

Tschernobyl

Eine Katastrophe in Fakten und Zahlen



Vortrag gehalten am 24.10. 2005

Prof. Dr. Ulrich Abram
Freie Universität Berlin
Institut für Chemie und Biochemie

Tschernobyl

Eine Katastrophe in Fakten und Zahlen



Quelle der Karte: www.cia.org

Wie kam es zur Katastrophe ?

26. April 1986

- Fehlerhafte Durchführung eines Sicherheits-experiments
 - Sicheres Herunterfahren des Reaktors bei evtl. Stromausfall
- Zahlreiche Bedienungsfehler und Fehlentscheidungen bei Versuchen, den Reaktor unter Kontrolle zu bekommen
- Konstruktionsbedingte Mängel des RBMK-Reaktors
 - Leistungssteigerung bei Entfernung des Kühlmittels
 - Bremsstäbe mit Graphitköpfen
 - etc.
- Brennstäbe bersten nach langzeitiger Überhitzung
- Zersetzung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff (Knallgasbildung)
- Explosion mit Verschiebung des 1000-Tonnen-schweren Deckplatte
- Lufteintritt führt zu einer zweiten Explosion
- Entzündung des Graphitinventars des Reaktors
- Freisetzung großer Mengen radioaktiven Materials über ca. 10 Tage



Freisetzung radioaktiver Stoffe

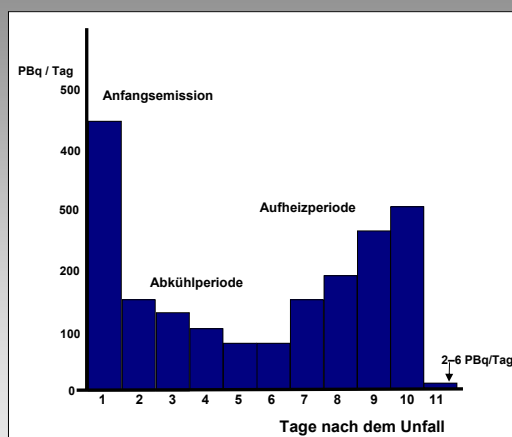
26. April – 5. Mai 1986

1. Tag:
Freisetzung radioaktiven Materials als Folge der Explosion (Edelgase, flüchtige Komponenten, Aerosole)

2. bis 6. Tag
Abnahme durch permanente Löscharbeiten mit Borcarbid, Dolomit, Ton und Blei → Filtrationseffekt

7. bis 10. Tag
Aufheizung des radioaktiven Inventars unter der Abdeckung bis auf 2000°C und Wiederanstieg der Freisetzung

11. Tag
Starker Rückgang der Emission durch chemische Bindung eines Großteils der Spaltprodukte



(Werte ohne Edelgase)

Quelle: UNSCEAR 1988 Report, Annex D

Freigesetzte Radioaktivität

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq		
			UdSSR, 1986	UNSCEAR, 1988	Buzulukov, 1993
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33	33	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	93	81	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1	8.1	8.0
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	160	170	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	140	-----	210
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	59	29	30
¹³² Te	76 h	β-, γ	410	410	1000
¹³¹ I	8 d	β-, γ	630	1700	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300	6.300	6.500
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	19	44	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	37	85	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	270	170	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	130	200	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	89	140	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	850	170	1.700
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.026	0.03	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.78	0.93	0.93
Total:			9.3 · 10³	9.7 · 10³	1.25 · 10⁴

1 PBq = 10¹⁵ Bq

UdSSR 1986: Staatliches Ministerium für Atomenergie der Sowjetunion
 UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung
 Buzulukov 1993: „The Chernobyl Papers: Dose to the soviet population“, Richland, USA

Freigesetzte Radioaktivität

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq		
			UdSSR, 1986	UNSCEAR, 1988	Buzulukov, 1993
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33	33	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	93	81	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1	8.1	8.0
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	160	170	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	140	-----	210
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	59	29	30
¹³² Te	76 h	β-, γ	410	410	1000
¹³¹ I	8 d	β-, γ	630	1700	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300	6.300	6.500
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	19	44	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	37	85	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	270	170	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	130	200	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	89	140	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	850	170	1.700
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.026	0.03	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.78	0.93	0.93
Total:			9.3 · 10³	9.7 · 10³	1.25 · 10⁴

1 PBq = 10¹⁵ Bq

UdSSR 1986: Staatliches Ministerium für Atomenergie der Sowjetunion
 UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung
 Buzulukov 1993: „The Chernobyl Papers: Dose to the soviet population“, Richland, USA

Freigesetzte Radioaktivität

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	1
⁹⁵ Zr	64 d		
⁹⁹ Mo	66 h		
¹⁰⁶ Ru	368 d		
¹³² Te			
¹³¹ I			
¹³³ Xe			
¹³⁴ Cs			
¹³⁷ Cs			
¹⁴⁰ Ba			10
¹⁴¹ Ba		β-, γ	200
¹⁴⁷ Pm		β-, γ	140
¹⁴⁷ Sm		β-, γ	170
²³⁸ U	a	α, γ	0.03
²³⁸ U		α	0.93

**1 PBq = 1 Petabequerel
= 10¹⁵ Bq**

1 000 000 000 000 000 Bq

1 Bq = 1 Kernzerfall / s

1 PBq = 10¹⁵ Bq

9.7 · 10³

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Einschub 1:

Einheiten Aktivität

$$\text{Aktivität} = \frac{\text{Zahl der Zerfälle}}{\text{Zeit}}$$

Luftvolumen	Natürliche Radiaktivität in Bq (Durchschnittswert)
1 m ³	50
62,5 m ³ (Zimmer 5 m · 8 m · 2,5 m)	3125
240 m ³ (Hörsaal 10 m · 8 m · 3 m)	12 000
6000 m ³ (Turnhalle 20 m · 30 m · 10 m)	300 000
1 Mensch	≈ 7 400

