

Schutz vor Radon

VORKOMMEN

RISIKO

REGELUNGEN



Inhalt

| | | |
|------|--|----|
| I. | Was ist Radon?..... | 06 |
| II. | Wo kommt Radon vor?..... | 08 |
| | :: Radon im Boden..... | 08 |
| | :: Radon im Wasser | 10 |
| | :: Radon in Gebäuden..... | 11 |
| III. | Wie wirkt Radon? | 13 |
| IV. | Wie gefährlich ist Radon?..... | 13 |
| | :: Strahlenexposition | 14 |
| | :: Risiko Lungenkrebs | 14 |
| | :: Nationaler Referenzwert..... | 18 |
| | :: Medizinische Anwendung | 19 |
| V. | Wie schütze ich mich vor Radon?..... | 20 |
| VI. | Wie messe ich Radon?..... | 24 |
| | :: Langzeitmessungen..... | 24 |
| | :: Kurzzeitmessungen..... | 25 |
| VII. | Welche gesetzlichen Pflichten bestehen?..... | 27 |
| | :: Welche Pflichten gelten für Aufenthaltsräume? | 27 |
| | :: Welche Pflichten bestehen für Arbeitsplätze? | 27 |
| | :: Was ist bei Bestandsgebäuden zu beachten? | 30 |
| | :: Was ist beim Neubau zu beachten?..... | 30 |
| | :: Wie werden Radonvorsorgegebiete ausgewiesen?..... | 31 |
| | :: Was ist der Radonmaßnahmenplan?..... | 31 |
| IIX. | Was tun wir in Baden-Württemberg? | 32 |
| | Begriffserläuterungen..... | 33 |
| | Impressum | 34 |
| | Weitere Informationen | 34 |
| | Anhang..... | 35 |



Vorwort



Wenn wir an radioaktive Stoffe und Strahlung denken, verbinden wir damit die Gefahren, die von Atomkraftwerken und der Atomenergie ausgehen und die vom Menschen nicht vollständig beherrscht werden können. Wir sind uns allerdings häufig nicht bewusst, dass wir auch einer natürlichen Strahlung ausgesetzt sind, die Gefahren mit sich bringen kann. In unseren Gesteinen und Böden entsteht aus natürlichem Uran das radioaktive Gas Radon, das sich in Gebäuden ansammelt und ein Gesundheitsrisiko darstellen kann.

Mit dieser Broschüre möchten wir über die Gefahren, die von Radon ausgehen, und mögliche Schutzmaßnahmen informieren. Dabei gilt der Bewertungsmaßstab des neuen Strahlenschutzgesetzes. Das Gesetz enthält erstmals überhaupt Regelungen zum Schutz vor Radon in Wohnräumen. Es sieht Radon-Prüf- und -Schutzmaßnahmen an allen Arbeitsplätzen vor, die sich im Keller- oder Erdgeschoss von Gebäuden befinden und in besonders betroffenen Gebieten liegen. Solche Gebiete gibt es auch in Baden-Württemberg. Für die Festlegung der sogenannten »Radonvorsorgegebiete« und eine Verbesserung der Datenlage misst das Land die Radonkonzentration in der Bodenluft und in Innenräumen.

Die Regelungen im neuen Strahlenschutzgesetz sollen langfristig den Schutz der Bürgerinnen und Bürger vor Radon verbessern und das Gesundheitsrisiko durch Radon senken. Im Bereich von privaten Gebäuden verzichtet das Gesetz bewusst auf zusätzliche Pflichten und setzt stattdessen auf die Eigenverantwortung und das Eigeninteresse gut informierter Bürgerinnen und Bürger. Daher soll die vorliegende Broschüre auch dazu anregen, sich mit den Themen Radon und Radonschutz zu befassen und selbst Radon zu messen. Denn ein Schutz vor Radon ist möglich – mitunter genügen bereits einfache Maßnahmen.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'F. Untersteller'. The signature is fluid and cursive, with a large initial 'F' and a series of loops for the last name.

Franz Untersteller MdL

Minister für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft des Landes Baden-Württemberg

Was ist Radon

und welche Eigenschaften hat es?

Das natürliche Edelgas Radon ist überall in unserer Umwelt vorhanden und kann durch seine Radioaktivität zu einem gesundheitlichen Risiko werden. Radon entsteht im Boden und kann sich in Gebäuden ansammeln.

Man kann es weder sehen, riechen noch schmecken.

Radon in Innenräumen gilt nach dem Rauchen als zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs. Ungefähr 5 Prozent aller jährlichen Todesfälle durch Lungenkrebs in Deutschland werden dem langjährigen Einatmen von Radon und seiner radioaktiven Zerfallsprodukte in Wohnungen oder Gebäuden zugeschrieben.

Es ist daher sinnvoll, sich über Radon zu informieren und die möglichen Schutzmaßnahmen gegen erhöhte Radonkonzentrationen in der Raumluft zu kennen. Am besten ermitteln Sie die Radonwerte in Ihrer Wohnung oder Ihrem Gebäude durch eine Messung. So können Sie feststellen, ob Sie etwas zu Ihrem Schutz vor Radon tun sollten.

STECKBRIEF

| | | | |
|---------------|------------------------------|---------------|---|
| KURZNAME | Radon (Rn) | ATOMGEWICHT | 222 u |
| TYP (GRUPPE) | Edelgas | ATOMAUFBAU | 86 Protonen, 86 Elektronen, 136 Neutronen |
| DICHTE | 9,73 g/l | HALBWERTSZEIT | $T_{1/2} = 3,825$ Tage |
| EIGENSCHAFTEN | farb-, geruch-, geschmacklos | FAMILIE | U-/Ra-Reihe |
| ATOMKERN | instabil, radioaktiv | MUTTERNUKLID | Radium-226 |

Radon ist ein chemisches Element, das im Periodensystem der Elemente zur Gruppe der Edelgase gehört. Edelgase zeichnen sich dadurch aus, dass sie in der Natur keine chemischen Verbindungen mit anderen Stoffen eingehen und gasförmig vorkommen. Aufgrund dieser Eigenschaften sind sie sehr mobil. Mit einer Dichte von 9,73 Gramm pro Liter (g/l) ist Radon das schwerste aller Gase und siebenmal schwerer als Luft (1,3 g/l). Trotz seiner Schwere kann Radongas aus dem Boden in die Luft austreten oder in Gebäude eindringen. Maßgeblich dafür sind Druckunterschiede zwischen der Luft im Boden und der Luft im Freien bzw. in Gebäuden. Druckunterschiede beeinflussen auch maßgeblich die Verteilung von Radon innerhalb von Gebäuden (z.B. Aufstieg aus dem Keller in das Erdgeschoss).

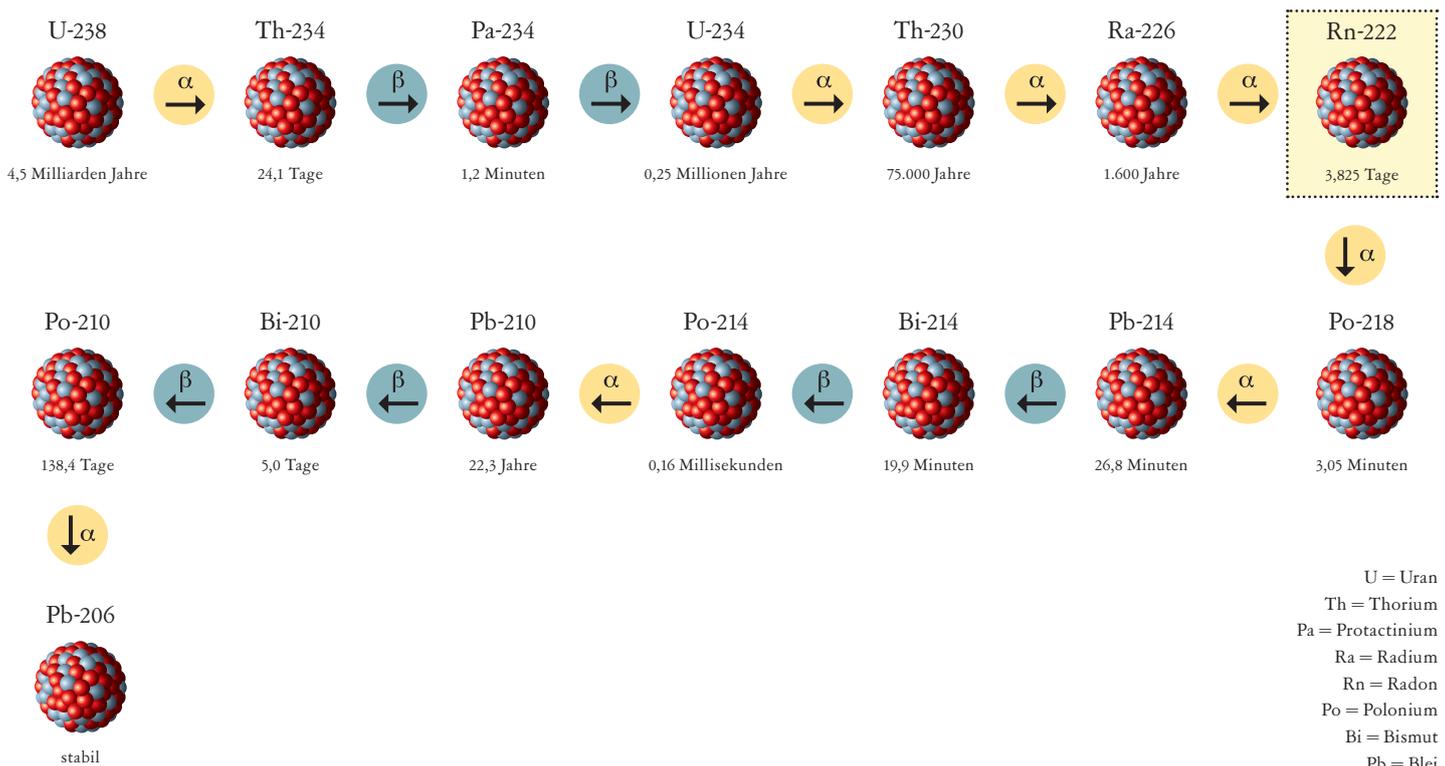
Radon ist mit menschlichen Sinnen nicht wahrnehmbar und wäre von seinen Eigenschaften her im wahrsten Sinne des Wortes unscheinbar und unauffällig, wenn seine Atomkerne nicht mit der Zeit unter Aussendung von Strahlung zerfallen würden. Die Atomkerne sind »radioaktiv«.

Im Periodensystem der Elemente hat Radon entsprechend seiner Anzahl Protonen im Atomkern die Ordnungszahl 86. Durch eine unterschiedliche Anzahl an Neutronen im Atomkern sind von Radon Isotope (Sonderformen) mit den

Massenzahlen 196 bis 228 bekannt. Die Isotope Radon-222 (Radon), Radon-220 (Thoron) und Radon-219 (Actinon) sind natürlichen Ursprungs und gehören der natürlichen Zerfallsreihen von Uran-238 (Uran-Radium-Reihe), Thorium-232 (Thorium-Reihe) bzw. Uran-235 (Uran-Actinium-Reihe) an. Sie sind selbst radioaktiv, d. h. ihre Atomkerne zerfallen mit der Zeit unter Aussendung von Strahlung. Bei Radon-222 ist nach 3,825 Tagen die Hälfte aller vormals vorhandenen Atomkerne zerfallen. Thoron ($T_{1/2} = 55,6$ Sekunden) und Actinon ($T_{1/2} = 3,96$ Sekunden) weisen wesentlich kürzere Halbwertszeiten ($T_{1/2}$) auf, so dass Radon-222 den Hauptanteil aller Radonisotope in der Luft bildet.

Wenn in dieser Broschüre von »Radon« die Rede ist, ist immer das Isotop Radon-222 gemeint.

Die folgende Abbildung zeigt die Zerfallsreihe des Uran-238, bei der Radium-226 und Radon-222 entstehen, mit allen radioaktiven Zerfallsprodukten des Radons. Die gelb hinterlegten Pfeile zeigen einen Alpha-Zerfall, d. h. bei diesem Zerfall werden Alphateilchen (Heliumkerne) aus dem Atomkern geschleudert. Die blau markierten Pfeile stellen Beta-Zerfälle dar. Bei ihnen werden bei der Umwandlung des Atomkerns Betateilchen (Elektronen) abgesondert.



Zerfallsreihe von Uran-238

Wo kommt Radon vor?

Radon-222 wird im Boden kontinuierlich aus Radium-226 gebildet, das ursprünglich aus Uran-238 entstanden ist. Überall wo Radium vorhanden ist, entsteht auch Radon. Einen Eindruck vermittelt die Tabelle, die den Radium-226-Gehalt verschiedener Gesteine und Böden angibt. Insbesondere bei granitischem Untergrund muss aufgrund des hohen Radiumgehalts auch mit viel Radon in der Bodenluft gerechnet werden.

| | Radium-226-Gehalt (Mittelwert in Bq pro kg) |
|-------------------------|--|
| GRANIT | 100 (Bereich 30 - 500) |
| GNEIS | 75 (Bereich 50 - 157) |
| TON, LEHM | < 40 (Bereich < 20 - 90) |
| BASALT | 26 (Bereich 6 - 36) |
| KIES, SAND | 15 (Bereich 1 - 39) |
| NATÜRLICHER GIPS | 10 (Bereich 2 - 70) |

[Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Homepage, Stand: Mai 2018]

AKTIVITÄT

Die Aktivität ist eine Eigenschaft radioaktiver Stoffe und gibt die Menge eines radioaktiven Stoffes an. Ihre physikalische Einheit ist das Becquerel (Bq). 1 Bq entspricht dem Zerfall von 1 Atomkern in 1 Sekunde.

Jede Mengenangabe eines radioaktiven Stoffes in Becquerel kann prinzipiell auch in Gramm (g) umgerechnet werden:

$$\text{Aktivität} = A_{\text{spez}} \times \text{Masse [g]}$$

Dabei gibt A_{spez} die sogenannte »spezifische Aktivität« an, die sich aus der Halbwertszeit ($T_{1/2}$) und der molaren Masse (MG) des radioaktiven Stoffes berechnet:

$$A_{\text{spez}} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \times \frac{6,022 \text{ E}+23}{\text{MG}} \text{ [Bq/g]}$$

$\ln 2$ = natürlicher Logarithmus von 2

(Ein Rechenbeispiel findet sich im Anhang.)

Radon im Boden

Nach seiner Entstehung in der Erde kann sich das Gas Radon in Bodenporen und Rissen in der Bodenluft weiterbewegen. Wie weit es dabei kommt, bevor es selbst wieder zerfällt, hängt von den geologischen Eigenschaften des Bodens ab. Wichtige Faktoren hierbei sind etwa die Porosität, Dichte, Feuchtigkeit und die Gasdurchlässigkeit. Ob sich Radon im Boden ansammelt oder leicht in die Atmosphäre austritt, hängt auch von der Durchlässigkeit der Deckschicht ab. So kann etwa eine sehr feinkörnige Deckschicht, zum Beispiel aus Lehm, den Luftaustausch zwischen Untergrund und Atmosphäre unterbinden und Radon im Boden zurückhalten. Geologische Verwerfungen und Brüche hingegen ermöglichen die Freisetzung von Radon aus tieferen Gesteinen.

Im Auftrag des Bundesumweltministeriums wurde im Jahr 2001 eine deutschlandweite Kartierung der Radonkonzentration der Bodenluft durchgeführt, bei der an 2.346 Messorten (davon 352 in Baden-Württemberg) die Bodenluft in einem Meter Tiefe gemessen wurde. Die Radon-Karte dient als Orientierungshilfe für eine Prognose in regionalem Maßstab. Sie gibt aber keine Hinweise zu einzelnen Baugebieten oder Baugrundstücken, weil die Radonkonzentrationen im Boden kleinräumig variieren. Die Kartierung ermöglicht auch keine Vorhersage, wie hoch die Radonkonzentration in einzelnen Gebäuden ist, da diese nicht nur vom Radongehalt im Boden, sondern auch von anderen Faktoren - wie etwa der Gasdurchlässigkeit des Bodens - abhängt. Maßgebend für die mögliche Radonkonzentration im Gebäudeinnern sind der Untergrund im unmittelbaren Umfeld des Gebäudes und die Dichtheit der erdberührten Teile der Gebäudehülle.

Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in einem Meter Tiefe

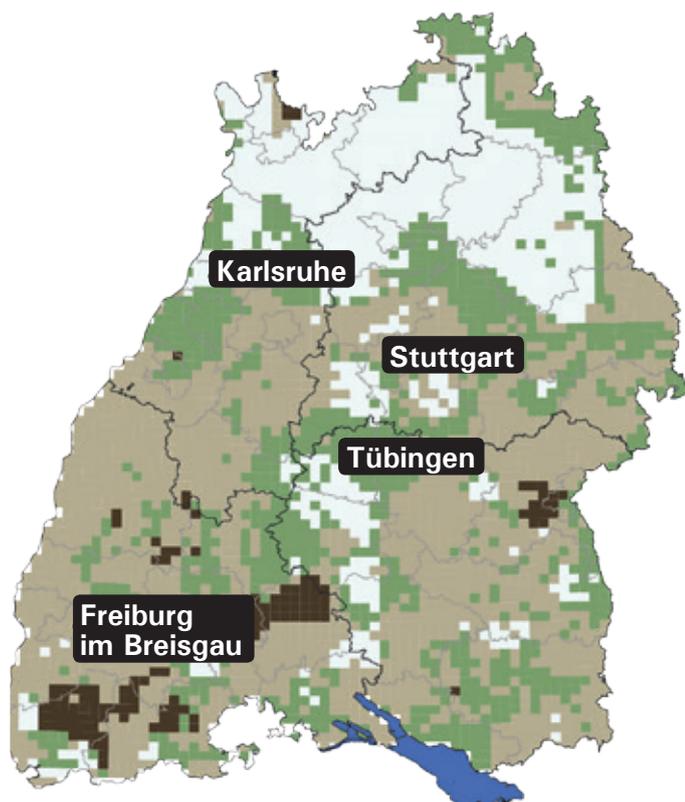


Radonkonzentration in der Bodenluft in kBq/m³

- > 100
- 40 - 100
- 20 - 40
- < 20

[1 kBq = 1 »Kilo-Becquerel« = 1.000 Bq]

[Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Stand: Februar 2018]



[Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Stand: Februar 2018]

Die Radonwerte der Bodenluft Baden-Württembergs erstrecken sich über einen weiten Bereich. Während sie im Norden des Landes sehr gering sind und meist unter 20.000 Bq/m³ (hellblau) liegen, liegen sie in der Mitte und im Süden des Landes zwischen 20.000 und 40.000 Bq/m³ (grün) und häufig auch zwischen 40.000 und 100.000 Bq/m³ (beige). In bestimmten Bereichen z.B. im Südschwarzwald oder der Schwäbischen Alb kommen auch Werte über 100.000 bis 300.000 Bq/m³ (dunkelbraun) und ganz vereinzelt auch zwischen 300.000 und 500.000 Bq/m³ vor.

Radonwerte in der Bodenluft von unter 20.000 Bq/m³ sind zwar vergleichsweise sehr gering. Dennoch können auch schon einige 1.000 Bq/m³ Radon in der Bodenluft ausreichen, dass Radon sich in undichten Gebäuden und wenig durchlüfteten Räumen (siehe auch Seite 11) ansammelt.

Wenn das gasförmige Radon den Boden verlässt, wird es in der Außenluft schnell verdünnt. In der bodennahen Atmosphäre ist seine Konzentration daher tausende Male geringer als im Boden. Typische Radon-Konzentrationen im Freien liegen zwischen 1 und 30 Bq/m³ Radon in der Luft.



Typische Radonkonzentrationen
[1 kBq = 1 •Kilo-Becquerel• = 1.000 Bq]

Radon in Gebäuden

Radon kann aus dem Boden über die erdberührten Teile einer undichten Gebäudehülle in Gebäude eindringen und sich dort bei schlechter Durchlüftung anreichern. Grundsätzlich können davon alle Gebäude betroffen sein, alte und neue Gebäude, Gebäude mit und ohne Kellergeschoss. Günstig für eine geringe Radonkonzentration in Gebäuden ist das Vorhandensein von wenig Radon im Boden. Aber auch bei geringem Radongehalt im Boden kann durch Erzeugen eines Unterdrucks in den Kellergeschossen Radon von außen ins Gebäude gesaugt werden. Wie hoch die Radonkonzentration in einem Gebäude letztlich ist, kann nur durch Messungen geklärt werden.

Für den Übergang von Radon aus dem Boden ins Gebäude spielen der Zustand der erdberührten Gebäudeteile eine Rolle. Übliche Eintrittsmöglichkeiten sind unter anderem Keller ohne Bodenplatten (Erdkeller), Bodenplatten mit Rissen, undichte Fugen und Risse in aufsteigenden Wänden sowie in sämtlichen erdberührten Gebäudeteilen und Fugen an Rohr- und Kabeldurchführungen in Kellerräume oder Außenbereiche. Ferner spielt eine Rolle, wie dicht abgeschlossen der Keller bzw. Kelleraufgang gegenüber den Wohn- und sonstigen Aufenthaltsräumen ist, da sich Radon über die Treppenauf-

gänge von den niederen in die höheren Stockwerke verbreiten kann. Auch über Kabelkanäle und Versorgungsschächte kann sich Radon in Gebäuden ausbreiten. In der Regel nimmt die Radonkonzentration von Stockwerk zu Stockwerk nach oben hin ab.

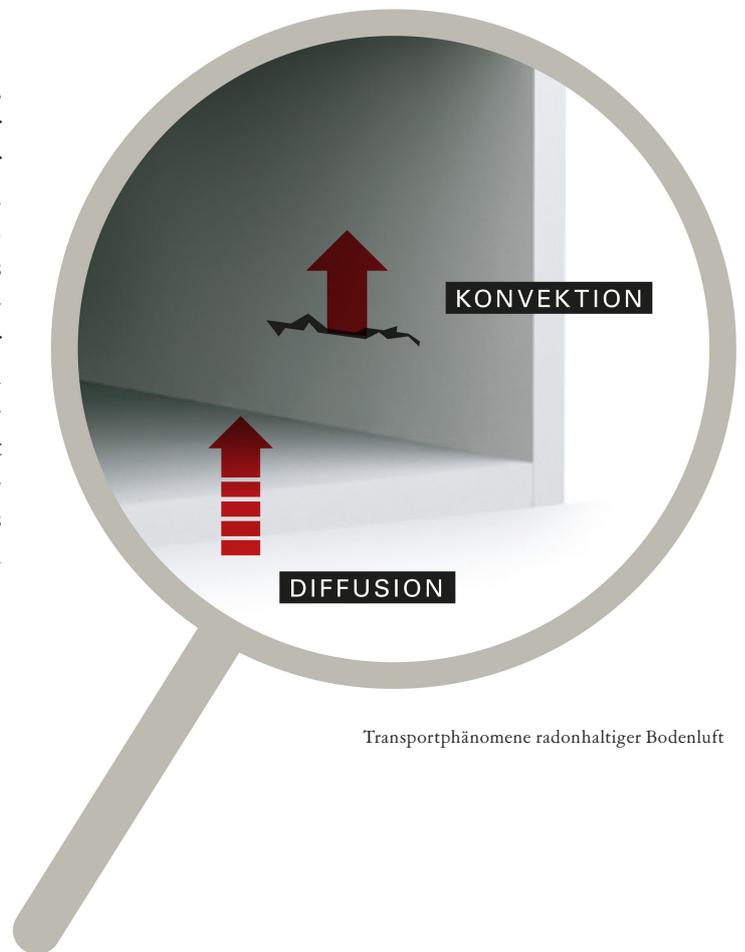
Druckunterschiede zwischen dem Gebäudeinneren und dem Untergrund können den Radonzutritt und die Radonausbreitung in Gebäuden verstärken. Da warme Luft im Gebäude nach oben steigt, entsteht dadurch im Keller ein leichter Unterdruck, der eine Sogwirkung verursacht. Dadurch gelangt Bodenluft ins Gebäude. Man spricht hier vom sogenannten »Kamineffekt«. Im Winter, wenn durch das Heizen die Luft stärker erwärmt wird, nimmt im Keller dieser Unterdruck zu und es gelangt dadurch vermehrt radonreiche Bodenluft ins Gebäudeinnere. Ein ungünstiger Unterdruck im Gebäude kann aber auch durch Ventilatoren in Bad und WC, durch eine Abzughaube, Öfen und Kamine oder durch ein geöffnetes Fenster an der dem Wind abgewandten Seite entstehen. Da die Menge des zuströmenden Radons von der Druckdifferenz zwischen außen und innen abhängt, sollte möglichst ein Unterdruck im Gebäude vermieden werden.



RADON KANN ÜBER ZWEI ARTEN IN GEBÄUDE

EINDRINGEN:

Der Haupteindringpfad sind Leckstellen (Risse, Spalten, undichte Fugen) in der erdberührenden Gebäudehülle, über die das Radon aufgrund der Druckdifferenz zwischen der Bodenluft und dem Hausinneren in das Gebäude gezogen wird. Physikalisch wird dieser Effekt »Strömungstransport« oder »Konvektion« genannt. Je nach Gebäudehülle kann das Edelgas Radon eine intakte Gebäudehülle auch durchdringen und auf diese Weise in ein Gebäude gelangen. Dieser physikalische Effekt der »Diffusion«, der auf dem Streben nach einem Ausgleich unterschiedlicher Radonkonzentrationen außerhalb und innerhalb eines Gebäudes beruht, ist vergleichsweise begrenzt. Findet die Diffusion durch Kellerböden und -wände auf einer großen Fläche statt, kann es dadurch aber trotzdem zu erhöhten Radonkonzentrationen in Innenräumen kommen.



Transportphänomene radonhaltiger Bodenluft

RADON AUS BAUMATERIALIEN

Baustoffe für Gebäude können auch natürlicherweise radioaktive Stoffe wie Radium-226 enthalten, aus dem Radon entsteht. Das Radon kann dann an der Oberfläche des Baustoffes ausgasen (exhalieren). Der Beitrag von Radon aus Baustoffen zur gesamten Radonkonzentration in einem Gebäude ist in der Regel aber vernachlässigbar. Baustoffe mit sehr hohen Radiumgehalten (z. B. Hüttenschlacke, Porenbeton

mit Alaunschiefer) werden mittlerweile nicht mehr verwendet. Die in Deutschland aktuell für Innenräume verwendeten Baustoffe tragen im Jahresmittel mit maximal 15 Bq/m³ Radon zur Radonkonzentration in der Raumluft bei. Der Referenzwert für Innenräume im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) beträgt im Jahresmittel 300 Bq/m³ Radon in der Luft.

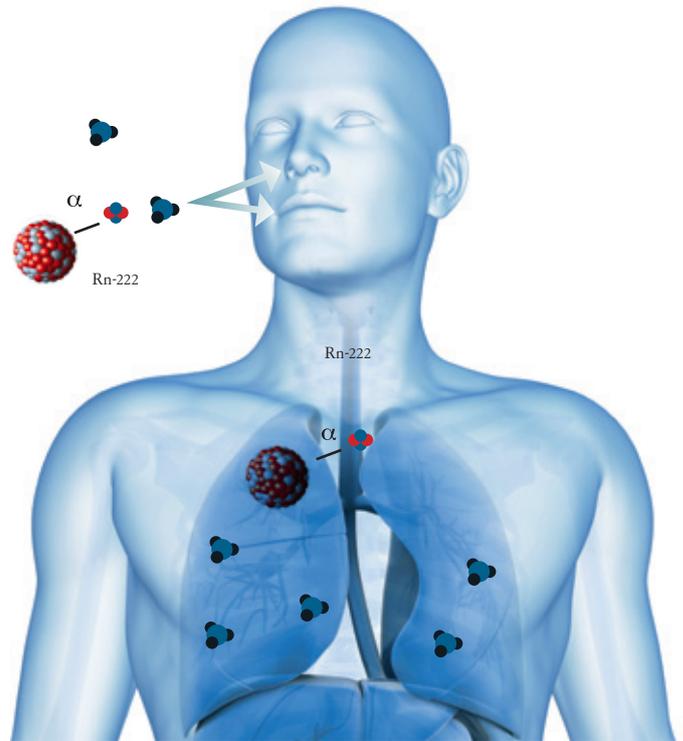
| BAUMATERIAL | KONZENTRATION DES RADIUM-226 IN Bq/kg | RADON-EXHALATIONSRATE IN Bq/(m ² h) |
|------------------------------|---------------------------------------|--|
| Kalkstein | < 10 - 40 | 0,9 - 11 |
| Ziegel, Klinker | 40 - 150 | 1 - 10 |
| Naturbims | < 20 - 200 | 0,6 - 6 |
| Hüttenschlacke | 10 - 2.100 | 0,4 - 0,7 |
| Beton | 20 - 200 | 2 - 20 |
| Porenbeton | 10 - 130 | 1 - 3 |
| Porenbeton mit Alaunschiefer | 600 - 2.600 | 50 - 200 |
| Naturgips | < 10 - 70 | 0,2 |

[Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz, Radon-Handbuch Deutschland, 2019, Kapitel 3 Tabelle 3.1]

Wie wirkt | Radon?

Radon entfaltet seine schädliche Wirkung vor allem über die radioaktiven Zerfallsprodukte, die Feststoffe sind (Polonium, Blei und Bismut). Eingeatmetes Radon wird zum größten Teil sofort wieder ausgeatmet. Ähnlich verhält es sich bei der Einnahme von Radongas über das Trinkwasser. Nach 20 bis 70 Minuten (geschätzte biologische Halbwertszeit) ist die Hälfte des aufgenommenen Radons wieder aus dem Körper gelangt. Zerfällt Radon in der Atmosphäre, lagern sich die Zerfallsprodukte an Staubteilchen und Aerosole in der Luft und an Oberflächen an.

Durch Einatmen der Partikel und Aerosole gelangen die Radon-Zerfallsprodukte in den Atemtrakt und die Lunge, wo sie in den Bronchien, insbesondere den empfindlichen Basalzellen des Bronchialepithels, längere Zeit verbleiben und auch zerfallen. Die dabei ausgesendete Strahlung kann Schäden in den Zellen, zum Beispiel in der DNA des empfindlichen Lungengewebes, verursachen. Werden diese Schäden durch die menschlichen Reparaturmechanismen nicht oder nur fehlerhaft behoben, kann daraus Lungenkrebs entstehen.



Einatmen von Radon und Radon-Zerfallsprodukten

Wie | gefährlich ist | Radon?

Radon ist ein beim Menschen krebserzeugender Stoff. Seine gesundheitsschädlichen Wirkungen beobachteten bereits Paracelsus und Agricola im 16. Jahrhundert an Bergarbeitern in den Silberbergwerken in Schneeberg im sächsischen Erzgebirge und im böhmischen St. Joachimsthal. Die unter diesen Bergarbeitern gehäuft aufgetretenen Lungenerkrankungen wurden zunächst als »Bergsucht«, später als »Schneeberger Lungenkrankheit« bekannt. Im Jahr 1879 erkannten die beiden Mediziner Friedrich Hugo Härting und Walther Hesse, dass es sich bei der tödlich verlaufenden »Schneeberger Krankheit« um Lungenkrebs handelt. Bevor die Internationale Agentur für Krebsforschung (IARC) im Jahr 1988 Radon und seine Zerfallsprodukte als eine Ursache von Lungen-

krebs beim Menschen einstufen konnte, musste Radon noch entdeckt (Friedrich Ernst Dorn, 1900) und der Zusammenhang mit Lungenkrebs untersucht werden.

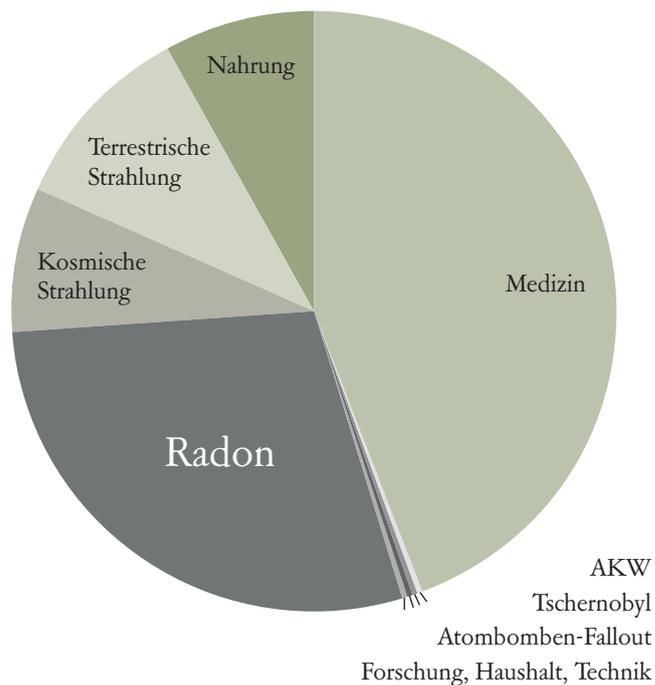
Diese IARC-Einstufung wurde seither von vielen internationalen und nationalen Fachinstitutionen bestätigt. Nach den bisherigen Erkenntnissen beschränkt sich das relevante Gefährdungspotenzial von Radon auf den Atemtrakt. Wirkungen auf andere Organe oder Gewebe sind nicht als gesichert anzusehen. Es liegen bislang auch keine Nachweise über teratogene, also beim Embryo verursachende Fehlbildungen, oder giftige Wirkungen von Radon auf den Menschen vor.

Strahlenexposition

Risiken durch ionisierende Strahlen werden im Strahlenschutz über die effektive Dosis bewertet. Die effektive Dosis berücksichtigt die unterschiedliche biologische Wirksamkeit verschiedener Strahlenarten auf den Menschen und die unterschiedliche Strahlenempfindlichkeit menschlicher Organe und ermöglicht durch entsprechende Gewichtung einen Vergleich von Strahlenexpositionen jedweder Art und Herkunft. Die physikalische Einheit der Dosis ist das Sievert [Sv], benannt nach dem schwedischen Physiker Rolf Maximilian Sievert. Die Einheit gibt an, wie viel Strahlungsenergie (in Joule) im menschlichen Körper (bezogen auf 1 kg) bei einer Strahlenexposition deponiert wurde und somit potentiell eine Schädigung hervorrufen kann.

Nach Angaben des Bundesamtes für Strahlenschutz verursacht das Einatmen von Radon und Radon-Zerfallsprodukten in Deutschland im Mittel pro Person und Jahr eine effektive Dosis von 1.100 Mikrosievert (μSv). Die Exposition durch Radon stellt damit den größten Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung. Zusammen mit der kosmischen Strahlung von 300 Mikrosievert, der Direktstrahlung vom Boden von 400 Mikrosievert und der Aufnahme radioaktiver Stoffe wie zum Beispiel Kalium-40 über die Nahrung (300 μSv) erhält jede Bürgerin und jeder Bürger im Mittel im Jahr eine natürliche Strahlenexposition von 2.100 Mikrosievert. Dazu kommen noch 1.700 Mikrosievert aus medizinischen Strahlen-

JÄHRLICHE DURCHSCHNITTLICHE STRAHLENEXPOSITION EINER PERSON IN DEUTSCHLAND



[Quelle: Zahlen des Bundesamtes für Strahlenschutz aus dem Bericht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit an den Bundestag über die »Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2015«]

anwendungen, so dass die mittlere effektive Dosis in Deutschland in der Summe 3.800 Mikrosievert pro Person und Jahr beträgt.

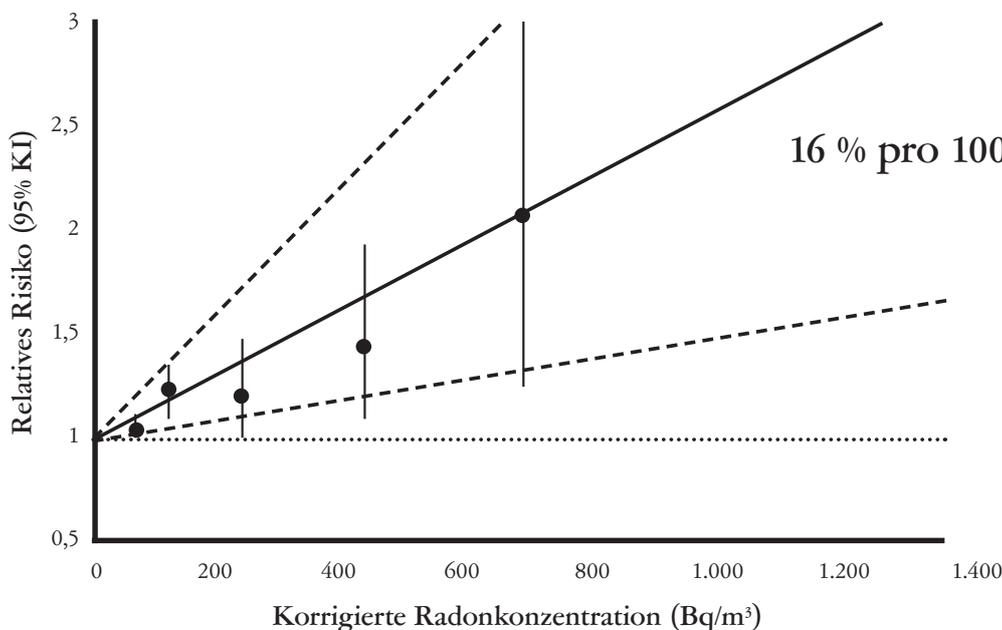
Risiko Lungenkrebs

Epidemiologische Studien belegen zweifelsfrei, dass Radon in Innenräumen (z. B. Bergwerke, Höhlen, Wohnhäuser der Allgemeinbevölkerung) das Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken und zu sterben, erhöht. Die Studien zeigen einen klaren Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit zunehmender Radonkonzentration in Innenräumen. Der Zusammenhang wird mathematisch am besten durch ein lineares Risikomodell ohne Annahme eines Schwellenwertes beschrieben. Mit einem Schwellenwert verbindet man allgemein eine Grenze, unterhalb der kein Gesundheitsrisiko besteht. Bei der Wirkung von radioaktiven Stoffen und ionisierenden Strahlen auf den Menschen konnte bislang allgemein kein Schwellenwert beobachtet werden. Das bedeutet aber noch nicht, dass eine mögliche Existenz definitiv ausgeschlossen ist. Menschliche Zellen besitzen auch Möglichkeiten, Schä-

digungen in Zellen zu reparieren und so Auswirkungen zu verhindern.

Die bislang umfangreichste europäische Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon in Wohnungen aus dem Jahr 2005, die »Europäische Pooling-Studie«, ermittelte für das Lungenkrebsrisiko im Modell einen proportionalen Anstieg von 8 Prozent pro 100 Bq/m^3 Radon in der Innenraumluft. Da Beobachtungen und Modelle auch Unsicherheiten aufweisen, gibt die Studie unter Berücksichtigung der Unsicherheiten einen Risikoanstieg von 16 Prozent pro 100 Bq/m^3 Radon in der Innenraumluft an. Bei der Angabe der Radonkonzentration wird immer von einer längerfristigen, mindestens 30 Jahre bestehenden durchschnittlichen Radonexposition ausgegangen.

Das Risiko nimmt mit der Radonexposition proportional zu:



Anstieg des Relativen Lungenkrebsrisikos durch Radon in der Europäischen Pooling-Studie (siehe auch Seite 17) mit Berücksichtigung von Messunsicherheiten.

Die durchgezogene Linie zeigt die beste Anpassung mit einer Gerade von 16%-Risikoanstieg je weiteren 100 Bq/m³ Radon in der Raumluft. KI = Konfidenzintervall (Vertrauensbereich)

[Quellen: Deutsche Strahlenschutzkommission, SSK-Band 62: »Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in Deutschland«, 2008; Zahlen aus Darby S, Hill D, Auvinen A, et al., »Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies«, BMJ 2005; 330 (7485): 223-228]

Die deutsche Strahlenschutzkommission (SSK) schätzte im Jahr 2007, dass bei jährlich ca. 37.700 Lungenkrebstodesfällen (28.550 ♂, 9.150 ♀) in Deutschland rd. 1.900 Fälle (1.400 ♂, 500 ♀) mit der Radonexposition in Wohnungen assoziiert sind. Der Schätzung liegt der o. g. lineare Zusammenhang und

eine mittlere Radonkonzentration in Deutschland von rd. 50 Bq/m³ in Gebäuden zugrunde. Die Zahl entspricht einem Anteil von 5% aller Lungenkrebstodesfälle bezogen auf das Jahr 2006. Neuere Berechnungen auf der Grundlage aktueller Lungenkrebstodeszahlen in Deutschland liegen nicht vor.

DIE WHO-LEITLINIE FÜR INNENRAUMLUFTQUALITÄT

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) veröffentlichte im Jahr 2010 neue Leitlinien zur Raumluftqualität. Die Leitlinie enthält eine Liste von Innenraumschadstoffen, die nach den allgemein anerkannten wissenschaftlichen Erkenntnissen gesundheitliche Effekte und Krankheiten beim Menschen verursachen. Die in der folgenden Liste aufgeführten Schadstoffe gelten als krebserregend. Für sie sind keine Schwellenwerte bekannt, unterhalb derer ein Gesundheitsrisiko ausgeschlossen werden kann.

Die Gesundheitsrisiken liegen zwischen 10⁻⁴ und 10⁻⁷, jeweils bezogen auf eine normierte Innenraumkonzentration. Bei den Bezugsmengen wird deutlich, in welchem vergleichsweise niedrigen Mengenbereich sich Radonexpositionen bewegen. Die meisten Personen, die durch Radon Lungenkrebs bekommen, sind geringen und niedrigen Radonkonzentrationen (10 bis einige 100 Bq/m³) ausgesetzt. Hohe Radonkonzentrationen (> 1.000 Bq/m³) in Innenräumen kommen seltener vor.

| SCHADSTOFF | KREBSWIRKUNG | UNIT-RISIKO (KREBSRISIKO) | |
|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Benzol | Leukämie | 6 x 10 ⁻⁶ | pro 1 µg/m ³ |
| PAK-Gemische | Lungenkrebs | 8,7 x 10 ⁻⁵ | pro 1 ng/m ³ |
| Radon (Nichtraucher/innen) | Lungenkrebs | 0,6 x 10 ⁻⁵ | pro 1 Bq/m ³ |
| Radon (Raucher/innen) | Lungenkrebs | 15 x 10 ⁻⁵ | pro 1 Bq/m ³ |
| Trichlorethen | Leber, Niere, Gallengang | 4,3 x 10 ⁻⁷ | pro 1 µg/m ³ |

x 25

[Quelle: Zahlen aus der WHO-Leitlinie für Innenraumschadstoffe: ausgewählte Schadstoffe, deutsche Übersetzung des Regionalbüros für Europa der Weltgesundheitsorganisation, 2011]

LUNGENKREBSTODESFÄLLE IN DEUTSCHLAND

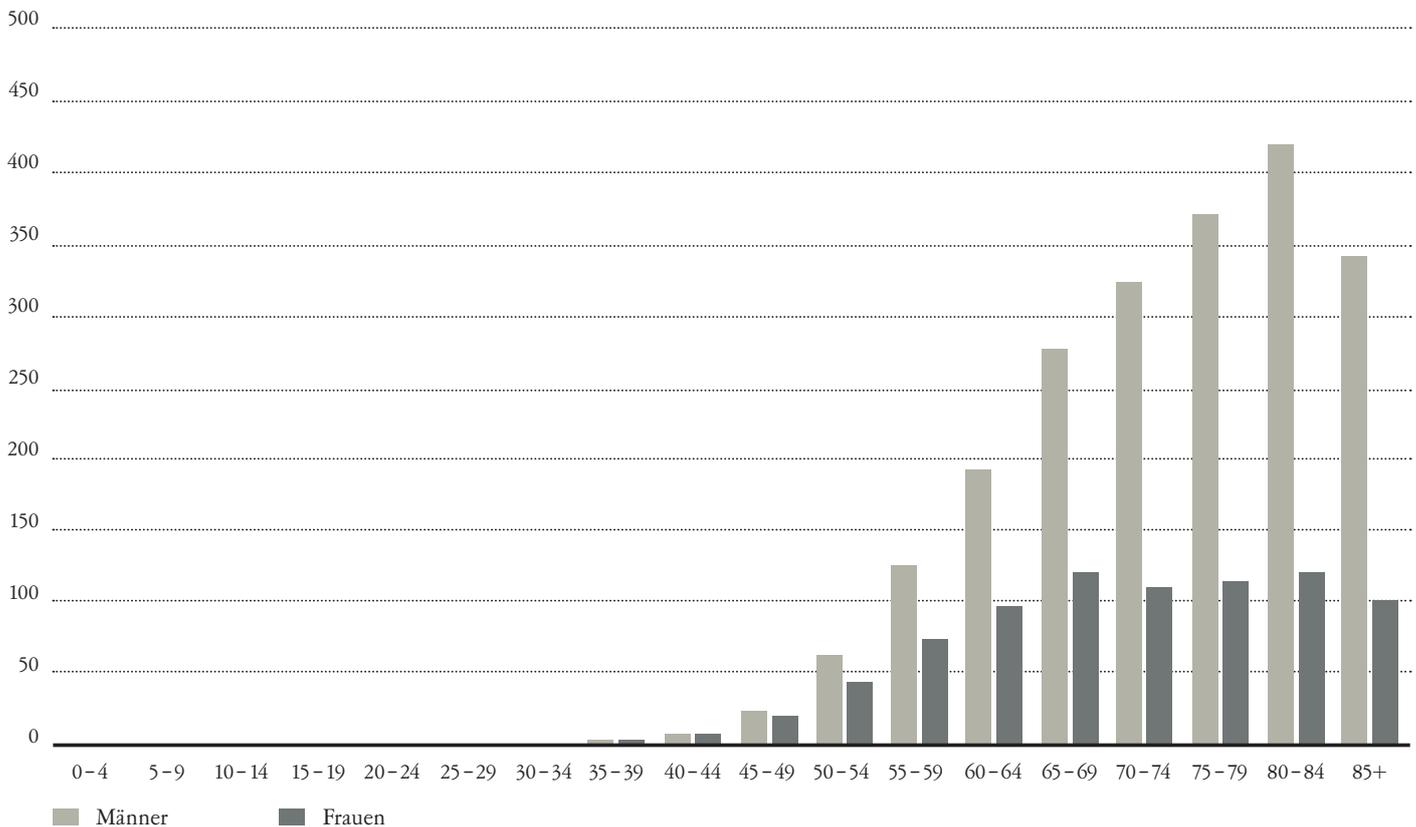
Nach Angaben des Robert-Koch-Instituts (RKI) ist Lungenkrebs in Deutschland seit längerem die dritthäufigste Krebserkrankung bei Frauen (nach 1. Brust- und 2. Darmkrebs) und seit 2010 die zweithäufigste Krebserkrankung bei Männern (nach Prostatakrebs).

Im Jahr 2014 erkrankten etwa 53.800 Menschen an Lungenkrebs (34.500 ♂, 19.300 ♀). Die Zahl der Sterbefälle ist mit knapp 29.560 Fällen bei Männern etwa doppelt so hoch wie bei den Frauen (15.524 Fälle). Die altersstandardisierten Erkrankungs- und Sterberaten entwickeln sich bei beiden Geschlechtern gegenläufig: Seit Ende der 1990er-Jahre stiegen sie bei den Frauen kontinuierlich an, wohingegen die Raten der Männer im gleichen Zeitraum zurückgingen. Diese unterschiedliche Entwicklung kann auf die bereits länger zurückliegende Veränderung der Rauchgewohnheiten zurückgeführt werden.

Lungenkrebs gehört zu den prognostisch ungünstigsten Tumoren. Die relativen 5-Jahres-Überlebensraten liegen bei Frauen bei 20%, bei Männern bei 15%. Die Lungenkrebssterblichkeit steigt mit dem Alter stark an; die meisten Todesfälle (nach absoluten Zahlen) treten in der Altersgruppe 80 bis 84 Jahre auf. Der Verzicht auf das Rauchen stellt nach wie vor die wichtigste Maßnahme zur Prävention von Lungenkrebs dar.

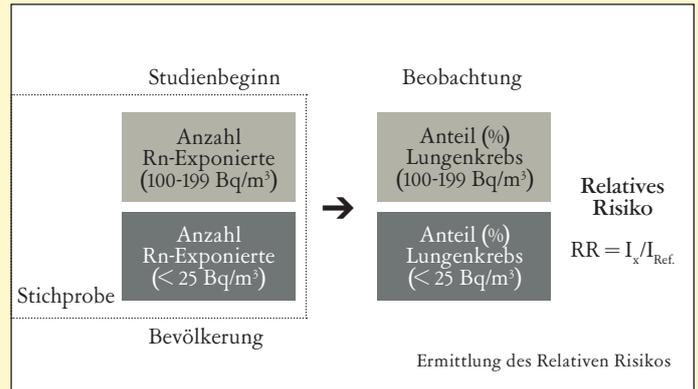
[Quelle: Robert-Koch-Institut, Originaltext aus dem RKI-Bericht »Krebs in Deutschland für 2013/2014«, 11. Auflage, Berlin 2017]

ALTERSSPEZIFISCHE ERKRANKUNGSRATEN NACH GESCHLECHT (JE 100.000 PERSONEN)



[Quelle: Robert-Koch-Institut, »RKI-Bericht Krebs in Deutschland für 2013/2014«, 11. Auflage, Berlin 2017]

Die »Europäische Pooling-Studie« erschien im Jahr 2005 und enthält die bislang weltweit umfangreichste Untersuchung über die Folgen von Radonexpositionen in Wohngebäuden. Die Studie fasste (»poolt«) 13 Radonstudien aus 9 europäischen Ländern (Deutschland, England, Schweden, Finnland, Frankreich, Italien, Spanien, Österreich und Tschechien) zusammen und wertete sie gemeinsam aus. Auf diese Weise konnten Informationen über insgesamt 7.148 Lungenkrebsfälle und 14.208 (gesunde) Kontrollpersonen berücksichtigt werden. Zu den Personen lagen Selbstauskünfte über ihre Rauchgewohnheiten und zu anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs sowie Messwerte oder zumindest Schätzungen aus regionalen Mittelwerten über die Radonkonzentrationen in ihren heutigen und in früheren Wohnungen vor. Betrachtet wurde ein zurückliegender Zeitraum von 5 bis 35 Jahren. Für die Ermittlung des Relativen Risikos durch Radon wurden Expositionskategorien gebildet und die Krankheitsrate je Kategorie mit der Krankheitsrate einer Referenzkategorie verglichen. Als Referenzkategorie diente der Bereich unter 25 Bq/m³ Radon in Innenräumen. Das Relative Risiko ergibt sich rechnerisch aus dem Quotienten des Anteils an Lungenkrebsfällen einer Expositionskategorie dividiert durch den Anteil an Lungenkrebsfällen in der Referenzkategorie.



Im Ergebnis zeigten alle Expositionskategorien im Vergleich zur Referenzkategorie ein erhöhtes Relatives Risiko für Lungenkrebs. Die statistische Signifikanz der Risikoerhöhung wurde für die höheren Expositionskategorien (100–199 Bq/m³ ff.) mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von weniger als 5 % angegeben. Im linearen Risikomodell zeigte sich ein Risikoanstieg für Lungenkrebs von 8 % pro 100 Bq/m³ und mit Berücksichtigung von Unsicherheiten von 16 % pro 100 Bq/m³ Radon in Innenräumen. Diese Risikoerhöhung gilt für Raucher/innen wie für Nichtraucher/innen.

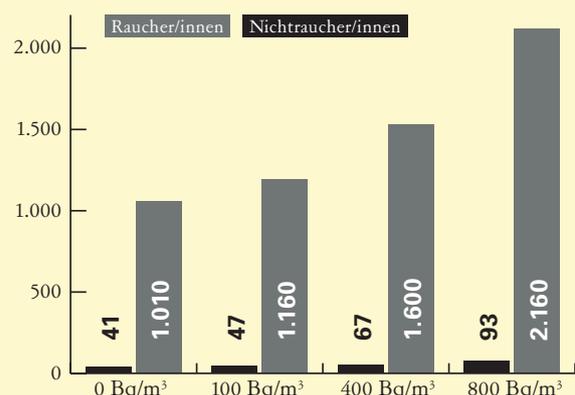
| BEOBSCHTETE RADON-KONZENTRATION [Bq/m ³] | ANZAHL FÄLLE | ANZAHL KONTROLLEN | MITTLERE BEOBSCHTETE RADONKONZENTRATION [Bq/m ³] | RELATIVES RISIKO | 95% KONFIDENZINTERVALL |
|--|--------------|-------------------|--|------------------|------------------------|
| < 25 | 56 | 467 | 17 | 1,06 | 0,78 – 1,45 |
| 25 – 49 | 222 | 1.443 | 38 | 1,07 | 0,90 – 1,26 |
| 50 – 99 | 332 | 2.023 | 71 | 1,02 | 0,90 – 1,16 |
| 100 – 199 | 170 | 866 | 135 | 1,23 | 1,02 – 1,48 |
| 200 – 399 | 63 | 362 | 278 | 1,37 | 1,00 – 1,90 |
| 400+ | 41 | 257 | 711 | 1,72 | 1,04 – 2,88 |
| Gesamt | 884 | 5.418 | 113 | | |

[Quelle: Deutsche Strahlenschutzkommission, SSK-Band 62: »Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in Deutschland«, 2008]

Bei Raucherinnen und Rauchern kommt jedoch zum Risiko durch Radon noch das Risiko durch Rauchen hinzu. Raucherinnen und Raucher (1 Zigarettschachtel pro Tag) weisen allein schon aufgrund des Rauchens ein 25 Mal höheres Risiko auf, bis zum 75. Lebensjahr an Lungenkrebs zu sterben, als lebenslange Nichtraucherinnen und Nichtraucher. Daher unterscheiden sich die durch Radon verursachten prognostizierten Todeszahlen durch Lungenkrebs und die absoluten Risikofaktoren für Raucherinnen und Raucher (15 x 10⁻⁵ pro Bq/m³) und Nichtraucherinnen und Nichtraucher (0,6 x 10⁻⁵ pro Bq/m³) um diesen Faktor. Die meisten durch Radon verursachten Lungenkrebstodesfälle treten bei Raucherinnen und Rauchern auf. Die wirksamste Maßnahme gegen Lungenkrebs ist deshalb, mit dem Rauchen aufzuhören bzw. gar nicht erst damit anzufangen.

WAHRSCHEINLICHKEIT BIS ZUM 75. LEBENSJAHR AN LUNGENKREBS ZU STERBEN

Todesfälle je 10.000 Personen abhängig v. d. Radonkonzentration



[Quelle: Zahlen aus Darby S, Hill D, Auvinen A, et al., »Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies«, BMJ 2005; 330 (7485): 223-228]

Nationaler Referenzwert

Das neue Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) legt erstmals zum Schutz vor Radon in Aufenthaltsräumen einen Referenzwert für die Radonkonzentration in der Raumluft fest. Er beträgt über das Jahr gemittelt 300 Bq/m^3 . Der Referenzwert ist kein Grenzwert. Er ist als Richtwert zu verstehen und dient als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen zum Schutz vor Radon. Sofern mit einfachen Mitteln dieser Wert weiter unterschritten werden kann, sollte dies getan werden. Letztendlich obliegt die Entscheidung darüber jeder und jedem Einzelnen.

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfiehlt einen Referenzwert von 100 Bq/m^3 Radon in der Luft von Innenräumen, um die Gesundheitsrisiken durch Radonexpositionen zu minimieren. Wo dieser Wert aufgrund der vorherrschenden landesspezifischen Gegebenheiten nicht erreicht werden kann, soll der nationale Referenzwert 300 Bq/m^3 nicht überschreiten. Im neuen Strahlenschutzgesetz wurde ein Referenzwert von 300 Bq/m^3 festgelegt. Diese Festlegung erfolgte unter Berücksichtigung aller Umstände, die die Gesundheit der Bevölkerung, die praktische Umsetzung, die Bewältigung der voraussichtlichen Folgen und die Akzeptanz in der Bevölkerung betrachtete. Die Festlegung wird spätestens in 10 Jahren, wenn Erfahrungen aus der Umsetzung der neuen Regelungen vorliegen, vom Gesetzgeber neu bewertet werden und schließt auch heute schon Maßnahmen zum Radonschutz unterhalb des Referenzwertes nicht aus.

Bei neu zu errichtenden Gebäuden sollen Bauvorschriften dafür sorgen, dass von vornherein der Zutritt von Radon aus dem Boden in das Gebäude weitestgehend verhindert

wird. Bauvorschriften können nicht auf einen konkreten Radon-Wert hin gestaltet werden. Die angestrebte grundsätzliche Verhinderung des Radon-Zutritts aus dem Boden in neu zu errichtende Gebäude beinhaltet den Aspekt der Optimierung.

Im Bereich der bestehenden Gebäude, in denen sich keine Arbeitsplätze befinden, setzt das Strahlenschutzgesetz beim Radonschutz auf die Eigenverantwortung der Bürgerinnen und Bürger. Sie sollen nach guter Information durch die Behörden selbst darüber entscheiden, ob und – wenn ja – welche Maßnahmen sie für ihre Wohnung/ihr Gebäude veranlassen. Der Erfolg des Radonschutzes hängt von der Akzeptanz in der Bevölkerung ab. Eine Abkehr weiter Teile der Bevölkerung von dieser Thematik infolge einer empfundenen oder tatsächlichen Überforderung wäre kontraproduktiv. Daher ist der Ansatz, mit einem (höheren) Referenzwert von 300 Bq/m^3 Radon in der Luft zu beginnen und diesen Wert regelmäßig neu zu überprüfen und zu bewerten, richtig und wichtig. So können die Auswirkungen der neuen gesetzlichen Regelungen und deren praktische Umsetzbarkeit beobachtet und der Referenzwert auf der Grundlage von Erfahrungen gegebenenfalls immer noch abgesenkt werden. Die Festlegung des Referenzwertes auf 300 Bq/m^3 Radon in der Raumluft sollte aber auch nicht darüber hinwegtäuschen, dass Schutzmaßnahmen auch unterhalb dieses Wertes – wie von der WHO empfohlen – sinnvoll sind, um die Radonexposition so gering wie möglich zu halten. Nach der Europäischen Pooling-Studie (siehe auch Seite 17) steigt das Lungenkrebsrisiko statistisch ab einem langjährigen Jahresmittelwert von 100 Bq/m^3 Radon in der Raumluft an.

300 Bq/m³

Medizinische Anwendung

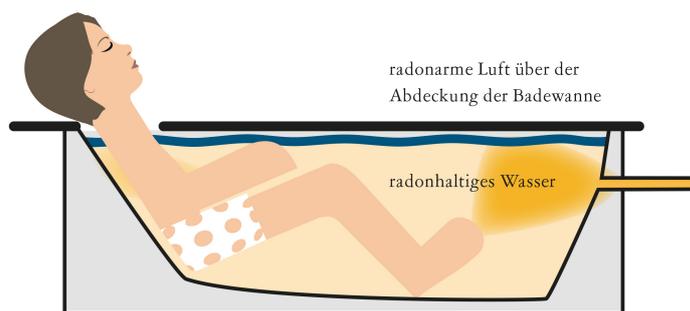
Radon wird in der sogenannten Radonbalneotherapie vor allem bei chronisch schmerzhaften Erkrankungen des Bewegungsapparates (Morbus Bechterew, rheumatoide Arthritis, degenerative Erkrankungen der Gelenke und der Wirbelsäule, bestimmte Formen des Weichteilrheumatismus) eingesetzt. Auch bei ausgewählten Erkrankungen der Atemwege (Asthma, chronische Nasennebenhöhlenentzündung) und der Haut (Neurodermitis, Schuppenflechte) ist die medizinische Anwendung von Radon bekannt. Die Therapien erfolgen als Inhalationskur (Radonheilstollen), Bade- (Radonheilmäder) oder Trinkkur (radonhaltige Wässer). Ihr individueller Einsatz erfordert eine Abwägung zwischen dem therapeutischen Nutzen und dem gesundheitlichen Risiko, das durch Radon für Patientinnen und Patienten entsteht. Diese Abwägung nehmen Ärztinnen und Ärzte vor. Ein Nutzen kann zum Beispiel darin liegen, dass über einen längeren Zeitraum (Monate) körperliche Schmerzen merklich abgemildert werden oder verschwinden und dadurch weniger Schmerzmittel mit nachteiligen Nebenwirkungen benötigt werden.

Radon wird eine entzündungshemmende und schmerzlindernde Wirkung zugeschrieben. Bei vielen Patientinnen und Patienten wird das Immunsystem durch die Behandlung positiv beeinflusst. Als mögliche Erklärung für die therapeutische Wirkung werden unter anderem sogenannte biopositive Effekte aufgeführt. Danach soll von Radon und ionisierender Strahlung im Niedrigdosisbereich eine gesundheitsfördernde Wirkung ausgehen. Diese Erklärung ist in der Fachwelt sehr umstritten und wird kontrovers diskutiert. Die Wirkungsweise von Radontherapien ist noch

unklar. Sie ist Gegenstand wissenschaftlicher Forschung. Demgegenüber ist der Mechanismus für die Entstehung von Lungenkrebs durch Radon und seine Zerfallsprodukte aufgeklärt (siehe auch Seite 13).

Bei Radontherapien sind Patientinnen und Patienten für kurze Zeit (Stunden, verteilt über mehrere Tage) hohen Radonkonzentrationen ausgesetzt, in einem Radonheilstollen beispielsweise über 37.000 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft. Durch die sehr begrenzte Zeit erhöht sich das Risiko, durch eine Radontherapie an Lungenkrebs zu erkranken, nur in geringem Maße. Bei Bade- und Trinkkuren ist die Risikoerhöhung geringer als bei Inhalationskuren, da Radon dabei über die Haut in einem Wannenbad oder den Magen-Darmtrakt durch Trinken aufgenommen wird und weniger Radon und Radonzerfallsprodukte in die Lunge gelangen. Dennoch gilt: Jede Erhöhung des Gesundheitsrisikos muss medizinisch angezeigt und gerechtfertigt sein. Radonanwendungen ausschließlich zu Wellnesszwecken sind nicht zu empfehlen.

Beschäftigte in Radonheilmädern und Radonheilstollen können am Arbeitsplatz dauerhaft erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt sein. Für sie sieht das Strahlenschutzrecht daher Schutzmaßnahmen vor (siehe auch Seite 27).



Radon-Badekur

Wie schütze ich mich vor Radon?

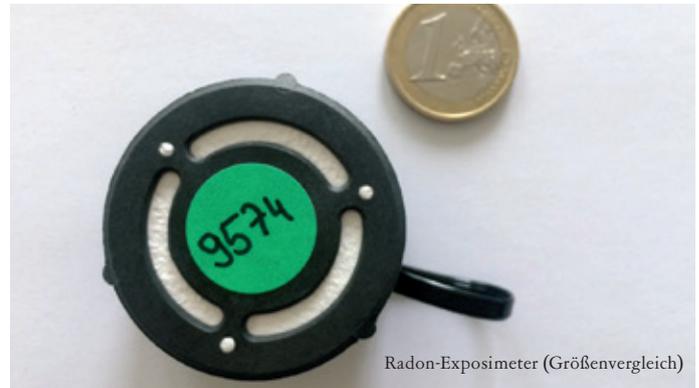
Die folgenden Empfehlungen richten sich an alle Privatpersonen. Sie können gleichermaßen von Arbeitgeberinnen und Arbeitgebern genutzt werden, die etwas für den Schutz ihrer Beschäftigten vor Radon tun wollen oder aufgrund gesetzlicher Vorgaben dazu verpflichtet sind (siehe auch Seite 25).

Um sich vor einer erhöhten Radonexposition schützen zu können, bedarf es des Bewusstseins über ein bestehendes Gesundheitsrisiko. Da Radon nur messtechnisch erfasst werden kann, sind Messungen der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen der einzige Weg, um die persönliche Radonsituation ab- und einschätzen zu können.

LASSEN SIE IHRE RADONSITUATION IN IHRER WOHNUNG ODER IHREM GEBÄUDE (KELLER- UND ERDGESCHOSS) DURCH EINE MESSUNG ERMITTELN. NUR SO KÖNNEN SIE FESTSTELLEN, OB SIE ETWAS ZU IHREM SCHUTZ VOR RADON TUN SOLLTEN.

[KARTENDARSTELLUNGEN ERSETZEN KEINE MESSUNGEN]

Hinweis: Prognosekarten über Radonkonzentrationen in der Bodenluft sind nicht geeignet, Messungen zu ersetzen. Sie können nur Anhaltspunkte dafür geben, ob großräumig das Radonangebot im Boden vergleichsweise hoch oder gering ist. Es kann kleinräumig aufgrund geogener Unter-



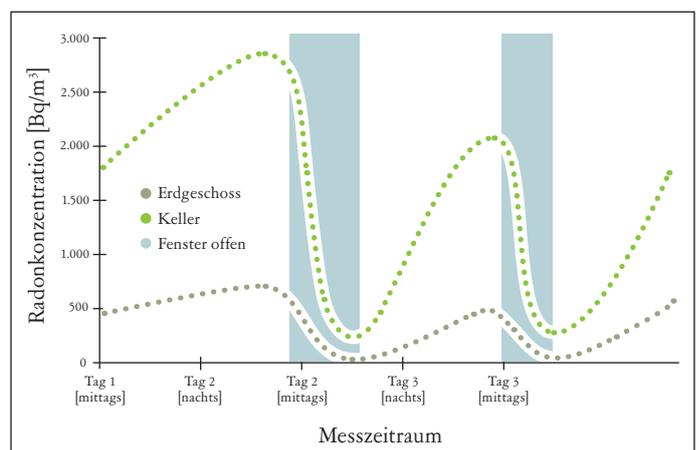
schiede dennoch sehr variieren. Kartendarstellungen sagen auch nichts darüber aus, ob und – wenn ja – wie Radon aus dem Boden in einzelne Gebäude gelangt und sich darin ausbreitet.

Da die Radonkonzentration von Stockwerk zu Stockwerk nach oben abnimmt, sind Radonmessungen insbesondere in Gartengeschoßwohnungen, häufig genutzten Untergeschossräumen (Hobbyräumen) und Erdgeschosswohnungen sinnvoll. Für die Messung und deren Auswertung ist fachkompetente Unterstützung erforderlich. Adressen, wo qualitätsgesicherte Radon-Exposimeter bei Fachinstitutionen bestellt werden können, finden Sie auf der Homepage des Bundesamtes für Strahlenschutz unter dem Stichwort »Radonmessungen«.

Lüften verringert allgemein die Konzentration von Schadstoffen in der Innenraumluft. Ein regelmäßiges, kurzzeitiges Stoß- oder Querlüften stellt die einfachste Maßnahme zum Schutz vor erhöhten Radonexpositionen dar. Räume, in denen Sie sich nur gelegentlich aufhalten (z.B. Kellerräume) und die deshalb selten gelüftet werden, sollten immer vor einem Aufenthalt gelüftet werden.

LÜFTEN SIE REGELMÄSSIG RÄUME, IN DENEN SIE SICH AUFHALTEN, KURZZEITIG RICHTIG DURCH (STOSS- ODER QUERLÜFTEN) UND RÄUME, IN DENEN SIE SICH NUR GELEGENTLICH AUFHALTEN, VOR EINEM AUFENTHALT. SO VERRINGERN SIE ALLGEMEIN DIE KONZENTRATION VON INNENRAUMSCHADSTOFFEN IN IHRER ATEMLUFT.

Die Maßnahme »Lüften« darf aber nicht darüber hinwegtäuschen, dass sich abhängig von den Eintrittsmöglichkeiten und vom Luftdruck relativ schnell wieder erhöhte Radonkonzentrationen in Innenräumen einstellen können.



Beispiel eines Tagesverlaufs einer Radonkonzentration in einem Gebäude

Die Luftwechselrate beeinflusst die Radonkonzentration in Innenräumen. Ihre Überprüfung kann wichtige Informationen über mögliche Lüftungstechnische Lösungen zur Verbesserung des Radonschutzes liefern.

PRÜFEN SIE DIE LUFTWECHSELRATE IN IHREN AUFENTHALTSRÄUMEN. EIN MINDESTLUFTWECHSEL VON 0,5 PRO STUNDE GILT HEUTE ALS STANDARD U. A. ZUR VORBEUGUNG VOR SCHIMMEL.

Für Aufenthaltsräume wird allgemein ein Mindestluftwechsel von 0,5 pro Stunde, d.h. dass in einer Stunde 50 Prozent der Luft eines Raumes ausgetauscht werden, empfohlen. Im Umkehrschluss bedeutet dies, dass die Raumluft alle zwei Stunden komplett ausgetauscht wird. Die Luftwechselrate von 0,5 bis 1 pro Stunde soll neben der Zufuhr von ausreichend Sauerstoff und der Abfuhr von Feuchtigkeit u.a. auch der Bildung von Schimmel vorbeugen. Bei Fensterlüftung wird in der Regel eine Luftwechselrate von 0,1 und in Ausnahmefällen von bis zu 0,3 pro Stunde erreicht. Die Luftwechselrate ist auch bei der energetischen Modernisierung von Gebäuden zu berücksichtigen. Ergibt eine Überprüfung der Luftwechselrate, zum Beispiel durch eine Energieberatung, dass der Mindestluftwechsel nicht eingehalten ist, besteht dringender Handlungsbedarf. Die künftige Einhaltung des Wertes führt bei Einhaltung zu einer Verdünnung des Radons in der Atemluft. Die mittlere Radonkonzentration wird gesenkt.

Besser als gelegentliches Stoßlüften ist der Einbau einer zentralen oder dezentralen Lüftungsanlage, welche einen ständigen Luftaustausch gewährleistet und wodurch sich die Radonkonzentration dauerhaft auf einem niedrigen Niveau einstellt. Eine Lüftungsanlage stellt in Kombination mit einer gegen Radon abgedichteten Außenhülle eine optimale Lösung dar.



Blower-Door-Gerät zur Feststellung der Dichtheit eines Gebäudes

Zeigen Messungen, dass der Referenzwert von 300 Bq/m^3 Radon in der Luft von Aufenthaltsräumen überschritten wird, sollten auf jeden Fall Maßnahmen zum Schutz vor Radon ergriffen werden. Die statistische Beobachtung der Erkrankungszahlen an radonbedingtem Lungenkrebs (siehe auch Seite 17) zeigt, dass Maßnahmen auch unterhalb dieses Wertes sinnvoll sind, um die Radonexposition und damit die Strahlenexposition so gering wie möglich zu halten. Neben der Erhöhung des Luftaustausches (siehe oben) kann ein weiterer Schritt auch die Suche und der fachgerechte Verschluss von möglichen Eintrittsstellen von Radon ins Gebäude sein.

VERANLASSEN SIE EINE SUCHE NACH DEN EINTRITTSTELLEN FÜR RADON INS GEBÄUDE. SIE IST WICHTIG, UM DIE BAULICHEN GEGEBENHEITEN PRÜFEN UND BEWERTEN ZU KÖNNEN.

- :: Risse
- :: Spalten, Öffnungen
- :: Fugen
- :: Rohr- und Kabeldurchführungen

Beschränken sich diese auf wenige Stellen wie zum Beispiel ungenügend abgedichtete Leitungsdurchführungen, kann eine fachgerechte Abdichtung schon ausreichen, um den Radonzutritt in Gebäude ausreichend zu reduzieren. Grundsätzlich sollten aber auch kleinere Reparaturarbeiten durch Fachpersonal ausgeführt werden.

Die Kenntnis der Eintrittsstellen ermöglicht, die Räume zu identifizieren, in die das Radon zuerst ins Gebäude gelangt. Ein möglicher Ansatz könnte auch darin bestehen, die betreffenden Räume zukünftig nicht mehr als Aufenthaltsräume zu nutzen (Maßnahme »Umnutzung«) und sie gebäudeintern von den Aufenthaltsräumen abzudichten. Dazu kann schon eine Verbesserung der Abdichtung von Kellertüren ausreichen.



Tritt Radon über viele Stellen oder sogar über ganze Flächen in das Gebäude ein, werden aufwendigere bauliche und anlagentechnische Maßnahmen notwendig. Solche Maßnahmen setzen eine besonders sorgfältige Planung und Ausführung durch Fachfirmen voraus. In der Regel stehen mehrere Lösungsansätze zur Verbesserung des Radonschutzes zur Verfügung, die von ihrem Aufwand, den damit verbundenen Kosten und der Wirksamkeit her abzuwägen sind.

Beispiele sind:

- :: der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung
- :: das Aufbringen radonhemmender Beschichtungen oder die Verlegung gasdichter Folien
- :: das Nachbetonieren von Naturkellerböden
- :: der Einbau eines sogenannten Radonbrunnens in einem Gebäude oder das Absaugen der Bodenluft unter dem Fundament außerhalb des Gebäudes



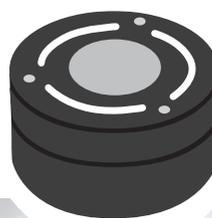
Schematische Darstellung eines Radonbrunnens

ZIEHEN SIE BEI AUFWENDIGEREN BAULICHEN MASSNAHMEN EINE FACHFIRMA HINZU. IN DER REGEL STEHEN MEHRERE LÖSUNGSANSÄTZE ZUR VERFÜGUNG, DIE ES GILT ABZUWÄGEN.

Nach Abschluss von Maßnahmen zum Schutz vor Radon sollte stets der erzielte Erfolg durch Messungen überprüft werden. Anderenfalls bleibt unklar, ob die durchgeführte Maßnahme auch wirklich den angestrebten Schutz erreicht.

ÜBERPRÜFEN SIE NACH JEDER MASSNAHME, DIE SIE FÜR DEN RADONSCHUTZ VORNEHMEN, DURCH MESSUNGEN DEN ERZIELTEN ERFOLG (ERFOLGSKONTROLLE).

BEI KÜNFTIGEN BAULICHEN VERÄNDERUNGEN, DIE EINFLUSS AUF DIE LUFTWECHSELRATE HABEN KÖNNEN, SOLLTE DER RADONSCHUTZ MIT BETRACHTET WERDEN (Z.B. ENERGETISCHE MODERNISIERUNG)



Radon-Exposimeter



Prüfung des Bedarfs für eine energetische Modernisierung

Wie messe ich Radon?

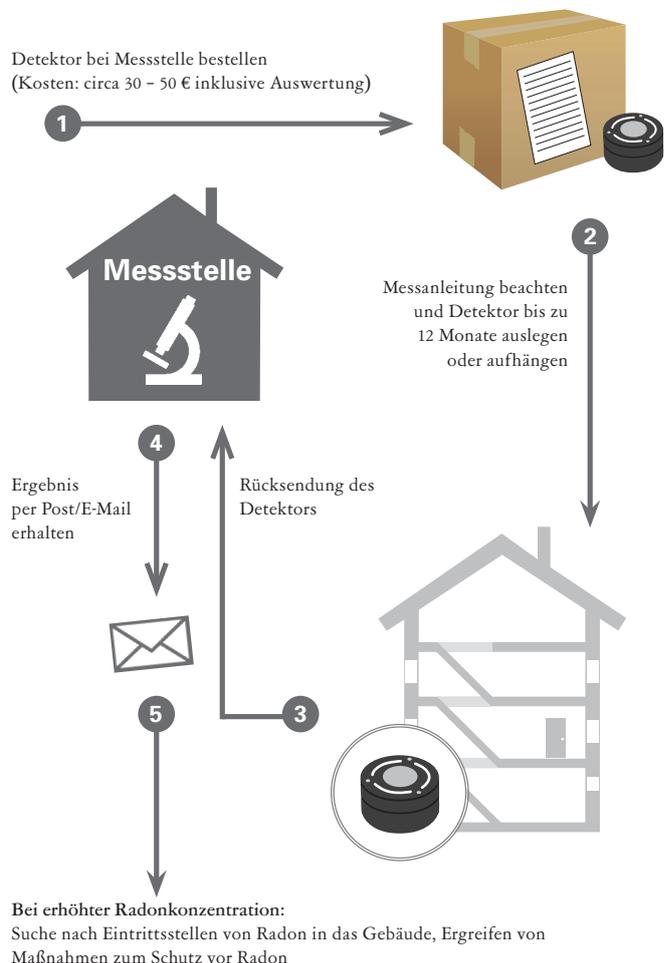
Die Radonkonzentration in der Luft kann nur messtechnisch ermittelt werden. Bei der Messung von Radon wird zwischen Langzeit- und Kurzzeitmessungen und aktiven und passiven Messverfahren unterschieden. Bei aktiven Messungen kann der aktuelle Messwert direkt auf einem Messgerät abgelesen werden, bei passiven Messungen erhält man das Messergebnis erst nach einer Auswertung in einem Labor. Für eine Bewertung der individuellen Radonsituation in Wohnräumen eignen sich nur Messungen über einen längeren Zeitraum (Langzeitmessungen). Üblicherweise wird ein passives Messverfahren verwendet.

| MESSUNG | DAUER | MESSZWECK | METHODE |
|-----------------|--|---|--|
| Kurzzeitmessung | Minuten bis Tage | Orientierung (Screening), Eintrittspfad-suche | aktive Messung mit einem direkt ablesbaren Messgerät |
| Langzeitmessung | 2 Monate (Erstbewertung) bis 1 Jahr (Vergleich mit dem Referenzwert) | Abschätzung des jährlichen Mittelwerts der Radonkonzentration | passive Messung mit einem Detektor + Laborauswertung |

LANGZEITMESSUNGEN

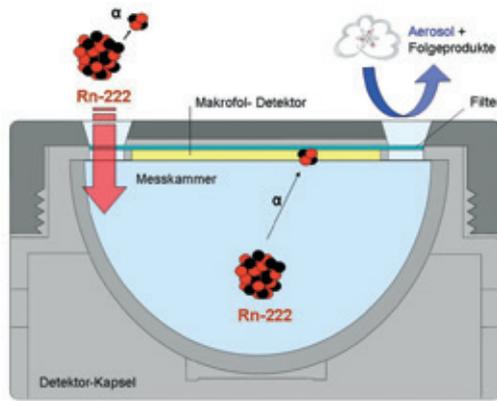
Langzeitmessungen dauern mindestens 2 Monate (Erstbewertung) bis zu einem Jahr (Vergleich mit dem Referenzwert im Strahlenschutzgesetz). Die ganzjährige Messung des Jahresmittelwertes ist der Idealfall. Bei der Messung eines 2-Monats-Mittelwertes sollte dieser am besten im Frühjahr oder Herbst gemessen werden. Eine Messung in den Sommermonaten ist nicht ratsam, da im Sommer Türen und Fenster häufig geöffnet sind und damit wesentlich besser gelüftet wird als im Jahresdurchschnitt. Die so ermittelte Radonkonzentration wäre geringer als der Jahresmittelwert. Die tatsächlich bestehende Radonexposition würde auf das Jahr gesehen unterschätzt werden. Demgegenüber würde sie bei ausschließlicher Messung in den Wintermonaten (Heizperiode) überschätzt werden. In Wintermonaten wird üblicherweise weniger gelüftet und aufgrund der Temperatur- und Druckunterschiede zwischen außen und innen kann mehr Radon über eine undichte Gebäudehülle in das Gebäude eindringen. Für die Bewertung maßgeblich ist die im jährlichen Mittel vorhandene Radonkonzentration.

Für Langzeitmessungen werden beispielsweise Exposimeter mit Festkörperspurdetektoren (FKSD) eingesetzt. Diese Messungen können auch von Laien sehr einfach und ohne größeren Aufwand durchgeführt werden. Das Exposimeter kann bei einem Messlabor bestellt werden und wird mit einer Anleitung in einer luftdichten Verpackung zugesandt, damit es auf dem Transport nicht durch Radon beeinflusst wird. Es muss dann nur noch in einem Wohnraum, etwa auf einem Regal oder auf einem Schrank, ausgelegt oder an einer Schnur an einem Schrank oder von der Decke hängend angebracht werden. Das Exposimeter ist eine kleine Plastikdose von wenigen Zentimetern Durchmesser und benötigt keinen Strom. Es sendet keine Geräusche oder Licht aus und bedarf während des Auslegezeitraums keiner weiteren Beachtung. Die Ermittlung des Messwertes erfolgt im Messlabor. Hierzu muss das Exposimeter nach dem Auslegezeitraum lediglich in der zum Versand vorgesehenen luftdichten Verpackung an die Messstelle zurückgesendet werden.

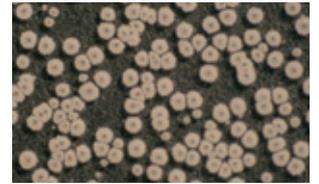




passive Radonmesstechnik



Funktionsprinzip eines Festkörperspurdetektors (FKSD)



Detektorspuren (Mikroskop-Bild)

Das Exposimeter ist so konstruiert, dass das Radongas in die Plastikdose eindringen kann, die Radon-Zerfallsprodukte aus der Zimmerluft jedoch von einem Filter zurückgehalten werden. Beim Zerfall des Radons in der Dose verursachen die entstehenden Alphateilchen in der Detektorfolie kleine unsichtbare Spuren. Für die Auswertung können diese Spuren auf der Detektorfolie sichtbar gemacht und dann unter

einem Mikroskop ausgezählt werden. Die Anzahl der Spuren ist ein Maß für die Radonkonzentration. Auf diese Weise können Radonkonzentrationen im Bereich von 15 Bq/m^3 bis über 5.000 Bq/m^3 Radon in Luft bestimmt werden. Die Methode ist sehr einfach und kostengünstig. Eine Messung (Exposimeter mit Auswertung) kostet je nach Messlabor zwischen 30 und 50 Euro.

KURZZEITMESSUNGEN

Kurzzeitmessungen dauern Minuten bis wenige Tage. Sie können mit Festkörperspurdetektoren (FKSD) oder mit kontinuierlich arbeitenden und direkt ablesbaren Messgeräten durchgeführt werden. Die Messwerte repräsentieren die aktuelle Aktivitätskonzentration während der Probenahmedauer am Messort und unterliegen starken Schwankungen. Aus diesem Grund sind Kurzzeitmessungen zur Bestimmung von Radonexpositionen von Personen weitaus weniger aussagekräftig als Langzeitmessungen und daher ungeeignet. Kurzzeitmessungen eignen sich für einen ersten Überblick über die Radonsituation (»Screening«) und zur Suche nach Eindringstellen von Radon in Gebäude (»Sniffing«). Für die Suche nach Eindringstellen werden insbesondere aktive (elektronische) Messgeräte eingesetzt, bei denen unterschiedliche Messdauern programmiert werden können und die Einzelmesswerte für eine spätere computer-gestützte Auswertung speichern. Das Messprinzip basiert auf der Wechselwirkung von Radon und seinen Zerfallsprodukten mit einer Messkammer, in die Luft angesaugt wird. Durch diese Wechselwirkung entsteht im Messgerät ein elektrischer Strom, der gemessen werden kann und ein Maß für die Radonkonzentration darstellt.



aktive Radonmesstechnik

QUALITÄTSGESICHERTE MESSUNGEN UND MESSSTELLEN

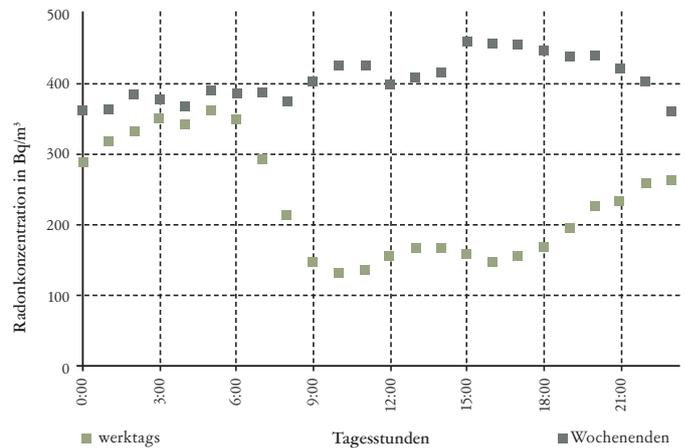
Das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht auf seiner Homepage eine Liste von Messstellen, die qualitätsgesicherte Radonmessungen und Messgeräte (Exposimeter) anbieten. Die in diese Liste aufgenommenen Messstellen nehmen regelmäßig an Vergleichsmessungen beim Bundesamt für Strahlenschutz teil und weisen ihre Qualität nach.

KONTAKTDATEN VON MESSSTELLEN KÖNNEN SIE AUF DER HOMEPAGE DES BUNDESAMTES FÜR STRAHLENSCHUTZ FINDEN.

SCHWANKUNGEN DER RADON-KONZENTRATION

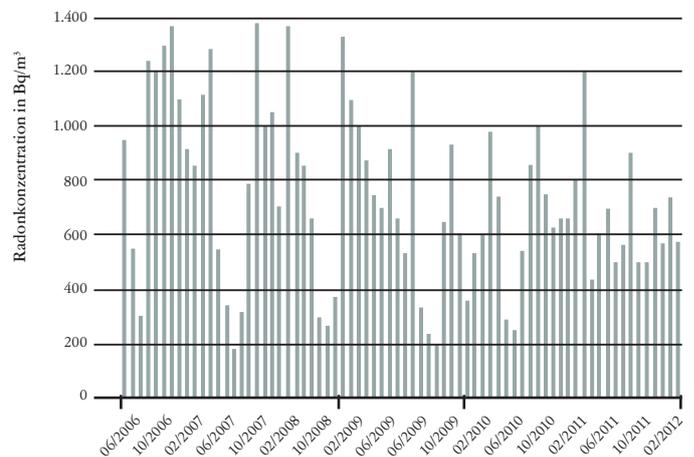
Die Radonkonzentration in der Luft von Innenräumen in Gebäuden, im Freien und in der Bodenluft unterliegt starken Schwankungen. Zeitliche Unterschiede der Temperatur, des Atmosphärendrucks und der Witterung führen dazu, dass tageszeitliche und jahreszeitliche Schwankungen der Radonkonzentration beobachtet werden. Zudem gibt es Hinweise darauf, dass die Radonkonzentration auch über Jahre hinweg stärker als bislang angenommen schwanken kann. Für die Bewertung maßgeblich ist die tatsächliche Radonexposition von Personen. Um diese richtig erfassen zu können, müssen Messungen ausreichend lange durchgeführt werden. Kurzzeitige Schwankungen gleichen sich dann eher aus.

Beispiele für mittlere Tagesgänge der Radonkonzentration in einem Büroraum im Erdgeschoss (Stundenmittelwerte aus Stundenmessungen über 2 Wochen)



[Quelle: Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Sachsen]

Beispiel für einen Verlauf der Monatsmittelwerte der Radonkonzentration in einem Erdgeschossraum



[Quelle: Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) in Sachsen]

Welche gesetzlichen Pflichten bestehen?

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) enthalten Regelungen zum Schutz vor Radon in dauerhaften Aufenthaltsräumen (z.B. in Wohnräumen) und zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen. Für beide Räumlichkeiten gilt ein Referenzwert von durchschnittlich 300 Becquerel Radon pro Kubikmeter Atemluft bezogen auf ein Jahr (12 Monate). Die gesetzlichen Pflichten zum Schutz vor Radon unterscheiden zwischen bereits bestehenden Gebäuden (Bestandsgebäude) und Gebäuden, die erst noch errichtet werden.

Welche Pflichten gelten für Aufenthaltsräume?

Für bestehende Gebäude, in denen es ausschließlich Aufenthaltsräume gibt (keine Arbeitsplätze), ergeben sich aus dem Strahlenschutzrecht keine Pflichten. Radon zu messen ist aber auch in diesen Gebäuden zu empfehlen.

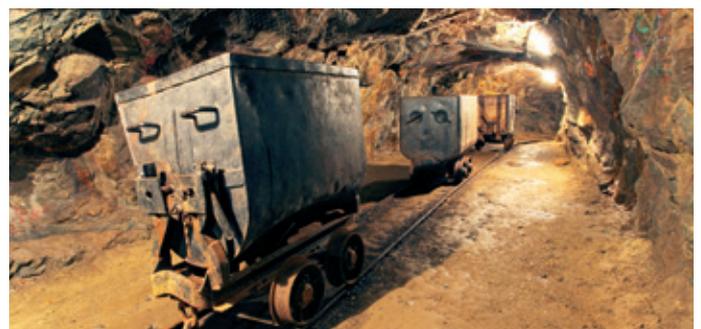
Das Strahlenschutzgesetz verpflichtet das Bundesumweltministerium und die zuständigen Behörden der Länder deshalb dazu, Aufklärungsarbeit in der Bevölkerung zu leisten und auf die mit Radon verbundenen Gesundheitsrisiken hinzuweisen. Die Behörden sollen ausdrücklich dazu anregen, Radon in Gebäuden zu messen. Außerdem sollen sie technische Möglichkeiten aufzeigen und empfehlen, mit denen erhöhte Radonkonzentrationen in Innenräumen verringert werden können (§ 125 StrlSchG).

Das Strahlenschutzrecht sieht keine Pflicht für Radon-Schutzmaßnahmen in Aufenthaltsräumen vor, in denen der Referenzwert für Radon überschritten ist. Davon unbenommen sind Rechte und Pflichten aus anderen Rechtsvorschriften aufgrund der gesundheitlichen Folgen von Radon.

Welche Pflichten bestehen für Arbeitsplätze?

Das Strahlenschutzgesetz verpflichtet Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber an bestimmten Arbeitsplätzen die Radonkonzentration in der Luft bestimmen zu lassen. Hierzu gehören Arbeitsplätze in

1. untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken,
2. Radonheilbädern und Radonheilstollen, sowie
3. Anlagen der Wassergewinnung, Wasseraufbereitung und Wasserverteilung.



Bergwerk



Wasserspeicher

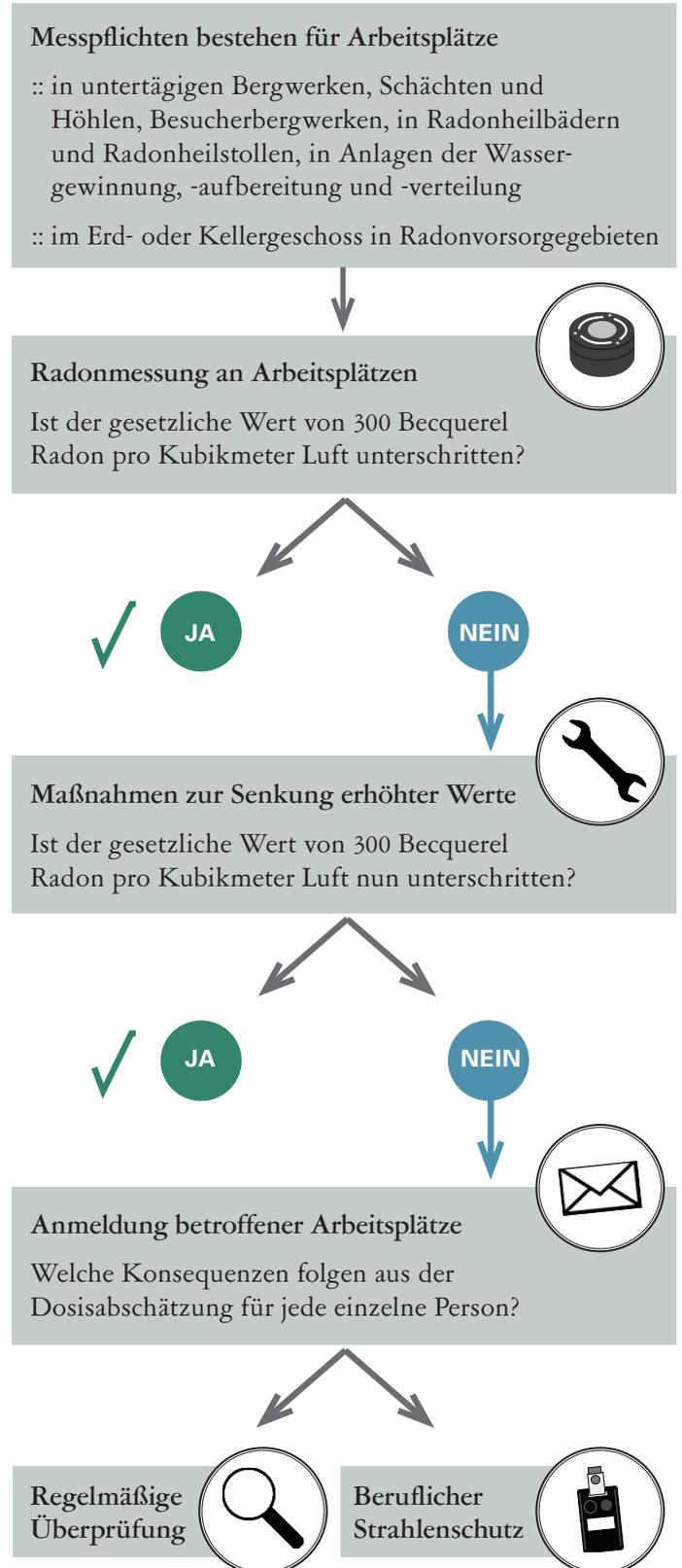
Des Weiteren besteht eine Messpflicht an Arbeitsplätzen im Erd- oder Kellergeschoss von Gebäuden, die sich in behördlich festgelegten und ausgewiesenen Gebieten befinden (§ 127 StrlSchG). Diese Gebiete (»Radonvorsorgegebiete«) werden bis spätestens zum 31. Dezember 2020 bekannt gegeben (§ 121 StrlSchG). Die Radonmessungen müssen an den betroffenen Arbeitsplätzen innerhalb von 18 Monaten abgeschlossen sein. Dabei ist zu beachten, dass eine Messung eine Gesamtdauer von 12 Monaten beansprucht (§ 155 StrlSchV). Anderenfalls ist nicht unbedingt gewährleistet, dass das Messergebnis aussagekräftig genug ist und mit dem Referenzwert (Jahresmittelwert) aus dem Strahlenschutzgesetz verglichen werden kann. Die Messungen erfolgen mit Geräten, die bei einer vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) offiziell anerkannten Messstelle bezogen werden (§ 155 StrlSchV). Stellt sich bei einer Messung heraus, dass der Referenzwert für Radon an einem Arbeitsplatz überschritten ist, müssen die Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber unverzüglich Maßnahmen ergreifen, um die Radonkonzentration in der Luft an diesem Arbeitsplatz zu senken (§ 128 StrlSchG). Die ergriffenen Maßnahmen sollen nachhaltig sicherstellen, dass Beschäftigte an ihren Arbeitsplätzen keinen erhöhten Radonkonzentrationen mehr ausgesetzt sind. Der Erfolg ist durch eine erneute Radonmessung zu überprüfen und nachzuweisen. Für den Nachweis gewährt das Strahlenschutzgesetz einen Zeitraum von maximal 24 Monaten nach Bekanntwerden der Überschreitung des Referenzwerts (§ 128 StrlSchG). Misslingt der Nachweis, das heißt ist der Referenzwert für Radon am Arbeitsplatz trotz ergriffener Schutzmaßnahmen weiterhin überschritten, sind Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber verpflichtet, den Arbeitsplatz bei der zuständigen Behörde förmlich anzumelden. In Baden-Württemberg sind die zuständigen Behörden die örtlich zuständigen Regierungspräsidien. Der Arbeitsplatz unterliegt dann auch der strahlenschutzrechtlichen Überwachung (§ 178 StrlSchG). Mit der Anmeldung (§ 129 StrlSchG) sind bei der Behörde

1. Informationen über die Art des betreffenden Arbeitsplatzes und die Anzahl der betroffenen Arbeitskräfte,
2. die Ergebnisse aus der erstmaligen Messung sowie der Erfolgskontrolle,
3. Informationen zu den bislang getroffenen Maßnahmen und den im weiteren vorgesehenen Maßnahmen zum Schutz der Arbeitskräfte vor Radon, sowie
4. für alle an diesem Arbeitsplatz betroffenen Arbeitskräfte individuelle Abschätzungen der effektiven Dosis im Kalenderjahr

einzureichen. Die Dosisabschätzung muss innerhalb von 6 Monaten nach der Anmeldung bei der Behörde vorliegen (§ 130 StrlSchG). Besteht die Möglichkeit, dass eine beschäftigte Person am betreffenden Arbeitsplatz durch Radon eine effektive Dosis von mehr als 6 Millisievert (= 6.000 Mikrosievert) im Kalenderjahr erhält, sind weitere Anforderungen aus dem beruflichen Strahlenschutz,

wie eine permanente Dosisüberwachung und regelmäßige ärztliche Untersuchungen, zu erfüllen (§ 131 StrlSchG, §§ 157 und 158 StrlSchV).

ÜBERBLICK ÜBER PFLICHTEN VON VERANTWORTLICHEN FÜR ARBEITSPLÄTZE



INFORMATION BETROFFENER ARBEITSKRÄFTE UND DES BETRIEBS- ODER PERSONALRATS

Arbeitgeberinnen und Arbeitgeber sind bei gesetzlich vorgeschriebenen Radonmessungen verpflichtet, die betroffenen Arbeitskräfte sowie den Betriebs- oder Personalrat über die Ergebnisse der Messungen zu unterrichten. Die Unterrichtung hat unverzüglich zu erfolgen (§ 127 StrlSchG). Die an betroffenen Arbeitsplätzen notwendigen Maßnahmen zur Verringerung der erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft müssen ebenfalls unverzüglich ergriffen werden (§ 128 StrlSchG). Die Pflicht zur unverzüglichen Unterrichtung gilt auch für die Überprüfung des Erfolgs der ergriffenen Radonschutz-Maßnahmen. Werden an einem betroffenen Arbeitsplatz externe Arbeitskräfte eingesetzt, müssen diese von ihrer eigenen Arbeitgeberin und ihrem eigenen Arbeitgeber über die Radonsituation unterrichtet werden. Verantwortliche für Arbeitsplätze mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft sind verpflichtet, Fremdfirmen darüber in Kenntnis zu setzen.

VERHÄLTNIS ZU ANDEREN VORSCHRIFTEN ZUM SCHUTZ VON ARBEITSKRÄFTEN

Die Regelungen zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen gelten unabhängig von sonstigen bestehenden Regelungen zum Strahlenschutz und zum Schutz von Beschäftigten während ihrer Berufsausübung (beispielsweise Arbeitsschutzgesetz, Mutterschutzgesetz). Das Strahlenschutzgesetz sieht vor, dass Strahlendosen aus dem arbeitsbedingten Umgang mit radioaktiven Stoffen und ionisierender Strahlung mit den Dosen, die durch erhöhte Radonkonzentrationen am Arbeitsplatz entstehen, addiert werden (§ 166 StrlSchG). Die so individuell ermittelten Gesamtdosen müssen im Strahlenschutzregister des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) erfasst werden (§ 170 StrlSchG). Als Spezialgesetz legt das Strahlenschutzgesetz fest, ab welchen Strahlendosiswerten und welchen erhöhten Radonkonzentrationen eine Gefährdung am Arbeitsplatz vorliegt, welche möglichst vermieden werden sollte, unverantwortbar und daher unzulässig ist. Es konkretisiert damit andere Vorschriften und ergänzt die Anforderungen an den Strahlenschutz von Arbeitskräften.

MERKKASTEN

Die effektive Dosis (siehe auch Seite 14) in Millisievert, die eine Person durch das Einatmen von Radon in Aufenthaltsräumen oder an Arbeitsplätzen im Jahr erhält, lässt sich vereinfacht durch Multiplikation des gemessenen Jahresmittelwerts in Becquerel pro Kubikmeter Luft mit der persönlichen Aufenthaltszeit in Stunden dividiert durch die Zahl 320.000 abschätzen.

$$\text{Jahresdosis [mSv]} = \frac{\text{Jahresmesswert [Bq/m}^3\text{]} \times \text{Stunden [h]}}{320.000 \text{ [Bq/m}^3 \times \text{h]} / 1 \text{ mSv}}$$

(Ein Rechenbeispiel findet sich im Anhang.)

Die Anwendung der Formel setzt Randbedingungen voraus, die für normale Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze wie zum Beispiel Büroräume oder Klassenzimmer eingehalten sind.

Was ist bei Bestandsgebäuden zu beachten?

Bauliche Veränderungen an bestehenden Gebäuden können den Luftaustausch in Innenräumen beeinflussen. Dazu zählt auch die Verbesserung der Luftdichtheit der Gebäudehülle, zum Beispiel durch eine geringere Fugendurchlässigkeit bei Fenstern und Türen. Wenn die Luftwechselrate gegenüber dem bisherigen Zustand erheblich verringert wird, kann sich Radon vermehrt in Innenräumen ansammeln und zu erhöhten Radonkonzentrationen führen. Daher sollen nach dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) bei baulichen Veränderungen, die den Luftaustausch in Aufenthaltsräumen oder an Arbeitsplätzen in Gebäuden verringern, Maßnahmen zum Schutz vor Radon mit bedacht werden (§ 123 Abs. 4 StrlSchG). Diese Aufforderung ist eine sogenannte Soll-Vorschrift, die in der Regel zu beachten ist. In erster Linie ist sie ein Appell an die Eigenverantwortung der Bauherren und Bauherinnen, um das Risiko durch eine erhöhte Radonkonzentration möglichst gering zu halten. Sofern sich in dem Gebäude jedoch Arbeitsplätze befinden und Radonmessungen nach der baulichen Veränderung dort eine Überschreitung des Referenzwerts zeigen, *müssen* Schutzmaßnahmen ergriffen werden. Der mögliche Mehraufwand lässt sich durch eine gute Planung im Vorhinein vermeiden. Dazu kann auch eine Änderung der Raumnutzung gehören. In jedem Fall gilt, dass der Schutz vor Radon dem langfristigen Gesundheitsschutz dient und bei der Planung und Erstellung eines sogenannten »nachhaltigen Gebäudes« berücksichtigt werden sollte. Aus diesem Grund enthalten die Nachhaltigkeitskriterien im staatlich geförderten kommunalen Hochbau in Baden-Württemberg (NBBW) im Kriterium zur Qualität der Innenraumluft (NAKR 07) auch den Schutz vor erhöhten Radonexpositionen (siehe auch Seite 32).

Was ist beim Neubau zu beachten?

Das Strahlenschutzrecht ergänzt die Bauvorschriften des Landes. Bereits bei der Planung und beim Bau eines neuen Gebäudes müssen Maßnahmen getroffen werden, die von vornherein einen Zutritt von Radon aus dem Baugrund in das Gebäude verhindern oder zumindest erheb-

lich erschweren (§ 123 StrlSchG). Da nicht jede Region in Deutschland und Baden-Württemberg in gleichem Maße von der Thematik Radon betroffen ist, unterscheidet das Strahlenschutzrecht bei den Anforderungen an neue Gebäude nach Gebieten. In behördlich festgelegten und ausgewiesenen Gebieten (»Radonvorsorgegebiete«) gelten höhere Anforderungen, als in allen übrigen Bundes- oder Landesteilen (vergleiche hierzu die Messpflichten an Arbeitsplätzen in Erd- und Kellergeschossen). Die Gebiete müssen bis spätestens zum 31. Dezember 2020 bekannt gegeben werden (§ 121 StrlSchG).

Für Gebäude außerhalb der ausgewiesenen Gebiete (übrige Bundes- und Landesteile) gilt die Pflicht, bei Neubauten Maßnahmen ergreifen zu müssen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren, als erfüllt, wenn die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz eingehalten werden (§ 123 Abs. 1 Satz 2 Nr. 1 StrlSchG). Nach der Energie-Einsparverordnung (EnEV) sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass der für die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohner erforderliche Mindestluftwechsel sichergestellt ist. Wird dieser erreicht, trägt auch diese Maßnahme zum Schutz vor Radon bei. Die Radonkonzentration im Gebäude sinkt.

In den ausgewiesenen Gebieten sind nach Strahlenschutzrecht über die o. g. Anforderungen hinaus weitere bautechnische Maßnahmen vorzusehen und durchzuführen (§ 154 StrlSchV). Sie sollen dafür sorgen, dass

- die Radonkonzentration unter dem Gebäude verringert wird,
- die Luftdruckdifferenz zwischen dem Gebäudeinneren und der Bodenluft an der Außenseite von Wänden und Böden mit Erdkontakt gezielt beeinflussbar wird,
- die Rissbildung in Wänden und Böden mit Erdkontakt begrenzt wird,
- Randfugen oder Abdichtungen abgesaugt werden, oder
- Materialien (z.B. Betonsorten) mit der erforderlichen Dicke der Bauteile oder Konstruktionen zum Einsatz kommen, die ein Eindringen von Radon über undichte Stellen der Gebäudehülle oder ein Durchdringen von Radon durch die Gebäudehülle hemmen oder verhindern.

Auch eine Kombination dieser Maßnahmen ist denkbar. Das Deutsche Institut für Normung (DIN) erarbeitet hierzu die Normenreihe DIN SPEC 18117, welche technische Lösungen zum radongeschützten Bauen aufzeigen und standardisieren soll.

Wie werden Radonvorsorgegebiete ausgewiesen?

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) verpflichtet die Länder, Gebiete (»Radonvorsorgegebiete«) zu ermitteln und festzulegen, für die sie in einer »beträchtlichen Zahl von Gebäuden« Überschreitungen der Referenzwerte für Aufenthaltsräume und an Arbeitsplätzen erwarten (§ 121 StrlSchG). Aus der Gebietsfestlegung resultieren die rechtlichen Pflichten und Konsequenzen für Arbeitsplätze in Erd- und Kellergeschossen (§ 127 StrlSchG) sowie für zu errichtende Gebäude (§ 123 StrlSchG).

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat für die anstehenden Gebietsausweisungen ein mathematisches Verfahren entwickelt, mit dem die Gebiete mit besonderer Radonsituation und erwartet höherer Betroffenheit statistisch prognostiziert werden können. Auf dieser Basis hat die Bundesregierung in ihrer Begründung zur Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) vom 5. Dezember 2018 (Bundesratsdrucksache 423/18, Seite 306) für Baden-Württemberg abgeschätzt, dass im Land ca. 10 Prozent der Gemeinden von einer Gebietsausweisung betroffen sein könnten.

Die Festlegung der Radonvorsorgegebiete muss innerhalb der im Land bestehenden Verwaltungsgrenzen erfolgen (§ 153 StrlSchV). Sie muss rechtlich eindeutig sein. Dazu ist eine »Übersetzung« von Prognosen in Verwaltungseinheiten unerlässlich. Die Prognosen sollen dauerhaft durch weitere Radonmessungen verfeinert werden. Die Festlegung der Radonvorsorgegebiete ist alle zehn Jahre zu überprüfen (§ 121 StrlSchG).



Was ist der Radonmaßnahmenplan?

Das Bundesumweltministerium benennt im sogenannten »Radonmaßnahmenplan« die Ziele für die Bewältigung der langfristigen Risiken durch erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden und zeigt Maßnahmen auf, wie diese Ziele erreicht und ihr Erfolg überprüft werden können. Der Plan richtet sich an die Behörden des Bundes und der Länder (§ 122 StrlSchG). Darauf aufbauend entwickeln die Länder abhängig von ihrer jeweiligen Betroffenheit weitere Konzepte und Strategien, um in ihrem Bundesland den Schutz der Bürgerinnen und Bürger vor Radon in Gebäuden zu verbessern.

Was tun wir in Baden-Württemberg?

Die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) veröffentlichte Karte über die Radonkonzentration in Porenräumen der Bodenluft (siehe auch Seite 9) gibt die regionale Verteilung von Radon im Boden für Deutschland und Baden-Württemberg nur in einem sehr kleinen Maßstab (1:1.000.000) wieder. Die Karte basiert auf Radonbodenluftmessungen an deutschlandweit 2.346 geologisch repräsentativen Orten (davon 352 in Baden-Württemberg). Die Auswahl der Messorte berücksichtigte zwar die geologische Variabilität, es konnte damit jedoch nicht jede geologische Formation hinreichend betrachtet werden. Für die Ausweisung der Radonvorsorgegebiete sind weitere Radonmessungen erforderlich, die die Radonsituation erfassen und die Aussagekraft von Prognosen über die regionale Überschreitungswahrscheinlichkeit des Radon-Referenzwerts in Innenräumen von Gebäuden verbessern. Das Umweltministerium führt in der Zeit bis zum Ablauf der gesetzlich vorgesehenen Frist für die Festlegung der Radonvorsorgegebiete (31.12.2020) zusätzliche Radonmessungen in Baden-Württemberg durch. Daneben finden öffentliche Vorträge und Informationsveranstaltungen zu den Themen Radon und Radonschutz statt. Die Präsentationen, Flyer und die vorliegende Broschüre leisten einen Beitrag zur gesundheitlichen Aufklärung der Bürgerinnen und Bürger über die Risiken durch Radon. Bei Fragen zum Thema Radon können sich Bürgerinnen und Bürger auch an die bei der Landesanstalt für Umwelt (LUBW) eingerichtete »Radonberatungsstelle Baden-Württemberg« wenden.

RADONBERATUNGSSTELLE BADEN-WÜRTTEMBERG

www.radon-lubw.de



Die Beratungsstelle hat auch die Aufgabe, in Baden-Württemberg ein Netzwerk aus fachkundigen Personen aufzubauen und zu pflegen, die sich mit dem Thema »Schutz vor Radon« auskennen und für verschiedene Fragestellungen praktische Unterstützung anbieten.

Grundsätze des »Nachhaltigen Bauens Baden-Württemberg (NBBW)«

Das Gesetz zur Förderung des Klimaschutzes in Baden-Württemberg vom 17. Juli 2013 (Klimaschutzgesetz, KSG BW) leistet einen wichtigen Beitrag zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen und für eine nachhaltige Energieversorgung in Baden-Württemberg. Das Gesetz formuliert Ziele für die Verbesserung des Klimaschutzes und schafft dafür die notwendigen Umsetzungsinstrumente. Dazu gehören für den Bereich des kommunalen Hochbaus die Grundsätze des Nachhaltigen Bauens (NBBW, siehe auch www.nbbw.de). Zur Konkretisierung der Grundsätze entwickelte das Umweltministerium zehn wesentliche Hauptkriterien für das nachhaltige Bauen. Die Förderprogramme des Landes für den kommunalen Hochbau sollen diese Kriterien mit einbeziehen (§ 7 Abs. 5 KSG BW). Die öffentliche Hand nimmt damit ihre Vorbildfunktion wahr. Die sogenannten »Nachhaltigkeitskriterien« konzentrieren sich auf die Reduzierung des Energie- und Ressourcenverbrauchs, die Reduzierung der über den gesamten Lebenszyklus summierten Gebäudekosten, die Verwendung von gesundheits- und umweltverträglichen Baustoffen und die Schaffung behaglicher Nutzungsbedingungen. Das Nachhaltigkeitskriterium 7 (NAKR 7) befasst sich mit der Qualität der Innenraumluft. Es geht darum, ein behagliches und gesundes Raumklima zu schaffen. Dazu gehört auch der Schutz vor Radon. Der technische Leitfaden zum Nachhaltigkeitskriterium 7 widmet diesem Thema eigene Unterkapitel und zeigt auf, wie bei einer energetischen Modernisierung eines Gebäudes zugleich der Schutz vor Radon gewährleistet werden kann. Energetische Modernisierungen von Gebäuden zum Schutz des Klimas und der Schutz vor Radon können bei guter Planung Hand in Hand gehen. Die Nachhaltigkeitskriterien können grundsätzlich auf alle Hochbaumaßnahmen (vom Wohnungsbau bis hin zum Industriebau) auch außerhalb von Förderprogrammen vorteilhaft angewendet werden.

Begriffserläuterungen in einfachen Worten

AEROSOL

Gemisch aus Luft und festen o. flüssigen Schwebeteilchen.

AKTIVITÄT

Die Aktivität ist eine Eigenschaft radioaktiver Stoffe und gibt die Menge eines radioaktiven Stoffes an. Ihre physikalische Einheit ist das Becquerel. Im Anhang findet sich ein Beispiel für die Umrechnung einer angegebenen Menge eines Stoffes von Becquerel in Gramm.

BECQUEREL

Einheit der Aktivität. 1 Becquerel bedeutet, dass im statistischen Mittel 1 Atomkern je Sekunde zerfällt. Einheitenzeichen ist Bq. 1 kBq (Kilobecquerel) sind 1.000 Bq.

DOSIS

Maß für die vom Körper absorbierte Strahlungsenergie. Die Dosis ist die Grundlage zur Bewertung des Risikos für Strahlenschäden und damit auch ein Maß für die Wirkung der Strahlung.

EXPOSITION

Begriff, der beschreibt, dass Personen bestimmten Stoffen, Bedingungen (zum Beispiel ionisierender Strahlung) oder einer bestimmten Umgebung ausgesetzt sind, die auf sie einwirken.

EDELGAS

Gruppe von Gasen, die im Periodensystem der Elemente eine eigene Hauptgruppe bilden. Edelgase gehen unter natürlichen Bedingungen keine chemischen Reaktionen ein. Sie sind chemisch nicht reaktiv (inert).

HALBWERTSZEIT

Zeitspanne, nach der die Hälfte der Atomkerne einer ursprünglichen Menge eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist oder sich umgewandelt hat.

INHALATION

hier: Aufnahme mit der Atemluft.

IONISIERENDE STRAHLUNG

Strahlung, deren Energie ausreicht, damit aus Atomen oder Molekülen durch Abspaltung oder Aufnahme von Elektronen geladene Teilchen (»Ionen«) entstehen.

LUFTWECHSELRATE

Maß oder Angabe für den Austausch der Luft in geschlossenen Räumen gegen Frischluft.

RADIOAKTIVITÄT, RADIOAKTIVE STOFFE

Eigenschaft von Stoffen, von sich aus ohne äußere Einwirkung zu zerfallen und dabei ionisierende Strahlung auszusenden.

RADONBALNEOTHERAPIE

Spezielle Form der Behandlung mit dem radioaktiven Edelgas Radon. Die Verabreichung erfolgt je nach Anwendung über den Aufenthalt in radonhaltigen Stollen (Radonheilstollen), Baden in radonhaltigem Wasser (Radonheilmäder) oder Trinken radonhaltigen Wassers (Trinkkuren).

RADONEXPOSITION

Einer bestimmten Radonkonzentration ausgesetzt sein. Die Höhe der Einwirkung hängt von der Menge des Radons in der Atemluft und der Zeit ab, der eine Person dieser Menge ausgesetzt ist.

RADONVORSORGE GEBIET

Gesetzlich auszuweisendes Gebiet, für das erwartet wird, dass in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen der Referenzwert von 300 Becquerel Radon pro Kubikmeter Atemluft im Jahresmittel überschritten ist.

REFERENZWERT

hier: Gesetzlich festgelegte Mengenangabe (Jahresmittelwert) für das Vorhandensein von Radon in der Luft von Innenräumen, bei deren Überschreitung an Arbeitsplätzen – abgesehen von Ausnahmen – Maßnahmen zum Schutz von Arbeitskräften ergriffen werden müssen. In Aufenthaltsräumen dient der gesetzlich festgelegte Wert als Maßstab dafür zu prüfen, ob Radonschutzmaßnahmen angemessen sind.

SIEVERT

Einheit der effektiven (bewerteten) Dosis. Einheitszeichen ist Sv. 1 mSv (Millisievert) entspricht 1/1000 Sievert. 1 µSv (Mikrosievert) entspricht 1/1000 Millisievert.

STRAHLENEXPOSITION

Einwirkung ionisierender Strahlung.

ZUSTÄNDIGE BEHÖRDE

Behörde, die aufgrund einer rechtlichen Regelung mit der Wahrnehmung einer bestimmten staatlichen Aufgabe betraut ist. Im Falle der gesetzlichen Regelungen zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen ist dies in Baden-Württemberg das örtlich zuständige Regierungspräsidium.

Impressum

HERAUSGEBER

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Kernerplatz 9 | 70182 Stuttgart | Telefon 0711-126-0
www.um.baden-wuerttemberg.de

LUBW Landesanstalt für Umwelt Baden-Württemberg
Griesbachstraße 1 | 76185 Karlsruhe | Telefon 0721-5600-0
www.lubw.baden-wuerttemberg.de

Landesgesundheitsamt Baden-Württemberg im Regierungspräsidium Stuttgart
Nordbahnhofstraße 135 | 70191 Stuttgart | Telefon 0711-904-39001
www.gesundheitsamt-bw.de

TEXT, GESTALTUNG

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg
Büro Petit // Visuelle Kommunikation

REDAKTION

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, Referat 36 »Strahlenschutz«

2. überarbeitete Auflage, August 2019

Diese Broschüre ist klimaneutral auf Recyclingpapier gedruckt, welches mit dem Blauen Engel zertifiziert wurde.



Weitere Informationen

finden Sie im Internet unter www.radon-lubw.de // www.um.baden-wuerttemberg.de // www.bfs.de

Bildnachweis

Cover: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 2: ©atoine2k/Fotolia; Seite 4: ©stefanasal/Fotolia; Seite 5: ©UM-KD BUSCH.com; Seite 7: ©peter hermes furia/Fotolia; Seite 10: ©atoine2k/Fotolia; Seite 11: ©spencer/Fotolia; Seite 12: ©spencer/Fotolia; Seite 13: ©Science RF/Fotolia; Seite 19: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 20: ©Büro Petit // Visuelle Kommunikation; Seite 21: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 22 (beide Bilder): ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 23 Bild oben: ©spencer/Fotolia; Seite 23 Bild unten: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 23 Bild unten: ©ingo bartussek/Fotolia; Seite 24: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 25 (alle Bilder): ©Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT); Seite 27 Bild oben: ©TTstudio/Fotolia; Seite 27 Bild unten: ©werner/Fotolia; Seite 28: ©IAF-Radioökologie GmbH; Seite 31 (beide Bilder): ©IAF-Radioökologie GmbH.

Anhang

RECHENBEISPIELE

Rechenbeispiel 1: Was wiegen 100 Becquerel Radon-222?

Antwort: 0,000 000 000 000 0176 Gramm

Radon-222 hat eine molare Masse von 222 g/mol, d. h. $6,022 \times 10^{23}$ Radon-Atome wiegen 222 g. Die Halbwertszeit beträgt 3,825 Tage (= $3,825 \times 24$ Stunden $\times 3.600$ Sekunden/Stunde = 330.480 s). Daraus errechnet sich für Radon-222 eine spezifische Aktivität von

$$A_{\text{spez}} = \frac{\ln 2}{330.480 \text{ s}} \times \frac{6,022 \text{ E}+23/\text{mol}}{222 \text{ g/mol}} \quad A_{\text{spez}} = 5,69 \times 10^{15} \text{ Bq/g}$$

$\ln 2 \sim 0,69314718056$

1 Becquerel (Bq) = 1 Zerfall pro Sekunde = 1/s

1 mol = $6,022 \text{ E}+23$ Teilchen (Avogadro-Zahl)

Werden nun die 100 Bq Radon-222 durch diese spezifische Aktivität geteilt, ergibt sich als Gewicht eine Masse von $1,76 \times 10^{-14}$ Gramm:

$$\text{Masse} = \frac{100 \text{ Bq}}{5,69 \times 10^{15} \text{ Bq/g}} \quad \text{Masse} = 1,76 \times 10^{-14} \text{ g}$$

$1,76 \times 10^{-14}$ Gramm entsprechen 0,000 0176 Nanogramm. 1 Nanogramm sind 1-Milliardstel eines Gramms. 1 Nanogramm entspricht etwa einem Salzkorn in einem großen Olympiaschwimmbassin (50 m x 25 m x 2 m). Vom Größenverhältnis her entsprechen also 100 Becquerel Radon ($\sim 0,000 02 \text{ ng} = 2/100.000 \text{ ng}$) einem Salzkorn in 50.000 Olympiaschwimmbassins.

Rechenbeispiel 2: Welche Dosis verursachen durchschnittliche 50 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft in einem Wohnraum bei einer Person im Jahr?

Antwort: 1,1 Millisievert

Nach Angaben des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) liegt der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland bei durchschnittlich 50 Becquerel Radon pro Kubikmeter Luft. Unter der Annahme von jährlich 7.000 Stunden Aufenthalt (circa 19 Stunden am Tag) in einem Wohnraum errechnet sich nach der Formel

$$\text{Jahresdosis [mSv]} = \frac{\text{Jahresmesswert [Bq/m}^3] \times \text{Stunden [h]}}{320.000 [\text{Bq/m}^3 \times \text{h}] / 1 \text{ mSv}}$$

$$50 [\text{Bq/m}^3] \times 7.000 \text{ h} / 320.000 [\text{Bq/m}^3 \times \text{h} / 1 \text{ mSv}] = 1,09 \text{ mSv}$$

eine effektive Dosis von gerundet 1,1 Millisievert im Kalenderjahr.



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT