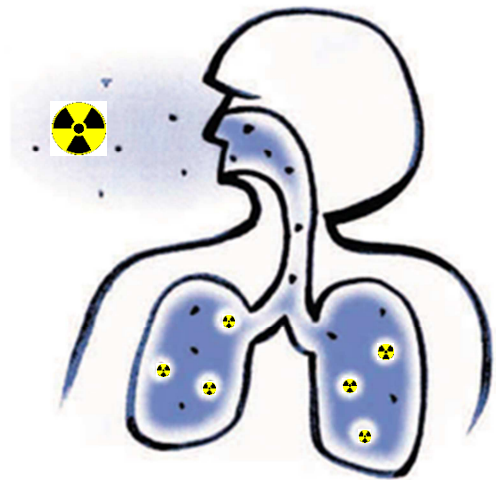


## Informationen zu Radon im Innenraum

Radon ist ein natürliches radioaktives Gas, welches sich in Wohnungen und Häusern anreichern kann. Durch die einwirkende Strahlung wird das Gesundheitsrisiko, insbesondere für Lungenkrebs, deutlich erhöht. Nach statistischen Schätzungen kommt es in Deutschland jährlich bereits zu knapp 2000 zusätzlichen Lungenkrebstoten durch Radon bei der mittleren Radonkonzentration von ca. 50 Bq/m<sup>3</sup> (Becquerel pro Kubikmeter) in der Raumluft. Damit ist das Radon nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs. Durch die Summe von Radonbelastung und Rauchen wird das Krebsrisiko um ein vielfaches erhöht. Das radioaktive Radon ist besonders gefährlich, da es als unsichtbares, geruch- und geschmackloses Gas direkt in die Lunge gelangt. Das Radon strahlt direkt in der Lunge, löst sich in Körperflüssigkeiten und verteilt sich im ganzen Organismus. Die anfallenden radioaktiven Folgeprodukte lagern sich an Feinstaub an und finden ebenso den Weg in den Körper.



Das gasförmige Radon (Rn-222) gelangt als natürliches Bodengas durch Diffusion aus dem Erdboden und/oder auffälliger Baumaterialien als ein Zerfallsprodukt des Radium (Ra-226) in die Luft. Das Edelgas sammelt sich meist **unter dem Haus** und dringt durch verschiedene Schwachstellen ein: Risse in Mauerwerk und Bodenplatte, Kabelkanäle und Rohrführungen, Lüftungs- und Lichtschächte. Durch diffusionsdichte Wände, Beschichtungen, Isolierverglasungen, Dampfsperren und mangelhafte Lüftungsgewohnheiten wird das Gas in den eigenen vier Wänden festgehalten. Einen sehr wichtigen Aspekt in Bezug auf die Wohnsituation stellt daher die Belastung durch Radon in Häusern dar. Es gibt hierfür im Wesentlichen folgende Ursachen:

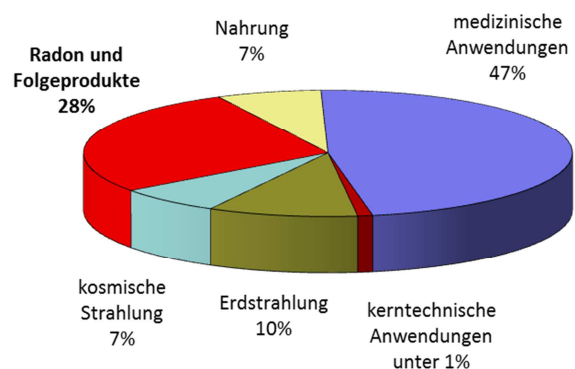
- mangelhafte Abdichtungen von Wohnräumen und Häusern zum Erdreich
- mangelhafte Lüftung von Wohnräumen und Häusern
- erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Mineralien in der Erde
- erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Baumasse

Erfahrungsgemäß gibt es im Winter bei geschlossenen Fenstern höhere Messwerte als im Sommer. Ausgehend von einem in deutschen Wohnräumen vorzufindenden Jahres-Mittelwert von ca. **50 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m<sup>3</sup>)** Radon in der Raumluft berechnet sich, dass der Körper mit einer effektiven Äquivalentdosisleistung von ca. **1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a)** belastet wird. Der höchste Anteil wird bei der Dosis durch die radioaktiven Folgeprodukte des Radons verursacht.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gibt für das Jahr 2011 nachfolgende Zahlenwerte für die effektive Dosis der radioaktiven Strahlenbelastung der deutschen Bevölkerung heraus. Es handelt sich hierbei um **Mittelwerte**, die jedoch relativ großen regionalen und individuellen Schwankungen unterliegen. Die Gesamtbelastung betrug demnach insgesamt durchschnittlich 4,0 Millisievert/Jahr. Dieser Wert war zu 52 % auf natürliche und zu 48 % auf künstliche zivilisatorische Strahlenquellen zurückzuführen.

### Durchschnittliche radioaktive Strahlenbelastung in Deutschland (2011)

effektive Dosis* pro Jahr	mSv/a	(%)
<b>natürliche Strahlenquellen:</b>	<b>2,1</b>	<b>52</b>
Erdstrahlung	0,4	10
kosmische Strahlung	0,3	7
<b>Radon und Folgeprodukte</b>	<b>1,1</b>	<b>28</b>
Nahrung	0,3	7
<b>zivilisatorische Strahlenquellen:</b>	<b>1,9</b>	<b>48</b>
medizinische Anwendungen	1,9	48
kerntechnische Anwendungen	< 0,1	< 1
<b>Gesamtbelastung 2011</b>	<b>4,0</b>	<b>100</b>



\* in Millisievert pro Jahr (mSv/a)

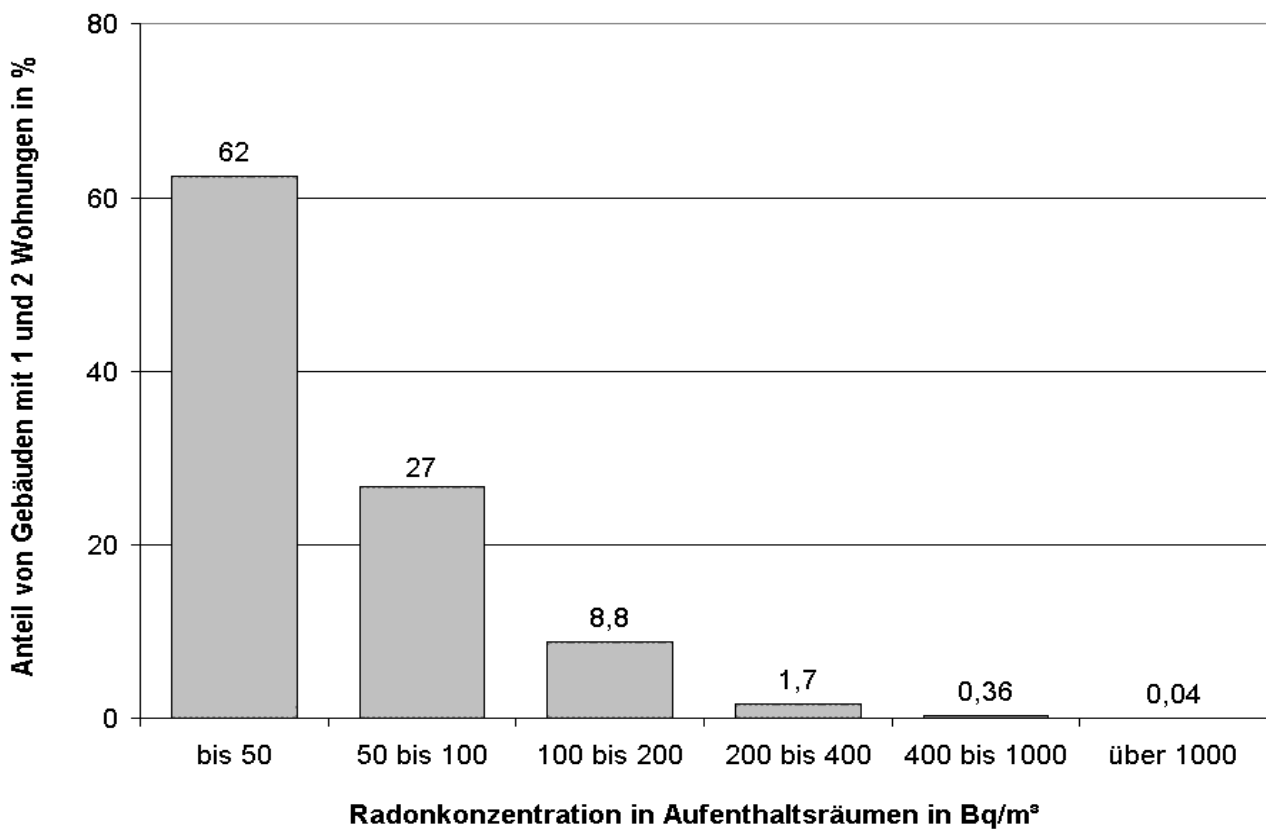


In etwa 1-2% der deutschen Wohnungen können jedoch Radonkonzentrationen über **250 Bq/m<sup>3</sup>** gemessen werden. Die nachfolgende Tabelle zeigt einen Überblick über die Radonkonzentration im Boden und in Innenraumbereichen in Deutschland.

Radonkonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden	Anzahl der Messwerte	Mittelwert	50. Perzentil (Median)	95. Perzentil	99. Perzentil
Messort		in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>	in Bq/m <sup>3</sup>
Bodenluft (1 m Tiefe)	1.781	36.000	25.000	104.000	154.000
Kellergeschoß	3.373	91	52	265	679
Erdgeschoß	10.692	53	39	129	292
1. Obergeschoß	5.994	43	34	102	177
Höhere Etagen	3.182	36	30	78	119

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2000)

**Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Gebäuden (über 44000 Messungen in Deutschland)**



Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz (www.bfs.de)

**Radon-Freisetzung aus dem Boden und aus der Baumasse**

Die Freisetzung aus dem Boden ist die häufigste Ursache für Radonauffälligkeiten in Innenräumen. Die Universität Bonn hat im Rahmen eines Forschungsprojektes eine Radonkarte (siehe nachfolgende Karte) für Deutschland erstellt. Hierbei wurden Luftproben aus einer Tiefe von jeweils 1 m entnommen. Es zeigen sich erhöhte und hohe Radon-Aktivitäten vor allem in Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und folgenden Gebieten:

- bayerischer Wald, Oberpfalz, Fichtelgebirge, Thüringer Wald, Erzgebirge, südlicher Schwarzwald (u.a. durch granitische Gesteine, vulkanische Gesteine)
- Vogtland, Sauerland (u.a. durch Schwarzschiefer)
- nördliches und östliches Schleswig-Holstein (durch nordische Gletschergesteine)
- einzelne eng begrenzte Gebiete in Mittel- und Süddeutschland



Die Korrelationen mit den Innenraummessungen der Radonkonzentration sind recht gut. Während in 1 m Tiefe im Boden sehr hohe Konzentrationen von ca. 10.000 bis über 600.000 Bq/m<sup>3</sup> vorherrschen, liegen die Innenraumkonzentrationen häufig um den **Faktor 1000** niedriger. Ab ca. **20.000 Bq/m<sup>3</sup>** Bodenkonzentration kann daher bei ungünstiger Bauweise mit Radonauffälligkeiten in Häusern gerechnet werden. Das Bundesumweltministerium bereitete im Jahr 2004 ein **Radonschutzgesetz** vor, das Maßnahmen für Neu- und Altbauten unter dem Aspekt der Vorsorge regeln sollte. Hierfür wurden **Radonverdachtsgebiete** definiert, in denen aufgrund einer erhöhten Radonkonzentration im Untergrund mit erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden zu rechnen ist.

Einteilung der Radonverdachtsgebiete (Entwurf Radonschutzgesetz)

Klasse I:	20.000 Bq/m <sup>3</sup> bis 40.000 Bq/m <sup>3</sup>
Klasse II:	40.000 Bq/m <sup>3</sup> bis 100.000 Bq/m <sup>3</sup>
Klasse III:	über 100.000 Bq/m <sup>3</sup> Radon in der Bodenluft

Bei Neubauten (Planung) sind dabei entsprechend den Verdachtsgebieten I, II, III bauliche Schutzmaßnahmen der Klasse I, II, III zu berücksichtigen. Die Planung hat so zu erfolgen, dass möglichst **100 Bq/m<sup>3</sup>** nicht überschritten werden. Dies gilt für alle Neubauten. In bestehenden Gebäuden in Radon-Verdachtsgebieten der Klasse III ist grundsätzlich mit Radonkonzentrationen von mehr als **100 Bq/m<sup>3</sup>** zu rechnen.

Eher seltener anzutreffen sind erhöhte Innenraumkonzentrationen von Radon ausgehend von **Baustoffen** oder Einrichtungsgegenständen. Wenn jedoch radiumhaltige Materialien eingesetzt wurden, kann es schnell zu Extremwerten (im Jahresmittel deutlich über 1000 Bq/m<sup>3</sup>) kommen. Besonders auffällig können hierbei z.B. folgende Materialien in Erscheinung treten: Chemiegips (Phosphorit), Blau-Beton (nordischer Leichtbeton mit bis zu 5000 Bq/kg Uran-238), Schlackenstoffe als Dämmschüttung in Decken (Verarbeitungsrückstände uranvererzter Steinkohlen), Naturbims, Uranglasierte Farben, Fliesen und Leuchtziffern, Baustoffe aus uranhaltigem Schwarzschiefer, großflächig eingesetzte Baustoffe mit Radiumgehalten über 100 Bq/kg (Ra-226).

Bei den Materialien, die großflächig und raumseitig diffusionsoffen - also ohne Beschichtungen - eingesetzt werden, können neben Radon (Rn-222) auch **Thoron**-Konzentrationen (Rn-220) in die Innenraumluft gelangen. Thoron ist durch seine intensiven Alpha-Zerfälle in der Reihe seiner Zerfallsnuklide ebenfalls besonders kritisch zu betrachten. Thoron kann insbesondere bei radioaktiv auffälligem Granit (z.B. als Fußbodenbelag) in die Innenraumluft gelangen, aber auch stark Thorium-auffällige Baustoffe, Schlacken und evtl. Lehmputze können radioaktives Thoron (neben Radon) zu einem zusätzlichen Problem für den Innenraum werden lassen. Leider kann Thoron nicht über das einfache Aktivkohle-Messverfahren in der Raumluft bestimmt werden. Radioaktiv auffällige Baustoffe geben einen ersten Hinweis auf erhöhte Radon- oder Thoron-Exhalationsraten. Häufig sind auch die Gammadosisleistungen in solchen Häusern ebenfalls leicht bis stark erhöht. Dies muss jedoch nicht sehr deutlich in Erscheinung treten, da es hierbei sehr auf die lokale Verteilung innerhalb des Hauses und die Nuklidzusammensetzung in der Baumasse ankommt.

### Messung der Radonkonzentration

Bei der Messung der Radonkonzentration werden z.B. aufzeichnende und direktanzeigende elektronische Messgeräte verwendet oder spezielle Aktivkohledosen sowie Kernspurdetektoren als Passivsammler aufgestellt. Bei Radon werden Messungen vor Ort zur Quellensuche, Kurzzeitmessungen über einige Tage oder Aufzeichnungen sowie Langzeitmessungen über mehrere Wochen oder Monate durchgeführt. Für eine erste Bestimmung der Radonkonzentration in der Raumluft empfiehlt sich daher immer eine Mindest-Messzeit von ca. 3-7 Tagen in der Heizperiode einzuhalten.

Für genaue Bewertungsmessungen werden längere Aufzeichnungsphasen von 3 Monaten bis zu einem Jahr empfohlen. Im Sommer liegen die Radon-Innenraumkonzentrationen in der Regel um den Faktor 5 bis 10 niedriger als im Winter. Auch im Erdreich können jahreszeitlich bedingte deutliche Unterschiede der Radon-Bodengaskonzentrationen festgestellt werden, hier sind die Unterschiede jedoch deutlich geringer und liegen bei zirka Faktor 2 bis 3.

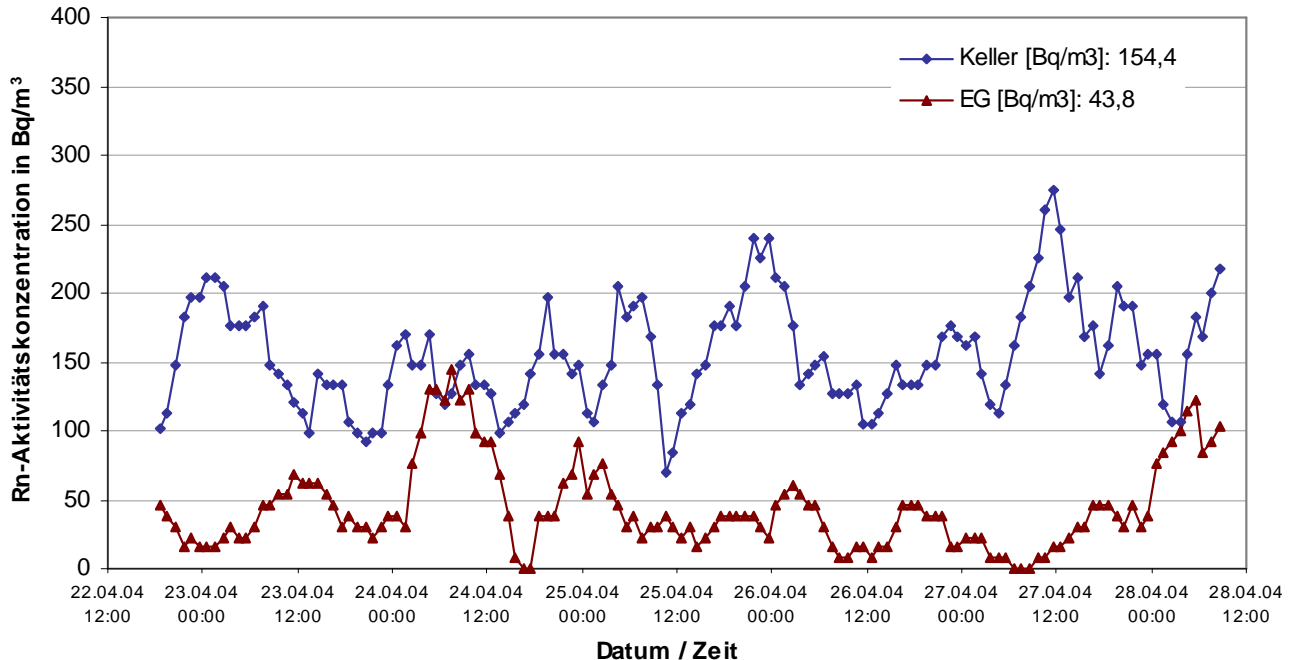


**DOSEman Radondosimeter**  
(Firma Sarad, Dresden)



Die folgende Grafik zeigt eine Simultan-Aufzeichnung der Radon-Konzentration in der Luft über 7 Tage in einem Wohnraum und im Keller. Hier zeichnet sich die zum Teil sehr stark schwankende Radonkonzentration in Häusern ab, die von Parametern wie Exhalation aus Boden und Baustoffen, Druck und Klimaschwankungen, natürliche Ventilation und Nutzerverhalten beeinflusst wird. Ergänzend zur den Radonmessungen in der Innenraumluft kommen auch Materialprüfungen (Radon-Exhalationsrate), Bodengasmessungen (mit Bodengassonde, empfohlene Tiefe: 80 - 100 cm) in Frage.

### Radon-Konzentration Simultanmessung



### Bewertung von Radonkonzentrationen im Innenraum

Das Umweltministerium legte im Jahr 2004 einen Entwurf eines Radonschutzgesetzes vor. Das Gesetz sollte Ende 2005 verabschiedet werden, es kam jedoch nicht durch den Bundesrat und durch den Bundestag. Darin enthalten ist/war ein Raumluft-Zielwert (Wunschwert) für Radon in Häusern von **100 Bq/m³**. Dieser Wert gilt derzeit als Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation WHO.

Auf der Basis neuer Erkenntnisse (Radonstudie 2004), die auch zum Entwurf zum Radonschutzgesetz geführt haben, liegt eine Stellungnahme der **Strahlenschutzkommission (SSK)** vor: "*Angesichts der statistisch gut abgesicherten Ergebnisse der europäischen Studie ist bei Entscheidungen über konkrete Maßnahmen zur Reduzierung von Radonkonzentrationen in Wohnungen auch der Bereich unterhalb von 250 Bq/m³ zu berücksichtigen.*" Durch einfache Maßnahmen, wie z.B. Änderung der Raumnutzung, Lüften oder Abdichten offensichtlicher Radon-Eintrittspfade, sollte ggf. eine Reduzierung der Radonkonzentration herbeigeführt werden. In Gebieten mit erhöhten Radon-Vorkommen empfiehlt die SSK, neue Häuser radongeschützt zu bauen.

Auf internationaler Ebene wurde im Dezember 2013 eine Neufassung der **EU-Basic Safety Standards (EU-BSS)** verabschiedet, in der erstmals Regelungen für die Begrenzung der Radonkonzentration in Gebäuden aufgenommen worden sind (siehe „Amtsblatt der Europäischen Union“). Für die nationalen Regelungen im Strahlenschutz werden sich hieraus wesentliche Änderungen ergeben. Vorgeschrieben sind **Referenzwerte** zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Wohnungen von maximal **300 Bq/m³** im Jahresmittel für Gebäude und ebenso 300 Bq/m³ für den Arbeitsplatz. Die Frist zur Umsetzung der Richtlinie in nationales Recht läuft am 6. Februar 2018 ab. Die Mitgliedstaaten sollen Gebäude Richtlinien einführen, um den Zutritt von Radon aus dem Boden und aus Baumaterialien zu verhindern. Die geforderten Messvorschriften für Luftmessungen und Materialprüfungen (Radon-Exhalation) sollen noch erarbeitet bzw. vereinheitlicht werden. Die bisherigen *Richtwerte* der EU waren als Empfehlungen zu verstehen, die *Referenzwerte* werden dann einen deutlich verbindlicheren Charakter und mehr juristische Relevanz haben. Dadurch würde dem baulichen Radonschutz deutlich größere Bedeutung zukommen. Schwerpunkt der derzeitigen Diskussionen ist die Frage, welche Anforderungen auf das Bauwesen nach Einführung entsprechender nationaler Regelungen zum Radonschutz zukommen sowie welche Strategien hinsichtlich der Umsetzung der geplanten EU-Richtlinien durch die Bundesrepublik und die Bundesländer verfolgt werden.



**Übersicht und internationale Bewertungen der Radonkonzentration im Innenraum (Jahresmittelwerte):**

- **Deutschland:** **100 Bq/m<sup>3</sup> (Empfehlung Entwurf Radonschutzgesetz 2004, Empfehlung Bundesamt für Strahlenschutz)**
- **EU-BSS 2013:** **300 Bq/m<sup>3</sup> (Referenzwert), gültig in Deutschland ab 2018**
- Radon-Richtlinie: 200 Bq/m<sup>3</sup> (Empfehlung ARGEBAU, Entwurf)
- Radon-Richtlinie: 1000 Bq/m<sup>3</sup> (Grenzwert ARGEBAU, Entwurf)
- WHO: 100 Bq/m<sup>3</sup> (Richtwert, Air Quality Guidelines)
- EU: 200 Bq/m<sup>3</sup> (Empfehlung bei Neubauten)
- EU: 400 Bq/m<sup>3</sup> (Empfehlung bei Altbauten)
- USA (EPA): 150 Bq/m<sup>3</sup> (Empfehlung)
- Großbritannien/Norwegen: 200 Bq/m<sup>3</sup> (Grenzwert bei Neubauten)
- Schweiz: 400 Bq/m<sup>3</sup> (Richtwert)
- Schweiz: 1000 Bq/m<sup>3</sup> (Grenzwert)
- Schweden: 200 Bq/m<sup>3</sup> (Richtwert, Grenzwert bei Neubauten)
- Schweden: 400 Bq/m<sup>3</sup> (Grenzwert bei Altbauten)

Die **Baubiologischen Richtwerte** für Radon orientieren sich an den durchschnittlichen Jahresmittelwerten im Freien (Bodennähe). Ab **30 Bq/m<sup>3</sup>** treten schwache Auffälligkeiten auf und über **200 Bq/m<sup>3</sup>** sind bereits als extrem auffällige Werte zu betrachten.

**Baubiologische Richtwerte für Schlafbereiche (Radon), SBM 2008**

Auffälligkeit	extrem	stark	schwach	unauffällig
Radon-Aktivitätskonzentration in Bq/m <sup>3</sup>	> 200	60 - 200	30 - 60	< 30

**Sanierung**

Bei der Radon-Sanierung geht es die konsequente Reduzierung der der Radonkonzentration in Wohn- und Aufenthaltsräumen durch Lüftung, Abdichtung und Absaugung. Typische Radon-Leckstellen in einem Gebäude gegenüber Radon-Bodengas aus dem Erdreich sind Risse und Fugen in Böden und Wänden, Durchführungen von z.B. Kabeln, Leitungen und Rohren, Schächte und Bodenöffnungen, Keller mit Naturböden, Kies, Bruchstein, lose verlegten Ziegeln.

Als erste und effektive Radon-Reduzierung sollte eine konsequente **Wohnraumlüftung** angestrebt werden. Da Radon zumeist über den Keller in den Wohnbereich gelangt, sollte bei einem Radonproblem eine separate Kellerbelüftung erfolgen (druckunabhängige Zu- und Abluftventilation). Bei den **Abdichtungsmaßnahmen** können einfache Isolationsmaßnahmen bereits sehr hilfreich sein. Als solche gelten eine selbst schließende luftdichte Kellertür zum Hausflur/Wohnbereich, eine fachgerechte Abdichtung der Durchbrüche (z.B. Leitungen für Wasser, Strom, Heizung, Gas, Telefon), Installationskanäle, Luftschächte, Abwurfschächte (z.B. für Wäsche), Naturböden, das Verschließen von sichtbaren Öffnungen, Rissen in den erdberührenden Gebäudeteilen. Abdichtungen werden zudem durch außenseitige Dichtungsbahnen unter der Fundamentplatte (Neubauten), raumseitige Dichtungsbahnen (Bestand), Kombination mit Wärmedämmung, Feuchte- und Radonsperre realisiert. Kann eine ausreichende Radonreduzierung nicht über Wohnraumlüftung, Kellerbelüftung und eichfache Abdichtungen von Radon-Eintrittspfaden erreicht werden, kommen besondere **Absaugverfahren** in Frage. Eine effektive und relativ kostengünstige Absaugung des Radons unter der Bodenplatte eines Gebäudes wird hierbei z.B. mit speziellen Radonsaugern realisiert.

**Literatur:**

1. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, **Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2011**
2. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, **Radonschutzgesetz (Entwurf 2004)**
3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit + Bundesamt für Strahlenschutz, **Radon-Handbuch Deutschland**, September 2001 (siehe auch unter www.bfs.de)
4. Wichmann, H.E., et al., **Lungenkrebsrisiko durch Radon in der Bundesrepublik Deutschland (West)**, ecomed Verlag, Landsberg 1998
5. Weltgesundheitsorganisation, **WHO Air Quality Guidelines 2nd edition** (www.euro.who.int), Chapter 8.3 **Radon**
6. Weltgesundheitsorganisation, **WHO handbook on indoor Radon**, Radonhandbuch der WHO (WHO 2009)