SI - Einheit:
1 Bq (Bequerel) = 1/s

Alte Einheit:
Ci (Curie)
1Ci = 3.7 x 10¹⁰ Bq

Spezifische Aktivität

Aktivität pro Masse, Fläche oder Volumen
Bq/g Bq/cm² Bq/cm³

Freigesetzte Radioaktivität

Strahlungsarten (α -, β -, γ -Strahlung)

→ Reichweite, Ionisierungsvermögen, Schädigungspotenzial

Halbwertszeit

→ Zusammenhang zwischen Halbwertszeit und Aktivität

Allgemeine Chemie

→ Einfluss der chemischen Zusammensetzung der emittierten Radionuklide auf das Schädigungspotenzial

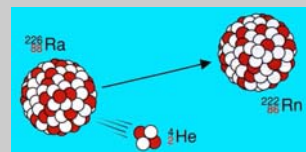
Biologisch relevante Chemie

→ emittierte Radionuklide mit biologisch relevanten Verteilungs- oder Anreicherungsmechanismen

Freigesetzte Radioaktivität (Strahlungsarten)

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β -, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β -, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β -	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β -, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β -	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β -	29
¹³² Te	76 h	β -, γ	410
¹³¹ I	8 d	β -, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β -, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β -, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β -, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β -, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β -, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β -, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β -, γ	170
²³⁹ Pu	$2.4 \cdot 10^4$ a	α -, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93
Total:			$9.7 \cdot 10^3$

α - Strahlung



Emission von Heliumkernen

- große Masse (2 Protonen, 2 Neutronen)
- kurze Reichweite
- hohes Ionisierungspotenzial
- typisch für schwere Kerne

1 PBq = 10^{15} Bq

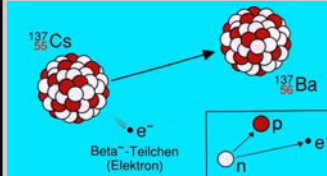
UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte Radioaktivität (Strahlungsarten)

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β	29
¹³² Te	76 h	β, γ	410
¹³¹ I	8 d	β, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

Total: **9.7 · 10³**

β - Strahlung



Emission von Beta-Teilchen

- Masse eines Elektrons
- mittlere Reichweite
- niedriges Ionisierungspotenzial
- typisch für Spaltprodukte

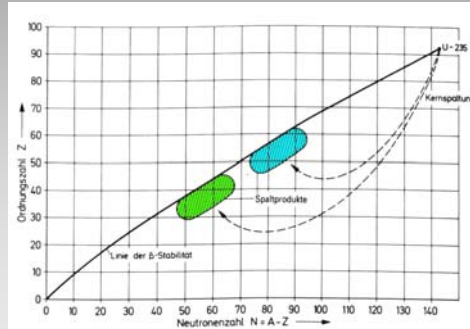
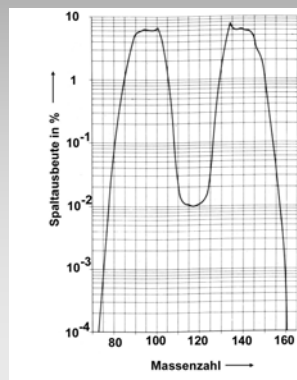
1 PBq = 10¹⁵ Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Einschub 2:

Kernspaltung

- durch Beschuss mit (thermischen) Neutronen ausgelöst
- als Kettenreaktion 1938 durch Hahn, Meitner und Strassmann entdeckt
- Intermediat ist ein stark verformter „Compound“-Kern
- asymmetrische Spaltprodukte werden gebildet
- nachfolgende Stabilisierung durch (mehrere) β-Zerfälle

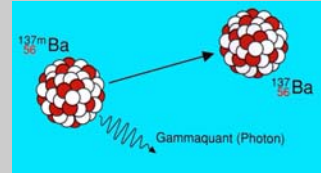


Freigesetzte Radioaktivität (Strahlungsarten)

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29
¹³² Te	76 h	β-, γ	410
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α-, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

Total: **9.7 · 10³**

γ - Strahlung



Emission von γ-Quanten

- elektromagnetische Strahlung
- große Reichweite
- niedriges Ionisierungspotenzial
- häufige Begleitstrahlung von α- und β-Zerfällen
- sehr gut messbare Strahlung

1 PBq = 10¹⁵ Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Einschub 3:

Die Reichweite radioaktiver Strahlung

Die Reichweite radioaktiver Strahlung ist vom Strahlungstyp abhängig

- α-Strahlung besteht aus großen Teilchen
- β-Strahlung besteht aus kleinen Teilchen
- γ-Strahlung besteht aus Photonen (elektromagnetische Strahlung)

Die Reichweite radioaktiver Strahlung ist energieabhängig

Reichweite von α-Teilchen

Energie in MeV	Reichweite in		
	Luft	Muskelgewebe	Aluminium
1	0.32 cm	4 μm	2 μm
4	2.5 cm	31 μm	16 μm
6	4.6 cm	56 μm	30 μm
8	7.4 cm	91 μm	48 μm
10	10.6 cm	130 μm	67 μm

Einschub 3:

Die Reichweite radioaktiver Strahlung

Reichweite von β -Teilchen

Energie in MeV	Reichweite in		
	Luft	Muskelgewebe	Aluminium
0.01	3 mm	2.5 μ m	9 μ m
0.5	1.2 m	1.87 mm	0.6 mm
1	3.06 m	4.75 mm	1.5 mm
10	39 m	60 mm	19 mm

Reichweite von γ -Strahlung

(Beachte! Halbwertsschichten, nicht Reichweite)

Energie in MeV	Halbwertsschichten in		
	Wasser	Beton	Blei
0.01	4.15 cm	1.75 cm	0.1 mm
0.5	7.2 cm	3.4 cm	0.4 cm
1	9.8 cm	4.6 cm	0.9 cm
10	31 cm	12.9 cm	1.2 cm

