



Radon (^{222}Rn) bei der Grundwassergewinnung



PIEWAK & PARTNER GmbH
Ingenieurbüro für Hydrogeologie und Umweltschutz

Jean-Paul-Straße 30
95444 Bayreuth

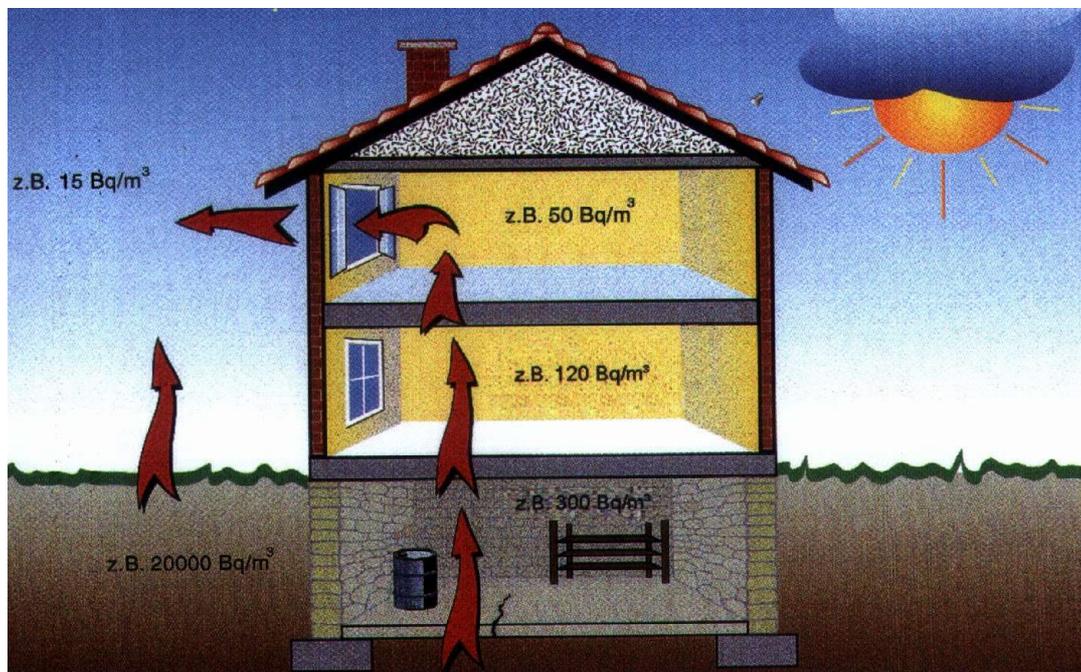
Telefon: 0921/5070360 • Telefax: 0921/50703610
E-Mail: info@piewak.de • Internet: www.piewak.de



Eigenschaften des Radons

Das gasförmige Radon verteilt sich in Luft schnell und gleichmäßig. Der Diffusionskoeffizient in Luft beträgt $0,1 \text{ cm}^2/\text{s}$. Dagegen sind die langlebigen festen Radonfolgeprodukte Polonium-210 und Blei-210 meist an Aerosole gebunden.

Radon wirkt auf Lunge und Bronchien, gelangt aber nicht in den Stoffwechsel des Körpers. Radon-222 reichert sich vor allem in Innenräumen an. Relativ hohe Werte resultieren aus Naturstoffen als Baumaterialien wie Bruchstein oder Bims. Die radioaktive Eigenstrahlung des menschlichen Körpers beruht größtenteils auf der Einatmung von Radon-222.



Radon in der Raumluft

In die Raumluft von Häusern gelangt Radon über zwei Wege: aus radiumhaltigen Baustoffen und aus dem Untergrund.

