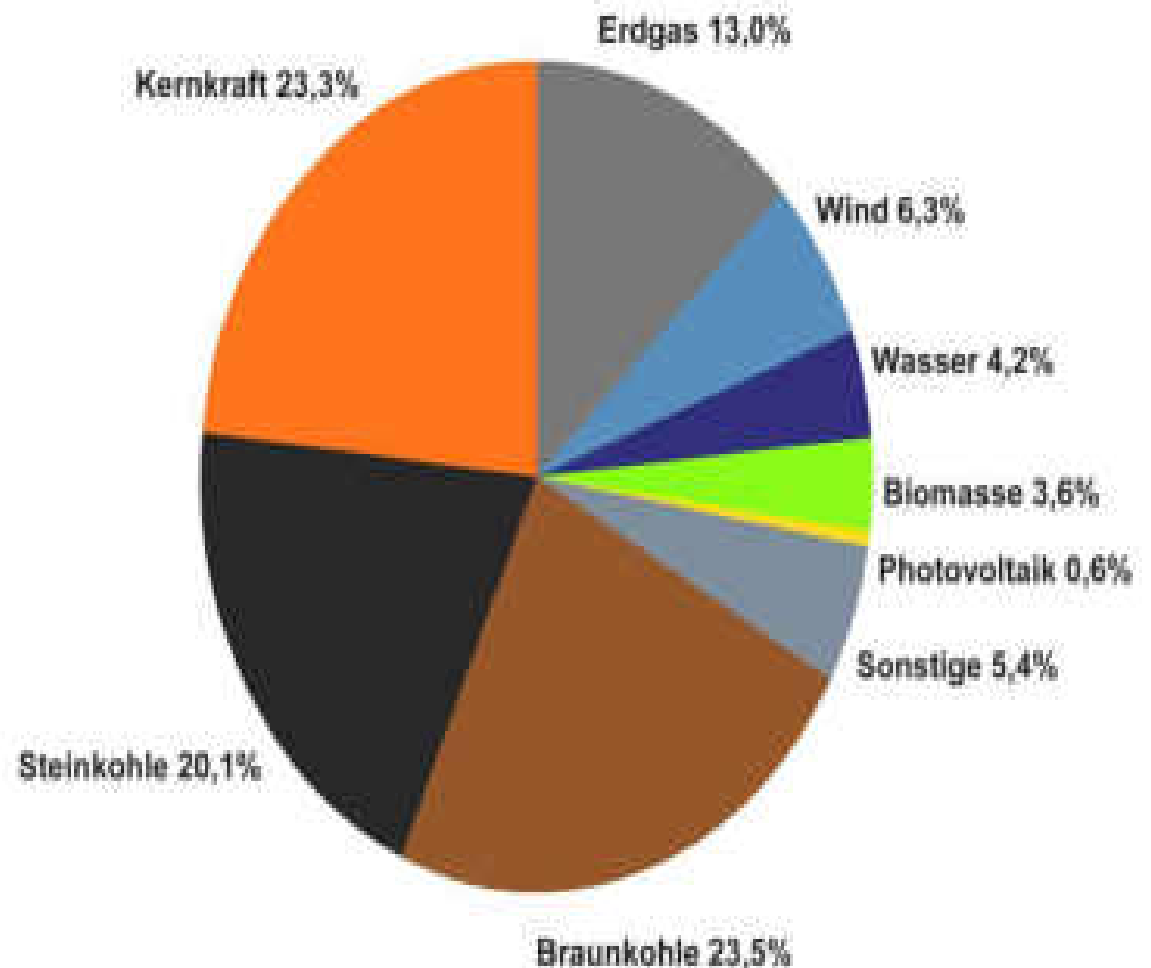
Deutschland

- Anteil = 23.3% (2008)
- Grundlastbereich 48%
- 11.4% des Primär-energieverbrauchs

