

Radon – Ein Leitfaden

T 2751/2

T 2751/2

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

Im Originalmanuskript enthaltene Farbvorlagen, wie z.B. Farbfotos, können nur in Grautönen wiedergegeben werden. Liegen dem Fraunhofer IRB Verlag die Originalabbildungen vor, können gegen Berechnung Farbkopien angefertigt werden. Richten Sie Ihre Anfrage bitte an die untenstehende Adresse.

© by Fraunhofer IRB Verlag

1998, ISBN 3-8167-4926-7

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

e-mail irb@irb.fhg.de

URL <http://www.irb.fhg.de>

R a d o n

E i n L e i t f a d e n

Die Inhalation von Radon-222 und seinen Folgeprodukten trägt einen wesentlichen Teil zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei.

Mit umfangreichen Meßprogrammen wurden im letzten Jahrzehnt die Radonkonzentrationen in Wohnungen in Deutschland ermittelt. Sie liegen in einem Bereich von einigen Bq/m³ bis zu einigen Tausend Bq/m³, in Extremfällen wurden mehrere 10.000 Bq/m³ gemessen; der Mittelwert beträgt 50 Bq/m³.

Radon und seine Folgeprodukte sind im beruflichen Bereich als kanzerogen einzustufen, für das Gesundheitsrisiko der Bevölkerung liegen noch keine gesicherten Erkenntnisse vor, da entsprechende Studien noch nicht abgeschlossen sind.

Um einerseits keine unnötige Beunruhigung hervorzurufen, andererseits aber die Möglichkeiten zur Abhilfe bei extrem hohen Radonkonzentrationen in Gebäuden aufzuzeigen, ist eine ausreichende Information zum Radonproblem notwendig.

Im vorliegenden Leitfaden soll interessierten Bürgern, Hausbesitzern und Bauherren sowie Baufachleuten und Mitarbeitern von Bau- und Umweltbehörden ein Überblick über Radon und die damit verknüpften Probleme nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand gegeben werden.

1 Radon - ein natürliches Nuklid

Entstehung

Das Leben auf der Erde ist von jeher mit einer natürlichen Strahlenexposition verbunden. Kosmische und terrestrische Strahlung wirken ständig von außen auf den Menschen ein, dazu kommt die Einwirkung von Strahlung durch Inhalation (Zufuhr über Atmung) und durch Ingestion (Aufnahme natürlicher Radionuklide mit der Nahrung).

Die Erdkruste enthält neben anderen chemischen Stoffen die Radionuklide Uran-238 und Thorium-232. Sie wandeln sich in der Uran-Radium- und der Thorium-Zerfallsreihe über verschiedene radioaktive Zwischenprodukte mit unterschiedlichen Halbwertszeiten unter Aussendung unterschiedlicher Strahlung um. Am Ende der Zerfallsreihe steht das stabile, nicht radioaktive Blei.

So entsteht innerhalb dieser Zerfallsreihe aus Uran-238 (Halbwertszeit 4,4 Mrd. Jahre) das langlebige Radium-226 (HWZ 1600 Jahre) und daraus durch Alpha-Zerfall **Radon-222**, ein natürliches radioaktives, geruchloses und geschmackloses Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen.

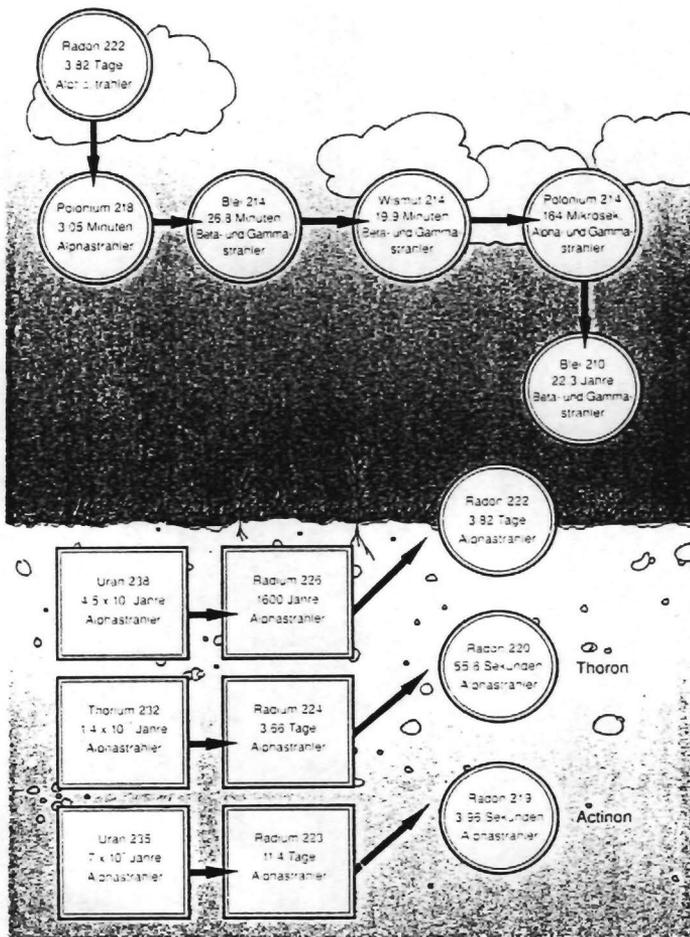


Abb.1 Zerfallsreihen von Uran und Thorium /1/

Für die Strahlenexposition der Bevölkerung ist auf Grund der Halbwertszeit im wesentlichen nur dieses Radon-222 von Bedeutung.

Die nachfolgenden Ausführungen beziehen sich auf dieses Nuklid.

Verteilung

Im Gegensatz zu allen anderen Zwischenprodukten der Zerfallsreihe, die als Schwermetalle feste Stoffe sind und am Ort ihrer Entstehung verbleiben, ist Radon als Edelgas beweglich und seine Isotope können sich von ihrem Bildungsort im Boden oder in Gesteinen entfernen.

Das Gas tritt aus der Feststoffphase der Minerale und Gesteine in die Bodenluft und in Poren- und Kluftwässer (Emanation) und kann nach Migration im Boden oder entlang bevorzugter Wege (geologische Störungen, Verwerfungen) in die Atmosphäre (Exhalation) und an bodenberührten Flächen auch in Häuser gelangen.

Die Emanation liefert also das Radonangebot und durch Migration erfolgt der Nachschub. Beides zusammen ergibt die Radonverfügbarkeit, das in unmittelbarer Umgebung des Fundamentes eines Hauses vorhandene Radon.