Das Radon aus dem Boden kann durch Risse und Fugen im Fundament, Kabel- und Rohrdurchführungen sowie Abwasserrohrentlüftungen in Kellerräume einströmen. Meist baut sich im Haus ein Luftdruckgefälle auf, welches zu einem konvektiven Radon-Transport vom Boden in die Raumluft führt. Das eingeströmte Radon gelangt, zunehmend verdünnt, vom Kellergeschoß über Treppenaufgänge, Kaminschächte und Aufzüge in höhere Geschosse. Ob sich das Radon dann in den Räumen anreichert oder schnell wieder an die Außenluft abgegeben wird, hängt stark von der Dichtigkeit der Fenster sowie den Lüftungsgewohnheiten der Hausbewohner ab.



Radon als natürliche Strahlenquelle in der Umwelt

Die Umweltradioaktivität, der der Mensch ausgesetzt ist, setzt sich aus der terrestrischen Strahlung der Erde und der kosmischen Strahlung, die aus dem Weltall auf die Erde trifft, zusammen. Da Radon ein Zerfallsprodukt innerhalb der Uran-Radium-Reihe darstellt, ist es immer in der Umgebung enthalten. Gelangt das Edelgas ^{222}Rn in die Raumluft, kann das zu einer Inneren Strahlenexposition der sich im Raum befindlichen Menschen durch Inhalation von ^{222}Rn führen.

Eine Bewertung der Radonexposition erfolgt in der Regel durch die Bestimmung der effektiven Dosis für die betroffenen Personen.

Natürliche Strahlenquellen

Werte der mittleren effektiven Dosis in Deutschland

Angaben in Millisievert pro Jahr (mSv/a)

Kosmische Strahlung
0,3 mSv/a
Radon in Atemluft:
1,4 mSv/a

Gesamt:
2,4 mSv/a

Nahrung:
0,3 mSv/a

Terrestrische Strahlung:
0,4 mSv/a

Abb.: Natürliche Strahlenquellen in Deutschland - Anteil der durchschnittlichen Radon-Exposition an der mittleren effektiven Dosis

Mittlere Konzentration in der Raumluft:

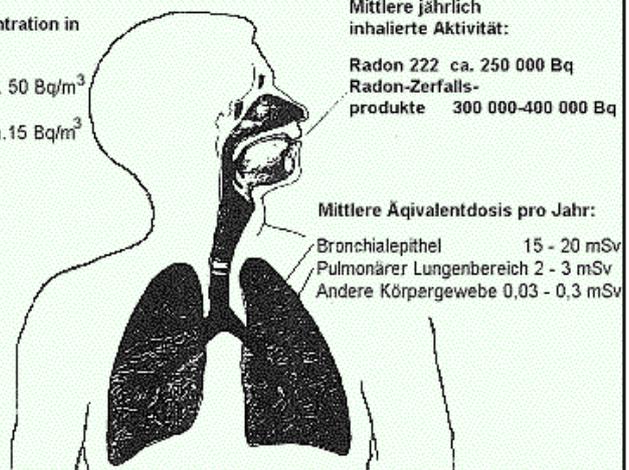
Radon 222 ca. 50 Bq/m³
Radon-Zerfallsprodukte ca. 15 Bq/m³

Mittlere jährlich inhalierte Aktivität:

Radon 222 ca. 250 000 Bq
Radon-Zerfallsprodukte 300 000-400 000 Bq

Mittlere Äquivalentdosis pro Jahr:

Bronchialepithel 15 - 20 mSv
Pulmonärer Lungenbereich 2 - 3 mSv
Andere Körpergewebe 0,03 - 0,3 mSv





Strahlenschutz-Begriffe

Der Parameter Dosis

Der Parameter Dosis oder genauer Äquivalentdosis, angegeben in Sievert (Sv), wird im Strahlenschutz als Maß für die Strahlenexposition zur Bewertung der Schädigung des menschlichen Körpers durch radioaktive Strahlung verwendet. Als effektive Dosis wird dabei die anhand der unterschiedlichen Strahlenempfindlichkeit des menschlichen Gewebes gewichtete Äquivalentdosis bezeichnet.

