

# 7 Radionuklide im menschlichen Körper



Die Stoffwechselvorgänge der Menschen sind von ihren Erbanlagen, den Verzehr- und Lebensgewohnheiten, den örtlichen Gegebenheiten sowie ihrem Geschlecht und Alter abhängig. Soll die Strahlendosis abgeschätzt werden, die durch aufgenommene Radionuklide entsteht, benötigt man eine einheitliche biologische Grundlage.

In Tab. 7.01 ist angegeben, wie viele Nahrungsmittel in Abhängigkeit vom Alter der Person im Mittel pro Jahr verzehrt werden. Bei den Verzehrsgewohnheiten können sich für das einzelne Individuum unter Umständen deutliche Abweichungen von den angegebenen Durchschnittswerten ergeben. Deshalb werden z. B. bei der Berechnung der Strahlenexposition durch die Emission radioaktiver Stoffe aus kerntechnischen Anlagen Konservativitätsfaktoren von 2 bis 5 angewandt.

mittlere Verzehrrate der Referenzperson in kg/a						
Lebensmittel	Altersgruppe					
	≤ 1 Jahr	> 1 – ≤ 2 Jahre	> 2 – ≤ 7 Jahre	> 7 – ≤ 12 Jahre	> 12 – ≤ 17 Jahre	> 17 Jahre
Trinkwasser	55	100	100	150	200	350
Muttermilch, MilCHFertigprodukte mit Trinkwasser	200	–	–	–	–	–
Milch, Milchprodukte	45	160	160	170	170	130
Fisch	0,5	3	3	4,5	5	7,5
Fleisch, Wurst, Eier	5	13	50	65	80	90
Getreide, Getreideprodukte	12	30	80	95	110	110
einheimisches Frischobst, Obstprodukte, Obstsaft	25	45	65	65	60	35
Kartoffeln, Wurzelgemüse	30	40	45	55	55	55
Blattgemüse	3	6	7	9	11	13
Gemüse, Gemüseprodukte	5	17	30	35	35	40

**Tab. 7.01**

Mittlere Verzehrraten der Referenzperson in kg/a nach Strahlenschutzverordnung

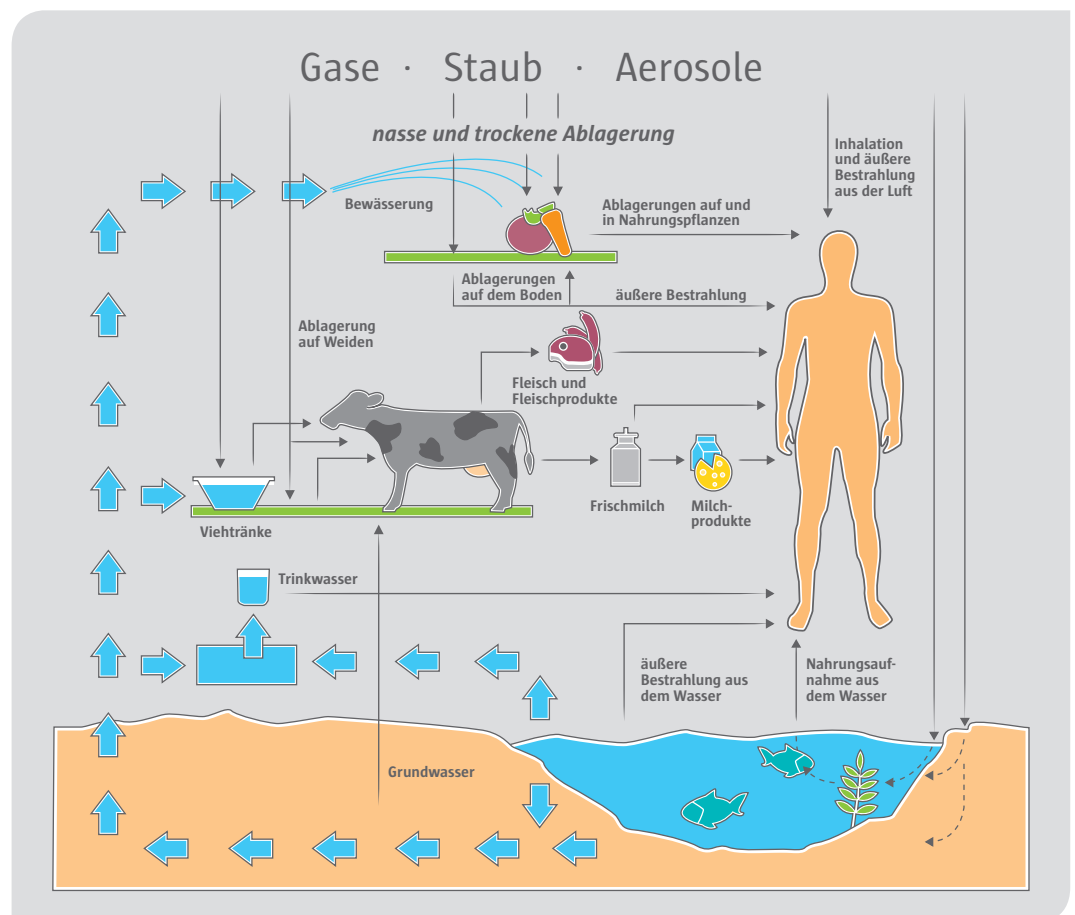
## Nahrungsketten und Expositionspfade 7.2

Radioaktive Stoffe aus der Luft, dem Wasser und dem Boden gelangen direkt mit der Atemluft oder dem Trinkwasser in den menschlichen Körper oder indirekt über eine der Nahrungsketten (Abb. 7.01).

Bei den Nahrungsketten lassen sich folgende Glieder unterscheiden:

- Ablagerung radioaktiver Stoffe aus der Luft auf den Pflanzen oder dem Boden,
- Aufnahme radioaktiver Stoffe über die Blätter oder die Wurzeln in die Pflanzen,
- Verzehr der Pflanzen durch Tier oder Mensch,
- Verarbeitung der Tiere oder tierischer Produkte zu Nahrungsmitteln.

