

## Die natürliche Strahlenexposition: Ursprung, Höhe, Schwankungsbreiten

Wenn auch die Existenz einer natürlichen Strahlenexposition in der Bevölkerung weitgehend bekannt ist, so ist die doch Tatsache der sehr großen Schwankungsbreite dieser Exposition überwiegend unbekannt. Dies führt zu großer Verunsicherung, wenn Berichte über erhöhte Vorkommen radioaktiver Stoffe in Dingen des täglichen Lebens oder über erhöhte Expositionen unter normalen Lebensbedingungen in den Medien berichtet werden. Hinzu kommt, daß eine Bewertung derartiger Expositionen dem Laien nur schwer zu vermitteln ist. Hier liegt eine große und wichtige Aufklärungsaufgabe für die im Strahlenschutz Tätigen. Wer nach der relativen Bedeutung der natürlichen Radionuklide in Lebensmitteln bei der Strahlenexposition fragt, sollte als Grundlage einer Beurteilung die im folgenden Beitrag rekapitulierten Gesamtwerte kennen.

### Die kosmische Strahlung

Strahlung und Radioaktivität sind natürliche Phänomene unserer Umwelt. Die Erde wird permanent von hochenergetischer Teilchenstrahlung aus dem Weltall bombardiert. Diese kosmische Strahlung wird zwar durch das Erdmagnetfeld geschwächt und durch die Atmosphäre weitgehend abgeschirmt, dennoch trägt sie selbst in Meereshöhe signifikant zur natürlichen Strahlenexposition des Menschen bei.

### Herkunft der natürlichen Radionuklide

Natürliche Radionuklide sind primordial, kosmogen oder radiogen (Abb. 1). Primordiale Radionuklide sind die Asche der Nukleosynthese. Bei Nukleosyntheseprozessen in Sternen erzeugt, haben sie hinreichend lange Halbwertszeiten um die Zeit seit Abschluß des Sonnensystems vor 4,55 Milliarden Jahren zu überleben. Kosmogene Radionuklide werden durch Wechselwirkung der kosmischen Strahlung mit Kernen der Atmosphäre oder der Erdoberfläche kontinuierlich neu erzeugt

und radiogene Nuklide entstehen durch radioaktiven Zerfall oder Spontanspaltung primordialer Radionuklide.

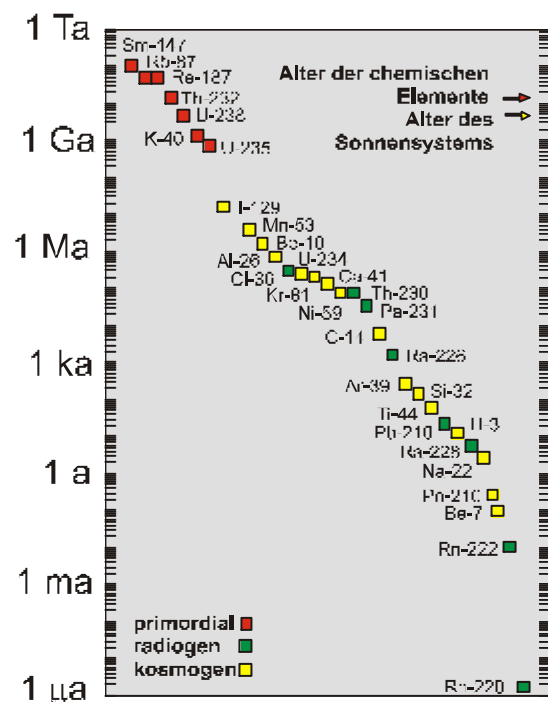


Abb. 1: Auswahl natürlicher Radionuklide und ihre Halbwertszeiten.

## Bestandteile und Summe der natürlichen Strahlenexposition

Natürliche radioaktive Stoffe und die kosmische Strahlung bewirken eine natürliche Strahlenexposition durch externe, kosmische und terrestrische Bestrahlung und durch Inhalation und Verzehr (Ingestion) natürlicher Radionuklide. Sie beträgt in Deutschland und weltweit im Mittel 2,4 mSv/a. Die verschiedenen Expositionspfade tragen mit 0,4 mSv/a (extern terrestrisch), 0,3 mSv/a (extern kosmisch), 1,4 mSv/a (Inhalation von Radon und kurzlebigen Radon-Zerfallsprodukten) und 0,3 mSv/a (Ingestion) zur Gesamtexposition bei [1].