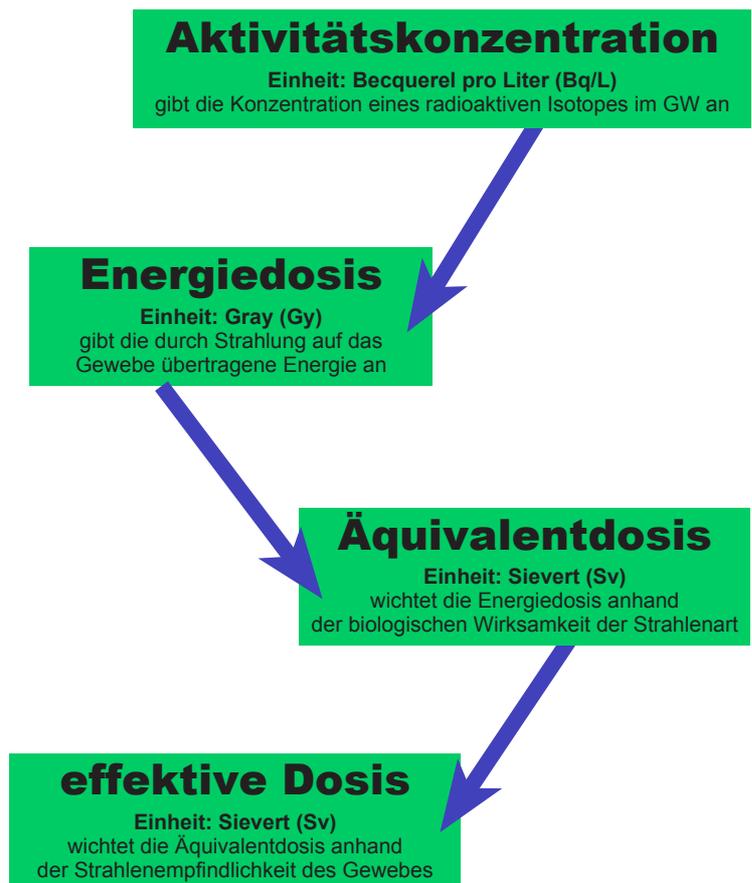


Abb.: Zusammenhang zwischen Aktivität, Energiedosis, Äquivalentdosis und effektiver Dosis zur Bewertung des Strahlenrisikos

Der Mittelwert der effektiven Dosis durch terrestrische Strahlung für die Bevölkerung in Deutschland liegt bei ca. 0,3 mSv/a.

Dosisberechnungen

Die effektive Dosis berechnet sich aus der Aktivitätskonzentration durch Wichtung mit radiometrischen Faktoren (Dosisfaktoren), die ihrerseits unter Verwendung von strahlenbiologischen und epidemiologischen Daten berechnet wurden. Im Gegensatz zur Aktivitätskonzentration werden damit verschiedene Expositionspfade und verschiedene Arten von ionisierender Strahlung miteinander vergleichbar. Aufgrund der unterschiedlichen strahlenbiologischen Wirkung für Personen verschiedener Altersgruppen, muss bei der Berechnung der effektiven Dosis das Alter der exponierten Personen berücksichtigt werden.



Radon bei der Wassergewinnung

Werden bei der Wassergewinnung Verfahren zur Trinkwasseraufbereitung eingesetzt, so ist in erster Linie das Personal im Wasserwerk einer möglichen Gefahr durch eine Exposition von Radon-222 in der Raumluft ausgesetzt. Des Weiteren fallen bei der konventionellen Trinkwasseraufbereitung wie Enteisenung/Entmanganung, Teilenthärtung und Flockung Schlämme an, in denen sich die radioaktiven Stoffe angereichert haben und daher einer speziellen Entsorgung zugeführt werden müssen.

