

Zur Kenntnis von [²¹⁹, ²²⁰, ²²² Rn] Radon im Wohnbereich

Robert J. Schwankner

Sonderdruck aus arcus 1986 □ 6

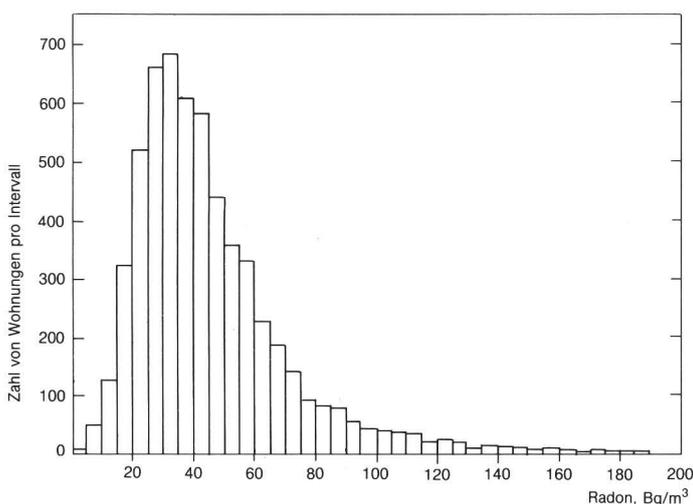
Institut für internationale Architektur-Dokumentation GmbH · Franz-Joseph-Straße 9 · D-8000 München 40

Baustoffe	Probenanzahl	Kalium 40 (Bq/kg)	Radium 226 (Bq/kg)	Thorium 232 (Bq/kg)
Natursteine:				
Granit	32	1000 (600–4000)	100 (30–500)	80 (50–200)
andere Erstarrungsgesteine	21	<400 (<10–900)	<40 (<10–200)	<40 (<10–300)
Tuff, Bims	20	1000 (500–2000)	100 (<20–200)	100 (30–300)
Schiefer	8	900 (500–1000)	40 (30–70)	50 (40–70)
Kalkstein, Marmor	20	40 (<40–200)	<20 (<10–<30)	<20 (<4–<20)
Sandstein, Quarzit	18	500 (<40–1000)	<30 (<20–70)	<30 (<20–70)
Sonstige Natursteine	4	1000 (<40–2000)	<40 (20–50)	<50 (<20–80)
Mauersteine usw.:				
Ziegel, herkömmliche Art, ohne Zusätze	109	600 (100–3000)	60 (20–100)	70 (<20–200)
Rotschlammsteine*	23	300 (<40–1000)	300 (<20–2000)	200 (7–700)
Schamotte, zementgebundene Steine oder Betonsteine	9	400 (200–600)	60 (20–100)	80 (40–200)
Bims-Zuschlag	48	900 (500–2000)	80 (20–200)	90 (30–300)
Ziegelsplitt-Zuschlag	3	500 (400–600)	40 (30–70)	60 (30–100)
Blähton-Zuschlag	17	400 (40–700)	<30 (<20–80)	<30 (<20–60)
Schlacke-Zuschlag	9	500 (300–1000)	100 (20–700)	100 (20–200)
Holz-Zuschlag	5	70 (<40–200)	<20 (<7–40)	<10 (7–<20)
natürlicher Zuschlag	4	200 (70–400)	<20 (<20–30)	<30 (<20–30)
Kalksandsteine, Gasbeton	31	200 (40–800)	<20 (<7–80)	<20 (<7–60)
Asbestzement	7	70 (<40–300)	<20 (<20–40)	<20 (<20–40)
Zuschläge und Zusätze:				
natürlicher Sand und Kies	50	300 (<40–700)	<20 (<4–30)	<20 (<4–60)
Blähton und Blähschiefer	11	600 (70–800)	<40 (<20–70)	70 (30–90)
Hochofenschlacke	12	500 (200–1000)	100 (40–200)	100 (30–300)
Flugasche	28	700 (300–1000)	200 (80–400)	100 (60–300)
Bindemittel:				
Portlandzement	14	200 (100–700)	<30 (10–50)	20 (10–40)
Hüttenzement	3	100 (<40–200)	60 (20–100)	80 (30–200)
Tonerdeschmelzzement	2	<40	200 (100–200)	200 (100–200)
Kalk	8	200 (<40–600)	<30 (<7–60)	<20 (<7–50)
Naturgips	23	70 (<40–200)	<20 (<4–70)	<10 (<4–10)
Chemiegips				
(Apatit)	2	<40	60 (40–70)	<20
(Phosphorit)	33	<100 (<40–300)	600 (300–1000)	<20 (<4–100)
(Rauchgasentschwefelung)	7	<20	<10 (<8–70)	<10
sonstige Bindemittel	1	70	<20	<20
Fertigmörtel, Fertigputz	9	300 (<40–500)	30 (<4–100)	<30 (<4–100)
Bitumen, Teer	4	100 (40–300)	<20	<20
Rohstoffe:				
Bauxit, Rotschlamm	14	400 (<10–1000)	<200 (<20–800)	400 (50–1000)
Ton und Lehm	11	1000 (300–2000)	<50 (10–90)	90 (30–200)

* = keine Produktion, sondern Versuchsprogramm

Tab. 2: Aktivitätskonzentration natürlicher Radionuklide in Baustoffen.

Table 2: Activity of natural radionuclides in building materials.



2 Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Wohnungen der Bundesrepublik Deutschland.

2 Distribution of radon concentration in FRG flats.

arme Seeluft auftritt und zum anderen durch die unterschiedliche Bodenbeschaffenheit. Neben der geologisch determinierten Exhalationsrate von Radonisotopen spielen auch meteorologische Faktoren, wie Niederschläge, Luftdruck und Wind eine Rolle.

Als Radonquellen in Wohnhäusern kommen zum einen Baumaterialien und zum anderen – je nach Bodenbeschaffenheit – der Untergrund in Betracht. Tabelle 2 ist dem 1983 erschienenen Bericht »Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung« des BMI entnommen und zeigt neben dem Anteil an natürlichem [⁴⁰K] Kalium die Aktivitätskonzentration von [²²⁶Ra] Radium, dem Verläufer von [²²²Rn] Radon (in der mit [²³⁸U] Uran beginnenden (4n + 2)-Zerfallsreihe) und [²³²Th] Thorium in Baustoffen [6].

Für die aktuelle Konzentration von [^{220, 222}Rn] Radon, welche starken räumlichen und zeitlichen Schwankungen unterworfen sein kann, spielen Lüftungsgewohnheiten in Wohnräumen eine dominierende Rolle. Mit sinkender Luftaustauschrate baut sich eine zunehmende Radonkonzentration und damit einhergehend eine steigende inhalatorische Belastung auf.

Nicht nur der Gehalt an Radon-Generator-Nukliden in Baustoffen ist für die Aktivitätskonzentration in der Atemluft entscheidend, sondern das entstandene Edelgas muß auch die Möglichkeit haben, durch Poren, Risse und Durchführungen (z. B. im Fundament) in die Luft der Innenräume zu gelangen. Naturgesetzlich ergibt sich dabei, daß das wesentlich kurzlebige [²²⁰Rn] Radon gegenüber [²²²Rn] Radon bei der Diffusion aus Baumaterialien im Nachteil ist.

Die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentrationen in Wohnräumen (Abb. 2 [6]) der Bundesrepublik Deutschland läßt sich mit einer logarithmischen Normalverteilung annähern, der Medianwert beträgt 40 Bq/m³. Etwa ein Prozent der vermessenen Wohnungen weisen eine Aktivitätskonzentration von \geq 220 Bq/m³ auf. Die internationale Strahlenschutzkommission ICRP empfahl 1984 als tolerierbare Grenze für Radonkonzentrationen in Altbauten 200 Bq/m³, sowie 100 Bq/m³ für Neubauten [16]. Im Mittel höhere Werte wurden bei Fachwerkhäusern, speziell bei den Baustoffkombinationen Lehm/Holz und Naturstein aufgefunden. Die Bauweise dieser überwiegend vor 1900 entstandenen

Häuser (Natursteinkeller, Natursteinböden) begünstigt den Radonübertritt vom Erdreich in die Raumluft. Die höchsten Radonkonzentrationen innerhalb eines Hauses wurden – unabhängig von der Bauweise – im Keller aufgefunden. In systematischen Belüftungsexperimenten konnte gezeigt werden, daß die Raumaktivität bei behindertem Luftaustausch stark zunimmt [7].

3 Strahlenbelastung

3.1 Konzepte der Dosimetrie

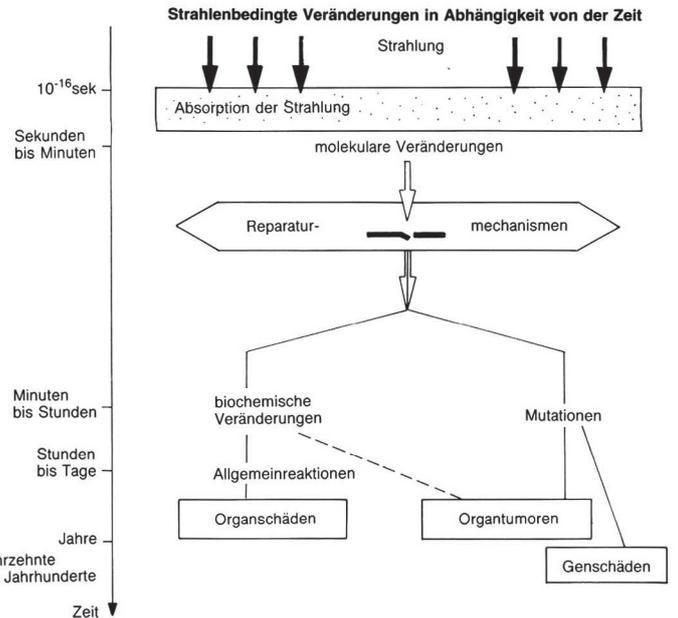
Seit dem Einsatz ionisierender Strahlen (Röntgen-, Kern-Strahlung) ist der Versuch unternommen worden, eine Quantifizierung ihrer Wirkung vorzunehmen (vgl. z. B. [8]). Ausgangspunkt ist dabei immer die physikalische Ebene des Geschehens im Absorber. Kernstrahlung, ob sie nun in Form von Korpuskeln (α -, β -Teilchen) oder elektromagnetischer Strahlung (γ -Quanten) auftritt, ist in der Regel mit sehr hohen Energien (einige MeV¹) behaftet und vermag somit bei ihrer Wechselwirkung mit Materie eine *Vielzahl* von Atomen zu ionisieren, bzw. chemische Bindungen zu lösen, ein Ereignis, wozu typischerweise nur einige 10 eV benötigt werden.

An den trägeheitslosen Absorptionsprozeß schließen sich z. B. im komplexen System einer Zelle im Organismus (mit Zeitkonstanten im Sekunden-Minuten-Bereich) molekulare Veränderungen an [9]. Werden diese in ihrer Zahl nicht von den Reparaturmechanismen, die das seit dem Beginn der Evolution der kosmischen Strahlung ausgesetzte Leben entwickelt hat, aufgefangen, kommt es schließlich zu biochemischen und biologischen Manifestationen, was zu somatischen und genetischen Strahlungsschäden führen kann (Abb. 3 aus [9]).

Die beobachtete Strahlenwirkung auf der komplexen Ebene zellulärer Vorgänge ist dann durch eine Reihe unterschiedlicher Faktoren beeinflusst, wobei jedoch die Parameter Strahlenart, -energie sowie die Höhe der wirksam gewordenen Dosis eine Hauptrolle spielen (vgl. Abb. 4 aus [10]). Für die Festlegung der biologisch relevanten Dosis

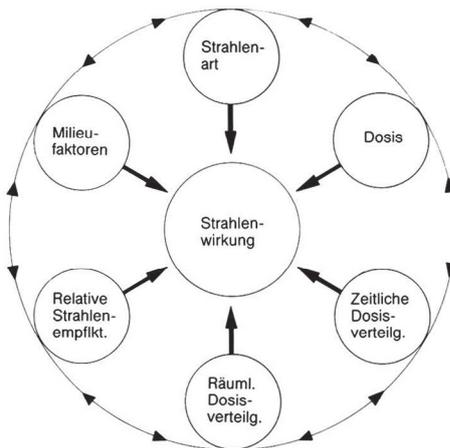
3 Ebenen der Strahlenwirkung.

3 Levels of radiation effects.

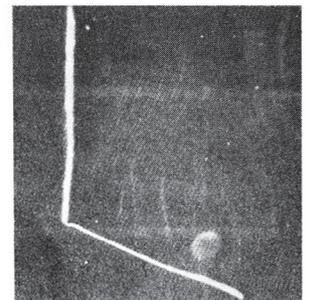


4 Einflußgrößen der Strahleneinwirkung auf zellulärer Ebene.

4 Parameters which influence effects of radiation on cellular level.



5 Nebelkammer – Spuren des sukzessiven zweifachen Alphazerfalls vom ²²⁰Rn Radon.



5 α -tracks of ²²⁰Rn decay in cloud-chamber.

(Äquivalentdosis) ist jedoch nicht allein die Höhe der im Absorber (z. B. Körperzelle) durch Strahlung deponierten Energie entscheidend, sondern die Tatsache, ob es sich um eine locker (β , γ) oder dicht (α) ionisierende² Strahlenart handelt.

Abbildung 5 belegt dies anhand einer Nebelkammeraufnahme des Zerfalls von injiziertem ²²⁰Rn Radon. Dieses Isotop zerfällt unter Aussendung eines α -Partikels ($\approx 6,3$ MeV) in ²¹⁶Po Polonium mit einer Halbwertszeit von 55,6 s, welches sich seinerseits mit einer Halbwertszeit von 0,15 s unter α -Emission ($\approx 6,8$ MeV) in ²¹²Pb Blei umwandelt. Die Bahnsuren in der Nebelkammer, welche nur wenige cm lang sind, zeigen einen V-förmigen Verlauf, welcher auf diesen sukzessiven Zerfall unter Emission zweier α -Teilchen hinweist. Außerdem zeigt sich die hohe Ionisationsdichte im Absorber Luft (einige 10000 Ionenpaare/cm Luftweg) [11].

Um der hohen biologischen Wirksamkeit, und damit der hohen Ionisationsdichte der α -Strahlung gerecht zu werden, wird die absorbierte Energiedosis³ mit dem dimensionslosen Bewertungsfaktor 20 multipliziert.

Es resultiert die sogenannte *Äquivalentdosis*⁴, welche besonders geeignet ist die Inkorporation α -strahlender Nuklide (z. B. *Radon-Folgeprodukte*) zu beschreiben. Ihre SI-Einheit ist 1 Sievert (Sv) = 1 J/kg. Häufig wird jedoch noch von der – inzwischen veralteten – Einheit rem (roentgen equivalent man) Gebrauch gemacht, wobei für die Umrechnung gilt 1 rem = 1 cSv.

3.2 Belastung durch ^{220, 222}Rn Radon

Es stellt sich nun die Frage, mit welcher Organ-Äquivalentdosis für die Lunge zu rechnen ist, wenn man annimmt, daß in Wohnräumen ungehemmte (z. B. durch Farblacke, bzw. Kunststofftapeten [12]) Radonexhalation erfolgt. Wie oben er-

1 1 eV = 1,602 × 10⁻¹⁹J

2 d. h. wenige bzw. viele Ionisationsakte pro Wegelement im Absorber

3 1 Joule/kg = 1 Gray (Gy)

4 1 Joule/kg = 1 Sievert (Sv)

wähnt, ist von einem Medianwert von 40 Bq/m^3 auszugehen. Den entsprechenden Berechnungen, auf die nicht im einzelnen eingegangen werden kann [3], liegt zugrunde, daß wir uns etwa 80% unserer Zeit in Häusern aufhalten. Man erhält eine mittlere Lungendosis von $\approx 8 \text{ mSv/a}$ (800 mrem/a). Damit ist die Lunge mit Abstand dasjenige Organ des menschlichen Körpers, das der höchsten Strahlenexposition ausgesetzt ist.

Das Radon-Problem unserer zivilisationsbedingten Lebensweise (Aufenthalt in Häusern, geringe Lüftungsrate, Energie sparen!) ist im Hochdosisbereich durch epidemiologische Untersuchungen bei Berg- bzw. Uranbergarbeitern studiert worden, wobei eine Zunahme der Lungenkarzinomrate beobachtet wurde [13]. Will man nun den Organ-Dosiswert in Bezug zur gesamten (natürlichen und zivilisatorischen) Strahlenbelastung des Menschen setzen, so ist auf der Basis des Konzepts der effektiven Äquivalentdosis vorzugehen [8].

Die einzelnen Organdosen werden mit dem Bewertungsfaktor w_T (siehe Tabelle 3) multipliziert, der die Strahlenempfindlichkeit der *einzelnen* Organe in Bezug auf ihre karzinogene Wirkung (bzw. – bei den Gonaden – genetische Wirksamkeit) erfaßt und aufsummiert. Im Falle der Lungenbelastung durch Radon (Lungen- und Bronchialepithel) tragen also $\approx 1 \text{ mSv}$ (100 mrem) im Mittel zur sogenannten effektiven Äquivalentdosis bei (vgl. Abb. 6 [3]). Ein nennenswerter Anteil der Strahlenbelastung des Menschen geht somit auf den Aufenthalt in Häusern zurück und ist durch die Lebensgewohnheiten bestimmt.

6 Strahlenexposition des Menschen auf Basis des Konzepts der effektiven Äquivalentdosis.

6 Human radiation exposure.

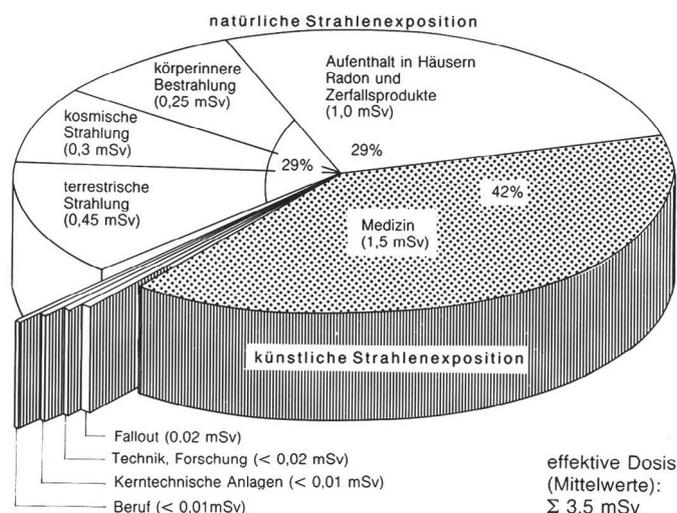
Tab. 3: Wirkungsfaktoren w_T zur Ermittlung der effektiven Äquivalentdosis (ICRP-26).

Table 3: Balancing factors for determination of effective exposure.

	w_T
Keimdrüsen	0,25
Brustdrüse	0,15
rotes Knochenmark	0,12
Lunge	0,12
Schilddrüse	0,03
Knochen (Endost)	0,03
übrige Organe	0,30
	1,00

Aus aktuellem Anlaß ist anzumerken, daß die in Abb. 6 dargestellte jährliche effektive Äquivalentdosis im ersten Folgejahr der Havarie in der Ukraine, d. h. also von Mai 86 bis April 87 um $\approx 1,2 \text{ mSv}$ (120 mrem)⁵ erhöht ist. Nach dem Abklingen der kurzlebigen Iod-Isotope, die aus Tschernobyl auf dem Luftweg eingetragen wurden, schlägt diese Belastung im zweiten und in den folgenden Jahren mit deutlich kleineren

5 rein rechnerischer Maximalwert bei konservativer Abschätzung.



Werten zu Buche [14], man rechnet mit einer *50-Jahresfolgedosis* von $\approx 5 \text{ mSv}^4$. Eine weitere Quelle der inhalatorischen Lungenexposition durch Radionuklide stellt im übrigen Zigarettenrauch dar. Die Tabakpflanze reichert aufgrund der Omnipräsenz von Uran Glieder der entsprechenden $(4n + 2)$ -Zerfallsreihe (^{226}Ra) Radium und damit ^{210}Pb Blei, ^{210}Po Polonium) an, welche durch den Rauch in der Lunge wirksam werden. Bei mittlerem Zigarettenkonsum ist mit einer *zusätzlichen* Lungenbelastung in der Größenordnung des Radon-Problems in der Wohnraumluft zu rechnen [15].

Die Inhalation von Radon-Isotopen und die damit einhergehende erhöhte Strahlenbelastung stellt einen beachtenswerten Beitrag zur zivilisatorischen Belastung des Menschen dar und man sollte ausgewogene Maßnahmen zu ihrer Reduktion im Auge behalten.

Literatur

- [1] Schwankner, R. J., Radiochemie-Praktikum, UTB 1068, Schöningh, Paderborn-München-Wien-Zürich, 1980
- [2] Veil, R., Th. Franke, F. Schales, Vorkommen natürlicher Radionuklide im Boden in: Die natürliche Strahlenexposition des Menschen, Hrsg. K. Aurand et. al., Thieme, Stuttgart, 1974
- [3] Jacobi, W., H. G. Paretzke, U. H. Ehling, Strahlenexposition und Strahlenrisiko der Bevölkerung, GSF S-710, Neuherberg, 1981
- [4] Schwankner, R. J., M. Eiswirth, F. Weigel, V. Wishnevsky: Electrostatic Radionuclide Separation, J. chem. educ. **59**, 608–611 (1982)
- [5] Urban, M., H. Kiefer, Strahlenbelastung durch Radon in Wohnhäusern in: Strahlung und Radionuklide in der Umwelt, AGF, Bonn 1984, S. 13–15
- [6] Der Bundesminister des Inneren, Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 1983, Bonn 1983
- [7] Schwankner, R. J., bisher unveröffentlichte Resultate

- [8] Löster, W., Dosimetrie und Strahlenexposition in: Themenheft (Kern- und Radiochemie), Hrsg. Schwankner R. J., W. E. Glöckner, Praxis (Chemie) **34** (7/1986)
- [9] Lissner, J., Th. Vogl: Klinische Befunde zur Strahlenwirkung bei Unfällen und in der Strahlentherapie, GPA-Vortragsmanuskript, München (1984)
- [10] Feinendegen, L. E., A. Feldmann, E. Münch, M. Paschke, Strahlenschutz, Radioaktivität und Gesundheit, Hrsg. StMLU, München 1985
- [11] Schwankner, R. J., M. Eiswirth: Alpha-Zerfall in einer kontinuierlichen Nebelkammer – Zusammenhang zwischen Zerfallskonstanten und Energie MNU **39**, 139–145 (1986)
- [12] Martin, J., Freisetzung von Radon aus Baustoffen und Baugrund, Gesundheits-Ingenieur-Haustechnik-Bauphysik-Umwelttechnik **106**, 141–143 (1985)
- [13] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR): Sources and Effects of Ionizing Radiation, Vereinte Nationen, New York 1977

- [14] GSF, Umweltradioaktivität und Strahlenexposition in Südbayern durch den Tschernobyl-Unfall, Bericht des Instituts für Strahlenschutz der Gesellschaft für Strahlen- und Umweltforschung, GSF 16/86, Neuherberg (1986)
- [15] Little, J. B., A. R. Kermedy, R. B. McGandy, Lung Cancer Induced in Hamsters by Low Doses of Alpha Radiation from Polonium-210, Science **188**, 737–739 (1975)
- [16] Annals of ICRP, Statement from the 1983 Washington Meeting of the ICRP, CRP Publication 39, Principles of Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation 14/1, 1984

Weiterführende Literatur

- Rausch, L., Mensch und Strahlenwirkung, Piper, München-Zürich 1982
- Laskowski, W., Biologische Strahlenschäden und ihre Reparatur, Strahlenschutz in Forschung und Praxis, Bd. XXV, Thieme, Stuttgart-New York 1985
- Lüscher, E. (Hrsg.): Kernenergie und Kerntechnik, Vieweg, Braunschweig 1982