Freigesetzte Radioaktivität

Strahlungsarten (α -, β -, γ -Strahlung)

→ Reichweite, Ionisierungsvermögen, Schädigungspotenzial

Halbwertszeit

→ Zusammenhang zwischen Halbwertszeit und Aktivität

Allgemeine Chemie

→ Einfluss der chemischen Zusammensetzung der emittierten Radionuklide auf das Schädigungspotenzial

Biologisch relevante Chemie

→ emittierte Radionuklide mit biologisch relevanten Verteilungs- oder Anreicherungsmechanismen

Freigesetzte Radionuklide mit relativ kurzer Halbwertszeit

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29
¹³² Te	76 h	β-, γ	410
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

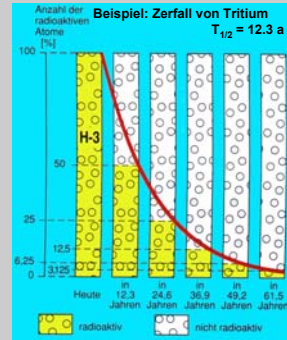
Total: **9.7 · 10³**

Der radioaktive Zerfall

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

- Zeitgesetz 1. Ordnung

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$



1 PBq = 10¹⁵ Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte Radionuklide mit mittlerer Halbwertszeit

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29
¹³² Te	76 h	β-, γ	410
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

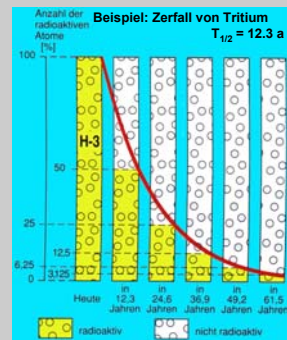
Total: **9.7 · 10³**

Der radioaktive Zerfall

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

- Zeitgesetz 1. Ordnung

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$



1 PBq = 10¹⁵ Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte Radionuklide mit langer Halbwertszeit

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29
¹³² Te	76 h	β-, γ	410
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

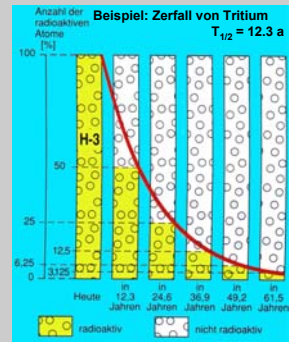
Total: **9.7 · 10³**

Der radioaktive Zerfall

$$N = N_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

- Zeitgesetz 1. Ordnung

$$\ln 2 = \lambda T_{1/2}$$



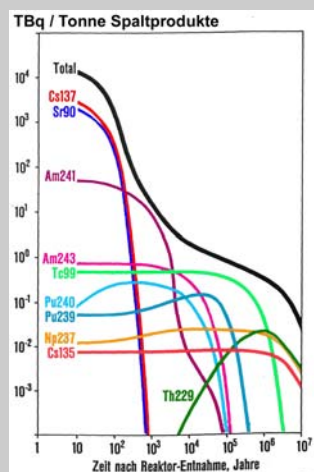
1 PBq = 10¹⁵ Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte Radionuklide mit extrem langer Halbwertszeit

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β-	210
⁹⁹ Tc	2 · 10 ⁵ a	β-	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29
¹³² Te	76 h	β-, γ	410
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1.700
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β-, γ	140
²³⁷ Np	2.2 · 10 ⁶ a	α, γ	-----
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03
²⁴⁰ Pu	6550 a	α, γ	0.044
²⁴² Pu	3.7 · 10 ⁶ a	α, γ	0.00009
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

Langzeitproblematik



Freigesetzte Radioaktivität

Strahlungsarten (α -, β -, γ -Strahlung)

→ Reichweite, Ionisierungsvermögen, Schädigungspotenzial

Halbwertszeit

→ Zusammenhang zwischen Halbwertszeit und Aktivität

Allgemeine Chemie

→ Einfluss der chemischen Zusammensetzung der emittierten Radionuklide auf das Schädigungspotenzial

Biologisch relevante Chemie

→ emittierte Radionuklide mit biologisch relevanten Verteilungs- oder Anreicherungsmechanismen

Freigesetzte wichtige Radioelemente

1 H																	2 He
2 Li	3 Be											5 B	6 C	7 N	8 O	9 F	10 Ne
11 Na	12 Mg											13 Al	14 Si	15 P	16 S	17 Cl	18 Ar
19 K	20 Ca	21 Sc	22 Ti	23 V	24 Cr	25 Mn	26 Fe	27 Co	28 Ni	29 Cu	30 Zn	31 Ga	32 Ge	33 As	34 Se	35 Br	36 Kr
37 Rb	38 Sr	39 Y	40 Zr	41 Nb	42 Mo	43 Tc	44 Ru	45 Rh	46 Pd	47 Ag	48 Cd	49 In	50 Sn	51 Sb	52 Te	53 I	54 Xe
55 Cs	56 Ba	57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu	86 Rn
87 Fr	88 Ra	89 Ac	90 Th	91 Pa	92 U	93 Np	94 Pu	95 Am	96 Cm	97 Bk	98 Cf	99 Es	100 Fm	101 Md	102 No	103 Lr	
			104 Rf	105 Db	106 Sg	107 Bh	108 Hs	109 Mt	110 Ds								

Beachte!
Unterschiedliche Elementtypen mit unterschiedlichem chemischen Verhalten!