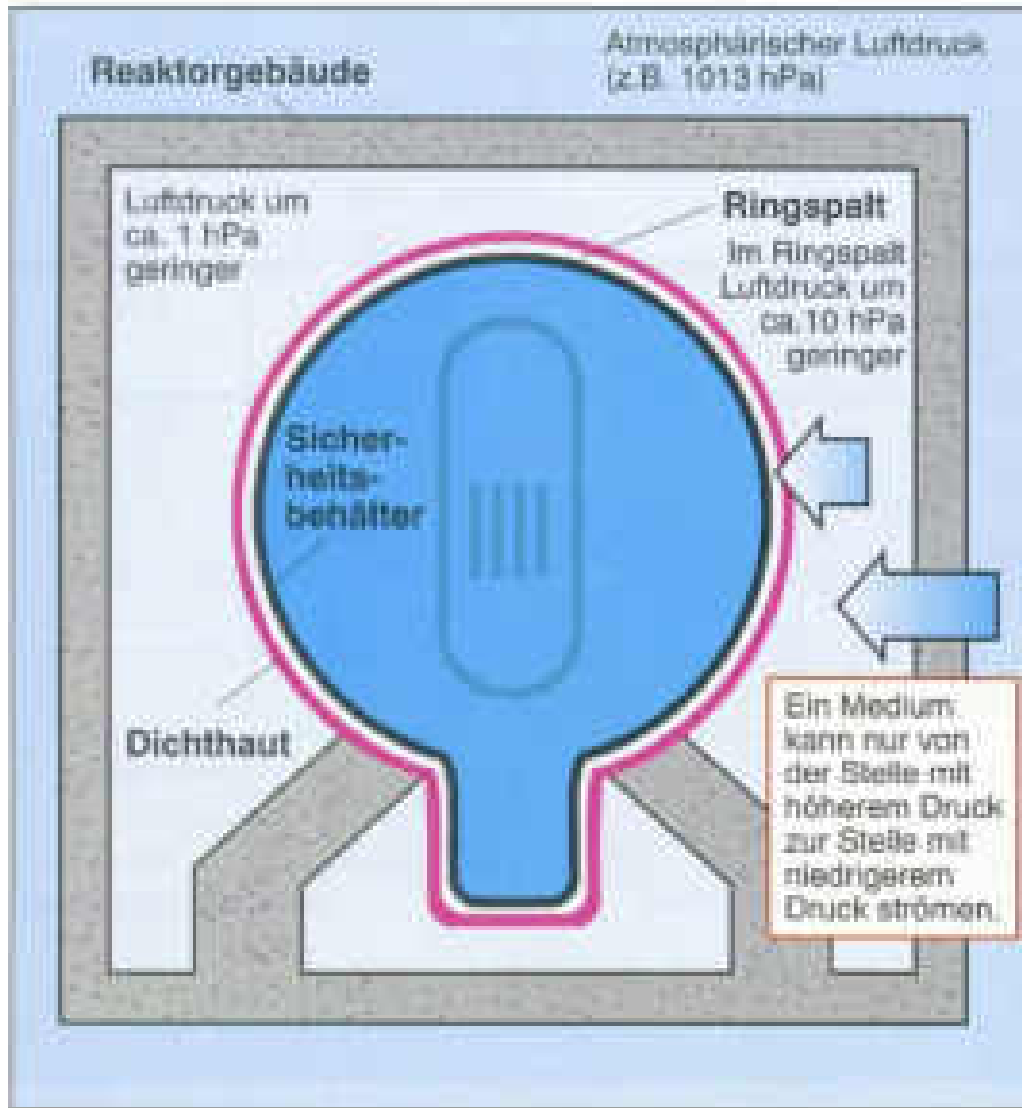
durch die Nutzung von KE in Dtl. werden jährlich 150 Mill Tonnen CO₂ vermieden – annähernd so viel wie durch den gesamten dtsh. Strassenverkehr jährlich freigesetzt wird !

