



Strahlenexpositionen im Alltag

Dr. R. Mini

1) Natürliche Strahlenexposition des Menschen



Natürliche Strahlenexposition des Menschen

Externe Strahlenexpositionen

- Terrestrische Strahlenexposition
- Kosmisch Strahlung

Interne Strahlenexposition

- Kosmogene Radionuklide
- Primordiale Radionuklide



Natürliche Strahlenexpositionen

Aktivitätskonzentrationen und Ortsdosisleistungen
in Luft in 1 m Höhe über dem Boden

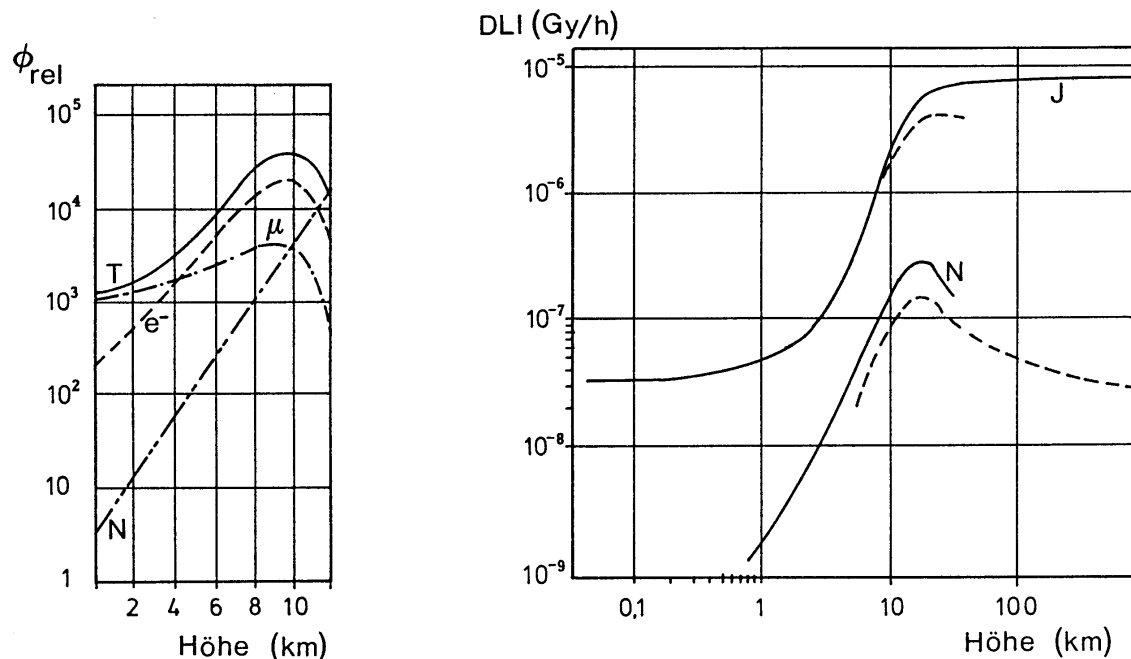
Material	Aktivitätskonzentration (Bq/kg)			Ortsdosisleistung	
	⁴⁰ K	²³² Th	²³⁸ U	(nGy/h)	(mGy/a)
Gesteine:					
Granit	1000	80	60	82.9	0.73
Diorit	700	30	20	58.5	0.51
Basalt	250	10	10	21.6	0.19
Durit	150	25	0.4	23.2	0.20
Kalkstein	90	7	30	21.3	0.19
Sandstein	350	10	20	30.2	0.26
Tonschiefer	700	50	40	84.3	0.74
Bodenarten Deutschland:					
Grauerde	650	50	35		
Graubrauner Boden	700	40	30		
Kastanienfarbener B.	550	40	25		
Schwarzerde	400	40	20		
Forstboden	400	25	20		
Rasenpodsolb.	300	20	15		
Bleicherde	150	10	7		
Moorboden	100	7	7		
Mittel:	400	30	20	45.6	0.40
Dosisleistungsfaktoren (nGy · h ⁻¹ /Bq · kg ⁻¹):					
0.043 0.662 0.427	0.043	0.662	0.427		



Terrestrische Ortsdosisleistungen in verschiedenen Ländern

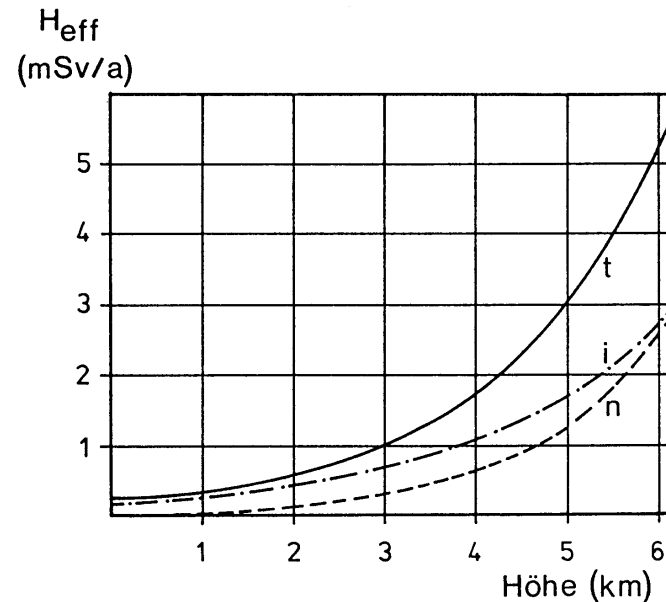
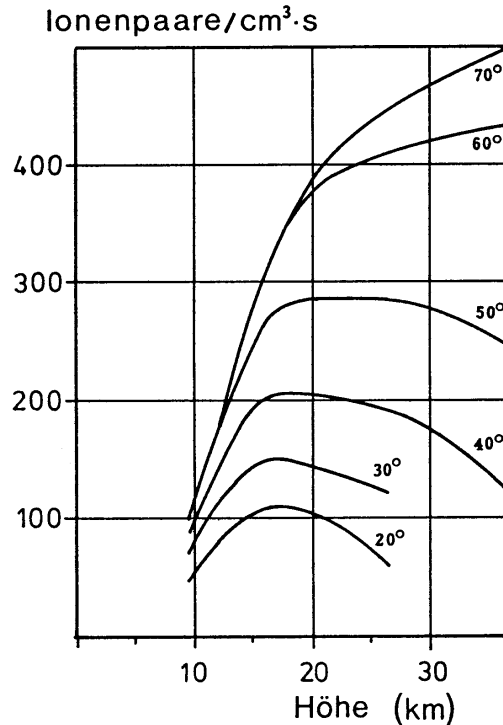
Land	Ortsdosisleistung (nGy/h)	Mittelwerte	
		(nGy/h)	(mGy/a)
Deutschland West	4-350	53	0.46
Deutschland Ost	24-270	85	0.74
Dänemark	17-52	38	0.33
Frankreich	9-290	68	0.60
Irland	0-180	42	0.37
Japan	5-100	49	0.43
Norwegen	20-1100	73	0.64
Österreich	2-150	43	0.38
Polen	15-90	37	0.32
Schweiz		60	0.53
USA	13-100	46	0.40
Indien West (Kerala)			4 bis \approx 40
Brasilien Ostküste			bis \approx 200
Brasilien Pocos de Caldas			bis \approx 250
Iran Ramsar			bis \approx 450
Weltmittelwert:		55*	0.480*

Kosmische Strahlung



Links: Zusammensetzung der rel. Teilchenflußdichte der sekundären kosmischen Strahlung und ihre Variation mit der Höhe für mittlere geografische Breiten (N: Neutronen, μ : Myonen, e: Elektronen, T: Total, nach [Kiefer/Koelzer]). Rechts: Variation des Dosisleistungsindezes DLI (s. Text) mit der Höhe für direkt ionisierende kosmische Strahlung (J) und die Neutronenkomponente (N). Durchgezogene Kurven: während des solaren Minimums, unterbrochene Kurven: Daten für das Maximum der solaren Aktivität (nach [UNSCEAR 1982]).

Kosmische Strahlung



Abhängigkeit der Strahlenexposition durch kosmische Strahlung von der Höhe über dem Meeresspiegel. Links: Variation der Ionisierungsdichte mit der Höhe und der geografischen Breite (nach [UNSCEAR 1982]). Rechts: Zunahme der durch kosmische Strahlung erzeugten effektiven Äquivalentdosisleistungen für mittlere geografische Breiten (nach Daten von [UNSCEAR 1988], i: direkt ionisierende Komponente, n: Neutronenkomponente, t: Summe).

Interne Strahlenexpositionen durch natürliche Radionuklide

Radionuklide aus der Biosphäre gelangen über Ingestion von Nahrungsmitteln und Getränken und über Inhalation in den menschlichen Körper. Dort verteilen sie sich entsprechend ihren biochemischen Eigenschaften in die verschiedenen Gewebe und Organsysteme. Die fraglichen Radionuklide sind die gleichen, die auch für die natürliche terrestrische Strahlenexposition des Menschen verantwortlich sind. Diese können kosmogenen Ursprungs oder primordiale Radionuklide sein.



Interne Radionuklide

Kosmogenen Radionuklide, die hauptsächlich zur natürlichen internen Strahlenexposition beitragen, sind :

H-3	: ca.	0.01 $\mu\text{Gy/a}$
Be-7	: ca.	3.00 $\mu\text{Gy/a}$
C-14	: ca.	12.00 $\mu\text{Gy/a}$
Na-22	: ca.	0.20 $\mu\text{Gy/a}$

Primordiale Radionuklide sind:

K-40	: ca.	180.00 $\mu\text{Gy/a}$
Rb-87	: ca.	6.00 $\mu\text{Gy/a}$

Nat.Zerfallsreihen :

U-238	: ca.	139.00 $\mu\text{Gy/a}$
Th-232	: ca.	176.00 $\mu\text{Gy/a}$
Rn-222	: ca.	1100.00 $\mu\text{Gy/a}$



Natürliche Strahlenexpositionen des Menschen

Effektive Dosen (mSv/a)			Total (mSv/a)
Extern durch terrestrische Strahlung:			
Weltmittel (γ)	im Freien	0.070	
	Innen	0.340	
	Zusammen		0.410
BRD (West, γ)	im Freien	0.0644	
	Innen	0.335	
Weltmittel (β)			0.007
Summe terrestrisch			0.417
Extern durch kosmische Strahlung:			
Neutronenkomponente			0.055
direkt ionisierende Strahlung			0.300
Summe kosmisch extern			0.355
intern durch kosmogene Radionuklide:			
^3H , ^7Be , ^{14}C , ^{22}Na :			0.015
intern durch primordiale Nuklide:			
^{40}K		0.180	
^{87}Rb		0.006	
^{238}U - ^{234}U		0.005	
^{230}Th		0.007	
^{226}Ra		0.007	
^{222}Rn - ^{214}Po		1.100	
^{210}Pb - ^{210}Po		0.120	
	Teilsomme		1.425
^{232}Th		0.003	
^{228}Ra - ^{224}Ra		0.013	
^{220}Rn - ^{208}Tl		0.160	
	Teilsomme		0.176
Summe intern			1.616
Summe intern + extern			2.388



