

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

H. Siekmann, Sankt Augustin;
aktualisiert von T. Ludwig, Köln

11.1 Natürliche Strahlenexposition

Der Mensch ist ständig einer geringen ionisierenden Strahlung durch natürliche Strahlenquellen ausgesetzt. Diese natürliche Umgebungsstrahlung hat im Wesentlichen folgende Ursachen:

- Inhalation radioaktiver Stoffe, vor allem von Radon und seinen Folgeprodukten
- Aufnahme radioaktiver Stoffe mit der Nahrung (Essen, Trinken)
- Strahlung aus der Umgebung, z. B. aus den Baustoffen von umgebenden Wänden und Decken sowie
- Strahlung aus dem Weltall

Im Mittel beträgt die Strahlenexposition der Bevölkerung in Deutschland durch natürliche Strahlenquellen circa 2,1 Millisievert (mSv) im Jahr. Davon entfällt etwa die Hälfte auf die Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten. Zur natürlichen Strahlenexposition kommt eine Dosis von durchschnittlich noch einmal ungefähr 2 mSv im Jahr hinzu, die durch die Anwendung künstlicher Strahlenquellen, hauptsächlich in der Medizin, hervorgerufen wird. Die mittlere Strahlendosis der Bevölkerung ändert sich über Jahre hinweg nur geringfügig. Die Strahlendosis von Einzelpersonen kann jedoch vom Mittelwert erheblich abweichen – einmal durch regio-

nale Unterschiede der natürlichen Umgebungsstrahlung, vor allem aber durch medizinische Therapie und Diagnostik. Das Bundesumweltministerium veröffentlicht jährlich einen Bericht über die aktuelle Strahlenexposition der Bevölkerung [1].

11.2 Radon

Der größte Teil der Dosis durch natürliche Strahlenquellen wird durch das radioaktive Edelgas Radon und seine Folgeprodukte hervorgerufen. Radon ist weder geruchlich wahrnehmbar noch sonst mit menschlichen Sinnesorganen erfassbar. Es ist in unserer Umgebung, also auch in Büros oder büroähnlichen Räumen, ständig in mehr oder weniger großer Konzentration vorhanden. Radon ist Teil der natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium. Die Konzentrationen von Uran und Thorium (und damit auch von Radon) im Untergrund hängen dabei von der geologischen Struktur des Bodens ab. Eine hohe Aktivitätskonzentration in der Bodenluft liegt z. B. in bestimmten Gegenden des Erzgebirges, des Bayerischen Waldes und des Schwarzwaldes vor.

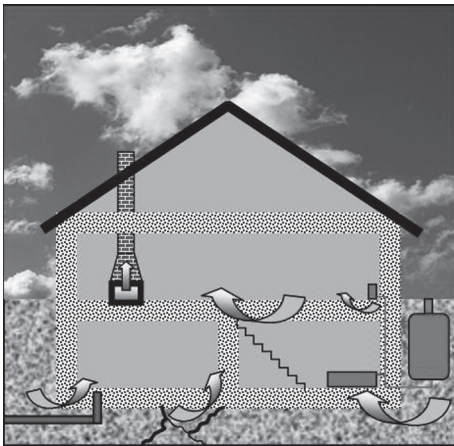
Radon ist bei normalen Umgebungsbedingungen (Temperatur und Druck) gasförmig. Außerdem kann es auch gelöst im Wasser über große Strecken transportiert werden. Durch Konvektion und Diffusion kann es aus dem Erdboden in die Atmosphäre gelangen. Daraus resultiert ein geringer Anteil von

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

Radon in der Luft. Eine Übersichtskarte über die Radonkonzentrationen in der Bodenluft hat das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht [2]. Typische Werte liegen in der Größenordnung einiger Kilobecquerel pro Kubikmeter (kBq/m^3).

