

## Natürliche Radionuklide im menschlichen Körper

Natürliche Radionuklide im menschlichen Körper verursachen bei der Weltbevölkerung im Mittel eine jährliche Strahlenexposition von 0,31 mSv. Davon macht Kalium-40 (<sup>40</sup>K) mit 0,17 mSv pro Jahr den größten Anteil aus, gefolgt von den Radionukliden der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen mit 0,12 mSv pro Jahr, während der Beitrag der kosmogenen Radionuklide mit weniger als 0,02 mSv deutlich geringer ist. Die Strahlenexposition durch die natürliche Radioaktivität ist und bleibt somit die größte Dosiskomponente. Jene durch künstliche – also anthropogene – Radionuklide ist im Vergleich dazu verschwindend klein.

### Die Strahlenquellen

Der Mensch ist dauernd von Radioaktivität umgeben und ionisierender Strahlung ausgesetzt, einerseits durch die kosmische Strahlung und andererseits

durch die natürlichen Radionuklide in der Umwelt. Deren wichtigste sind <sup>238</sup>U und <sup>232</sup>Th und ihre radioaktiven Folgeprodukte sowie <sup>40</sup>K, das

den Bruchteil von 0,012 Prozent des gesamten Kaliums ausmacht. Der größte Beitrag zur natürlichen Strahlendosis wird jedoch durch Radon im Wohnbereich mit seinen Folgeprodukten verur-

sacht, wobei diese in erster Linie die Lunge bestrahlen. Der Beitrag durch Radon weist, je nach Land und Region einen sehr großen Variationsbereich auf, der teilweise 2 bis gar 3 Größenordnungen umfassen kann<sup>1)</sup>. Dieser Dosisanteil wird in diesem Text nicht behandelt.

### Aufnahme in den Körper – Einlagerung, Ausscheidung und Zerfall im Körper

Die Aufnahme von Radionukliden in den Körper erfolgt über die Nahrung, das Trinkwasser und die Atemluft. Diese Nuklide verursachen daher eine interne Strahlenexposition, was heißt,

dass die Organe und Gewebe von innen her bestrahlt werden. Werden radioaktive Stoffe in den Körper aufgenommen, bestimmt deren biologisch-chemisches Verhalten sowie ihre Bedeutung für den Metabolismus, in welchem Organ oder Gewebe sie eingelagert werden und auch wie schnell sie wieder ausgeschieden werden. Wie rasch diese Elimination erfolgt, bestimmt die biologische Halbwertszeit, also diejenige Zeitspanne, nach der noch die Hälfte der ursprünglich aufgenommenen Menge übrig bleibt. Meist finden hier mehrere, unterschiedlich schnell ablaufende Prozesse statt. Die angegebene biologische Halbwertszeit ist daher eine Mittelung über alle diese Vorgänge. Des Weiteren sind die einzelnen Organe und Gewebe des Körpers unterschiedlich empfindlich auf ionisierende Strahlung, was bei der Ermittlung der effektiven Dosis nach ICRP durch einen Gewebewichtungsfaktor ( $w_T$ ) berücksichtigt wird.

Im Strahlenschutz spricht man vom „kritischen Organ“, also jenem Organ oder Gewebe, in dem die Aktivität bevorzugt abgelagert wird oder das durch die Strahlung am meisten belastet ist. Beispielsweise sind dies

- die Schilddrüse für radioaktives Jod,
- das Muskelgewebe für Cäsium – aber auch für das natürliche Kalium,
- Knochen und Zähne für Strontium, Radium, Uran, Blei und weitere,
- die Nieren für Polonium und ebenfalls für Uran (bei Uran in den Nieren überwiegt die chemotoxische gegenüber der radiotoxischen Wirkung),
- die Körperflüssigkeit für Tritium und schließlich
- das Fettgewebe für Kohlenstoff.

