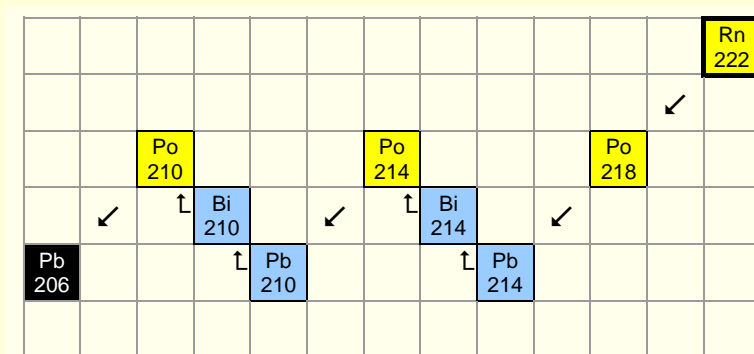
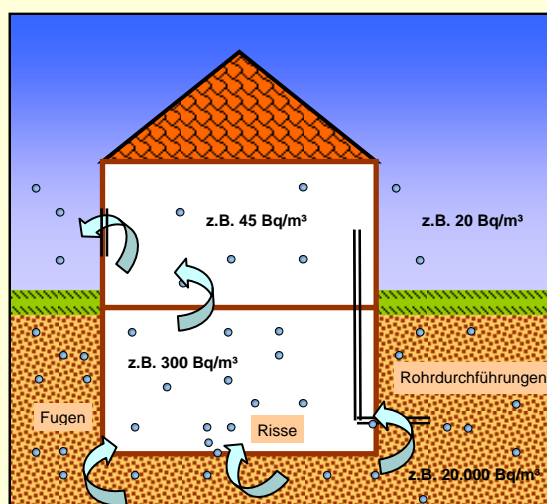
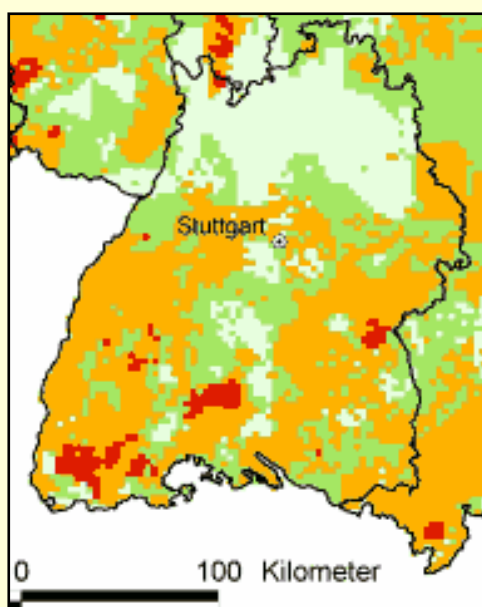


Radon

in Baden-Württemberg

Vorkommen • Risiko • Empfehlungen



Baden-Württemberg

UMWELTMINISTERIUM

Impressum

Umweltministerium Baden-Württemberg,
Abteilung „Kernenergieüberwachung, Umweltradioaktivität“

Verfasser: Dipl.-Phys. Susanne Weimer

Juni 2007

Inhaltsverzeichnis:

1.	Warum diese Broschüre über Radon?	5
2.	Was ist Radon?	6
2.1.	Eigenschaften	6
2.2.	Vorkommen	6
3.	Wo findet man Radon?	8
3.1.	Radon im Boden	8
3.2.	Radon in Häusern	10
3.3.	Radon im Trinkwasser	12
3.4.	Radon an Arbeitsplätzen	13
3.5.	Radon in Stollen und Heilbädern	14
4.	Schädigt Radon meine Gesundheit?	15
4.1.	Risiko Lungenkrebs	15
4.2.	Risiko und Nutzen der Radontherapie	17
5.	Wie kann ich mich vor Radon schützen?	18
5.1.	Richtwerte	18
5.2.	Allgemeine Empfehlungen	18
5.3.	Was kann jeder selbst tun?	19
ANHANG		24
A1.	Messung von Radon	24
A2.	Wer führt Radonmessungen durch?	26
A3.	Weiteres Informationsmaterial	28
A4.	Glossar	29
QUELLEN		31

1. Warum diese Broschüre über Radon?

Radioaktive Stoffe und ionisierende Strahlung sind ein Teil der Natur. Wir sind ständig einer natürlichen Strahlenbelastung ausgesetzt. Sie wird durch die kosmische Strahlung von der Sonne und aus dem Weltraum verursacht und durch Strahlung von radioaktiven Stoffen, die sich seit Entstehung der Erde in Gesteinen und im Boden befinden.

In den vergangenen Jahren hat man im Strahlenschutz erkannt, dass das überall in unserer Umwelt vorkommende radioaktive Edelgas Radon den Hauptanteil der natürlichen Strahlenbelastung darstellt. Radon entsteht beim Zerfall natürlicher radioaktiver Stoffe im Boden und kann durch undichte Fundamente oder Keller in Häuser gelangen und sich in Wohnungen ansammeln. Im Freien wird Radon hingegen rasch verdünnt. Wir atmen mit unserer Atemluft – ob im Freien oder in Häusern – immer auch Radon ein.

Radon in Häusern wird heute weltweit als Problem angesehen, da es mit Abstand das größte umweltbedingte Lungenkrebsrisiko darstellt und nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs ist. So geht man nach dem heutigen Stand der Forschung davon aus, dass etwa 5 % der Lungenkrebstodesfälle in Deutschland (4,8 % in Baden-Württemberg) eine Folge von Radon in Wohnungen sind¹. In Deutschland sterben jährlich etwa 40.000 Menschen an Lungenkrebs, davon sind 80 bis 90 Prozent durch Rauchen verursacht². Während etwa 260 Menschen an einem Lungentumor durch Passivrauchen³ sterben, muss man heute davon ausgehen, dass ungefähr 1900 Lungenkrebstodesfälle in Deutschland (etwa 170 in Baden-Württemberg⁴) durch Radon verursacht werden.

Im Januar 2006 wies die Weltgesundheitsorganisation darauf hin, dass Radon ein unterschätztes, aber weit verbreitetes Gesundheitsrisiko darstellt, und rief dazu auf, über Radon zu informieren.⁵

Man ist Radon aber nicht hilflos ausgesetzt, sondern kann etwas dagegen tun! Es gibt kostengünstige Möglichkeiten, Radon durch Messungen nachzuweisen und oft helfen einfache Maßnahmen, um die Konzentration von Radon in Häusern zu reduzieren.

Diese Broschüre informiert darüber, woher Radon kommt, wo wir Radon im Alltag begegnen, weshalb Radon ein Gesundheitsproblem darstellt und was jeder Einzelne selbst gegen Radon tun kann.

2. Was ist Radon?

2.1. Eigenschaften

Radon ist ein in der Natur vorkommendes Edelgas. Es ist farblos und man kann es weder riechen noch schmecken. Es ist mit den menschlichen Sinnen nicht wahrnehmbar. Mit einer Dichte von 9,73 g/l ist es das schwerste aller Gase und siebenmal schwerer als Luft (1,3 g/l).⁶ Radon ist wie alle Edelgase reaktionsträge. Weil es nur äußerst selten chemische Verbindungen mit anderen Stoffen eingeht, ist es sehr mobil.

Das Besondere an Radon: Es ist radioaktiv. Auch die Zerfallsprodukte (vor allem Polonium-, Blei- und Wismut-Isotope) sind nicht stabil, sondern ebenfalls radioaktiv. Radon und einige seiner Töchter sind Alphastrahler, sie senden beim Zerfall Alphateilchen (Heliumkerne) aus. Im Gegensatz zu Radon lagern sich die Zerfallsprodukte an Staubteilchen in der Luft oder an Oberflächen an.

Radon wurde im Jahr 1900 von dem deutschen Physiker Friedrich Ernst Dorn bei der Untersuchung von Radium-Salzen entdeckt. Er nannte das offenbar von den Radium-Salzen ausgehende Gas zunächst „Radium-Emanation“ (von lateinisch emanare herausfließen). Andere Forscher schlugen als Namen „Niton“ (von lateinisch nitens leuchtend) vor. Später wurde als offizielle Bezeichnung des neuen Elements „Radon“ festgelegt.⁷

2.2. Vorkommen

Radon kommt aus dem Boden und ist mehr oder weniger überall vorhanden! Die radioaktiven Schwermetalle Uran und Thorium sind seit Entstehung des Planeten Erde vor 4,5 Milliarden Jahren als natürliche Bestandteile in den Gesteinen der Erdoberfläche enthalten. Beim radioaktiven Zerfall von Uran und Thorium entstehen eine ganze Reihe weiterer radioaktiver Zerfallsprodukte. Dazu gehören auch die Isotope Radium-226 (Tochter des Urans) und Radium-224 (Tochter des Thoriums), die sich beim Zerfall in Radon-222 („Radon“) und Radon-220 („Thoron“) umwandeln.

Für das gesundheitliche Radon-Problem ist vor allem das Isotop Radon-222 verantwortlich. In dieser Broschüre ist daher immer Radon-222 gemeint, wenn von „Radon“ die Rede ist.

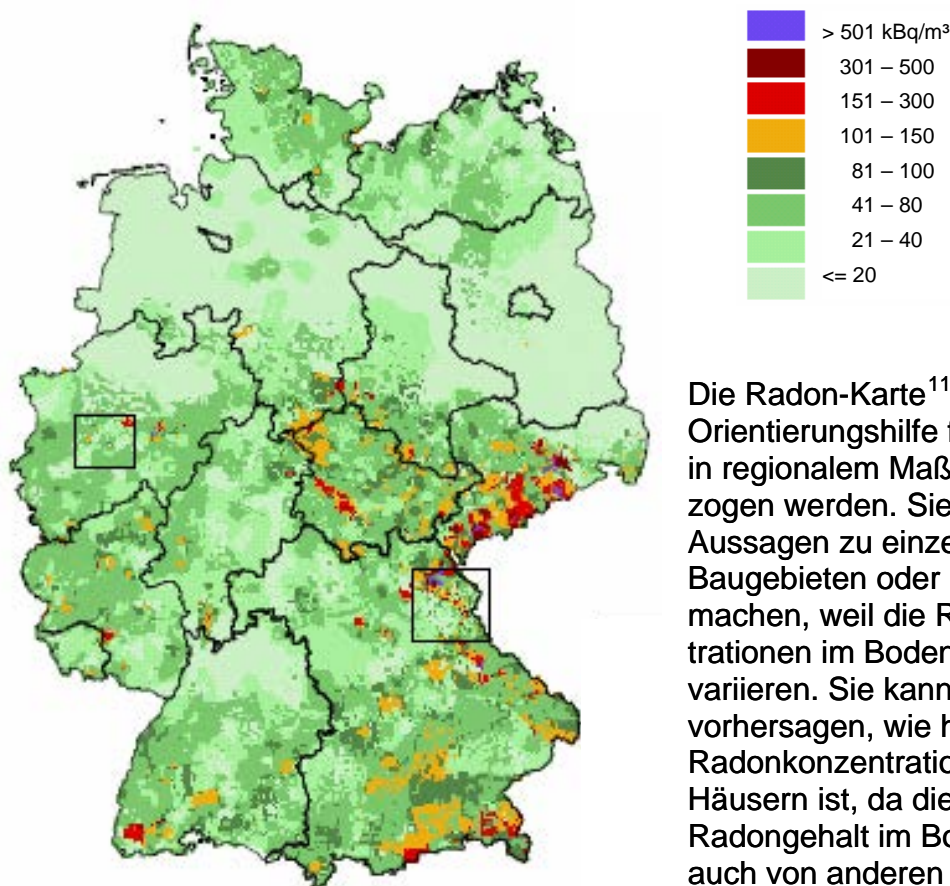
Radon zerfällt mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Nach dieser Zeit ist die Hälfte des Radons zerfallen. Radon kann sich, bevor es zerfällt, in der Bodenluft bewegen und den Untergrund verlassen. Wenn Radon dann in der Atmosphäre zerfällt, sind dort auch immer seine radioaktiven Folgeprodukte zu finden. Sie können etwa bei heftigen Regenfällen ausgewaschen und am Boden abgelagert werden. Dort verursachen sie einen erhöhten natürlichen Strahlenpegel, der leicht mit einem Geiger-Müller-Zählrohr gemessen werden kann.