Freigesetzte radioaktive Edelgase

Summe der Edelgase:

$6.5 \cdot 10^3$ PBq

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β	29
¹³² Te	76 h	β, γ	410
¹³¹ I	8 d	β, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β, γ	170
²³⁹ Pu	$2.4 \cdot 10^4$ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

1 PBq = 10^{15} Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte radioaktive Alkali- und Erdalkalielemente

Beachte die Halbwertszeiten von ⁹⁰Sr und ¹³⁷Cs:

28.5 a und 39.2 a

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
⁸⁵ Kr	10.8 a	β, γ	33
⁸⁹ Sr	50.5 d	β, γ	81
⁹⁰ Sr	28.5 a	β	8.1
⁹⁵ Zr	64 d	β, γ	170
⁹⁹ Mo	66 h	β	-----
¹⁰⁶ Ru	368 d	β	29
¹³² Te	76 h	β, γ	410
¹³¹ I	8 d	β, γ	1700
¹³³ Xe	5.3 d	β, γ	6.300
¹³⁴ Cs	2.1 a	β, γ	44
¹³⁷ Cs	30.2 a	β, γ	85
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β, γ	170
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β, γ	200
¹⁴⁴ Ce	284.8 d	β, γ	140
²³⁹ Np	2.4 d	β, γ	170
²³⁹ Pu	$2.4 \cdot 10^4$ a	α, γ	0.03
²⁴² Cm	163 d	α	0.93

1 PBq = 10^{15} Bq

UNSCEAR 1988: UNO-Report zu Quellen, Wirkungen und Risiken ionisierender Strahlung

Freigesetzte Radioaktivität

Strahlungsarten (α -, β -, γ -Strahlung)

→ Reichweite, Ionisierungsvermögen, Schädigungspotenzial

Halbwertszeit

→ Zusammenhang zwischen Halbwertszeit und Aktivität

Allgemeine Chemie

→ Einfluss der chemischen Zusammensetzung der emittierten Radionuklide auf das Schädigungspotenzial

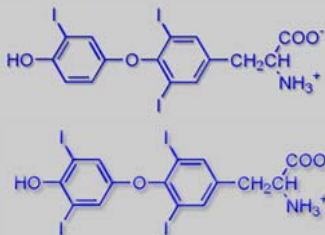
Biologisch relevante Chemie

→ emittierte Radionuklide mit biologisch relevanten Verteilungs- oder Anreicherungsmechanismen

Freigesetzte biologisch relevante Radionuklide

^{131}I :

- Sehr effektive Anreicherung in der Schilddrüse



$^{134,137}\text{Cs}$:

- Bioverteilung zusammen mit K^+ -Ionen

^{90}Sr :

- Bioverteilung zusammen mit Ca^{2+} -Ionen
- Einbau in das Knochengerüst

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq UNSCEAR, 1988
^{85}Kr	10.8 a	β , γ	33
^{89}Sr	50.5 d	β , γ	81
^{90}Sr	28.5 a	β	8.1
^{95}Zr	64 d	β , γ	170
^{99}Mo	66 h	β	-----
^{106}Ru	368 d	β	29
^{132}Te	76 h	β , γ	410
^{131}I	8 d	β , γ	1700
^{133}Xe	5.3 d	β , γ	6.300
^{134}Cs	2.1 a	β , γ	44
^{137}Cs	30.2 a	β , γ	85
^{140}Ba	12.8 d	β , γ	170
^{141}Ce	32.5 a	β , γ	200
^{144}Ce	284.8 d	β , γ	140
^{239}Np	2.4 d	β , γ	170
^{239}Pu	$2.4 \cdot 10^4$ a	α , γ	0.03
^{242}Cm	163 d	α	0.93

Erste Maßnahmen

Löscharbeiten

- zunächst an den konventionellen Feuern durch Werksfeuerwehr
- Probleme durch Ausbreitung stark kontaminierten Wassers
- später Löscharbeiten am Reaktor durch Helikopter
- durch extreme Strahlungsfelder enorme Schädigung der Löschmannschaften (**ca. 600 Personen**)

Evakuierungsmaßnahmen

- Abriegelung des Kraftwerkes in mehreren konzentrischen Kreisen noch in der Unfallnacht
- Evakuierung der Bevölkerung in drei Etappen
- Evakuierung der 50 000 Bewohner der Stadt Pripjat am 27. April mit 1200 Bussen innerhalb von 3 Stunden
- Evakuierung einer 30-km Zone war am 5. Mai abgeschlossen

Abdeck- und Aufräumarbeiten

- Beseitigung bzw. Abdeckung extremer Kontaminationen auf dem Kraftwerksgelände durch ca. 600.000 „Liquidatoren“
- Errichtung einer Schutzhülle aus Stahlbeton („Sarkophag“)

Erste Maßnahmen



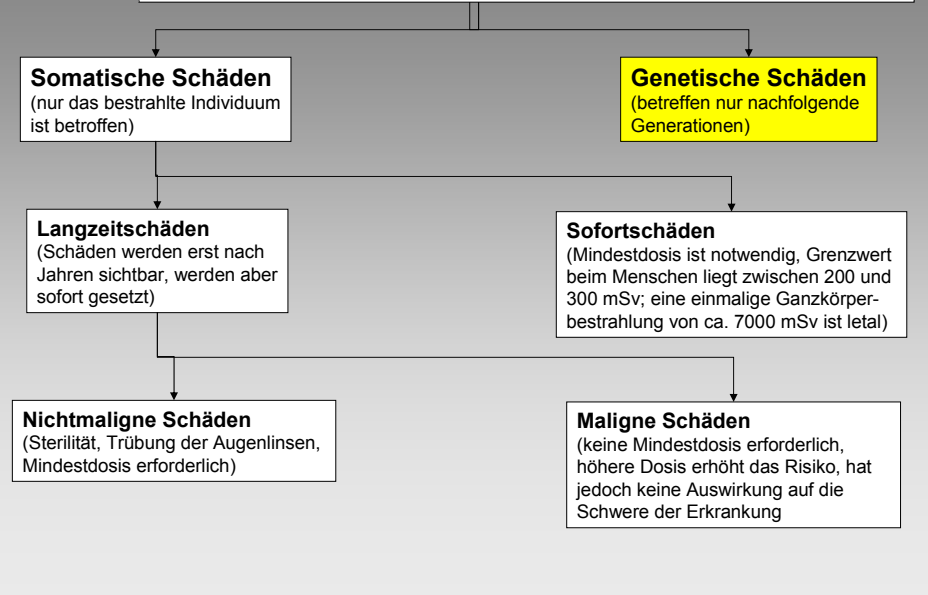
Schutzhülle („Sarkophag“) aus Stahlbeton nach 7-monatiger Bauzeit fertiggestellt

chernobyl_video.rm

Filmclip von ChernobylInternInform (Kiew)

