

# Entsorgung von Abfällen mit vernachlässigbarer Radioaktivität aus dem Abbau kerntechnischer Anlagen

*Dr. Jürgen Müller  
Abteilung für Reaktorsicherheit und  
Strahlenschutz*



**Schleswig-Holstein**  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

# Freigabe radioaktiver Stoffe

- Das 10-Mikrosievertkonzept -



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

# Das 10-Mikrosievertkonzept

## Was sind 10 Mikrosievert (10 $\mu$ Sv)

Das **Sievert (Sv)**, benannt nach dem schwedischen Mediziner und Physiker Rolf Sievert dient zur Bestimmung der Strahlenbelastung biologischer Organismen und wird bei der Analyse des Strahlenrisikos verwendet.



Da die Einheit Sievert sehr groß ist, wird sie üblicherweise mit den Präfixen „Milli“ und „Mikro“ versehen



Milli:	lat. <i>millesimus</i> = tausendster	- $10^{-3}$	- 0,001	- Tausendstel
Mikro:	gr. <i>μικρός</i> <i>mikrós</i> = klein	- $10^{-6}$	- 0,000.001	- Millionstel

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

## „10-Mikrosievertkonzept“

### Was ist das?

### Welche Überlegung steckt dahinter?

Wann sind Stoffe, die der Strahlenschutzüberwachung unterliegen, in dem Sinne „**unbedenklich**“, dass ihr Eintritt in den Wirtschaftskreislauf verantwortbar ist?

Die Diskussion in nationalen und internationalen Wissenschaftler- und Expertengremien bewegt sich um die beiden zentralen Aspekte:

- einerseits kann eine schädigende Wirkung geringer Strahlendosen nicht prinzipiell ausgeschlossen werden,
- andererseits kommt aber auch in der Natur Radioaktivität vor.

### Wie wurde die Lösung umgesetzt?

Durch Festlegung eines Wertes von 10 Mikrosievert als unbedenklich und verantwortbar, denn dieser Wert liegt weit unterhalb der Strahlenpegel, die durch natürliche radioaktive Strahlung im Alltag auftreten können.

### Was ist die Lösung?

Einen Wert für diese „**Unbedenklichkeit**“ zu ermitteln, der dem wissenschaftlichen Kenntnisstand über die Wirkung der Radioaktivität möglichst umfassend Rechnung trägt. Darüber hinaus auch die gesellschaftliche Diskussion **nicht** außer Betracht lässt.