Die Herkunft der Nahrungs- und Genussmittel, des Wassers und der Luft sowie die Lebens- und Ernährungsgewohnheiten des Menschen bestimmen unter anderem die Menge der vom Körper aufgenommenen radioaktiven Stoffe. So kann die Verwendung von Brunnen- oder Quellwasser mit erhöhtem Radiumgehalt, der bevorzugte Aufenthalt in schlecht belüfteten Räumen eines Natursteinhauses mit dadurch stark erhöhtem Radongehalt oder der verstärkte Verzehr von Nahrungsmitteln mit einem erhöhten Gehalt an Radionukliden den Radionuklidgehalt des menschlichen Körpers erhöhen. Es ist nicht zu verhindern, dass natürliche Radionuklide in den menschlichen Körper gelangen, da die gesamte Erdmaterie (einschließlich Pflanzen und Tiere) von Natur aus radioaktive Stoffe enthält.



**Abb. 7.01**

Expositionspfade für radioaktive Stoffe

## 7.3 Anreicherung von Radionukliden in Nahrungsketten

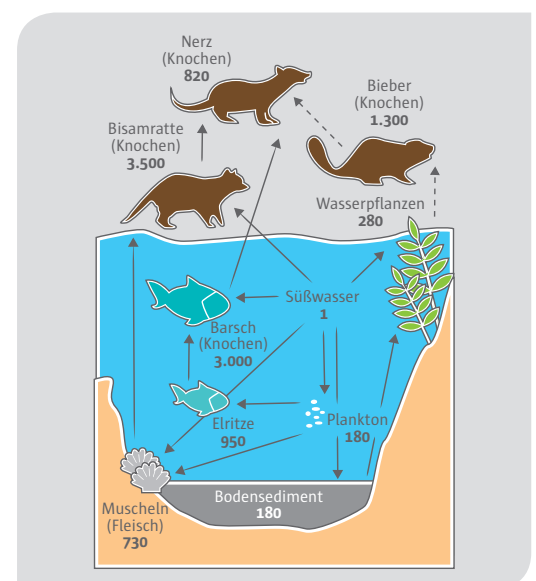
In den Gliedern der Nahrungsketten können sich Radionuklide anreichern. Dies ist darauf zurückzuführen, dass ein Organismus nicht für alle Elemente einen Regelmechanismus besitzt, um bestimmte Konzentrationen einzuhalten.

Beim Menschen gehören z. B. die Elemente Kalium und Calcium zu den sogenannten geregelten Elementen. Es bedeutet, dass ein gesunder Organismus bei ausreichendem Nahrungsangebot seine Konzentration im Körper auf einem bestimmten Wert hält.

Im Standardmenschen sind es für Calcium 1.100 g und für Kalium 140 g. Bei erhöhter Zufuhr dieser Elemente wird der nicht benötigte Anteil mit den Ausscheidungsprodukten vermehrt wieder abgegeben.

Die Elemente Strontium und Cäsium zählen beim Menschen zu den nicht geregelten Elementen. Je größer das Angebot dieser Elemente in der Nahrung ist, desto mehr wird auch resorbiert und verbleibt eine mehr oder minder lange Zeit im Körper. Von einem bestimmten Sättigungswert an bildet sich ein Gleichgewichtszustand zwischen Aufnahme und Ausscheidung.

Einen Anreicherungsprozess im Nahrungssystem eines Süßwassersees zeigt Abb. 7.02. Die Anreicherungs-faktoren geben das Verhältnis der Strontium-90-Konzentration im Organismus zu der im Wasser an. Die Anreicherungs-faktoren sind auf das Frischgewicht bezogen und in relativen Einheiten angegeben.



**Abb. 7.02**

Typische Anreicherungs-faktoren von Sr-90 im Nahrungssystem eines Süßwassersees

Im Boden, im Wasser und in der Luft unserer Biosphäre sind natürliche Radionuklide vorhanden. Durch Stoffwechselvorgänge gelangen sie in pflanzliche und tierische Organismen und somit in die Nahrungsmittel des Menschen.

Der größte Anteil der natürlichen Aktivität in Nahrungsmitteln rührt vom Kalium-40 her. Uran, Radium, Thorium sowie Blei-210 und Polonium-210 ergeben demgegenüber eine geringe spezifische Aktivität (Tab. 7.02). Hinzu kommt noch das natürliche Radionuklid Kohlenstoff-14, dass in Nahrungsmitteln eine typische spezifische Aktivität von 70 Bq/kg aufweist.

Kalium – und damit auch Kalium-40 – ist praktisch auf der gesamten Erdoberfläche und in den Gewässern (Seen, Flüsse, Meere) vorhanden. Die Pflanzen nehmen Kalium mit den Wurzeln aus dem Boden oder dem Wasser auf und speichern es in den Stängeln, Ästen, Blättern, Blüten, Früchten usw. Mit der pflanzlichen Nahrung gelangt das Kalium-40 dann auch in die Tiere und die Menschen. Der Kaliumgehalt in den Nahrungsmitteln ist unterschiedlich (Abb. 7.03). Die daraus resultierende spezifische Aktivität von Kalium-40 liegt für die meisten Lebensmittel zwischen 50 und 300 Bq/kg.

Für die Konzentrationsschwankungen lassen sich im Wesentlichen drei Gründe anführen:

- Die pflanzlichen und tierischen Organismen, aus denen die Nahrungsmittel gewonnen werden, verfügen über unterschiedliche physiologische Mechanismen und speichern deshalb unterschiedlich viele Radionuklide in ihren Zellen.

- Die Konzentration an natürlichen Radionukliden ist an den Orten der Nahrungsmittelgewinnung unterschiedlich. So haben Kartoffeln normalerweise eine mittlere Konzentration an Radium-226 von etwa 0,03 Bq/kg. Kartoffeln aus Gebieten mit erhöhter natürlicher Radioaktivität (z. B. Monazitgebiet in Kerala/Indien) haben dagegen einen Gehalt an Ra-226 von etwa 0,8 Bq/kg.
- Manche Radionuklide verhalten sich biochemisch ähnlich wie jene Elemente, die für den betreffenden Organismus physiologisch wichtig sind. So zeigt Rubidium eine ähnliche (nicht gleiche) chemische Reaktionsfähigkeit wie Natrium und Kalium (Alkalimetalle); Radium verhält sich ähnlich wie die beiden verwandten Elemente Barium und Calcium (Erdalkalimetalle). Diese Ähnlichkeit im Verhalten kann dazu führen, dass bei verstärkter Aufnahme von Calcium (z. B. intensiverer Knochenbaustoffwechsel in der Wachstumsphase von Tieren) auch vermehrt Radium eingebaut wird.

Die Aufnahme von Radium durch Pflanzen ist in der Regel gering. Eine Ausnahme bildet der Parussbaum. Er reichert verstärkt Barium an, womit gleichzeitig eine extrem hohe Aufnahme von Radium verbunden ist.

Uran, Radium und Thorium werden von den Pflanzen ausschließlich aus dem Boden aufgenommen. Blei-210 und Polonium-210 entstehen zum Teil in der Atmosphäre als Folgeprodukte des Radons. Diese Radionuklide können dann nicht nur aus dem Boden aufgenommen, sondern zu einem erheblichen Teil auch durch die Blätter der Pflanzen aus der Luft „herausgefiltert“ werden.

Produkt	Natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln und in Trinkwasser in Bq/l bzw. Bq/kg Frischgewicht, Median-Werte							
	K-40	U-238	U-234	Th-230	Ra-226	Pb-210	Th-232	Ra-228
Trinkwasser	0,1	0,005	0,006		0,001	0,002		0,003
Milch	50	0,002	0,005	0,001	0,004	0,011	0,001	
Fische (Süßwasser)	118	0,004	0,006		0,007	0,032		
Rindfleisch	94	0,001	0,001	0,100	0,008	0,018		
Getreide	120	0,011	0,011	0,010	0,160	0,365	0,009	0,190
Obst	50	0,002	0,005	0,001	0,014	0,040	0,001	0,018
Blattgemüse	200	0,012	0,011	0,006	0,037	0,130	0,004	0,056
Wurzelgemüse	90	0,005	0,002	0,006	0,030	0,022	0,004	0,045

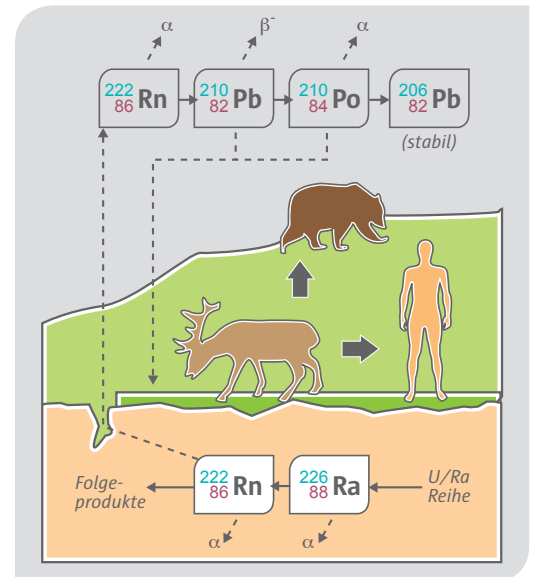
**Tab. 7.02**  
Konzentrationen natürlicher Radionuklide in Trinkwasser und in Nahrungsmitteln

Bei langsam wachsenden Pflanzen (z. B. Flechten in den Tundren) geht eine solche Filterung über lange Zeit vor sich. Pb-210 und Po-210 können in ihnen angereichert auftreten und Ausgangspunkt für eine Nahrungskette mit erhöhtem Gehalt an Pb-210 und Po-210 sein. Sie reicht vom Primärproduzenten Pflanze über den Primärkonsumenten Rentier bis zu den Sekundärkonsumenten Bär oder Mensch.

In den Zähnen von Lappen, die Rentiere züchten, ist eine doppelt so hohe Aktivität an Pb-210 und Po-210 nachgewiesen worden wie bei einer Population, die nicht in arktischen Gebieten lebt.

**Abb. 7.03**

Teil einer Nahrungskette in den Tundren (Zerfallsstufen unvollständig dargestellt)



## 7.5 Aufnahmewege und Speicherorgane

Stoffe – auch radioaktiv – können auf verschiedenen Wegen in den Körper gelangen (Abb. 7.04):

- über die Luftwege und Lungenräume (Inhalation),
- über den Verdauungskanal (Ingestion),
- durch die intakte Haut (perkutane Resorption),
- durch Wunden oder über andere natürliche oder künstliche Körperöffnungen.

In der Regel ist nur die Aufnahme über die Lunge und den Verdauungskanal von Bedeutung, weil auf diesen Wegen die größten Substanzmengen in das Körperinnere gelangen. Ein Teil der inkorporierten Radionuklide wird vom Körper resorbiert, das heißt durch die Zellschichten hindurch in den Blutkreislauf bzw. das Lymphsystem aufgenommen. Dadurch können sie in alle Teile des Körpers gelangen. Der nicht resorbierte Teil der radioaktiven Stoffe wird über Nieren und Darm sowie zum Teil auch über die Lunge wieder ausgeschieden.

Für jedes Radionuklid gibt es eine Hauptablagerungsstätte, an der ein besonders großer Prozentsatz des resorbierten Materials gespeichert wird (Speicherorgan, Tab. 7.03). Die unterschiedliche Verteilung der resorbierten radioaktiven Stoffe im menschlichen Körper führt zu unterschiedlichen Strahlenexpositionen der einzelnen Organe.