Einschub 4:

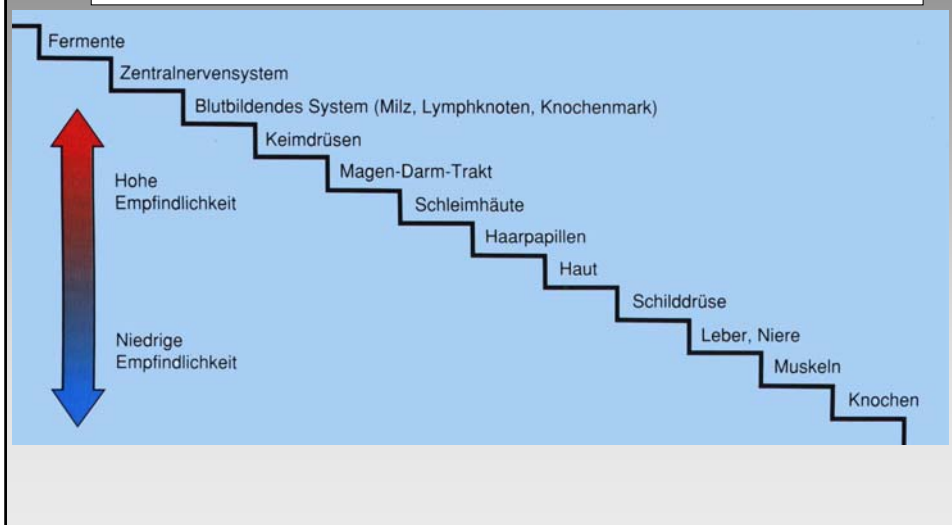
Strahlenwirkung in biologischem Material (Zellen)



Einschub 4:

Strahlenwirkung in biologischem Material (Zellen)

Empfindlichkeit verschiedener Gewebe gegenüber Strahlung



Einschub 4:

Einheiten
Effektive Dosis / Äquivalentdosis

Eine Schädigung biologischen Materials (Zellen, Gewebe) tritt nur dann auf, wenn die Strahlung vom Gewebe absorbiert wird (Wechselwirkungen Strahlung - Materie)

Je größer die Absorption ist, desto größer ist die Wirkung

Dicht ionisierende Strahlung hat größere Wirkung als schwach ionisierende ($\alpha > n > \beta, \gamma$, Röntgenstrahlung)

Energiedosis gibt nur die Energieübertragung wieder, nicht deren Wirkung

Äquivalentdosis $H = D \cdot w$
 w = Wichtungsfaktor für die Strahlung

SI - Einheit:
1 Sv (Sievert)
 1 Sv = 1 J/kg

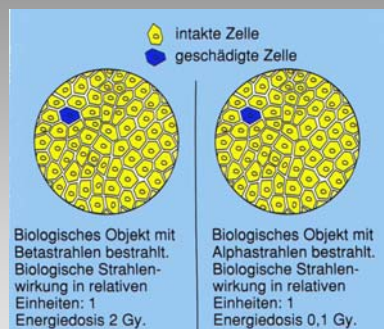
Alte Einheit:
1 rem
 1 Sv = 100 rem

Einschub 4:

Einheiten
Effektive Dosis / Äquivalentdosis

Äquivalentdosis $H = D \cdot w$
 w = Wichtungsfaktor für die Strahlung

Strahlungstypen	w
Röntgen, γ - und β -Strahlung	1
Neutronenstrahlung	zwischen 5 und 20
α - Strahlung	20



Einschub 4:

Strahleneffekte einer einmaligen Bestrahlung beim Menschen (ungefähre Werte)

Ganzkörperbestrahlung

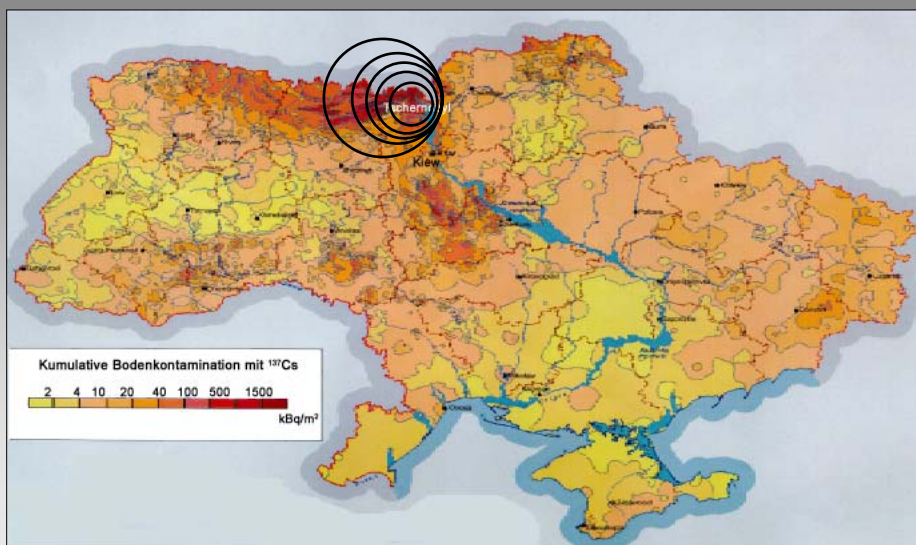
< 0.25 Sv	Keine klinisch erfassbaren Schädigungen
0.25 Sv	Verringerung der weißen Blutzellen
0.5 Sv	Fortschreitende Zerstörung der leukozythenbildenden Organe (Abnahme der Widerstandsfähigkeit gegen Infektionen)
1 Sv	Deutliche Veränderungen im Blutbild
5 Sv	Zerstörung des Gastrointestinal-Traktes (50% letal)
10 Sv	Zerstörung des neurologischen Systems (100% letal)

