

Natürliche Radionuklide in der Umwelt und in anderen Medien



Vortrag auf dem Kolloquium zum 10 jährigen Bestehen des LUNG am 11.06.09
Von J. Kühne

Natürliche Radionuklide (NORM*) in der Umwelt und in anderen Medien

Ausgewählte Aspekte

Inhalt:

- **Ausgewählte Grundlagen u. Begriffe**
- **Quellen natürlicher Radionuklide**
- **Radon in Wohngebäuden**
- **Radon in Wasserwerken**
- **Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln**
- **Radium, Uran u.a. in Trink- u. Mineralwässern**
- **Radium und Uran in Gebrauchsgegenständen**
- **Natürliche Radionuklide in sonstigen Medien**

- NORM: Naturally Occurring Radioactive Materials

• Strahlenquelle

Charakterisiert u.a. durch
die Zerfallsrate: Anzahl
der Zerfälle/s

Aktivität A

[A]=Bq, mBq, kBq,...



• Wirkung

Biologische Wirkung auf den
Menschen, charakterisiert durch
die

Dosis H (Effektivdosis)

[H]=Sv, mSv, μ Sv,...

Anhand der **Dosis** kann die **potentielle Gesundheitsgefährdung** bewertet werden. Auch hier gilt: „Sola dosis facit venenum“
1 Sv ist eine hohe Dosis, die natürliche Strahlenexposition liegt bei einigen mSv je Jahr.



Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Radionuklide erzeugen eine **Strahlendosis**
(Effektive Dosis) durch:

▪ **Inkorporation**

• **Inhalation**

(Aufnahme mit der Atemluft)

• **Ingestion**

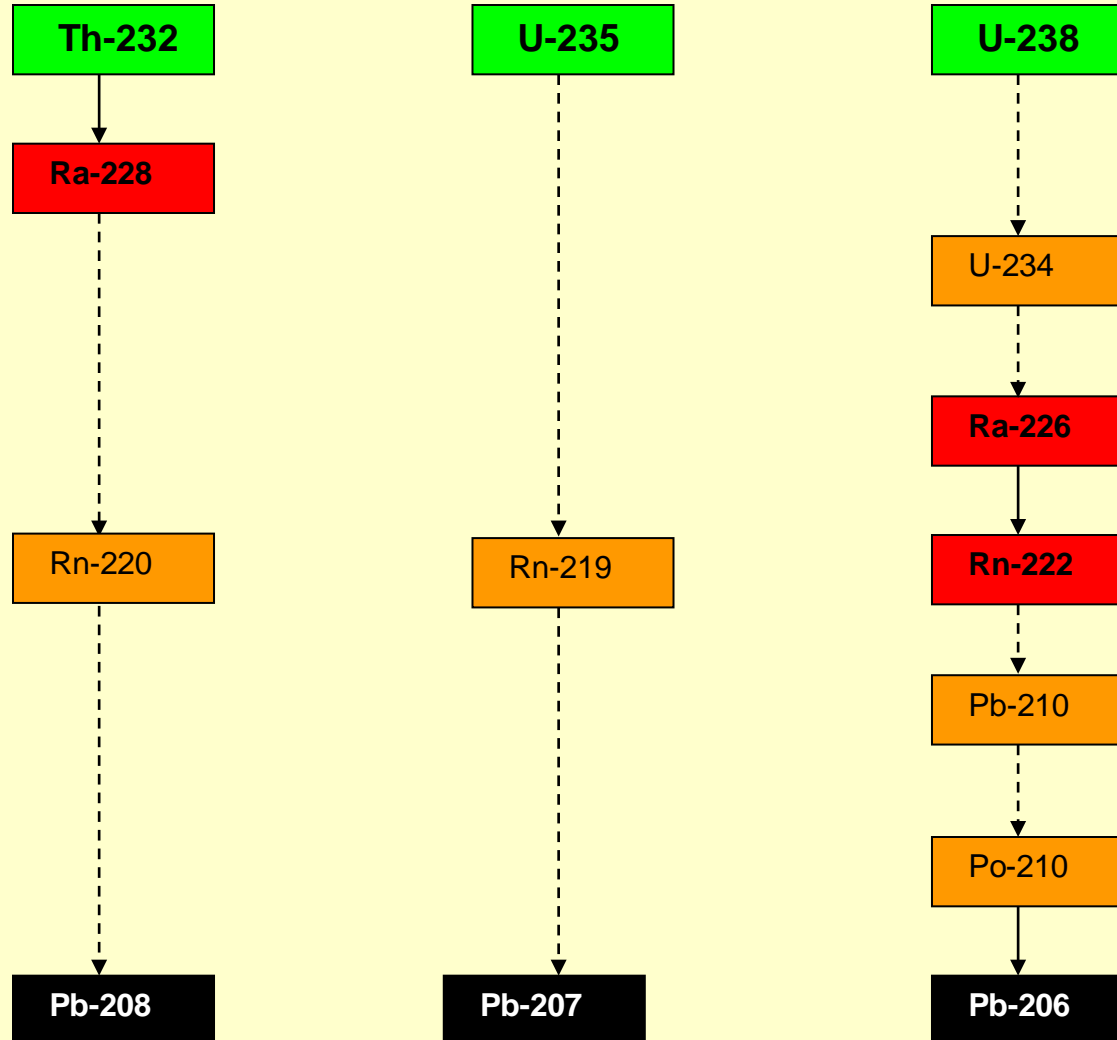
(Aufnahme über die Nahrung...)

▪ **Externe Bestrahlung**
(Submersion)

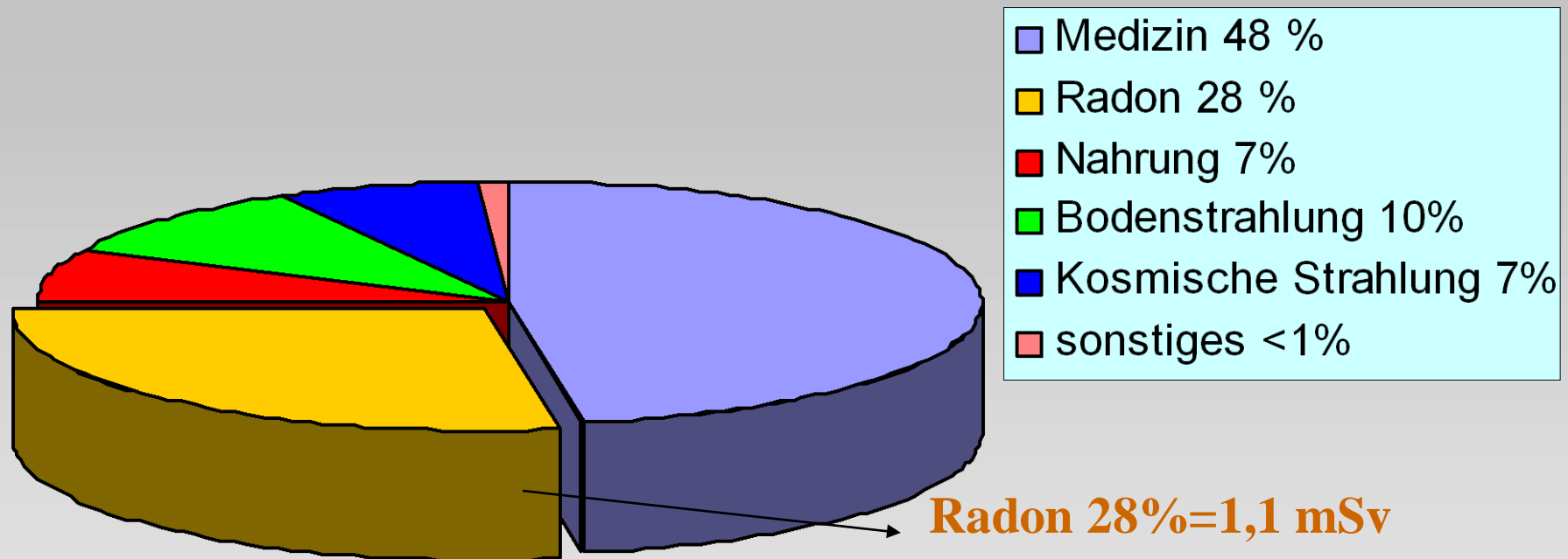
Quellen natürlicher Radionuklide

- **Kosmogene Radionuklide** (entstehen in der Atmosphäre durch **kosmische Strahlung**)
 - H-3, Be-7, C-14, Na-22,...
- **Primordiale (Terrestrische) Radionuklide z.B.:**
 - K-40, Rb-87, Sm-148, ... und natürliche Zerfallsreihen
 - Th-232....
 - U-235....
 - U-238... und deren Zerfallsprodukte → radiogene Radionuklide:

Natürliche Zerfallsreihen

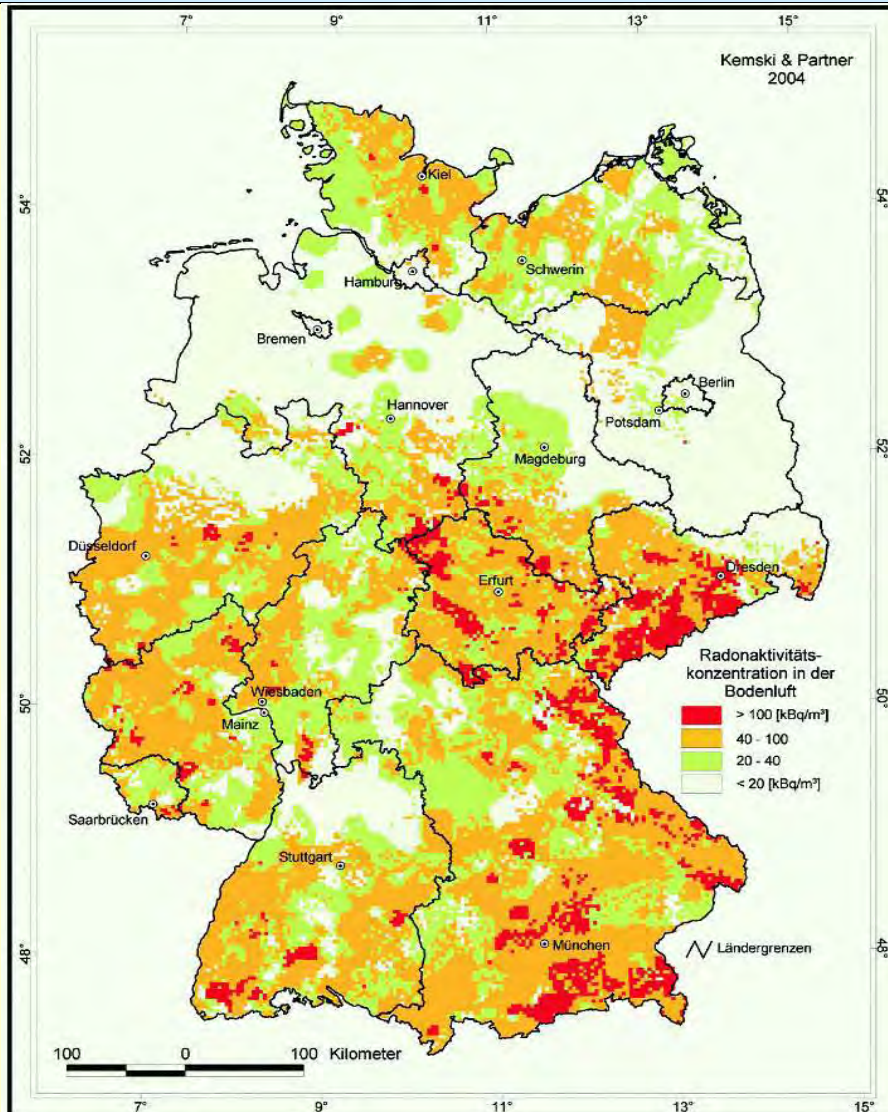


Strahlenexposition des Menschen in D



Σ 4 mSv, davon 2,1 mSv durch natürliche Quellen

Quelle: W. Kölzer IK KE Jan. 2006



Radonpotential in D

- 2346 Messpunkte zur Rn-222 Aktivität in der Bodenluft (in 1 m Tiefe)
- Werte von < 20 kBq/m³ bis > 100 kBq/m³
- Transferfaktor zu Gebäuden ca. 1:1000

Bodenluft 20 kBq/m³

→ Größenordnung einige 10 Bq/m³ in Gebäuden

Quelle: BfS

Radon (Rn-222) in der Raumlufte von Wohngebäuden

Das radioaktive Edelgas Radon, speziell das Isotop Rn-222 kommt aus dem Untergrund oder aus Baumaterialien in die Gebäude und wird mit der Atemluft aufgenommen. Seine **Zerfallsprodukte**, insbesondere **Po-Isotope** lagern sich in der **Lunge** ab und führen dort zu einer **Strahlenexposition von ca. 1,1 mSv** (Mittelwert).

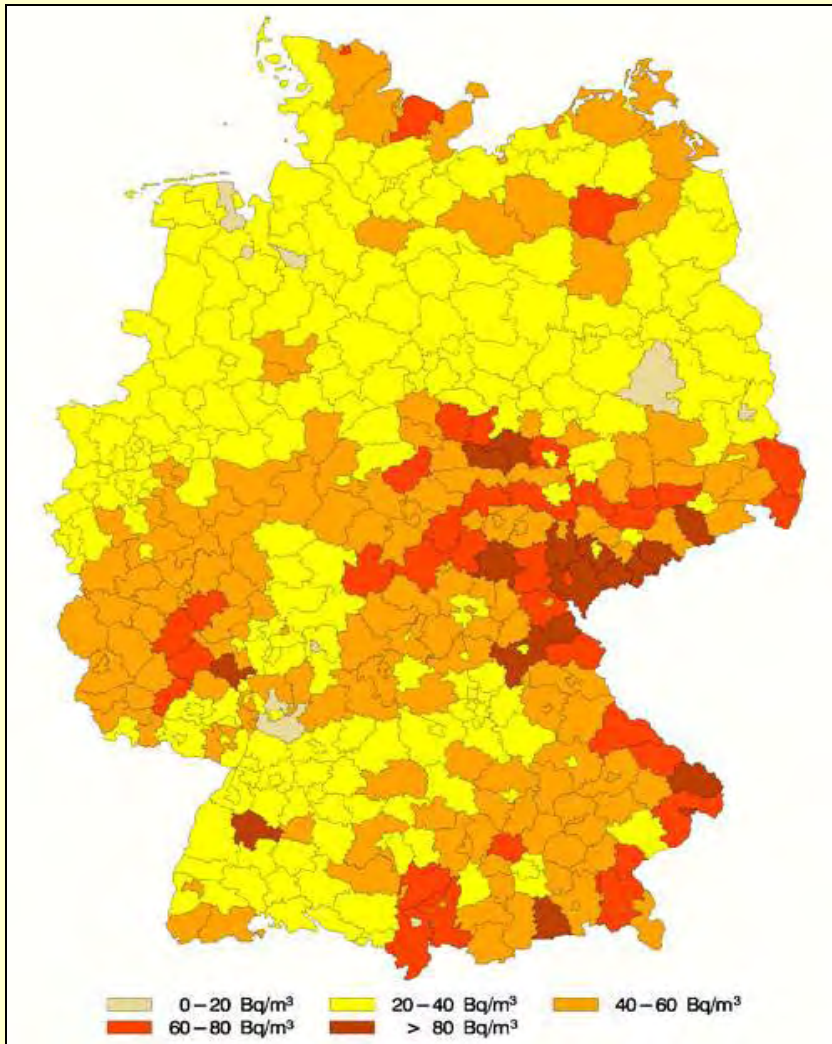
→ **Folgen für die Gesundheit**

Radon in der Raumluft potentielle gesundheitliche Folgen:

- Bei Rn-Konzentrationen $> 100 \text{ Bq/m}^3$ kann sich das **relative Lungenkrebsrisiko** (im Vergleich zum Referenzwert) um ca. **8 % je 100 Bq/m^3** erhöhen.
- Ca. **5%** (≈ 1900 je a) aller **Lungenkrebstoten** in D sind der **Radonexposition** zuzuschreiben. **Davon** aber fast **95% Raucher!**

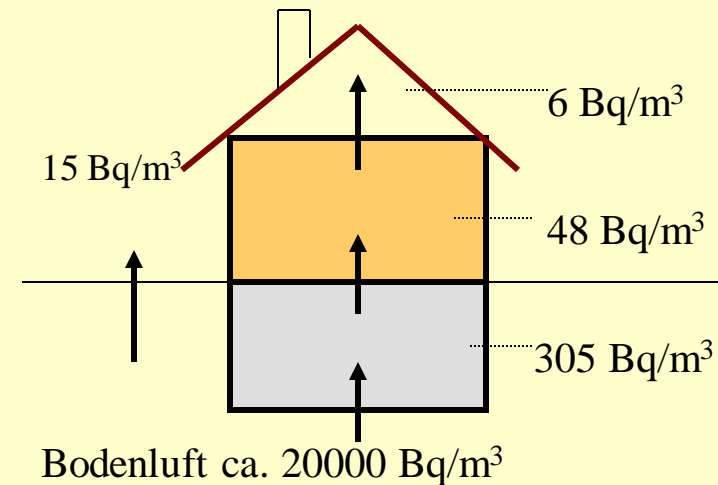
Quelle: Menzler, 2006, BfS, SSK , ...

- **Richtwerte aber international nicht einheitlich:**
 - D: BfS: Ab 100 Bq/m^3 sollten Maßnahmen zur Minimierung der Rn-Konzentration in Betracht gezogen werden, SSK: 250 Bq/m^3 !**
 - EU: $200/400 \text{ Bq/m}^3$,**
 - ICRP: 600 Bq/m^3 .**
- **Ab 1000 Bq/m^3 sind Maßnahmen zwingend notwendig.**
- **Effektivste Maßnahmen: Aufhören zu rauchen, Gute Lüftung!**
($100 \text{ Bq/m}^3 \approx 2,4 \text{ mSv/a}$, $1000 \text{ Bq/m}^3 \approx 24 \text{ mSv/a}$)



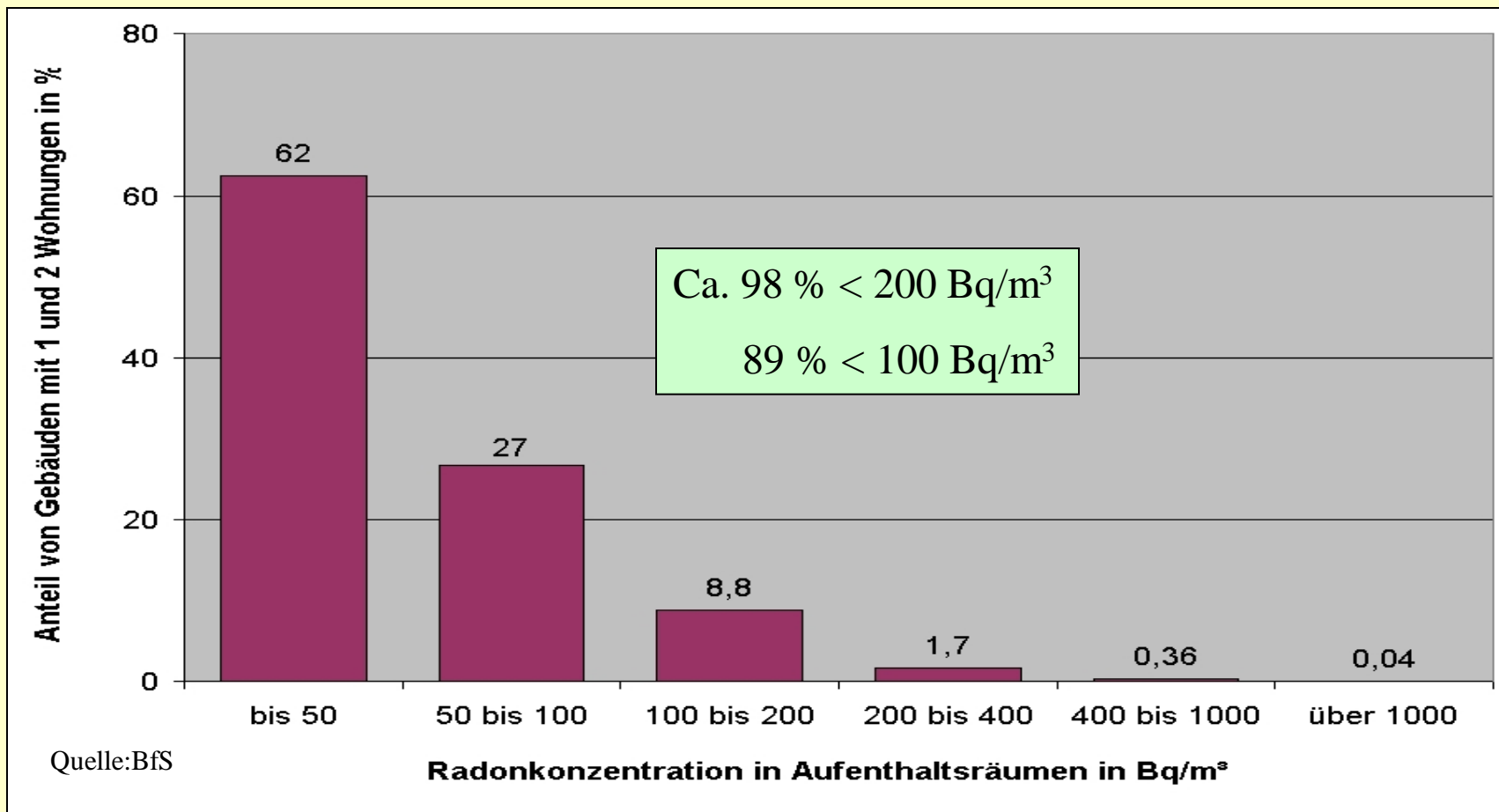
Radon in Wohngebäuden (WZ u. SZ, mittlere Werte)

Beispiel für abnehmende Rn-Konzentrationen mit der Höhe.



Quelle LUNG

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien



→ Bei $< 100 \text{ Bq/m}^3$ in ganz D könnten (hypothetisch!) ca. 300 = 0,8% aller Lungenkrebstoten je a vermieden werden.

Radon in Wohngebäuden, Situation in D u. M-V:

- **D** Mittelwert: ca. **50 Bq/m³**, aber starke **Variabilität** von ca. **10- einige 1000 Bq/m³**
- **M-V: 20-80 Bq/m³**, insgesamt 123 reale Messwerte + 582 fiktive Messwerte

(Quellen: Menzler u.a. 2006, BfS,...)

Eigene Messwerte für M-V: Wohnräume: **22-81 Bq/m³**
Kellerräume: **26-166 Bq/m³**

Schlussfolgerung:

Für M-V, wenn überhaupt, nur in begründeten Einzelfällen Maßnahmen erforderlich

Radon (Rn-222) in Wasserwerken Strahlenexposition der Beschäftigten

Bei der Trinkwassergewinnung kann im Rohwasser gelöstes Radon durch verschiedene technologische Prozesse in die Raumluft der Betriebsräume freigesetzt werden und zu einer **Strahlenexposition** bei den dort

Beschäftigten > **einige mSv/a** führen. Diese ist abhängig von:

- der **Rn-222 Konzentration** des Rohwassers
- der **Technologie** (geschlossen oder offen)
- der **Luftwechselzahl** des betroffenen Betriebsraumes und
- der **Kapazität** (dem Wasserdurchsatz) der Anlage

Einzelmesswerte für MV: 50-2500 Bq/m³ → Bei längerem Aufenthalt (2000 h/a) Strahlenexpositionen > 6 mSv/a möglich!

Freisetzung von Radon in einem Wasserwerk



→ Maßnahmen zur **Verringerung der Rn-Exposition**:
Belüftung der Betriebsräume und **Verrohrung** (geschl. Systeme)

Abb. 2: Rückspülvorgang eines offenen Kiesfilterbeckens mit Luft, links und rechts Kiesfilter im Arbeitszustand

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Trinkwasser BfS Studie: Strahlenexposition (Dosis) durch den Gebrauch von TW in D

MV meist im unteren Wertebereich von Deutschland →

Z.B: Radium (Ra-226, Ra-228)

- D: 0,7 – 350 mBq/l
- MV: < 1 - 66 mBq/l Median: 10 mBq/l

MV: Gesamtdosis durch Ra-226, Ra-228, U-234, U-238, Po-21, Pb-210
[mSv/a]

Median_{Erw}
0,00445

Max_{Erw}
0,026
<< 0,1

Median_{<1a}
0,066

Max_{<1a}
0,39
> 0,1 aber <1

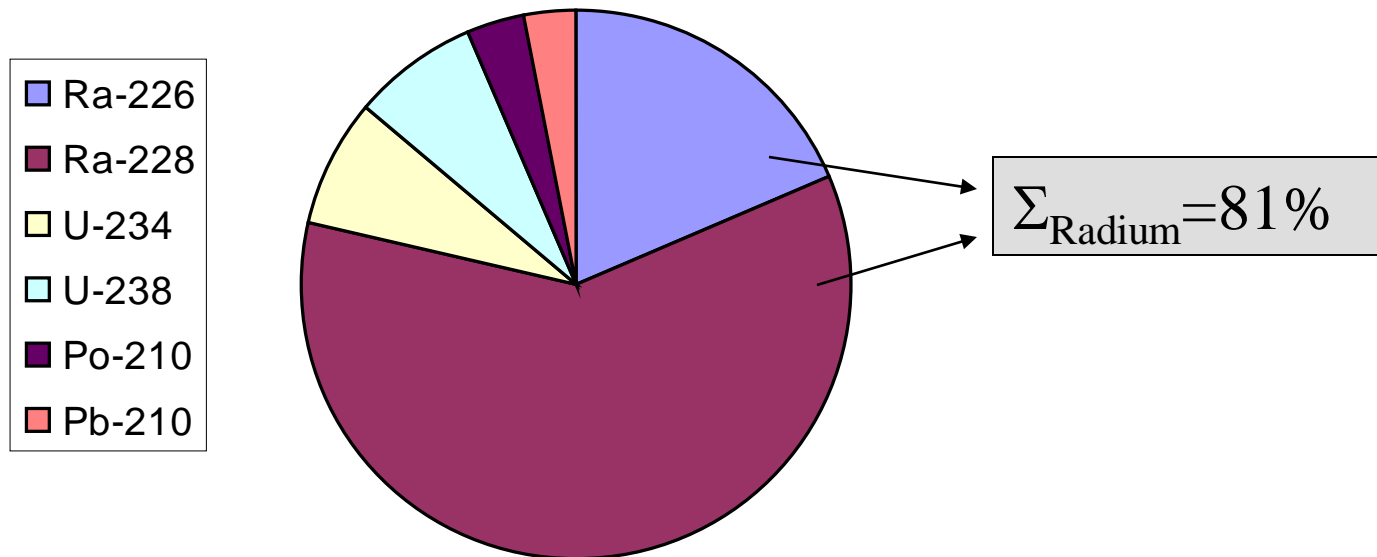
→ Der Beitrag von TW zur Strahlenexposition der Bevölkerung ist gering

0,1 mSv/a : Richtdosis nach TW VO; 1 mSv/a: Grenzwert nach StrlSchVO

Quelle: BfS/Eigene Daten

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Dosisbeiträge [mSv/a] für Einzelnuklide in TW

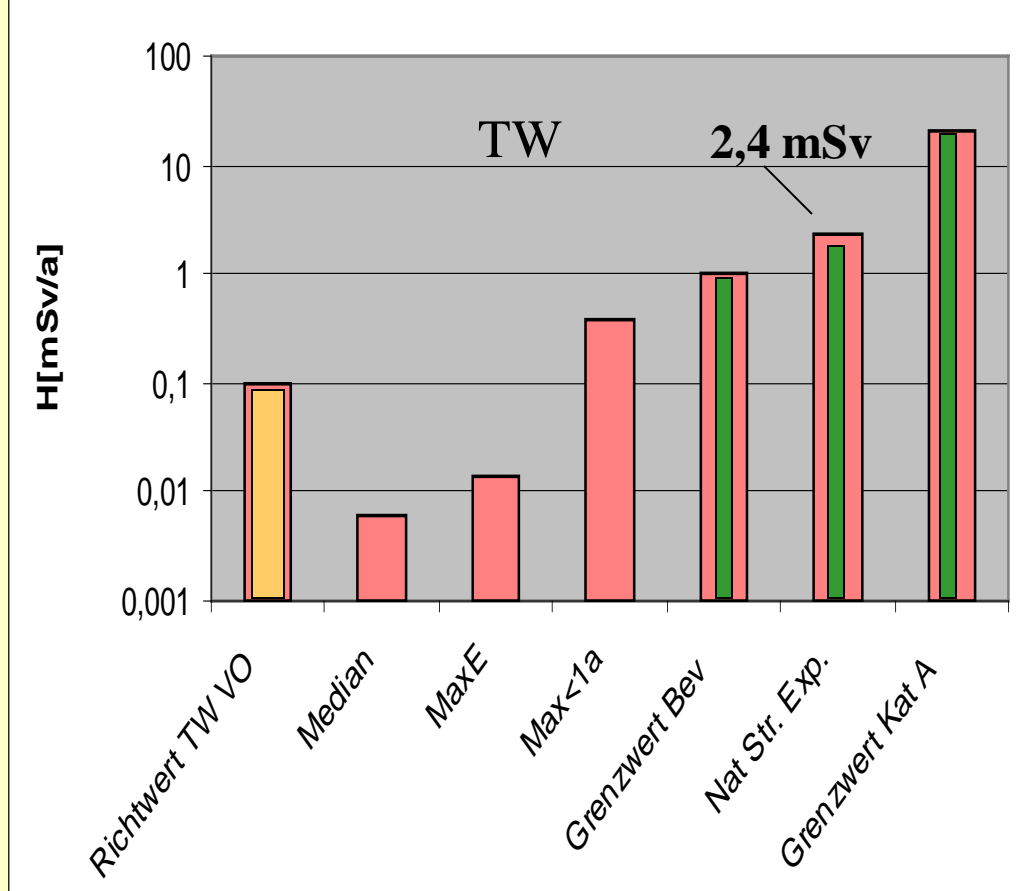


Ra-Isotope dominieren die Gesamtdosis im Trinkwasser, Uran ist aus radiologischer Sicht nur von untergeordneter Bedeutung!



Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Strahlenexposition durch TW in M-V

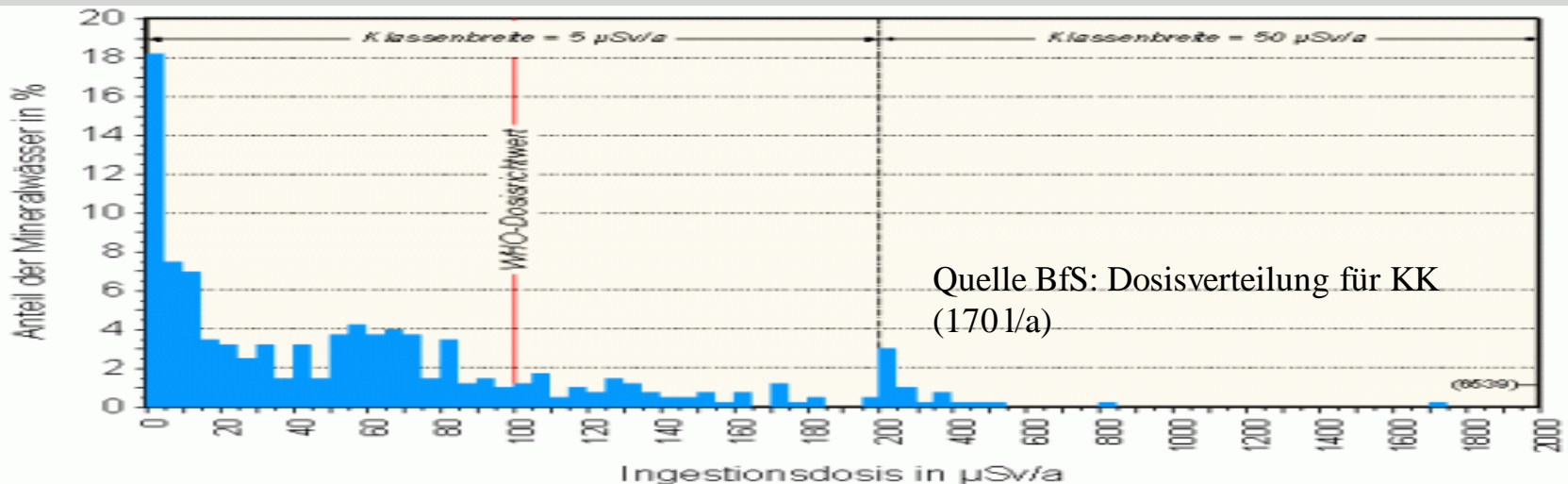


- Bei allen bisher gemessenen TW Werken liegt die Dosis für Erwachsene deutlich unter dem Richtwert
- Für Kleinkinder <1a gibt es Überschreitungen des Richtwertes aber auch dort noch deutlich unter 1mSv bzw. unter 2,4 mSv
- **Charakter und Größe des Richtwertes von 0,1 mSv/a beachten !**

BfS: Untersuchung von 401 Mineralwässern (366 aus D)

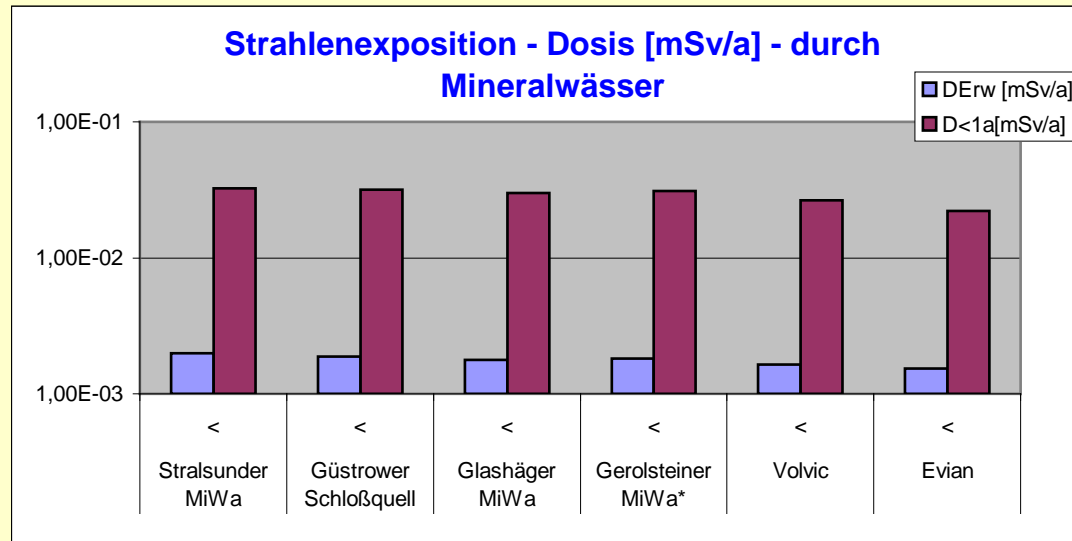
- Ra-226 u Ra-228 bestimmen die Ingestionsdosis
- Der Richtwert v. 0,1mSv/a (TW f. Erw.) wird von keinem deutschen Mineralwasser überschritten
- Bei ca. 20% ergeben für Kleinkinder Werte $> 0,1\text{mSv/a}$ → „Grenzwerte“ für Ra-226 u. Ra-228 dürfen mit Zusatz „Geeignet für die Zubereitung von Säuglingsnahrung“ nicht überschritten werden.

Σ : keine radiologische Gefährdung durch Mineralwasser



Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Ursprung		D_{Erw} [mSv/a]		$D_{<1a}$ [mSv/a]	Ra-226 [Bq/l]		Ra-228 [Bq/l]
Stralsunder MiWa	<	1,98E-03	<	3,23E-02	1,00E-02	<	1,80E-02
Güstrower Schloßquell	<	1,88E-03	<	3,16E-02	7,30E-03	<	1,80E-02
Glashäger MiWa	<	1,78E-03	<	2,99E-02	7,00E-03	<	1,70E-02
Gerolsteiner MiWa*	<	1,81E-03	<	3,11E-02	5,50E-03	<	1,80E-02
Volvic	<	1,64E-03	<	2,64E-02	9,00E-03	<	1,46E-02
Evian	<	1,53E-03	<	2,20E-02	1,50E-02	<	1,10E-02



Quelle: LUNG eigene Daten

**Alle untersuchten Mineralwässer aus M-V < 0,1mSv/a u. <<1mSv/a;
→ Gesamtbeitrag zur Strahlenexposition ist vernachlässigbar.**

Annahmen zum Verbrauch: Erwachsene 130 l; KK 55 l;



Natürliche Radionuklide in Mineralwasser

Nur zulässig wenn u.a.:

Ra-226 < 125 mBq/l bzw.

Ra-228 < 20 mBq/l

→ Dosis < 0,1 mSv/a

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Natürliche Radionuklide in Lebensmitteln (Ohne TW u. MW)

Radionuklid	A [Bq/kg FM]		
	Pflanzliche LeMi	Tierische LeMi	Milch
K-40	50-150	50-120	50
Th-232(Ra-228)	< 1	< 1	< 1
U-238 (Pb-210, Po-210)	< 1	< 1	< 1

- **K-40** Gleichgewichtsaktivität im menschlichen Organismus (Standardmensch $A = 4200 \text{ Bq} \rightarrow \text{ca. } 18 \mu\text{Sv}$)

- Jahreszufuhr verschiedener Radionuklide (Quelle:UNSCEAR 2000)

Pb-210

30 Bq

21 μSv

Po-210

58 Bq

70 μSv

Ra-228

15 Bq

10 μSv

\rightarrow **Effektive Äquivalentdosis**

$10 \mu\text{Sv} \approx 100 \mu\text{Sv} \rightarrow \Sigma \approx 120 \mu\text{Sv}$

(Zum Vergleich: Cs-137 in Lebensmitteln max. einige $\mu\text{Sv/a}$)

\rightarrow Insgesamt nur **einige %** der **Strahlenexposition** der Bevölkerung

\rightarrow **i. A. kein Handlungsbedarf**

Ra-226 und Uran in Gebrauchsgütern

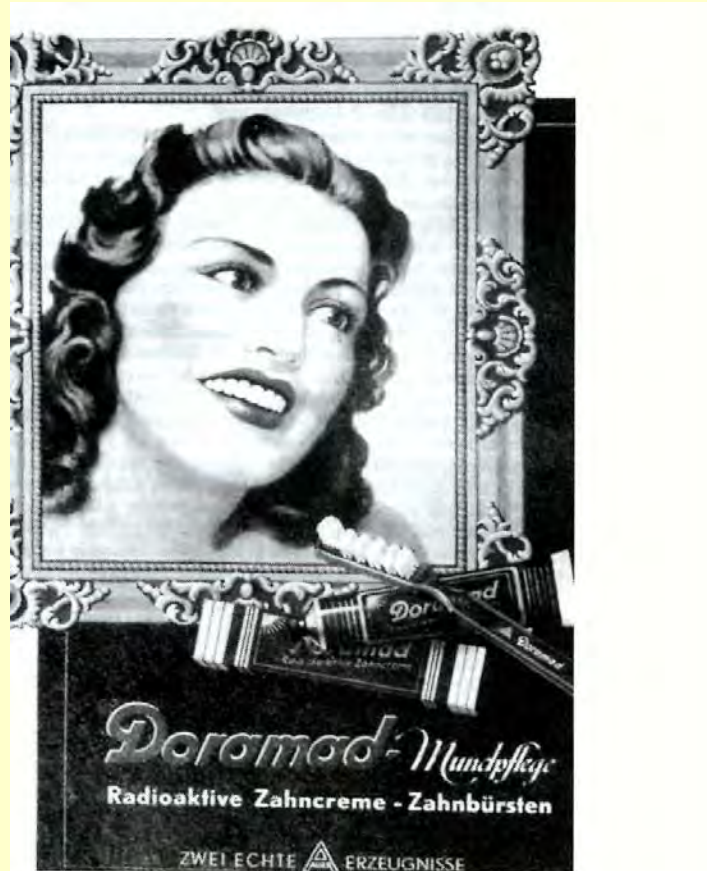


Bild 2: Antikes Glasmosaik von Cap Posilipo (Neapel), 79 a. D.; Urangehalt des opaken, blaßgrünen Glases ~ 1,5 Massenprozent UO_2

Heute i.A. nicht mehr gebräuchliche Anwendungen

Quelle: PTB

Sonstige Materialien (eine Auswahl)

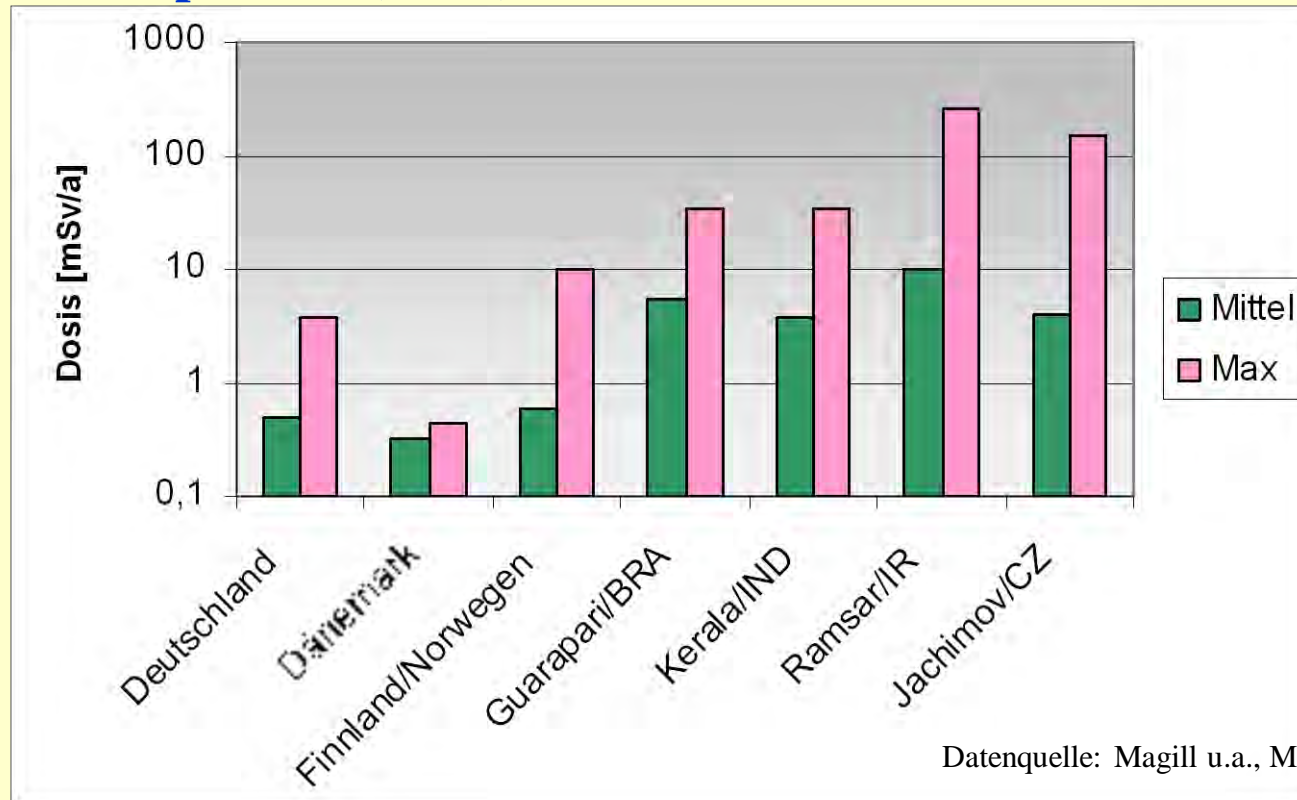
- Thorierte **Schweißelektroden** und Schleifpulver
- Thorierte **Gasglühkörper, Gasglühstrümpfe** (Th-232 → Ra-228 → Ac-228....: ca. 1000 Bq),
- **Scales, Schlämme, Materialien** aus der **Erdöl- und Erdgasindustrie** → Ra-226, Ra-228, Pb-210, Po-210: Bis 500Bq/g und Ablagerungen aus der **MV: Geothermie** (Neustadt/Glewe) → Ra-226, Ra-228, Pb-210: 100-250 Bq/g
Z.T. Dosen > 1mSv/a ⇒ Strahlenschutzmaßnahmen für die Beschäftigten erforderlich
- Steine aus **Cu-Schlacke**, Pflastersteine aus **Granit, Schotter** (Th-232..., U-238 und deren Folgeprodukte ≈1 Bq/g)
- **Düngemittel**

Quellen: FS Jahrestagung 2006, LUNG eigene Daten



Scales in Steigrohren aus der Erdgasgewinnung
(Quelle: IAF- Radioökologie GmbH/Sächsisches LULG)

Radioaktivität ist allgegenwärtig: Die Variabilität der natürlichen Strahlenexposition (ODL) in der Welt



Im Vergleich zu D z.T. Faktor 2-5 im Extremfall zwei Größenordnungen höher! → Bisher wurden keine erhöhten strahlungsbedingten Krebs- oder Fehlbildungsraten nachgewiesen.

Schwarzer (Th-232... -haltiger) Sand am Strand von Guarapari, Espirito Santo, Brasilien



50 $\mu\text{Sv/h}$, gilt als
gesund!

Quelle: R. Michel ZSR Universität Hannover

Trotz oder vielmehr wegen dieser hohen Strahlenbelastung trägt die Stadt den Beinamen "**cidade saude**", übersetzt: Stadt der Gesundheit.

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

- **Abschließende Frage:**

Ist es **vernünftig**, die **natürliche Strahlenexposition**, unter deren Einfluss die Menschheit sich **seit Jahrmillionen** entwickelt hat, durch z.T. sehr aufwändige Maßnahmen mit wahrscheinlich sehr begrenzter Wirkung zu **minimieren**?

→ **Richtdosis: 0,1mSv \Leftrightarrow 2,4 mSv im Vergleich zur nat. Exposition?**

Richtwert: Für Radon in Wohnungen: 100 Bq/m³?

→ **Wo besteht dennoch Handlungsbedarf?**

- **Bei hohen Rn-Konzentrationen im Wohnbereich**
- **Bei höheren Expositionen an Arbeitsplätzen (Bergarbeiter, WW,...)**
- **...**

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Literaturhinweise:

- BMU; „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung“, Jahresberichte 2005, 2006, 2007...
- BfS; „Strahlenexposition durch natürliche Radionuklide im Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland“ (2009-05-03-TW-Bericht-2009.1.pdf)
- SSK; Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Bd. 47, Bd. 62 u.a. Empfehlungen
- Menzler s. u.a., „Abschätzung des attributiven Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen“, Verlag Hüthig Jehle Rehm, Landsberg 2006
- Michel R.; „Natürliche Radioaktivität & Strahlung: Horrorszenario oder alles ganz normal?“, Vortrag auf der JT des Fachverbands Strahlenschutz 2006 in Dresden
- Michel R., „Radioaktivität: Gefahr für Mensch und Umwelt? Von der Euphorie zur Radiophobie“ Vortrag auf der JT des FS 2008 in Mainz
- Magill J. u. Galy J., „Radioactivity Radiation Radionuclides“, Springer Verlag 2005
- Verschiedene Autoren in „Strahlenschutzpraxis“ 1/2001, 4/2001, 4/2002, 3/2006 u.a.
- Radioaktivität Entdeckung Messung Anwendung, PTB Texte Band 6 Braunschweig Nov. 1996
- Fachzeitschriften: „Strahlenschutzpraxis“, Health Physics Letters“, ...

Internet:

- [\\WWW.ssk.de](http://WWW.ssk.de)
- [\\WWW.bfs.de](http://WWW.bfs.de) /Ionisierende Strahlung/...
- [\\WWW.fs-ev.de](http://WWW.fs-ev.de)

**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**

**Und die Biertrinker
gönnen sich nun
vielleicht ein
kühles Blondes? →**



Quelle: R. Michel ZSR Universität Hannover

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

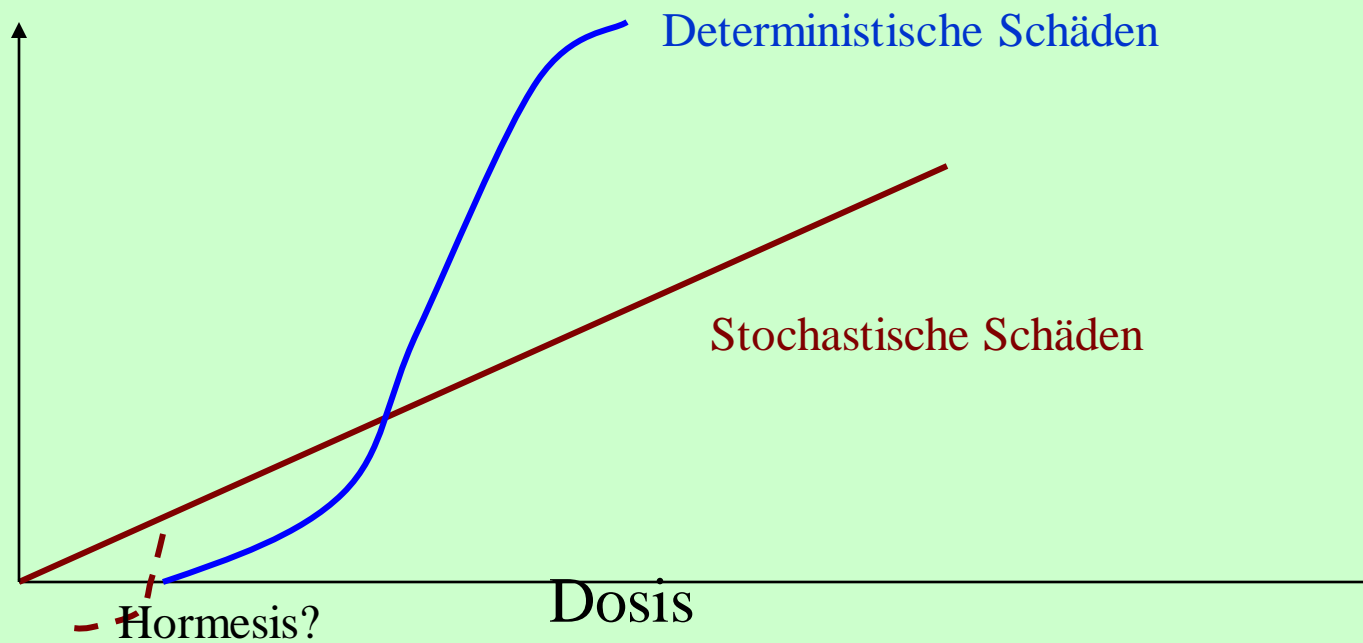
- Die folgenden Folien haben ergänzenden Charakter, gehören aber nicht mehr zu eigentlichen Vortrag!



Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Dosis Wirkungsbeziehung für Strahlenschäden

Risiko/Wirkung



Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Radongehalt: 44.000 Bq/m³ → Mittlere Dosis: ca. 1,8 mSv/Kur



Der Heilstollen in Bad Gastein (AU) Quelle: WWW.gasteiner-heilstollen.com

- Rheumatische Erkrankungen
- Asthma, chronische Bronchitis,...
- Schuppenflechte, Neurodermitis,...

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien



Quelle Michel..

- Hotel Radium Palace in Jachymov CZ

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien



Radonbad in Jachymov CZ
bis zu 30.000 Bq/l

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien



Quelle: R. Michel ZSR Universität Hannover

Trinkwasser → Strahlenexposition der Konsumenten

Radon (Rn-222)

- D: 1,3 - 1800 Bq/l
- M-V: 1 - 18 Bq/l, Median: 4 Bq/l

Radium (Ra-226, Ra-228)

- D: 0,7 – 350 mBq/l
- MV: < 1 - 66 mBq/l Median: 10 mBq/l

Uran (U-234, U-238)

- D: 0,7 – 320 mBq/l
- MV: < 1 - 250 mBq/l Median: 10 mBq/l

Polonium u. Blei (Po-210, Pb-210)

- D: 0,2 – 250 mBq/l
- MV: < 0,5 - 16 mBq/l Median: 2,5 mBq/l

→ **MV meist im unteren Wertebereich von Deutschland**

Quelle: BfS/Eigene Daten

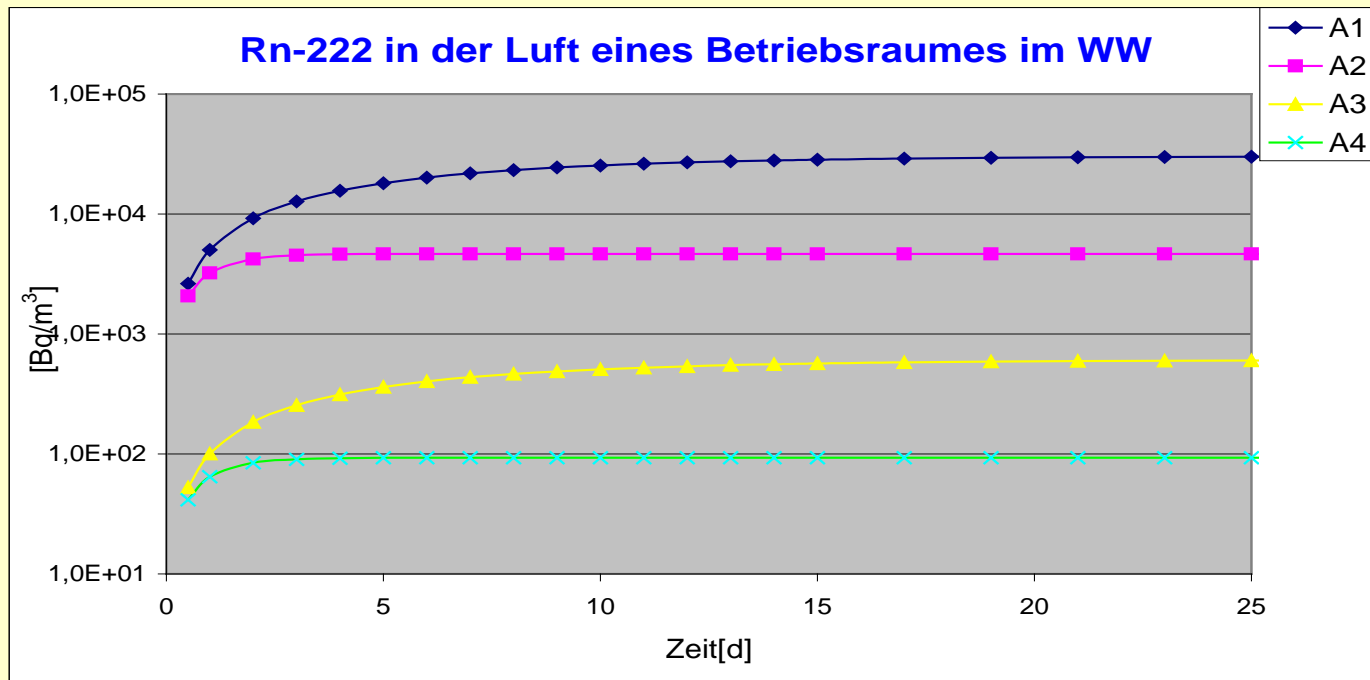
Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

- **Strahlenexposition in mSv/a durch den Gebrauch von TW in M-V (ohne Rn-222)**

Nuklid	Median _{Erw}	Max _{Erw}	Median _{<1a}	Max _{<1a}
• Ra-226	0,001	0,005	0,006	0,045
• Ra-228	0,0024	0,016	0,052	0,33
• U-238	0,00016	0,002	0,00006	0,007
• U-234	0,00018	0,002	0,00006	0,006
• Po-210	0,00011	0,0009	0,005	0,005
• Pb-210	0,0006	0,0008	0,003	0,009
Summe	0,00445	0,026	0,066	0,39
		<< 0,1		> 0,1

0,1 mSv/a : Richtdosis nach TW Vo

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien



A1	A2	A3	A4
$LD_{Halle} = 0$	$LD_{Halle} = 1 \text{ d}^{-1}0$	$LD_{Halle} = 0$	$LD_{Halle} = 1$
$V_{Wasser} = 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$V_{Wasser} = 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$V_{Wasser} = 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$	$V_{Wasser} = 10^3 \text{ m}^3/\text{d}$
$A_{Rn-222} = 5,5 \text{ Bq/l}$	$A_{Rn-222} = 5,5 \text{ Bq/l}$	$A_{Rn-222} = 5,5 \text{ Bq/l}$	$A_{Rn-222} = 5,5 \text{ Bq/l}$
Ausgasung: $\eta [/] = 0,5$	$\eta [/] = 0,5$	$\eta [/] = 0,01$	$\eta [/] = 0,01$

- **A1**: 70 h Aufenthalt mit $3 \cdot 10^4 \text{ Bq/m}^3 \rightarrow$ Grenzwert 6 mSv erreicht \rightarrow Anzeige
- **A4**: Mehr als 2000h Aufenthalt zur Erreichung von 6 mSv/h möglich

Natürliche Radionuklide in Umweltmedien

Die große Variabilität der natürlichen Strahlenexposition:

	Mittel mSv/a	Typischer Bereich mSv/a	
D:	2,1	1-6	
M-V:	2,4	1-4	
Finnland:	1	1-10	(auch deutlich mehr)
Welt:	2,4	1-10	
Extreme:			
Guarapari(Bra.):	440	-	(8760 h bei 50 μ Sv/h)
Kerala(Ind.):	-	2 - 36	
Ramsar(Iran):	-	8 - 240	
Jachimov(Tsch.)	-	4 - 150	(Auf der Straße)

Quelle: R. Michel, u.a. ...