## Die Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition

In Abb. 2 ist der Versuch unternommen, die Schwankungsbreite der derzeitigen menschlichen Strahlenexposition darzustellen und damit die Grundlage der nachfolgenden Diskussion zu legen. Tatsächlich müssen Unterschiede von 5 Größenordnungen betrachtet werden, wenn man die Schwankungsbreite der natürlichen Exposition und den Einfluß unterschiedlicher Ernährungs- und Lebensgewohnheiten darstellen will.

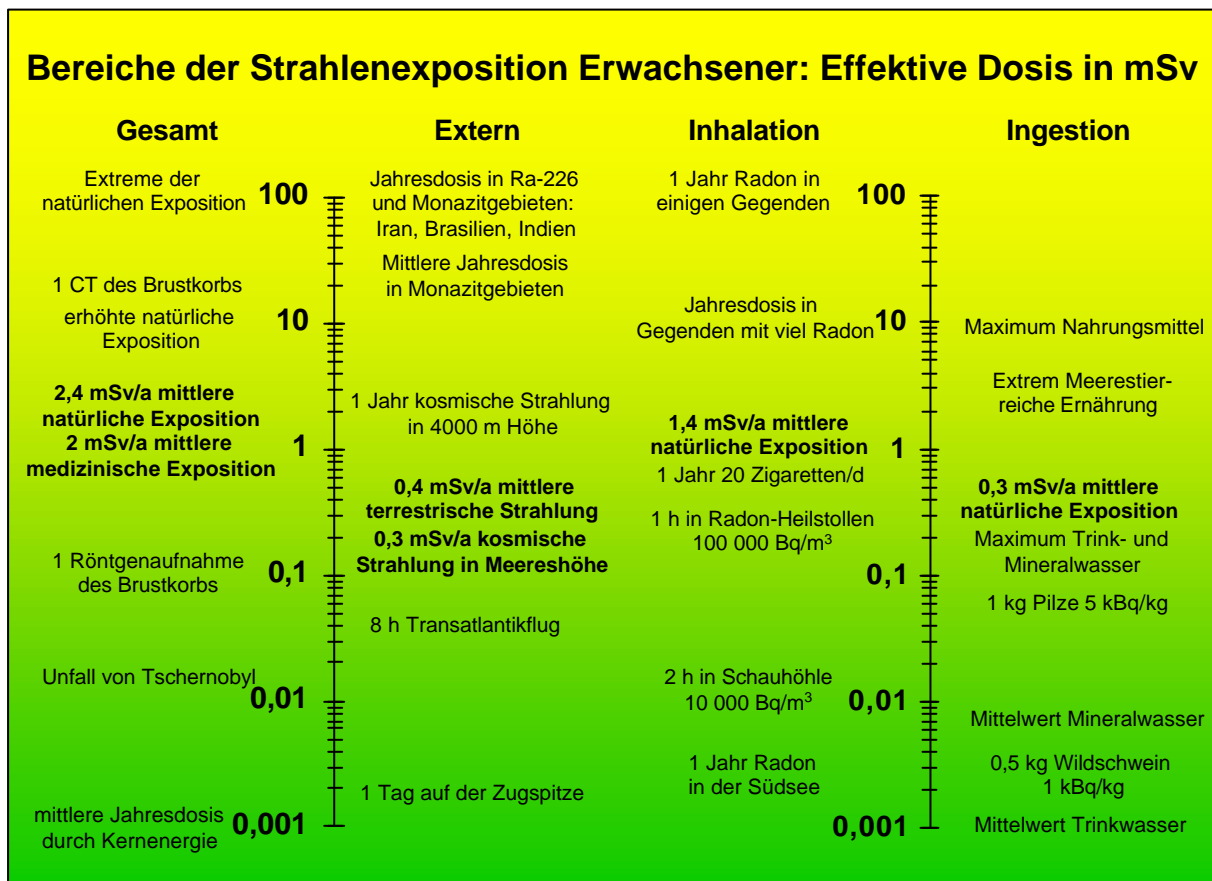


Abb. 2: Variabilität der Strahlenexposition des Menschen.

## Regionale und lokale Schwankungen der externen Exposition

Große Unterschiede der natürlichen Exposition werden sowohl großräumig regional als auch lokal beobachtet. Bei

10 mSv/a spricht man zwar von erhöhter Exposition, sie wird aber durchaus nicht selten angetroffen. Beispiele sind Schweden und Finnland und die Granitbereiche in Frankreich. Extreme der

natürlichen Exposition reichen für die externe Bestrahlung und für Inhalation bis zu 100 mSv pro Jahr. Variabilität um einen Faktor 2 – 3 muß in den meisten Regionen als normal angenommen werden. Dies hat seinen Grund darin, daß natürliche Radionuklide im geologischen Untergrund und in Luft, Wasser und Nahrungsmitteln meist logarithmische Normalverteilungen der Ortsdosisleistungen bzw. der Radionuklidkonzentrationen zeigen.

Bei der externen Exposition werden Spitzenwerte von bis zu 100 mSv/a als Folge erhöhter Radioaktivität des Untergrundes in Regionen mit geologischer Anomalien z. B. in Ra-226-reichen Gebieten des Iran und in Monazitsand-Gebieten Brasiliens und Südwest-Indiens beobachtet. In Deutschland ist die terrestrische Strahlung im Mittel mit 0,4 mSv/a nicht besonders hoch. Ortsdosisleistungen über großflächigen Urgesteinen sind jedoch um bis zu einem Faktor 3 gegenüber dem Mittelwert erhöht. In Wohngebäuden ist die externe Exposition weltweit im Mittel um den Faktor 1,5 gegenüber dem Aufenthalt im Freien erhöht.

Unterschiede in der externen kosmischen Exposition ergeben sich wegen unterschiedlicher atmosphärischer Abschirmung als Funktion der Höhe über dem Meer. In 4000 m Höhe lebende Menschen erhalten bereits eine Jahresdosis von 2 mSv durch die kosmi-

sche Strahlung. Bei Langstreckenflügen in 10 - 11 km Höhe über dem Nordatlantik ist mit 5 - 8  $\mu$ Sv/h zu rechnen und Vielflieger und fliegendes Personal sind erhöhter Strahlenbelastung durch die kosmische Strahlung ausgesetzt.

### **Einfluss des Radon in Wohnräumen**

Im allgemeinen wird die natürliche Strahlenexposition jedoch durch die Inhalation von Radon und Radon-Folgeprodukten in Wohnräumen dominiert. In Deutschland sind es im Mittel 1,4 mSv/a. In Gegenden mit viel Radon muß 10 mSv/a als typisch angenommen werden, Expositionen bis zu 100 mSv/a werden in einzelnen Gegenden beobachtet. Dabei ist die tatsächliche Exposition nicht nur von den großräumigen geologischen Gegebenheiten sondern auch von der kleinräumigen Struktur des Untergrundes, der Bauweise und den persönlichen Lebensgewohnheiten abhängig.

**Rolf Michel**

**Zentrum für Strahlenschutz  
und Radioökologie  
Universität Hannover**

### **LITERATUR**

- [1] A. Siehl (Hrsg.) Umweltradioaktivität, Ernst & Sohn, Berlin, 1996.

## **Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln und ihre Bedeutung für die Strahlenexposition**

Innerhalb der Schwankungsbreiten der natürlichen Strahlenexposition sind natürliche Radionuklide in Lebensmitteln nur von untergeordneter Bedeutung. Der Verzehr von Radionukliden mit Wasser und Nahrungsmitteln bewirkt im Mittel mit 0,3 mSv/a nur ca. 12 % der natürlichen Strahlenexposition. Nahrungsmittel tragen 98 % zur Ingestionsdosis bei, während der Verzehr von Trinkwasser und Mineralwasser nur einen Anteil von weniger als 2 % hat. Die Extreme der natürlichen Ingestionsdosis liegen um mehr als den Faktor 10 unter denen von Inhalation und externer Bestrahlung. Eine generelle Diskussion darüber, ob und gegebenenfalls unter welchen Bedingungen der Mensch einzelne Komponenten der natürlichen Strahlenexposition zu verringern suchen sollte, steht jedoch erst am Anfang.