Bestrahlung der Hand

2 Gy	Keine gesicherten Effekte
4 Gy	Hautschädigung
6 Gy	Hautrötung, Pigmentierung
8.5 Gy	Irreversible Hautschäden
50 Gy	Herausbildung nichtheilenden Hautkrebses

Beachte ! Der Grenzwert im deutschen Strahlenschutzrecht für beruflich strahlenexponierte Personen beträgt 0.020 Sv/Jahr

Ausbreitung der radioaktiven Stoffe



Opfer und gesundheitliche Folgen

Löschmannschaften der ersten Tage

- durch extreme Strahlungsfelder enorme Schädigung der beteiligten ca. 600 Personen
- mehr als 200 davon mussten mit akuter Strahlenkrankheit klinisch behandelt werden (Strahlendosen zwischen 1 und 13 Sv)
- 31 dieser Helfer starben nach kurzer Zeit

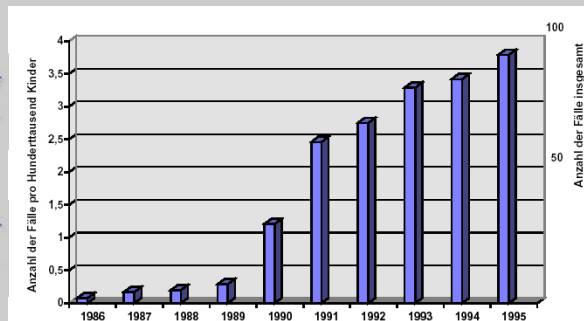
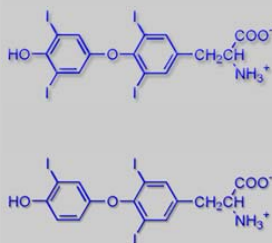
„Liquidatoren“

- Personenkreis von ca. 600.000 Helfern
- dosimetrisch nur unzureichend überwacht und nicht vollständig in Nachsorgeprogrammen erfasst
- geschätzte Belastung dieses Personenkreises ca. 100 mSv (bis zu 500 mSv und mehr)
- nach russischen, belorussischen und ukrainischen Regierungsangaben sollen bislang ca. 25.000 Liquidatoren verstorben sein
- viele der Liquidatoren leiden unter Krankheiten wie Krebs, Entzündungen des Magen-Darm-Traktes, Herz-Kreislauf-Leiden und psychischen Problemen
- Zusammenhang mit der erlittenen Strahlenexposition ist **nicht** sicher

Gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung der Ukraine, Beloruslands und Russland

Schilddrüsenkrebs bei Kindern

- statistisch nachgewiesen und seit 1995 auch von der WHO anerkannt
- Folge der ^{131}I -Exposition einer großen Zahl von Kindern und Jugendlichen in den ersten Tagen nach der Katastrophe



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, 1996

Gesundheitliche Folgen für die Bevölkerung der Ukraine, Beloruslands und Russland

Leukämie bei Kindern und Erwachsenen

→ statistisch nicht gesichert, obwohl von einigen Distrikten (Gomel, Belorus) angegeben

Krebserkrankungen bei Erwachsenen

→ statistisch (noch) nicht gesichert, werden aber für die Zukunft befürchtet (Latenzzeit)

Sonstige Erkrankungen bei Erwachsenen und Kindern

→ werden in vielen Quellen diskutiert, sind aber vielfach umstritten und der Zusammenhang mit der Strahlenexposition ist schwer zu führen

Psychologische und soziale Folgen

- Umsiedlung von insgesamt mehr als 350.000 Menschen
- zeitliche Korrelation mit der Auflösung der UdSSR und sozialen Verwerfungen in den Nachfolgestaaten

Weitere Folgen für die betroffenen Gebiete der Ukraine, Beloruslands und Russland

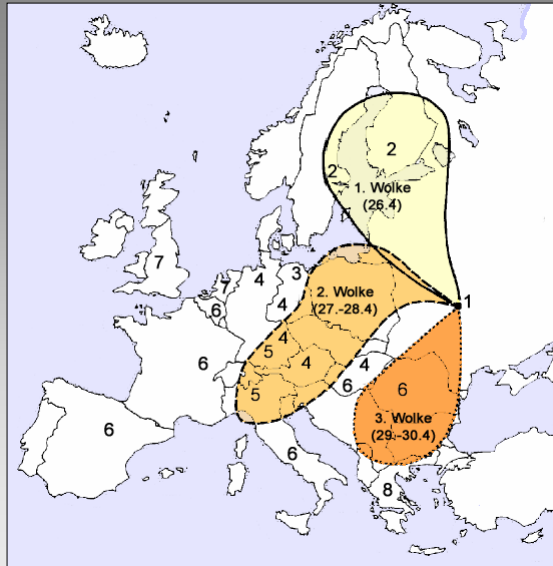
Ökologische Schäden

- Absterben des Waldes in unmittelbarer Umgebung des Reaktors und von Weidevieh als Folge der extremen Primärstrahlung nach der Katastrophe
- Kontamination größerer Flächen mit ^{137}Cs (Ackerland, besonders aber Waldflächen)
- Eintrag von ^{137}Cs in Gewässer, Fische und Sedimente

