

## 1. **Natürliche Umweltradioaktivität** (*Natural environmental radioactivity*)

Bearbeitet vom Bundesamt für Strahlenschutz, Fachbereich Strahlenschutz und Umwelt, Berlin

### 1.1 **Natürlich radioaktive Stoffe in der Umwelt** (*Natural radioactive substances in the environment*)

Natürlich radioaktive Stoffe - natürliche Radionuklide - sind seit jeher Bestandteil unserer Umwelt. Ihrem Ursprung nach unterscheidet man drei Gruppen natürlich radioaktiver Stoffe:

- Radionuklide ohne Zerfallsreihen,
- Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen,
- Radionuklide, die ständig durch kosmische Strahlung erzeugt werden.

Die Radionuklide der ersten Gruppe haben ebenso wie die Ausgangsradionuklide der zweiten Gruppe (primordiale Radionuklide) Halbwertszeiten (HWZ) in der Größenordnung von Milliarden Jahren. Das wichtigste Radionuklid in dieser Gruppe ist Kalium-40, es kommt zu 0,0118% als Bestandteil des Elementes Kalium in der Natur vor. Darüber hinaus sind mehr als 10 weitere Radionuklide ohne Zerfallsreihe bekannt, z. B. Rubidium-87, die aber keinen wesentlichen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition liefern.

Die für den Strahlenschutz wichtigen Radionuklide stammen aus den natürlichen Zerfallsreihen:

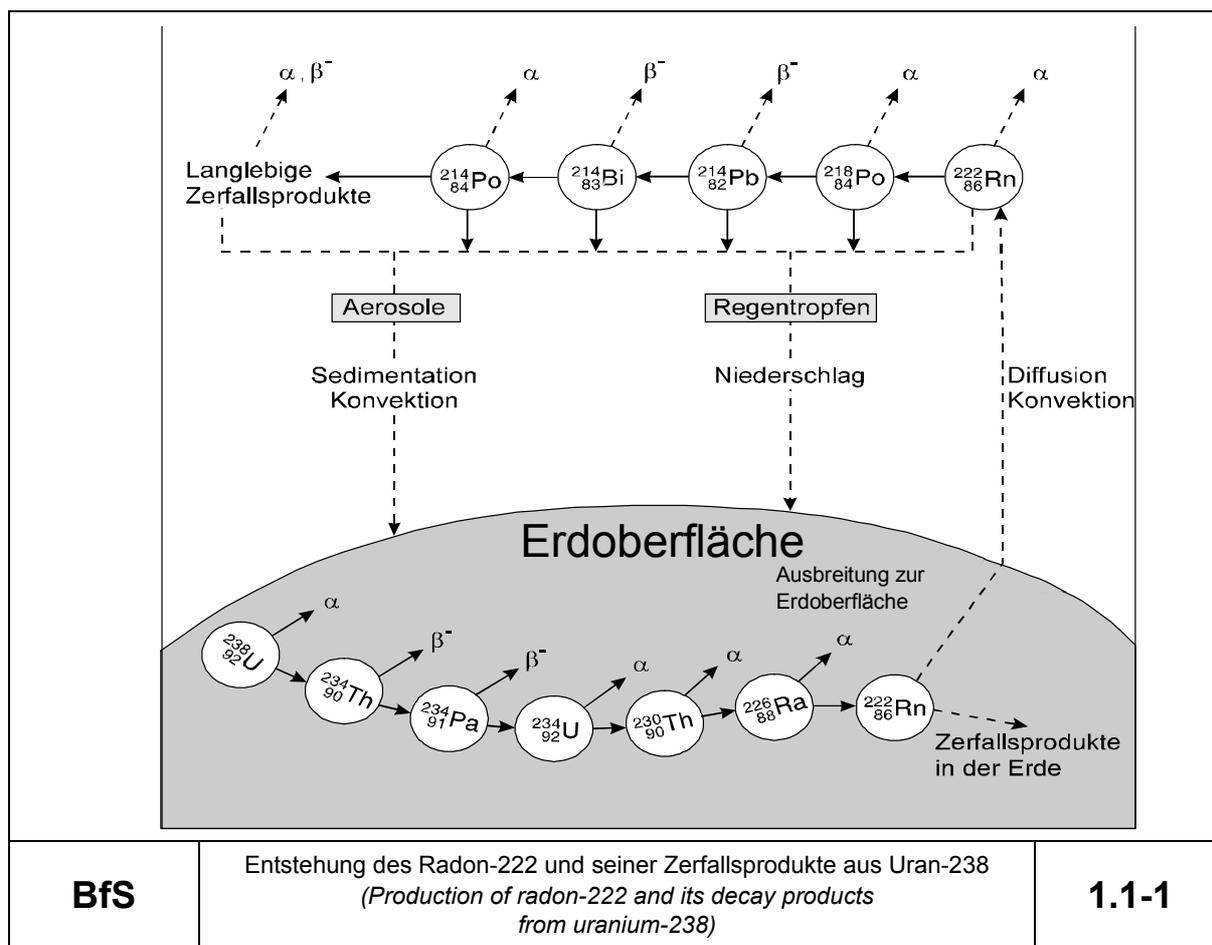
- Uran-Radium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-238 mit einer HWZ von 4,5 Milliarden Jahren,
- Actinium-Zerfallsreihe, ausgehend von Uran-235 mit einer HWZ von 0,7 Milliarden Jahren,
- Thorium-Zerfallsreihe, ausgehend von Thorium-232 mit einer HWZ von 14 Milliarden Jahren.

