

## **Hinweis des Autors**

**Die vorliegende Zusammenstellung von Texten auf CD entstand aus Vorträgen zum Themenbereich „Radioaktivität“ an Pädagogischen Instituten der Städte Nürnberg und München, an der Lehrerfortbildungsakademie Dillingen und bei regionalen Lehrerfortbildungen sowie am Physikwochenende an der Universität Erlangen. Die Exkursion wurde im Rahmen des Deutschen Geographentages in Regensburg 1998 und für das Physik-Didaktikseminar an der Universität Erlangen durchgeführt.**

**Alle Zusammenstellungen und Folienvordrucke können für den Unterricht frei genutzt werden. Bei aus anderen Büchern übernommenen und veränderten Zeichnungen wurde darauf ein Hinweis gegeben. Die Tabellen sind in der Regel aus mehreren Büchern zusammengestellt oder aus dem Internet übernommen, wobei sich die Web-Adressen mittlerweile meist geändert haben. Von Quellenangaben habe ich deshalb abgesehen. Die Daten wurden jedoch sorgfältig recherchiert, für etwaige Fehler kann keine Haftung übernommen werden.**

**Bitte bedenken Sie auch, dass die Texte geistiges Eigentum des Autors sind und den Copyright-Bestimmungen unterliegen. Seien Sie fair und unterlassen Sie unautorisierte Weitergaben und Veröffentlichungen. Für Anregungen bin ich gerne dankbar.**

**Regenstauf, im November 1999**

**Rudolf Geipel**

## Internet-Adressen

Themenbereich	Internet-Adresse
Allgemeines zur Radioaktivität	<a href="http://educeth.ethz.ch/physik/leitprog/radio/kap1.html">educeth.ethz.ch/physik/leitprog/radio/kap1.html</a>
Allgemeines zur Radioaktivität und Kernumwandlung	<a href="http://www.dkrz.de/schule/energie/enk_21.html">www.dkrz.de/schule/energie/enk_21.html</a>
Allgemeines zur Radioaktivität und zur Kernenergie, speziell zur Schweiz	<a href="http://www.atomenergie.ch/start_ra.htm">www.atomenergie.ch/start_ra.htm</a>
Atmosphäre, Überwachung der Radioaktivität in der	<a href="http://www.dwd.de/general/radioakt.html">www.dwd.de/general/radioakt.html</a>
Baden-Württemberg, Aktuelles zur Radioaktivität in	<a href="http://www.uis-extern.um.bwl.de/lfu/abt3/akt32.htm">www.uis-extern.um.bwl.de/lfu/abt3/akt32.htm</a>
Bodenradioaktivität	<a href="http://www.icf.de/UIOnline/dua96/html/d109_01.htm">www.icf.de/UIOnline/dua96/html/d109_01.htm</a>
Granit, Verursachung von radioaktiver Strahlung	<a href="http://www.natursteinindustrie.de/forumnat.htm">www.natursteinindustrie.de/forumnat.htm</a>
Kernenergie, allgemein	<a href="http://www.kernenergie.de/">www.kernenergie.de/</a>
Literatur zur Radioaktivität	<a href="http://www.learn-line.nrw.de/Themen/EDA/medio/radio/rwstrahl.pdf">www.learn-line.nrw.de/Themen/EDA/medio/radio/rwstrahl.pdf</a>
Praktikum zur natürlichen Radioaktivität	<a href="http://www.pif.physik.uni-tuebingen.de/praktikum/aktivi/">www.pif.physik.uni-tuebingen.de/praktikum/aktivi/</a>
Radioaktivität und Strahlenschutz, allgemein	<a href="http://www.hsk.psi.ch/bag_broschure.html">www.hsk.psi.ch/bag_broschure.html</a>
Radon in der Schweiz	<a href="http://www.admin.ch/buwal/d/themen/umwelt/strahlen/dk19g01.htm">www.admin.ch/buwal/d/themen/umwelt/strahlen/dk19g01.htm</a>
Radon, allgemein und speziell Schweiz	<a href="http://193.5.216.31/bag/themen/strahlen/ion/radon/d/index.htm">193.5.216.31/bag/themen/strahlen/ion/radon/d/index.htm</a>
Radon, Eigenschaften	<a href="http://home.rhein-zeitung.de/~tschwab0/radon.htm">home.rhein-zeitung.de/~tschwab0/radon.htm</a>
Radonbelastung in Steinbrüchen	<a href="http://www.stbg.de/se4rad.htm">www.stbg.de/se4rad.htm</a>
Radon-Therapie	<a href="http://www.sibyllenbad.de/sibylle/seiten/html/radtext.html">www.sibyllenbad.de/sibylle/seiten/html/radtext.html</a>
Schulexperimente zum Download	<a href="http://www.learn-line.nrw.de/Themen/EDA/medio/radio/rwstrahl.pdf">www.learn-line.nrw.de/Themen/EDA/medio/radio/rwstrahl.pdf</a>
Schweiz, Daten zur Radioaktivität	<a href="http://www.atomenergie.ch/start_ra.htm">www.atomenergie.ch/start_ra.htm</a>
Strahlenschutzvorschriften	<a href="http://www.cims-online.de/user/wolf/radio.htm">www.cims-online.de/user/wolf/radio.htm</a>
Tektonische Störungen, Nachweis durch Radon	<a href="http://www.geologie.uni-bonn.de/user/stoffels/radon.htm">www.geologie.uni-bonn.de/user/stoffels/radon.htm</a>
Umwelt, Radioaktivität in der	<a href="http://baubiologie.tappeser.de/radion.htm">baubiologie.tappeser.de/radion.htm</a>
Uran, Eigenschaften	<a href="http://home.rhein-zeitung.de/~tschwab0/uran.htm">home.rhein-zeitung.de/~tschwab0/uran.htm</a>