Ökonomische Schäden

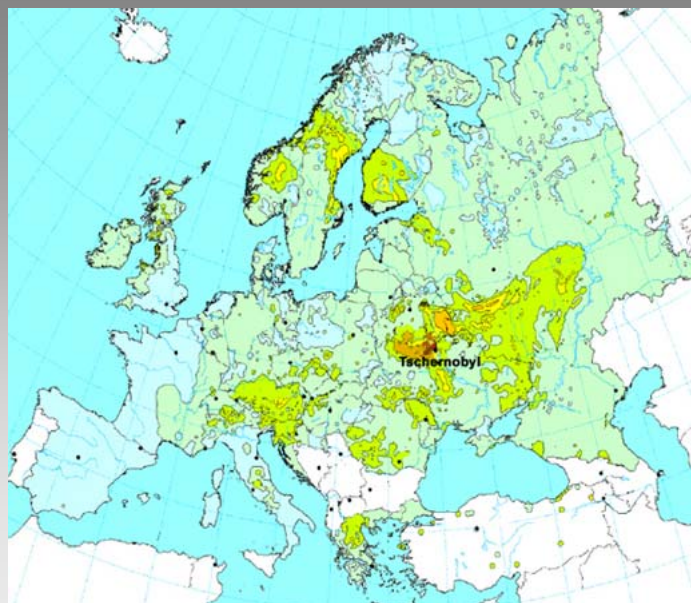
- Ukraine: 5 – 7 Prozent des Haushalts werden jährlich für die Folgen des Reaktorunfalls ausgegeben
- Belorus: 22.3 % des Haushalts im Jahr 1991, 6.1 % im Jahr 2003 (insgesamt bisher 13 Milliarden US Dollar)
- Die Schäden für die lokale Bevölkerung sind dramatisch und kaum quantifizierbar

Ausbreitung der radioaktiven Stoffe



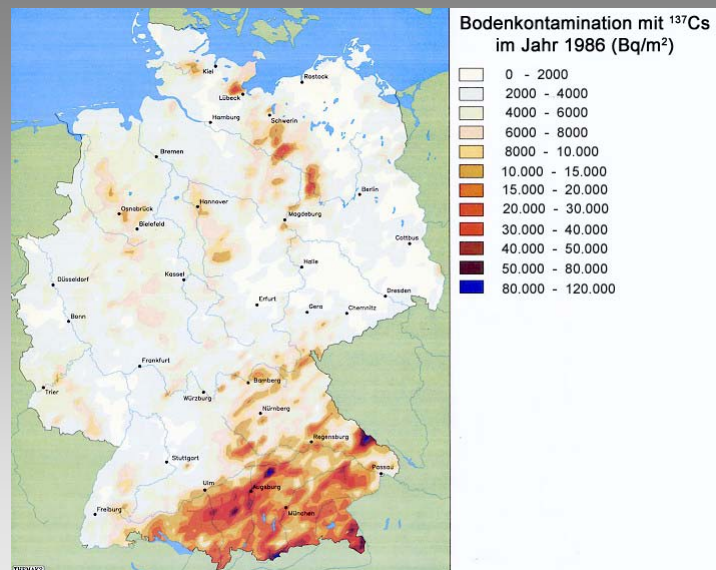
Quelle: UNSCEAR 1988 Report, Annex D

Niederschläge von ^{137}Cs in Mitteleuropa



Quelle: EU-Kommission Brüssel, 1998

Bodenkonzentrationen von ^{137}Cs in Deutschland

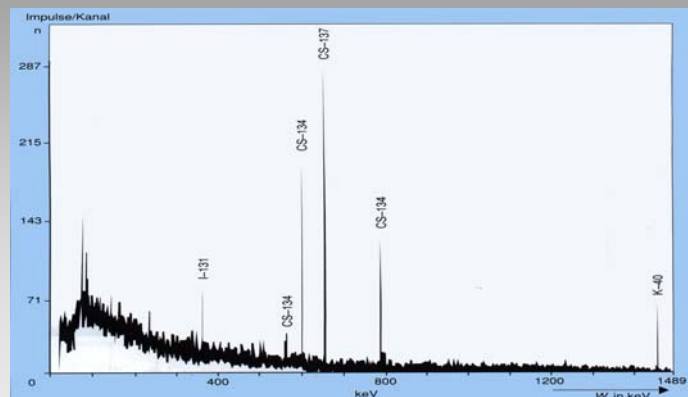


Quellen: Bundesamt für Strahlenschutz, Länderministerien

Messwerte in Deutschland

Gammaspektrometrie Beispiel 1

Gammaspektrum von Käse (Hamburg, 26.6.1986)



Quelle: Informationskreis Kernenergie, 1992

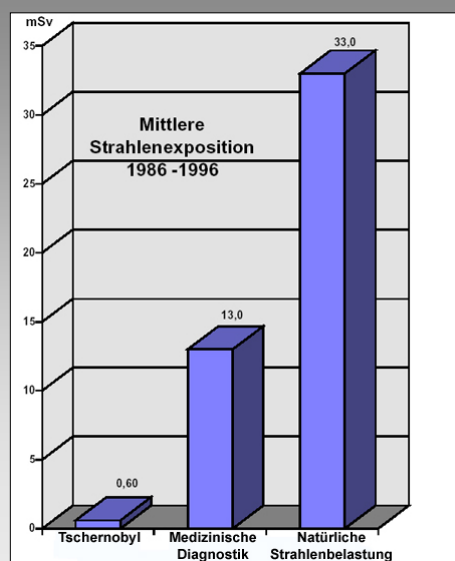
Was bedeutet das für die Strahlenbelastung der Bevölkerung ?

Jahr	Externe Strahlenexposition mSv/a	Interne Strahlenexposition mSv/a	Gesamte Strahlenexposition mSv/a
1986	ca. 0.07 ^{a)}	ca. 0.04 ^{a)}	ca. 0.11
1987	ca. 0.03	ca. 0.04 ^{a)}	ca. 0.07
1988	ca. 0.025	ca. 0.015	ca. 0.04
1989	ca. 0.02	ca. 0.01	ca. 0.03
1990	ca. 0.02	< 0.01	ca. 0.025
1991 - 1993	< 0.02	< 0.01	ca. 0.02
1994	< 0.02	< 0.01	< 0.02
1995 - 1999	< 0.015	< 0.001	< 0.02
2000 - 2001	< 0.01	0.001	< 0.015

^{a)} Im Berchtesgadener Raum um etwa den Faktor 4 höher

Quellen: Bundesamt für Strahlenschutz, 2003

Was bedeutet das für die Strahlenbelastung der Bevölkerung ?



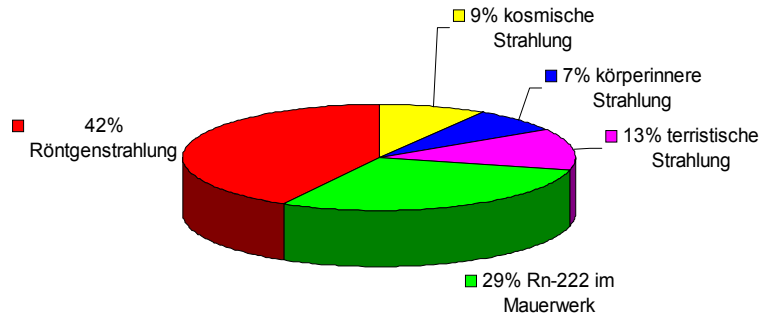
Werte für Österreich (können als für den höherbelasteten Bayerischen Raum gültig angesehen werden)

Quelle: K.Mück, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf, 1996

Natürliche und künstliche Radioaktivität

Durchschnittliche Strahlenbelastung von Personen in Deutschland

Durchschnittliche jährliche Strahlenexposition: 3.2 mSv



Freigesetzte Radioaktivität im Vergleich zu den Kernwaffentests

Nuklid	Halbwertszeit	Strahler	Aktivität in PBq	
			Tschernobyl	Kernwaffentests
⁸⁵ Kr	10.8 a	β-, γ	33	
⁸⁹ Sr	50.5 d	β-, γ	81	100.000
⁹⁰ Sr	28.5 a	β-	8.1	622
⁹⁵ Zr	64 d	β-, γ	170	150.000
¹⁰⁶ Ru	368 d	β-	29	12.000
¹³² Te	76 h	β-, γ	410	
¹³¹ I	8 d	β-, γ	1.700	680.000
¹³³ Xe	5.3 d	β-, γ	6300	
¹³⁴ Cs	2.1 a	β-, γ	44	
¹³⁷ Cs	30.2 a	β-, γ	85	950
¹⁴⁰ Ba	12.8 d	β-, γ	170	760.000
¹⁴¹ Ce	32.5 a	β-, γ	200	160.000
¹⁴⁴ Ce	284.8	β-, γ	140	33.000
²³⁹ Np	2.4 d	β-, γ	170	
²³⁹ Pu	2.4 · 10 ⁴ a	α, γ	0.03	6.5
²⁴² Cm	163 d	α	0.93	

Total:

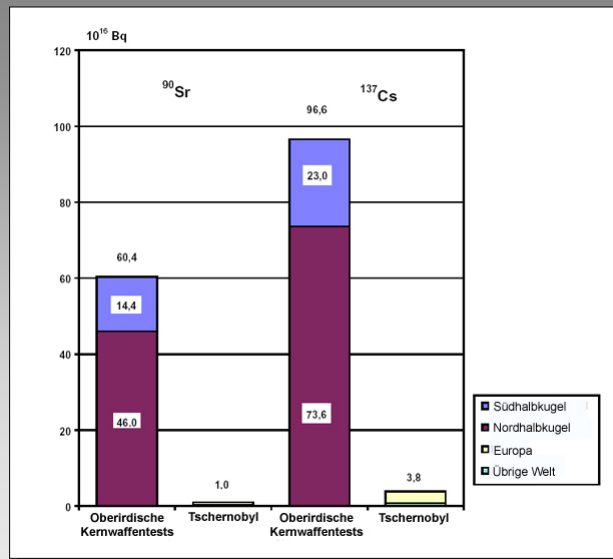
1.25 · 10⁴

185 · 10⁴

1 PBq = 10¹⁵ Bq

Quellen: Tschernobyl: Buzulukov 1993, „The Chernobyl Papers: Dose to the soviet population“, Richland, USA
Kernwaffentests: UNSCEAR, 2000, Sources and effects of ionizing radiation

Freigesetzte Radioaktivität im Vergleich zu den Kernwaffentests



Quelle: K.Mück, Österreichisches Forschungszentrum Seibersdorf und OEFZS-4595, 1991

Bearbeiten Ansicht Favoriten Extras ?

Zurück Suchen Favoriten Wechs

http://www.tschernobyl-kinder.de/index_de.htm

Hilfe für krebskranke Tschernobylkinder e.V.

Begleiten Sie Sergej bei seinem Besuch in Wandlitz...

Am 26. April 1986 ereignete sich im **Atomkraftwerk Tschernobyl** der bisher **schwerste Unfall** in der Geschichte der Atomenergie-Nutzung.

Tschernobyl schon vergessen?

Kinder, die lange nach der Katastrophe geboren wurden, **leiden auch heute an den Folgen** dieses entsetzlichen Unglücks.

Seit **11 Jahren** hilft der Verein "Hilfe für krebskranke Tschernobyl-Kinder" e.V. den Betroffenen, ihr schweres Leben besser zu meistern.

Einer unserer Schützlinge könnte die 14 Jahre alte **Jelena** sein. Anhand ihrer Geschichte möchten wir Ihnen **in fünf Rubriken die Hauptaspekte unsere Arbeit vorstellen...**

Jelena's Geschichte

Spendenkonto:
Kto.: 15 200 006
BLZ : 101 201 00
(Weberbank)

Spendenkonto:
Kto.: 15 200 006
BLZ 101 201 00
(Weberbank)

Internet