

Radon in Wohnräumen

Klaus Fiedler

Vorkommen

Radon (von lateinisch Radius "Strahl") ist ein radioaktives chemisches Element. Sein Symbol ist Rn, seine Ordnungszahl 86. Es gehört zur Hauptgruppe der Edelgase im Periodensystem der Elemente.

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas, welches beim radioaktiven Zerfall von Uran und Thorium aus seinem Mutternuklid Radium ständig neugebildet wird (Emanation). Radon kann relativ leicht aus dem Boden entweichen und sich über die Luft oder gelöst in Wasser verbreiten. Das Gas entsteht in den Böden und Gesteinen des natürlichen Untergrundes und kann sich von dort entfernen und wandern (Migration). Radon kommt vermehrt in Gebieten mit hohem Uran- und Thoriumgehalt im Boden vor. Das sind insbesondere die Mittelgebirge aus Granitgestein. In Deutschland betrifft das vor allem das Erzgebirge, Thüringer Wald, Schwarzwald, den bayerischen Wald, das Fichtelgebirge und die Eifel. Hierbei gibt es erheblich unterschiedliche Konzentrationen in den einzelnen Regionen. Insgesamt ist Radon in Süddeutschland in wesentlich höherer Konzentration als in Norddeutschland zu finden. Manche Quellen besitzen einen hohen Radonanteil. In der medizinischen Radonbalneologie soll Radon das menschliche Immunsystem stimulieren und dadurch Krankheitssymptome lindern. Hierbei gelang das Radon durch die Inhalation radonhaltiger Luft oder in Wannenbädern durch die Haut in den menschlichen Organismus.

In der Außenluft sind die Radonkonzentrationen durch den Verdünnungseffekt sehr gering. In geschlossenen Räumen kann sich jedoch Radon in der Raumluft anreichern.

Radon ist geruchlos, geschmacklos, farblos und chemisch nahezu inert.

Radon hat am natürlichen Strahlungsaufkommen auf der Erdoberfläche den bei weitem größten Anteil.

Gesundheitsrisiko

Silberfunde in der Nähe von Freiberg führten schon im 12. Jahrhundert zu einer schnellen Besiedlung einer einstmals kargen Gegend, die seither als "Erzgebirge" bezeichnet wird. Es zeigte sich aber bald, dass die exponierten Bergleute häufig schwere Lungenerkrankungen bekamen. Viele Menschen starben schon sehr jung an einer Krankheit, die Agricola, Stadtarzt im böhmischen Joachimsthal (1494 bis 1555), "Bergsucht" nannte. Er vermutete damals, dass durch das Einatmen von Staub die Erkrankung verursacht wurde und entwickelte Vorschläge, Bergwerke künstlich zu belüften. Paracelsus (1493-1541) beschrieb in seinem Buch "Von der Bergsucht und anderen Bergkrankheiten" verschiedene Lungenerkrankungen, die wir heute als Silikose, Tuberkulose oder Lungenkrebs diagnostizieren würden.

1879 erkannten die beiden Mediziner Herting und Hesse dass es sich bei den im Bergbaubereich von Schneeberg rasch tödlich verlaufenden Krankheit, der "Schneeberger Krankheit" um Lungenkrebs handelte. Nachdem die Chemikerin Marie Curie (1867-1934) die "Radium Emanation" entdeckt hatte, wurde 1901 in verschiedenen Stollen im Erzgebirge Messungen durchgeführt. Hierbei konnte Radon überall unter Tage nachgewiesen. Der "Schneeberger Lungenkrebs" wurde 1925 im Rahmen der ersten Berufskrankheiten-Verordnung in Deutschland in die Liste der entschädigungspflichtigen Berufskrankheiten aufgenommen.