# Hinweise zur Herstellung v. Autoradiographien

**Präparate:** Es eignen sich Alpha- und Gammastrahler wegen ihrer Eigenschaft, Filme u. Fotoplaten zu schwärzen, also z.B.

- Uranerzproben, möglichst plan geschliffen  
Achtung beim Schleifen - Staubentwicklung - Gefahr von Inhalation! Eventuell geben Universitäten (mineralog./ geolog. Institute) oder Bergbaufirmen eine ungefährliche Probe ab.
- Kacheln mit Uranylfarben: Meist sehr bunt gefärbte Kacheln aus nichtdeutscher Produktion. Mit empfindlichem Geigerzähler testen.
- Glühstrümpfe (siehe Physiksammlung)

**Filme:** Planfilme 27/10 DIN, 6 x 9 cm, alle Fabrikate  
Röntgenfilm Osray T 4, 9 x 12 cm, Agfa  
oder andere entspr. Röntgenfilme  
Ilford Research Platte, Typ K oder KO, 4 x 3“  
(Kernspurplatte, um die Alphaspuren sichtbar zu machen, benötigt spez. Entwickler/Fixiersalz, Vorsicht: Platten nicht zerkratzen, Emulsion würde beschädigt)

**Belichten:** Proben mit flacher Seite (Vorsicht: Filmoberfläche nicht zerkratzen!) in der Dunkelkammer auf Film legen u. das Ganze lichtdicht verpacken, z.B. mit Film- oder Fotopapierverpackung. Verbesserung der Ergebnisse, wenn man eine Bleiplatte unter den Film legt.

**Belichtungs-zeit:** Röntgenfilme:  
Proben > 1 % Uran: 1 bis 5 Stunden  
Proben < 1% Uran: max. bis 2 Tage  
Planfilme dreimal länger als Röntgenfilme

**Abzüge:** Normalpapier, hart oder extrahart

# **Die Regel der 5 A's für den Strahlenschutz**

- 1. Aktivität verringern,**  
d.h. mit möglichst schwachen  
Quellen arbeiten.
- 2. Abstand erhöhen.**
- 3. Aufenthaltszeit verringern.**
- 4. Abschirmung verstärken.**
- 5. Aufnahme vermeiden,**  
d.h. Inkorporation und Inhalation  
von Radionukliden.

# **Einschätzen von natürlichen radioaktiven Proben**

## **Stark-strahlend**

**Stücke (z.B. mit Pechblende) mit einem hohen Anteil von durchdringender, weitreichender Gammastrahlung, wie sie von Radium, aber nicht von Uran ausgesandt wird, vor allem in geologisch alten Uranmineralien.**

## **Stark-kontaminierend**

**Stücke mit Uranglimmern, die wegen ihrer vollkommenen Spaltbarkeit kleine, sich verstreuernde Partikel bilden, oder mit erdigen, krümeligen Anflügen und Überzügen sekundärer Uranmineralien, selbst in dünnen Überzügen. Gefährlich durch die Möglichkeit der Inkorporation (Aufnahme in den Körper).**

## **Stark radon-exhalierend**

**Radiumhaltige, poröse Proben (z.B. verwitterte Stücke und Uranglimmer, großflächige Beläge, große Volumina schwach radioaktiver Stoffe, darunter auch Baustoffe).**

## **Messtechnische Erfassung des Begriffs „STARK-STRAHLEND“**

**Eine Probe ist stark strahlend, wenn in 20 cm Entfernung mit ein- und demselben Strahlungsmessgerät das Zwanzigfache oder mehr der Umgebungsstrahlung angezeigt wird.**