3. Wo findet man Radon?

3.1. 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 Gasdurchlässigkeit⁹. Ob sich Radon im Boden ansammelt oder leicht in die Atmosphäre austritt, hängt auch noch von der Durchlässigkeit der Deckschicht ab. So kann etwa eine sehr feinkörnige Deckschicht, z.B. aus Lehm, den Luftaustausch zwischen Untergrund und Atmosphäre unterbinden¹⁰ und die Radonkonzentration im Boden erhöhen.

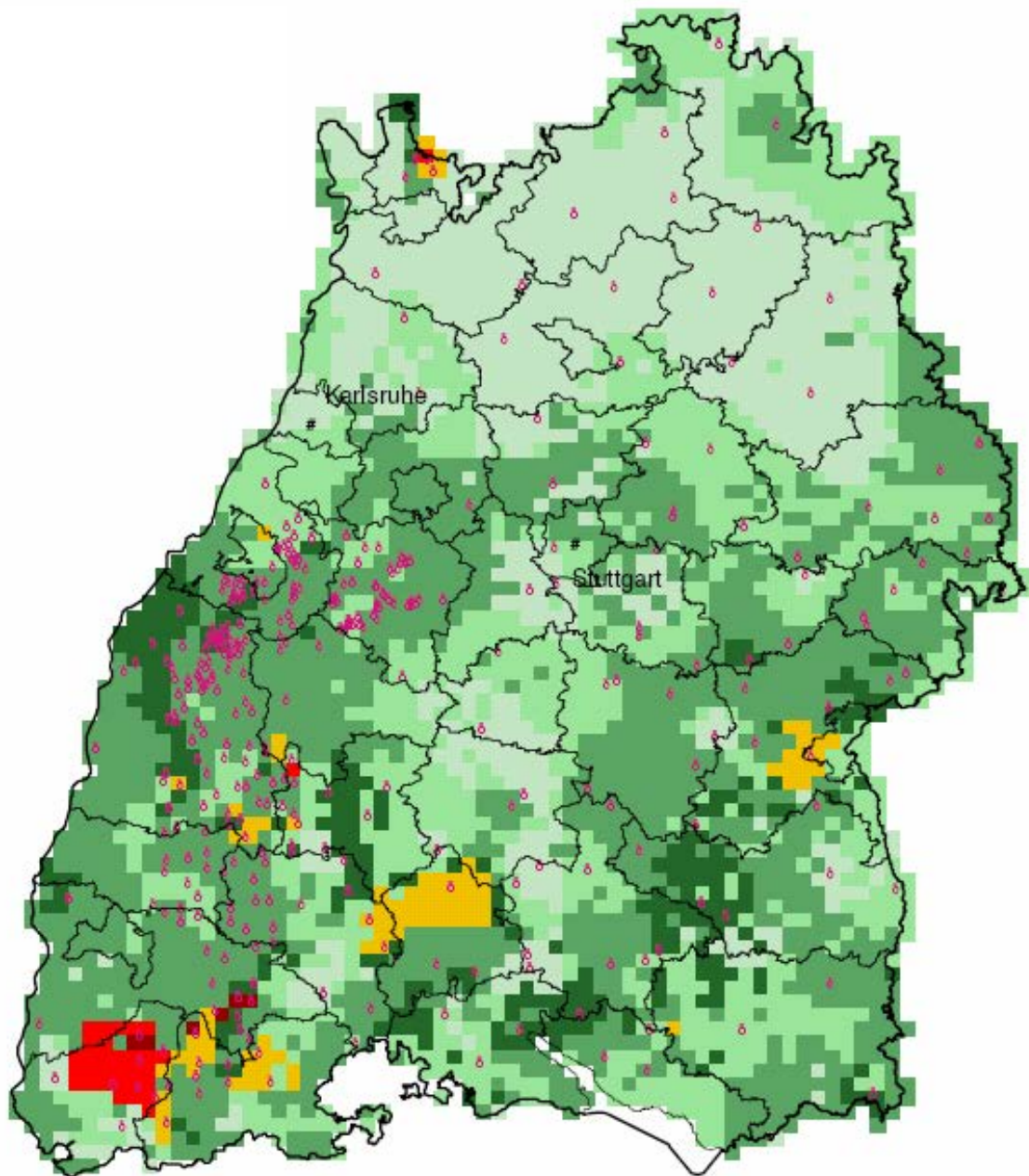
Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) wurde eine deutschlandweite Kartierung der Radonkonzentration der Bodenluft durchgeführt, bei der an 2346 Messorten die Bodenluft in 1 Meter Tiefe gemessen wurde.



Radonkonzentration in der Bodenluft (Karte: BfS)

Die Radon-Karte¹¹ kann als Orientierungshilfe für eine Prognose in regionalem Maßstab herangezogen werden. Sie kann aber keine Aussagen zu einzelnen Baugebieten oder Baugrundstücken machen, weil die Radonkonzentrationen im Boden kleinräumig variieren. Sie kann auch nicht vorhersagen, wie hoch die Radonkonzentration in einzelnen Häusern 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 ist der Untergrund im unmittelbaren Umfeld des Gebäudes.¹²



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 liegen, liegen sie in der Mitte und im Süden des Landes zwischen 20.000 und 40.000 Bq/m³ (hellgrün) und häufig auch zwischen 40.000 und 100.000 Bq/m³ (dunkelgrün). In bestimmten Bereichen z.B. im Südschwarzwald oder der Schwäbischen Alb kommen auch Werte über 100.000 Bq/m³ (orange), über 150.000 bis 300.000 Bq/m³ (rot) und ganz vereinzelt auch zwischen 300.000 und 500.000 Bq/m³ (dunkelrot) vor.

Wenn das gasförmige Radon den Boden verlässt, wird es in der Außenluft schnell verdünnt. In der bodennahen Atmosphäre ist seine Konzentration daher ungefähr tausendmal geringer als im Boden¹³. Typische Radon-Konzentrationen¹⁴ im Freien liegen in Baden-Württemberg bei 20 bis 25 Bq/m³.

Wie erhält man Informationen zur eigenen Region?

Interaktive Suche

Bitte geben Sie hier den Namen bzw. mindestens die ersten 3 Anfangsbuchstaben Ihres Kreises ein.

Zum Beispiel:

- Stadt Bonn: Bonn
- Landkreis Heilbronn: Heilbronn Landkreis
- Kreis Mayen-Koblenz: Mayen-Koblenz

Anfrage abschicken Löschen

Ihre Suche ergab folgendes Ergebnis:

Kreisname	Lörrach Landkreis
Erwartete Anzahl der Häuser mit mehr als 100 Bq/m ³ in der Raumluft [%]	11.1
Mittlere Bodenluftkonzentration im Kreis [kBq/m ³]	99
Maximale Bodenluftkonzentration im Kreis [kBq/m ³]	433
Flächenanteil mit mehr als 100 kBq/m ³ in der Bodenluft [%]	36.1
Kategorie des Kreises	D

Quelle: radon-info.de

Aus den Messungen von Radon in der Bodenluft kann mit Hilfe von Forschungsergebnissen zum Radontransfer aus dem Untergrund in Gebäude für eine Region ermittelt werden, in wie vielen Häusern vermutlich eine bestimmte Raumluftkonzentration überschritten wird.

Die Internetseite www.radon-info.de/shtml/wohnort.shtml bietet die Möglichkeit, solche Informationen für den eigenen Landkreis zu ermitteln. Nebstehende Abbildung zeigt dies beispielhaft für den Landkreis Lörrach.

Aus den bekannten Messungen der Bodenluft kann die mittlere Radon-Bodenluftkonzentration im eigenen Landkreis interaktiv abgefragt werden, außerdem der Flächenanteil im Kreis mit mehr als

100.000 Bq/m³ Radon in der Bodenluft und als Beispiel der erwartete Anteil von Häusern mit mehr als 100 Bq/m³ Radon in der Raumluft. Dort finden sich auch nähere Erläuterungen zu dem Ergebnis der Abfrage.

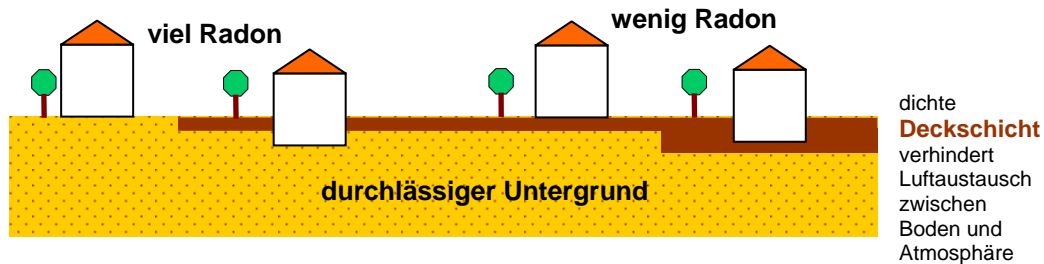
So ist wichtig zu wissen, dass nicht alle Gemeinden in einem Landkreis die gleichen Konzentrationen von Radon in der Bodenluft oder in Häusern aufweisen. Bei den ermittelten Zahlen handelt es sich um Landkreis-Mittelwerte.

3.2. Radon in Häusern

Radon kann aus dem Boden über die erdberührten Bereiche auch in Häuser eindringen und sich dort bei schlechter Durchlüftung anreichern. Grundsätzlich können davon alle Häuser in Gebieten mit erhöhter Bodenluftkonzentration (über etwa 20.000 Bq/m³) betroffen sein, alte und neue Häuser, Häuser mit und ohne Kellergeschoss.

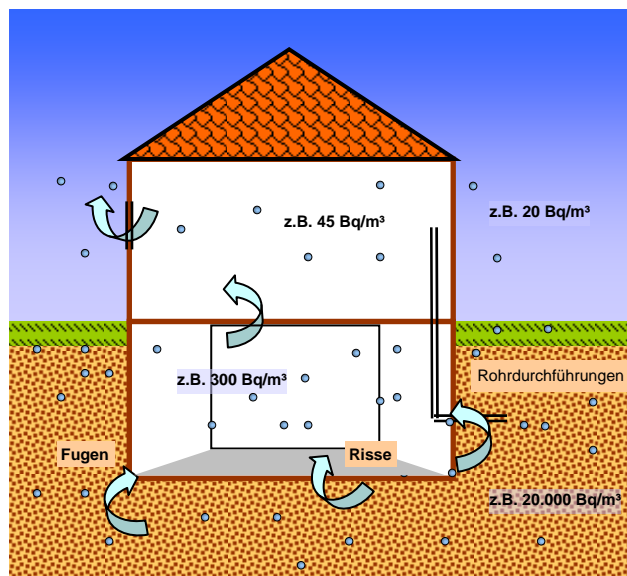
Eine wichtige Rolle spielt hierbei der Untergrund eines Hauses. So ist im Haus meist eine geringe Radon-Konzentration vorhanden, wenn wenig Radon im Boden ist, aber auch bei hoher Radonkonzentration im Boden, wenn das Radon wenig mobil ist und das Haus vollständig oberhalb einer dichten Deckschicht steht. Andererseits können in besonderen Fällen auch bei geringem Radongehalt im Boden, wenn dieser sehr durchlässig ist und durch eine besonders ungünstige Bauweise ein starker Kamineffekt entsteht, im Haus höhere Radonkonzentrationen vorkommen.

Wo findet man Radon?



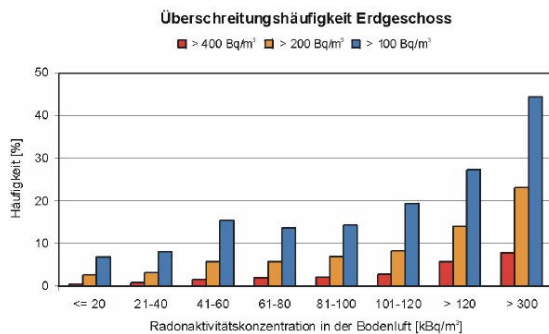
Durch den Druckgradienten zwischen Gebäudeinnerem und Untergrund wirken die Innenräume wie ein Staubsauger, der die Bodenluft ansaugt. Man spricht hier vom sogenannten „Kamineffekt“. Im Haus steigt die warme Luft nach oben, dadurch entsteht im Keller ein leichter Unterdruck, durch den eine Saugwirkung entsteht. Im Winter, wenn durch das Heizen die Luft stärker erwärmt wird, nimmt im Keller die Sogwirkung zu. Als Folge wird radonreiche Luft vor allem im Keller ins Innere gesaugt.¹⁵

Ein ungünstiger Unterdruck im Haus kann aber auch durch Ventilatoren in Bad und WC, 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 Haus vermieden werden.¹⁶ Bereits bei einem geringen Unterdruck im Gebäude kann radonhaltige Bodenluft aus einem Umkreis bis zu 20 m angesaugt werden.¹⁷



Für den Übergang von Radon aus dem Boden ins Gebäude spielen der Zustand der Gebäudeabdichtung und eventuelle Leckagen eine wesentliche Rolle. Mögliche Eintrittsporten sind etwa undichte Fugen und Risse im Mauerwerk, Rohr- und Kabeldurchführungen oder auch Abwasser- und Entlüftungsrohre. Von Bedeutung ist auch, ob das Haus einen Keller oder eine feste und dichte Fundamentbodenplatte besitzt. Ferner spielt eine Rolle, wie dicht abgeschlossen der Keller bzw. Kelleraufgang gegenüber den Wohnräumen ist, da sich Radon gut über die Treppenaufgänge von den niederen in die höheren Stockwerke ausbreitet. Auch über Kabelkanäle und Versorgungsschächte kann sich Radon im Haus ausbreiten. Von Stockwerk zu Stockwerk nimmt die Radonkonzentration nach oben hin aber ab.

Häuser mit einem Beton-Plattenfundament und einem fachgerechten Schutz gegen Bodenfeuchte bieten Radon nur wenig Eindringmöglichkeit.



Die Abbildung zeigt für etwa 7000 Raumluftmessungen die Häufigkeit, mit der Radonwerte von 100, 200 und 400 Bq/m³ im Erdgeschoss überschritten werden – in Abhängigkeit von der zunehmenden Konzentration des Radons in der Bodenluft (Quelle: Kemski u.a.)¹⁸.

Radon kann auch aus Baumaterialien austreten. Dies spielt in den allermeisten Fällen jedoch nur eine untergeordnete Rolle. Nur ein kleiner Bruchteil des Radons, das sich durch den Zerfall von Radium im Bauwerk bildet, gelangt an die Oberflächen der Wände und wird in die Raumluft freigesetzt. Eine ungewöhnlich hohe Freisetzung von Radon aus dem Baumaterial gibt es bei Häusern, die mit Beton auf der Basis von Alaunschiefer mit hohem Radiumgehalt (wie z.B. in Schweden) gebaut worden sind. Auch in Häusern, die mit Tuff, Phosphatschlacke oder Phosphatgips gebaut worden sind, kann eine hohe Radon-Zufuhr aus den Bauteilen in die Innenraumluft vorkommen¹⁹. Eine Ausnahme besteht auch dann, wenn kontaminiertes Haldenmaterial aus Bergbaugebieten verwendet worden ist.²⁰

Die Freisetzung von Radon aus Trinkwasser im Haushalt spielt in der Regel keine große Rolle (siehe Abschnitt 3.3).

Für Baden-Württemberg wird geschätzt, dass von den etwa 1.830.000 Wohngebäuden etwa 5,1 % (93.000 Gebäude) den von der Europäischen Kommission für Neubauten empfohlenen Richtwert von 200 Bq/m³ überschreiten und dass etwa 1,1 % (20.000 Gebäude) erhöhte Radonkonzentrationen oberhalb des empfohlenen europäischen Richtwerts für bestehende Gebäude von 400 Bq/m³ haben.²¹ (Zu den Empfehlungen der EU siehe Abschnitt 5.1)

Wie hoch die Radon-Konzentration in einer Wohnung ist, hängt zusätzlich auch davon ab, wie gut die Räume gelüftet werden (siehe Abschnitt 5.3).

Wie hoch die tatsächliche Radonkonzentration im Einzelfall ist, kann nur durch Messungen geklärt werden (siehe Anhang A1). Welche Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration in Wohnungen möglich sind und ab welchen Konzentrationen sie zu empfehlen sind, wird im Kapitel 5 ausführlich beschrieben.

3.3. Radon im Trinkwasser

Radon, das im Boden entsteht und sich durch die Bodenporen fortbewegt, gelangt, wenn es mit wasserführenden Schichten in Berührung kommt, auch in das Wasser. Daher befindet sich auch im Trinkwasser Radon. Wie hoch der Radongehalt des Wassers ist, hängt von der lokalen Beschaffenheit des Bodens ab. Aber nicht das gesamte Radon gelangt zum Verbraucher. Durch die Verwirbelung des Wassers bei der Förderung wird auch ein Teil des Radons schon im Wasserwerk freigesetzt.

Das Bundesamt für Strahlenschutz hat seit 1993 umfangreiche Untersuchungen zum Radongehalt im Trinkwasser durchgeführt und dabei mehr als 2100 Proben untersucht. Im Mittel ergab sich dabei für Deutschland eine Radonkonzentration von rund 6 Bq/l. Rund 7 % der Messwerte liegen über 100 Bq/l.²² Die Strahlenschutzkommission (SSK) hat 2003 einen Richtwert von 100 Bq/l empfohlen, bei dessen Überschreitung die Durchführung von Gegenmaßnahmen zu prüfen ist. Eine Reduzierung der Radonkonzentration im Trinkwasser kann in den betroffenen Wasserwerken beispielsweise mit Hilfe von Belüftungsverfahren erreicht werden.²³

Bei der Verwendung des Trinkwassers für Speisen, also beim Erwärmen, Kochen, Rühren oder Schütteln, entweicht Radon zum größten Teil aus dem Wasser.²⁴ Die Menge an frisch getrunkenem Leitungswasser, aus dem das Radon noch nicht entwichen ist, ist laut SSK in der Regel gering (ein Glas pro Tag)²⁵. Damit ist auch die Strahlendosis durch Radon im Trinkwasser gering gegenüber der Strahlenexposition aus anderen natürlichen Quellen.

Auch beim Baden und Duschen oder beim Betrieb von Waschmaschinen oder Geschirrspülern entweicht Radon aus dem Wasser in die Raumluft. Dies ist aber in den meisten Fällen unbedeutend. Durch den Übergang von Radon aus dem Wasser in die Luft bei häuslichen Tätigkeiten erhöht sich pro Bq/l die Raumluftkonzentration nur um etwa 0,05 bis 0,1 Bq/m³. Bei einer in Baden-Württemberg typischen Raumluftkonzentration von ca. 45 Bq/m³ stammen beispielsweise nur etwa 0,6 Bq/m³ aus dem Trinkwasser (mit 6 Bq/l). Nur bei sehr hohen Radongehalten im Wasser ergibt sich daraus eine nennenswerte Erhöhung der Raumluftkonzentration.²⁶

3.4. Radon an Arbeitsplätzen

Die Strahlenschutzverordnung befasst sich in ihrem Teil 3 mit dem „Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten“. Dazu gehören auch Arbeitsplätze, an denen die Beschäftigten Radon ausgesetzt sind. Dies sind untertägige Bergwerke, auch Besucherbergwerke, Schächte und Höhlen. Außerdem zählen dazu Radon-Heilbäder und Radon-Heilstollen sowie Anlagen der Wassergewinnung, Wasseraufbereitung und Wasserverteilung. An diesen Arbeitsplätzen muss vom Arbeitgeber eine Abschätzung der Radonexposition durchgeführt werden. Wird der Richtwert von 6 mSv im Kalenderjahr überschritten, dann muss dies der zuständigen Behörde mitgeteilt werden und die Strahlendosis der Beschäftigten überwacht werden. Der Richtwert wird im Allgemeinen eingehalten, wenn die Radonkonzentration multipliziert mit der Arbeitszeit im Jahr den Wert von 2 Millionen Bq/m³ mal Stunden (2 MBq*h/m³) nicht überschreitet. Dieser Wert entspricht einer Raumluftkonzentration von 1.000 Bq/m³ bei einer jährlichen Arbeitszeit von 2.000 Stunden. Maximal erlaubt sind im Jahr 20 mSv. Von Bedeutung ist die Abschätzung und Bewertung der Radonexposition der Beschäftigten insbesondere in Wasserwerken, Radon-Heilbädern und Radon-Heilstollen.

Radon in Wasserwerken

Bei der Gewinnung von Wasser kann Radon in unterschiedlichen Mengen auch in die Wassergewinnungsanlagen gelangen. Durch Verwirbelung des Wassers bei der Wasseraufbereitung entweicht der überwiegende Teil an Radon innerhalb des Wasserwerkes und gelangt damit nicht mehr in das Trinkwasser. Allerdings können dadurch in einzelnen Bereichen der Wasserwerke hohe Radon-Konzentrationen in der Luft zustande kommen. Insbesondere in Hochbehältern sind Konzentrationen von einigen 10.000 Bq/m³ und (ohne Lüftung) sogar bis zu 100.000 Bq/m³ möglich. Da sich hieraus eine erhebliche Strahlenexposition des Personals ergibt, verlangt die Strahlenschutzverordnung seit 2001 eine Abschätzung der Radonexposition an Arbeitsplätzen.



© Forschungszentrum
Karlsruhe

In einigen baden-württembergischen Wasserwerken wurden bereits von 1994 bis 1997 Radonmessungen durchgeführt. 2006/2007 förderte das Land das Projekt „Radonerhebungsmessungen in Wasserwerken in Baden-Württemberg“, das vom Forschungszentrum Karlsruhe durchgeführt wurde²⁷. Mit diesem Projekt wurden systematische Erhebungen flächendeckend verwirklicht. Den Wasserwerken wurden hierzu kostenlos Ortsexposimeter zur Verfügung gestellt, die über zwei Wochen in Hochbehältern und Wasseraufbereitungsanlagen ausgelegt wurden. Zusätzlich erhielten betroffene Beschäftigte Personenexposimeter, die beim Aufenthalt in diesen Bereichen über drei Monate getragen wurden.

3.5. Radon in Stollen und Heilbädern

Radon wird im Rahmen der sogenannten Radon-Balneotherapie vor allem bei chronisch schmerzhaften Erkrankungen des Bewegungsapparates eingesetzt. Dabei werden Inhalationskuren in Stollen oder Badekuren durchgeführt. Die Radonkonzentrationen in der Luft sind für diese Kuren im Vergleich zu Radon in Wohnungen sehr hoch. So wurde vom Deutschen Bäderverband 1991 für Inhalation und Luftbäder ein Mindestwert von 37 000 Bq/m³ festgelegt²⁸. Andererseits ist die Anwendungsdauer auf z.B. 10 mal 60 Minuten Therapie in einer Kur beschränkt²⁹. Bei einer dreiwöchigen Heilstollenkur ist dabei z.B. mit einer Strahlendosis von 8 bis 9 mSv zu rechnen³⁰.

In Baden-Württemberg werden seit Oktober 2005 Radontherapien (Radonwannenbäder) im Radon Revital Bad in St. Blasien-Menzenschwand angeboten. Das Menzenschwander Radonwasser stammt aus dem Martinbrunnen aus einer Tiefe von 105 Metern und hat einen Radongehalt von 1.130 Bq/l. Radon wird therapeutisch ab einer Konzentration von 666 Bq/l als Heilwasser verwendet³¹.

4. Schädigt Radon meine Gesundheit?

4.1. Risiko Lungenkrebs

Bereits im 16. Jahrhundert haben Paracelsus und Agricola bei Bergarbeitern in den Silberbergwerken in Schneeberg im sächsischen Erzgebirge und im böhmischen St. Joachimsthal eine häufige Lungenkrankheit beobachtet, die später „Schneeberger Lungenkrankheit“ genannt wurde. Seit etwa 120 Jahren ist bekannt, dass es sich dabei um Bronchialkrebserkrankungen handelt³².

Heute weiß man, dass Radon nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs ist. Es wurde im Jahr 1988 durch eine Arbeitsgruppe der Weltgesundheitsorganisation als krebserregend eingestuft.³³

Insbesondere die Alpha-Teilchen der eingeatmeten kurzlebigen Radon-Folgeprodukte schädigen wegen ihrer kurzen Reichweite und hohen Energie das umgebende empfindliche Lungengewebe. Die Folgeprodukte (Polonium, Wismut und Blei) lagern sich an Staubteilchen in der Luft (Aerosole) an, werden mit diesen eingeatmet und verbleiben längere Zeit in der Lunge. Sie bewirken so eine Strahlenexposition der Lunge und der Bronchien, besonders der empfindlichen Basalzellen des Bronchialepithels³⁴. Die Strahlendosis durch Einatmen von Radon selbst ist hingegen klein im Vergleich zu der seiner Folgeprodukte. Dies liegt daran, dass das Edelgas Radon fast vollständig wieder ausgeatmet wird.

Welche Studien gibt es?

Seit den 60er Jahren wurden zahlreiche epidemiologischen Studien bei Uranbergarbeitern durchgeführt, die eindeutig ein erhöhtes Risiko für Lungenkrebs belegen. Diese Ergebnisse werden auch durch die neueste Studie des Bundesamtes für Strahlenschutz bei 59.000 deutschen Uranbergarbeitern bestätigt³⁵.

Diese Studien sind aber nicht direkt auf die Belastung durch Radon in Häusern übertragbar. Bergarbeiter sind auch noch zahlreichen anderen Schadstoffen wie Arsen, Asbest oder Dieselabgasen ausgesetzt und sind im Mittel auch stärkere Raucher als der Durchschnitt der Bevölkerung. Außerdem unterscheidet sich auch die Aerosolkonzentration in der Grubenluft von der in Wohnungen.³⁶

Deshalb sind seit dem Ende der 80er Jahre weltweit viele Studien zu Radon in Wohnungen durchgeführt worden.

In Deutschland: In den Jahren 1990 bis 1997 wurden vom Institut für Epidemiologie des GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit zusammen mit der Ludwig-Maximilians-Universität München zwei Studien in West- und Ostdeutschland durchgeführt, die als „deutsche Radonstudie“ zusammengefasst werden. Sie umfassen 2.963 Lungenkrebspatienten und eine Kontrollgruppe mit 4.232 Personen. In über 9.000 Wohnungen wurde die Radon-Konzentration gemessen.³⁷

In Europa: Im Jahr 2005 wurde eine durch die Europäische Kommission geförderte und unter Leitung von Prof. Darby in Oxford durchgeführte Studie veröffentlicht, in der insgesamt 13 Fall-Kontroll-Studien aus Deutschland, England, Schweden, Finnland, Frankreich, Italien, Spanien, Österreich und Tschechien zusammengefasst und gemeinsam ausgewertet wurden („Europäische Pooling-Studie“). Diese Studie ist die bislang weltweit größte Untersuchung über die Folgen der Radonexposition in Wohngebäuden. In die Studie gingen insgesamt 7.148 Lungenkrebspatienten und 14.208 Kontrollpersonen³⁸ ein. Bei den Teilnehmern wurde die Radonkonzentration in ihren heutigen und in den früheren Wohnungen gemessen. Sie wurden außerdem umfangreich zu ihren Rauchgewohnheiten und zu anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs befragt.

Ergebnisse der Studien

Die Studien zeigen einen klaren Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Radonkonzentration in Wohnungen. Das Risiko steigt dabei proportional mit der Konzentration des Radons in der Luft und ist bereits bei Konzentrationen unterhalb der von der EU 1990 empfohlenen und von den in den meisten europäischen Staaten zurzeit geltenden Richtwerten nachweisbar. Die europäische Pooling-Studie schätzt, dass in Europa 9 % aller Lungenkrebstodesfälle, das sind ca. 20.000 pro Jahr, durch Radon in Wohnungen verursacht wird³⁹. Daher ist die Information über Radon, sein Risiko und mögliche Gegenmaßnahmen besonders wichtig.

Risiko bei Rauchern

Radon-Risiko



senken !

Zwar ist das sogenannte *relative* Risiko für Raucher und Nichtraucher vergleichbar hoch. So erhöht sich das Lungenkrebsrisiko bei beiden um etwa 16 %, wenn die Radonkonzentration der Atemluft um 100 Bq/m^3 zunimmt. Ein Raucher hat jedoch ein ca. 25fach höheres Lungenkrebsrisiko als ein Nichtraucher, der nie geraucht hat.⁴⁰ Da Raucher somit ein sehr viel höheres Ausgangsrisiko für Lungenkrebs haben, bedeutet für sie eine Zunahme des Risikos durch Radon um 16 % auch einen viel größeren absoluten Risikozuwachs als bei Nichtrauchern. Die große Mehrheit (mehr als 90 %) der Lungenkrebsfälle infolge von Radon sind daher Raucher.

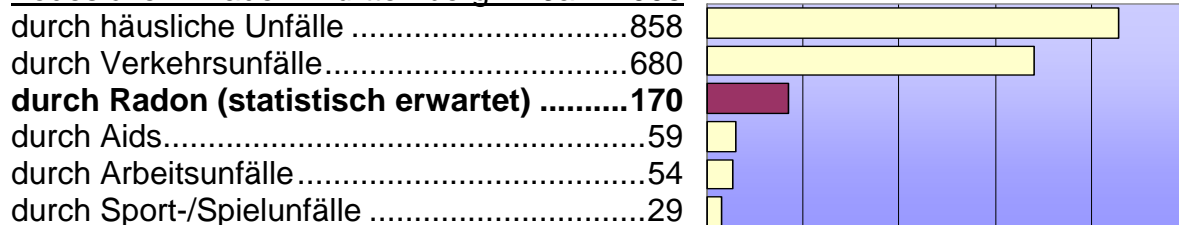
In absoluten Zahlen bedeutet dies, dass unter den durch Radon verursachten etwa 1.900 Lungenkrebstoten pro Jahr in Deutschland nur ungefähr 160 Nichtraucher sind. Bezogen auf Baden-Württemberg folgt hieraus, dass unter den erwarteten 170 Lungenkrebstoten pro Jahr durch Radon 156 Raucher und nur 14 Nichtraucher sind.

Radon verursacht bei Rauchern sehr viel mehr Erkrankungsfälle als bei Nichtrauchern. Daher ist für Raucher die beste Möglichkeit zur Vermeidung des zusätzlichen Risikos durch Radon der Verzicht auf das Rauchen. Das radonbedingte Risiko lässt sich durch Aufgeben des Rauchens deutlich verringern.

Risikovergleich mit anderen Alltagsrisiken

Um das Risiko durch Radon im Vergleich mit anderen Risiken einschätzen zu können, sind in der folgenden Tabelle die Zahl von Todesfällen in Baden-Württemberg im Jahr 2005 aufgrund verschiedener Alltagsrisiken, vor allem von Unfallrisiken, den erwarteten Lungenkrebstodesfällen durch Radon in Häusern gegenübergestellt⁴¹.

Todesfälle in Baden-Württemberg im Jahr 2005



4.2. Risiko und Nutzen der Radontherapie

Die Radon-Therapie wird als eine spezielle Form der Strahlentherapie mit niedrigen Dosen zur Behandlung gutartiger Erkrankungen angesehen. Therapeutische Anwendungen von Radon sind neben der Inhalationskur (Radon-Stollen) die Trinkkur und die Badekur (Wannenbäder).

Einige Krankheiten wie Erkrankungen des rheumatischen Formenkreises (Morbus Bechterew, rheumatoide Arthritis, degenerative Erkrankungen der Gliedmaßen-gelenke und der Wirbelsäule, bestimmte Formen des Weichteilrheumatismus) oder Hautkrankheiten (Schuppenflechte, Sklerodermie in ihrer generalisierten Form) werden aufgrund von Erfahrungen für eine Radontherapie als geeignet angesehen.⁴²

Radon wird dabei eine entzündungshemmende und schmerzlindernde Wirkung zugeschrieben. Es wird auch angenommen, dass das Immunsystem positiv beeinflusst wird.⁴³

Als Begründung für die therapeutische Wirksamkeit dienen sogenannte biopositive Effekte, wonach von Radon im Niedrigdosisbereich gesundheitsfördernde Wirkungen ausgehen sollen (Hormesis, griechisch: Anregung). Allgemein wird unter dem Begriff Hormesis verstanden, dass chemische und physikalische Wirkfaktoren in großen Dosen Gesundheitsschäden verursachen, während sie in kleinen Dosen nicht nur unschädlich, sondern sogar gesundheitsförderlich oder lebensnotwendig sind.

Das Lungenkrebsrisiko ist als Nebenwirkung der Therapie anzusehen und steht möglichen Nebenwirkungen medikamentöser Schmerztherapien gegenüber. Das Bundesamt für Strahlenschutz gibt anhand von Messungen der Luftaktivität in Thermalstollen ein zusätzliches Lungenkrebsrisiko infolge einer 4-wöchigen Radonkur von ca. 0,1 % an.⁴⁴ Das Risiko der Strahlenexposition ist gegen den therapeutischen Nutzen der Radon-Balneotherapie individuell abzuwägen.

Kindern, Jugendlichen und Schwangeren wird von einer Radonkur abgeraten.⁴⁵

5. Wie kann ich mich vor Radon schützen?

5.1. Richtwerte

Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften hat in ihrer „Empfehlung“⁴⁶ zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden“ **1990** empfohlen, dass die Strahlenbelastung durch Radonkonzentrationen in bestehenden Wohngebäuden im Jahresdurchschnitt den Referenzwert von **20 mSv** entsprechend **400 Bq/m³** nicht überschreiten soll. Bei Überschreitung sollen einfache, aber wirkungsvolle Maßnahmen zur Verringerung der Radonwerte ergriffen werden. Neu zu bauende Wohnungen sollen so geplant werden, dass nach der Errichtung der Planungswert von **10 mSv** entsprechend **200 Bq/m³** nicht überschritten wird.

Die Strahlenschutzkommission (SSK) nennt **1994** in ihrer Empfehlung⁴⁷ „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“ **250 Bq/m³** als Obergrenze des **Normalbereichs**, in dem Maßnahmen nicht als notwendig erachtet werden. Oberhalb des Normalbereichs sollen einfache Maßnahmen zur Reduzierung von Radon durchgeführt werden. Der Bereich oberhalb von **1.000 Bq/m³** gilt als **Sanierungsbereich**, in dem Radon in einer angemessenen Zeit (wenige Jahre) auch dann reduziert werden soll, wenn aufwändige Maßnahmen erforderlich sind. Bei Konzentrationen oberhalb von 15.000 Bq/m³ empfiehlt die SSK, eine Sanierung schnellstmöglich, längstens innerhalb eines Jahres, durchzuführen. Bei Neubauten soll angestrebt werden, dass der Normalbereich nicht überschritten wird.

In ihrer jüngsten Stellungnahme⁴⁸ „Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen“ aus dem Jahr **2005**, in der die neuesten Forschungsergebnisse der europäischen Radonstudie ausgewertet werden, kommt die SSK zu der Einschätzung, dass „bei Entscheidungen über konkrete Maßnahmen zur Reduzierung von Radonkonzentrationen in Wohnungen auch der Bereich **unterhalb von 250 Bq/m³** zu berücksichtigen“ sei. Sie weist darauf hin, dass in den neuen Studien bei Nichtrauchern auch schon im Bereich 100 bis 199 Bq/m³ eine Erhöhung des Lungenkrebsrisikos nachweisbar ist.

5.2. Allgemeine Empfehlungen⁴⁹

- Zur Einschätzung der eigenen Radon-Situation ist die Durchführung von **Radonmessungen** der einzige Weg. Eine Messung ist besonders sinnvoll in Gebieten mit hohen Radonkonzentrationen in der Bodenluft (siehe Karte auf Seite 9). Sie ist aber auch zu empfehlen in Altbauten ohne Bodenfundamentplatte oder wenn befürchtet wird, dass das Haus schlecht zum Untergrund abgedichtet ist. Nur eine Messung in den eigenen vier Wänden kann die eigene Radon-Situation wirklich aufzeigen. Die Messung ist sehr einfach und relativ preisgünstig (ca. 30 Euro). Da die Radonkonzentration von Stockwerk zu Stockwerk nach oben abnimmt, sind Radonmessungen insbesondere in

Gartengeschosswohnungen, häufig genutzten Untergeschossräumen (Hobbyräumen) und Erdgeschosswohnungen sinnvoll. Am aussagekräftigsten sind Langzeitmessungen über mehrere Monate. Sie sind insbesondere notwendig beim Vergleich mit Richtwerten oder Empfehlungen. Kurzzeitmessungen über wenige Tage zeigen nur eine Momentaufnahme und können z.B. für die Suche nach Eindringstellen eingesetzt werden. Für die Messung und deren Auswertung ist fachkompetente Unterstützung erforderlich. Adressen, wo qualitätsgesicherte Radon-Exposimeter bei Fachinstitutionen bestellt werden können und eine Beschreibung der Messmethoden findet man im Anhang in Abschnitt A1.

- **Maßnahmen** gegen Radon sollten ergriffen werden, wenn die Konzentration größer ist als 200 Bq/m^3 . Welche Maßnahmen in Frage kommen, findet man in Abschnitt 5.3.
- Da man heute davon ausgeht, dass das Lungenkrebsrisiko mit steigender Radonkonzentration linear zunimmt und es keinen Schwellenwert gibt, unter dem gar kein Risiko besteht, ist es sinnvoll, die Radonkonzentration auch bei Werten zwischen 200 und 100 Bq/m^3 zu vermindern, wenn dies durch sehr einfache Maßnahmen möglich ist.
- Beim **Neubau** eines Hauses sollte auch schon bei der Planung an den Radon-Schutz gedacht werden.

5.3. Was kann jeder selbst tun?



Grundsätzlich gilt: Für Raucher ist die beste und billigste Maßnahme, ihr persönliches Radon-Risiko zu senken, mit dem Rauchen aufzuhören (siehe hierzu auch den Absatz „Risiko bei Rauchern“ auf Seite 16).

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten, die Radon-Konzentration in Wohnräumen zu verringern.

Die folgenden Hinweise orientieren sich hinsichtlich der Radonkonzentration an den zurzeit gültigen europäischen Richtwerten und den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission (siehe Abschnitt 5.1). Sie können sich mit dem Bekanntwerden und der Umsetzung neuer Erkenntnisse im Laufe der Zeit auch ändern.

Die nachfolgend genannten Radon-Raumluftkonzentrationen sind als Jahresmittelwerte zu verstehen. Wenn man sie mit eigenen Messungen vergleichen möchte, müssen Langzeitmessungen mindestens über einige Monate durchgeführt werden (siehe auch Abschnitt „Langzeitmessungen“ im Anhang A1).

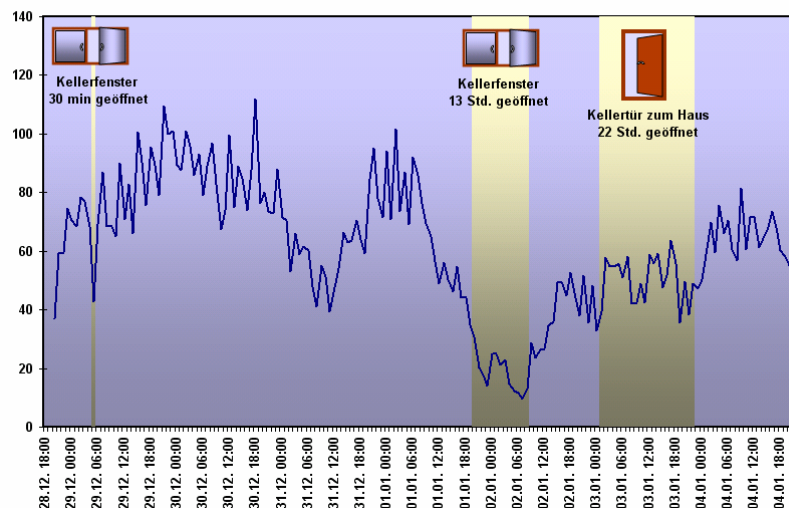
Übersicht über die empfohlenen Maßnahmen

Radonkonzentration in der Raumluft	Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration
100 bis 200 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none"> • Lüften • Raumnutzung optimieren
200 bis 400 Bq/m ³	<u>zusätzlich:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Abdichten von Fugen, Rissen, Leitungsdurchführungen • Kellertür dicht schließen
400 bis 1.000 Bq/m ³	<u>zusätzlich</u> <ul style="list-style-type: none"> • mechanische Lüftung, gezielter Über-/Unterdruck • radonhemmende Beschichtungen, gasdichte Folien • Nachbetonieren von Naturkellerböden
größer als 1.000 Bq/m ³	<u>zusätzlich</u> <ul style="list-style-type: none"> • Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung • Sammelkanal im Keller • Drainage, Absaugen unter dem Fundament • Radonbrunnen
größer als 10.000 Bq/m ³	Sanierung baldmöglichst in Angriff nehmen
Neubauten	<u>Bei der Planung Radonschutz berücksichtigen</u> <ul style="list-style-type: none"> • Radon in der Bodenluft, ev. selbst messen lassen • ev. durchgehende Betonbodenplatte • keine Wohn- und Aufenthaltsräume im Keller

Maßnahmen bei 100 bis 200 Bq/m³

- Die einfachste Methode zur Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft ist häufiges bzw. intensives Lüften. Hierbei sollten im Winter einfache Regeln beachtet werden, damit der Wärmeverlust möglichst klein bleibt. Hierzu gehört das Stoßlüften. Die Fenster werden nur für kurze Zeit weit geöffnet, damit die Luft erneuert wird, die Wände aber nicht auskühlen. Wenn möglich, sollte auch und vor allem in Kellerräumen gelüftet werden, weil dort wegen des Eindringens des Radons aus dem Untergrund die höchste Radonkonzentration vorliegt⁵⁰.

Radonkonzentration in einem Kellerraum [Bq/m³]



- Eine weitere Möglichkeit, die Bewohner selbst treffen können, ist die Änderung der Raumnutzung in Abhängigkeit von den Radonkonzentrationen und Aufenthaltsdauern in den einzelnen Räumen⁵¹. Durch den Verzicht auf Wohn- und Aufenthaltsräume im Untergeschoss sind oft weitere Maßnahmen nicht mehr notwendig.⁵²

Maßnahmen bei 200 bis 400 Bq/m³

- Schwachstellen für das Eindringen von Radon sind Fugen und Risse in Wänden und Böden, Rohrdurchführungen und Leitungskanäle. Undichtigkeiten können von geübten Heimwerkern mit gasdichtem Dichtungsmaterial selbst behoben werden.
- Auch Ausbreitungspfade wie Installationsschächte oder Kontrollöffnungen sollten sorgfältig abgedichtet werden.
- Flächenhafte Undichtigkeiten (Haarrisse in Kellerböden und Kellerwänden) sollten mit einer gasdichten Beschichtung von einem Fachmann behoben werden.⁵³
- Die Ausbreitung von Radon im Haus kann durch den Einbau automatischer Türschließer für die Kellertür und elastische Türdichtungen vermindert werden. Ein Türschloss mit minimalem Schlüsselloch ist sinnvoll.

Maßnahmen⁵⁴ bei 400 bis 1.000 Bq/m³

Hierbei handelt es sich um zusätzliche Maßnahmen, die mit Hilfe einer Fachberatung durchgeführt werden sollten. Im Vorfeld sollten die Ursachen der erhöhten Radonkonzentration erkundet werden. Bei der Ausführung sind das Umfeld und bauliche Besonderheiten zu beachten. Stets muss sorgfältig geprüft werden, welche Lösung der vorliegenden Radonproblematik am besten gerecht wird. Geeignete Maßnahmen sollten innerhalb von 5 Jahren vorgenommen werden. Als Ziel der Maßnahmen ist die Unterschreitung des Richtwerts von 200 Bq/m³ anzustreben.

- Die mechanische Lüftung im Keller durch Einbau eines Ventilators, der Frischluft einbläst, sorgt dafür, dass radonbelastete Luft schneller ins Freie gelangt. Gleichzeitig wird ein geringer Überdruck erzeugt und damit das Eindringen von Radon erschwert.⁵⁵
- Generell kann durch eine gezielte Einflussnahme auf die Druck- und Ausbreitungsverhältnisse im Gebäude ein Unterdruck im Haus verhindert werden, der das Eindringen von Radon begünstigt. In Frage kommen beispielsweise die Schaffung natürlicher Lüftungsöffnungen an geeigneten Stellen oder der Einsatz von Kleinventilatoren zur Über- oder Unterdruckhaltung. Bei Heizungsanlagen kann eine Frischluftzufuhr zum Brenner eine Sogwirkung des Kamins verhindern. Auch bei offenen Kaminen und Öfen kann eine direkte Verbrennungsluftzufuhr die Entstehung eines Unterdrucks vermeiden.

- Radonhemmende Beschichtungen des Mauerwerks innen, wie sie auch gegen das Eindringen von Feuchtigkeit eingesetzt werden, wirken so lange als Radonbremse, wie sie rissfrei und unverletzt sind⁵⁶.
- Für eine raumseitige Abdichtung sind Dichtungsbahnen (Folien) zum Feuchteschutz gut geeignet, um auch das Eindringen von Radon zu blockieren. Die bei der Wärmedämmung eingesetzten Dampfsperren bzw. in ausreichendem Maße dampfbremsende Schichten sind auch eine ausreichende Radonsperre, müssen aber leckagedicht montiert sein⁵⁷.
- Das Nachbetonieren von Naturkellerböden erschwert den direkten Eintritt von Radon aus dem Boden in das Gebäude⁵⁸.

Maßnahmen bei über 1.000 Bq/m³ (Sanierung)

Bei Radon-Konzentrationen in Aufenthaltsräumen über 1.000 Bq/m³ sollte möglichst bald eine Sanierung in Angriff genommen und innerhalb von 3 Jahren abgeschlossen werden. Man sollte sich hierzu von Fachleuten beraten lassen. Jeder Sanierung sollte unbedingt die Erkundung der Ursachen der erhöhten Radonkonzentrationen vorangehen.⁵⁹

Im Rahmen einer Sanierung gibt es zusätzlich zu den bereits genannten Maßnahmen die folgenden Möglichkeiten:

- Beim Einbau einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird frische Außenluft angesaugt, die über einen Wärmetauscher durch die radonhaltige Kellerluft erwärmt wird, die dabei abgesaugt und nach außen geleitet wird⁶⁰.
- Mit dem Einbau eines Sammelkanals im Keller über undichten Stellen, z.B. Fugen, kann durch einen kleinen Ventilator im Kanal eingedrungenes Radon gezielt ins Freie abführt werden. Durch den entstehenden leichten Unterdruck im Keller wird die Ausbreitung der radonhaltigen Kellerluft in die Wohnräume vermindert⁶¹.
- Durch eine mechanische Bodenentlüftung unter dem Gebäude kann radonhaltige Bodenluft, die unter dem Fundament gesammelt wird, abgesaugt werden. Sie wird dabei entweder über Rohre oder in einer Kammer gesammelt und durch einen Ventilator ins Freie geblasen⁶².
- Gute Erfahrungen wurden teilweise auch mit dem Bau eines freistehenden Radonbrunnens außerhalb des Gebäudes gemacht, bei dem Radon mit Hilfe eines Ventilators aus der Bodenluft angesaugt wird. Der notwendige Unterdruck wird vor allem dann erreicht, wenn eine dichte Deckschicht vorhanden ist.⁶³

Bei Radonkonzentrationen oberhalb von 10.000 Bq/m³ besteht dringender Sanierungsbedarf. Mit den Sanierungsmaßnahmen sollte ohne zeitliche Verzögerung begonnen werden. Der Erfolg der Maßnahmen sollte nach Abschluss der Sanierung durch Messungen überprüft werden.

Beim Neubau von Häusern

Beim Bau eines neuen Hauses sollte auch schon bei der Planung an den Radon-Schutz gedacht werden. Prävention ist billiger und meist erfolgreicher als eine nachträgliche Sanierung. Man kann sich mit Hilfe der Radonkarte über das mögliche Radonpotenzial orientieren. Unter Umständen können Bodenluftmessungen des eigenen Baugrundes sinnvoll sein. Diese werden üblicherweise in 1 Meter Bodentiefe durchgeführt. In der Regel sind aber einfache Radonschutzmaßnahmen preisgünstiger als Standorterkundungen.

- Wenn die Radon-Bodenluftkonzentration unterhalb von 20.000 Bq/m³ liegt, ist nicht mit einer erhöhten Radon-Konzentration im Haus zu rechnen. In diesem Fall müssen beim Bau keine besonderen Maßnahmen ergriffen werden⁶⁴.
- Bei einer Radonkonzentration der Bodenluft unter 100.000 Bq/m³ sind in der Regel eine durchgehende Beton-Fundamentplatte und ein DIN-gerechter Schutz gegen Bodenfeuchte ausreichend⁶⁵.
 - Der Verzicht auf Wohn- und Aufenthaltsräume im Keller kann sinnvoll sein.
 - Ferner sollte durch dichte Türabschlüsse zwischen Keller und Wohnräumen der Ausbreitung von Radon aus dem Keller in die Wohnungen entgegengewirkt werden. Sinnvoll ist, auch einen Abschluss des Treppenhauses gegen das Untergeschoss vorzusehen.
- In Gebieten, in denen die Radon-Bodenkonzentration über 100.000 Bq/m³ liegt, muss gehäuft mit erhöhten Radonkonzentrationen in Wohnräumen gerechnet werden⁶⁶.
 - Hier sollte neben einer durchgehenden betonierten Bodenplatte eventuell auch eine außenseitige Abdichtung mit einer radondichten Folie unter der Fundamentplatte eingebaut werden.

Leitungsdurchführungen für Wasser, Elektrizität, Fernsehen etc., die aus dem Erdreich ins Haus gehen, sollten sorgfältig abgedichtet werden. Falls möglich, sollten Rohre und Leitungen durch die Wände und nicht durch den Boden zugeführt werden.

Durch die Berücksichtigung der Radonproblematik bereits beim Bau kann von vornherein vermieden werden, dass Radon später zu einem Problem wird.

Schlussbemerkung

Das natürliche Edelgas Radon ist überall in unserer Umwelt vorhanden und kann durch seine natürliche Radioaktivität zu einem gesundheitlichen Risiko werden. Radon entsteht im Boden und kann sich in Häusern ansammeln. Es ist daher sinnvoll, sich über Radon zu informieren und die möglichen Schutzmaßnahmen gegen erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnungen zu kennen.

Diese Broschüre möchte dazu beitragen, das Wissen über Radon und Radonschutzmaßnahmen zu verbessern.

ANHANG

A1. Messung von Radon

Messungen in Häusern sind wichtig, um das individuelle Risiko der Bewohner zu kennen und um zu wissen, ob in einem konkreten Fall Maßnahmen zur Reduktion von Radon in der Raumluft ergriffen werden müssen. Um das Vorkommen von Radon im Untergrund zu kennen und die Wahrscheinlichkeit für eine erhöhte Radonkonzentration im Haus abschätzen zu können, sind Messungen von Radon in der Bodenluft von Interesse.

Da der Mensch Radon durch seine Sinne nicht erfassen kann, sind zu seinem Nachweis Messgeräte erforderlich. Aufgrund seiner Strahlung kann Radon aber messtechnisch sehr gut festgestellt werden.

Die Radonkonzentration in der Luft wird in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) gemessen. Wenn Radon in Bq/m^3 angegeben wird, ist damit nur das Radon selbst, ohne seine Folgeprodukte, gemeint.

Die folgenden Messungen sind von Interesse, wenn über Maßnahmen zum Schutz vor Radon entschieden werden soll:

Langzeitmessungen⁶⁷

Eine Bewertung der Radon-Situation in Wohnräumen ist nur nach einer längeren Messzeit möglich, da sich Richtwerte auf das Jahresmittel der Radon-Konzentration beziehen. Die Messdauer beträgt in der Regel 3 Monate bis zu einem Jahr. Die ganzjährige Messung des Jahresmittelwertes ist der Idealfall. Bei der Messung eines 3-Monats-Mittelwertes sollte dieser nach Vorschlag der Strahlenschutzkommission am besten im Frühjahr oder Herbst gemessen werden⁶⁸. 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. Bei Langzeitmessungen werden meist Exposimeter mit Kernspurdetektoren 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 werden.



© Forschungszentrum Karlsruhe

Das Exposimeter ist eine kleine Plastikdose von wenigen Zentimetern Durchmesser und kann sehr leicht gehandhabt werden. Es benötigt keinen Strom. Es muss lediglich ausgelegt werden und muss vom Anwender nicht selbst abgelesen werden. Nach dem Auslegen braucht es während

der Messzeit (beispielsweise 3 Monate) nicht weiter beachtet zu werden. Die Messung soll vor allem in Räumen erfolgen, in denen sich Menschen längere Zeit aufhalten, z.B. in Wohn- und Schlafzimmern.

Bei der Messung dringt das Radongas in die Dose ein, die Radon-Folgeprodukte aus der Zimmerluft werden dabei von einem Filter zurückgehalten. Beim Zerfall des Radons in der Dose verursachen die entstehenden Alphateilchen in der Detektorfolie kleine unsichtbare Spuren. Bei der Auswertung können diese Spuren durch Ätzen von der Messstelle sichtbar gemacht werden. Sie werden dann unter einem Mikroskop ausgezählt. Die Anzahl der Spuren ist ein Maß für die Radonkonzentration.



Bei dieser Messmethode handelt es sich um eine sehr einfache und kostengünstige Methode. Mit ihr können Radon-Konzentrationen von etwa 15 Bq/m³ bis zu über 5.000 Bq/m³ erfasst werden. Die Kosten für ein Exposimeter bewegen sich im Bereich um 30 Euro, bei Bestellung mehrerer Exposimeter ist die Einzelmessung oft billiger. Diese Messmethode ist daher auch für Privatpersonen zur Bestimmung des Radons in Innenräumen, sogar bei ungewöhnlich hohen Konzentrationen, sehr gut geeignet.

Kurzzeitmessungen

Messungen, mit denen man schnell ein Ergebnis erhalten kann, sind Kurzzeitmessungen. Hierfür können als Geräte ein passives Messsystem mit Aktivkohle oder ein Messsystem mit Kernspurdetektor verwendet werden. Bei einer Kurzzeitmessung bleibt das Gerät nur einige Tage im zu messenden Raum. Da aber die Radonkonzentrationen von Tag zu Tag und auch von Jahreszeit zu Jahreszeit schwanken, ist eine Kurzzeitmessung weniger aussagekräftig als eine Langzeitmessung.

Direktmessungen


Aktive (elektronische) Messgeräte für Direktmessungen benötigen Strom und sind vor Ort direkt ablesbar. Sie können für unterschiedliche Messdauern programmiert werden und speichern die Einzelmesswerte für eine spätere computergestützte Auswertung. Direktmessungen können für variable Übersichtsmessungen („Screening“) genutzt werden oder auch zur Suche nach Eindringstellen von Radon ins Gebäude („Sniffing“).






Messung der Bodenluft

Zur Messung von Radon in der Bodenluft werden Kurzzeitmessungen im Gelände durchgeführt, bei denen eine Probe der Bodenluft entnommen wird. Die Radonkonzentration nimmt im Bereich der Bodenoberfläche mit der Tiefe zu. Messungen werden üblicherweise in 1 Meter Tiefe durchgeführt. Um keine Vermischung mit der Außenluft zu erhalten, muss vor der Messung genügend Bodenluft gesaugt werden⁶⁹.






A2. Wer führt Radonmessungen durch?

Es gibt einige Institutionen, die für Bürger und Gemeinden als Dienstleistung Radonmessungen in Häusern durchführen. Dort können Radon-Messsysteme für einfache Messungen erworben werden. Zusammen mit dem Messergebnis erhält man auch Informationen zur Bewertung. Eine unverbindliche Auswahl an Institutionen bzw. Messlabors sind in der folgenden Tabelle zusammengestellt.

Messlabors mit dem folgenden Zeichen  haben an der Vergleichsprüfung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) für passive Radonmessgeräte im Jahr 2006 teilgenommen.

Radonmessungen in Baden-Württemberg			
Forschungszentrum Karlsruhe Postfach 3640 76021 Karlsruhe FZK Radonmesslabor Tel.: (07247) 82-2644 Herr Ugi Fax: (07247) 82-2054 Ugi@hs.fzk.de http://www.hs-kes.de/Dienstleistung/Radon	Langzeitmessung mit Kernspurdetektor, Expositionszeitraum zwischen 1 Monat (bei hohen Radon-Konzentrationen) und 3 Monaten 	EUR 16,96 Preis für 1 Messort inkl. MwSt. zzgl. Versandkosten (Stand: Jan. 2007)	 vom Bundesamt für Strahlenschutz anerkannt als sachverständige Stelle für die Überwachung der Strahlenexposition durch Radon an Arbeitsplätzen Das Forschungszentrum Karlsruhe führt auch das Forschungsprojekt "Radonerhebungsmessungen in Wasserwerken in Baden-Württemberg" im Auftrag des Umweltministeriums durch.
Weitere Radonmessungen von Forschungszentren und Universitäten			
GSF-Auswertungsstelle Radon-Messdienst Ingolstädter Landstr. 1 85764 Oberschleißheim Tel.: (089) 3187-2220 Fax: (089) 3187-3328 awst-bestellung@gsf.de	Langzeitmessung mit Kernspurdetektor 	EUR 32,00 + MwSt (= EUR 34,24) Der Preis beinhaltet Auswertung und Transportkosten. (Stand: Jan. 2007)	
Institut für Biophysik AG Prof. Dr. Gert Keller Universitätsklinikum, Geb. 76 66421 Homburg Tel.: (06841) 16 26211 Fax: (06841) 16 26525 gert.keller@uniklinikum-saarland.de	Langzeitmessung mit Kernspurdetektor Expositionsdauer 1 Monat bis 1 Jahr Kurzzeitmessung mit Aktivkohle-Detektor, Expositionsdauer 2 bis 3 Tage	EUR 40,00 EUR 30,00 (bei mehr als 5 Messungen pro Auftrag) EUR 25,00 EUR 20,00 (bei mehr als 5 Messungen pro Auftrag) Preise inkl. MwSt. und Versand (Stand: Jan. 2007)	

Wer führt Radonmessungen durch?

Radonmessungen von Behörden			
Materialprüfungsamt Nordrhein-Westfalen Marsbruchstrasse 186 - 44287 Dortmund Tel.: (0231) 4502-664 Dr. Nußhardt Tel.: (0231) 4502-550 Dr. Rox Tel.: (0231) 4502-552 Dr. Jordan Fax: (0231) 4502-238 nusshardt@mpanrw.de oder rox@mpanrw.de oder jordan@mpanrw.de http://www.mpanrw.de/radon/	Langzeitmessung mit Kernspurdetektor, Expositionsdauer 4 Wochen bis 1 Jahr Schnellmessung mit Aktivkohle-Dosimeter Expositionsdauer 3 bis 4 Tage	EUR 95,20 EUR 26,78 Preise inkl. MwSt. u. inkl. Verpackungs- und Versandkosten (Stand: Jan. 2007)	 Kernspurdetektor auch für schwierige Einsatzbedingungen wie hohe Luftfeuchte oder starke Staubbelastung geeignet
Landesanstalt für Personendosimetrie und Strahlenschutz Ausbildung Mecklenburg-Vorpommern Personendosismessstelle Im Innovationspark Wuhlheide Haus 41, Köpenicker Str. 325 12555 Berlin Tel.: (030) 6576-3125 Dr. Engelhardt Fax: (030) 6576-3120 engelhardt@lps-berlin.de http://www.lps-berlin.de/html/pdm_radon.html	Langzeitmessung: Diffusionskammer mit CR-39 Kernspurdetektor Expositionsdauer: 1-12 Monate	EUR 30,00 Preis inkl. Versandkosten, die LPS erhebt keine MwSt. (Stand: Feb. 2007)	 Akkreditiert nach DIN EN ISO 17025
Radonmessungen von privaten Dienstleistern			
TÜV Süddeutschland - Strahlenmesslabor Westendstrasse 199 80686 München Tel.: (089) 5791-1516 Herr Mugrauer Tel.: (089) 5791-1569 Sekretariat Fax: (089) 5791-1142 otto.mugrauer@tuev-sued.de	Langzeitmessung: Expositionsdauer 3 Monate Kurzzeitmessung: Dosimeter mit Aktivkohle, Expositionsdauer 3 Tage	EUR 20,00 + MwSt EUR 25,00 + MwSt (Stand: Juni 2005)	
Radon Analytics Kernski, Klingel GbR Alte Heerstrasse 1 53121 Bonn Tel.: (0228) 96292-45 Fax: (0228) 96292-50 buero@radon-analytics.com http://www.radon-info.de http://www.radon-analytics.com	Messung mit Kernspurdetektor + Bewertung des Messergebnisses Expositionsdauer 7 Tage bis 1 Jahr 	EUR 34,90 Set aus 2 Langzeit-exposimetern: EUR 64,90 Preise inkl. MwSt, zzgl. Verpackung und Versand (Stand: Jan. 2007)	 (GAMMADATA) Exposimeter und Auswertung von GAMMADATA Mättechnik AB, Uppsala (Schweden) von der IHK Bonn öffentlich bestellte und vereidigte Sachverständige für Radon
ALTRAC Dr. Andreas Guhr Dorothea-Viehmann-Straße 28 12524 Berlin Tel: (030) 67 98 97 37 Fax: (030) 67 80 18 86 info@altrac.de http://www.altrac.de/	Langzeitmessung mit Kernspurdetektor (1 bis 12 Monate) Kurzzeitmessung mit Kernspurdetektor (3, 7 oder 10 Tage)	EUR 29,75 (Sonderaktion für Privathaushalte: 3 Stück 75 EUR) EUR 29,75 Versand: EUR 2,38, versandkostenfrei ab 50,00 EUR Preise inkl. MwSt. (Stand: Jan. 2007)	 vom Bundesamt für Strahlenschutz anerkannt als sachverständige Stelle für die Überwachung der Strahlenexposition durch Radon an Arbeitsplätzen

A3. Weiteres Informationsmaterial

Radon-Broschüren anderer Bundesländer

- Bayern:** Radon in Gebäuden – Auswirkungen auf die Gesundheit
Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz, Reihe DATEN+FAKTEN+ZIELE, 2004
- Rheinland-Pfalz:** Radon – Experten geben Tipps zum Umgang mit Radon
Ministerium für Umwelt und Forsten Rheinland-Pfalz
- Sachsen:** Radon – Gesundheitsrisiko oder Heilmittel?
Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Okt. 2002

Informationsmaterial des Bundes

- Radon-Handbuch Deutschland (Hrsg. BMU, 2001)
Verlag für Neue Wissenschaft GmbH,
Postfach 101110, 27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 94544 - 0, Telefax: (04 71) 94544 - 77
E-Mail: info@nw-verlag.de, Internet: <http://www.nw-verlag.de>
- Radon-Merkblätter (BMU, 2004)
<http://www.bmu.de/strahlenschutz/downloads/doc/6657.php>
- Infoblätter des Bundesamtes für Strahlenschutz
http://www.bfs.de/bfs/druck/infoblatt/Radon_Hauptursachen
http://www.bfs.de/bfs/druck/infoblatt/Radon_Haeuser
http://www.bfs.de/bfs/druck/infoblatt/Radon_Massnahmen

Weitere Informationen

- zu Radon in Wasserwerken: www.fzk-radon.de
- zu Radon allgemein: www.radon-info.de
- Information des Berufsgenossenschaftlichen Instituts für Arbeitsschutz (BIA):
Radon an Innenraumarbeitsplätzen (Ausgabe 02/2003)
<http://www.hvbg.de/d/bia/fac/strahl/radon.pdf>

Schweiz

- RADON Jahresbericht 2005
Bundesamt für Gesundheit, Bern
- Radonhandbuch Schweiz
Bundesamt für Gesundheit, Bern, 2000
- Bundesamt für Gesundheit:
<http://www.bag.admin.ch/themen/strahlung/00046/>

A4. Glossar

Äquivalentdosis

Die effektive Äquivalentdosis ist die im Strahlenschutz benutzte Größe für die biologisch bewertete Dosis, ihre Einheit ist das Sievert (Sv). Sie berücksichtigt die unterschiedlichen biologischen Wirkungen der Strahlenarten (Alpha-, Beta-, Gamma- und Neutronen-Strahlung) und die verschiedenen Empfindlichkeiten einzelner Gewebearten (z.B. Lunge, Knochen, Haut).

Aerosol

Gemisch aus Luft und festen oder flüssigen Schwebeteilchen

Aktivität

quantitatives Maß für die Radioaktivität; auch: Zerfallsrate; Zahl der je Sekunde zerfallenden bzw. sich umwandelnden Atomkerne eines radioaktiven Stoffes. Einheit ist das Becquerel (Bq). Ein Becquerel entspricht dabei 1 Zerfall pro Sekunde.

Alphastrahler

Radionuklide hoher Massenzahl, deren Atomkerne beim Zerfall Alphastrahlen (Heliumatomkerne mit Massenzahl 4) emittieren

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.

Betastrahler

Radionuklide, deren Atomkerne bei Umwandlung eines Kernbausteins negativ geladene Elektronen oder positiv geladene Positronen emittieren

Dosis

Maß für die absorbierte Strahlungsenergie, die Dosis ist die Grundlage zur Bewertung des Risikos für Strahlenschäden und damit auch ein Maß für die Wirkung der Strahlung (siehe auch „Äquivalentdosis“)

Gammastrahlung

energiereiche elektromagnetische Strahlung, die bei einer radioaktiven Kernumwandlung auftreten kann und aus dem Atomkern stammt

Halbwertszeit

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

Inhalation

hier: Aufnahme von radioaktiven Stoffen mit der Atemluft

Ionisation

Abspaltung oder Aufnahme von Elektronen bei Atomen oder Molekülen. Es entstehen positiv oder negativ geladene Teilchen.

Ionisierende Strahlung

Strahlung, die direkt oder indirekt ionisiert, z.B. Alpha-, Beta-, Gammastrahlung, Röntgenstrahlung und Neutronenstrahlung

Isotope

Atomarten eines Elementes mit gleichen chemischen Eigenschaften (gleicher Ordnungszahl), aber verschiedenen Massenzahlen. Isotope eines Elementes unterscheiden sich in der Zahl der Neutronen im Atomkern.

Nuklid

durch Protonenzahl und Neutronenzahl charakterisierte Atomart

Radioaktive Stoffe

Stoffe, die aus Radionukliden bestehen oder solche enthalten

Radioaktiver Zerfall

Eigenschaft instabiler Atomkerne, sich spontan unter Energieabgabe in andere Elemente umzuwandeln. Die Energie wird in Form ionisierender Strahlung als energiereiche Teilchen und/oder elektromagnetische Strahlung abgegeben.

Radioaktivität

Eigenschaft instabiler Nuklide, sich ohne erkennbare äußere Einwirkung spontan umzuwandeln und dabei ionisierende Strahlen auszusenden

Radionuklide

instabile Nuklide, die sich unter Emission von Strahlung in andere Nuklide umwandeln (zerfallen)

Radionuklide, künstliche

nicht-natürliche, durch menschliche Tätigkeit geschaffene Radionuklide

Radionuklide, natürliche

nicht durch menschliche Tätigkeit geschaffene, in der Natur vorhandene Radionuklide

Sievert

Einheit der effektiven Äquivalentdosis; Einheitenzeichen ist **Sv**. 1 mSv (Millisievert) ist 1/1000 Sievert.

Strahlendosis → siehe: Dosis**Strahlenexposition**

Einwirkung ionisierender Strahlen

Strahlenexposition, natürliche

die durch natürlich vorkommende Radionuklide und Strahlenfelder verursachte Einwirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen

Zerfallsreihe

Folge von mehreren Zwischenstufen mit jeweils radioaktiven Nukliden, über die die langlebigen natürlichen Nuklide Uran-235, Uran-238 und Thorium-232 zerfallen

QUELLEN

- ¹ Aktuelle Internetseite des BfS „Gesundheitliche Auswirkungen von Radon in Wohnungen“:
„... ungefähr **5%** aller Lungenkrebssterbefälle pro Jahr durch Radon in Wohnungen verursacht. Dies entspricht in absoluten Zahlen ungefähr **1.900** durch Radon verursachte Todesfälle pro Jahr...“

Zum Prozentsatz bzw. der Anzahl von Lungenkrebsfällen/-toden durch Radon siehe auch:

- Pressemitteilung der EU vom 23.12.2004 zu einer neuen Studie zu Radon in Gebäuden (Darby et al.) : in der EU jährlich 20.000 Tote durch Radon, entsprechend **9%** der Lungenkrebstoten
 - Schweiz, Radonbericht 2005: bei einer mittleren häuslichen Radonbelastung von 78 Bq/m³ lassen sich ungefähr 8,5% der Lungenkrebsfälle in der Schweiz auf Radon zurückführen, das entspricht 240 von 2800 Lungenkrebsfällen pro Jahr.
 - DKFZ, Passivrauchen – ein unterschätztes Gesundheitsrisiko, Seite 21:
im Jahr 2003 starben in Deutschland 39 286 Menschen an Lungenkrebs
- ² Deutsche Krebshilfe, Informationen zum Thema „Rauchen und Krebs“: „ ... Das Inhalieren von Tabakrauch ist ursächlich verantwortlich für 80 bis 90 Prozent aller Lungentumoren ...“
http://www.krebshilfe.de/fileadmin/Inhalte/Downloads/PDFs/Rauchen_und_Krebs.pdf
- ³ Deutsches Krebsforschungszentrum (DKFZ):
„Passivrauchen – ein unterschätztes Gesundheitsrisiko, Rote Reihe Tabakprävention und Tabakkontrolle“, 2005, Seite 21/22
http://www.dkfz.de/de/presse/pressemitteilungen/2005/download/Passivrauchen_Band_5.pdf
- ⁴ „Lungenkrebs durch Radon“, in: GSF, mensch+umwelt spezial „Strahlung. Von Röntgen bis Tschernobyl“ 18. Ausgabe 2006, Quelle der Zahlen: Menzler et al. 2006
http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_u_spezial_Radioaktivitaet/Komplette-Broschuere-Web.pdf
- ⁵ WHO Pressemitteilung vom 30. Januar 2006: „*Improve home ventilation to reduce radon levels*“
- ⁶ <http://www.seilnacht.com/Lexikon/86Radon.htm>

siehe zur Dichte auch: <http://www.umwelt.sachsen.de/de/wu/umwelt/lfug/lfug-internet/9051.html>
oder <http://www.wissenschaft-online.de/artikel/615619>
andererseits <http://www.uniterra.de/rutherford/ele086.htm> (9,23 g/l)
- ⁷ Rutherford Online – Lexikon der Elemente (Elementbeschreibungen: Radon)
<http://www.uniterra.de/rutherford/ele086.htm>

siehe auch: Entdeckung des Radon, <http://www.radon-info.de/shtml/geschichte.shtml>
- ⁸ „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung 2005“, Abbildung I.3-2 auf Seite 4
<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/parlamentsbericht05.pdf>

- ⁹ „Lungenkrebs durch Radon“,
in: GSF, mensch+umwelt spezial „Strahlung. Von Röntgen bis Tschernobyl“ 18. Ausgabe 2006
http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Zeitschriften/m_u_spezial_Radioaktivitaet/Komplette-Broschuere-Web.pdf
- ¹⁰ C.Böhm: Einfluss des Untergrundes auf die Radonkonzentration in Gebäuden – dargestellt anhand einiger Beispiele, 2003, Seite 9
- ¹¹ http://www.radon-info.de/shtml/karten_bl.shtml
- ¹² C. Böhm: „Einfluss des Untergrundes auf die Radonkonzentration in Gebäuden – dargestellt anhand einiger Beispiele“, 2003, Seite 7
- ¹³ u.a.: ICRP-50, Kapitel 2.1.2 „Zufuhr aus dem Boden“, Seite 8
- ¹⁴ Bestimmung der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Radon und dessen kurzlebige Zerfallsprodukte in Wohnhäusern und im Freien,
KfK 3805 (1985) → 109 Messungen im Freien, Mittelwert: 23 Bq/m³
- ¹⁵ Radon. Informationen zu einem strahlenden Thema, Schweiz BAG, 1999, Seite 8
- ¹⁶ Radon - Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern, BMU 2004, S.14
http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/radon_merkblaetter.pdf
- ¹⁷ Bundesamt für Strahlenschutz: Faltblatt „Strahlenthemen: Radon in Häusern“, Februar 2007
http://www.bfs.de/bfs/druck/strahlenthemen/STTH_Radon.pdf
- ¹⁸ Die Radonkarte Deutschland. Kurzinformation zu Radon in der Boden- und Raumluft.
Kemski & Partner, 2004
http://www.kemski-bonn.de/downloads/Erl_Radonkarte2004.pdf
- ¹⁹ ICRP-Veröffentlichung 50 „Lungenkrebsrisiko infolge Exposition durch Radon-Zerfallsprodukte in Häusern“, Kapitel 2.1 „Radonquellen in Häusern“, Seite 7

zu Schweden siehe auch: http://www.radon-info.de/shtml/rn_europa_se.shtml
- ²⁰ „Lungenkrebs durch Radon“, in: mensch+umwelt spezial „Strahlung. Von Röntgen bis Tschernobyl“

aber: siehe auch Parlamentsbericht 2005: Demnach beträgt der Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnräumen in Deutschland 50 Bq/m³, der Beitrag aus mineralischen Baumaterialien in der Innenraumluft liegt im Median bei 30 Bq/m³ und reicht bis 70 Bq/m³,
<http://www.bmu.de/files/pdfs/allgemein/application/pdf/parlamentsbericht05.pdf>
- ²¹ Bundestagsdrucksache 14/4104 „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1999“, Tabelle III.2 „Geschätzte Anzahl Wohnhäuser mit erhöhten Radonkonzentrationen in den Bundesländern“ auf Seite 10; <http://dip.bundestag.de/btd/14/041/1404104.pdf>

- ²² Pressemitteilung des BfS vom 13.03.2002: „BfS misst Radon in Trinkwasser“, siehe auch Internetseite <http://www.bfs.de/bfs/presse/pr02/pr0220.html>
- ²³ SSK-Stellungnahme: „Strahlenexposition durch Radon-222 im Trinkwasser“, 2003
<http://www.ssk.de/werke/volltext/2003/ssk0317.pdf>
- ²⁴ SSK-Stellungnahme: „Bewertung der Strahlenexposition durch Radon im Trinkwasser“, 1995
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1995/ssk9515.pdf>
- ²⁵ BfS Jahresbericht 1998, „Flächendeckende Untersuchungen über den Radongehalt des Trinkwassers in der Bundesrepublik Deutschland“
- ²⁶ SSK-Stellungnahme: „Bewertung der Strahlenexposition durch Radon im Trinkwasser“, 1995
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1995/ssk9515.pdf>
- ²⁷ Forschungszentrum Karlsruhe: Projekt Radon in Wasserwerken
<http://www.fzk-radon.de/>
- ²⁸ Radon als Heilmittel, Therapeutische Wirksamkeit, biologischer Wirkungsmechanismus und vergleichende Risikobewertung, Hrsg.: RADIZ, 2004(?), Abschnitt 1.2 Applikationen, Seite 8
- ²⁹ rheuma-online: Wie lange dauert eine einzelne Behandlung, welchen Zeitraum sollte man für eine Heilstollenkur ansetzen?
<http://www.rheuma-online.de/therapie/natuerliche-therapien/radon-heilstollen/wie-lange-dauert-eine-einzelne-behandlung-welchen-zeitraum-sollte-man-fuer-eine-heilstollenkur-ansetzen.html>
- ³⁰ Arbeitsgemeinschaft Europäischer Radonheilbäder: „10 Fragen zur Radontherapie“, Seite 12
<http://gesundheits.gastein.com/downloads/radontherapie10fragen.pdf>
- ³¹ Radon Revital Bad St.Blasien-Menzenschwand: Das Radonvorkommen im Schwarzwald
<http://www.radonrevitalbad.de/Wir/radon.htm>
- ³² z.B. GSF-Pressemitteilung vom 22.12.2004 „Lungenkrebsrisiko durch Radon in Innenräumen bestätigt“, <http://www.gsf.de/neu/Aktuelles/Presse/2004/radon-2004-12-22.php>

Eigenwillig, Gerd Georg: „Berufliche Strahlenexposition durch Radon und dessen Folgeprodukte: Konsequenzen für die Anerkennung als Berufskrankheit“, Deutsches Ärzteblatt 94, Ausgabe 16 vom 18.04.1997, Seite A-1057 / B-845 / C-790;
<http://www.aerzteblatt.de/v4/archiv/artikeldruck.asp?id=5946>
- ³³ INTERNATIONAL AGENCY FOR RESEARCH ON CANCER
IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans
Volume 43, Man-made Mineral Fibres and Radon, 1988, last updated 1998
- ³⁴ SSK-Empfehlung „Zur Radon-Exposition der Bevölkerung“, 1980
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1980/ssk8001.pdf>

SSK-Empfehlung „Strahlenexposition und mögliches Lungenkrebsrisiko durch Inhalation von Radon-Zerfallsprodukten in Häusern“, 1985
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1985/ssk8502.pdf>

siehe auch: Internetseite der PTB zu Radon: <http://www.ptb.de/de/org/6/61/612/radon/gesgber.htm>

- ³⁵ Bundesamt für Strahlenschutz, Pressemitteilung vom 17.10.2006: „Ergebnisse der weltweit größten Uranbergarbeiterstudie veröffentlicht“
<http://www.bfs.de/bfs/presse/pr06/pr0617.html>
- ³⁶ „Lungenkrebs durch Radon“, in: mensch+umwelt spezial „Strahlung. Von Röntgen bis Tschernobyl“ auf Seite.39
- ³⁷ „Lungenkrebs durch Radon“, in: mensch+umwelt spezial „Strahlung. Von Röntgen bis Tschernobyl“
- ³⁸ zu der Studie und zur Anzahl der betrachteten Personen:
siehe: SSK-Empfehlung 2005: <http://www.ssk.de/werke/kurzinfo/2005/ssk0504.htm>
oder: BfS-Internetseite http://www.bfs.de/ion/wirkungen/radon_ges.html
- ³⁹ Pressemitteilung der EU vom 23.12.2004 zu einer neuen Studie zu Radon in Gebäuden: in der EU jährlich 20.000 Tote durch Radon, entsprechend **9%** der Lungenkrebstoten
- ⁴⁰ BfS-Internetseite „Gesundheitliche Auswirkungen von Radon in Wohnungen“, Stand 10.08.2006
http://www.bfs.de/ion/wirkungen/radon_ges.html
- ⁴¹ Statistisches Landesamt Baden-Württemberg, Statistische Berichte Baden-Württemberg vom 18.08.2006, Artikel-Nr. 3214 05001 „Gestorbene in Baden-Württemberg 2005 nach Todesursachen und Geschlecht“
- ⁴² H.G. Pratzel: „Über die Wirksamkeit von Radonanwendungen“, Rheuma-Journal 2/1995, S. 19 ff
- ⁴³ Arbeitsgemeinschaft Europäischer Radonheilbäder: „10 Fragen zur Radontherapie“, Seite 10
<http://gesundheit.gastein.com/downloads/radontherapie10fragen.pdf>

E.R. Schwarz et al. „Radon als Heilmittel, strahlenbiologische und medizinische Aspekte, Risiko“, Bundesamt für Strahlenschutz, Jahresbericht 1995, S.82-83, ISSN 0904-7650
- ⁴⁴ BfS aktuell 2/2000 vom Juni 2000, „Stellungnahme des BfS zur Radon-Balneotherapie“
http://www.bfs.de/bfs/druck/news_2000_2.pdf
- ⁴⁵ Arbeitsgemeinschaft Europäischer Radonheilbäder: „10 Fragen zur Radontherapie“, Seite 14/15
<http://gesundheit.gastein.com/downloads/radontherapie10fragen.pdf>
- ⁴⁶ Empfehlung der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:31990H0143:DE:HTML>

- ⁴⁷ SSK-Empfehlung „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“, 1994, Abschnitt 4.1
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1994/ssk9403.pdf>
- ⁴⁸ SSK-Stellungnahme „Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen“, 2005, Abschnitt 4 auf Seite 10
<http://www.ssk.de/werke/volltext/2005/ssk0504.pdf>
- ⁴⁹ Beispiel für Empfehlungen siehe auch: A citizens guide to radon, Environmental Protection Agency, USA, 2005
<http://www.epa.gov/radon/pubs/citguide.html>
- ⁵⁰ Graphik übernommen aus: A.Guhr: „Die Strahlenexposition der Bevölkerung beim Aufenthalt in Gebäuden - Messtechnische Erfassung der Radonkonzentration“, Vortrag 28.09.2005 bei der 1. Tagung Radonsicheres Bauen, dort ist als Quelle der Graphik BfS angegeben
<http://www.altrac.de/doc/2005-09-vortrag-1st-tagung-rsb.pdf>
- Graphik stammt aus: Radon-Handbuch Deutschland, Abb. 3.2 auf Seite 3-2
- ⁵¹ SSK-Empfehlung „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“, 1994, Abschnitt 4.1, Punkt 2 auf Seite 6
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1994/ssk9403.pdf>
- ⁵² Radon-Handbuch Deutschland, Kapitel 5 „Maßnahmenplanung und –ausführung“, Abschnitt 5.2 „Radonprävention bei Neubauten“ auf Seite 5-2
- ⁵³ Radon-Merkblätter, Kapitel 7.1.3. „Versiegeln von Undichtigkeiten Flächenhafte Schwachstellen“, Seite 12
- ⁵⁴ SSK-Empfehlung „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden, 1994
- „Radon. Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern“, BMU 2004
<http://www.bmu.bund.de/strahlenschutz/downloads/doc/6657.php>
- ⁵⁵ Radon-Merkblätter, Kapitel 7.3.1 „Mechanisches Entlüften: Mechanische Luftzuführung (Keller)“, Seite 16
- ⁵⁶ Radon-Handbuch Deutschland, Absatz „Beschichtungen, Anstriche u.ä.“ auf Seite 4-14
- ⁵⁷ Radon-Handbuch Deutschland, Absatz „Feuchteschutz-Dichtungsbahnen als Radonschutz“ auf Seite 4-12 und Absatz „Dampfsperren“ auf Seite 4-13
- ⁵⁸ Radon-Merkblätter, Kapitel 7.1.4 „Versiegeln von Undichtigkeiten: Nachbetonieren von Naturkellerböden“, Seite 13
- ⁵⁹ Radon-Handbuch Deutschland, Kapitel 4 „Radonschutzmaßnahmen“, Abschnitt 4.1 „Allgemeine Hinweise“ auf Seite 4-1

- ⁶⁰ Radon-Merkblätter, Kapitel 7.3.4 „Mechanisches Entlüften: Mechanische Lüftung radonbelasteter Wohnräume“, Seite 19
- ⁶¹ Radon-Merkblätter, Kapitel 7.3.3 „Mechanisches Entlüften: Mechanische Lüftung radonbelasteter Kellerräume“, Seite 18
- ⁶² Radon-Merkblätter, Kapitel 7.3.5 „Mechanisches Entlüften: Mechanische Bodenentlüftung unter dem Gebäude“, Seite 20
- ⁶³ Radon-Handbuch Deutschland, Kapitel 4.5.3 „Luftabsaugung unter dem Gebäude“, Absatz „Radonbrunnen außerhalb des Gebäudes“, Seite 4-26
- ⁶⁴ „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2005“, Bundestagsdrucksache 16/3084 vom 20.10.2006, Seite 11:
„Bei einer Bauausführung entsprechend der heutigen Anforderungen, vor allem einer DIN-gerechten Abdichtung der Gebäude gegen von außen angreifende Bodenfeuchte, sind in Gebieten, in denen die Radonkonzentration in der Bodenluft 20 kBq/m³ nicht übersteigt, Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ in der Luft von Aufenthaltsräumen sehr unwahrscheinlich.“
<http://dip.bundestag.de/btd/16/030/1603084.pdf>

hingegen: Im Radon-Handbuch, Stand 2001, Seite 2-1/2-2, werden als „Gebiete mit besonders geringer Radonbelastung“ Gebiete bezeichnet mit durchgehend niedrigen Radonkonzentrationen in der Bodenluft bis 10 kBq/m³.
aber: Die Radonkarte im Handbuch mit Stand 2000 teilt die Konzentration in 7 Intervalle ein, beginnen mit < 10 kBq/m³. Die neuere Karte von 2004 teilt die Konzentration nur noch in 4 Intervalle ein, beginnend mit < 20 kBq/m³.
- ⁶⁵ Radon-Handbuch Deutschland, Kapitel 5.2 Radonprävention bei Neubauten, Seite 5-3
- ⁶⁶ BfS Jahresbericht 2002, Kapitel „Vermeidung erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden“, Seiten 14/15:
„Mit den Untersuchungen zum Transfer konnte gezeigt werden, dass in Gebieten, in denen Radonkonzentrationen über 100 kBq/m³ in der Bodenluft vorkommen, gehäuft mit erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden zu rechnen ist.“
- ⁶⁷ Radon-Analytics (Kemski, Klingel): <http://www.radon-analytics.com/shtml/exposimeter.shtml>
Bayerisches LfU: <http://www.bayern.de/lfu/strahlen/radon/exposimeter.html>
- ⁶⁸ SSK-Empfehlung „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden, 1994, Abschnitt 4.1, Punkt 4.
<http://www.ssk.de/werke/volltext/1994/ssk9403.pdf>
- ⁶⁹ Radonmessung in der Bodenluft, <http://www.radon-info.de/shtml/bodenluft.shtml>