**Organe unterschiedlich empfindlich auf Strahlung**

**<sup>238</sup>U, <sup>232</sup>Th  
und <sup>40</sup>K**

Isotop	Halbwertszeit in Tagen		
	physikalisch	biologisch	effektiv
<sup>3</sup> H	4,5 x 10 <sup>3</sup>	12	12
<sup>14</sup> C	2,1 x 10 <sup>6</sup>	40	40
<sup>60</sup> Co	1,93 x 10 <sup>3</sup>	10	10
<sup>90</sup> Sr	1,1 x 10 <sup>4</sup>	1,8 x 10 <sup>4</sup>	6,8 x 10 <sup>3</sup>
<sup>131</sup> I	8	138	7,6
<sup>137</sup> Cs	1,1 x 10 <sup>4</sup>	70	70
<sup>210</sup> Po	138	60	42
<sup>226</sup> Ra	5,8 x 10 <sup>5</sup>	1,6 x 10 <sup>4</sup>	1,5 x 10 <sup>4</sup>
<sup>238</sup> U	1,6 x 10 <sup>12</sup>	15	15
<sup>239</sup> Pu	8,8 x 10 <sup>6</sup>	7,3 x 10 <sup>4</sup>	7,2 x 10 <sup>4</sup>

Tab. 1: Einige Beispiele der Daten für Erwachsene sind in dieser Tabelle zusammengestellt; Quelle: [1].

1) Die Strahlenexposition durch Radon wurde in einem separaten „StrahlenschutzKOMPAKT“ des Fachverbandes für Strahlenschutz e. V. behandelt und ist somit nicht Gegenstand dieses Textes.

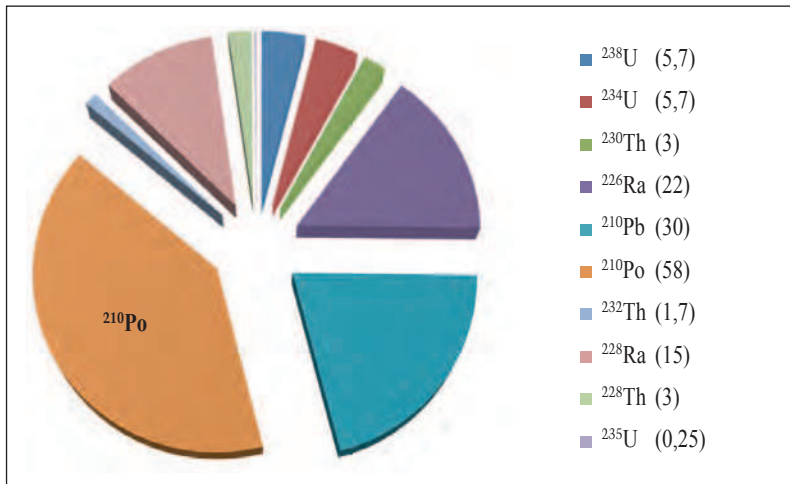


Abb. 1: Durchschnittswerte für die jährliche Aufnahme (Werte in Klammern: Bq/Jahr) der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen. Bei den Daten handelt es sich um altersgewichtete Medianwerte für die Weltbevölkerung. Quelle: UNSCEAR-Bericht von 2000, Vol. I: Sources

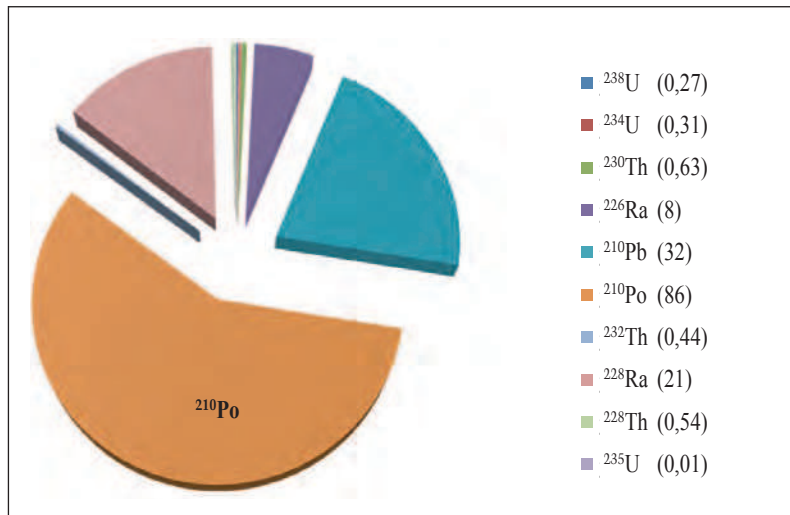


Abb. 2: Durchschnittswerte für die Jahresdosis (Werte in Klammern: µSv/Jahr) der Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen. Bei den Daten handelt es sich um altersgewichtete Medianwerte für die Weltbevölkerung. Quelle: UNSCEAR-Bericht von 2000, Vol. 1: Sources

Da es sich um Radionuklide handelt, zerfallen diese entsprechend ihrer physikalischen Halbwertszeit. Die Gesamt- abnahme – man spricht dann von der effektiven Halbwertszeit – ergibt sich aus der Kombination der beiden Halbwertszeiten. Mathematisch ausgedrückt durch Produkt dividiert durch Summe der beiden Halbwertszeiten. Bei einer kontinuierlichen Zufuhr von Aktivität stellt sich im Körper ein Gleichgewicht zwischen Aufnahme einerseits sowie radioaktivem Zerfall und Ausscheidung andererseits ein. Einige

Beispiele von Halbwertszeiten sind in Tabelle 1 zusammengestellt. Sie zeigen, dass Radioisotope, die in Knochen und Zähnen eingelagert werden, dort relativ lange verbleiben, während die Verweildauer im Muskelgewebe kürzer ist und der „Turn-over“ im Körperwasser rascher abläuft. Bei Kindern ist der Metabolismus etwas schneller als bei Erwachsenen, auf der andern Seite sind Kinder jedoch strahlenempfindlicher als Erwachsene.

### Radionuklide der Uran- und Thorium-Zerfallsreihen

Von den ursprünglich 4 natürlichen Zerfallsreihen: Thorium ( $^{232}\text{Th}$ ), Uran-Radium ( $^{238}\text{U}$ ), Uran-Actinium ( $^{235}\text{U}$ ) und Neptunium ( $^{237}\text{Np}$ ) sind heute noch jene von Thorium und Uran-Radium vorhanden. Die Uran-Actinium-Reihe ist bis auf einen Rest von 0,72 Prozent fast verschwunden, die Neptunium-Reihe bereits vollständig.

Die Radionuklide dieser Zerfallsreihen gelangen über Atemluft, Trinkwasser und Nahrung in den menschlichen Körper. Die Aufnahme – bei Uran und Radium insbesondere über Trink- und Mineralwässer – kann je nach Region zu unterschiedlich hohen Werten führen. Es gibt Gegenden auf der Erde mit hohem Gehalt an Uran und/oder Thorium im Erdboden, demzufolge können die Strahlendosen für deren Bewohner deutlich höher sein als der weltweite Durchschnitt (Durchschnittswerte mit den Maximalwerten in Klammern: Kerala/Indien: 3,8 (35), Yangjiang/China: 3,51 (5,4), Guarapari/Brasilien: 5,5 (35), Ramsar/Iran: 10,2 (260) mSv/Jahr nach [2]). Diskutiert wird in Europa in den letzten Jahren auch der zusätzliche Eintrag von Uran über aus Nordafrika importierten Phosphatdünger, weil befürchtet wird, dass dieser zu höheren Uran-Werten im Trinkwasser führen könnte. Die im UNSCEAR-Bericht [3] aus dem Jahr 2000 aufgeführten Durchschnittswerte (Medianwerte) für die Weltbevölkerung sind in den Grafiken zusammengestellt: in Abbildung 1 die Aufnahmewerte in Bq pro Jahr und in

Abbildung 2 die entsprechenden Dosiswerte in µSv pro Jahr. Für die Konzentration im Knochen, wo diese Radionuklide bevorzugt eingelagert werden, gibt UNSCEAR 2000 die folgenden Medianwerte

in mBq pro kg an:  
 $^{238}\text{U}$ : 100,  $^{230}\text{Th}$ : 20–70,  $^{226}\text{Ra}$ : 260,  $^{210}\text{Pb}$ : 3.000,  $^{210}\text{Po}$ : 2.400,  $^{230}\text{Th}$ : 6–24 und  $^{228}\text{Ra}$ : 100.

### Höhere Uran-Werte im Trinkwasser

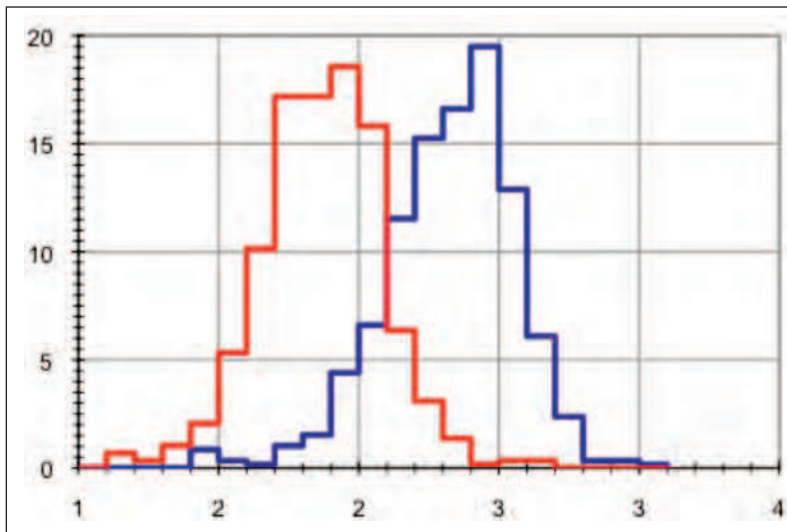


Abb. 3: Häufigkeitsverteilung (in %) des Kalium-Gehaltes (in gK pro kg Körpergewicht) von 19- bis 20-jährigen Gymnasten (blau) und Gymnastinnen (rot) aus Genf. Die Daten stammen aus den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER) bzw. des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit (BAG). (1 gK  $\approx$  30,35 Bq)

### Kosmogene Radionuklide

Schließlich gibt es noch eine Reihe weiterer, teilweise sehr langlebiger Radionuklide, deren radiologische Bedeutung allerdings wesentlich geringer ist. Zu diesen gehören die als „kosmogen“ bezeichneten Radioisotope  $^3\text{H}$ ,  $^7\text{Be}$ ,  $^{10}\text{Be}$ ,  $^{14}\text{C}$ ,  $^{22}\text{Na}$  und weitere, die in der Atmosphäre durch die kosmische Strahlung laufend neu erzeugt werden.

Dabei darf nicht außer Acht gelassen werden, dass sowohl  $^3\text{H}$  wie auch  $^{14}\text{C}$  zusätzlich durch die Kernwaffenversuche produziert wurden und aus Kernanlagen freigesetzt werden. In den 1960er-Jahren war beispielsweise der weltweite  $^{14}\text{C}$ -Pegel in der Biosphäre infolge der Kernwaffenversuche auf das Doppelte angestiegen und ist seither bis heute wieder auf wenige Prozent abgeklungen. Tritium ( $^3\text{H}$ ) wurde wäh-

rend vieler Jahre in größeren Mengen für Leuchtfarben von Uhren verwendet. Für die kosmogenen Radionuklide gibt UNSCEAR 2000 [3] für die durchschnittlichen Dosiswerte folgende Zahlenwerte in  $\mu\text{Sv}$  pro Jahr an:

$^{14}\text{C}$ : 12,  $^{22}\text{Na}$ : 0,15,  $^3\text{H}$ : 0,01 und  $^7\text{Be}$ : 0,03.

Bei  $^{14}\text{C}$  besteht Gleichgewicht in der Biosphäre zwischen Produktion und Zerfall, sodass 1 g Kohlenstoff einer natürlichen  $^{14}\text{C}$ -Aktivität von 227 Bq entspricht.

### Kalium-40

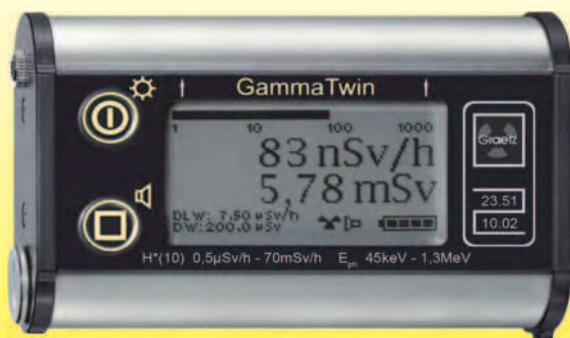
Ein besonderer Fall in Zusammenhang mit der internen natürlichen Strahlenexposition ist  $^{40}\text{K}$ , und zwar aus 2 Gründen: einerseits wegen der Größe der Strahlendosis durch dieses Nuklid und andererseits weil Kalium ein für die Erhaltung des Lebens essenzieller Mineralstoff ist, da er an den biochemischen Prozessen in den Zellen beteiligt ist und somit für das menschliche Leben unerlässlich ist. Da der Kalium-Gehalt des Körpers homöostatisch geregelt ist, lässt er sich kaum beeinflussen, es sei denn, jemand verändert

**Kalium  
essenzieller  
Mineralstoff**

Anzeige

## Dosisleistungsmessgerät GRAETZ GammaTwin

*Ihr 6. Sinn für den persönlichen Strahlenschutz*



- handlich, Abmessungen 103 mm x 66 mm x 26 mm
- einfach zu bedienen
- konzipiert für rauen Einsatz
- großflächige, digitale Messwertanzeige
- Dosisleistung bis 70 mSv/h
- Ortsdosis bis 1,0 Sv
- wahlweise simultane oder getrennte Dosisleistungs- und Dosisanzeige
- beide Anzeigen eichfähig
- je 4 Warnschwellen für Dosis und Dosisleistung
- Umgebungs-Äquivalentdosisleistung  $H^*(10)$
- strapazierfähige Nylon-Gürteltasche



**GRAETZ Strahlungsmeßtechnik GmbH**  
 Westiger Str. 172, 58672 Altena • Postfach 8100, 58674 Altena  
 Tel. +49 2352 7007-0 • Fax +49 2352 7007-10  
 E-Mail: info@graetz.com • Website: www.graetz.com

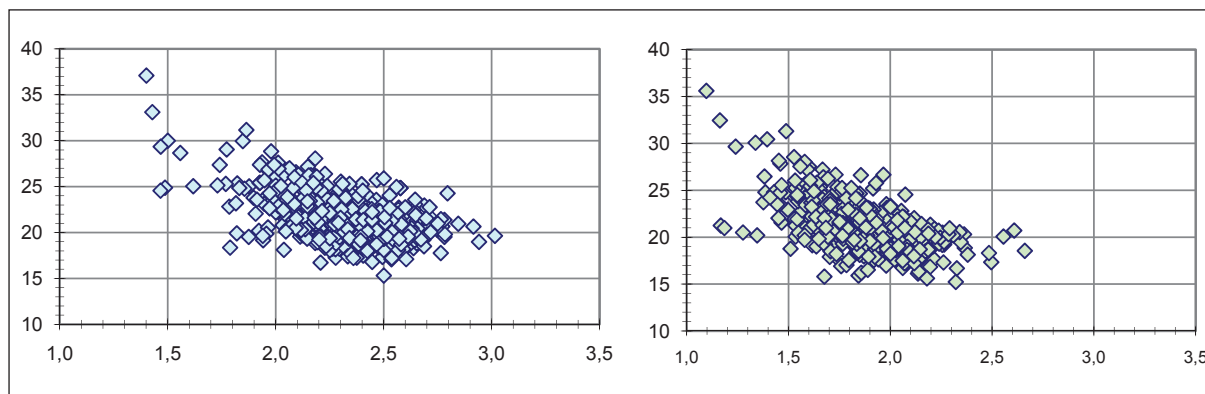


Abb. 4: Korrelation zwischen dem K-Gehalt an 18- bis 20-jährigen Gymnasiasten aus Genf der Jahre 1973–2003. Auf der X-Achse: gK pro kg Körpergewicht, auf der Y-Achse: Body-Mass-Index in kg/m<sup>2</sup>; links: Jungen, rechts: Mädchen. Die Daten stammen aus den Jahresberichten zur Umweltradioaktivität der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER) bzw. des Schweizer Bundesamtes für Gesundheit (BAG). Für Kalium gilt folgender Umrechnungsfaktor: 1 gK ≈ 30,35 Bq.

bewusst seine Muskelmasse, worin das Kalium bevorzugt eingebaut wird. Durchschnittswerte für die tägliche Aufnahme von Kalium liegen bei erwachsenen Frauen bei 3,1 g (94 Bq) pro Tag, bei Männern bei 3,6 g (110 Bq). Das in der Natur und damit auch in unserer Nahrung und im menschlichen Körper vorhandene Kalium besteht zu 93,25 Prozent aus den Isotopen <sup>39</sup>K und zu 6,73 Prozent aus <sup>41</sup>K, die beide stabil sind. Einen kleinen Teil jedoch, 0,012 Prozent (entsprechend 30,35 Bq pro kg Kalium), macht das radioaktive <sup>40</sup>K aus mit einer sehr langen Halbwertszeit von 1,3 x 10<sup>9</sup> Jahren. Es gehört somit, wie Uran und Thorium, zu den als „primordial“ bezeichneten Radionukliden, weil sie seit Entstehen der Erde vorhanden sind und aus einer Zeit stammen, als der „Rohstoff“ (oder „Star Dust“, wenn man so will), aus dem unser Sonnensystem gebildet wurde, bei Supernovae-Explosionen entstanden ist.

#### Daten von Schweizer Gymnasiasten

In der Schweiz werden seit Anfang der 1970er-Jahre im Rahmen der nationalen Radioaktivitätsüberwachung – früher im Auftrag der Eidgenössischen Kommission zur Überwachung der Radioaktivität (KUER), später dann für das Schweizerische Bundesamt für Gesundheit (BAG) – Ganzkörpermessun-

gen durchgeführt. Sie dienen im Grunde zur Überwachung der Inkorporation von <sup>137</sup>Cs aus dem Kernwaffen-Fallout, liefern aber als Nebenprodukt auch den <sup>40</sup>K-Gehalt der untersuchten Personen. Im Rahmen dieses Überwachungsprogrammes werden am Kantonsspital in Genf jährlich 2 Schulklassen von 18- bis 20-jährigen Gymnasiasten und Gymnasiastinnen untersucht. Von diesen Schülern sind auch Alter, Gewicht und Größe bekannt, was eine genauere Evaluation dieser recht umfangreichen Datenmenge ermöglicht.

Einerseits konnten Häufigkeitsverteilungen erstellt werden, wie in der Abbildung 3 dargestellt, bezogen auf den Kalium-Gehalt in g pro kg Körpergewicht. Man sieht, dass die jungen Männer etwas mehr Kalium im Körper haben (im Mittel 71 Bq/kg) als die jungen Frauen (im Mittel 57 Bq/kg), was mit dem etwas höheren Anteil an Muskelmasse beim Mann zusammenhängt. Als durchschnittliche Dosiswerte ergeben sich für die Männer 0,21 mSv/Jahr, für die Frauen 0,17 mSv/Jahr, im Mittel 0,19 mSv/Jahr. Dieser Wert ist leicht höher als die Zahl von 0,17 mSv/Jahr im UNSCEAR-Bericht, aber steht nicht im Widerspruch dazu. UNSCEAR gibt einen über alle Altersklassen gemittelten Schätzwert an. Die Schweizer Gruppe enthält jedoch nur junge Menschen zwischen 18 und 20 Jahren und der Anteil Muskelmas-

se nimmt mit dem Alter ab (zwischen 20 und 80 Jahren um etwa ein Viertel). Aus Größe und Gewicht lässt sich der Body-Mass-Index (Gewicht in kg durch Größe in m im Quadrat) ableiten und es ergibt sich eine schwache Antikorrelation zwischen dem BMI und dem Kalium-Gehalt, wie es in der Abbildung 4 dargestellt ist. Das hängt damit zusammen, dass ein höherer BMI auch einen höheren Anteil an Fettgewebe bedeutet, also eine geringere Muskelmasse bezogen auf das gesamte Körpergewicht.

Hansruedi Völkle □

SSP 2/2017

## Beilagen in diesem Heft

- Aachen Institute of Nuclear Training GmbH
- Helmholtz Zentrum München
- Strahlenschutz Forum Sachsen
- Umweltinstitut Offenbach

Wir bitten um Beachtung!