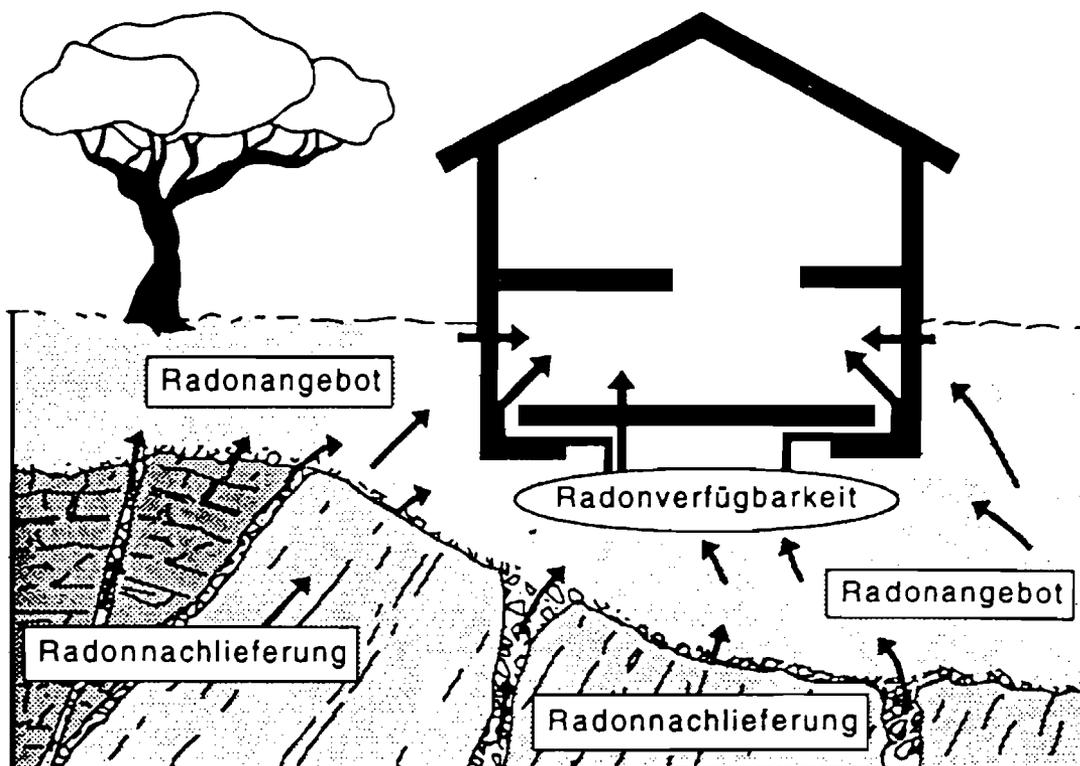


Abb. 2 Der geologische Untergrund als Quelle für Radon in Häusern /2/

Die Radonaktivität in der Bodenluft setzt sich aus dem durch Diffusion aus der unmittelbaren Umgebung stammenden Radonanteil und aus dem aus größerer Entfernung durch Grundwasser- und Bodenluftströmungen (Konvektion) herantransportierten Radonanteil zusammen.

Wieviel Radon aus dem Erdboden in die freie Atmosphäre oder durch den Boden in Häuser gelangen kann, ist in erster Linie vom Radiumgehalt des Bodens abhängig. So weisen saure Gesteine (z.B. Granite) höhere Konzentrationen natürlicher Radionuklide auf, als basische Gesteine (Basalt, Diabas).

Spezifische Aktivität von Radium 226 in Gesteinen und Böden in Bq/kg	
	Mittelwert (Bereich)
Granit	100 (30 ... 500)
Gneis	75 (50 ... 157)
Basalt	26 (6 ... 36)
Kies, Sand	24 (1 ... 39)
Boden	(10 ... 200)

Abb. 3. Spezifische Aktivität von Radium in Gesteinen und Böden /3/

Die Porosität des Bodens beeinflusst das Radonangebot ebenfalls sehr.

Bei durchlässigen Böden (Sand) ist die Ausbreitung besonders leicht, in dichteren Böden kann Radon an Rissen, Klüften und Spalten frei gesetzt werden. In geologisch gestörten Gebieten, Verwerfungszonen radiumhaltiger Bodenschichten, ist deshalb mit erhöhten Radonwerten zu rechnen.

Weitere Einflußfaktoren für die Radonkonzentration sind die meteorologischen Bedingungen, wie Temperatur, Luftdruck, Feuchtigkeit.

Die Radonkonzentration im Boden ist also keine konstante Größe, sondern schwankt regional und da wiederum jahreszeitlich stark. Dabei werden Werte von einigen kBq/m³ bis zu mehreren 100 kBq/m³ gemessen.

Radon in der Umwelt

Auch in den uns umgebenden Umweltmedien variieren die Radon-Konzentrationen in weiten Grenzen.

So liegt in Deutschland das Jahresmittel für die Radonkonzentration in bodennaher Luft in einem Bereich von 5 Bq/m³ bis 80 Bq/m³.

In Quellwässern in Gebieten mit erhöhten Radonvorkommen wurden Maximalwerte bis 100 000 Bq/l und für Trinkwasser bis 800 Bq/l gemessen.

Radonkonzentration in der Bodenluft

Sandsteine und Mergel	< 30 kBq/m ³
Kalksteine und Tone	40 bis 70 kBq/m ³
Granite, Rhyolite	80 bis 120 kBq/m ³
lokale Spitzenwerte	bis mehrere 100 kBq/m ³

Radonkonzentration in der bodennahen Atmosphäre

Küstennah	1 bis 5 Bq/m ³
über dem norddeutschen Flachland	5 bis 10 Bq/m ³
über den Mittelgebirgen	15 bis 80 Bq/m ³

Radonkonzentration im Wasser

Quellwasser: Mittelwerte	10 bis 30 Bq/l
Quellwasser: Spitzenwerte	bis 100 000 Bq/l
Trinkwasser: Medianwerte (50 %-Wert)	5,6 Bq/l
Trinkwasser: Spitzenwert	bis 800 Bq/l

Konzentration von Radon in der Natur /4/

Radonverdachtsgebiete

Auf der Basis der Radonverfügbarkeit läßt sich das "Radonrisiko" für einzelne Regionen klassifizieren. Kriterium für die Beurteilung des Radonrisikos eines Gebietes ist die mittlere Radonkonzentration, die sich im Wohnbereich von Häusern ergibt.

Dazu ist eine Einteilung in Radonverdachtsklassen notwendig, die aussagt, mit welcher Wahrscheinlichkeit höhere Radonkonzentrationen in Gebäuden zu erwarten sind, und durch die hochbelastete Gebiete identifiziert werden können.

Für die Einteilung in Radonverdachtsgebiete werden das Radonangebot (die Menge Radon, die über Emanation im Porenraum des Erdbodens zur Verfügung steht) und die Radonnachlieferung (Vorgänge, die die Bewegung des Radons durch Lockerzonen oder an bevorzugten Bahnen bewirken) bewertet.

Sie ergeben die Radonverfügbarkeit, das zum Eintritt in ein Gebäude vorhandene Radon in unmittelbarer Umgebung des Fundaments. Die Radonverfügbarkeit wird von der Oberflächengestalt und Verwitterungstiefe des Bodens sowie von den meteorologischen Bedingungen beeinflusst.

Die Menge der Radonzufuhr und damit letztlich die Radonbelastung eines Hauses wird durch die Art der Verbindung zwischen Untergrund und Gebäude (Ankopplung) bestimmt.

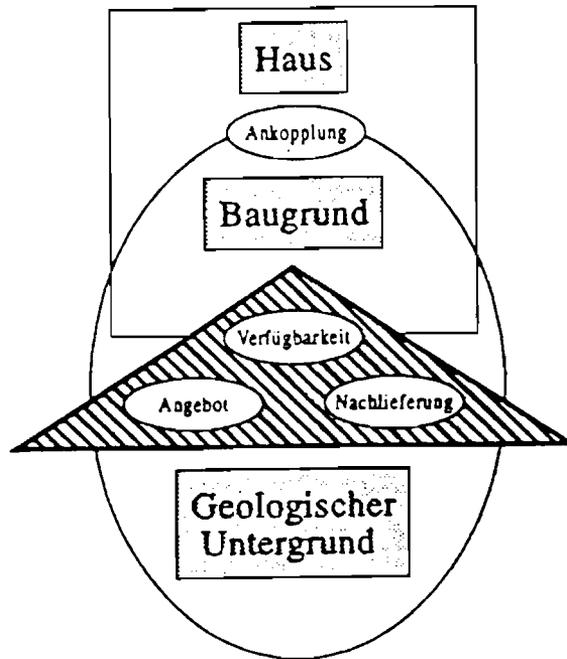


Abb. 4 Einflußgrößen für die Einteilung in Radonverdachtsgebiete /2/

Eine Karte des geogenen Radonpotentials der Bundesrepublik Deutschland wurde im Rahmen eines vom Bundesumweltministerium geförderten Forschungsvorhabens vom Geologischen Institut der Universität Bonn erarbeitet und liegt im Rahmen eines Forschungsberichtes vor / /.

Aus dem Radonrisiko für ein bestimmtes Gebiet lassen sich jedoch keine zwingenden Schlußfolgerungen für einzelne Baugrundstücke oder bestehende Gebäude ableiten. Auf Grund des Einflusses der Tektonik und der Durchlässigkeit der obersten Bodenschichten sind beträchtliche lokale Unterschiede sowohl in der Radon-Konzentration im Boden als auch in der Radon-Verfügbarkeit für ein Gebäude möglich.

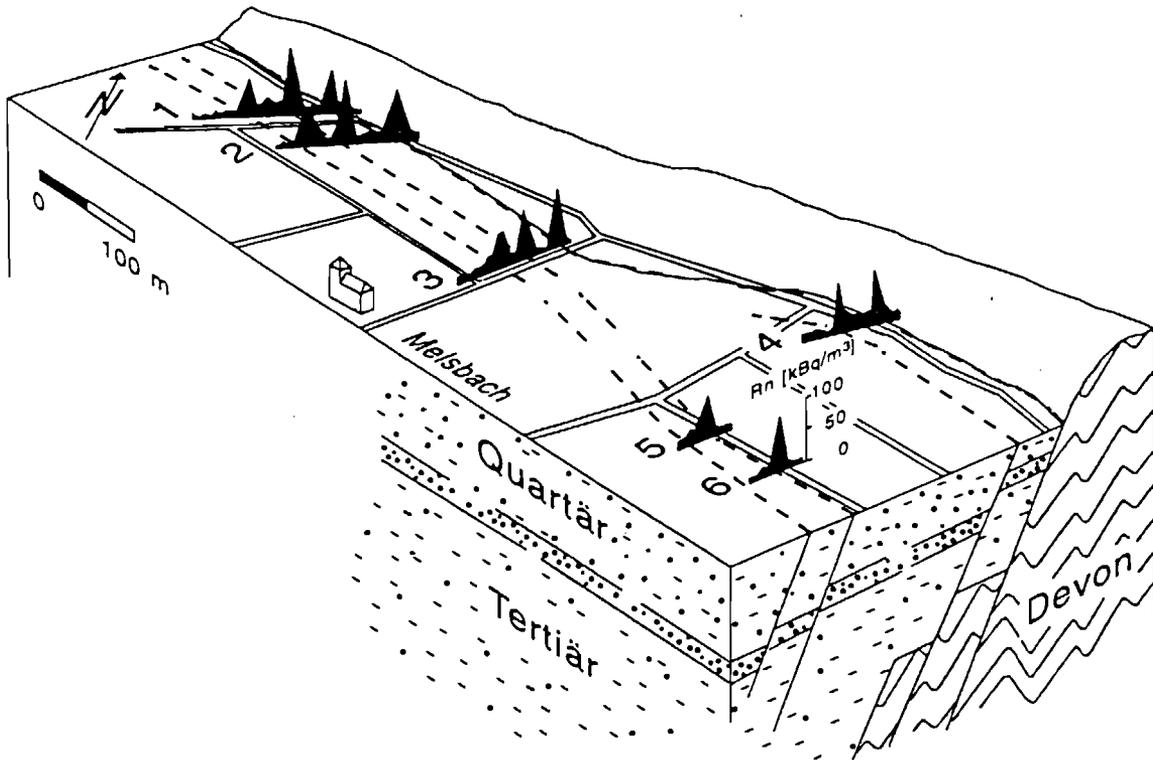


Abb. 5 Bodenluftprofile im Wallbachtal am Sayner Sprung (Neuwieder Becken) /2/

2 Radon in Gebäuden

Radoneintrag und -ausbreitung

Radon kann über mehrere Wege in Gebäude eindringen:

- über Baustoffe
- über das Wasser und
- über den Gebäudeuntergrund.

Baustoffe

In mineralischen Baustoffen, aus denen die meisten Häuser in Deutschland errichtet werden, kann in Abhängigkeit von deren Radiumgehalt ebenso wie im Boden Radon gebildet werden. Bei Verwendung von Baustoffen mit erhöhter Radonfreisetzung kann es in der Raumluft zu erhöhten Radonkonzentrationen kommen, da Wände bzw. Fußböden dann ständig Radon abgeben.

Dies liefert aber bei den heute üblichen Baumaterialien meist nur einen geringen Beitrag zur Radonkonzentration in Gebäuden. Bei Verwendung von Rückständen aus Industrie und Bergbau ist allerdings eine deutliche Erhöhung der Radonkonzentration möglich.

Eine Tabelle zur spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen befindet sich im Anhang (I).

Wasser

In sehr eng begrenzten Gebieten mit höherem Radiumgehalt im Boden kann Radon verstärkt in das Grundwasser gelangen und bei dessen Verwendung zur Trinkwassergewinnung über die Wasserleitung ins Haus gelangen. Beim Waschen, Spülen und beim Duschen kann es dann zu einer Radonfreisetzung in die Raumluft kommen. Da die Freisetzung aber zeitlich begrenzt ist und sich nur auf bestimmte Räume beschränkt, ist der Einfluß auf den Jahresmittelwert der Radonkonzentration im Wohnbereich nur gering.

(s. Tabelle Anhang II).

Gebäudeuntergrund

Den Hauptbeitrag zur Radonkonzentration in Gebäuden liefert der Gebäudeuntergrund.

Die Radonbildung im geologischen Untergrund, die Durchlässigkeit des Baugrundes, die Dichtheit des Bauwerkes und Luftdruckunterschiede zwischen dem Bauuntergrund und dem Gebäudeinneren beeinflussen den Radoneintrag in ein Gebäude.

Risse in Mauern und in der Bodenplatte, schlecht abgedichtete Rohrdurchführungen Lichtschächte u. ä. erleichtern das Eindringen von Radon aus dem Bauuntergrund.

Räume mit direktem Kontakt zum Baugrund weisen in der Regel die höchsten Radonkonzentrationen auf.

Welche Radonkonzentration sich in Häusern einstellt, hängt in starkem Maße von der Bauweise im Fundamentbereich ab (Unterkellerung). Neuere Häuser sind meist durch Betonfundamente gegenüber dem Erdboden gut abgedichtet und bieten geringere Eindringmöglichkeiten für Radon.

Dagegen wird bei älteren Gebäuden (Häuser mit Natursteinböden) oder Fertig- und Holzhäusern ohne Keller oder Fundamentplatte der Radoneintritt begünstigt.

Radonmessung

Sowohl das radioaktive Radon, wie auch die aus seiner Umwandlung entstehenden Folgeprodukte können mit speziellen Meßverfahren nachgewiesen werden.

Unabhängig vom Meßverfahren wird die Konzentration radioaktiver Stoffe in der Luft als Aktivitätskonzentration in Bequerel pro Kubikmeter (Bq/m³) angegeben. Dies entspricht der Anzahl der Kernumwandlungen, die je Sekunde in einem Kubikmeter Luft stattfinden.

Aktive Meßmethode

Spezielle Meßgeräte ermitteln den momentanen Wert der Radonkonzentration kontinuierlich; der Wert kann direkt angezeigt werden.

Mit derartigen Geräten können sehr gut zeitliche Verläufe in der Radonkonzentration in Räumen gemessen werden.

Passive Meßmethoden

1. Kurzzeitmessung mit Aktivkohle (1-3 Tage)

Kleine Behälter mit Aktivkohle, die Radon verhältnismäßig gut aufnimmt, werden geöffnet im Raum aufgestellt und nach Ablauf der Meßzeit verschlossen. Mit geeigneten Meßgeräten wird das aufgenommene Radon im Labor ermittelt.

Diese Methode ergibt kurzfristig und kostengünstig einen Anhaltspunkt zur Radonkonzentration und eignet sich gut für Übersichtsmessungen.

Auf Grund der kurzen Meßzeit läßt sich nur die mittlere Radonkonzentration über diesen Zeitraum ermitteln, die nicht unbedingt der mittleren Radonkonzentration über einen längeren Zeitraum entsprechen muß.

2. Langzeitmessung (mehrere Monate)

- Kernspurdosimeter: Radon hinterläßt in einer Kunststoff-Folie mikroskopisch kleine Spuren, die nach der Meßzeit sichtbar gemacht und ausgezählt werden können.

- Electret-Detektoren: Durch die Alpha-Strahlung des Radons wird die elektrische Ladung auf einem Plättchen aus isolierendem Material (Electret) vermindert. Dies bewirkt eine Verringerung der Gleichspannung, aus der die Radonkonzentration der Raumluft ermittelt werden kann.

Da die Radonkonzentrationen in Räumen zeitlichen Schwankungen unterliegen, sollten die Messungen zu verschiedenen Jahreszeiten (Sommer/Winter-Schwankung), bzw. während eines ganzen Jahres erfolgen, um für genaue Bewertungen längerfristige Mittelwerte zu erhalten.

Radon breitet sich durch Treppenaufgänge, Kaminschächte, oder Geschosßdecken vom Keller in höher gelegene Teile des Hauses aus. In den verschiedenen Bereichen des Hauses ist die Radonkonzentration von der Luftzirkulation abhängig. Dies ist besonders bei der Projektierung von Lüftungssystemen im Rahmen von Energiesparmaßnahmen zu berücksichtigen.

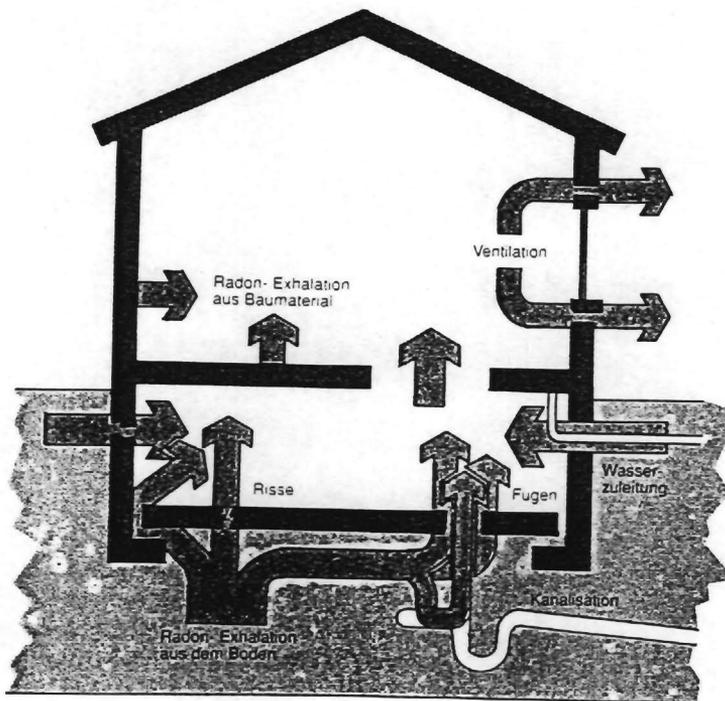


Abb. 6 Eintrittspfade für Radon in Gebäude /1/

Zeitliche Variation der Radonkonzentration

Die Radonkonzentration in Gebäuden ist kein konstanter Wert, sondern wird durch Lüftungsgewohnheiten der Bewohner und durch klimatische Einflüsse beeinflusst.

Während der Wintermonate treten im Mittel höhere Radonkonzentrationen auf als in der warmen Jahreszeit, da durch größere Temperaturunterschiede der Bodenluft zur Außenluft und durch den verstärkten Kamineffekt im Gebäude ein größerer Radoneintrag aus dem Boden in das Gebäude erfolgt. Zudem werden die Fenster während der kälteren Jahreszeit seltener geöffnet.

Die sich nahezu täglich ändernden Wetterbedingungen (Temperatur, Luftdruck, Luftfeuchte) beeinflussen die Radonkonzentration in Räumen erheblich.

Im Tag-Nacht-Rhythmus ergibt sich ein Maximum in der späten Nacht bis zum frühen Morgen.

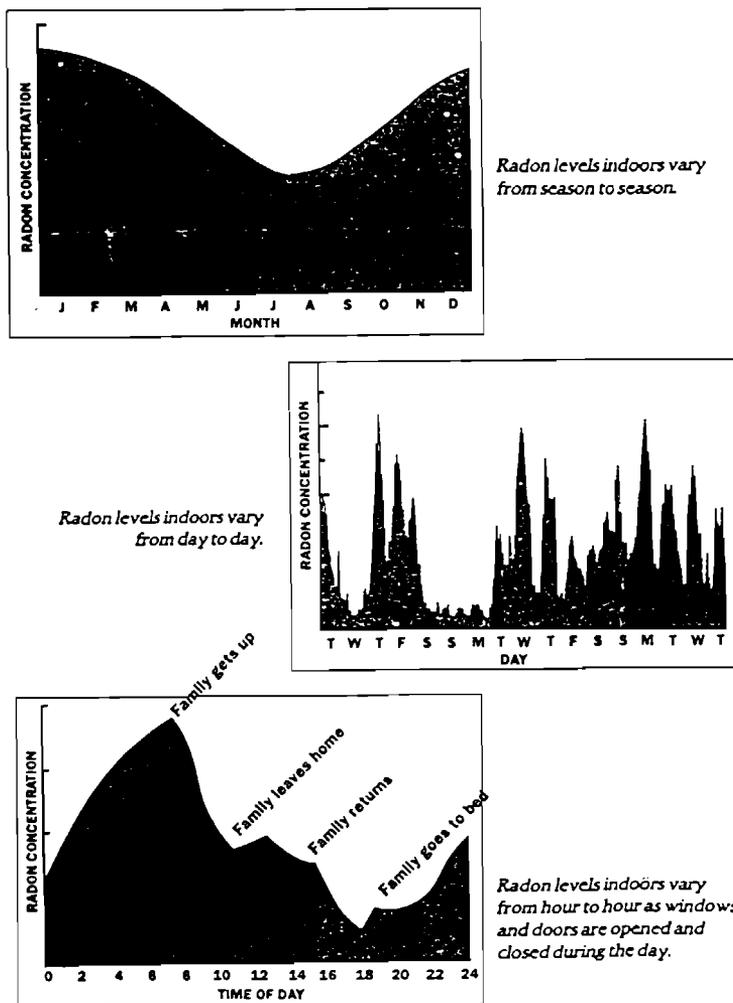


Abb. 7 Schwankungen der Radonkonzentration in Räumen durch klimatische Bedingungen und Lebensrhythmus der Bewohner /5/

Radonkonzentrationen in Wohnungen in Deutschland

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurde die Radonkonzentration in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland gemessen. Im Mittel beträgt sie 50 Bq/m³; in ca. 1% der Wohnungen treten Radonkonzentrationen > 250 Bq/m³ und in ca. 0,1 % der Wohnungen >1000 Bq/m³ auf.

Die höheren Konzentrationen ergeben sich in Regionen mit besonderen geologischen Bedingungen oder in bergbaulich geprägten Gebieten.

In Einzelfällen wurden in Gebäuden mit baulichem Anschluß an bergmännische Auffahrungen oder mit Verbindung über Klüfte oder Spalten im Gestein mit solchen Anlagen Radonkonzentrationen bis zu 100.000 Bq/m³ gemessen.

Radon- konzentration in Bq/m ³	Relative Häufigkeit in %	
	alte Bundesländer	neue Bundesländer
> 50	33,39	40,09
> 100	6,96	14,25
> 250	0,88	1,78
> 500	0,21	0,45
> 1000	0,058	0,22

Abb. 8 Relative Häufigkeiten der Radonkonzentration in Wohnungen Deutschlands /6/

3 Gesundheitliche Wirkung von Radon und Radonfolgeprodukten

Viele radonhaltige Quellen (Japan, Ischia) wurden schon seit Jahrhunderten zu Heilzwecken genutzt, ohne zu wissen, daß das Radon im Quellwasser der wichtige Heilfaktor ist. Eine bewußte Anwendung der Radontherapie begann dagegen erst zu Beginn unseres Jahrhunderts, als die Radioaktivitätsforschung einsetzte.

In Bädern in Deutschland, Österreich, Italien, der Tschechischen Republik und den Ländern der ehemaligen Sowjetunion werden hauptsächlich Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises mit Hilfe der Radon-Balneotherapie in Form Radonbade- und Radon-Trinkkuren sowie als Stollentherapie behandelt.

In den letzten Jahren konnte der Nachweis über die schmerzlindernde Wirkung der Radontherapie durch Doppelblindstudien erbracht werden.

In der Radon-Balneologie werden sehr geringe Strahlendosen und relativ kurze Expositionszeiten angewandt.

Lungenkrebsrisiko durch Radon bei Bergarbeitern

Bereits im 16. Jahrhundert wurden im Grubenrevier Schneeberg-Joachimsthal (Erzgebirge) Lungenerkrankungen -die "Schneeberger Bergkrankheit"- beobachtet, die 1879 als Lungenkrebs erkannt wurde.

Anfang unseres Jahrhunderts wurde der Zusammenhang mit dem in der Grubenluft vorhandenen Radon erkannt, aber erst in den fünfziger Jahren entdeckte man die Wirkung der Radonfolgeprodukte.

Die Inhalation des radioaktiven Edelgases Radon selbst trägt nur unwesentlich zu einer Strahlenbelastung der Lunge bei, da es im Lungengewebe nur wenig löslich ist und der größte Teil wieder ausgeatmet wird.

Wichtiger sind die beim weiteren Zerfall in der Luft entstehenden radioaktiven Folgeprodukte Polonium, Blei und Wismut. Diese Schwermetalle lagern sich an Staubpartikel und Aerosole an und führen nach Inhalation zu einer Bestrahlung vor allem des Bronchialepithels mit Alpha-Strahlung.

Sie gehören zu den wichtigsten Kanzerogenen im beruflichen Bereich; Lungenkrebs wird bei höheren Expositionen als Berufskrankheit der Bergleute anerkannt.

Der epidemiologische Zusammenhang zwischen Lungenkrebssterblichkeit und der Exposition der Bergarbeiter gegenüber Radon und seinen Folgeprodukten wurde durch 11 umfangreiche Studien an Bergarbeitern u.a. in den USA, Kanada, Australien, China, Schweden, Frankreich und der ehemaligen Tschechoslowakei erbracht.

Diese Studien an männlichen Bergarbeitern stellen mit 2700 Lungenkrebsfällen bei ca. 68000 Bergarbeitern und etwa 1,2 Mio. Personenjahren eine umfangreiche Datenbasis dar /7/.

Zwischen der kumulativen Belastung gegenüber Radon und seinen Folgeprodukten und dem Lungenkrebsrisiko besteht eine lineare Expositions-Wirkungs-Beziehung; der Risikofaktor beträgt 0,49 %/WLM.

Das Lungenkrebsrisiko wird durch weitere Faktoren wie Stäube, Abgase, Arsen und den hohen Raucheranteil bei Bergarbeitern beeinflusst.

Die Auswertung der Daten der sehr großen Anzahl von Bergarbeitern der Wismut, die in den Anfangsjahren 1946-55 z. T. einer sehr hohen Konzentration an Radonfolgeprodukten ausgesetzt waren, läßt eine weitere Verbesserung der Kenntnis dieser Zusammenhänge unter Tage erwarten.

Lungenkrebsrisiko durch Radon in der Bevölkerung

Durch die bei Bergarbeitern gefundene Beziehung zwischen einer Exposition gegenüber Radon und Radonfolgeprodukten und der Erkrankung an Lungenkrebs sowie durch Messungen in Gebäuden wurde die Bedeutung von Radon in Gebäuden als Problem des Strahlenschutzes für die Bevölkerung erkannt.

Etwa die Hälfte der natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland wird durch das Einatmen von Radon und seinen Folgeprodukten in Gebäuden verursacht.

Die Abschätzungen für das Lungenkrebsrisiko der Bevölkerung durch Radon in Wohnräumen gehen von den Ergebnissen der Bergarbeiterstudien aus. Danach ist Radon der wichtigste umweltbedingte Risikofaktor für Lungenkrebs.

Diese Übertragung ist aber mit Unsicherheiten verbunden und für die Erfassung des Lungenkrebsrisikos der Bevölkerung sind gesonderte epidemiologische Studien erforderlich.

Da das Rauchen den bei weitem größten Beitrag zum Lungenkrebsrisiko der Bevölkerung liefert, müssen analytische Studienansätze (Fall-Kontroll-Studien, Kohorten-Studien) verwendet werden, um das weit geringere durch Radon in Gebäuden hervorgerufene Lungenkrebsrisiko zu bewerten.

Die Ergebnisse der bisher in mehreren Ländern (Schweden, Finnland, Kanada, USA, China) durchgeführten Studien lassen noch keine eindeutigen Aussagen zur Größe des radonbedingten Lungenkrebsrisikos zu, da die Zahl der untersuchten Lungenkrebsfälle insbesondere im Bereich höherer Radon-Konzentrationen meist nicht groß genug war.

Zur Zeit laufen mehrere umfangreiche Studien in verschiedenen Ländern, darunter auch in Deutschland, die in den nächsten Jahren abgeschlossen werden.

4 Radon im Strahlenschutz

Einerseits muß die Inhalation von Radon und seinen Folgeprodukten im beruflichen Bereich als kanzerogen eingestuft werden, andererseits trägt sie einen wesentlichen Teil zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei und kann damit ein mögliches Lungenkrebsrisiko für die Bevölkerung darstellen; gesicherte Erkenntnisse dafür liegen aber bisher noch nicht vor.

Da aus Vorsorgegründen jede Strahlenexposition so niedrig gehalten werden soll, wie es mit angemessenem Aufwand möglich ist, haben internationale und nationale Expertenkommissionen Empfehlungen zur Bewertung und zum Umgang mit Radonkonzentrationen in Gebäuden, insbesondere im Wohnbereich, erarbeitet.

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) empfiehlt in ihrem Bericht "Protection against radon-222 at home and at work", ICRP 65, einen Bereich von 200 - 600 Bq/m³, in dem ein nationaler Richtwert für die Obergrenze des Normalbereiches für Radonkonzentrationen in der Raumluft im Wohnbereich liegen sollte/8/.

In Übereinstimmung mit dieser Empfehlung wurden die bereits 1988 von der deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) herausgegebenen "Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden" 1994 präzisiert /8/.

Empfehlung der Strahlenschutzkommission

Diese Empfehlungen besagen:

Im Wohnbereich gelten Jahresmittelwerte der Radonkonzentration bis 250 Bq/m³ als Normalbereich.

Der Bereich zwischen 250 und 1000 Bq/m³ gilt als Ermessensbereich; es sollte überprüft werden, ob durch einfache Maßnahmen (häufiges Lüften, Änderung der Raumnutzung, Abdichten von Radon-Eintrittspfaden) eine Reduzierung der Radonkonzentration erreicht werden kann.

Bei Radonkonzentrationen oberhalb 1000 Bq/m³, dem Sanierungsbereich, werden Sanierungsmaßnahmen empfohlen, auch wenn sie größeren Aufwand erfordern; der Zeitrahmen ist von der Höhe der Radonkonzentration abhängig. Liegt diese über 15000 Bq/m³ sollte die Sanierung in längstens einem Jahr erfolgen.

In neu entstehenden Gebäuden soll durch geeignete bauliche Maßnahmen der Normalbereich von 250 Bq/m³ nicht überschritten werden.

Bei den genannten Bereichen handelt es sich um Empfehlungen; einen gesetzlichen Grenzwert für die Radonkonzentration in Gebäuden gibt es derzeit in Deutschland nicht.

Während es in einer Reihe von Ländern (z.B. USA, Finnland, Großbritannien, Frankreich, Österreich) ebenso wie in Deutschland Empfehlungen zur Begrenzung der Radonkonzentration im Wohnbereich gibt, gelten in Schweden und in der Schweiz gesetzlich festgelegte Grenzwerte für bestehende Bauten / Neubauten:

Schweden	400 Bq/m ³ / 140 Bq/m ³
Schweiz	1000 Bq/m ³ / 400 Bq/m ³

Bei Überschreitung dieser Grenzwerte sind die Gebäude in einem angemessenen Zeitraum, abhängig von der Höhe der Radonkonzentration, zu sanieren.

5 Radonschutz in Gebäuden

Durch geeignete bauliche und/oder Lüftungstechnische Maßnahmen soll das Eindringen von Radon in ein Gebäude verhindert, bzw. verringert werden, um so zu gewährleisten, daß in Wohn- und häuslichen Arbeitsräumen die Radonkonzentration von 250 Bq/m³ nicht überschritten wird.

Während für bestehende Gebäude die Reduzierung einer vorhandenen Radonkonzentration Ziel einer Sanierung ist, soll durch radongeschütztes Bauen in Gebieten mit erhöhtem natürlichem Radonvorkommen oder in Bergbauregionen bei Neubauten das Eindringen von Radon in ein Gebäude verhindert bzw. vermindert werden.

Bei Radonkonzentrationen im Ermessensbereich sind meist einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration ausreichend.

Bei höheren Radonkonzentrationen sind für eine umfassende Radonsanierung oder für den Radonschutz bei Neubauten Lüftungstechnische oder bautechnische Maßnahmen, oder auch eine Kombination aus beiden erforderlich.

Bestehende Gebäude

Gundlage für jede Radonsanierung eines Gebäudes ist eine aussagekräftige Messung über einen längeren Zeitraum, nach Möglichkeit über ein Jahr.

Da selbst benachbarte Häuser gleicher Bauart sehr unterschiedliche Radonkonzentrationen aufweisen können, ist für jedes Gebäude je nach

Höhe der Radonkonzentration,
den baulichen Gegebenheiten,
den Radon-Eintrittspfaden und
dem geologischen Untergrund

eine speziell angepaßte Sanierungsvariante zu wählen.

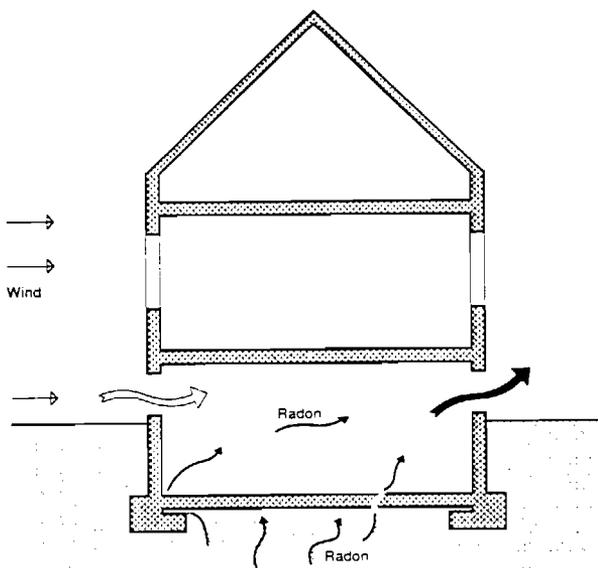
1. Einfache Maßnahmen

- Änderung der Raumnutzung in Abhängigkeit von der Radonkonzentration und der Aufenthaltszeit in den einzelnen Räumen
- Häufigeres oder intensiveres Lüften der Räume
- Abdichten oder Versiegeln offensichtlicher Radon-Eintrittspfade:
wie Risse im Betonfußboden und den Wänden des Kellers,
Verbindungen zwischen Kellerfußboden und Wand
Öffnungen an Rohr- und Kabeldurchführungen,
Es sind nur radondichte (Zertifikat!) dauerelastische Materialien und Anstrichstoffe zu verwenden und die Oberflächen sorgfältig vorzubereiten.

2. Lüftungstechnische Maßnahmen (Abb. aus /10/)

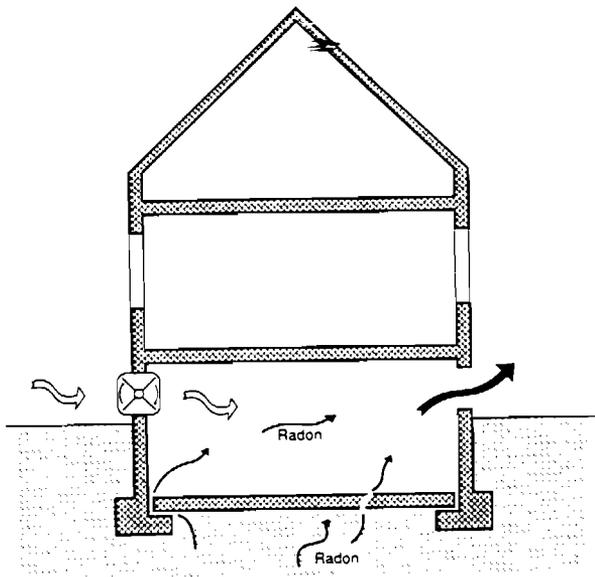
Natürliche Entlüftung (Öffnen der Kellerfenster)

Die Druck- und Ausbreitungsverhältnisse in einem Gebäude beeinflussen die Radonkonzentration im Gebäude; durch Unterdruck im Gebäude wird Radon durch vorhandene Risse und Spalten aus dem Gebäudeuntergrund in das Gebäude hineingesaugt, deshalb ist Unterdruck zu vermeiden.



Ventilatoren in Küchen und Naßräumen, die einen Saugeffekt erzeugen, vermeiden; Fenster an der Windseite des Hauses öffnen, bzw. Querlüftung des Kellers (Wärmeverluste beachten, Abdichten des Kellers zum Wohnbereich)

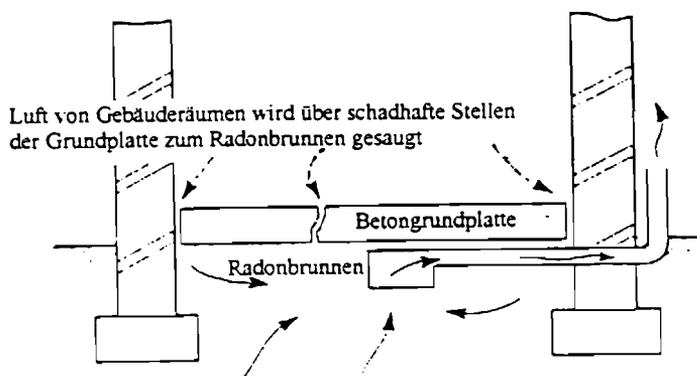
Mechanische Entlüftung



Sorgfältiges Abdichten des Wohnbereichs vom Keller.

Durch Einsatz eines kleinen Ventilators wird im Keller ein leichter Überdruck erzeugt und die mit Radon belastete Luft an einer Austrittsöffnung im Kellerbereich herausgeblasen (mechanische Querlüftung).

Keller als Radonbrunnen

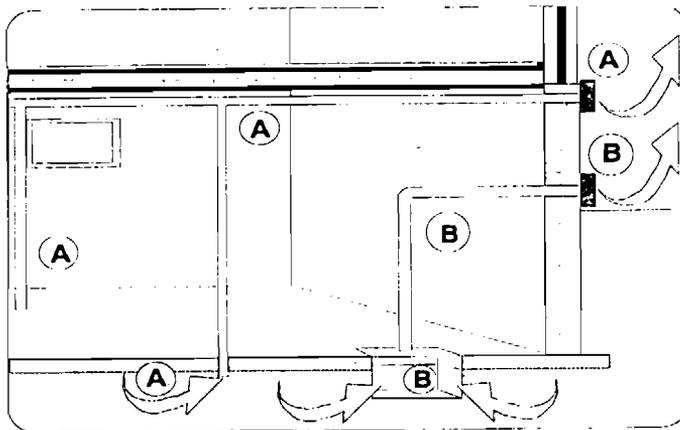


Wohnbereich möglichst luftdicht vom Keller trennen.

Durch Einbau eines Entlüftungskanals mit einem kleinen Ventilator vom Keller bis über Firsthöhe oder Öffnen eines nicht genutzten Schornsteinzuges im Kellerbereich (Kaminwirkung) entsteht ein Unterdruck.

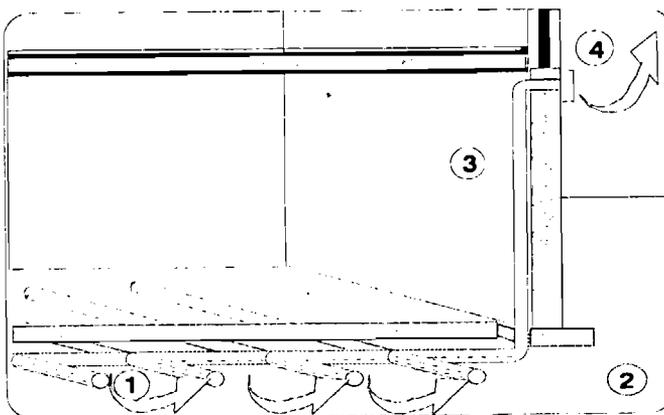
Radonhaltige Luft vom Wohnbereich wird über Undichtheiten im Fußboden zum Keller geführt und mit der Radonluft des Kellers ins Freie geleitet.

Entlüftung unter dem Gebäude



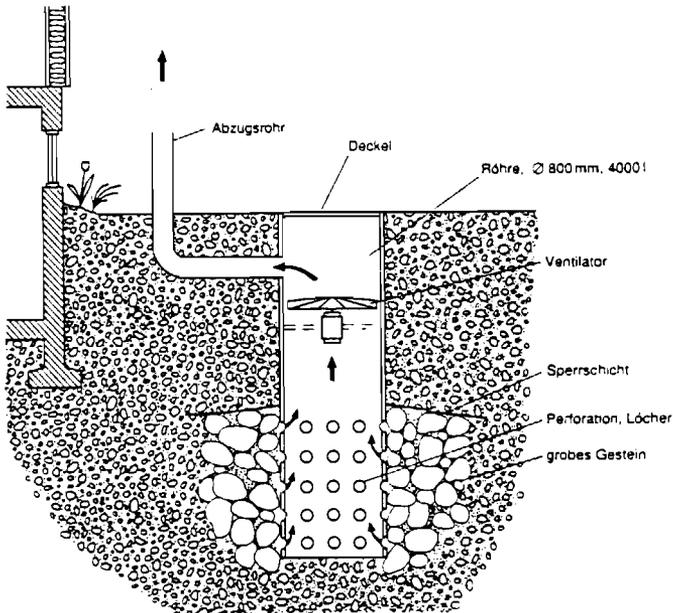
Radonhaltige Luft aus dem Boden wird unter dem Fundament an mehreren Stellen oder einer "Sammelstelle" über einen Abluftkanal ins Freie abgeführt (Einsatz eines kleinen Ventilators, ca. 15 W). Bei Entlüftung über Firsthöhe kann der Ventilator entfallen.

Drainagesystem unter der Grundplatte



Unter der Grundplatte wird durch ein Drainagesystem die radonhaltige Luft verdünnt und durch einen Kanal außerhalb des Gebäudes über Erdboden oder über Dach ins Freie entsorgt. Unterdruck unter der Gebäudegrundplatte vermindert den natürlichen Radoneintrag in das Gebäude.

Radonbrunnen



Installation eines "Radonbrunnens" in einigen Metern Entfernung vom Haus im Boden (ca. 3 m tief, bis zu 1 m Durchmesser), der mit einem kleinen Ventilator den Erdboden in der Umgebung des Gebäudes durch Unterdruck von Radon befreit.

Stehen die Häuser dicht genug beieinander, kann der "Brunnen" für mehrere Häuser genutzt werden.

3. Bautechnische Maßnahmen

Dazu zählen:

- durchgehende, gegen spätere Rißbildung armierte Grundplatte auf einer luftdurchlässigen Sauberkeitsschicht (Kies oder Schotter)
- Baustoffe und Fußboden- und Kellerwände sind so zu wählen, daß kein Radon eindringen kann (gegossene Kellerwände)
- als Feuchtigkeitssperre sind radondichte Materialien wie aluminiumkaschierte Bitumenpappe, Metall- oder Kunststoffolien oder Kunstharzbeschichtungen oder Anstrichstoffe zu verwenden.
- alle Rohr- und Kabeldurchführungen durch Grundplatte und Kellerwände sorgfältig abdichten
- Anlegen einer belüftungsaktiven Zone um das Gebäude herum (ca. 0,5 m; Kies oder Schotter)

In den meisten Fällen bringen Kombinationen von Abdichtmaßnahmen und Absaugen des Radons vor oder nach Eintritt in ein Gebäude den gewünschten Sanierungserfolg.

Komplexe Sanierungen von Gebäuden (z. B. Trockenlegen von Fundamenten) können sehr gut mit Radonschutzmaßnahmen verbunden werden.

Nach Abschluß von Radonsanierungen sind Kontrollmessungen durchzuführen, die nach einigen Jahren wiederholt werden sollten, um die Langzeitwirkung des Radonschutzes zu überprüfen.

Umfangreiche Erfahrungen bei der Sanierung radonbelasteter Gebäude wurden im Rahmen eines Pilotprojektes in der Stadt Schneeberg/Erzgebirge gesammelt, wo viele oberflächennahe bergmännische Auffahrungen vom Silber- und Uranbergbau vorhanden sind./11/.

Radonschutz bei Neubauten

In Gebieten mit erhöhtem natürlichem Radonvorkommen oder in bergbaulich geprägten Gebieten sollte radongeschützt gebaut werden, d. h. das Eindringen von Radon in den Baukörper soll verhindert werden und ein ständiger Luftdruckausgleich vom Erdboden zur Atmosphäre gewährleistet sein.

Damit werden spätere aufwendige Sanierungsmaßnahmen vermieden; Radonschutz ist bei Neubauten wesentlich kostengünstiger zu planen und zu installieren, als bestehende Gebäude zu sanieren sind.

Für den Radonschutz bei Neubauten werden prinzipiell die gleichen Methoden wie bei der Radonsanierung bestehender Gebäude angewendet.

Maßgebend für auszuwählende Radonschutzvarianten und den erforderlichen Aufwand sind der Standort und die Bauweise eines Gebäudes.

Die moderne Bauweise mit durchgehender Betongrundplatte sowie alle Maßnahmen zur Feuchtigkeitssperre tragen bereits deutlich zur Radonabwehr bei.

Ein generell zur Vorsorge unter der Fundamentplatte in der Sauberkeitsschicht verlegtes Radon-Drainagesystem mit angeschlossenem Abluftkanal kann bei Bedarf als Radonschutz eingesetzt werden, ggf. mit Anschluß eines kleinen Ventilators, und verursacht relativ wenig Mehrkosten.

Sowohl die Radonsanierung bestehender Gebäude, als auch der Radonschutz für Neubauten kann nach entsprechender Beratung und Anleitung bis zu einem gewissen Grad in Eigenleistung ausgeführt werden.

In komplizierten Fällen sollte für Planung und Ausführung fachmännischer Rat in Anspruch genommen werden, da auch bauphysikalische Aspekte berücksichtigt werden müssen.

In jedem Fall ist besondere Sorgfalt bei der Ausführung der Arbeiten erforderlich.

Literaturverzeichnis

- / 1 / C. Klemm,
Radon in Wohnungen und Häusern.
Strahlung im Alltag. Magazin des GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit.
7. Ausg., 1991
- / 2 / J. Kemski, R. Klingel, H. Schneiders, A. Siehl, I. Wiegand
Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des
Radonpotentials.
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz BMU - 1994 - 396
- / 3 / Bundesamt für Strahlenschutz
Radon in der bodennahen Atmosphäre. Infoblatt 4/96
- / 4 / Information
Informationsstelle des Bundesamtes für Strahlenschutz zur radiologischen Situation in
Bergbaugebieten.
- / 5 / NRPB - National Radiological Protection Board, Chilton,
Informationsblatt Radon
- / 6 / Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1994
Information des Bundesumweltministeriums Drucksache 13/2287
- / 7 / H. E. Wichmann,
Quantitative Risikoabschätzung für Radon
VDI-Berichte Nr. 1122, 1994, 659-710
- / 8 / IC 93 International Commission on Radiological Protection,
Protection against radon-222 at home at and work. ICRP-Publ., Vol.23/2, 1993
- / 9 / Bekanntmachung einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission
Strahlengrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine
Zerfallsprodukte in Gebäuden. Bundesanzeiger Nr. 155, S. 8766, August 1994.
- / 10 / Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der
Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung.
Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission Band 19, G. Fischer Stuttgart 1992
- / 11 / Modellhafte Sanierung von radonbelasteten Wohnungen.
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz BMU - 1996 - 464
- / 12 / H. Rühle
Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland und Abschätzung der
Strahlenexposition
Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz BMU - 1995 - 415

Stichwortverzeichnis

Aktivität	Anzahl der in einem Zeitintervall auftretenden Kernumwandlungen eines Radionuklids (Bequerel Bq) 1 Bq = 1 Zerfall /s
Aktivitätskonzentration	Quotient aus Aktivität und Volumen (Bq/m ³)
Alpha-Strahlung	beim radioaktiven Zerfall von Atomkernen ausgesandte Heliumkerne (2 Protonen, 2 Neutronen)
Halbwertszeit	Zeitspanne, in der die Hälfte der ursprünglich vorhandenen Atome eines radioaktiven Stoffes zerfallen ist
ICRP	International Commission on Radiological Protection Internationale Strahlenschutzkommission
Isotope	verschiedene Atomarten eines Elements, die sich nur durch das Atomgewicht unterscheiden
Konvektion	Strömung
Lungenkrebsrisiko	Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs zu erkranken
Lungenkrebsrisiko durch Strahlung	Wahrscheinlichkeit, an Lungenkrebs infolge einer Bestrahlung der Lunge, z.B. durch Inhalation von Radon und Radon-Folgeprodukten, zu erkranken
Migration	Wanderung
Radionuklid	instabiles Nuklid, das spontan unter Aussendung energiereicher Strahlung zerfällt und sich dabei durch Abgabe von Kernbestandteilen in andere Atomarten umwandelt
Strahlenexposition	Ausmaß, in dem ein Objekt oder Lebewesen dem Einfluß ionisierender Strahlung ausgesetzt ist
Working-Level (WL)	Maßeinheit für die Radonexposition der Bergarbeiter

ANLAGE

Informationsschriften verschiedener Länder zum Problem Radon und Radonsanierung von Gebäuden

Die angegebenen Schriften sind im Bestand von RADIZ Schlema e.V. vorhanden und können als Kopie angefordert werden.

1. Radon Reduction Methods
A Homeowner's Guide
US Environmental Protection Agency, 1986,
3. Edit. 1989
2. A Citizen's Guide To Radon
What It Is And What To Do About It,
US Environmental Protection Agency, 1986
3. A Citizen's Guide To Radon (2.Edit.)
The Guide To Protection Yourself And Your Family From Radon
US Environmental Protection Agency, 1992,
4. Radon-resistant Construction Techniques for New Technical Guidance
US Environmental Protection Agency, 1991
5. Consumers Guide To Radon Reduction
How to reduce radon levels in your home
US Environmental Protection Agency, 1992
6. The Householder's Guide to Radon
Department of the Environment, London.
7. Radon
Informations-Faltblatt.
NRPB, National Radiological Protection Board, London, 1994
8. Radon:
guidance on protective measures for new dwellings.
Building Research Establishment Report, 1991
9. Radon sumps:
a BRE guide to radon remedial measures in existing dwellings,
Building Research Establishment Report, 1992
10. Le Radon.
Informations-Faltblatt
Institut de Protectionet de Surete Nuclaire, 1992

11. Radon im Wohnbereich.
Steckbrief. - Informationsblatt.
Österreich, Land Oberösterreich, Linz 1993
12. Radon-Informationen
Bundesamt für Gesundheitswesen, Abteilung Strahlenschutz, Bern, 1994
13. Radon.
Merkblätter zur Senkung der Radongaskonzentration in Wohnhäusern.
Bundesamt für Gesundheitswesen, Abt. Strahlenschutz
Fach- und Informationsstelle Radon, Bern 1995,
14. Radon.
CD-ROM mit Begleittext.
Bundesamt für Gesundheit, Bern, 1996
15. Indoor Ionizing Radiation
Technical Solutions and Remedial Strategy.
Swedish Council for Building Research, 1986
16. Radon i boliger.
Statens Byggeforskinginstitut, 1987
17. Atgärder mot Radon i bostäder.
Byggeforskningsradet, 1990
18. Radon - ein Ratgeber für Hausbesitzer
Messung, Bewertung, Sanierung
TÜV Bayern, München, 1991
19. Radon - ein natürliches Radionuklid. Infoblatt 1/96
Radon in Häusern. Infoblatt 2/96
Radon-Sanierung von Wohngebäuden. Infoblatt 3/96
Informationsblätter des Bundesamtes für Strahlenschutz, 1996
20. Radongeschütztes Bauen.
Faltblatt der Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen Schlema des
Landesamtes für Umwelt und Geologie Radebeul, 1994

Material	Ra-226 (Bq/kg TM)	Th-232 (Bq/kg TM)	K-40 (Bq/kg TM)
Baustoffe natürlichen Ursprungs			
saure Magmageseine	30- 500	17- 310	380-4 000
basische Gesteine	< 10- 36	< 10- 37	100- 380
Naturgips, Anhydrit	2- 70	2- 100	7- 200
Kalkstein, Marmor	4- 41	2- 20	< 40- 240
Kies, Sand	1- 39	1- 64	3-1 200
Lehm, Ton	< 16- 90	18- 200	300-2 000
Bims, Tuff, Lava	< 20- 200	25- 300	490-2 000
Finalbaustoffe, Bindemittel			
Ziegel, Klinker	10- 200	12- 200	100-2 000
Beton	7- 92	4- 80	50-1 600
Kalksandstein, Porenbeton	6- 80	1- 60	40- 800
Zement	10- 330	10- 200	< 40- 700
Kalk, Kalkhydrat	13- 60	2- 93	< 20- 600
Sonstige Industrieprodukte, Rohstoffe			
Düngemittel	< 20-1 000	< 20- 30	< 40-8 000
Rohphosphate	10-2 000	< 20- 100	< 40- 900
Steinkohle	< 20- 30	< 20- < 50	7- 700
Braunkohle	1- 51	1- 58	< 4- 220
Koks	20- 30	< 20	40- 80
Industrielle Abfallstoffe			
REA-Gips	< 5- 25	< 5- 20	24- 80
Bergbauabraum	< 30-5 900	27- 100	40-1 200
Braunkohlefilteraschen	4- 200	6- 150	12- 610
Schlacke	8-2 100	6- 340	10-1 000
Hüttenbims	110- 230	24- 62	180- 190
Bauxit, Rotschlamm	< 20- 800	< 50-1 000	1-1 000

Bandbreite der spezifischen Aktivität natürlicher Radionuklide in Baustoffen und Industrieprodukten in Bq/kg Trockenmasse (TM) /6/

Anhang II

Leitungswasser C_w (Bq/l)	Bad C_L (Bq/m ³)	Wohnung C_L (Bq/m ³)
5	35	0,5
30	210	3
200	1400	20

Zusätzliche maximale Radonkonzentration in der Raumluft durch Radon-222 aus dem Leitungswasser /12/