Radongas kann nicht nur in die Außenluft, sondern auch in Keller von Gebäuden gelangen (siehe Abbildung 24). Durch geringe Druckunterschiede, die besonders in der Heizperiode auftreten, kann Radon aus den Kellern in die darüber liegenden Stockwerke aufsteigen.

Abbildung 24:
Eindringen von Radon aus dem Untergrund in den Keller und in höhere Stockwerke;
Quelle: Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse,
Fachgruppe Strahlenschutz



In den Räumen eines Gebäudes hängt die Höhe der Radonkonzentration u. a. von folgenden Faktoren ab:

- Geologie des Untergrundes

Mit zunehmendem Uran- und Thoriumgehalt im Boden steigt auch die Radonkonzentration. Die Beweglichkeit des Radons im Boden ist abhängig von der Durchklüftung.

- Stockwerk, in dem sich der jeweilige Raum befindet

Ausgehend vom Kellergeschoss nimmt die Radonkonzentration nach oben hin ab.

- Bauweise

Durch Undichtigkeiten in der Bodenplatte, in den Kellerwänden (z. B. durch Durchbrüche für Leitungen) und durch Fugen dringt Radongas in das Gebäude ein.

- Lüftung

Bei einer künstlichen Belüftung ist mit einer geringeren Radonkonzentration zu rechnen als bei einer natürlichen Belüftung.

Die Radonkonzentration in einem Raum zeigt zusätzlich einen jahreszeitlichen und einen tageszeitlichen Gang. Sie hängt auch von Wetterparametern wie Temperatur, Luftfeuchte, Windgeschwindigkeit und Windrichtung ab.

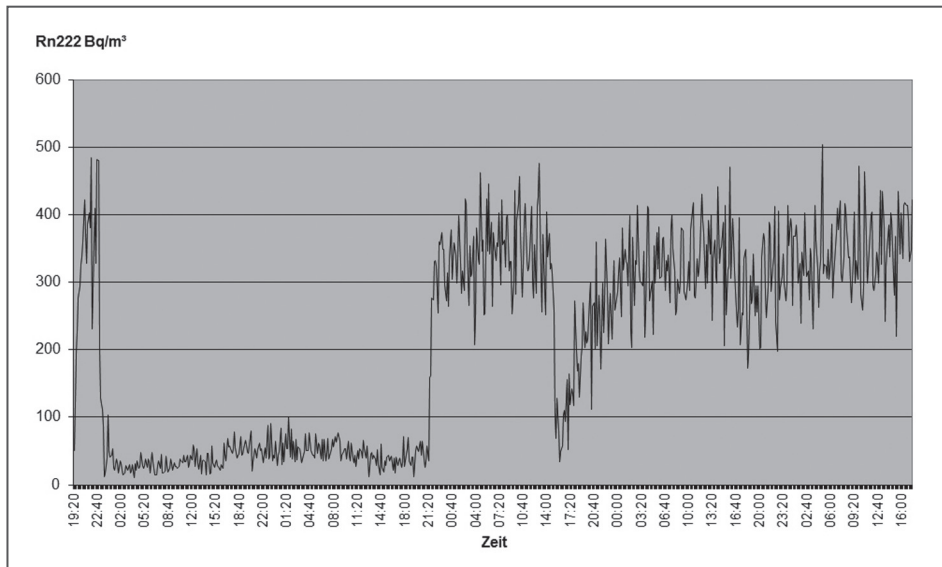
Typische Werte in Gebäuden liegen zwischen wenigen Bq/m³ und einigen hundert Bq/m³. Ein Beispiel für den Verlauf der Radonkonzentration in einem Büroraum über mehrere Stunden ist in Abbildung 25 dargestellt. Man kann deutlich den Einfluss des Lüftungsverhaltens ablesen. Die Radonkonzentration sinkt von zunächst rund 450 Bq/m³ nach Öffnen der Fenster auf durchschnittlich rund 50 Bq/m³. Nach Schließen der Fenster steigt sie relativ rasch wieder auf den ursprünglichen Wert.

11.3 Biologische Wirkung

Atmet man Radon ein, so wird es als Edelgas nicht im Körper aufgenommen, sondern wieder ausgeatmet. Die eigentliche Strahlen-

exposition stammt daher nur zu einem geringen Teil vom Radon selbst, sondern vielmehr von seinen nicht gasförmigen Zerfallsprodukten wie z. B. Polonium 218, Blei 214, Wismut 214 und Polonium 214. Diese Zerfallsprodukte lagern sich in der Luft an feinste Aerosole an und können mit diesen eingeatmet und im Körper absorbiert werden. Die Aussendung ionisierender Strahlung aus den Radonfolgeprodukten führt dann zu einer Strahlenexposition des Körpers, und zwar hauptsächlich in der Lunge. Die Höhe dieser Lungendosis ist auch von dem Verhältnis der Radonaktivität zur Folgenuklid-Aktivität abhängig. Man spricht in diesem Zusammenhang vom sogenannten Gleichgewichtsfaktor. Normalerweise liegt dieser bei einem Wert von etwa 0,4, d. h.,

Abbildung 25: Verlauf der Radonkonzentration in einem Büroraum über mehrere Stunden, Messung der Fachgruppe Strahlenschutz der Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse



11 Ionisierende Strahlung (Radon)

die Aktivitätskonzentration der Folgenuklide beträgt etwa 40 % der Aktivitätskonzentration des Radons.

Diese Strahlenexposition verursacht keine unmittelbare Schädigung. Akute Symptome treten durch das Einatmen von Radon und Radonfolgeprodukte nicht auf. Es kann jedoch zu Strahlenspätchäden, vor allem zu Lungenkrebs, kommen. Die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten solcher Schädigungen hängt u. a. von der Höhe der aufgenommenen Radonfolgeprodukt-Aktivität und damit auch von der Radonkonzentration in der Umgebungsluft ab. Die Strahlenschutzkommission schätzt das Risiko durch Radon wie folgt ein: Steigt die Radonkonzentration um 100 Bq/m^3 , so wird mit rund 10 % mehr Lungenkrebsfällen als ohne Radon gerechnet [3].

11.4 Radon an Arbeitsplätzen

An einer Reihe von Arbeitsplätzen ist aufgrund der besonderen Bedingungen in den Betrieben mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Luft zu rechnen. Dazu gehören Arbeitsplätze in Untertagebergwerken, in Radonheilbädern und in Anlagen zur Wassergewinnung. Für diese Arbeitsplätze besteht nach der Strahlenschutzverordnung [4] eine Verpflichtung, die Strahlenexposition durch Radon und seine Folgeprodukte zu ermitteln, festgelegte Grenzwerte einzuhalten und gegebenenfalls Maßnahmen zur Verringerung der Radon- und Radonfolgeproduktkonzentration zu ergreifen.

Für Arbeitsplätze in Büros und büroähnlichen Räumen besteht keine gesetzliche Verpflichtung zur Ermittlung der Strahlenbelastung durch Radon und zur Einhaltung von Grenz-

werten. Im Allgemeinen ist in Büros auch nur mit einer geringen Strahlenexposition zu rechnen, die der mittleren natürlichen Umgebungsstrahlung entspricht. Es gibt jedoch auch Fälle, in denen in Büros die Radonkonzentration erhöht ist und über dem Mittelwert liegt.

11.5 Ermittlung

Sofern es Hinweise darauf gibt, dass in einem Büro oder einem büroähnlichen Raum eine erhöhte Radonkonzentration vorliegen könnte, sollte diese genauer ermittelt werden. Die Ermittlung umfasst eine Vorermittlung und eine Messung.

In der Vorermittlung ist zunächst zu klären, ob tatsächlich mit einer erhöhten Radonkonzentration gerechnet werden muss. Hierbei sind die folgenden Punkte zu bewerten:

- Aktivitätskonzentration in der Bodenluft

Sofern die Bodenluft des Untergrundes, auf dem das Gebäude steht, eine hohe Radonkonzentration enthält, ist eine Voraussetzung für eine hohe Radonkonzentration im Gebäude gegeben. Das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlicht eine Karte, der die Radonkonzentration in der Bodenluft in Deutschland zu entnehmen ist [2]. Mithilfe dieser Karte kann man ermitteln, ob ein zu beurteilendes Gebäude in einem Gebiet mit erhöhter Radonaktivität liegt.

- Lage des Raums im Gebäude

Je tiefer ein Raum in einem Gebäude liegt, mit um so höherer Radonkonzentration ist zu rechnen. Dies gilt z. B. für Räume im

Keller oder in Tiefgeschossen, aber auch für Räume im Erdgeschoss eines Gebäudes, das keinen Keller hat. Je höher ein Raum in einem Gebäude liegt, desto geringer ist die Radonkonzentration. In den höheren Stockwerken eines Hochhauses ist mit eher geringen Radonkonzentrationen zu rechnen.

- Raumlüftung

Die Radonkonzentration kann höher sein, wenn der Raum nur über eine natürliche Belüftung verfügt. Auch das Fehlen von Fenstern, die geöffnet werden können, behindert den Luftaustausch und erhöht die Radonkonzentration. Bei einer künstlichen Lüftung ist die Radonkonzentration im Raum eher als niedrig anzunehmen.

Ist nach der Vorermittlung damit zu rechnen, dass eine erhöhte Radonkonzentration vorliegt, oder ist dies zumindest nicht auszuschließen, dann sollte die Radonkonzentration durch eine Messung genau bestimmt und das Ergebnis durch Vergleich mit den Richtwerten bewertet werden. Hinweise zur Durchführung von Radonmessungen gibt eine von der Strahlenschutzkommission veröffentlichte Broschüre [5].

11.6 Bewertung

Die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat Empfehlungen für die maximal einzuhaltende Radonkonzentration veröffentlicht. Auf dieser Grundlage gab die Strahlenschutzkommission in Deutschland wiederholt eigene Empfehlungen zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon heraus. Die Empfehlung von 1994 enthält „Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung

der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden“ [6]. Die darin genannten Richtwerte der Radonkonzentrationen in Wohnungen sind als Mittelwerte über den Zeitraum eines Jahres zu verstehen:

- Eine Radonkonzentration von 250 Bq/m^3 gilt als oberes Ende des Normalbereichs der Radonkonzentration in Wohngebäuden der Bundesrepublik Deutschland. Bei Werten im Normalbereich werden Maßnahmen nicht als notwendig erachtet.
- Der Bereich zwischen 250 und 1000 Bq/m^3 gilt als Ermessensbereich für einfache Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition gegenüber Radon. Zusätzlich werden Hinweise darauf gegeben, welche Maßnahmen durch wen (Bewohner, Fachfirmen) durchgeführt werden können.
- Der Bereich über 1000 Bq/m^3 gilt als Sanierungsbereich. Hier sollte die Radonkonzentration in jedem Fall reduziert werden, auch wenn dazu aufwendigere Maßnahmen erforderlich sind.

Für Arbeitsplätze mit erhöhten natürlichen Strahlenexpositionen enthält die Strahlenschutzverordnung Vorgaben und rechtliche Anforderungen [4]. Wie bereits ausgeführt, fallen normale Büroarbeitsplätze nicht darunter. Dennoch kann man entsprechende Analogieschlüsse ziehen.

Eine Radonkonzentration von 1000 Bq/m^3 entspricht bei einer Arbeitszeit von 2000 Stunden im Jahr und einem Gleichgewichtsfaktor von 0,4 einer daraus resultierenden Dosis von ungefähr 6 mSv pro Jahr. Oberhalb

11 Ionisierende Strahlung (Radon)

dieses Dosiswerts ist für die in Anlage XI der Strahlenschutzverordnung genannten Arbeitsplätze eine Anzeige an die Behörde zu erstatten. Für den Personenkreis, der in den genannten Arbeitsfeldern tätig ist, gilt ein Grenzwert von 20 mSv pro Jahr. Liegt die jährliche Radonexposition unterhalb von $6\,000\,000\text{ Bq}\cdot\text{h}/\text{m}^3$, so ist von einer Einhaltung dieses Grenzwertes auszugehen [4]. Dies entspricht bei 2 000 Stunden Aufenthaltszeit am Arbeitsplatz einer durchschnittlichen Radonkonzentration von $3\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$. Man muss jedoch auch berücksichtigen, dass in Gegenden mit erhöhter Radonkonzentration neben der beruflich bedingten Strahlenexposition durch Radon auch die im privaten Bereich anfallende Radonexposition zur Dosis beiträgt.

Um dem Minimierungsgebot der Strahlenschutzverordnung Rechnung zu tragen, wird empfohlen, für Arbeitsplätze die gleichen Maßstäbe wie für Wohnungen anzulegen und keine erhöhten Radonkonzentrationen zuzulassen. In Gegenden mit hoher Radonaktivität sollten deshalb auch für Arbeitsplätze Radonkonzentrationen zwischen 250 und $1\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$ als Ermessensbereich und Radonkonzentrationen über $1\,000\text{ Bq}/\text{m}^3$ als Sanierungsbereich angesehen und bei Bedarf Sanierungsmaßnahmen ergriffen werden.

11.7 Maßnahmen

Maßnahmen zur Verringerung der Strahlenexposition durch Radon können z. B. sein:

- Änderung der Nutzung eines überdurchschnittlich radonbelasteten Raumes

Zum Beispiel könnten Räume in Tiefgeschossen als Büroräume aufgegeben und – soweit dies möglich ist – zu Lageräumen umfunktioniert werden.

- Gasdichte Abdichtung von Bodenplatten, Kellerwänden, Durchbrüchen und Fugen
- Verbesserung der Lüftung durch Erhöhung des Luftwechsels

Dazu gehören häufigeres und intensiveres Lüften bei natürlicher Lüftung und die Installation einer künstlichen Lüftung.

- Absaugung von Radongas im Kellergeschoss oder unter dem Gebäude (Drainage-Lüftung)

Einige einfache Maßnahmen wie z. B. häufigeres Lüften können Raumnutzer selbst durchführen und sind schon sehr wirkungsvoll. Für aufwendigere Maßnahmen müssen Fachfirmen hinzugezogen werden. Welche Maßnahme im Einzelfall geeignet ist, hängt u. a. von der Höhe der Radonkonzentration und von den baulichen Gegebenheiten ab. Detaillierte Hinweise zu Radonschutzmaßnahmen finden sich im Internetangebot des Bundesamts für Strahlenschutz [7]. In Gebieten mit hoher Radonbodenkonzentration sind bereits beim Bau geeignete Maßnahmen einzuplanen.

11.8 Literatur

- [1] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung – Jahresbericht 2009. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Bonn 2010
- [2] Die Radonkarte Deutschlands. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Salzgitter
www.bfs.de/de/ion/radon/radonboden/radonkarte.html
- [3] Einfluss der natürlichen Strahlenexposition auf die Krebsentstehung in Deutschland – Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 2008
- [4] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001. BGBl. I (2001), S. 1714-1836; zul. geändert. BGBl. I (2012), S. 212
- [5] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 2002
- [6] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden – Stellungnahme der Strahlenschutzkommission. Hrsg.: Strahlenschutzkommission, Bonn 1994
- [7] <http://www.bfs.de/de/ion/radon>

Weiterführende Literatur

- Radon. Information zu einem strahlenden Thema. Hrsg.: Bundesamt für Gesundheit der Schweiz. EDMZ, Bern 1999
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
www.bmu.de
- Kemski, J.; Klingel, R.:* Informationsseite zum Thema Radon und Radioaktivität
www.radon-info.de
- Strahlenschutzkommission
www.ssk.de