Die Abb. 7.05 bis Abb. 7.08 zeigen für die natürlichen Nuklide der Elemente Kalium, Iod, Cäsium und Strontium die tägliche Aufnahme mit der Nahrung, die Resorption durch den Körper, die Speicherung in einem bestimmten Organ und die Ausscheidung über Darm bzw. Nieren.

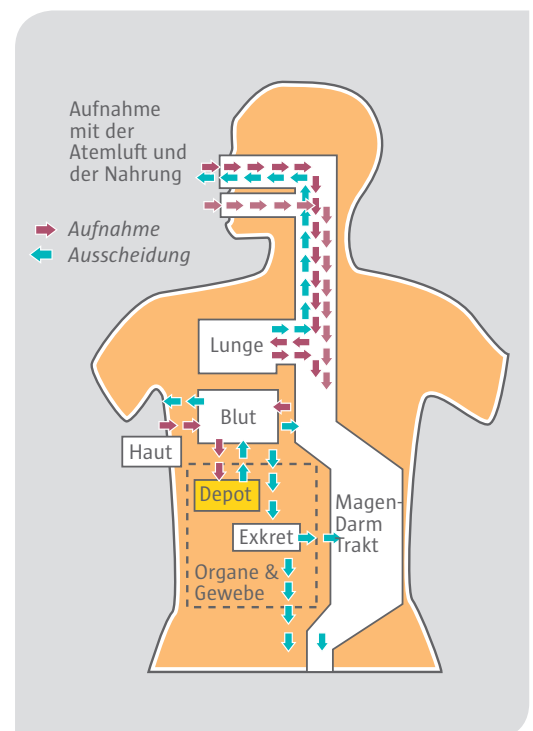
Radionuklid	Speicherorgan
H-3	Körpergewebe/Körperwasser
C-14	Fett
K-40	Muskulatur/Ganzkörper
Sr-90	Knochen
I-131	Schilddrüse
Cs-137	Muskulatur/Ganzkörper
Ra-226	Knochen
U-238	Nieren/Knochen

**Abb. 7.04**

Die wesentlichen Transportwege für radioaktive Stoffe im menschlichen Körper

**Tab. 7.03**

Speicherorgane für einige Radionuklide



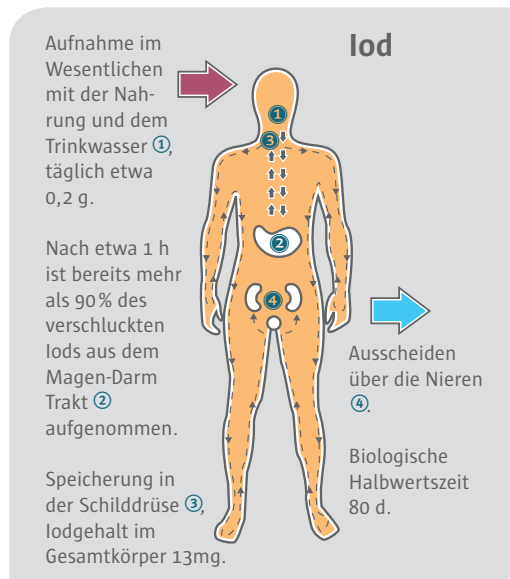
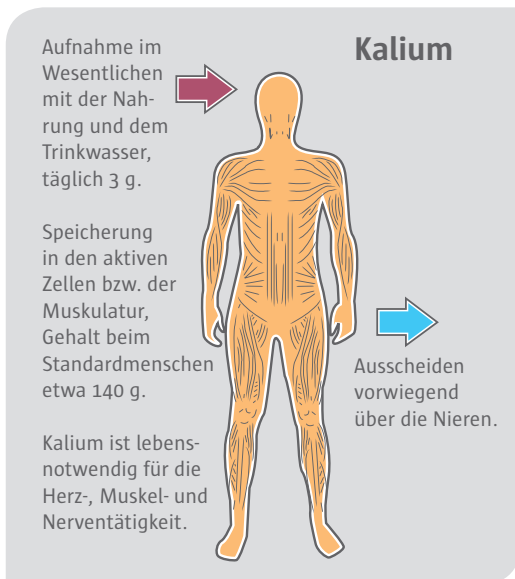


Abb. 7.05 (links)

Kalium im menschlichen Körper

Abb. 7.06

Iod im menschlichen Körper

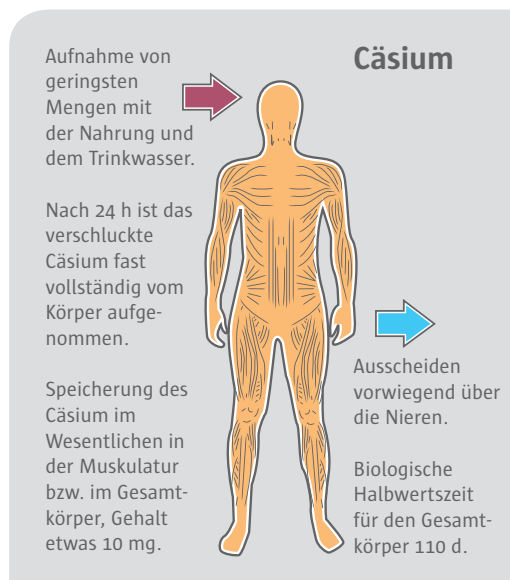
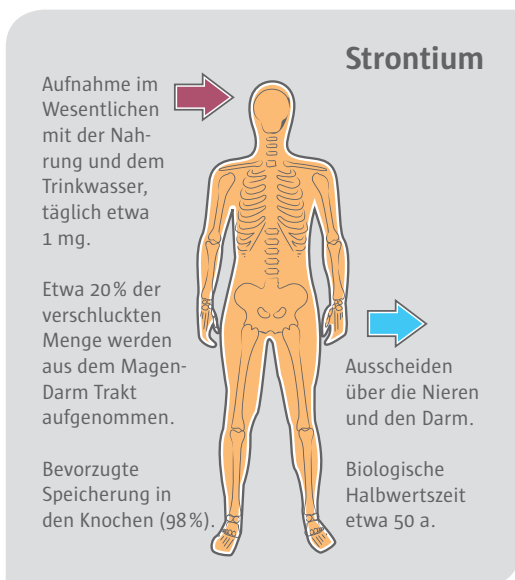


Abb. 7.07 (links)

Strontium im menschlichen Körper

Abb. 7.08

Cäsium im menschlichen Körper

Treten in Nahrungsmitteln und Trinkwasser zusätzlich künstlich erzeugte Radionuklide auf, verändern sich die genannten Aufnahmewerte. Die angegebenen biologischen Halbwertszeiten sind

(für Kalium als geregeltes Element ist das Konzept der biologischen Halbwertszeit nicht anwendbar) ein Maß für die Ausscheidungsgeschwindigkeit eines resorbierten Radionuklids.