- 17 KKW in Betrieb

www.kernenergie-wissen.de
email: kronenberg@kernchemie.de



Unterdruck



Ahh. 7.4.1



Ahh. 7.4.2

Strahlendosis im Vergleich

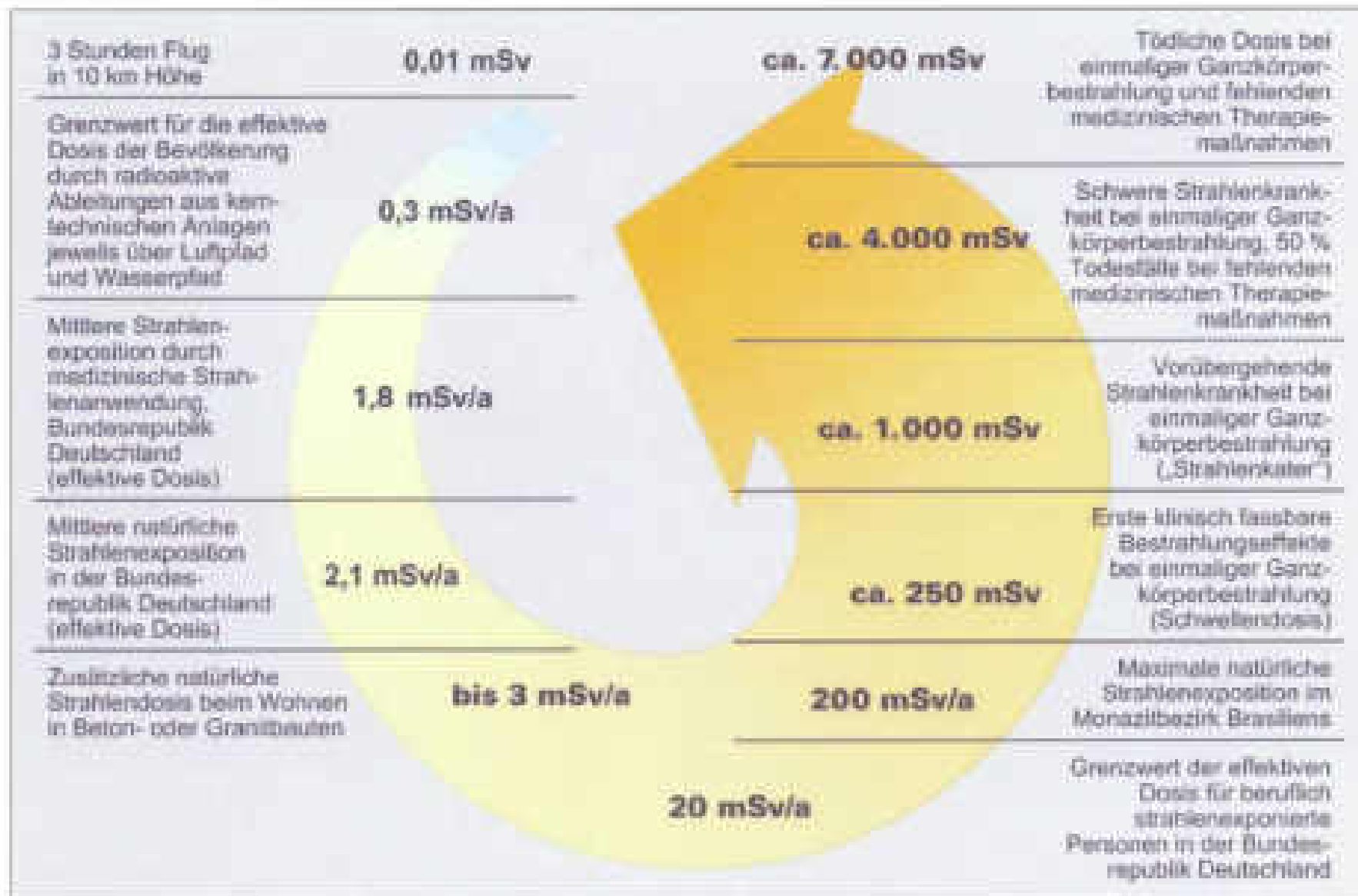


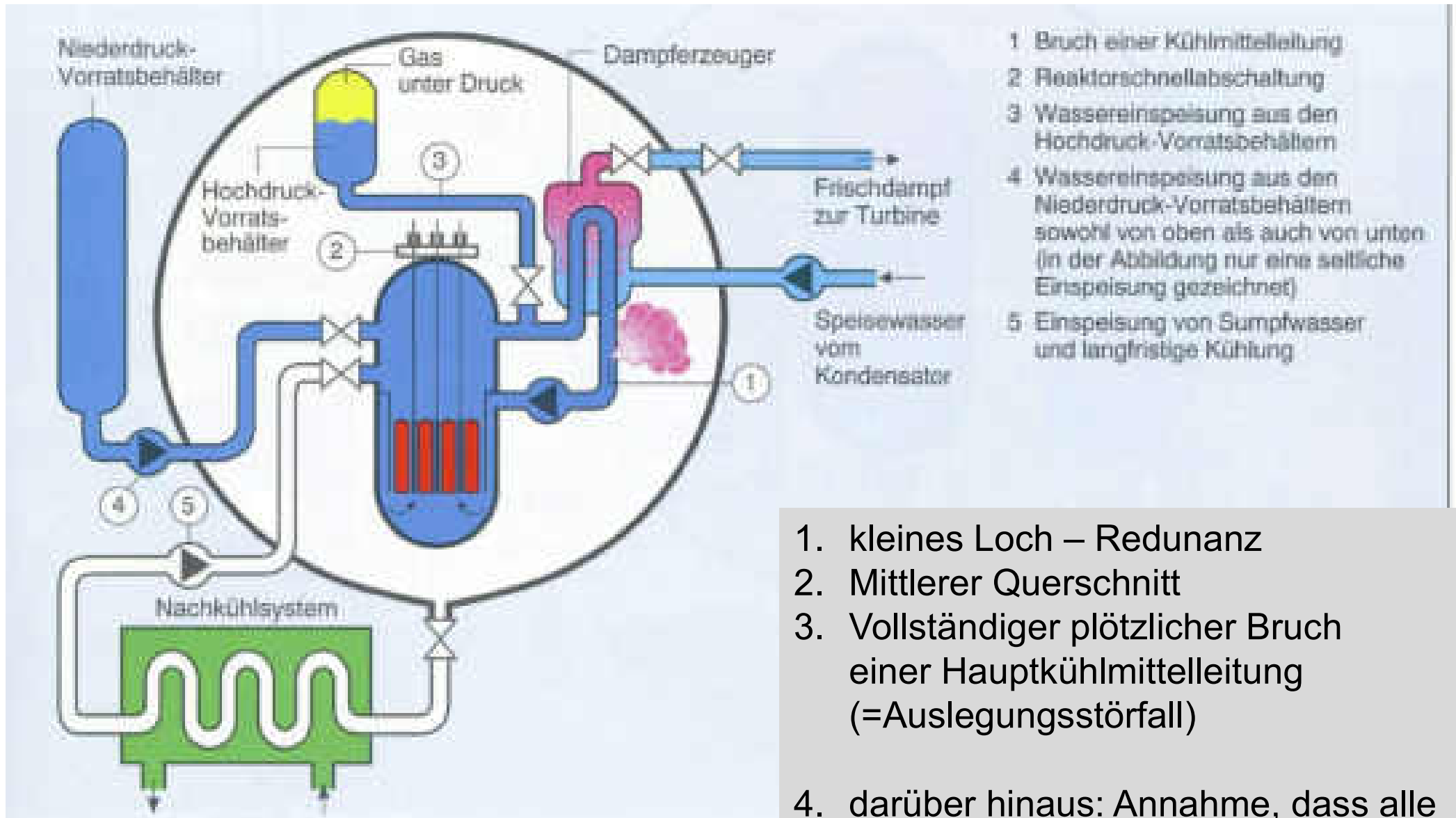
Abb. 6.8: Beispiele für Körperdosis-Leistungen und Körperdosen (Die Angaben zu den Werten 250 bis 7000 mSv beschreiben somatische Strahlenfrühschäden. Aus Gründen der besseren Lesbarkeit sind vereinfachend auch diese Dosen in der Einheit Sievert statt Gray angegeben.)



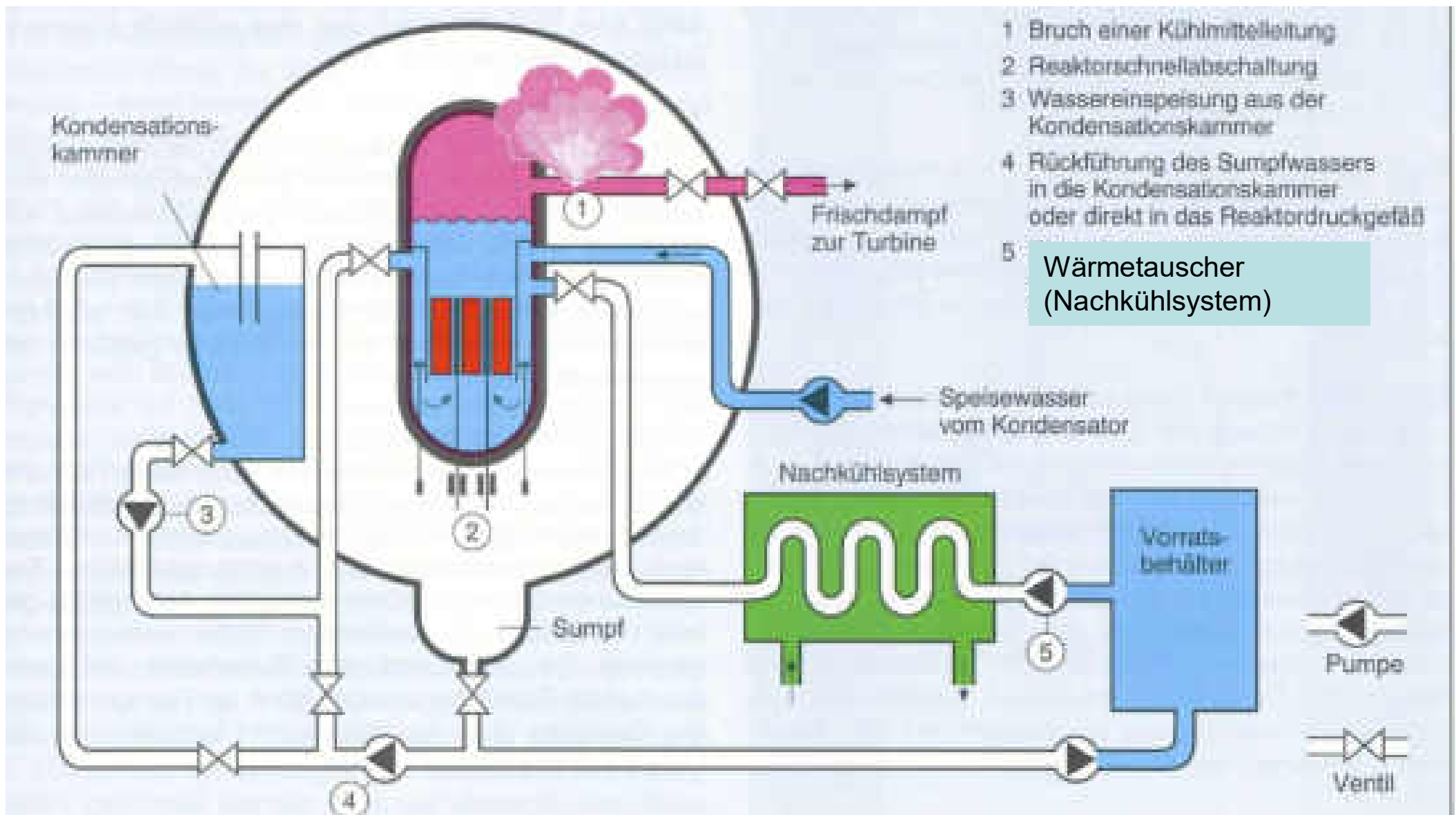
Pauls Rende

DWR

Sicherheitsbehälter kann den Druck aufnehmen, wenn ALLES H₂O verdampft !



Notkühlsystem – 4 fach!



alle Ventile $n+2$
Kondensationsrohre (siehe auch KKW-Schema)

Siehe auch Bild: RDB !