Von diesen drei Zerfallsreihen liefern die Uran-Radium- und die Thorium-Zerfallsreihe den größten Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition.

Zur dritten Gruppe gehören Radionuklide, die ständig durch die primäre kosmische Strahlung in der Atmosphäre erzeugt werden, z. B. Tritium (HWZ 12,3 Jahre), Beryllium-7 (HWZ 53,3 Tage), Kohlenstoff-14 (HWZ 5 730 Jahre) und Natrium-22 (HWZ 2,6 Jahre).

Überall dort, wo Uran und Thorium im Erdboden vorhanden sind, entstehen als radioaktive Zerfallsprodukte Nuklide des Edelgases Radon, die besonders mobil sind. Aus U-238 entsteht über Radium-226 das Radon-222 (HWZ 3,8 Tage), aus Th-232 über die Zwischenprodukte Radium-228 und Radium-224 das Radon-220 (HWZ 55,6 Sekunden) und aus dem U-235 das Radon-219 (HWZ 3,96 Sekunden). Auf Grund der größeren HWZ sind im Normalfall das Rn-222 und hierbei seine kurzlebigen Zerfallsprodukte (Polonium-218, Blei-214, Wismut-214 und Polonium-214) für die Strahlenexposition von besonderer Bedeutung.

Die Abbildung 1.1-1 zeigt die Entstehung des Rn-222 und seiner Zerfallsprodukte in der bodennahen Luft.



**1.2 Natürlich radioaktive Stoffe im Boden**  
(Natural radioactive substances in soil)

Die Radioaktivität in Böden wird häufig durch den Gehalt an natürlichen Radionukliden im Ursprungsgestein bestimmt. Da in kieselsäurereichen Magmagessteinen die spezifische Aktivität primordialer Radionuklide gewöhnlich höher ist als in anderen Gesteinen, findet man in Böden mit hohen Anteilen an Verwitterungsprodukten der Magmagessteinen auch höhere Werte dieser Nuklide. Das radioaktive Gleichgewicht in den Böden kann durch verschiedene Prozesse, z. B. durch unterschiedliche Löslichkeit der Radionuklide gestört werden. Die Tabelle 1.2-1 zeigt typische Werte der spezifischen Aktivität für einige Bodenarten.

**Tabelle 1.2-1 Typische Werte für die spezifische Aktivität verschiedener Bodenarten**  
(Typical values for the specific activity of different soil consistencies)

Bodenart	Kalium-40	Thorium-232	Uran-238
	spez. Aktivität (Bq/kg TM)		
Fahlerde	650	50	35
Schwarzerde	400	40	20
Bleicherde	150	10	7
Moorboden	100	7	7

In Tabelle 1.2-2 sind Ergebnisse von Messungen der spezifischen Aktivität von Bodenproben aus den Regionen des Uran- und Kupferschieferbergbaus in Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt Messergebnissen aus dem norddeutschen Raum und anderen Gebieten Deutschlands gegenübergestellt. Auf Grund des Urangeltes in den Gesteinen sind in den Böden der genannten Bergbauregionen die mittleren Werte der spezifischen Aktivität höher als in anderen Regionen. So beträgt die mittlere spezifische Ra-226-Aktivität in den Böden im Bergbauggebiet etwa 70 Bq/kg, während als mittlerer Wert für das gesamte Bundesgebiet 40 Bq/kg ermittelt worden sind.