### **Welche Exposition durch welches Nuklid?**

An der verzehrsbedingten Exposition von insgesamt 0,3 mSv/a sind 0,18 mSv/a absolut unvermeidbar, da die Natur uns den ironischen Streich gespielt hat, daß das lebenswichtige Spurenelement Kalium ein primordiales Radionuklid, Kalium-40 mit einer Isotopenhäufigkeit von 0,0117 %, enthält. Wir nehmen ca. 40 000 Bq Kalium-40 pro Jahr mit Nahrungsmitteln auf und unsere Eigenaktivität wird von Kalium-40 dominiert: bei Männern 57 Bq/kg. Die kosmogenen Radionuklide Tritium, Berillium-7, Kohlenstoff-14, etc. und das primordiale Rubidium-87 tragen mit 0,015 mSv/a bzw. 0,006 mSv/a nur geringfügig zur Ingestionsdosis bei. Der Rest wird durch Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen bestimmt, wobei Blei-210, Polonium-210, Radium-226 und Radium-228 die höchsten Expositionen bewirken. Uran ist meist nur von untergeordneter Bedeutung.

### **Natürliche Radionuklide in einzelnen Lebensmitteln**

Die Vorkommen und Konzentrationen natürlicher Radionuklide unterscheiden sich stark je nach der Art des Lebensmittels (Tab. 1) und es ergeben sich ausgeprägte regionale Unterschiede als Folge unterschiedlicher geologischer Bedingungen für Nahrungsmittel, Trink- und Mineralwässer. Die Vorkommen in Pflanzen und Tieren spiegeln neben den geologischen Bedingungen des Untergrundes auch die physiologischen Eigenschaften der Organismen wider. Tab. 1 berücksichtigt ausschließlich Nahrungsmittel der terrestrischen Biosphäre. Fischfleisch, Schalen- und Krustentiere wurden nicht berücksichtigt. Dabei sind diese Nahrungsmittel bei entsprechenden Verzehrsgewohnheiten wegen ihrer vergleichsweise hohen Konzentrationen an Pb-210 und Po-210 bestimmend für die Ingestionsdosis. Untersuchungen der letzten 15 Jahre belegen,

daß für diese Nahrungsmittel die Aktivitätskonzentrationen von Blei-210 und Polonium-210 (Tab. 2) die in Tab. 1 angegebenen Maximalwerte weit übersteigen. Die Konzentrationen der übrigen Radionuklide der natürlichen Zerfallsreihen in Fischfleisch, Schalen- und Krustentieren liegen innerhalb der in Tab. 1 für Nahrungsmittel angegebenen Bereiche.

Es liegt zwar umfangreiches Datenmaterial zum Vorkommen von natürlichen Radionukliden in Lebensmitteln vor [1,2], doch ist die Datenlage nur im Falle von Trink- und Mineralwasser als gut zu bezeichnen. Für Nahrungsmittel sind weitere systematische Erhebungsmessungen wünschenswert, um zuverlässige Aussagen über die Vorkommen natürlicher Radionuklide und ihre Verteilungen in den einzelnen Nahrungsmitteln zu ermöglichen.

Tab. 1: Natürliche Radioaktivität in Nahrungsmitteln, Trink- und Mineralwasser in Deutschland: Aktivitätskonzentrationen in mBq/(kg Frischmasse) bzw. in mBq/l.

Nuklid	Nahrungsmittel		Trinkwasser		Mineralwasser	
	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich	Mittel	Bereich
H-3	ca. 400		200		-	
C-14	ca. 70 000		-		-	
K-40	100 000	10 000 - 200 000	70	3 - 1 200	660	30 - 10 000
U-238	10	< 5 - 200	5	< 0,1 - 500	7	0,4 - 1 400
U-234	keine Angaben		5	< 0,8 - 500	19	0,4 - 2 800
Ra-226	50	< 5 - 2 000	5	< 0,4 - 300	24	2 - 530
Rn-222	-	-	5 900	< 1 000 - 1 500 000	-	-
Pb-210	100	< 10 - 10 000	1	< 0,2 - 200	9	2 - 53
Po-210	100	< 10 - 10 000	0,5	< 0,1 - 100	2	0,4 - 9
Th-232	10	< 10 - 50	0,1	< 0,1 - 4	keine Angaben	
Th-228	keine Angaben		0,2	< 0,2 - 20	9	1 - 56
Ra-228	50	< 10 - 1 000	3	< 4 - 130	keine Angaben	

Tab. 2: Blei-210 und Polonium-210 in Fischfleisch, Schalen- und Krustentieren: Bereiche der Aktivitätskonzentrationen in mBq/(kg Frischmasse).

	Pb-210	Po-210
Süßwasserfisch	30 - 420	190 - 3 700
Meeresfisch	25 - 800	160 - 27 500
Schalentiere	200 - 16 000	6 000 - 152 000
Krustentiere	80 - 2 800	770 - 75 000

## **Untersuchungen zur Höhe der tatsächlichen Ingestionsdosis**

In der Literatur gibt es nur wenige Angaben zur Schwankungsbreite der tatsächlichen Ingestionsdosis bei unterschiedlichen Verzehrsgewohnheiten. Zwei Beispiele aus der jüngsten Literatur können jedoch herangezogen werden. Bei der Untersuchung der Strahlenexposition in der Umgebung der Wiederaufarbeitungsanlage von La Hague wurde die tatsächliche Exposition kritischer Bevölkerungsgruppen in im Fischerort Goury und im Ort Digulleville im Binnenland des Cotentin untersucht [3]. Dabei wurden deutliche Unterschiede der Ingestionsdosis von 3 mSv/a bei Fischern in Goury und 0,5 mSv/a bei Bauern in Digulleville festgestellt. Die höhere Exposition in Goury ist auf den hohen Verzehr von Fisch, Schalen- und Krustentieren und deren Gehalt an Blei-210 und Polonium-210 zurückzuführen. Dieser Befund deckt sich mit den Berichten über die Strahlenexposition der Bewohner von Südsee-Inseln. Obwohl dort keine nennenswerte Radon-Exposition zu verzeichnen ist, sind Gesamtexpositionen von bis zu 3 mSv/a möglich [4], verursacht durch die hohe Ingestion von Blei-210 und Polonium-210 in Meerestieren.

## **Nuklidkonzentration und Exposition**

Die Bewertung einzelner radioaktiver Stoffe in speziellen Nahrungsmitteln macht nur wenig Sinn, wird aber in der öffentlichen Diskussion durchaus gefordert. Für eine realistische Beurteilung muß man die Gesamtheit aller radioaktiver Stoffe und Lebensmittel und die dadurch verursachte Strahlenexposition betrachten. Großen Einfluß auf die tatsächliche Exposition haben dabei Zusammensetzung und Herkunft der Nahrung. Versorgung aus Supermärkten und industrieller Nahrungsmittelproduktion führt zu einer Mittelung und damit Verringerung der Exposition, die Ausreißer der Ingestionsdosis un-

wahrscheinlich machen. Einseitige Ernährung oder Verzehr selbst oder lokal erzeugter Nahrungsmittel kann dagegen durchaus zu erhöhten Ingestionsdosen führen.

Die in Tab. 1 angegebenen Konzentrationsbereiche dürfen nicht zu der irri- gen Schlußfolgerung verleiten, daß einzelne Lebensmittel jeweils die Maximalkonzentrationen aller natürlichen Radionuklide enthielten. Die natürlichen Radionuklide befinden sich in natürlichen Wässern und in Nahrungsmitteln meist nicht im radioaktiven Gleichgewicht und zeigen in Einzelproben sehr unterschiedliche Verteilungsmuster.

Nimmt man jedoch den hypothetischen Fall des ausschließlichen Verzehrs von Lebensmitteln mit extrem hohen Konzentrationen aller Radionuklid nach Tab. 1 an und benutzt die Dosisfaktoren nach ICRP 72 [5] und die mittleren Verzehrsgewohnheiten des Entwurfs der StrlSchV 2000 [6] stellt man folgendes fest:

- Ausschließlicher Verzehr von Nahrungsmitteln mit maximalen Vorkommen natürlicher radioaktiver Stoffe würde in Deutschland eine jährliche Ingestionsdosis für Erwachsene von 10 mSv/a bewirken.
- Ausschließliche Deckung des Trinkwasserbedarfs durch Trinkwasser mit maximalen Vorkommen natürlicher radioaktiver Stoffe würde in Deutschland eine jährliche Ingestionsdosis für Erwachsene von 0,30 mSv/a bewirken.
- Ausschließliche Deckung des Trinkwasserbedarfs durch Mineralwasser mit maximalen Vorkommen aller natürlicher radioaktiver Stoffe nach Tab. 1 würde in Deutschland eine jährliche Ingestionsdosis für Erwachsene von 0,15 mSv/a bewirken. Auch die fehlenden Daten für einige Nuklide der Thorium-

Reihe werden diese Einschätzung nicht wesentlich ändern.

### **Bewertung**

Die Vorkommen natürlicher radioaktiver Stoffe in Nahrungsmittel, Trink- und Mineralwässern bewirken eine Ingestionsdosis, die in Deutschland auch bei maximalen Vorkommen innerhalb der Schwankungsbreite der weltweiten natürlichen Strahlenexposition liegt.

Der Verzehr natürlicher Radionuklide mit Lebensmitteln ist von wesentlich geringerer Bedeutung für die natürliche Strahlenexposition als geologische Anomalien für die externe Bestrahlung oder das Vorkommen von Radon in Häusern für die Inhalationsdosis. Dabei tragen Nahrungsmittel deutlich mehr zur internen Exposition bei als Trink- und Mineralwässer.

Bei der Beurteilung des durch die natürliche Strahlenexposition verursachten Risikos wird bisher lediglich für Radon in Häusern von einem erhöhten Risiko ausgegangen. Nach dem derzeitigen Stand der Forschung muß man annehmen, daß ca. 7 % der Lungenkrebsfälle bei Nichtrauchern durch Radon in Häusern verursacht sein kann.

Innerhalb der durch äußere Bestrahlung und Verzehr von natürlichen Radionukliden bedingten Schwankungsbreite der natürlichen Strahlenexposition wurden bisher keine mit der natürlichen Exposition zusammenhängenden Erhöhungen von Erkrankungen wie Krebs oder Leukämie oder genetische Defekte bei lebend geborenen Nachkommen festgestellt.

### **Danksagung**

Ich danke Herrn Dipl.-Phys. G. Kainisch für umfangreiche Informationen über die Vorkommen natürlicher Radionuklide in Meerestieren und Herrn Dipl.-Phys. H. Rühle für aktuelle Daten für Trink- und Mineralwasser und für intensive Diskussionen.

**Rolf Michel**

**Zentrum für Strahlenschutz  
und Radioökologie  
Universität Hannover**

### **LITERATUR**

- [1] A. Siehl (Hrsg.) Umweltradioaktivität, Ernst & Sohn, Berlin, 1996.
- [2] BMU, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresberichte 1997, Bonn, März 2000.
- [3] D. Beutier, N. Delloero, J. Pradel, Comparing the dose contributions from man made and from natural radioactivity, IRPA-10, 10<sup>th</sup> Int. Conf. of the International Radiation Protection Association, Hiroshima, May 14-19, 2000, P-4b-239.
- [4] IAEA, The Radiological Situation at the Atolls of Mururoa and Fangataua, Report by an International Advisory Committee (Task Group A), IAEA-MFTR-6, Vol. 6, IAEA, Vienna, 1998.
- [5] ICRP Publication 72 Age-dependent Doses to Members of the Public: Part 5 Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients, Annals of the ICRP 26 No. 1 (1996) Pergamon
- [6] Entwurf der neuen StrlSchV vom 29.09.2000.