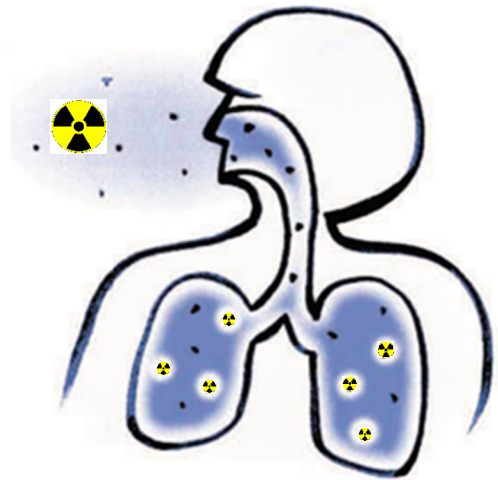


Informationen zu Radon im Innenraum

Radon (Rn-222) 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 Auswertungen kommt es in Deutschland jährlich bereits zu knapp 1900 zusätzlichen Lungenkrebs-Todesfällen durch Radon bei der mittleren Radonkonzentration von ca. 50 Bq/m³ (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 unbemerkt in den Innenraum gelangen kann. Das Radon produziert radioaktive Folgeprodukte, welche sich an Feinstaubpartikel anlagern und eingeatmet werden.



Das gasförmige Radon gelangt als natürliches Bodengas durch Konvektion und Diffusion aus dem Erdreich und/oder aus auffälligen Baumaterialien als ein Zerfallsprodukt des Radium (Ra-226) in die Innenraumluft. Das Edelgas sammelt sich meist **unter dem Haus** und dringt durch verschiedene Schwachstellen an der erdberührenden Gebäudehülle ein: Risse in Mauerwerk und Bodenplatte, Kabelkanäle und Rohrdurchführungen, Lüftungs- und Lichtschächte. Durch eine zunehmend luftdichtere Gebäudehülle kommt es zur einer Anreicherung im Innenraum durch folgende Ursachen:

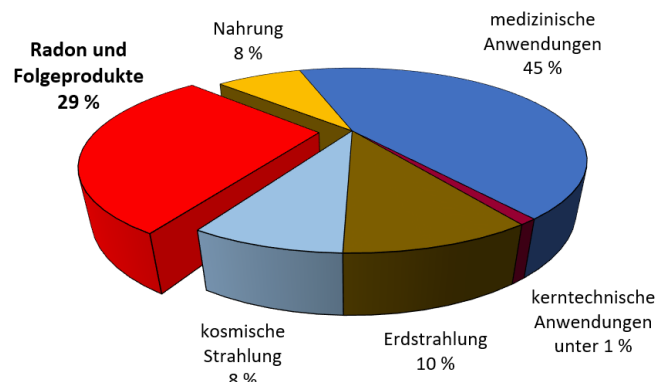
- mangelhafte Abdichtungen von Wohnräumen und Häusern zum Erdreich
- mangelhafte Lüftung von Wohnräumen und Häusern
- erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Mineralien in der Erde
- erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Baumasse

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/m³)** 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 bei dem Aufenthalt im Innenraum verursacht.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit gibt für das Jahr 2017 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 3,8 Millisievert/Jahr. Dieser Wert war zu 55 % auf natürliche und zu 45 % auf künstliche zivilisatorische Strahlenquellen zurückzuführen. Durch Radon resultieren 1,1 mSv/a, was bereits über 50 % der Belastung durch natürliche Strahlenquellen ausmacht.

Durchschnittliche radioaktive Strahlenbelastung in Deutschland

effektive Dosis* pro Jahr	mSv/a	(%)
natürliche Strahlenquellen:	2,1	55
Erdstrahlung	0,4	10
kosmische Strahlung	0,3	8
Radon und Folgeprodukte	1,1	29
Nahrung	0,3	8
zivilisatorische Strahlenquellen:	1,7	45
medizinische Anwendungen	1,7	45
kerntechnische Anwendungen	< 0,1	< 1
Gesamtbelastung 2017	3,8	100