# Das 10-Mikrosievertkonzept

## Wie wurde die Lösung umgesetzt?

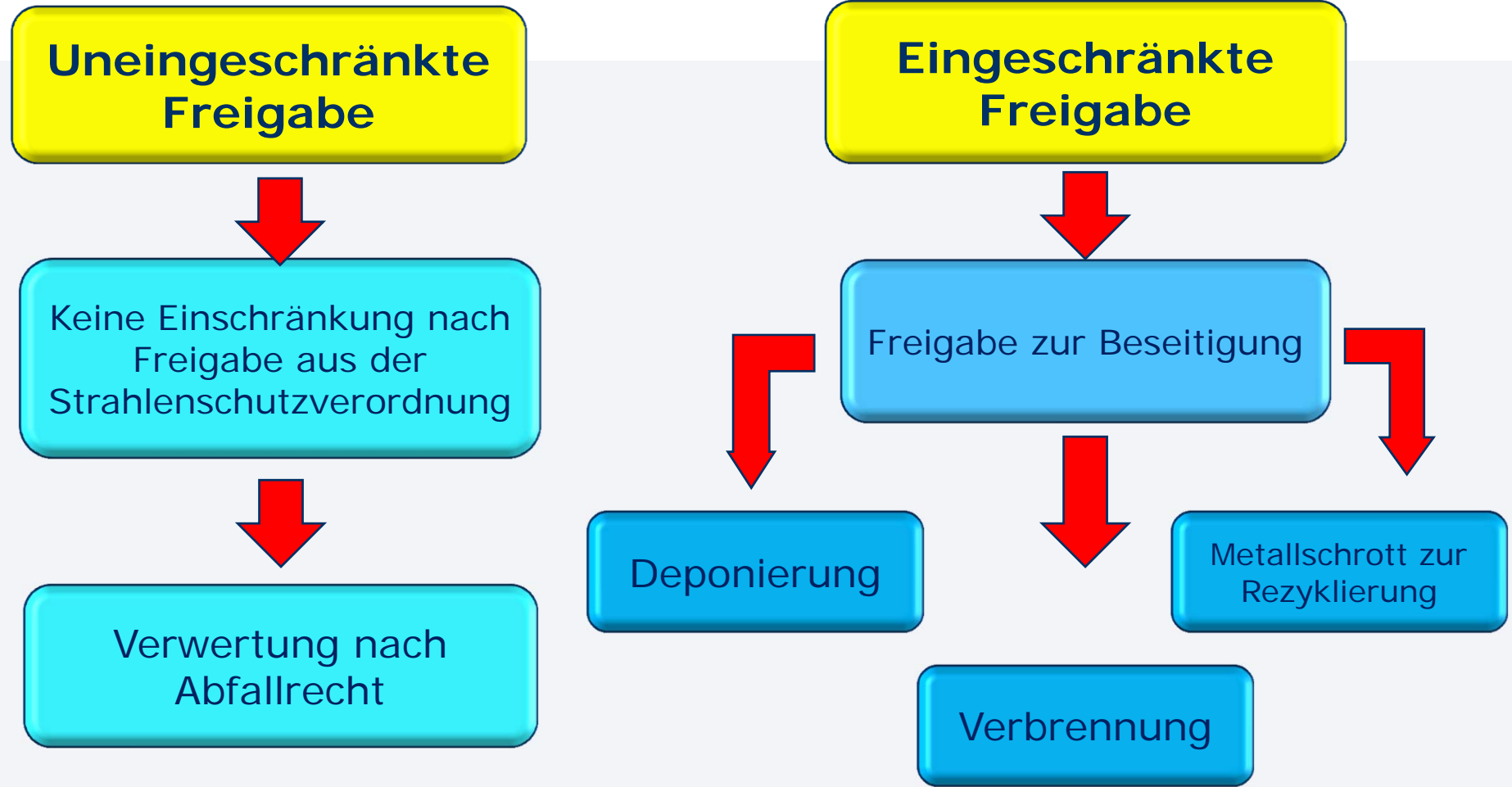
Die EURATOM-Grundnormen und die Strahlenschutzverordnung enthalten für alle relevanten Radionuklide eine durch wissenschaftliche Fachgremien festgesetzte Obergrenze der Aktivität. Demnach gilt ...

... das 10-Mikrosievertkonzept als eingehalten, wenn ...

... die Aktivitätsgrenzwerte für die uneingeschränkte Freigabe nachgewiesen sind

... die Aktivitätsgrenzwerte für die eingeschränkte Freigabe unter der Bedingung einer Deponierung oder Verbrennung nachgewiesen sind

# Freigabe



# Freigabe



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

**Uneingeschränkte  
Freigabe**



**Die Aktivität liegt etwa  
bei 10 Bq/kg**

**Eingeschränkte  
Freigabe**



**Die Aktivität liegt etwa  
bei 100 Bq/kg bei einem  
Ausschöpfungsgrad von  
100 %**

Durchschnittsmensch: ~100 Bq/kg

Mischbrot: 15 Bq/kg

Nuss-Nougat-Creme: 150 Bq/kg

Trinkwasser: 4 – 5 Bq/l

Milch: 50 Bq/l

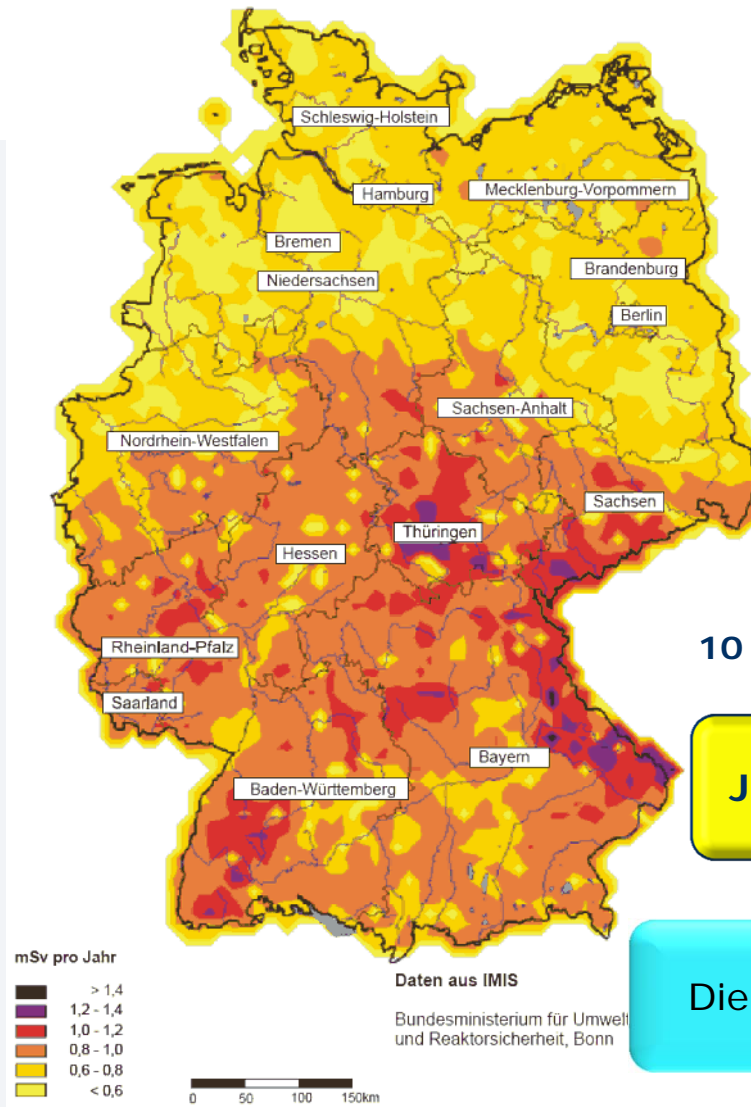
Blattgemüse: 200 Bq/kg

Baustoffe in freier Verwendung < 370 Bq/kg

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume



**Natürliche Strahlenexposition in der Bundesrepublik Deutschland (ohne den Anteil des Edelgases Radon)**  
[Dosis pro Jahr]

Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz

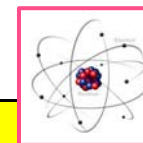
10 Mikrosievert entsprechen 0,01 mSv

**Jahresdosis in Norddeutschland: 700 µSv**

**Die 10 µSv wären nach etwa 4 Tagen erreicht**



# Das 10-Mikrosievertkonzept



Ein durchschnittlicher Mensch  
in Deutschland enthält eine  
Aktivität von ...



... etwa **9.000 Bq**

Nuklid	Aktivität in Bq
H-3	25
Be-7	25
C-14	3.800
K-40	4.200
Rb-87	650
U-238, Th-234, Pa-234m, U-234	4
Th-230	0,4
Ra-226	1
kurzlebige Rn-222-Zerfallsprodukte	15
Pb-210, Bi-210, Po-210	60
Th-232	0,1
Ra-228, Ac-228, Th-228, Ra-224	1,5
kurzlebige Rn-220-Zerfallsprodukte	30

Diese Aktivität ergibt eine Strahlendosis von **300 µSv pro Jahr**

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume



## Aufregung um strahlende Pflastersteine

Die Stadt Northeim hat am Mittwoch die Zufahrt zu einem Supermarkt wegen radioaktiver Strahlung zeitweise abgesperrt. Das Göttinger Gewerbeaufsichtsamt wurde eingeschaltet und ein Uni-Institut mit Messungen beauftragt.

(Artikel veröffentlicht: Freitag, 15.07.2011 10:37 Uhr)

**Northeim.** Ursache der erhöhten Werte ist die natürliche Strahlung der Pflastersteine, die dort schon seit Jahrzehnten liegen – vermutlich hergestellt aus sogenannter Mansfelder Kupferschlacke. Da keine Gefahr bestehe, sei die Sperrung am Abend wieder aufgehoben worden, sagte Northeims Bürgermeister Harald Kühle (SPD). Ähnlich belastetes Baumaterial gebe es mit Sicherheit an vielen Stellen. Steine aus Mansfelder Kupferschlacke aus der ehemaligen DDR seien in den 70er Jahren auch häufig im Westen verwandt worden. Die erhöhten Werte waren einem Northeimer Mitarbeiter des Bundesamtes für Güterverkehr aufgefallen. Sein eingeschalteter Geigerzähler, mit dem sonst Lastwagen untersucht werden, schlug auf der Fahrt zum Einkaufen in der Graf-Otto-Straße aus. Er informierte die Stadtverwaltung, die Gewerbeaufsicht und Bundesstrahlenamt einschaltete. Ein Gutachter des Göttinger Uni-Labors für Radioisotope stellte Vergleichsmessungen an. Auf dem Pflaster in der Zufahrt seien **0,59 Mikrosievert pro Stunde** gemessen worden, sagte Ordnungsamtsleiter Michael Kaiser. Über einem Rasen wurden 0,18 und über einem anderen Pflaster **0,43 Mikrosievert pro Stunde** festgestellt. **Eine Strahlenbelastung von einem Millisievert im Jahr wird als unbedenklich angesehen, soll aber möglichst nicht überschritten werden.** Die Belastung aus der Northeimer Pflaster ist rund das Dreifache – allerdings nur, wenn sich jemand das ganze Jahr dort Tag und Nacht aufhält.

Bei Daueraufenthalt ergibt sich eine Strahlendosis von **5.200  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr**  
Die **10  $\mu\text{Sv}$**  wären bei einer Aufenthaltsdauer von **17 Stunden** erreicht

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

Material	Spezifische Aktivität in Bq/kg					
	K-40		Ra-226		Th-232	
	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert	Bereich	Mittelwert
Granit	600-4000	1000	30-500	100	17-311	120
Basalt	130-380	270	6-36	26	9-37	29
Kalkstein, Marmor	<40-240	90	4-41	24	2-20	5
Kies, Sand	3-1200	380	1-39	15	1-64	16
Natürlicher Gips	6-380	70	2-70	10	1-100	7
Tuff, Bims	500-2000	1000	<20-200	100	30-300	100
Ton, Lehm	300-2000	1000	<20-90	40	18-200	60
Ziegel, Klinker	100-2000	700	10-200	50	12-200	52
Beton	50-1300	450	7-92	30	4-71	23
Kalksandstein	40-800	200	6-80	15	1-60	10
Leichtbeton	700-1600	1100	<20-90	30	<20-80	30

Gehalt natürlicher radioaktiver Stoffe in Baumaterialien in Deutschland  
Quelle: VOG04

# Das 10-Mikrosievertkonzept

## Verordnung über die Qualität von Wasser für den menschlichen Gebrauch (Trinkwasserverordnung - TrinkwV 2001)

### Parameterwerte für Radon-222, Tritium und Richtdosis

Laufende Nummer	Parameter	Parameterwert	Einheit
1	Radon-222	100	Bq/l
2	Tritium	100	Bq/l
3	Richtdosis	0,10	mSv/a

Anlage 3a (zu den §§ 7a, 9 und 14a) Anforderungen an Trinkwasser in Bezug auf radioaktive Stoffe

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

Referenz-Aktivitätskonzentrationen für radioaktive Stoffe im Trinkwasser		
Laufende Nummer	Radionuklid	Referenz-Aktivitätskonzentration (Anmerkung 1)
<b>Radionuklide natürlichen Ursprungs</b>		
1	U-238	3,0 Bq/l
2	U-234	2,8 Bq/l
3	Ra-226	0,5 Bq/l
4	Ra-228	0,2 Bq/l
5	Pb-210	0,2 Bq/l
6	Po-210	0,1 Bq/l
<b>Radionuklide künstlichen Ursprungs</b>		
7	C-14	240 Bq/l
8	Sr-90	4,9 Bq/l
9	Pu-239/Pu-240	0,6 Bq/l
10	Am-241	0,7 Bq/l
11	Co-60	40 Bq/l
12	Cs-134	7,2 Bq/l
13	Cs-137	11 Bq/l
14	I-131	6,2 Bq/l

Anlage 3a (zu den §§ 7a, 9 und 14a)  
Anforderungen an Trinkwasser in  
Bezug auf radioaktive Stoffe

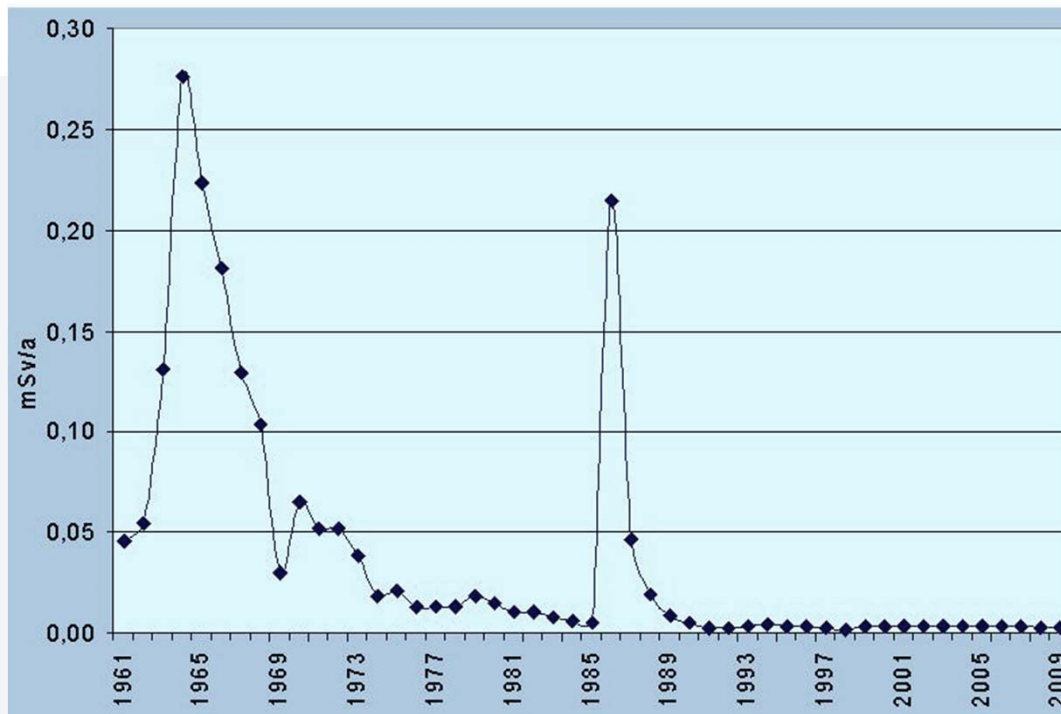
**Anmerkung 1:**

Diese Tabelle enthält die für die häufigsten natürlichen und künstlichen Radionuklide berechneten Referenz-Aktivitätskonzentrationen. Hierbei handelt es sich um genaue Werte, die für eine Dosis von 0,1 mSv und anhand der zuvor genannten Grundlagen und Annahmen berechnet wurden. Die Referenz-Aktivitätskonzentrationen für weitere Radionuklide können auf die gleiche Weise berechnet werden.

## Zusätzliche Strahlenbelastung durch die Kernwaffentests

- Die gesamte zusätzliche Strahlenbelastung (Lebenszeitdosis) durch atmosphärische Kernwaffentests für eine Person auf der Nordhalbkugel der Erde wird mit durchschnittlich etwa 4.400 Mikrosievert abgeschätzt.
- Die höchste zusätzliche Strahlenbelastung aufgrund des Fallouts der oberirdischen Kernwaffentests trat in den Jahren 1963 bis etwa 1967 auf.
- In Deutschland ergaben sich als Maximalwerte für die zusätzliche Strahlenbelastung durch inkorporiertes (in den Körper aufgenommenes) Cäsium-137 in den Jahren 1964 bis 1966 zwischen 200 und 280 Mikrosievert pro Jahr (gemittelt über eine Referenzgruppe von jeweils 30 männlichen Personen).
- Durch Untersuchungen an Knochen wurden für Strontium-90 für diesen Zeitraum maximale Organdosen im Knochen von bis zu 290.000 Mikrosievert pro Jahr ermittelt.

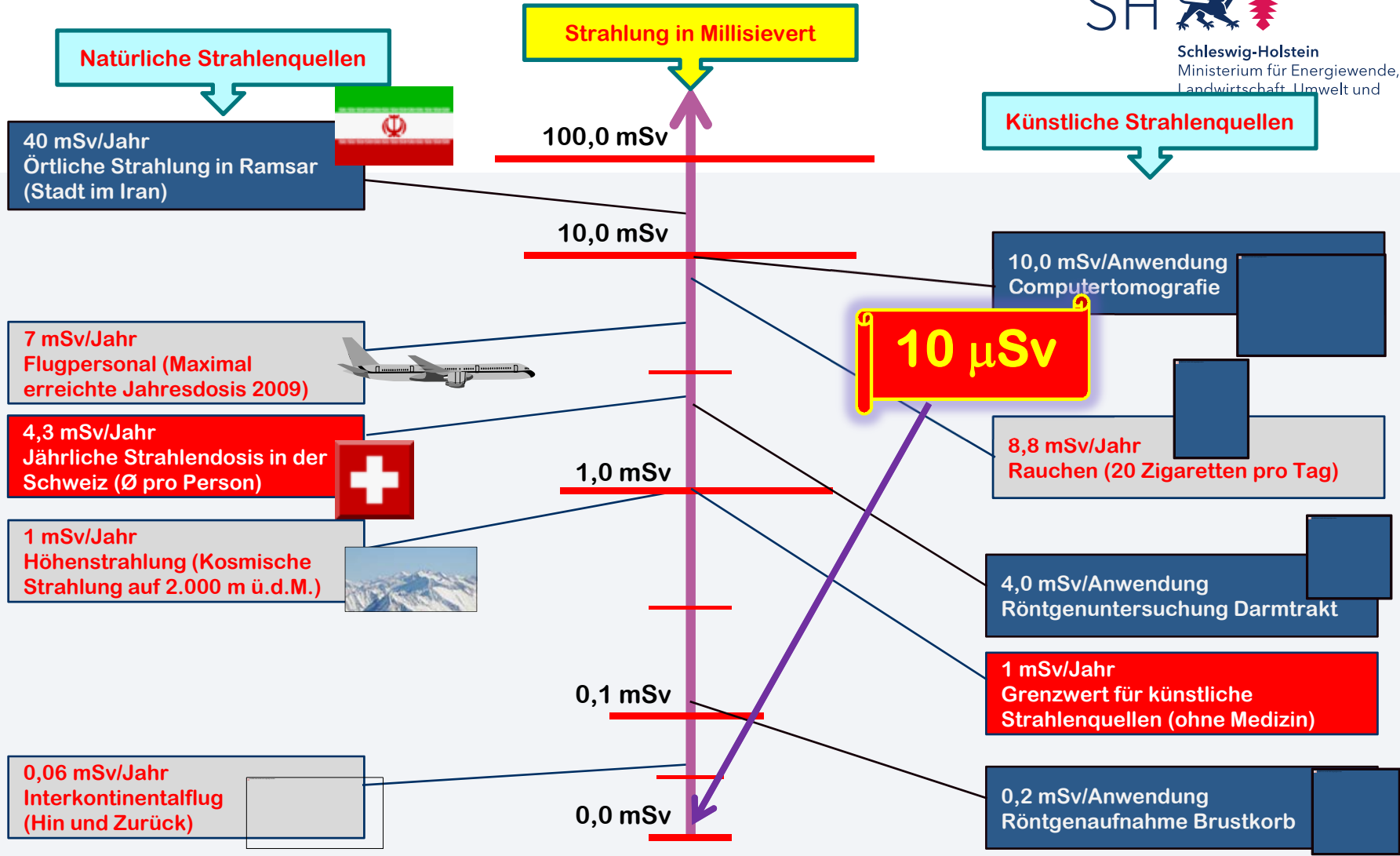
# Das 10-Mikrosievertkonzept



Zeitlicher Verlauf der Strahlenbelastung durch inkorporiertes Cäsium-137 in Millisievert pro Jahr.

(Mittelwert für eine Referenzgruppe von 30 männlichen Personen, deren Inkorporation am Ganzkörperzähler des BfS in Neuherberg gemessen und daraus die Strahlenbelastung berechnet wurde; Quelle: BfS)

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Milli:  $10^{-3} = 0,001 = \text{Tausendstel}$   
 Mikro:  $10^{-6} = 0,000.001 = \text{Millionstel}$