*Abb.: Quellen und Senken von Radon
in Wassergewinnungsbetrieben*

Quellen	Geogen bedingte ^{222}Rn -Gehalte im geförderten Rohwasser
	Zutritt radonhaltiger Luft bei der Belüftung des Rohwassers
	^{222}Rn aus dem Zerfall von an Filtermaterial bzw. Wandungen gebundenem ^{226}Ra
	Eintrag von ^{222}Rn als Spurenbestandteil bei Karbonisierung
	^{222}Rn aus dem Zerfall von im Rohwasser gelöstem ^{226}Ra
Senken	Radioaktiver Zerfall von ^{222}Rn (Halbwertszeit 3,82 Tage)
	Ausgasungen aus dem Rohwasser (z.B. bei Vakuumentgasung, Verdüsung oder Mischung)
	Rückhaltung von ^{222}Rn am Filtermaterial
	Austragung von ^{222}Rn mit dem Spülwasser

Radon: Rechtliche Grundlagen im Hinblick auf die Wassergewinnung

In der novellierten StrlSchV werden für Wassergewinnungsbetriebe Anzeige- und Grenzwerte der effektiven Dosis festgelegt. Gemäß §95 ("Natürlich vorkommende radioaktive Stoffe an Arbeitsplätzen"), Absatz 2 ist der zuständigen Behörde Anzeige zu erstatten, wenn eine effektive Dosis von 6 mSv im Kalenderjahr überschritten wird. Bei Radonexpositionen gilt dieser Dosiswert als überschritten, wenn das Produkt aus ^{222}Rn -Aktivitätskonzentration und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 2 Mio Bq·h/m³ überschreitet. Bei einer Dosis von 6 mSv pro Jahr müssen Maßnahmen zur Verringerung der Dosis ergriffen werden, wie z.B. Belüftungsmaßnahmen oder Reduzierung des Aufenthalts in hochbelasteten Räumen. Nach §95, Absatz 3 darf die effektive Dosis 20 mSv im Kalenderjahr keinesfalls überschreiten. Bei Radonexpositionen gilt dieser Grenzwert als überschritten, wenn das Produkt aus ^{222}Rn -Aktivitätskonzentration am Arbeitsplatz und Aufenthaltszeit im Kalenderjahr den Wert von 6 Mio Bq·h/m³ überschreitet.



Analytische Bestimmung der Aktivitätskonzentrationen

Zur Bestimmung der Radonaktivität dienen verschiedene Verfahren und Geräte, mit welchen entweder der Gehalt an Radon oder der seiner Zerfallsprodukte gemessen wird. Das Meßprinzip ist die Alphaspektrometrie. Flüssigproben werden mit Emanationsverfahren entgast. Bei einfachen Verfahren reicht in der Regel eine effektive Meßzeit von einigen Tagen in einer Wohnung aus. Die Konzentration in der Raumluft wird in Becquerel pro Kubikmeter angegeben. Dies entspricht der Anzahl der Kernumwandlungen pro Sekunde in einem Kubikmeter Luft.



Abb.: Radon-Meßgeräte:
Szintillationsmeßgerät mit mobiler
Emanationseinheit (links),
Personendosimeter (rechts)



Durchführung der Personen- und Ortsdosismessungen

Für die Ermittlung der Alphastrahlungs-Exposition (Radon-222-Aktivität in der Raumluft) werden Orts- und Personendosimeter verwendet. Der Meßzeitraum sollte aus Gründen der Repräsentativität der Meßergebnisse mindestens einen Monat betragen. Die Meßpunkte werden bei einer Ortsbegehung unter der Maßgabe festgelegt, möglichst alle Lokalitäten zu erfassen, an denen eine Anreicherung des Radon-222 in der Raumluft erfolgt und an denen das Personal somit einer möglichen Exposition ausgesetzt sein kann. Die Personendosimeter werden nur im zu prüfenden Bereich getragen und die jeweilige Aufenthaltszeit protokolliert. Die Aufbewahrung der Personendosimeter in der Nichttragezeit muss zusammen mit dem Referenzdosimeter an einer gut durchlüfteten Stelle, außerhalb des zu überwachenden Bereiches erfolgen.