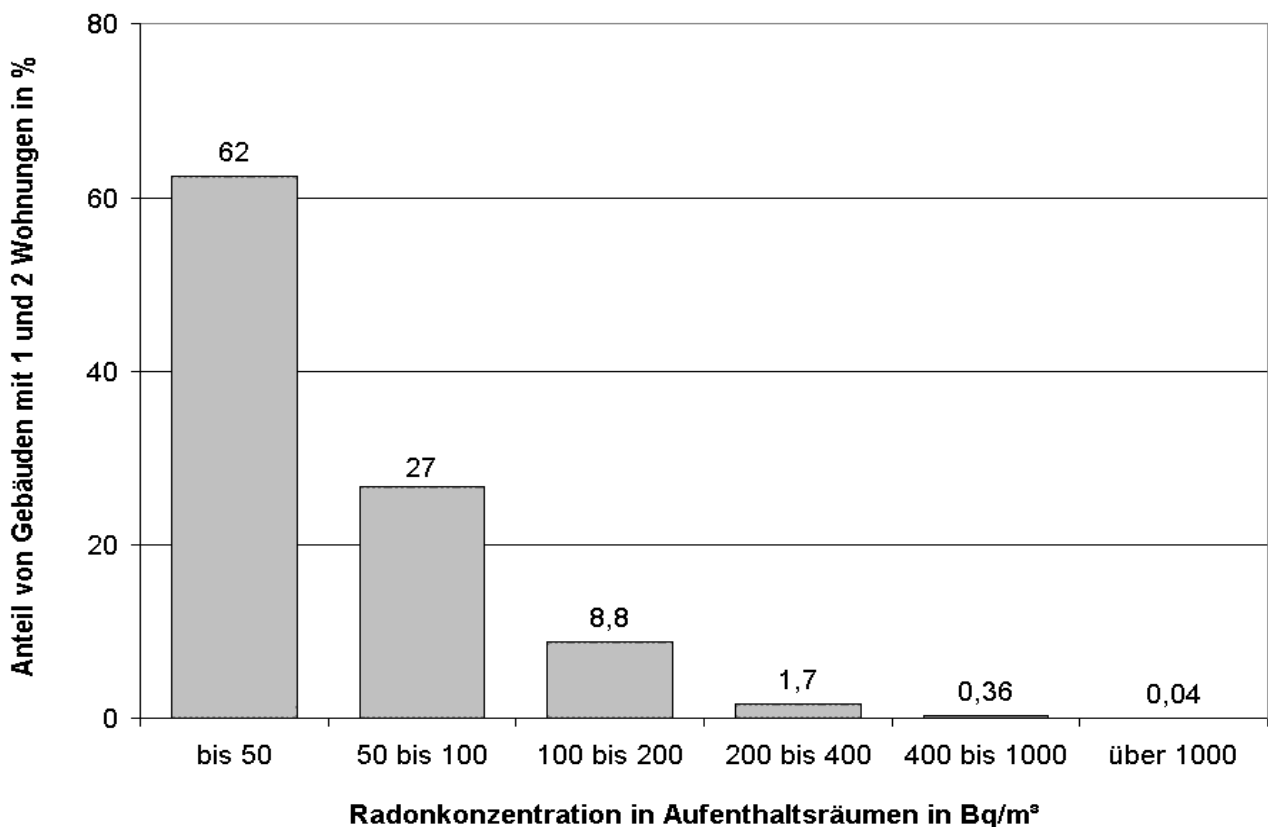
* in Millisievert pro Jahr (mSv/a)

In knapp **2%** der deutschen Wohnungen werden Radonkonzentrationen über **250 Bq/m³** gemessen. In etwa **10 %** der deutschen Wohnungen liegen Radonkonzentrationen über **100 Bq/m³** vor. 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 ³	in Bq/m ³	in Bq/m ³	in Bq/m ³
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 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 und vulkanische Gesteine)
- Vogtland, Sauerland (u.a. durch uranhaltigen 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/m³ vorherrschen, liegen die Innenraumkonzentrationen häufig um den **Faktor 1000** niedriger. Bereits unter **20.000 Bq/m³** Bodenkonzentration und unabhängig von den ausgewiesenen oder kartierten Radongebieten kann bei ungünstiger und undichter 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 erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden auftreten können.

Einteilung der Radonverdachtsgebiete (Entwurf Radonschutzgesetz)

Klasse I:	20.000 Bq/m ³ bis 40.000 Bq/m ³
Klasse II:	40.000 Bq/m ³ bis 100.000 Bq/m ³
Klasse III:	über 100.000 Bq/m ³ 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/m³** 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/m³** 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/m³) 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, Natursteinfliesen aus Granit, 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 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 (Übersichtsmessung) in der Raumluft empfiehlt sich daher immer eine Mindest-Messzeit von ca. 7-14 Tagen in der Heizperiode einzuhalten.

Für genaue Bewertungsmessungen werden längere Aufzeichnungsphasen von 2 bis 3 Monaten bis zu einem Jahr empfohlen. Im Sommer können die Radon-Innenraumkonzentrationen bis zu Faktor 5 niedriger als im Winter liegen. 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 1,5 bis 2.



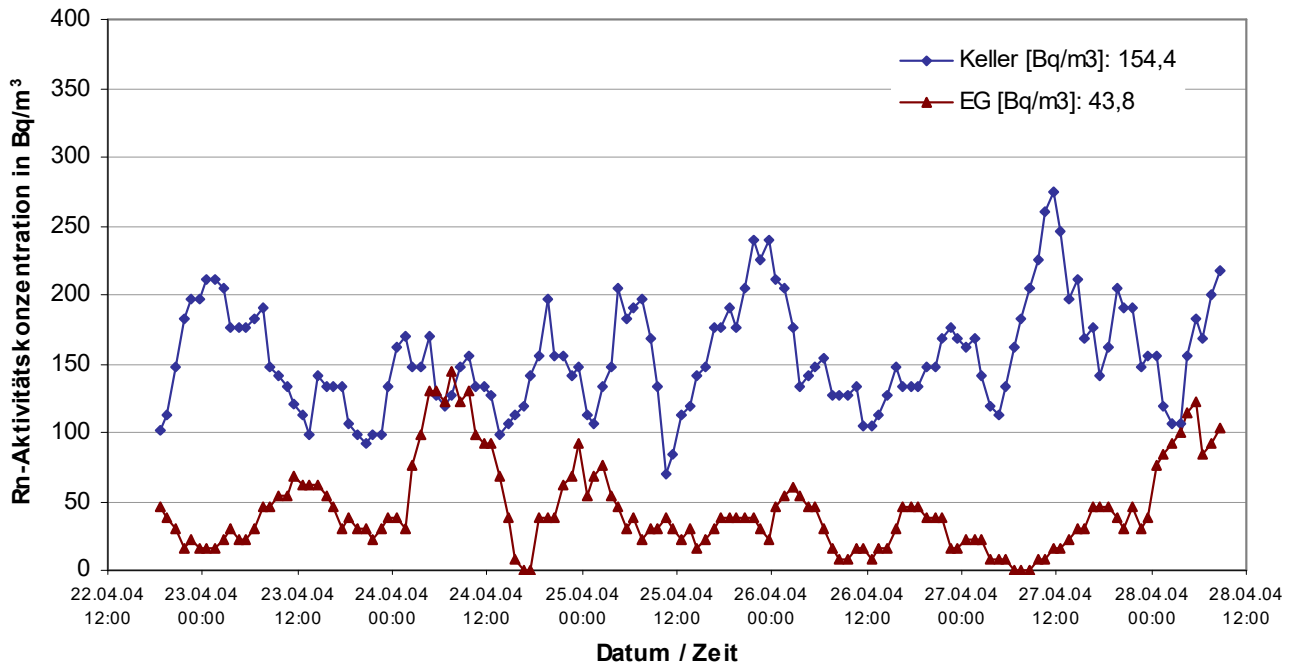
Radon Scout Home Radondosimeter
(Firma Sarad, Dresden)



Darüber hinaus gibt es zahlreiche Methoden und Möglichkeiten, über Kurzzeitmessungen mit elektronischen Messgeräten die Dichtheit der Gebäudehülle und Radon-Eintrittspfade über den **Rn₅₀-Test** zu ermitteln unter Einbezug des Unterdruckverfahrens „erweiterte Blower-Door-Methode“. Grundlagen für die technische Umsetzung bieten hier die Normenreihe DIN (EN) ISO 11665 und die VDB-Richtlinien.

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 nach dem Regierungswechsel nicht durch den Bundesrat und den Bundestag. Darin enthalten ist/war ein Raumluft-Zielwert für Radon in Häusern von **100 Bq/m³**. Dieser Wert gilt derzeit als Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz, des Umweltbundesamtes (Ausschuss für Innenraumrichtwerte AIR) sowie 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. 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. Im neuen Strahlenschutzgesetz (ab 2018) wurde dieser Wert trotz zahlreicher Einwände aufgrund des bereits recht hohen Lungenkrebsrisikos bei 300 Bq/m³ im Jahresmittel übernommen. Die Mitgliedstaaten sollen Gebäude Richtlinien einführen, um den Zutritt von Radon aus dem Boden und aus Baumaterialien zu verhindern. Die bisherigen *Richtwerte* der EU waren als Empfehlungen zu verstehen, die *Referenzwerte* werden dann einen deutlich verbindlicheren Charakter und mehr juristische Relevanz haben. Dadurch kommt bereits jetzt dem baulichen Radonschutz deutlich größere Bedeutung zu. Grundsätzlich gibt beim Neubau den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren.



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

- **Deutschland:** **100 Bq/m³** (Empfehlung Bundesamt für Strahlenschutz, Empfehlung Umweltbundesamt AIR)
300 Bq/m³ (Referenzwert für Arbeitsplätze und Aufenthaltsräume, StrlSchG 2018)
- WHO: 100 Bq/m³ (Richtwert, Air Quality Guidelines)
- USA (EPA): 150 Bq/m³ (Empfehlung)
- GB/N/S: 200 Bq/m³ (Grenzwert bei Neubauten)

Die **Baubiologischen Richtwerte für Schlafbereiche** bei Radon orientieren sich an den durchschnittlichen Jahresmittelwerten im Freien (meist zwischen 5 - 10 Bq/m³, sehr selten bis 30 Bq/m³). Ab 30 Bq/m³ treten im Innenraum schwache Auffälligkeiten auf und über 200 Bq/m³ sind bereits als extrem auffällige Werte zu betrachten (IBN/MAES, www.baubiologie.de). Der Sachverständigen-Bundesverband **BVS** fordert für Neubauten die Einhaltung des Jahresmittwertes von 100 Bq/m³ (BVS-Standpunkt Radon).

Sanierung und Prävention

Bei der Radon-Sanierung geht es um die konsequente Reduzierung 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 einfache Abdichtungen von Radon-Eintrittspfaden erreicht werden, kommen besondere **Absaugverfahren** in Frage. Eine effektive und relativ kostengünstige Unterdruckhaltung unter der Bodenplatte eines Gebäudes wird hierbei z.B. mit speziellen Radonsaugern realisiert. Bei Neubauten können recht kostengünstig vorsorglich dichte *Rohrdurchführungen* und *Flächendrainagen* eingesetzt werden. In Radonvorsorgegebieten (ab 2021) sind sogar bestimmte Maßnahmen gesetzlich vorgeschrieben.

Bei **Neubauten** auf radonauffälligen Baufeldern wird in Fachkreisen der Einbau einer Flächendrainage empfohlen, die im Bedarfsfall angeschlossen werden kann, und der Einsatz besonders gut dichtender Mediendurchführungen (Gas, Wasser, Strom ...). In den von den Ländern ausgewiesenen Radonvorsorgegebieten besteht sogar eine Pflicht zur Planung und Umsetzung von Maßnahmen. In der Regel bietet ein fachgerecht ausgeführter Feuchteschutz nach den anerkannten Regeln der Technik auch einen Basisschutz gegenüber durchschnittlichem Radon aus dem Erdreich, insbesondere bei drückendem Wasser (W2-E gem. DIN 18533). Lüftungstechnische Maßnahmen sollten gem. DIN 1946-6 immer Beachtung finden.

Literatur:

1. Berufsverband Deutscher Baubiologen VDB e.V., VDB Richtlinien, Band 2 B I 8, **Untersuchungen auf Radon**
2. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, BMU:
- **Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresberichte**
- Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung „**Strahlenschutzgesetz**“, Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42, Bonn (www.bmu.de)
3. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, **Radonschutzgesetz (Entwurf 2004)**
4. Bundesamt für Strahlenschutz, BfS: **Radon-Handbuch Deutschland**, 2019 (siehe auch unter www.bfs.de)
5. Umweltbundesamt, „**Gesundheitliche Bewertung von Radon in der Innenraumluft**“ Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 4. und 5. November 2014
6. Weltgesundheitsorganisation, **WHO Air Quality Guidelines 2nd edition** (www.euro.who.int), Chapter 8.3 **Radon**
7. Weltgesundheitsorganisation, **WHO handbook on indoor Radon**, Radonhandbuch der WHO (WHO 2009)