## Verweilzeit der Radionuklide im Körper 7.6

Die vom Körper resorbierten und in bestimmten Organen gespeicherten Nuklide werden im Wesentlichen mit dem Urin sowie dem Kot wieder ausgeschieden. Eine Ausscheidung über die Lunge und die Haut spielt praktisch nur bei radioaktiven Edelgasen bzw. tritiumhaltigem Wasser eine Rolle. Bei stillenden Müttern werden bestimmte Radionuklide auch über Muttermilch abgegeben.

Bei der Ausscheidung sowohl der radioaktiven als auch der stabilen Nuklide werden etwa in gleichen Zeitabschnitten gleiche Bruchteile

Radionuklid	biologische Halbwertszeit
H-3	10 d
I-131	80 d (Schilddrüse)
Cs-137	110 d (Mann) 65 d (Frau)
Th-232	2 a (Leber) 20 a (Knochenoberfläche)
U-238	14 a (Knochenoberfläche)
Pu-239	20 a (Leber) 50 a (Knochenoberfläche)

Tab. 7.04

Biologische Halbwertszeit einiger Radionuklide für Erwachsene



ausgeschieden. Aufgrund dieser Erfahrung kann man eine biologische Halbwertszeit definieren. Sie gibt an, nach welcher Zeit die Hälfte eines vom Körper resorbierten radioaktiven oder stabilen Nuklids wieder ausgeschieden ist.

Für viele Radionuklide wird die Ausscheidung durch mehrere partielle biologische Halbwertszeiten beschrieben. Den Ausscheidungsvorgang für Cäsium-137 zeigt Abb. 7.09.

Die biologische Halbwertszeit eines Radionuklids kann für ein bestimmtes Organ und den gesamten Organismus unterschiedlich sein. Sie ist kein konstanter Wert, sondern unter anderem abhängig vom Lebensalter und von den Ernährungsgewohnheiten. Beispiele für biologische Halbwertszeiten sind in Tab. 7.04 angegeben.

Die Verweilzeit von Radionukliden im Skelett und in der Leber ist im Allgemeinen hoch, während sie aus der Niere und aus weichem Gewebe meist rasch ausgeschieden werden. Bei einigen Radionukliden ist es möglich, die Verweilzeit im Körper durch therapeutische Maßnahmen zu verkürzen.

Neben der Ausscheidung eines Radionuklids nimmt die Aktivität im Innern des menschlichen Körpers zusätzlich durch radioaktiven Zerfall ab. Das wird im Folgenden an den nicht wirklich existierenden Radionukliden X1 und Y1 deutlich gemacht.

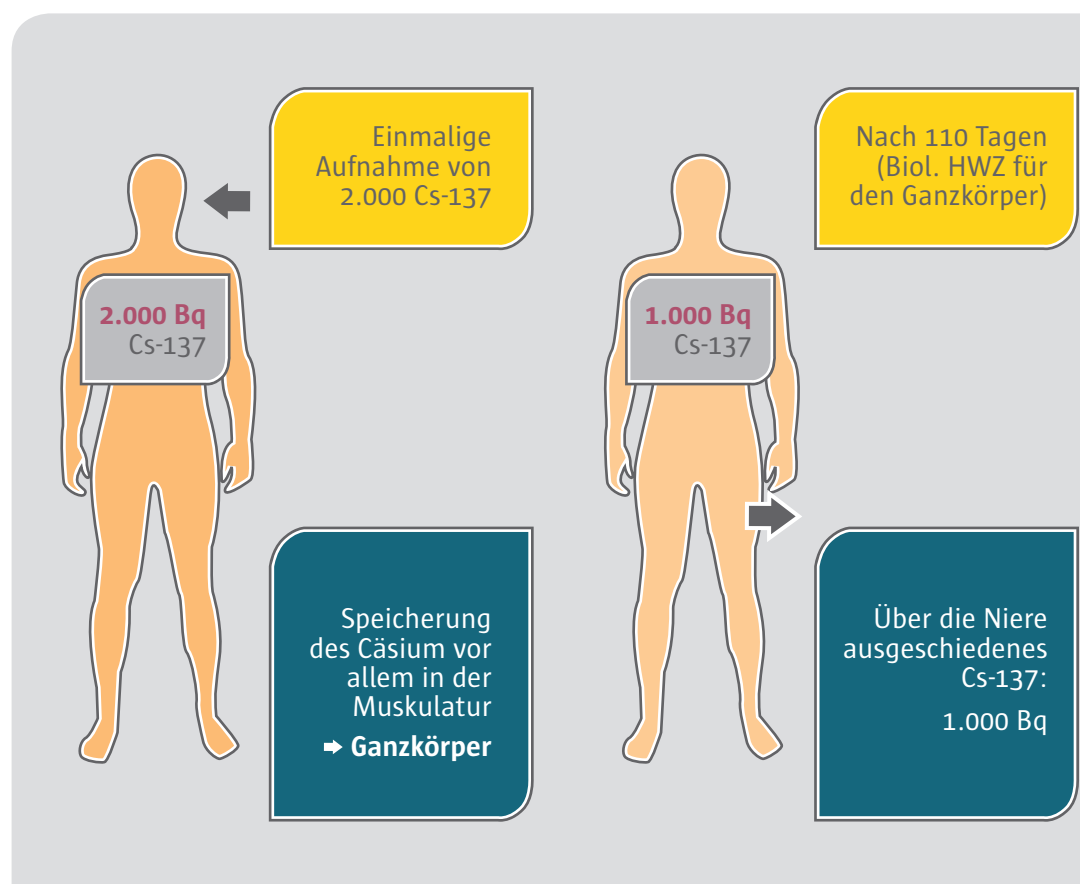
#### Beispiel 1:

Radionuklid X1 wandelt sich in das stabile Nuklid X2 um. Physikalische Halbwertszeit 5 d, biologische Halbwertszeit 60 d. Noch ehe eine biologische Halbwertszeit von 60 Tagen abgelaufen ist, sind bereits zehn physikalische Halbwertszeiten vergangen. Dabei hat sich das Radionuklid zu mehr als 99,9 % in das stabile Nuklid X2 umgewandelt. Zur Beurteilung der internen Strahlenexposition des Menschen wäre in diesem Fall also nur die physikalische Halbwertszeit von Bedeutung.

#### Beispiel 2:

Radionuklid Y1 wandelt sich in das stabile Nuklid Y2 um. Physikalische Halbwertszeit 50 a, biologische Halbwertszeit 10 d. Noch ehe ein Bruchteil der physikalischen Halbwertszeit abgelaufen ist, sind bereits mehr als zehn biologische Halbwertszeiten vergangen und das Radionuklid praktisch vollständig aus dem Körper ausgeschieden. Von Bedeutung wäre also in diesem Fall nur die biologische Halbwertszeit.

Das Zusammenwirken der physikalischen Halbwertszeit  $T_p$  und der biologischen Halbwertszeit  $T_b$  ergibt die effektive Halbwertszeit  $T_{eff}$ . Sie gibt an, in welchem Maße die Aktivität eines Radionuklids durch radioaktiven Zerfall und biologische Ausscheidungsvorgänge im Körper abnimmt.



Die effektive Halbwertszeit lässt sich nach folgenden Gleichungen berechnen:

$$T_{\text{eff}} = \frac{T_p \cdot T_b}{T_p + T_b}$$

Die effektive Halbwertszeit ist von entscheidender Bedeutung für die Strahleneinwirkung der in den Organismus aufgenommenen Radionuklide. Zwischen  $T_p$  und  $T_b$  können große Unterschiede auftreten. In solchen Fällen entspricht  $T_{\text{eff}}$  nahezu dem kleineren von beiden Werten.

#### Beispiel 1:

H-3

$$T_p = 12,323 \text{ a} = 4.501 \text{ d} \quad T_b = 10 \text{ d} \quad T_{\text{eff}} = 9,98 \text{ d}$$

#### Beispiel 2:

I-131, Schilddrüse

$$T_p = 8,02 \text{ d} \quad T_b = 80 \text{ d} \quad T_{\text{eff}} = 7,3 \text{ d}$$

#### Beispiel 3:

I-129, Schilddrüse

$$T_p = 1,57 \cdot 10^7 \text{ a} = 5,73 \cdot 10^9 \text{ d} \quad T_b = 80 \text{ d} \quad T_{\text{eff}} = 80 \text{ d}$$

#### Beispiel 4:

Pu-239, Knochenoberfläche

$$T_p = 2,411 \cdot 10^4 \text{ a} \quad T_b = 50 \text{ a} \quad T_{\text{eff}} = 49,9 \text{ a}$$

Aufgrund der physikalischen und biologischen Faktoren und der Strahlungseigenschaften lässt sich die relative Gefährlichkeit von Radionukliden klassifizieren (Tab. 7.05). Dafür wird der Begriff Radiotoxizität verwendet. Darunter versteht man die Toxizität, die auf den ionisierenden Strahlen des inkorporierten Radionuklids und seiner Folgeprodukte beruht.

Radiotoxizität	Radionuklide
sehr hoch	Ac-227, Th*, U*
hoch	Co-60, Cs-137, Ra-226
mittel	Na-22, Tc-99m, I-131
gering	H-3, S-35, Ni-63
sehr gering	C-14 (Dioxid), Kr-83m

Tab. 7.05

Relative Radiotoxizität für einige Radionuklide

(\*Thorium und Uran einschließlich aller Folgeprodukte der jeweiligen Zerfallsreihe)

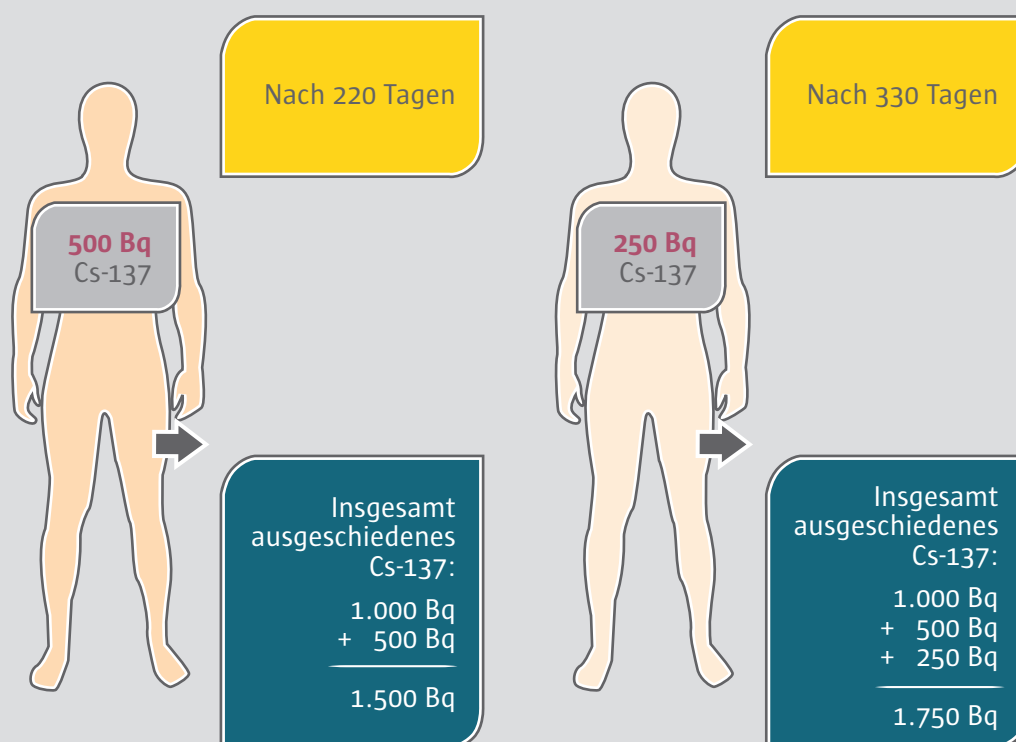


Abb. 7.09

Die biologische Halbwertszeit



## 7.7 Natürliche Aktivität des Standardmenschen

Natürliche Radionuklide, die mit der Atemluft, dem Trinkwasser und der Nahrung in den menschlichen Körper gelangen, werden von ihm zum Teil resorbiert und über Stoffwechselprozesse wieder ausgeschieden. Als Ergebnis von Zufuhr und Ausscheidung stellt sich ein Gleichgewichtszustand der im Körper vorhandenen Aktivität natürlich radioaktiver Stoffe ein. Bei den natürlichen Radionukliden im menschlichen Körper handelt es sich im Wesentlichen um K-40, C-14 sowie einige Folgeprodukte aus der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallsreihe.

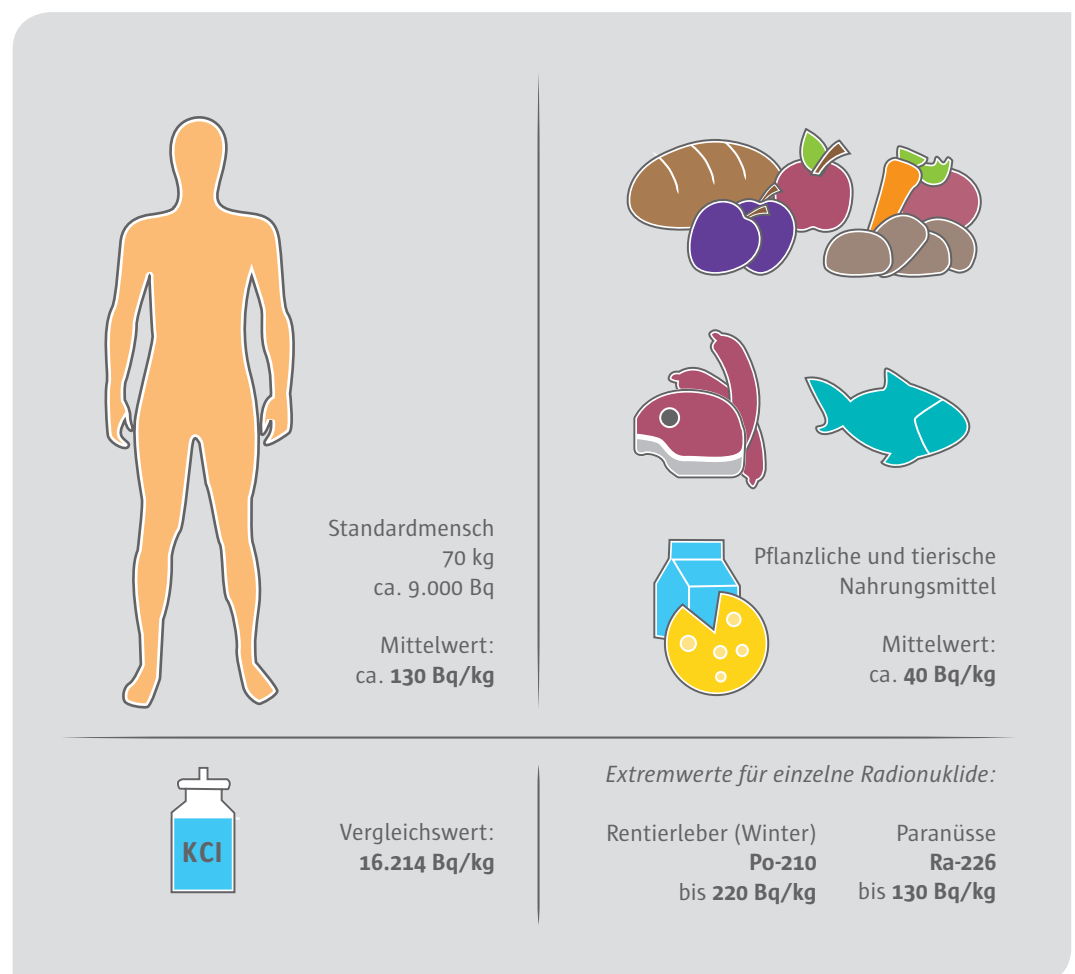
Die Tab. 7.06 gibt die im Standardmenschen vorhandenen natürlichen Radionuklide und ihre Aktivität an. Die Gesamtaktivität des menschlichen Körpers (Standardmensch) beträgt etwa 9.000 Bq. Dies bedeutet, dass in 1 Sekunde etwa 9.000 Kernumwandlungen stattfinden, an einem Tag sind es über 750 Millionen.

Da sich die resorbierten Radionuklide an unterschiedlichen Stellen im Körper ablagern, ist die Aktivität nicht gleichmäßig im Körper verteilt. Für einen Vergleich der Aktivität des Menschen mit der von Nahrungsmitteln wird in Abb. 7.10 jedoch eine gleichmäßige Verteilung angenommen.