**Einordnung der 10 Mikrosievert (10 µSv)**



## In Diskussionen tauchen immer wieder zwei Fragen auf:

1. Die Risikozahlen für die Abschätzung des Strahlenkrebsrisikos basieren auf den Abschätzungen, die vor dem Jahr 1990 gültig waren.

„Inzwischen stellt man fest, dass viele dieser Grundlagen, die zu den heute geltenden Grenzwerten geführt haben, im Grunde nicht mehr haltbar sind. Der Risikofaktor für das Krebsrisiko, die Strahlengefährlichkeit wird in der Fachwelt deutlich höher angesehen, auch in Studien der japanischen Kommission, die nach Hiroshima und Nagasaki das Strahlenkrebsrisiko bewertet.“ (Dr. Neumann, Erörterungsverfahren KKB)

2. Als Referenzperson für die Quantifizierung des Strahlenkrebsrisikos wird ein durchschnittlicher erwachsener Mann zugrunde gelegt.

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

1. Die Risikozahlen für die Abschätzung des Strahlenkrebsrisikos basieren auf den Abschätzungen, die vor dem Jahr 1990 gültig waren.

**Unsere heutigen Risikozahlen  
(Krebsmortalität) leiten sich aus  
Hiroshima/Nagasaki ab**



## Entwicklung der Risikozahlen\*):

ICRP 27 (1977):	125 pro $10^4$ PSv = 1,25% pro Sv
ICRP 60 (1990):	500 pro $10^4$ PSv = 5% pro Sv
ICRP 103 (2007):	1.000 pro $10^4$ PSv = 10% pro Sv

**Alternative maximal: 7.000 pro  $10^4$  PSv = 70% pro Sv**

\*) ICRP (International Commission on Radiological Protection - Internationale Strahlenschutzkommission)  
Die Veröffentlichungen und Risikoabschätzungen entsprechen den Auswertungen der epidemiologischen Daten aus Hiroshima und Nagasaki 20 Jahre, 40 Jahre und 60 Jahre nach den Atombombenabwürfen.

# Das 10-Mikrosievertkonzept

**ICRP 103 (2007): 1.000 pro  $10^4$  PSv = 10% pro Sv**



**Das entspricht bei einer Dosis von 10 Mikrosievert einem zusätzlichen Strahlenkrebsrisiko von  $10^{-6}$  (Risiko von 1 : 1.000.000)**

**Die Aufnahme einer Dosis von 10  $\mu$ Sv bedeutet demnach eine Risikoerhöhung von 25% auf 25,0001%**

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende

2. Als Referenzperson für die Quantifizierung des Strahlenkrebsrisikos wird ein durchschnittlicher erwachsener Mann zugrunde gelegt.

Anlage VII der Strahlenschutzverordnung (zu §§ 29 und 47) Annahmen bei der Ermittlung der Strahlenexposition

**Teil B: Lebensgewohnheiten**

**Tabelle 1**

mittlere Verzehrsmengen der Referenzperson in kg/a

	1	2	3	4	5	6	7	8
Altersgruppe		<= 1 Jahr	> 1 - <= 2 Jahre	> 2 - <= 7 Jahre	> 7 - <= 12 Jahre	> 12 - <= 17 Jahre	> 17 Jahre	
Lebensmittel								
Trinkwasser		55 3)	100	100	150	200	350	2
Muttermilch, Milchfertigprodukte mit Trinkwasser		200 3, 4)	-	-	-	-	-	1,6
Milch, Milchprodukte		45	160	160	170	170	130	3
Fisch 5)		0,5	3	3	4,5	5	7,5	5
Fleisch, Wurst, Eier		5	13	50	65	80	90	2

3) Mengenangabe in (l/a)  
Zur jährlichen Trinkwassermenge des Säuglings von 55 l/a kommen, 160 l/a, wenn angenommen wird, dass der Säugling nicht gestillt wird, sondern nur Milchfertigprodukte erhält, die überregional erzeugt werden und als nicht kontaminiert anzusetzen sind. Dabei wird angenommen, dass 0,2 kg Konzentrat (entspricht 1 l Milch) in 0,8 l Wasser aufgelöst werden.

4) Je nach Nuklidzusammensetzung ist die ungünstigste Ernährungsvariante zugrunde zu legen.

5) Der Anteil von Süßwasserfisch am Gesamtfischverzehr beträgt im Mittel ca. 17% und ist den regionalen Besonderheiten anzupassen.

# Das 10-Mikrosievertkonzept



Schleswig-Holstein  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume

Anlage VII der Strahlenschutzverordnung  
(zu §§ 29 und 47) Annahmen bei der  
Ermittlung der Strahlenexposition

Altersgruppe	<= 1 Jahr	> 1 - <= 2 Jahre	> 2 - <= 7 Jahre	> 7 - <= 12 Jahre	> 12 - <= 17 Jahre	> 17 Jahre	
Lebensmittel							
mittlere Verzehrsmengen der Referenzperson in kg/a							
Getreide, Getreideprodukte	12	30	80	95	110	110	2
einheimisches Früchtl, Obstprodukte, Säfte	25	45	65	65	60	35	3
Kartoffeln, Wurzelgemüse, Säfte	30	40	45	55	55	55	3
Blattgemüse	3	6	7	9	11	13	3
Gemüse, Gemüseprodukte,	5	17	30	35	35	40	3

**Tabelle 2**

Altersgruppe	<= 1 Jahr	> 1 - <= 2 Jahre	> 2 - <= 7 Jahre	> 7 - <= 12 Jahre	> 12 - <= 17 Jahre	> 17 Jahre
Atemrate in cbm/Jahr	1 100	1 900	3 200	5 640	7 300	8 100

**Vielen Dank  
für Ihre  
Aufmerksamkeit**



**Schleswig-Holstein**  
Ministerium für Energiewende,  
Landwirtschaft, Umwelt und  
ländliche Räume