**Tabelle 1.2-2 Typische Bereiche der spezifischen Aktivität von Radium-226 in Böden**  
(*Typical areas for specific radium-226 activity in soil*)

Gebiet	Wertebereich spez. Ra-226-Aktivität (Bq/kg TM)
Raum Mansfeld (Sachsen-Anhalt)	17 – 64
Raum Aue (Sachsen)	27 – 80 <sup>*)</sup>
Erzgebirgisches Becken	18 – 130
Thüringer Bergbaugebiet	21 – 170 <sup>**)</sup>
Mecklenburg-Vorpommern	8 – 12
Brandenburg	9 – 15
Übriges Bundesgebiet	10 – 200

<sup>\*)</sup> Einzelwerte bis 300 Bq/kg

<sup>\*\*)</sup> Einzelwerte bis 400 Bq/kg

### 1.3 Natürlich radioaktive Stoffe im Wasser

(*Natural radioactive substances in water*)

#### Oberflächenwasser

Oberflächenwässer (einschließlich Meereswässer), Grund-, Quell- und Stollenwässer und insbesondere Trinkwässer wurden im Rahmen von verschiedenen Umweltüberwachungsprogrammen und Forschungsvorhaben auf natürliche Radionuklide untersucht. Umfangreiche Untersuchungen des damaligen Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes und des BfS an für die Trinkwassergewinnung genutzten Wässern zeigten, dass sich die Radionuklide der U-238- und Th-232-Zerfallsreihen im Allgemeinen nicht im radioaktiven Gleichgewicht befinden, d. h. im gleichen Wasser liegen unterschiedliche Aktivitätskonzentrationen der Radionuklide einer Zerfallsreihe vor. Dies ist auf den unterschiedlichen chemischen Charakter der einzelnen Zerfallsprodukte zurückzuführen, die in Abhängigkeit von den hydrogeologischen Gegebenheiten der Wasservorkommen unterschiedliche Mobilitäten im aquatischen System aufweisen (Tabelle 1.3-1).

**Tabelle 1.3-1 Natürliche radioaktive Stoffe in Gewässern und Sedimenten**  
(*Natural radioactive substances in bodies of water and sediments*)

Gewässer	Radionuklid	Wertebereich Aktivitätskonzentration (mBq/l)
Grundwasser	Tritium	< 40 - 400
	Kalium-40	11 - 15000
	Uran-238	1 - 200
	Radium-226	< 4 - 400
	Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte	2000 - 1500000
	Thorium-232	0,4 - 70
Oberflächenwasser	Tritium	20 - 100
	Kalium-40	40 - 2000
	Uran-238	< 2 - 40
	Radium-226	< 2 - 30
	Radon-222 und kurzlebige Folgeprodukte	400 *)
		(< 400 - 2000)
	Blei-210	2 - 70
	Thorium-232	0,04 - 0,4
Radium-228	< 1 - 10	

\*) Geschätzter Mittelwert Bundesrepublik Deutschland

**Trinkwasser**

In Tabelle 1.3-2 wird ein Überblick über die aus den vorliegenden Messdaten ermittelten Mediane und Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen relevanter natürlicher Radionuklide in Trinkwässern gegeben. Berücksichtigt wurden nur aufbereitete Wässer, sogenannte Reinwässer und Wässer, die ohne weitere Behandlung als Trinkwasser genutzt werden. Die zugrundeliegenden Daten stammen mit Ausnahme der Radionuklide Ra-226, Rn-222 und K-40 überwiegend aus Gebieten erhöhter natürlicher Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) und sind daher nur eingeschränkt repräsentativ für das gesamte Bundesgebiet. Neben den errechneten Medianwerten (50%-Perzentilen) werden für das Gesamtgebiet geschätzte Medianwerte (in Klammern) angegeben. Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet, d. h. in 5% der Fälle treten definitionsgemäß höhere Werte auf, die in Extremfällen um ein bis zwei Größenordnungen darüber liegen können.

**Tabelle 1.3-2 Konzentrationen wichtiger natürlicher Radionuklide im Trinkwasser  
(Concentrations of the main natural radionuclides in drinking water)**

Radionuklid	Medianwert		Wertebereich <sup>**)</sup>
	spez. Aktivität (mBq/l)		
Uran-238	16	(5) <sup>*)</sup>	< 0,5 - 310
Uran-234	18	(6) <sup>*)</sup>	< 0,5 - 350
Uran-235	1	(0,3) <sup>*)</sup>	< 0,2 - 16
Radium-226	5		< 0,5 - 32
Radium-226 (Mineralwasser)	23		< 0,5 - 310
Thorium-232	0,5	(0,1) <sup>*)</sup>	< 0,1 - 4
Thorium-228	1	(0,2) <sup>*)</sup>	< 0,2 - 6
Radium-228	12	(3) <sup>*)</sup>	< 0,5 - 23
Radon-222	5900		<1 000 - 160 000
Blei-210	7	(1,5) <sup>*)</sup>	< 0,2 - 170
Polonium-210	2	(0,5) <sup>*)</sup>	< 0,1 - 40
Kalium-40	70		3 - 800
Kalium-40 (Mineralwasser)	1500		30 - 16 000

\*) Bei den in Klammern angegebenen Werten handelt es sich um Schätzwerte, die sich aus dem Verhältnis der Werte aus Gebieten erhöhter Radioaktivität (Erzgebirge/Vogtland) zum Gesamtgebiet (für Ra-226 beträgt der Faktor etwa 4) ergeben.

\*\*\*) Die oberen Grenzen für die angegebenen Wertebereiche werden durch die 95%-Perzentile gebildet.

Aus den Messungen der Radon-222-Konzentrationen in Trinkwässern Deutschlands ergab sich ein Median von 5,9 Bq/l bei einem 95%-Perzentil von 160 Bq/l. Etwa 10% der Werte liegen oberhalb von 50 Bq/l; der höchste Wert betrug 1500 Bq/l. Die Messungen der Radon-222-Konzentrationen erfolgten zum größten Teil bei Endverbrauchern, z. B. in Privathaushalten, zum kleineren Teil in Wasserversorgungsanlagen.

**Meerwasser**

Das ozeanische Meerwasser besitzt einen Salzgehalt von etwa 35 PSU<sup>1</sup>. Im Salz des Meeres sind alle chemischen Elemente in unterschiedlichster Konzentration wie auch natürliche Radionuklide enthalten. Die Konzentration hängt zum Teil vom Salzgehalt ab, so dass deren Konzentration in den Küstengewässern abnimmt. Geochemische Prozesse können dazu führen, dass einige Nuklide aus der Wassersäule abgereichert, in Schwebstoffen angereichert und auf dem Sediment deponiert werden.

Unter den natürlichen Radionukliden sind vor allen Dingen die primordialen Nuklide Kalium-40, Rubidium-87 sowie Uran-238, Uran-235, Thorium-232 und deren Zerfallsreihen zu nennen. Meerwasser enthält eine relativ hohe natürliche Uran-Konzentration von etwa 3,3 µg/l. Die kosmogenen Nuklide Tritium und Beryllium-7 werden über die Atmosphäre in das Meer eingetragen. Tabelle 1.3-3 gibt die Hintergrundkonzentrationen einiger der wichtigsten natürlichen Radionuklide wieder. Für eine Strahlenexposition des Menschen durch Verzehr von Meerestieren spielt der Alpha-Strahler Polonium-210 die größte Rolle, der in manchen Meeresorganismen stark angereichert wird.

1. PSU = Practical Salinity Units entspricht in etwa Promille

**Tabelle 1.3-3 Die Konzentration natürlicher Radionuklide im Meerwasser beim Salzgehalt von 35 PSU und in Sedimenten von Nord- und Ostsee**  
*(Concentration of natural radionuclides in sea water with 35 PSU salt content, and in sediments of the North- and Baltic Sea)*

Radionuklid	Halbwertszeit (a)	Meerwasser (Bq/m <sup>3</sup> )	Sediment (Bq/kg)
Tritium	12,3	20 – 100 <sup>***</sup>	-
Be-7	0,146	1,1 - 3,4	-
C-14	5730	5,5 - 6,7	-
Si-32	172	0,2 - 3,3 x 10 <sup>-3</sup>	-
K-40	1,28 x 10 <sup>9</sup>	11800 - 12300	100 - 1000
Rb-97	4,80 x 10 <sup>10</sup>	10 <sup>6</sup>	-
Th-32	1,41 x 10 <sup>10</sup>	0,4 - 29 x 10 <sup>-3</sup>	12 - 50
Ra-238	5,76	0,8 - 8	
Th-228	1,91	0,004 - 0,3	
U-235	7,04 x 10 <sup>8</sup>	1,9	
U-238	4,47 x 10 <sup>9</sup>	40 - 44	2,5 - 186
Th-234	0,066	0,6 - 6,8	*
U-234	2,45 x 10 <sup>5</sup>	47	*
Th-230	8,0 x 10 <sup>4</sup>	2,52 x 10 <sup>-3</sup>	*
Ra-226	1617	0,8 - 8	20 - 80
Pb-210	22,3	0,4 - 2	100 - 300**
Po-210	0,378	0,6 - 1,9	100 - 300**

\* In den Sedimenten von Nord- und Ostsee darf weitgehend radioaktives Gleichgewicht mit Uran-238 angenommen werden.

\*\* Dieser Wert gilt für Oberflächensedimente. Durch Eintrag von Radon-222-Zerfallsprodukten aus der Atmosphäre in das Meer ergibt sich ein Überschuss an Blei-210 bzw. Polonium-210 in Oberflächensedimenten gegenüber dem möglichen Zerfall aus Radium-226 im Sediment selbst. Das Alter einer Sedimentablagerung kann damit über den Zerfall des Blei-210 in ungestörten Sedimenten ermittelt werden.

\*\*\* Diese Konzentration gilt für ozeanisches Tiefenwasser ohne anthropogenen Einfluss.

#### 1.4 Natürlich radioaktive Stoffe in der bodennahen Atmosphäre *(Natural radioactive substances in the atmosphere close to ground level)*

In der bodennahen Luft befinden sich die für die Strahlenexposition wichtigen radioaktiven Nuklide des Edelgases Radon (siehe Abschnitt 1.1) und deren Zerfallsprodukte. Die übrigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen sind bei den natürlicherweise auftretenden Staubkonzentrationen für die Strahlenexposition von untergeordneter Bedeutung. Von untergeordneter Bedeutung für die Strahlenexposition sind auch die kosmogenen Radionuklide (z. B. H-3, Be-7, C-14, Na-22).

Die Konzentrationen der beim Zerfall der Nuklide des Ra-226 und des Ra-224 in den Gesteinen und Böden entstehenden Edelgasisotope Rn-222 und Rn-220 in der Luft sind abhängig von der Exhalationsrate des Untergrundes, von meteorologischen und orographischen Bedingungen sowie von der Höhe über dem Erdboden. Wegen der kurzen HWZ von etwa 4 Sekunden spielt das Rn-219 für die Strahlenexposition keine Rolle.

Für den größten Teil Deutschlands liegt die Konzentration des Rn-222 in der Luft im Freien im Bereich von 5 – 30 Bq/m<sup>3</sup>. In Gebieten mit besonderen geologischen Bedingungen und bei orographischen Bedingungen, die den Luftaustausch erschweren (z. B. in Tallagen) können auch höhere Konzentrationen auftreten. Als obere Grenze des natürlich vorkommenden Konzentrationsbereiches gelten 80 Bq/m<sup>3</sup>. Bedingt durch Freisetzungen aus speziellen bergbaulichen Hinterlassenschaften sind auch höhere Konzentrationen möglich (siehe Teil II, 2.2).

Die Konzentrationen des entsprechenden Radonnuklids der Th-232-Zerfallsreihe, Rn-220, sind in Deutschland deutlich niedriger als die des Rn-222. Als durchschnittliche Konzentration wird der Wert 0,15 Bq/m<sup>3</sup>

geschätzt. Auf die Radonkonzentration in Gebäuden wird im nachfolgenden Kapitel I, Teil 2.1 näher eingegangen.

Einen Überblick über die Wertebereiche der Aktivitätskonzentrationen der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen, die für die Strahlenexposition von Bedeutung sind, gibt die Tabelle 1.4-1. Sie fasst die Ergebnisse zusammen, die in den Jahren 1974 bis 1992 von der PTB und der GSF im Raum München, Berlin und Braunschweig in der bodennahen Luft gemessen wurden.

**Tabelle 1.4-1 Aktivitätskonzentrationen der langlebigen Radionuklide der Uran- und Thoriumzerfallsreihen in der bodennahen Luft (Jahresmittelwerte)**  
(*Activity concentrations of the long-lived radionuclides of the uranium and thorium decay series in air close to ground level - annual mean values*)

Uran-238	Uran-234	Thorium-230	Radium-226	Blei-210	Polonium-210	Thorium-232	Radium-228	Thorium-228
$\mu\text{Bq/m}^3$								
0,8 - 2,0	1,4 - 2,0	0,6 - 1,7	<1,3 - 6,3	200 - 670	26 - 48	0,4 - 1,2	0,6	1,0 - 1,2

### 1.5 Natürlich radioaktive Stoffe in der Nahrung (*Natural radioactive substances in foodstuffs*)

Die Aufnahme der natürlichen Radionuklide hängt von deren Gehalt in der Nahrung und ihrem metabolischen Verhalten ab. Das mit der Nahrung aufgenommene K-40 führt zu einer mittleren spezifischen Aktivität von 60 Bq pro Kilogramm Körpergewicht. Aus der Uran- und Thorium-Zerfallsreihe tragen vor allem das Pb-210 und Po-210 mit einer mittleren altersgewichteten jährlichen Zufuhr von 30 Bq bzw. 58 Bq (Zahlenwerte nach UNSCEAR 2000 [1]) zur Strahlenexposition bei.

Tabelle 1.5-1 gibt einen Überblick über die Mittelwerte und die Wertebereiche in Deutschland gemessener Gehalte natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln. Die untersuchten Proben stammen allerdings überwiegend aus Gebieten mit überdurchschnittlichen Konzentrationen natürlich radioaktiver Stoffe im Boden und können deshalb nicht für Abschätzungen einer repräsentativen Strahlenexposition verwendet werden.

Die spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung des Menschen (feste und flüssige Form), die in der gemischten Kost unterschiedlicher Gemeinschaftseinrichtungen über einen längeren Zeitraum bestimmt wurde, zeigt die Tabelle 1.5-2. Diese Tabelle beruht auf aktuellen und repräsentativen Daten, die in den Jahren 2000 und 2001 in der gesamten Bundesrepublik erhoben worden sind. Die durchschnittliche jährliche Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit der Nahrung kann aus diesen Angaben abgeschätzt werden.

Die Tabelle 1.5-3 gibt einen Überblick über die mittlere Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe im Menschen.

**Tabelle 1.5-1 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in Nahrungsmitteln**  
(*Specific activity of natural radioactive substances in foodstuffs*)

Nahrungsmittel	Kalium-40	Uran-238	Radium-226	Blei-210	Polonium-210
	spezifische Aktivität (Bq/kg FM)				
Getreide	150 87 - 246	0,1 0,02 - 0,4	0,3 0,04 - 1,54	1,4 0,04 - 10,2	0,3 0,2 - 1,94
Mehl			0,1 0,05 - 0,13	0,4 0,22 - 0,67	0,4 0,20 - 0,48
Kartoffeln	150 122 - 194	0,6 0,02 - 3,09	0,2 0,02 - 1,30	0,1 0,02 - 0,63	0,1 0,20 - 0,33
Kohl	130 59 - 196	0,3 0,02 - 0,75	0,2 0,01 - 0,68	0,3 0,004 - 1,28	0,2 0,004 - 1,13
Übriges Gemüse		0,4 0,1 - 1,26	0,1 0,006 - 0,71	0,1 0,007 - 0,34	0,1 0,004 - 1,19
Möhren	100 72 - 134	0,7 0,07 - 2,31	0,2 0,06 - 0,49	0,6 0,02 - 4,9	0,6 0,02 - 5,2
Obst	50 23 - 164	0,6 0,02 - 2,89	0,2 0,005 - 2,12	0,2 0,02 - 2,29	0,1 0,02 - 1,1
Beerenobst	140 107 - 190	0,4 0,06 - 1,8	2,2 0,03 - 5,38	8,4 1,2 - 14,8	1,6 0,52 - 2,24
Pilze	120 8 - 233	1,3 0,18 - 5,1	1,2 0,01 - 16	1,2 0,09 - 4,1	1,3 0,1 - 5,2
Fleisch	90 60 - 120	0,01 0,001 - 0,02	0,1 0,03 - 0,18	0,5 0,1 - 1	2 0,2 - 4
Fischfleisch	100 80 - 120	4,1 0,5 - 7,4	1,5 0,05 - 7,8	0,8 0,02 - 4,42	1,1 0,05 - 5,2
Milch	50 35 - 65		0,025 0,001 - 0,13	0,04 0,004 - 0,26	0,024 0,003 - 0,07

**Tabelle 1.5-2 Spezifische Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe in der Gesamtnahrung**  
(gemischte Kost aus Gemeinschaftseinrichtungen)  
(*Specific activity of natural radioactive substances in the general diet*  
- mixed diet from public institutions)

Radionuklid	Mittelwert	Wertebereich
	spezifische Aktivität (Bq/kg FM)	
Uran-238	0,008	0,001 - 0,020
Uran-234	0,012	0,004 - 0,036
Thorium-230	0,002	0,001 - 0,004
Radium-226	0,021	0,006 - 0,042
Blei-210	0,029	0,010 - 0,115
Thorium-232	0,001	0,001 - 0,004
Radium-228	0,030	0,019 - 0,069

**Tabelle 1.5-3** **Natürlich radioaktive Stoffe im Menschen** (nach UNSCEAR 1982, 1988 und 1993 [1])  
(*Natural radioactive substances in man - UNSCEAR 1982, 1988 and 1993*)

Radionuklide	Aktivität (Bq)
Tritium	20
Kohlenstoff-14	3500
Kalium-40	4000
Rubidium-87	600
Uran-238	0,5
Radium-226	1,2
Blei-210	18
Polonium-210	15
Thorium-232	0,2
Thorium-228	0,4
Radium-228	0,4

## 1.6 Natürliche Strahlenexposition (*Natural radiation exposure*)

Die natürliche Strahlenexposition setzt sich aus mehreren Komponenten zusammen, wobei zwischen der äußeren Strahlenexposition terrestrischen und kosmischen Ursprungs und der inneren Strahlenexposition durch die Aufnahme radioaktiver Stoffe über Inhalation und Ingestion unterschieden wird.

### Äußere Strahlenexposition

Ein wesentlicher Beitrag zur äußeren Strahlenexposition stammt von der terrestrischen Komponente der  $\gamma$ -Strahlung, die auf den Gehalt der Böden an Radionukliden der Thorium- und der Uran-Radium-Reihe sowie an K-40 zurückzuführen ist.

Im Freien ist die Strahlenexposition von der spezifischen Aktivität in der obersten Bodenschicht bis zu 50 cm Tiefe abhängig. Im Mittel wurden für die terrestrische Komponente der  $\gamma$ -Ortsdosisleistung im Freien 57 Nanosievert pro Stunde bestimmt (Photonenäquivalentdosis, entspricht einer mittleren effektiven Dosis von 0,1 mSv pro Jahr in Deutschland). Höhere  $\gamma$ -Ortsdosisleistungen, lokal auch über 200 nSv/h, wurden insbesondere über an der Oberfläche anstehenden Granitmassiven und über natürlichen Böden dieser Regionen, z. B. in den Südregionen der neuen Bundesländer, im Bayerischen Wald und im Schwarzwald gemessen.

In Gebäuden wird die externe Strahlenexposition vorwiegend von der spezifischen Aktivität der verwendeten Baustoffe und nur zu einem geringen Teil durch die Beschaffenheit des Untergrundes bestimmt. Bei einem Wertebereich von 20 - 700 nSv/h beträgt die Gammadosisleistung im Mittel 80 nSv/h.

Die durch die terrestrische Strahlung verursachte effektive Dosis der Bevölkerung beträgt im Bundesgebiet im Mittel etwa 0,4 Millisievert pro Jahr (mSv/a), davon entfallen auf den Aufenthalt im Freien ca. 0,1 mSv/a und auf den Aufenthalt in Gebäuden etwa 0,3 mSv/a.

Zur externen Strahlenexposition trägt weiterhin die kosmische Strahlung bei. Sie besteht primär aus der hochenergetischen Teilchenstrahlung der Galaxis und einer solaren Komponente, die in den äußeren Luftschichten der Erde die sekundäre kosmische Strahlung erzeugen. Den wesentlichen Anteil zur Strahlenexposition liefert die direkt ionisierende Komponente der sekundären kosmischen Strahlung, die in Meereshöhe eine  $\gamma$ -Ortsdosisleistung von 32 nSv/h erzeugt; sie nimmt mit der Höhe über dem Meeresspiegel zu (Verdopplung bei jeweils 1500 m Höhenzunahme). Die effektive Dosisleistung der Neutronenkomponente beträgt demgegenüber nur 3,6 nSv/h. Sie steigt schneller mit zunehmender Höhe an. Insgesamt ergibt sich für die kosmische Strahlenexposition in Meereshöhe eine mittlere effektive Dosis von ca. 0,3 mSv/a.

### Innere Strahlenexposition

Wesentlich zur inneren Strahlenexposition trägt die Inhalation des Rn-222 und seiner kurzlebigen Zerfallsprodukte bei. Das Radon selbst verursacht eine vergleichsweise geringe Strahlenexposition. Den weitaus größten Beitrag (90 - 95%) liefern seine kurzlebigen Zerfallsprodukte, die meist an Aerosole angelagert

oder in nicht angelagerter Form beim Einatmen im Atemtrakt und in der Lunge abgeschieden werden und dort durch  $\alpha$ -Strahlung die Strahlenexposition hervorrufen. Der wesentlichste Teil der gesamten effektiven Dosis, die der Mensch durch natürliche Strahlenquellen erhält, resultiert aus der Strahlenexposition durch Radon-Zerfallsprodukte.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt in ihrer Publikation Nr. 65 "Empfehlungen zum Schutz vor Rn-222 in Wohnungen und am Arbeitsplatz" zur Ermittlung der effektiven Dosis aus der Radonexposition eine Dosiskonvention. Diese Konvention wurde auch von der Richtlinie 96/29 EURATOM des Rates vom 13. Mai 1996 übernommen und ist künftig von den Mitgliedsländern anzuwenden. Danach beträgt die jährliche effektive Dosis aus der Radonexposition in Gebäuden im Durchschnitt etwa 0,8 mSv und im Freien etwa 0,1 mSv. Allerdings muss auf den großen Variationsbereich der Radonkonzentrationen verwiesen werden. Für die Exposition durch Rn-220 wird im UNSCEAR Report 2000 eine jährliche effektive Dosis von 0,1 mSv angegeben [1].

Die effektive Dosis, die durch Inhalation der übrigen Radionuklide der Zerfallsreihen zustande kommt, beträgt nur 5  $\mu$ Sv/a und wird vor allem durch Pb-210 verursacht.

Die innere Strahlenexposition durch Kalium-40 wird durch den Kaliumgehalt des Körpers bestimmt, da 0,0118% des natürlichen Isotopengemisches von Kalium auf das Radionuklid K-40 entfallen. Der K-40-Gehalt im Körper beträgt 4000 Bq (s. Tabelle 1.5-3). Daraus ergibt sich eine jährliche effektive Dosis von 0,165 mSv.

Für die übrigen Radionuklide wird die innere Strahlenexposition aus der Zufuhr (Aufnahme der Radionuklide mit der Nahrung) berechnet. Auf Grund der unterschiedlichen geologischen Bedingungen liegen die Gehalte natürlicher Radionuklide in den Umweltmedien und deshalb auch in den Nahrungsmitteln in einem großen Wertebereich. Für die Radionuklidzufuhr ergibt sich deshalb auch ein großer Bereich. Für die mittleren Verhältnisse in Deutschland wird in Anlehnung an den UNSCEAR-Report 2000 abgeschätzt, dass sich durch die Aufnahme natürlich radioaktiver Stoffe mit Nahrung und Trinkwasser eine jährliche effektive Dosis im Bereich von 0,3 mSv ergibt.

### **Gesamte Strahlenexposition**

Aus der Inhalation und Ingestion natürlich radioaktiver Stoffe ergibt sich im Mittel ein Wert von etwa 1,4 mSv pro Jahr. Für die Summe aus äußerer und innerer Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide erhält man einen mittleren Wert von ca. 1,8 mSv pro Jahr. Die externe kosmische Strahlung trägt zusätzlich mit 0,3 mSv pro Jahr zur Gesamt-Strahlenexposition bei. Bei üblichen Lebens- und Ernährungsgewohnheiten in Deutschland ergibt sich unter Verwendung der in dem EURATOM-Grundnormen festgelegten Dosisfaktoren für eine Person der Bevölkerung rein rechnerisch eine jährliche effektive Dosis von 2,1 mSv. In Anbetracht der Variationsbereiche der einzelnen Komponenten, insbesondere der Exposition durch Radon und den nach der Direktive 96/29 EURATOM zu betrachtenden sechs Altersgruppen sollte sich für die durchschnittlichen Verhältnisse eine effektive Dosis im Bereich zwischen 2 und 3 mSv ergeben. Im UNSCEAR Report 2000 wird für die durchschnittlichen Verhältnisse in der nördlichen Hemisphäre ebenfalls ein Zahlenwert von 2,4 mSv angegeben [1].

### **Literatur**

- [1] United Nations: Sources, Effects and Risks of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1982, 1988, 1993, 2000 Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. New York 1982, 1988, 1993, 2000