Auswertung der Dosimetermessungen

Bei der Auswertung der Dosimeter wird das Produkt aus ^{222}Rn -Aktivitätskonzentration in der Luft und der Meß- bzw. Aufenthaltszeit für die Orts- und Personendosimeter gebildet. Daneben werden für Ortsdosimeter die ^{222}Rn -Aktivitätskonzentration der Luft in Bq/m^3 und für die Personendosimeter die effektive (Brutto)-Dosis in mSv pro Jahr ermittelt. Anhand der protokollierten Aufenthaltszeiten wird die Jahresdosis berechnet, die strahlenschutzrechtlich relevant ist. Die Arbeits- oder Aufenthaltszeit ist außerdem dann wichtig, wenn bei situationsbedingten Abweichungen in der Aufenthaltszeit einzelner Personen abgeschätzt werden muß, in welchem Maße die Radonexposition zu- bzw. abnimmt.



Entfernung von Radon aus dem Rohwasser

Für die Entfernung von Radon aus dem Wasser gibt es zwei Verfahren:

- Adsorption an Aktivkohle
- Gasaustausch durch Belüften

Bei dem ersten Verfahren wird das Radon an der Aktivkohle adsorbiert und so lange zurückgehalten, bis ein Großteil zerfallen ist. Es existiert eine Abhängigkeit von der theoretische Kontaktzeit, so dass sehr große Aktivkohlefilter, -bei entsprechendem Durchfluß- benötigt werden. Diese Aufbereitungstechnik ist also nur für kleine Wasserwerke, bzw. für Hausanlagen geeignet; es kann eine Dekontamination über 99% erreicht werden. Gleichzeitig mit der Radonadsorption werden auf der Aktivkohle auch die kurzlebigen gammastrahlenden Folgeprodukte zurückgehalten. Dies kann zu Problemen führen, weil in der Nähe des Filters eine starke gamma-Strahlung auftreten kann.

Radon hat eine hohe Henry-Konstante und kann deshalb sehr gut durch Strippen aus dem Wasser entfernt werden. Allein durch die Bevorratung von Wasser in offenen Behältern ist eine Abnahme des Radongehaltes zu erreichen. Eine Belüftung durch eine Füllkörperkolonne kann zu einer Dekontamination von über 99% führen, eine Blasenbelüftung hat dieselbe Effizienz. Werte von 70 - über 95% erreicht man durch das Versprühen des Wassers. Das ausgetriebene Radon muß abgeleitet werden, damit es zu keiner zusätzliche Exposition von Menschen kommt. Natürliche Radionuklide können durch die unterschiedlichsten Aufbereitungsprozesse aus dem Wasser entfernt werden, so dass man für jede Wasserqualität jeweils ein angepasstes Verfahren heraussuchen sollte. Eine Übersicht über die verschiedenen Methoden gibt die Tabelle 2 (D = Dekontaminationsgrad in %).

Radon		Radium		Uran	
Methode	D	Methode	D	Methode	D
Belüftung		Ionenaustauscher	81-99	Ionenaustauscher	90-100
Füllkörpersäule	>99	Umkehrosmose	>90-95	Kalk-Enthärtung	85-99
Blasenbelüftung	>99	Kalk-Enthärtung	80-92	Umkehrosmose	90-99
Versprühung	70-95	Elektrodialyse	90	Flockung u. Filtration	80-98
Aktivkohlefiltration	62-99	RSC	90-99	Aktiviertes Aluminiumoxid	90
		Grünsand	25-50		
		HMO-Filter	90		

Abb.: Zusammenfassung über die technischen Methoden und ihren Dekontaminationsgrad für natürliche Radionuklide aus dem Trinkwasser (AWWA 1993)

Entfernung von Radon aus der Raumluft

Für die Entfernung von Radon aus der Raumluft gibt es die Möglichkeit der Lüftung und die Möglichkeit der Abdichtung potenzieller Radon-Pfade. Des weiteren erfolgt eine Verminderung des Radongehaltes, wenn die Radionuklid-Quellen minimiert werden.