# Das Urnuklid K-40

## 1. Daten zu K-40

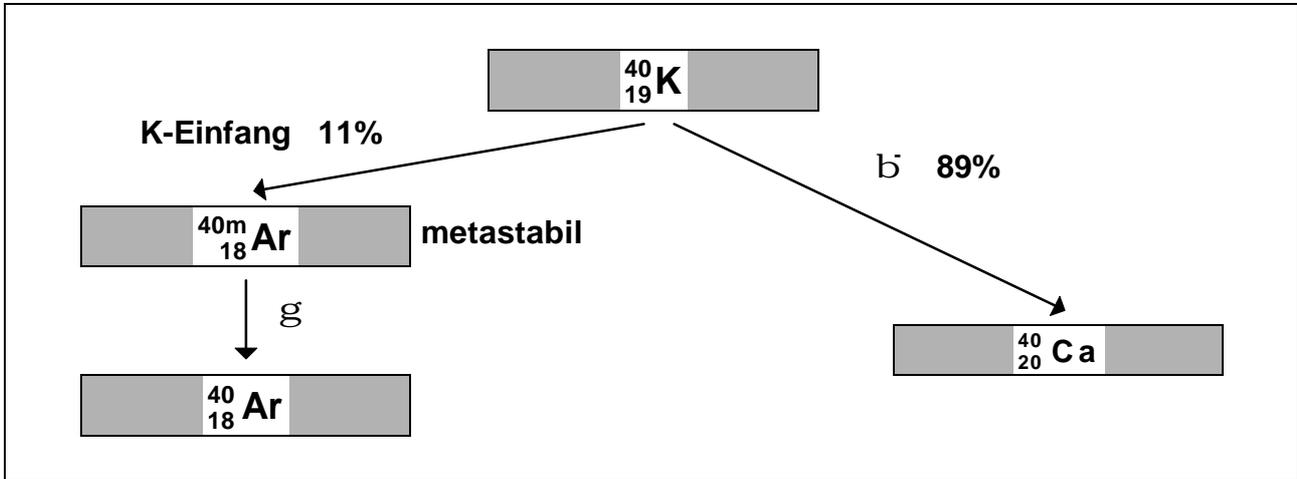


Abb. 1: Zerfallsschema für K-40

Anteil von K-40 an stabilem Kalium:	0,00117 %
Physikalische Halbwertszeit von K-40:	$1,28 \times 10^9$ a
Biologische Halbwertszeit von K-40:	58 d
Spezifische Aktivität von K-40:	$30,4 \text{ Bq} \times \text{g}^{-1}$
Anteil der $\beta^-$ -Strahlung am K-40-Zerfall (s.o.):	89%
Anteil der $\gamma$ -Strahlung am K-40-Zerfall (s.o.):	11%
Einlagerung v. Kalium in das menschl. Gewebe:	Muskulatur, Ganzkörper
Durch K-40 verursachte Aktivität	
im menschlichen Körper	ca. 4500 Bq
Tägliche Nahrungsaufnahme an Kalium	3 g
Natürliche Konzentration des Kaliums ( $\frac{m_{\text{Kalium}}}{m_{\text{Organ}}}$ )	
in Bezug auf den Gesamtkörper	$2 \times 10^{-3}$
in Bezug auf die Muskulatur	$2,9 \times 10^{-3}$

## Lebensmittel mit hohem Kalium-Anteil

Lebensmittel	durchschnittlicher Anteil in mg pro 100 g Lebensmittel
Aprikosen getrocknet	1370
Bierhefe getrocknet	1410
Banane getrocknet	1477
Stockfisch (Kabeljau getrocknet)	1500
Kakaopulver, fettarm	1500
Buttermilchpulver	1597
Trockenmilchpulver aus Magermilch	1642
Limabohne	1700
Sojabohne	1750
Bohnen getrocknet	1770
Sojamehl, vollfett	1870
Molkenpulver	1873
Steinpilz getrocknet	2000
Sojafleisch, trocken i. D.	2100
Trockenkartoffeln	2100
Weißkohl getrocknet (ungeschwefelt)	2205
Acerola Konzentrat, fest	2330
Möhren getrocknet	2640
Pfifferling getrocknet	5370
Fleischextrakt	7200

## 2. Vorschläge für Aufgaben und Messungen

1. Bestimme die Aktivität von 10 g Kaliumcarbonat (Pottasche) rechnerisch.
2. Messe die Impulsrate von einer bestimmten Menge Pottasche (in Größe des Zählfensters, sehr dünne Schicht, um die Selbstadsorption niedrig zu halten). Decke die Pottasche mit einem dünnen Aluminiumblech ab und messe erneut die Impulsrate.
3. Lege unter die Pottasche-Schicht ein Wolfram-Blech und messe erneut die Impulsrate.
4. Bestimme die Impulsrate für getrocknete Aprikosen und für Bierhefe (Messzeit mindestens 5 Minuten). Bei den Aprikosen kann man die Signale verbessern, wenn man die Aprikosen nachtrocknet. Die Früchte werden dazu aufgeschnitten und im Heißluft-Backofen mindestens 1 bis 2 Stunden getrocknet. Der auftretende Wasserverlust beträgt 25 bis 30 Gewichtsprozent. Dadurch wird die Selbstadsorption der Betastrahlung durch den Wassergehalt verringert. Lege unter die Aprikosen ein Wolfram-Blech und messe erneut. Vergleiche mit dem Ergebnis von Aufgabe 3. Begründung?
5. Ein Sportler (Standardmensch!) erhöht seinen Muskelanteil an der Gesamtkörpermasse um 10%. Wie hoch ist damit der Anteil an K-40 bei ihm und wie wirkt sich dies auf die Gesamtaktivität aus?