2) Zivilisatorisch bedingte Strahlenexpositionen des Menschen



Zivilisatorisch bedingte Strahlenexpositionen des Menschen

Medizinische Strahlenexpositionen

Kernwaffentests

Energie und Wärmeerzeugung durch fossile Brennstoffe

Kernenergieerzeugung

Berufliche Strahlenexposition



Medizinische Strahlenexpositionen

Röntgendiagnostik und interventionelle
Radiologie

Nuklearmedizinische Diagnostik und Therapie

Radioonkologie (Strahlentherapie)



Ziel der Anwendung ionisierender Strahlen in der Medizin

Behandlung kranker Personen (Therapien)

Diagnostische Untersuchungen an Personen

Reihenuntersuchungen bzw. regelmässige Gesundheitskontrollen

**Untersuchungen für die Zwecke der Versicherungen oder der
Rechtsmedizin**

**Untersuchungen und Behandlungen von Personen im Rahmen von
medizinischen Forschungsprogrammen**



In der Medizin verwendete Strahlenquellen

Radioaktive Stoffe :

- **Nuklearmedizin**
- **Radio-Onkologie**

Beschleunigeranlagen :

- **Röntgendiagnostik**
- **Radio-Onkologie**



Radioaktive Strahlenquellen

StSV (Anhang I)

Offene radioaktive Strahlenquellen

Strahlenquellen, die radioaktive Stoffe enthalten und die sich ausbreiten und Kontamination verursachen können

Geschlossene radioaktive Strahlenquellen

Strahlenquellen, die radioaktive Stoffe enthalten, und deren Bauart unter üblicher Beanspruchung ein Austreten radioaktiver Stoffe vollständig verhindert und so die Möglichkeit einer Kontamination ausschliesst. Die Quellenkapselung soll für die vorgesehene Anwendung den Anforderungen der ISO-Normen genügen und entsprechend klassifiziert sein.



Radioaktive Quellen

Radioelement	Halbwertszeit	Energie der ausgesendeten Strahlung	
		β^*	γ
H-3	12,26 Jahre	β^- : 18.6 keV	
C-14	5730 Jahre	β^- : 156 keV	
P-32	14.3 Tage	β^- : 1.71 MeV	
K-40	$1.27 \cdot 10^9$ Jahre	β^- : 1.3 MeV	1.46 MeV
Cr-51	27.7 Tage		0.32 MeV
Co-60	5.26 Jahre	β^- : 0.31 MeV	1.17 MeV
		1.49 MeV	1.33 MeV
Se-75	121 Tage		136 keV
			265 keV
			280 keV
Sr-90	28.1 Jahre	β^- : 0.55 MeV	
Y-90	64 Tage	β^- : 2.27 MeV	
Mo-99	66.7 Std.	β^- : 0.46 MeV	40 keV
		1.23 MeV	140 keV
Tc-99m	6.03 Std.		180 keV
I-123	13.0 Std.		140 keV
I-125	60 Tage		159 keV
I-131	8.06 Tage		35.4 keV
Xe-133	5.31 Tage	β^- : 0.61 MeV	365 keV
Cs-137	30.0 Jahre	β^- : 0.35 MeV	81 keV
Ir-192	74.2 Tage	β^- : 0.51 MeV	0.662 MeV
		β^- : 0.67 MeV	0.296 MeV
		β^- :	0.308 MeV
			0.317 MeV
			0.468 MeV
Au-198	2.69 Tage	β^- : 0.96 MeV	0.412 MeV
Ra-226	1600 Jahre	α : 4.78 MeV + Tochterprodukte	
Am-241	458 Jahre	α : 5.64 MeV	60 keV
Cf-252	2.65 Jahre	α : 6.17 MeV + Spaltneutronen	



In der Medizin verwendete Strahlenquellen

Beschleunigeranlagen :

- Röntgengeräte
- Linearbeschleuniger
- Kreisbeschleuniger



Häufigkeit medizinisch bedingter Strahlenexpositionen in der Schweiz

Strahlenexpositionen mit therapeutischer Zielsetzung

10-15'000 Therapien

1'600 Therapien

Strahlenexpositionen für die medizinische Diagnostik

10 Mio Untersuchungen

65'000 Untersuchungen



Diagnostik mit Röntgenstrahlen

Untersuchungstechniken

klassische Röntgenuntersuchungen (Aufnahmen, Durchleuchtungen)

Computer-Tomographie (CT)

komplexe Kontrastmittel Untersuchungen (nicht interventionell, interventionell)

In der Schweiz werden jährlich :

ca. 10 Mio. Untersuchungen d. h.

20 Mio. Röntgenaufnahmen

0.5 Mio. Durchleuchtungen und

0.2 Mio. Schirmbilder

D/Unt.= 0.1 mGy – 1 Gy

Untersuchungen am Inselspital pro Jahr

Skelett	40'000	40%
Thorax	30'000	30%
Andere	10'000	10%
CT	15'000	15%
Spez	5'000	5%
Untersuch.	100'000	



Perkutane Strahlentherapie

Strahlenquellen :

- Röntgenanlagen
- Linearbeschleuniger
- Kreisbeschleuniger
- Radioaktive Stoffe : CO-60 / Cs-137

Therapien (Schweiz)

- ca. 10 - 15'000 Therapien pro Jahr
- ca. 200-300'000 Behandlungen pro Jahr
- ca. 300-500'000 Felder (Exp.) pro Jahr

$D_{\text{Feld}} = 2 \text{ Gy}$ (Einfalldosis)

$D_{\text{Herd}} = 10-100 \text{ Gy}$ (Therapiedosis)

Erhöhung der biologisch-klinischen Wirksamkeit
durch Fraktionierung der Gesamtdosis.

Am Inselspital werden jährlich 1200-1500 Patienten
behandelt



Diagnostik mit radioaktiven Stoffen

- 65'000 Untersuchungen / Jahr
- 21 verschiedene Radionuklide
 - 90 % Tc-99m

$$A_{\text{Total}} = 25 \text{ TBq}$$

$$A/\text{Unt} < 1\text{-}400 \text{ MBq}$$

$$D/\text{Unt.} : 0 < D_{\text{organ}} < 50 \text{ mGy}$$

Verteilung der Untersuchungen

(Abt. für NUKLEARMEDIZIN – INSELSPITAL BERN)

Untersuchtes Organ	Anz. Untersuchungen	%
Schilddrüse	4'500	45
Skelett	2'250	22
Lunge	1'100	11
Herz	650	7
Niere	220	2
Diverse	1'300	13
	10'020	



Strahlentherapie mit offenen radioaktiven Quellen (Stoffen)

- 1'600 Therapien/Jahr
- <10 verschiedene Radionuklide
- >90% I-131

$A_{\text{total}} = 2 \text{ TBq}$

$A/\text{Therapie} = \text{einige GBq}$

D_{lokal} sehr hoch (bis 100 Gy)

Anzahl Therapien am Inselspital pro Jahr

Therapie	Anzahl	%
Radiojod/stat.	176	39
Radiojod/amb.	151	33
Radio-Embolisat.	7	2
Andere	118	26
	452	



Strahlentherapie mit geschlossenen radioaktiven Quellen

(Intrakavitäre und Interstitielle Therapien)

- 1000-5000 Therapien/Jahr
- Ir-192 ; Cs-137 ; kein Radium!!
- I-125 ; etc..

A/Therapie = 1 GBq – 500 GBq

D_{Target} fraktioniert = bis 100 Gy

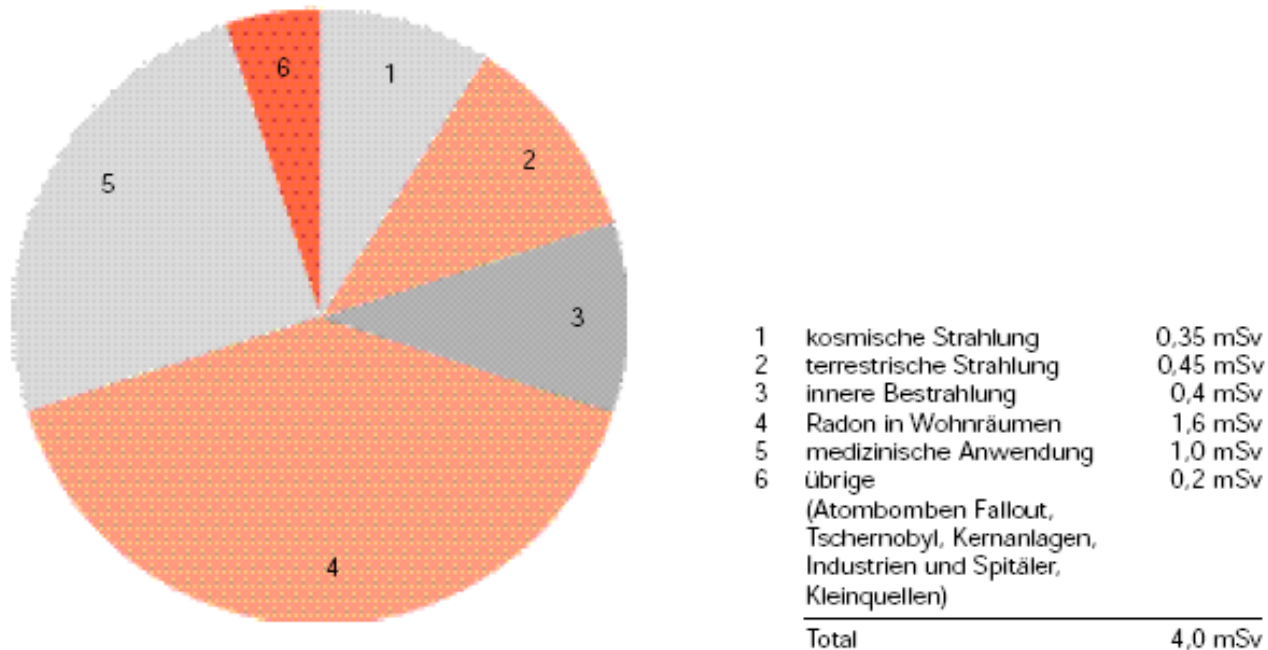
Anzahl Therapien am Inselspital

Therapie	Anzahl	%
LDR Cs-137 intrakavitär	20	5
LDR Ir-192 interstitiell	20	5
HDR Ir-192	400	90
	440	



Beurteilung des Strahlenrisikos bei Strahlenexpositionen mit diagnostischer oder therapeutischer Absicht

Aufteilung der mittleren Jahresdosis in der Schweiz



Strahlenexpositionen als Folge von Kernwaffentests

Zeitraum	Anzahl	Spaltung (Mt)	Fusion (Mt)
1945 - 1951	26	0.8	-
1952 - 1954	31	37	23
1955 - 1956	44	14	17
1957 - 1958	128	40	41
1959 - 1960	3	0.1	-
1961 - 1962	128	102	238
1964 - 1969	22	10.6	4.9
1970 - 1974	34	10	2.2
1976 - 1980	7	2.9	1.9
Davon:			
USA	193	72.1	66.5
UDSSR	142	110.9	246.6
Großbritannien	21	10.6	5.1
Frankreich	45	10.9	1.0
China	22	12.7	8.0

Daten oberirdischer Kernwaffentests von 1945 bis 1980 (nach [UNSCEAR 1982], [UNSCEAR 1988]). Die Sprengkraft ist in Megatonnen (Mt) des konventionellen Sprengstoffes TNT angegeben. 1963, 1975 und seit 1980 wurden keine oberirdischen Kernwaffentests durchgeführt.

Strahlenexpositionen als Folge von Kernwaffentests

Die wichtigsten Radionuklide für die langfristige Strahlenexposition des Menschen durch Fallout sind : C-14, Cs-137, Zr-95, Sr-90, Ru-106, H-3

Wegen der vergleichsweise langen Lebensdauer spielen Heute nur noch die Nuklide Sr-90, Cs-137, H-3 und C-14 eine spürbare Rolle für die langfristige menschliche Strahlenexposition.

Mittlere jährliche Effektive Dosis durch Fallout

$$E_{\text{Fallout}} = 10 \mu\text{Sv/a}$$



Strahlenexposition als Folge der Energie- und Wärmegewinnung durch Verbrennung fossiler Brennstoffe

Steinkohle enthält im Mittel

- 50 Bq/Kg K-40
- 20 Bq/Kg Th-232 und Folgeprodukte.
- 20 Bq/Kg U-238 und Folgeprodukte

Strahlenbelastung durch die Kraftwerkemissionen wird in Deutschland auf $E=1 \mu\text{Sv/a}$ geschätzt

Die Verbrennung von Erdgas oder Erdöl trägt kaum etwas zur Strahlenexposition bei!



Strahlenexpositionen beim Regelbetrieb von Kernkraftwerken

Durch Abluft und Kühlwasser können Radionuklide
In die Umwelt gelangen

- Gasförmige Aktivierungssubstanzen
C-14, N-16, S-35 und Ar-41
- radioaktive Edelgase (Kernspaltung)
Krypton, Xenon, Tritium und Jodisotope

Diese Gase können durch Inhalation und Ingestion
in den menschlichen Körper gelangen

$$E_{\text{mittel}} = 1-10 \mu\text{Sv/a}$$

Tschernobilunfall (1986)

$$E_{\text{mittel}} = 0.2-1.2 \text{ mSv im 1. Jahr}$$

$$E_{\text{Folge}} = \text{bis } 4 \text{ mSv 50-Jahres-FD}$$



Weitere zivilisatorische Strahlenquellen

- Industrieanwendungen von Strahlenquellen
 - Leuchtfarben
 - Feuermelder
 - elektronische Bauelemente
 - Dichte- und Dickenmesser
 - Füllstandanzeigen usw.
- Industrieproduktion
 - uranhaltige Farben
 - Kunstdünger (Phosphatgesteinsver.)
- Berufliche Strahlenexposition
 - Kernkraftwerken
 - Medizin
 - Industrie und
 - Forschung



Zusammenfassung natürlicher und zivilisatorischer Strahlenexpositionen

Strahlungsquelle	mittlere Effektive Dosis	individueller Bereich
	(mSv/a)	(mSv/a)
natürl. Strahlenexp.	2.4	1 - 5
Mediz. Röntgendiagn.	0.4 - 1.0**	0.1 - 10
Nuklearmed. Diagnostik	0.01 - 0.03	bis 1000
Nuklearmed. Therapie	0.01	bis 800 Gy/Therapie
Berufliche Exposition	0.002	0.5 - 5
Kernenergieproduktion	0.0002	0.001 - 0.1
fossile Energie BRD	0.001	0.001 - 0.7
Kernenergie BRD	0.001	
Tschernobyl-Unfall*	0.2 - 1.2	
Kernwaffentests	0.01	0.01
Industrieprodukte	0.001	0.02 - 0.5
Summe zivilisatorisch:	≈ 0.5 - 1	
Total:	2.9 - 3.4	

Mittelwerte der Effektiven Dosen aus zivilisatorisch und natürlich bedingter Strahlenexposition und individuelle Dosisbereiche nach Daten der Vereinten Nationen ([UNSCEAR 1982] und [UNSCEAR 1988]). *: mittlere Strahlenexposition in Deutschland West im ersten Jahr nach dem Unfall. **: 1.8 mSv in westl. Industrienationen.





Strahlenexpositionen im Alltag