Die gesundheitliche Gefährdung geht weniger vom Radon selbst aus, sondern von seinen kurzlebigen radioaktiven Zerfallsprodukten. Aufgrund seiner Edelgaseigenschaften und der Halbwertszeit wird Radon zum größten Teil wieder ausgeatmet, die Atemluft enthält aber immer auch die Zerfallsprodukte des Radons (radioaktive Isotope der Elemente Polonium, Wismut und Blei), welche überwiegend an die in der Luft befindlichen Aerosole oder Staubteilchen angelagert sind. Diese werden dann im Atemtrakt abgelagert und zerfallen dort vollständig. Die dabei entstehende energiereiche Alphastrahlung trifft auf die strahlenempfindlichen Zellen des Bronchialepithels. Die hohe biologische Wirksamkeit der Alphastrahlung kann dann zu einer Schädigung der Zellen führen und somit die Entstehung einer Lungenkrebserkrankung begünstigen. Ein kleiner Teil des eingeatmeten Radons und seiner Zerfallsprodukte kann auch über die Lunge ins Blut gelangen und letztendlich auch in anderen Organen schädigende Wirkungen hervorrufen. Statistisch signifikant nachweisbar ist die Risikoerhöhung für bösartige Tumoren außerhalb der Lunge jedoch erst bei Gesamtradonbelastungen, welche etwa zehnmal so hoch sind, als die derzeit zulässige Lebenszeitdosis. Die höchsten Risiken gab es für Tumoren der Mundhöhle, des Rachenraumes und

der Leber. Belastbare Ergebnisse in dieser Hinsicht werden jedoch erst 2011 vorliegen (Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) 15.12. 2008).

Radon macht mit seinen Zerfallsprodukten etwa 30% der Strahlenexposition der deutschen Bevölkerung aus. Nach aktuellen Erkenntnissen werden circa 7% der Lungenkrebserkrankungen in unserer Republik auf die Wirkung von Radon und der Radonfolgeprodukte zurückgeführt (Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit). Der führende internationale Experte zur Beurteilung der Innenraumemissionen Molhave, Dänemark, schätzt, dass 9% aller Todesfälle an Lungenkrebs auf eine Radonexpositionen in den Wohnungen zurückzuführen sind (Molhave 2009).

Auch das Bundesamt für Strahlenschutz stellt fest, dass europaweit 9% der Lungenkrebstodesfälle und 2% aller Krebstodesfälle durch Radon in Aufenthaltsräumen verursacht werden [Bundesamt für Strahlenschutz, (BfS) 2005]. Radon verursacht jährlich ungefähr 20.000 Lungenkrebstodesfälle in der Europäischen Union, davon etwa 3000 in Deutschland.

Die bisher größte und aussagekräftigste Studie ist die 2005 publizierte gemeinsame Auswertung von 13 europäischen Studien (Darby et. al. 2005 und Kreuzer 2005):

Eine Person die dauerhaft einer Radonkonzentrationen von 100 Bq/m³ ausgesetzt ist, hat im Vergleich zu einer Personen die nie Radon ausgesetzt war eine um circa 10% höheres Lungenkrebsrisiko beziehungsweise eine Person mit 200 Bq/m³ ein 20% höheres Risiko. Dabei nimmt das Lungenkrebsrisiko um circa 10% pro Anstieg der Radonkonzentrationen um 100 Bq/m³ zu. Die Berücksichtigung von Unsicherheiten in der retrospektiven Risikoeinschätzung führte jedoch zu einer Korrektur, so dass ein realer Risikoanstieg von 16% angenommen werden muss. Werden nur lebenslange Nichtraucher betrachtet, so findet sich ebenfalls ein statistisch signifikanter Risikoanstieg von etwa 10%.

Hierbei ist der Zusammenhang annähernd linear. Die Wahrscheinlichkeit bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs tödlich zu erkranken stellt sich wie folgt dar: Bei einer Radonkonzentrationen von 0, 100 und 400 Bq/m³ für Nichtraucher vier, fünf beziehungsweise sieben von 1000 Personen. Weiterhin wird beobachtet, dass Personen, welche Räume mit Radonkonzentrationen zwischen 100 und 200 Bq/m³ Raumluft bewohnen, ein um 20% höheres Lungenkrebsrisiko haben, als Personen, die in Räumen mit Werten unterhalb von 100 Bq/m³ leben. Somit besteht eine statistisch signifikant erhöhtes Lungenkrebsrisiko selbst unterhalb der Radonkonzentrationen von 200 Bq/m³.

Das BfS empfiehlt daher für Neubauten ein Wert von 100 Bq/m³ Raumluft und weist daraufhin, dass die Kosten zur Einhaltung dieses Wertes bei Neubauten in vielen Fällen bei maximal 2000 € für ein Haus mit 100 m² Grundfläche betragen.

Lungenkrebsrisiko Nummer 1 bleibt jedoch das Rauchen. Besonders gefährlich ist hierbei die kombinierte Wirkung von Radon und Rauchen.

Die Weltgesundheitsorganisation schätzt den Anteil der durch Radon verursachten Lungenkrebserkrankungen auf 3 bis 14%, abhängig vom Durchschnitt der Radonkonzentrationen in dem betreffenden Land und der Berechnungsmethode. Radon ist die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs nach dem Rauchen. Die meisten Radon induzierten Fälle von Lungenkrebs betreffen Raucher, wegen des stark kombinierten Effektes von Rauchen und Radon.

In Deutschland beträgt die durchschnittliche Radonkonzentrationen in Wohnungen 49 Bq/m³.

Nach neuesten Abschätzungen werden in Deutschland ungefähr 5% aller Lungenkrebssterbefälle pro Jahr durch Radon in Wohnungen verursacht. Dies entspricht in absoluten Zahlen ungefähr 1900 durch Radon verursachten Todesfälle pro Jahr (Menzler et al. 2006).

Tabelle 1: Wahrscheinlichkeit bis zum 75. Lebensjahr an Lungenkrebs zu versterben in Abhängigkeit von der Radonkonzentration (Quelle: Darby et al. 2005)

Radonkonzentration in Bq/m ³	Todesfälle je 1000 Nichtraucher	Todesfälle je 1000 Raucher
0	4,1	101
100	4,7	116
200	5,4	130
400	6,7	160
800	9,3	216

Radonschutzgesetz

Die Bundesrepublik hat ein Radonschutzgesetz vorbereitet, welches jedoch bislang nicht vom Gesetzgeber verabschiedet wurde, weil die Zustimmung der Länder nicht erfolgte. Der Entwurf des Radonschutzgesetzes enthält einen Zielwert von 100 (Bq/m³), auf dessen Basis Maßnahmen zum radonsicheren Bauen bei Neubauten und für eine Sanierung bestehender Gebäude geregelt werden sollen.

Es ist geplant so genannte Radonvorsorgegebiete festzulegen. Basis der Klasseneinteilung ist die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft. Die regionale Verteilung der Bodenemissionen ist dabei der Bodenluftkarte Deutschlands zu entnehmen. Hierbei werden folgende Klassen definiert:

- Radonvorsorgegebiet I: 20 bis 40 (Bq/m³)
- Radonvorsorgegebiet II: über 40 bis 100 (Bq/m³)
- Radonvorsorgegebiet III: über 100 (Bq/m³)

Hierbei wird davon ausgegangen, dass bei erhöhten Bodenluftkonzentrationen auch mit erhöhten Radonaktivitätskonzentrationen in Gebäuden zu rechnen ist. Für jede Klasse sollen aus diesem Grund unterschiedliche Maßnahmen für Neubauten und bereits existierende Gebäude festgelegt werden. In Regionen mit Bodenluftkonzentrationen unter 20 (Bq/m³) werden für keine Gebäude Maßnahmen zum Radonschutz als notwendig erachtet.

Die Verabschiedung des Gesetzes würde zur Folge haben, dass bereits bei Ausweisung von Neubaugebieten entsprechende Untersuchungen durchgeführt beziehungsweise die Ergebnisse vorliegender Messungen berücksichtigt werden müssen. Für bereits bestehende Gebäude werden Sanierungsmaßnahmen definiert, deren Umfang und Zeitraum, innerhalb dessen eine Umsetzung erfolgen soll, sich an der Höhe der gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen orientieren soll. Der Bezugswert ist hierbei der Jahresmittelwert im Aufenthaltsraum. Das gilt aber nur für Gebäude und Räume, welche öffentlich genutzt werden oder anderen Personen zur Nutzung, z.B. in Mietwohnungen, überlassen werden, das heißt nicht für vom Eigentümer selbstgenutzte Häuser oder Räume. Das bedeutet in der Praxis, dass zum Beispiel Mieter von ihrem Vermieter die Durchführung einer Radonmessung sowie gegebenenfalls eine anschließende Sanierung einfordern können.

Liegt in einem Gebäude der Jahresmittelwert einer Radonmessung über 100 (Bq/m³) so sind Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration durchzuführen. Für die Sanierungsmaßnahmen werden im Einzelnen folgende Messwertbereiche unterschieden:

- 100 bis 400 (Bq/m³): Sanierungszeiten von zehn Jahren
- über 400 bis 1000 (Bq/m³) : Sanierungszeiten von fünf Jahren
- über 1000 (Bq/m³): Sanierungszeiten von drei Jahren

Bei der Sanierung soll einen Zielwert unterhalb von 100 (Bq/m³) erreicht werden. Dieser Wert gilt auch für Neubauten.

Auch die WHO empfiehlt einen Richtwert von 100 (Bq/m³) um das Gesundheitsrisiko bezüglich einer Innenraumexposition gegenüber Radon zu minimieren. Da dieser Wert unter den gegenwärtigen landesspezifischen Bedingungen nicht erreicht werden kann, fordert die WHO, dass zumindest die Konzentration von 300 Bq/m³ nicht überschritten wird. Dieser Referenzwert entspricht ungefähr 10 mSv im Jahr.

Vorkommen in Wohnungen

Die in einem Haus vorkommenden Radiumkonzentrationen hängen von der Beschaffenheit des Untergrundes (z.B. Gesteinsart, Klüftung), den Witterungsbedingungen (z.B. Temperatur, Feuchtigkeit) der Beschaffenheit der Bausubstanz (z.B. Alt-, Neubau, Baumaterial) sowie den Lüftungsbedingungen und Gewohnheiten ab.

In den Wohnungen variieren in Abhängigkeit von den oben genannten örtlichen geologischen Bedingungen die Radonkonzentrationen von wenigen Becquerel (Bq/m³) pro Kubikmeter bis zu einigen 1000 und erreichen in Extremfällen sogar einige 10.000 (Bq/m³). Der Mittelwert in Deutschland beträgt 50 (Bq/m³). Die Radonkonzentrationen in Wohnungen hängen von der Menge des im Untergrund verfügbaren Radons ab, sowie wesentlich von der Durchlässigkeit des Mauerwerks des Kellers beziehungsweise der Bodenplatte des Hauses gegenüber Radon. *Auch durch kleine Spalten,*

die beispielsweise um einen Bodensiphon liegen, können erhebliche Mengen von Radon in den Keller gelangen.

Im Allgemeinen nimmt die Strahlung zu den oberen Stockwerken hin ab, da Radon sich als sehr schweres Gas in Bodennähe sammelt. Die Zeit, welche man in belasteten Räumen verbringt, entscheidet über das Risiko. Wenn nur im Keller eine höhere Konzentration gemessen wird, ist ein gelegentlicher Aufenthalt in diesem Raum weniger relevant.

Radonmessung

Radon wird mit Dosimeter-Geräten gemessen. Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit empfiehlt eine dreimonatige Messung während der Heizperiode oder besser eine Ganzjahresmessung. Hierbei soll vorzugsweise ein Wohn- und ein Schlafraum im untersten Wohngeschoss und eventuell ein Kellerraum gemessen werden. Radon-Dosimeter können von anerkannten Messstellen bezogen werden.

Bedeutung der Messwerte

Die europäische Kommission empfiehlt, die maximale Radonkonzentration in Innenräumen durch Maßnahme an den Gebäuden auf Werte unter 200 (Bq/m³) für Neubauten zu begrenzen. Langfristig sollen die Werte für Altbauten auf unter 400 (Bq/m³) reduziert werden.

Die Strahlenschutzkommission hat jedoch in ihrer Stellungnahme vom 14.7.2004 eine statistische Signifikanz eines zusätzlichen Lungenrisikos durch Radon ab 150 (Bq/m³) festgestellt. Deshalb wird eine Reduzierung der Radonkonzentrationen in Innenräumen auf unter 100 (Bq/m³) empfohlen:

Messwert	empfohlene bauliche Maßnahmen
unter 100 (Bq/m ³)	keine
100 – 400 (Bq/m ³)	einfache
400 – 1000 (Bq/m ³)	mittlere
über 1000 (Bq/m ³)	aufwändige

- Bis 400 (Bq/m³) Soll man versuchen mit einfachen Heimwerkermaßnahmen die Radongaskonzentrationen weiter herabzusetzen.
- Von 400 bis 1000 (Bq/m³) wird empfohlen sich vor geplanten baulichen Maßnahmen (Renovierung, Instandsetzungen usw.) am Gebäude über Sanierungsmöglichkeiten zu informieren und mittelfristig Sanierungen einzuplanen.
- Bei Radongaskonzentrationen über 1000 Bq/m³ ist die Hinzuziehung von Fachleuten erforderlich. Wohnräume mit diesen Konzentrationen sollten sehr bald saniert werden. Es wird dringend empfohlen, dass auch die Ausarbeitung eines Sanierungsprojektes durch einen Fachmann erfolgt.

Nach Angaben der WHO gibt es keine bekannte Grenzwertkonzentration unterhalb derer eine Radonexposition kein Risiko bedeutet.

Sogar geringe Konzentrationen von Radon können ein leichtes Ansteigen des Risikos für Lungenkrebs bedingen. Die meisten der Radon induzierten Lungenkrebserkrankungen sind eher durch niedrige und moderate Radonkonzentrationen verursacht, denn durch hohe Radonkonzentrationen, weil im Allgemeinen weniger Menschen hohen Innenraumkonzentrationen von Radon ausgesetzt sind. Nach Angaben der WHO (2009) ist die Dosiswirkungsbeziehung zwischen dem Risiko auf Lungenkrebs und Radon linear und es besteht eine substantielle Evidenz auf einen Risikoanstieg sogar unter 200 Bq/m³. In manchen Ländern wird ein Handlungsbedarf erst ab 200 Bq/m³ gesehen.

Nach Untersuchungen in den USA wird eingeschätzt, dass circa 21.000 Todesfälle an Lungenkrebs erkrankungen in diesem Land auf Radon in Wohnungen zurückzuführen sind (USEPA 2003). Eine Schätzung in 25 Ländern in Europa kam zu einem ähnlichen Ergebnis (Darby et al. 2005). Diese Schätzungen zeigen, dass weltweit viele zehntausend von Radon indizierte Lungenkrebstote jedes Jahr zu verzeichnen sind.

Um das individuelle Risiko zu reduzieren, wird von der WHO ein nationaler Richtwert von 100 Bq/m³ empfohlen. Wo das nicht möglich ist, sollte der empfohlene Richtwert nicht 300 Bq/m³ überschreiten. Der Richtwert oder Referenzwert bedeutet die maximale akzeptierte Durchschnittskonzentration an Radon in einer Wohnung. Ein nationaler Referenzwert bedeutet keine rigide Grenze zwischen sicher und gefährlich, aber definiert eine Risikohöhe einer Innenraumbelastungen durch Radon, von der ein Land glaubt, dass sie zu hoch ist um unverändert beibehalten zu werden. Trotzdem sind auch Maßnahmen zur weiteren Verringerung der Radonkonzentrationen in Wohnungen unterhalb dieses Referenzwertes zweckmäßig. Eine Untersuchung der WHO in 36 Ländern hat ergeben, dass fast alle Länder Referenzwerte für bestehende Häuser zwischen 200 (Bq/m³) und 400 (Bq/m³) festgelegt haben.

Wenn ein Referenzwert bei 100 (Bq/m³) festgelegt wird, ist das vom Standpunkt der Sicherung der öffentlichen Gesundheit gerechtfertigt, weil hierdurch eine effektive Reduktion der Radon assoziierten Gesundheitsgefahr für eine Populationen erwartet wird. Die WHO empfiehlt, dass sich die einzelnen Staaten an den Kosten einer Sanierung der Häuser in dieser Beziehung beteiligen, insbesondere wenn die ökonomischen Mittel der Hausbesitzer gering oder die Radonkonzentrationen in den Wohnungen sehr hoch sind.

In diesem Zusammenhang muss aber noch erwähnt werden, dass Rauchen auch eine erhebliche Quelle von Strahlenbelastungen sein kann. Die Tabakpflanze besitzt Trichome (Blatthaare) mit einem Durchmesser und einer Struktur die zum Beispiel das radioaktive Isotop Polonium 210 gut aus der Luft herausfiltern. So sind Raucher und Nichtraucher durch Passivrauchen in Gebäuden auch dann einer Strahlenexposition ausgesetzt, wenn kein Radon aus dem Boden dringt.

Maßnahmen zur Reduktion der Radonbelastung in Gebäuden

Voraussetzung der Einleitung von Maßnahmen ist die Kenntnis, wie viele und welche Räume innerhalb eines Gebäudes erhöhte Radonkonzentrationen aufweisen. Da die Bau- und Nutzungsbedingungen eines jeden Hauses unterschiedlich sind, ist stets eine Einzelfallbetrachtung notwendig. Grundsätzlich ist zu berücksichtigen:

- allgemeiner Zustand der Bausubstanz
- Art und Zustand der Gebäudekonstruktion insbesondere der erdberührten Teile des Hauses, verwendete Baumaterialien
- Vorhandensein von Installations- und Leitungsdurchführungen
- Zustand von Decken und Türen insbesondere im Kellerbereich

1. Lüften in Wohn- und Kellerräumen

Der Unterschied von Außendruck und Luftdruck im Gebäudeinneren ist entscheidend für die Menge des in die Räume einströmenden Radons. Je ausgeglichener die Luftdruckverhältnisse sind, desto weniger Radon kann in das Gebäude gelangen. Deshalb ist ein Unterdruck im Haus zu vermeiden, welcher zum Beispiel durch Ventilatoren in Nassräumen (Badezimmer, WC) und Küchen (Ablufthauben) entsteht. Weiter sind auch die thermischen Auftriebe in Öfen und Kaminen zu beachten. Die Radonkonzentration in Räumen kann durch häufiges Lüften gesenkt werden. Hierbei wird der beste Effekt durch eine Querlüftung (Öffnen von gegenüberliegenden Fenstern) erreicht. Eine Stoßlüftung (kurzzeitiges weites Öffnen der Fenster) ist wirksamer als eine längere Lüftung mit angekipptem Fenster. Das einseitige Lüften über geöffnete Fenster an der dem Wind abgekehrten Seite kann aber kontraproduktiv sein, da hierdurch ein Unterdruck in den Räumen erzeugt wird, welcher das Nachströmen von Radon begünstigt. Lüften in Kellerräumen ist besonders wirksam, weil das Radon dort ins Gebäude eintritt.

Bei Heizungsanlagen kann ein kontrolliertes Zuführen von Außenluft große Druckunterschiede vermeiden helfen. Hier sollte eine direkte Frischluftzufuhr zum Brenner vorgesehen werden. Hierdurch wird die Sogwirkung (Unterdruck) eingeschränkt sowie auch das Entweichen der warmen Raumluft verhindert. Das gleiche Prinzip ist auch bei einem offenen Kamin oder einem Ofen wirksam. Bei Nichtgebrauch sollten diese Luftkanäle aber gut geschlossen werden, um unnötige Wärmeverluste zu verhindern.

Sehr wirksam kann auch eine mechanische Luftzuführung im Keller sein. Durch eine mechanische Querlüftung im Keller kann die radonbelastete Luft schneller ins Freie gelangen. Der erzeugte leichte Überdruck im Keller erschwert außerdem das Eindringen von Radon in den Keller.

Eine weitere Möglichkeit ist der Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung in belasteten Kellerräumen. Hierbei wird die radonhaltige Luft der Kellerräume über Lüftungskanäle ins Freie geblasen. Es darf jedoch kein Kurzschluss zwischen Ein- und Ausblasstelle entstehen.

Wenn es die Möglichkeit zulässt, kann das eindringende Radon auch gezielt abgeführt werden. Über linienförmige Eindringstellen (zum Beispiel Fugen) wird ein Sammelkanal montiert, in dem ein kleiner Ventilator einen geringen Unterdruck erzeugt und eindringendes Radon über einen Abluftkanal ins Freie bläst. Der entstehende Unterdruck verhindert, dass Kellerluft in Wohnräume gelangt.

2. Mechanische Bodenlüftung unter dem Gebäude

Die Radon belastete Bodenluft wird unter dem Fundament gesammelt und dann ins Freie geblasen. Das kann sowohl über mehrere Rohre erfolgen, die ins Freie führen wie auch über eine zentrale Sammelkammer, welche über einen Kanal gelüftet wird. Eine spezielle Methode sieht ein engmaschiges gelochtes Röhrensystem vor, durch welches bei einem durchlässigen Bauuntergrund wirksam das Radongas aufgenommen wird. Bei beiden Verfahren ist ein Ventilator nicht notwendig, wenn man die Abluft unter Ausnutzung des Kamindefektes über Dach ins Freie ableitet.

3. Abdichten

Mögliche Eintrittsstellen für Radon in das Gebäude sind Risse und Fugen im Keller (Bodenplatte und erdberührte Wände), Leitungskanäle und -rohre sowie sonstige Rohrdurchführungen. Insbesondere können Installationsschächte (Heizung, Sanitär, Elektro) den Weg vom Keller in die bewohnten Räume erleichtern.

Punktuelle Schwachstellen können mit geeigneten Dichtungsmassen (z.B. Silikon) abgedichtet werden. Hierbei sollten Risse und Öffnungen erweitert werden, damit die Haftung des gasdichten Materials verbessert wird. Die Hinweise zur Verarbeitung der Dichtungsmaterialien sind genau zu befolgen. Punktuelle Undichtigkeiten können durch geübte Heimwerker selbst beseitigt werden.

Flächenhafte Schwachstellen wie Haarrisse im Kellerböden beziehungsweise Kellerwänden sind mit geeigneten Beschichtungsmaterialien abzudichten. Der Untergrund sollte sauber und tragfähig sein. Auch hier ist die Beschichtung gemäß den produktspezifischen Anwendungsvorschriften auszuführen. Das Nachbetonieren einer Bodenplatte kann ebenfalls das Eindringen von Radon ins Gebäude erschweren.

Wirksam ist auch das Einbauen einer gasdichten Folie. Bei flächenhaften Undichtigkeiten sollte ein Fachmann mit der Sanierung beauftragt werden.

Radondichte Bau- und Isoliermaterialien sind unter anderem (Austrian Research Centers):

- XC3-Beton (B30/B300 WU) in einer Dicke ab 300 mm
- Polymer-Bitumen-Bahnen in einer Dicke ab 5 mm
- Hochdruck PE (z.B. Rohre) in einer Dicke ab mm
- PP-Folien flexibel in einer Dicke ab 3 mm

Auch radondichte Folien aus Polyamid oder Polyethylen werden eingesetzt.

Folien sollen so beschaffen sein, dass sie dauerhaft das Eindringen von Radon verhindern. Die Folien sollen auf Dichtheit, Diffusionsfähigkeit, Stärke und Dauerhaftigkeit geprüft sein. Die wichtigste Eigenschaft der Folien ist ihre Luftdichtigkeit. Eine besondere Gefahr bei der Abdichtung von Gebäuden ist *jegliches Durchbohren von Folien*, da durch diese kleinen Öffnungen Radon in das Gebäude geleitet werden könnte.

Die WHO betont, dass Abdichtungsmaßnahmen allein oft nicht ausreichend sind, um die Radonproblematik zu lösen. Nach Untersuchungen in Finnland reduziert eine alleinige Abdichtung die Innenraumkonzentrationen an Radon zwischen 10 bis 30%. Norwegen empfiehlt die Abdichtung als initialen Schritt der, wenn es nötig ist, mit anderen Maßnahmen zur Radonverminderung, zum Beispiel Absaugung, kombiniert werden sollte.

Präventive Maßnahmen

Auch in Gebäuden ohne erhöhte Konzentrationen von Radon in Wohnbereich können im Keller erhöhte Konzentrationen auftreten. Sollten im Keller Radongaskonzentrationen über 1000 (Bq/m³) gemessen werden, sind Vorsichtsmaßnahmen angezeigt. Schon eine offen gelassene Kellertüre erleichtert Radon den Weg in die Wohnräume. Mögliche vorbeugende Maßnahmen sind:

- Kellertüren schließen
- automatische Türschließer montieren
- Abdichten von Installationskanälen
- natürliche Belüftung der Keller durch Öffnen der Fenster oder
- Keller mechanisch belüften

Bei *Neubauten* in Regionen mit hoher Radonkonzentration im Boden, sind folgende vorbeugende Maßnahmen möglich:

- durchgehende Bodenplatte statt Streifenfundament
- mechanische Luftabführung im Unterbau beziehungsweise unter dem Gebäude
- radondichte Folie unter die Bodenplatte bringen
- Leitungsdurchführungen (Elektrizität, Wasser, Fernsehen usw.) im Erdreich sorgfältig abdichten, eventuell oberirdisch verlegen
- dichte Kellertüren
- abgeschlossene Treppenhäuser

Bevor ein Grundstein für einen Neubau gelegt wird, sollte in gefährdeten Gebieten der Radongehalt des Bodens ermittelt werden. Von Anfang an radonsicher zu bauen ist bedeutend preiswerter, als nachträglich eine Sanierung durchzuführen. *Solche Maßnahmen kosten bei Neubauten in der Regel weniger als 2000 € pro 100 m² Wohnfläche.*

Die Kosteneffektivität von vorbeugenden Maßnahmen verbessert sich mit der Erhöhung der Radonkonzentrationen in den betreffenden Regionen. Jedoch würde es in vielen Fällen effektiver sein, vorbeugende Maßnahmen, wie zum Beispiel Radonbarrieren in allen neuen Gebäuden zu installieren (WHO 2009). Hierbei ist nicht nur die Reduktion von Lungenkrebskrankung zu beachten, sondern es sollten auch mögliche andere Vorteile, wie zum Beispiel *verringertes Auftreten von Feuchtigkeit* und den damit vermiedenen Problemen betrachtet werden.

Literatur

Austrian Research Centers: In: Bruck, M., Geissler, S., Lechner, R.: Total Quality Planung und Bewertung (TQ-PB) von Gebäuden - Leitfadens, im Auftrag des österreichischen Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie, Wien, 2002

Bundesamt für Strahlenschutz: Informationsdienst Wissenschaft, Pressemitteilung: Radon ist zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs, Pressemitteilung vom 1.2. 2005

Bundesamt für Strahlenschutz: Radon kann nicht nur Risiko für Lungenkrebs erhöhen, Pressemitteilung vom 15.12.2008

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Radon, Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern, Broschüre in Zusammenarbeit mit dem Bundesamt für Gesundheit, Schweiz, Bonn 2004

Darby S. et. al.(2005): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*, 330(7485): 223-227

Menzler S., Schaffrath-Rosario A., Wichman H. E., Kreienbrock L.: Abschätzungen des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Ecomed-Verlag, Landsberg, 2006)

Molhave L: Indoor Air Quality and Health – What are the main Challenges, *Umweltmedizin in Forschung und Praxis* 14 (2009), H. 5, 249, Sonderheft zur 4 Jahrestagung der Gesellschaft für Hygiene, Umweltmedizin und Präventivmedizin (GHUP) vom 8.-10. Oktober 2009 in Stuttgart

United States Environmental Protection Agency (USEPA): Radon Report 2003, USEPA Publications 402-R-03-003 (<http://www.epa.gov./radon>)

World Health Organization: WHO Handbook on Indoor Radon, A Public Health Perspective, Geneva, Switzerland, 2009, <http://whqlibdoc.who.int/publications>