# Der Mensch als Strahlungsquelle

## 1. Daten zum „Standardmenschen“:

Alter:	20 – 30 Jahre
Körpergewicht:	70 kg
Körpergröße:	170 cm
Körpergewicht:	70 kg
Zusammensetzung des Körpers:	Organgewichte:

Element	Masse in g
Sauerstoff O	45500
Kohlenstoff C	12600
Wasserstoff H	7000
Stickstoff N	2100
Calcium Ca	1050
Phosphor P	700
Schwefel S	175
Kalium K	140
Natrium Na	105
Chlor Cl	105
Magnesium Mg	35
Eisen Fe	4
Kupfer Cu	0,1
Jod I	0,03
Mangan Mn	0,02

Organ	Masse in g
Gesamtkörper	70 000
Muskeln	30 000
Haut/Gewebe	6 100
Skelett	7 000
Blut	5 400
Leber	1 700
Nieren (2)	300
Schilddrüse	20

Gesamtwassergehalt	43,0
Atemluft insgesamt	20 m <sup>3</sup> /d
Austauschfläche	
Lunge	50 m <sup>2</sup>
Fläche der oberen	
Luftwege	20 m <sup>2</sup>

## Tägl. Aufnahme von Elementen mit der Nahrung und natürliche Konzentration

( $\frac{m_{\text{Element}}}{m_{\text{Organ}}}$ ) in einzelnen Organen

Element	Tägl. Aufnahme in g	Organ	Masse des Organs in g	Natürliche Konzentration
Kohlenstoff	400	Gesamtkörper	70 000	0,18
		Fett	10 000	0,75
		Knochen	7 000	0,13
Kalium	3	Gesamtkörper	70 000	0,002
		Muskulatur	30 000	0,0029
Jod	0,0002	Gesamtkörper	70 000	$5,7 \times 10^{-7}$
		Schilddrüse	20	$4,0 \times 10^{-4}$
Cäsium		Gesamtkörper	70 000	$1,4 \times 10^{-10}$
		Muskulatur	30 000	$3,0 \times 10^{-7}$

Element	Tägl. Aufnahme in g	Organ	Masse des Organs in g	Natürliche Konzentration
Strontium	$1,0 \times 10^{-3}$	Gesamtkörper	70 000	$2,0 \times 10^{-6}$
		Knochen	7 000	$1,5 \times 10^{-5}$
Radium	$5,5 \times 10^{-12}$	Gesamtkörper	70 000	$1,4 \times 10^{-15}$
		Knochen	7 000	$1,7 \times 10^{-14}$

## 2. Der Standardmensch als Strahlenquelle

### 2.1 Speicherorgane und biologische Halbwertszeit

Radionuklid	Speicherorgan	Biologische Halbwertszeit
Tritium	Körpergewebe/Körperwasser	12 d
Kohlenstoff-14	Fett	12 d Ganzkörper 40 d Knochen
Kalium-40	Muskulatur/Ganzkörper	58 d
Polonium-210	Nieren/Leber	50 d
Radium-226	Knochen	44,9 a
Uran-238	Nieren/Knochen	20 d
Thorium-232	Knochen	24,8 a Ganzkörper 200 a Knochen

### 2.2 Aktivität des Standardmenschen

Radionuklid	Aktivität in Bq
Kalium-40	4 500
Kohlenstoff-14	3 800
Rubidium-87	650
Blei-210, Bismut-210, Polonium-210 (Radon-222-Töchter)	60
Kurzlebige Zerfallsprodukte von Radon-220	30
Tritium	25
Beryllium-7	25
Kurzlebige Zerfallsprodukte von Radon-222	15
Sonstige	7
Summe	9 112

## Pioniere der Radioaktivität und der Kernforschung

<b>Name</b>	<b>Lebensdaten</b>	<b>Nobelpreis</b>
<b>Henri Becquerel</b> Entdeckung der radioaktiven Strahlung	<b>1857 – 1908</b>	<b>1903</b>
<b>Pierre Curie</b> Arbeiten zur Erforschung der radioaktiven Phänomene	<b>1858 – 1906</b>	<b>1903</b>
<b>Marie Sklodowska-Curie</b> Arbeiten zur Erforschung der radioaktiven Phänomene Entdeckung der Elemente Radium und Polonium	<b>1867 – 1934</b>	<b>1903/1911</b>
<b>Ernest Rutherford</b>	<b>1871 – 1937</b>	<b>1908</b>
<b>Frederic Soddy</b>	<b>1877 – 1957</b>	<b>1908</b>
<b>Lise Meitner</b>	<b>1878 – 1968</b>	
<b>Otto Hahn</b> Entdeckung der Kernspaltung	<b>1879 – 1968</b>	<b>1944</b>
<b>Niels Bohr</b>	<b>1885 – 1962</b>	<b>1922</b>

<b>Walther Bothe</b>	<b>1891 – 1957</b>	<b>1954</b>
<b>James Chadwick</b> Entdeckung des Neutrons	<b>1891 – 1974</b>	<b>1935</b>
<b>Irène Joliot-Curie</b> Entdeckung der künstlichen Radioaktivität	<b>1897 – 1956</b>	<b>1935</b>
<b>Frédéric Joliot</b> Entdeckung der künstlichen Radioaktivität	<b>1900 – 1958</b>	<b>1935</b>
<b>Glen T. Seaborg</b> Arbeiten und Entdeckungen auf dem Gebiet der Transurane		<b>1951</b>
<b>E. M. McMillan</b> Arbeiten und Entdeckungen auf dem Gebiet der Transurane		<b>1951</b>

## Folie 1: Isotope

Tabelle 1.1: Isotope des Wasserstoffs

gewöhnlicher Wasserstoff	schwerer Wasserstoff	überschwerer Wasserstoff
H-1	H-2	H-3
1 Proton	1 Proton	1 Proton
kein Neutron	1 Neutron	2 Neutronen
1 Elektron	1 Elektron	1 Elektron
kommt in der Natur vor	kommt in der Natur vor	künstliches Isotop

Tabelle 1.2: Beispiele von Isotopen, die in der Natur vorkommen

Kohlenstoff-12	6 Protonen	6 Neutronen	stabil
Kohlenstoff-13	6 Protonen	7 Neutronen	stabil
Kohlenstoff-14	6 Protonen	8 Neutronen	radioaktiv
Blei-206	82 Protonen	124 Neutronen	stabil
Radon-222	86 Protonen	136 Neutronen	radioaktiv
Radium-226	88 Protonen	138 Neutronen	radioaktiv
Uran-235	92 Protonen	143 Neutronen	radioaktiv
Uran-238	92 Protonen	146 Neutronen	radioaktiv

## Folie 2: Radioaktive Urnuklide ohne Zerfallsreihen

Nuklid	Sym- bol	Kern- ladungs- zahl	Halbwertszeit	Umwandlungs- art
Kalium-40	K	19	$1,28 \cdot 10^9$ a	$\beta^-$ , K-Einfang
Selen-82	Se	34	$1,0 \cdot 10^{19}$ a	$\beta^-$
Rubidium-87	Rb	37	$4,8 \cdot 10^{10}$ a	$\beta^-$
Cadmium-113	Cd	48	$9 \cdot 10^{15}$ a	$\beta^-$
Indium-115	In	49	$4 \cdot 10^{14}$ a	$\beta^-$
Tellur-123	Te	52	$1,24 \cdot 10^{13}$ a	K-Einfang
Tellur-128	Te	52	$1,5 \cdot 10^{24}$ a	$\beta^-$
Tellur-130	Te	52	$1,0 \cdot 10^{21}$ a	$\beta^-$
Lanthan-138	La	57	$1,35 \cdot 10^{11}$ a	$\beta^-$ , K-Einfang
Neodym-144	Nd	60	$2,1 \cdot 10^{15}$ a	$\alpha$
Samarium-147	Sm	62	$1,06 \cdot 10^{11}$ a	$\alpha$
Samarium-148	Sm	62	$7 \cdot 10^{15}$ a	$\alpha$
Gadolinium-152	Gd	64	$1,1 \cdot 10^{14}$ a	$\alpha$
Lutetium-176	Lu	71	$3,6 \cdot 10^{10}$ a	$\beta^-$
Hafnium-174	Hf	72	$2,0 \cdot 10^{15}$ a	$\alpha$
Tantal-180	Ta	73	$> 10^{13}$ a	$\gamma$
Rhenium-187	Re	75	$5 \cdot 10^{10}$ a	$\beta^-$
Osmium-186	Os	76	$2,0 \cdot 10^{15}$ a	$\alpha$
Platin-190	Pt	78	$6,1 \cdot 10^{11}$ a	$\alpha$
Blei-204	Pb	82	$\geq 1,4 \cdot 10^{17}$ a	$\alpha$

# **Vergleichsskalen zur sachlichen Bewertung von Zahlenwerten aus physikalischen Messgrößen und biologischen Rechengrößen**

- 1. Die natürliche Strahlenexposition führt zur Effektivdosis von ca. 2 mSv/Jahr mit starken Schwankungen von Ort zu Ort.**
- 2. Die medizinische Diagnostik weist Dosiswerte von 0,01 bis 10 mGy pro Fall mit sehr starken Unterschieden je nach ärztlicher Praxis sowie nach Typ, Zustand und Handhabung der Geräte auf.**
- 3. In der medizinischen Therapie kann man von nochmals 100fach stärkeren Dosen ausgehen, also von 1 bis 1000 mGy.**

**Folie 3: Tabellen zur Berechnung der Strahlungswirkung auf den Menschen**

**Tabelle 3.1: Qualitätsfaktoren zur Berechnung der Äquivalentdosis**

<b>Strahlenarten</b>	<b><math>\bar{Q}</math></b>
<b>Röntgen- und Gammastrahlung, Betastrahlung</b>	<b>1</b>
<b>Schnelle Neutronen (Mittelwert)</b>	<b>10</b>
<b>Langsame Neutronen</b>	<b>4 .. 5</b>
<b>Neutronenstrahlung (Gesamtbereich)</b>	<b>4 .. 20</b>
<b>Protonen</b>	<b>10</b>
<b>Alphastrahlen</b>	<b>10</b>
<b>Alphastrahlung aus Radionukliden</b>	<b>20</b>

**Tabelle 3.2: Wichtungsfaktoren zur Berechnung der effektiven Äquivalentdosis**

<b>Organ / Gewebe</b>	<b>Wichtungsfaktor</b>
<b>Keimdrüsen</b>	<b>0,25</b>
<b>Brust</b>	<b>0,15</b>
<b>rotes Knochenmark</b>	<b>0,12</b>
<b>Lunge</b>	<b>0,12</b>
<b>Schilddrüse</b>	<b>0,03</b>
<b>Knochenoberfläche</b>	<b>0,03</b>
<b>Übrige Organe und Gewebe zusammen</b>	<b>0,30</b>

**Folie 3: Jährliche Äquivalentdosis an radioaktiver Strahlung für einen erwachsenen US-Amerikaner**

<b>Quelle</b>	<b>Äquivalentdosis in mSv</b>
<b>Eingeatmetes Radon einschließlich der Zerfallsprodukte</b>	<b>2000</b>
<b>Sonstige im Körperinnern gespeicherte Radionuklide</b>	<b>390</b>
<b>Terrestrische Strahlung</b>	<b>280</b>
<b>Kosmische Strahlung</b>	<b>270</b>
<b>Strahlung aus Folgeprodukten der kosmischen Strahlung</b>	<b>10</b>
<b>Gerundete Summe der Äquivalentdosis aus natürlichen Strahlungsquellen</b>	<b>3000</b>
<b>Gerundete Summe der Äquivalentdosis aus künstlichen Strahlungsquellen</b>	<b>600</b>
<b>Gesamtsumme</b>	<b>3600</b>

Quelle: University of Michigan

## Folie 4: Mittlere effektive Äquivalentdosis der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahr 1993

Quelle	Äquivalentdosis in $\mu\text{Sv}$
Eingeatmetes Radon einschließlich der Zerfallsprodukte	1400
Sonstige im Körperinnern gespeicherte Radionuklide	300
Terrestrische Strahlung	400
Kosmische Strahlung	300
Gerundete Summe der Äquivalentdosis aus natürlichen Strahlungsquellen	2400 ca. 60%
Anwendung ionisierender Strahlen und radioaktiver Stoffe in der Medizin	1500
Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl	20
Berufliche Strahlenexposition	<10
Kerntechnische Anlagen	<10
Anwendung radioaktiver Stoffe und ionisierender Strahlung in Technik, Forschung und Haushalt	<10
Fallout von Kernwaffenversuchen	<10
Gerundete Summe der Äquivalentdosis aus künstlichen Strahlungsquellen	1560 ca. 40%
Gesamtsumme	3960

# Die terrestrische Strahlung

## Belastung des Menschen durch terrestrische Strahlung (Mittelwerte)

Ort / Land	Dosisleistung in			
	mSv $\times a^{-1}$		mrem $\times a^{-1}$	
Schleswig-Holstein	0,14		14	
Weserbergland	0,58		58	
Harz / Spessart	1,02		102	
Bayerischer Wald	1,46		146	
Katzenbucker bei Eberbach, Baden-Württ.	6,30		630	
	min.	max.	min.	max.
Frankreich/Granitbezirke	2,5	4	250	400
Brasilien/Atlantikküste	8	200	800	20000
Indien/Monazitbezirk	10	40	1000	4000
Iran/einzelne Gebiete	18	450	1800	45000

## Vorkommen von Uran und Thorium in der Natur

Uran tritt als Vererzung in 8 Haupttypen auf:

1. Konglomerate (ca 20% der Uranvorkommen), d.h. in klastischen Sedimentgesteinen aus abgerundeten Gesteinstrümmern
2. Sandstein (ca. 33% der Uranvorkommen)
3. Gangartige Vorkommen (ca. 15% der Uranvorkommen)
4. Hydrothermale Gänge
5. Intramagmatische Vererzungen (ca. 15% der Uranvorkommen)
6. Calcretes
7. Phosphate, Schwarzschiefer
8. Vulkanite, Calderas

Uran findet sich in der Natur als Isotopengemisch von 99,275% Uran-238, 0,720% Uran-235 und 0,005% Uran-234. Der durchschnittliche Urangehalt in der äußeren Erdkruste beträgt 2,7 ppm. Es findet sich weiter als zusätzlicher Bestandteil in Mineralien wie Zirkon ( $ZrSiO_4$ ), in primären und sekundären Uranmineralien, die feinverteilt in Gesteine, z.B. Granit, eingelagert sein können und in Schwermineralsanden, die aus diesen Gesteinen durch Verwitterung entstanden sind.

Thorium kommt natürlich als Thorium-232 mit Thorium-228 im radioaktiven Gleichgewicht vor. Es findet sich als zusätzlicher Bestandteil in Mineralien wie Columbit ( $FeNb_2O_6$ ), Monazit ( $CePO_4$ ) und Zirkon. Monazit reichert sich wie Zirkon in Schwermineralsanden an, die durch Verwitterung der Gesteine, z.B. Granit oder Gneis, entstehen. Der durchschnittliche Thoriumgehalt in der äußeren Erdkruste beträgt 8,5 ppm.

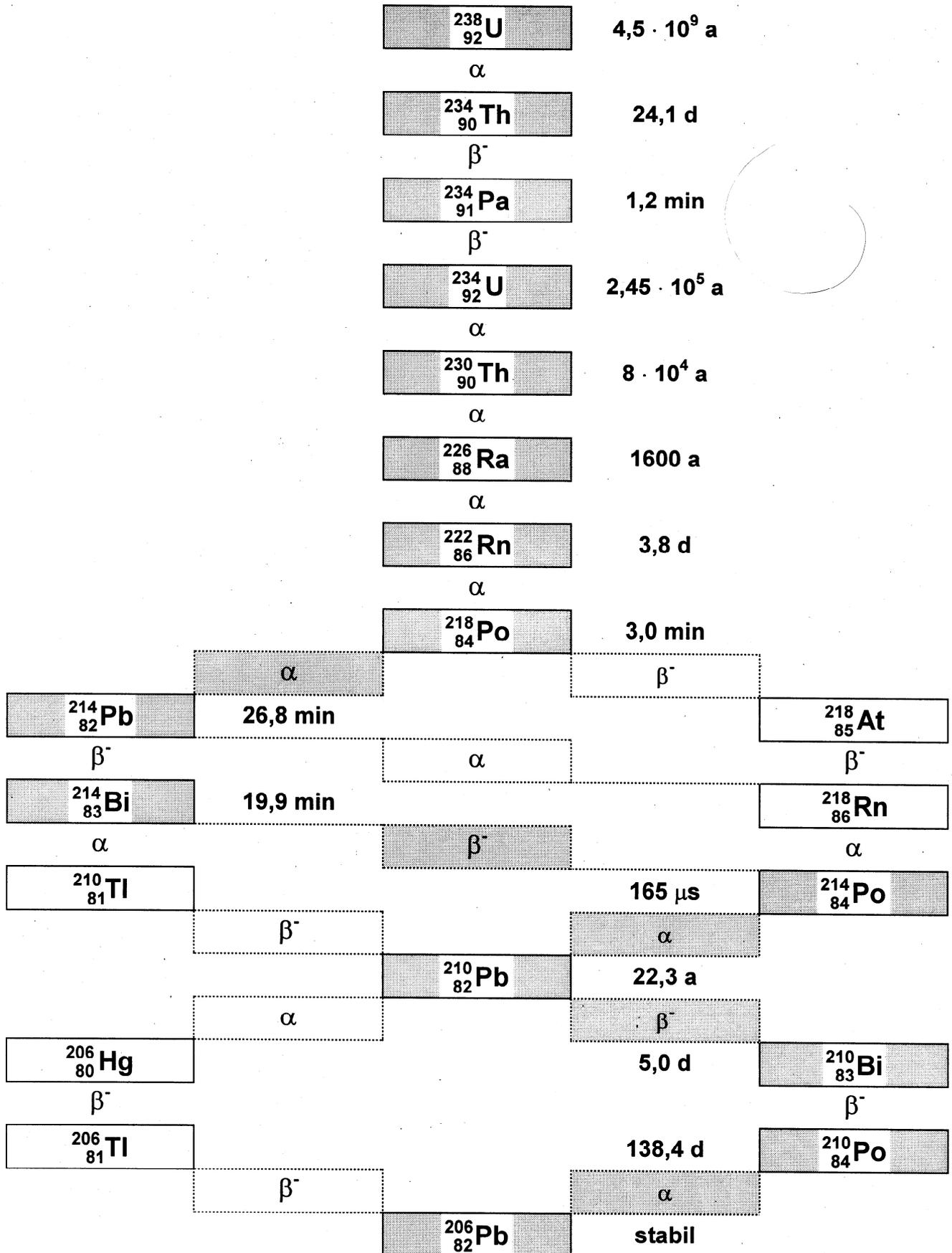
## Liste der natürlich vorkommenden Uranminerale

1. Abernathyit
2. Agrinierit
3. Albrechtschraufit
4. Althupit
5. Andersonit
6. Arsenuranoosphathit
7. Arsenuranylit
8. Ashanit
9. Asselbornit
10. Astrocyanit-(Ce)
11. Autunit
12. Bassetit
13. Bauranoit
14. Bayleyit
15. Becquerelit
16. Bergenit
17. Betafit
18. Bijvoetit-(Y)
19. Billietit
20. Boldwoodit
21. Brannerit
22. Calciouranoit
23. Calcurnolit
24. Carnotit
25. Chernikovit
26. Clarkeit
27. Cliffordit
28. Coconinoit
29. Coffinit
30. Compreignacit
31. Cousinit
32. Cuprosklodowskit
33. Curienit
34. Curit
35. Davidit-(Ce)
36. Davidit-(La)
37. Deloryit
38. Demesmaekerit
39. Derriksit
40. Dewindtit
41. Dumontit
42. Euxenit-(Y)
43. Fontanit
44. Fourmarierit
45. Francevillit
46. Francoisit-(Nd)
47. Fritzscheit
48. Furongit
49. Grimselit
50. Guilleminit
51. Haiweeit
52. Hallimondit
53. Haynesit
54. Heinrichit
55. Hügelit
56. Ianthinit
57. Iriginit
58. Ishikawait
59. Johannit
60. Joliolit
61. Kahlerit
62. Kamitugait
63. Kamotoit-(Y)
64. Kasolit
65. Kivuit
66. Kobalt-Zippeit
67. Kobeit-(Y)
68. Lehnerit
69. Lepersonnit-(Gd)
70. Lermontovit
71. Liandratit
72. Liebigit
73. Magnesium-Zippeit
74. Margaritasit
75. Marthozit
76. Masuyit
77. McKelveyit-(Y)
78. Meta-Ankoleit
79. Meta-Autunit
80. Meta-Uranocircit
81. Meta-Uranopilit
82. Meta-Uranospinit
83. Metacalciouranoit
84. Metahaiweeit
85. Metaheinrichit
86. Metakahlerit
87. Metakirchheimerit
88. Metalodevit
89. Metanovacekit
90. Metaschoepit
91. Metastudtit
92. Metatorbernit
93. Metatyuyamunit
94. Metavandendriesscheit
95. Metavanmeersscheit
96. Metavanuralit
97. Metazellerit
98. Metazeunerit
99. Moctezumit
100. Moluranit
101. Moreauit
102. Mourit
103. Mundit
104. Natrium-Autunit
105. Natrium-Uranospinit
106. Natrium-Zippeit

107. Natriumboldwoodit
108. Nickel-Zippeit
109. Ningyoit
110. Novacekit
111. Orthobrannerit
112. Oursinit
113. Paraschoepit
114. Parsonsit
115. Petscheckit
116. Phosphuranylit
117. Phuralumit
118. Phurcalit
119. Plumbobetafit
120. Plumbomikrolith
121. Plumbopyrochlor
122. Polykras-(Y)
123. Protasit
124. Przhevalskit
125. Pseudo-Autunit
126. Rabbittit
127. Rabejacit
128. Rameauit
129. Ranunculit
130. Rauvit
131. Richetit
132. Roubaultit
133. Rutherfordin
134. Sabugalit
135. Saleeit
136. Samarskit-(Y)
137. Sayrit
138. Schmitterit
139. Schoepit
140. Schröckingerit
141. Sedovit
142. Seelit
143. Sengierit
144. Shabait-(Nd)
145. Sharpit
146. Sklodowskit
147. Soddyit
148. Strelkinit
149. Studtit
150. Swamboit
151. Swartzit
152. Tengchongit
153. Thorit
154. Thorutit
155. Threadgoldit
156. Torbernit
157. Triangulit
158. Tristamit
159. Trögerit
160. Tyuyamunit
161. Ulrichit
162. Umohoit
163. Upalit
164. Urancalcarit
165. Uraninit
166. Uranmikrolith
167. Uranocircit
168. Uranophan
169. Uranophan-beta
170. Uranopilit
171. Uranopolykras
172. Uranosilit
173. Uranospathit
174. Uranosphärit
175. Uranospinit
176. Uranotungstit
177. Uranpyrochlor
178. Ursilit
179. Uvanit
180. Vandenbrandeit
181. Vanmeersscheit
182. Vanuralit
183. Vanuranylit
184. Vochtenit
185. Voglit
186. Vaycheslavit
187. Walpurgin
188. Weeksit
189. Widenmannit
190. Wölsendorfit
191. Wyardit
192. Xiangjiangit
193. Yingjiangit
194. Yttrobetafit-(Y)
195. Yttrocolumbit-(Y)
196. Yttrokras-(Y)
197. Yttropyrochlor-(Y)
198. Yttrotantalit-(Y)
199. Zellerit
200. Zeunerit
201. Zink-Zippeit
202. Zippeit
203. Znucalit

# Die Uran-Radium-Zerfallsreihe

(Die Reihe mit der höchsten Wahrscheinlichkeit ist grau unterlegt, für die entsprechenden Isotope sind die Halbwertszeiten angegeben)



# Die Uran-Radium-Zerfallsreihe

(Zerfallsreihe mit der höchsten Wahrscheinlichkeit)