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

**Tab. 7.06**

Natürliche radioaktive Stoffe im Menschen



**Abb. 7.10**

Natürliche Radioaktivität im Menschen und in Nahrungsmitteln

## Bestimmung der Dosis aus der inkorporierten Aktivität 7.8

Ionisierende Strahlen können auf zweierlei Weise auf den Menschen einwirken. Es ist eine Bestrahlung von außen möglich (externe Strahlenexposition) und der Körper kann von innen bestrahlt werden (interne Strahlenexposition), wenn Radionuklide mit der Nahrung und der Atemluft in den Körper gelangen.

Um berechnen zu können, welche Strahlendosis ein Mensch erhält, wenn eine bestimmte Menge radioaktiver Stoffe in seinen Körper gelangt, hat man so genannte Dosisfaktoren ermittelt. Sie erlauben es, z. B. aus der spezifischen Aktivität von Nahrungsmitteln die durch die Aufnahme dieser Aktivität in dem Körper zu erwartende Strahlenexposition zu berechnen.

In Tab. 7.07 sind die Dosisfaktoren für einige Radionuklide zusammengestellt. Die Abb. 7.11 veranschaulicht dies für die Aufnahme von Cs-137.

Die Dosisfaktoren sind von dem jeweiligen Radionuklid, der chemischen Verbindung des Radionuklids, dem Aufnahmeweg, dem Speicherorgan und dem Alter der Person abhängig. Die in Tab. 7.07 angegebenen Werte sind die unter ungünstigen Annahmen ermittelten Werte.

Die Folgedosis  $D_f$ , die sich bei einer Aufnahme radioaktiver Stoffe ergibt, ist das Produkt aus dem Dosisfaktor (DF) und der aufgenommenen Aktivität  $A$ .

### Beispiel 1:

Ein einjähriges Kind trinkt 0,5 l Milch, dessen I-131-Aktivität 50 Bq/l beträgt. Wie hoch ist die zusätzliche Strahlenexposition der Schilddrüse und wie hoch ist die effektive Dosis?

Schilddrüsendosis:

$$D_f = 3,7 \cdot 10^6 \text{ Sv/Bq} \times 25 \text{ Bq} = 9,25 \cdot 10^5 \text{ Sv} = 0,0925 \text{ mSv}$$

effektive Dosis:

$$D_f = 1,8 \cdot 10^7 \text{ Sv/Bq} \times 25 \text{ Bq} = 4,5 \cdot 10^6 \text{ Sv} = 0,0045 \text{ mSv}$$

### Beispiel 2:

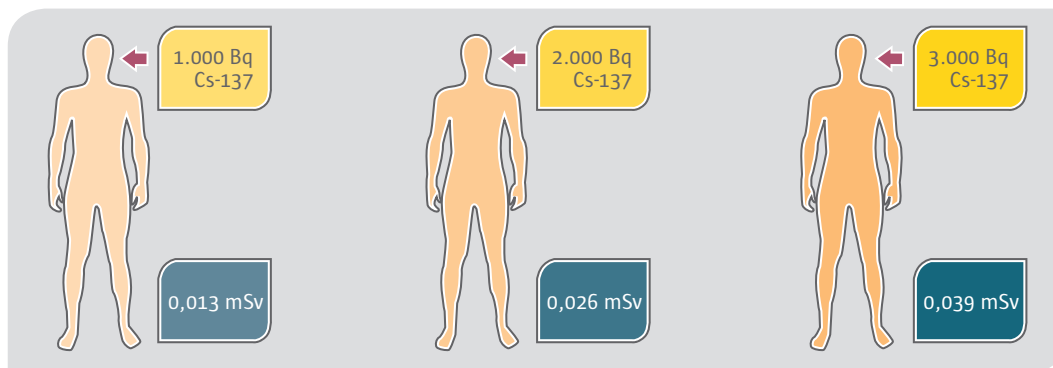
Ein Erwachsener isst 100 g Paranüsse mit einer spezifischen Aktivität an Ra-226 von 100 Bq/kg. Wie hoch ist die Strahlenexposition der Knochenoberfläche und die effektive Dosis?

Knochenoberflächendosis:

$$D_f = 1,2 \cdot 10^5 \text{ Sv/Bq} \times 10 \text{ Bq} = 1,2 \cdot 10^4 \text{ Sv} = 0,12 \text{ mSv}$$

effektive Dosis:

$$D_f = 2,8 \cdot 10^7 \text{ Sv/Bq} \times 10 \text{ Bq} = 2,8 \cdot 10^6 \text{ Sv} = 0,0028 \text{ mSv}$$



**Abb. 7.11**

Veranschaulichung des Dosisfaktors für Cs-137; angegeben ist die aus einer Zufuhr von Cs-137 mit der Nahrung resultierende effektive 50-Jahre-Folgedosis für einen Erwachsenen

Radionuklid	Organ	Dosisfaktor in Sv/Bq	
		Kind 1 Jahr	Erwachsene
<b>K-40</b>	effektive Dosis	$6,2 \times 10^{-8}$	$6,2 \times 10^{-9}$
<b>Sr-90</b>	Knochenoberfläche	$2,3 \times 10^{-6}$	$4,1 \times 10^{-7}$
	effektive Dosis	$2,3 \times 10^{-7}$	$2,8 \times 10^{-8}$
<b>I-131</b>	Schilddrüse	$3,7 \times 10^{-6}$	$4,3 \times 10^{-7}$
	effektive Dosis	$1,8 \times 10^{-7}$	$2,2 \times 10^{-8}$
<b>Cs-134</b>	effektive Dosis	$2,6 \times 10^{-8}$	$1,9 \times 10^{-8}$
<b>Cs-137</b>	effektive Dosis	$2,1 \times 10^{-8}$	$1,3 \times 10^{-8}$
<b>Po-210</b>	Nieren	$1,8 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-5}$
	effektive Dosis	$2,6 \times 10^{-5}$	$1,2 \times 10^{-6}$
<b>Ra-226</b>	Knochenoberfläche	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-5}$
	effektive Dosis	$4,7 \times 10^{-6}$	$2,8 \times 10^{-7}$

**Tab. 7.07**

Dosisfaktoren zur Berechnung der Folgedosis bei einer Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung