

Fachbereiche Innenraumhygiene und Bau

Radon in Gebäuden

02-2017

Der Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e.V. (BVS) ist die zentrale Organisation der öffentlich bestellten und vereidigten sowie gleichwertig qualifizierten Sachverständigen in Deutschland.

Fachbereiche Innenraumhygiene/Bau

Die Fachbereiche Innenraumhygiene und Bau im BVS diskutieren in Arbeitskreisen Fachthemen, die durch Normen, Merkblätter, Richtlinien, usw. nicht ausreichend geregelt sind oder deren besondere Bedeutung hervorgehoben werden soll.

Das Diskussionsergebnis wird in **Standpunkten** mit konkreten Empfehlungen veröffentlicht.

Der Inhalt dieser Veröffentlichung soll als Richtschnur bei Bewertungen und Beurteilungen herangezogen werden. Kritiken und Anregungen sind ausdrücklich erwünscht.

Mit Wissensfortschreibung werden Standpunkte und Richtlinien in unregelmäßiger Zeitenfolge aktualisiert.

Viele Bereiche technischer und baupraktischer Belange sind nicht oder nur eingeschränkt geregelt; Anforderungen nicht ausreichend definiert.

Bei Sonderkonstruktionen und beim Bauen im Bestand sind technische Regelwerke darüber hinaus häufig nicht anwendbar und es müssen Sonderlösungen gefunden werden.

Je nach Interessenlage der Planer, Ausführenden und Nutzer werden so die Lücken gegebenenfalls auch Widersprüche im Regelwerk unterschiedlich interpretiert und/oder ergänzt.

Vor diesem Hintergrund werden im BVS **Standpunkte** von öffentlich bestellten und vereidigten Sachverständigen, die unmittelbar mit vorstehend dargestellten Konflikten konfrontiert sind, erarbeitet.

Dieses dient dem Ziel, eine Empfehlung und Hilfe für Planer, Ausführende und Nutzer auszusprechen,

wie in den Fällen, in denen keine hinreichenden Regelwerke vorhanden sind, verantwortungsbewusst gehandelt werden kann. Außerdem sollen besonders bedeutsame technische Regeln besonders hervorgehoben werden.

Die unabhängig von einer Interessenlage erarbeiteten Standpunkte des BVS stellen nach Auffassung der im BVS organisierten Sachverständigen die allgemein anerkannten Regeln der Technik dar.

Zur fachlichen Absicherung wurde der Standpunkt in einem Einspruchsverfahren zur Kommentierung gestellt. Die eingegangenen Einsprüche und Anregungen wurden im Arbeitskreis behandelt und berücksichtigt.

Inhaltsverzeichnis

- 1 **Einleitung**
 - 2 **Begriffsdefinition**
 - 3 **Grundlagen**
 - 4 **Anforderungen aus Normen und Richtlinien**
 - 5 **Messverfahren für Radonmessungen**
 - 6 **Risikofaktoren für erhöhte Radonkonzentrationen in Innenräumen**
 - 7 **Empfehlung des BVS**
 - 8 **Literatur / Quellen**
- Mitwirkende des Arbeitskreises**

Impressum

Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e. V.
Charlottenstraße 79/80
10117 Berlin
Download: www.bvs-ev.de
Stand: 02.2017

1 Einleitung

Im Zuge der Neuerstellung der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates [1] werden neue Anforderungen an den Radonschutz in Gebäuden formuliert. Radon in Gebäuden stellt nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs dar. Das Risiko ist in Deutschland sehr ungleichmäßig verteilt. In der vom Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichten Radonkarte Deutschland [2] (Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft) werden Gebiete mit hoher natürlicher Bodenluftbelastung (Radongebiete) wie das Erzgebirge, der Bayerische Wald und der Voralpenraum ausgewiesen. Radonmessungen in Gebäuden zeigen, dass auch abseits dieser Gebiete toxikologisch relevante Radonkonzentrationen in Gebäuden auftreten können. Dabei ist die objektspezifische Höhe der Radonkonzentration in erster Linie abhängig von den Gebäudeeigenschaften (z.B. Abdichtungsstandard, konstruktive Eigenschaften, Gebäudealter und technische Ausstattung) [3;4].

2 Begriffsdefinitionen

Radon: radioaktives Edelgas aus der Uranzerfallsreihe

Risiko: Umstand, der etwas Gefährliches oder Schädliches zur Folge haben kann

Becquerel/m³ (Bq/m³): Aktivitätskonzentration, Anzahl der Zerfallsakte je Sekunde pro Kubikmeter

Halbwertszeit: Zeit, in der die Hälfte der radioaktiven Kerne eines Stoffes zerfällt

Alphastrahler: Substanz, die Alphateilchen (Heliumkerne aus 2 Protonen und 2 Neutronen) abgibt

Betastrahler: Substanz, die Betateilchen (geladene Elektronen) abgibt

Inhalationsbedingte Strahlenexposition: Exposition durch Einatmen radioaktiver Gase

Krebserzeugender Schadstoff: in der Umwelt vorkommender Stoff, von welchem eine krebserzeugende Wirkung auf Lebewesen ausgehen kann und denen der Mensch unfreiwillig ausgesetzt ist

Musterbauordnung §3: Abs. 1 „Anlagen sind so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben, Gesundheit und die natürlichen Lebensgrundlagen, nicht gefährdet werden“

HOAI: Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

Radondrainage: flächige Absaugung unter der Bodenplatte zur Erzielung eines Unterdrucks gegenüber dem Gebäude (typ. Neubaulösung)

Radonbrunnen: punktförmige Absaugung unter der Bodenplatte (typ. Bestandsbausanierung)

Schwach gebundene Asbestfasern: kommen in Produkten mit einem sehr hohen Asbestanteil vor, wobei Asbestfasern sehr leicht an die Luft abgegeben werden

Konvektion: Stofftransport infolge eines (Luft-) Druckgefälles, schneller und gerichteter Vorgang

Diffusion: Stofftransport infolge eines Konzentrationsgefälles, langsamer und ungerichteter Vorgang

Zielwert/Eingriffswert: Wert, welcher langfristig erreicht werden muss, um schädliche Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit zu vermeiden

3 Grundlagen

Gesundheitliche Relevanz

Radon (Rn-222) ist ein natürliches radioaktives Edelgas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen. Es tritt aus der Bodenluft durch Spalten und Poren aus und kann sich gegenüber der Außenluft im Gebäude anreichern. Radon entsteht durch den Zerfall von Radium (Ra-226) aus der Uran-Radium-Reihe (U-238). In der weiteren Zerfallskette entstehen als Folgenuklide u.a. die kurzlebigen Alphastrahler Polonium (Po-218), Polonium (Po-214) und die Betastrahler Blei (Pb-214) und Bismut (Bi-214), die sich größtenteils an sehr feine Staubteilchen (Fraktion um 0,1 µm) binden und den größten Teil der inhalationsbedingten Strahlenexposition in der Lunge verursachen [5].

Die Belastung der Innenraumlufte mit Radon weist regional und objektspezifisch eine erhebliche Schwankungsbreite auf. In Deutschland beträgt nach den bisherigen Erhebungen die durchschnittliche Radonaktivitätskonzentration in Wohnungen 49 Becquerel/m³ [6] wobei Messwerte über 1.000 Bq/m³ selten auftreten.

Radon wird von der WHO (Weltgesundheitsorganisation) und der IARC (Internationalen Krebsforschungsbehörde) als für den Menschen krebserzeugender Schadstoff eingestuft. Ab 100 Bq/m³ ist ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko epidemiologisch nachweisbar [1] (EU-Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates, Abs. 22).

Krebsrisikoabschätzungen ergeben für Radon bei Gehalten üblicher Innenraumlufte vergleichsweise hohe Krebsrisiken [7];

- der Median von 40 Bq/m³ in Wohnungen in Deutschland ist nach lebenslanger Exposition von Nichtrauchern mit einem Krebsrisiko von 1:5000 (das heißt vom 5000 Menschen erkrankt

statistisch 1 Person an Radon bedingtem Lungenkrebs im Laufe des Lebens) verknüpft

- 100 Bq/m³ (entspricht etwa dem 95. Perzentil) mit 1:1.700 und 300 Bq /m³ (entspricht etwa dem 99. Perzentil) mit 3*10 (1:300)
- In Einzelfällen wird ein sehr hohes Krebsrisiko von 1:100 überschritten (bei etwa 1.700 Bq Radon/m³) [8]

Zum Vergleich: Die TRGS 910 beschreibt für Asbest eine Akzeptanzkonzentration von 10.000 Fasern/m³, die einem zusätzlichen Krebsrisiko von 4:10.000 am Arbeitsplatz entspricht. Bei Umrechnung auf die Dauerbelastung der Allgemeinbevölkerung (Faktor 5,3) lässt sich daraus ein Risiko von 2:1.000 ableiten. Das Risiko der Erkrankungswahrscheinlichkeit für Lungenkrebs liegt bei 100 Bq Radon/m³ in gleicher Höhe wie bei einem Asbestfasergehalt von 10.000 Fasern/m³.

Das Risiko einer tödlichen Lungenkrebserkrankung durch erhöhte Radongehalte in der Innenraumlufte (1.900 Fälle in D pro Jahr), davon treten mehr als 90% unterhalb von 200 Bq/m³ [9] auf, ist größer als das Todesfallrisiko durch Gebäudebrände (400 Fälle pro Jahr, [10]) und in ähnlicher Größenordnung wie die Verkehrstoten in Deutschland (3459 Fälle in D 2015) .

Betrachtet man die Krankheitskosten durch erhöhte Radonexpositionen gesamtwirtschaftlich, kommt ein Forschungsvorhaben des BfS „Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen“ (Forschungsvorhaben 3609S10007) zu dem Schluss, dass die höchste Kosteneffektivität bei obligatorischer Sanierung bestehender Wohngebäude ab einem verpflichtenden Grenzwert von 100 Bq/m³ Innenraumlufte erreicht wird.

4 Anforderung aus Normen und Richtlinien

EU-Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates

Bis zum 06.02.2018 ist die EU-Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates [1] in nationales Recht umzusetzen, die einheitliche Grenzwerte für die Radonbelastung in Gebäuden festsetzt. Minimal gefordert ist ein Referenzwert (Jahresmittelwert) von 300 Bq/m³ wobei national niedrigere Referenzwerte festgesetzt werden können. Insbesondere vor dem Hintergrund, dass eine statistisch signifikante Zunahme der Lungenkrebshäufigkeit ab 100 Bq/m³ nachgewiesen ist, muss im Zuge des Minimierungsgebotes der technisch zu erreichende niedrige Wert von 100 Bq/m³ als Zielwert (Jahresmittelwert) angesetzt werden. Da diese Richtlinie mit Inkrafttreten

ab 2014 geltendes EU-Recht ist, muss der dort fixierte Referenzwert vom 300 Bq/m³ bereits beachtet werden und kann als Stand der Technik für den § 3 der MBO angesetzt werden, der eine Gesundheitsgefährdung durch Radon in errichteten Gebäuden für die Nutzer aber noch nicht ausschließt. Für Gebäudeplaner kann deshalb auch bei Beachtung des Referenzwertes von 300 Bq/m³ noch ein Haftungsrisiko bestehen.

Messungen der Radonkonzentrationen werden bisher in Gebieten mit erhöhtem Radonrisiko, sowie in Häusern empfohlen, deren Wohnräume Erdkontakt haben, in Zukunft aber wird die Einhaltung des Referenzwertes in allen zu Wohn- und Arbeitszwecken genutzten Gebäuden notwendig werden. Der Radon-Jahresmittelwert eines Gebäudes ist insb. von der Bauweise und vom Nutzerverhalten abhängig. Hier sind die Fundamentausführung, Unterkellerung, Gebäudedichtheit und Lüftungsgewohnheiten wichtig. Aus diesem Grund weisen auch benachbarte Wohnhäuser oft erheblich unterschiedliche Radonkonzentration auf.

5 Messverfahren für Radonmessungen

Messungen der Radioaktivität

Zur Messung der Radioaktivität wird aus physikalischer Sicht gezählt, wie viele Zerfälle pro Zeiteinheit bei einer radioaktiven Substanz erfolgen. Die Einheit ist Becquerel. 1 Becquerel (Bq) bedeutet ein Zerfall pro Sekunde. 400 Bq/ m³ bedeuten z.B., dass in einem Volumen von 1 m³ Luft pro Sekunde 400 Radonatomkerne unter Entstehung ionisierender Strahlung zerfallen. Unterschiedliche Messgeräte können sowohl den Radonverlauf als auch die Mittelwerte in Becquerel messen. Hierzu sind in den Normenreihen DIN EN 61577 [11] und DIN EN 11665 [12] die einzusetzenden Messgeräte bzw. anzuwendenden Messverfahren beschrieben.

Tageszeitlich und jahreszeitlich bestehen erhebliche Schwankungen, insb. in Abhängigkeit von der Witterung und dem Nutzerverhalten.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit empfiehlt eine mindestens dreimonatige Messung mit Dosimeter-Geräten während der Heizperiode oder besser eine Ganzjahresmessung [13]. Hierbei soll vorzugsweise ein Wohn- und ein Schlafräum im untersten Wohngeschoss und eventuell ein Kellerraum gemessen werden. Radon-Exposimeter können von anerkannten Messstellen bezogen werden.

Die anzuwendende Messstrategie orientiert sich an

den Anforderungen und sollte sachverständigseitig festgelegt werden.

- Messungen von Radon in der Bodenluft sind in Radonrisikogebieten bei Neubauten für die Festlegung der zu treffenden Radon Schutzmaßnahmen sinnvoll, als Alternative können in Radonrisikogebieten ergänzende bauliche Maßnahmen vorgesehen werden.
- Bewertungsmessungen zur Ermittlung eines repräsentativen Langzeitmittelwertes in Bestandsbauten erfolgen zur Festlegung der Sanierungsdringlichkeit in Aufenthaltsräumen, näherungsweise vorrangig in den unteren Etagen für mindestens 3 Monate, bei normaler Raumnutzung, wobei die Hälfte der Messperiode im Winter oder während der Heizperiode liegen muss. Zur Überprüfung des Jahresmittelwertes ist eine mindestens 12-monatige Messung notwendig.
- Orientierungsmessungen zur Abschätzung eines Radonrisikos stellen hohe Anforderungen an die Erstellung der Messstrategie und die Interpretation der Ergebnisse durch einen Sachverständigen und können im Zeitraum von 7-14 Tagen durchgeführt werden. Eine unmittelbare Ableitung eines Jahresmittelwertes ist nicht möglich.
- Kontrollmessungen nach Sanierung zur Erfolgskontrolle werden als Messung über mindestens 3 Monate bei normaler Raumnutzung, wie oben beschrieben, oder als Jahresmessung durchgeführt.
- Punkt- bzw. Kurzzeitmessungen im Stundenbereich mit direktanzeigenden Messgeräten sind zur Auffindung von Leckagen geeignet.

6 Risikofaktoren für erhöhte Radonkonzentrationen in Innenräumen

Maßgeblich für das Radonrisiko in Innenräumen sind im Wesentlichen folgende Faktoren:

- Radonkonzentration in der Bodenluft des Baugrundes
- Bauweise und baulicher Zustand des Gebäudes
- Ventilation und Druckdifferenzen im Gebäude
- Radonfreisetzung aus Baumaterialien

Die Radonkonzentration in der Bodenluft weist entsprechend den geologischen Verhältnissen des Untergrundes deutliche regionale Unterschiede auf. Für das Bundesgebiet wurde auf Basis von Messungen eine Karte veröffentlicht, die Radonkonzentrationen von < 20 bis > 100 kBq/m³ in der Bodenluft ausweist [2; 14]). Die geringe räumliche Auflösung erlaubt aber keine konkreten Aussagen zu einzelnen

Baugebieten oder Grundstücken. Die kleinräumigen geologischen Gegebenheiten, Risse und Verwerfungen im Untergrund, Aufschüttungen oder Abgrabungen können zu erheblichen Unterschieden bereits auf Grundstücksebene führen.

Die Bauweise und der Zustand des Gebäudes sind entscheidend für den Eintritt von radonbelasteter Bodenluft ins Haus. Bedeutende konvektive Eintrittspfade können Rohr- und Leitungsdurchführungen, Spalten und Risse oder andere bauliche Mängel sein [3]. Unzureichende Abdichtungen der Bodenplatte und erdberührten Wände können darüber hinaus zu einer flächigen Diffusion von Radon ins Gebäude führen. In der Folge treten die höchsten Radonkonzentrationen innerhalb eines Gebäudes in den Kellerräumen auf und nehmen in der Regel in den höheren Etagen ab.

Die Rate, mit der radonhaltige Bodenluft in das Gebäude eindringt, sich im Inneren verteilt und ggf. anreichert, hängt außerdem von Art und Maß der Lüftung ab. Eine hohe Luftwechselrate durch natürliche oder mechanische Lüftung kann die Anreicherung von Radon im Gebäude reduzieren. Allerdings können insbesondere mechanische Entlüftungssysteme einen Unterdruck im Gebäude erzeugen, der durch Konvektion das Nachströmen radonhaltiger Bodenluft in Kellerräume und evtl. auch oberirdische Räume fördert. In wie weit auch höhere Etagen eines Gebäudes betroffen sind, ist von den Druckverhältnissen innerhalb des Gebäudes sowie den Möglichkeiten des Luftaustausches abhängig. Ein Luftverbund zwischen Etagen kann durch Treppenhäuser, Kamine und Schächte, aber auch z.B. durch gekappte Rohrleitungen, nachträglich hergestellte Leitungsdurchführungen, undichte Wand- und Deckenanschlüsse oder durchlässige Geschossdecken in Bestandsgebäuden erfolgen.

Auch Baumaterialien mit mineralischen Anteilen können durch direkte Freisetzung (Exhalation) von Radon die Konzentrationen im Innenraum erhöhen. Dazu zählen u.a. keramische Rohstoffe (Ton), Fliesen, Platten und Ziegel, Kalksandstein, Gipsprodukte, Zement und Mörtel sowie Beton. Messungen durch das Bundesamt für Strahlenschutz haben allerdings gezeigt, dass der Beitrag dieser Materialien zur Radonkonzentration im Innenraum nur gering ist (meist kleiner als $1 - 4$ Bq/m³, fast ausnahmslos unter 20 Bq/m³). Damit tritt der Einfluss der Baumaterialien im Vergleich zu Radon aus der Bodenluft in den Hintergrund [15].

Um das Risiko durch Radon in Innenräumen zu senken, muss das Augenmerk also vor allem auf dem Eintrag von Radon aus der Bodenluft und dessen Anreicherung und Verteilung im Gebäude liegen.

7 Empfehlungen des BVS

7.1 Neubauten

- 1 Trotz zunehmender Diskussion über die Auswirkungen von Radon in Wohngebäuden gibt es derzeit noch keine Richtlinien und Normen für planerisch umzusetzende Radonschutzmaßnahmen.

Wichtige Hinweise sind im Radon-Handbuch Deutschland [14]) und in der Broschüre „Radonschutzmaßnahmen - Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten“ [3]) enthalten.

Zu Österreich bieten die ÖNORM S 5280 mit den Teilen 2 und 3 bereits Hinweise zur Vorsorge und Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden [16].

- 2 Ziel der Planungsleistungen bei der Gebäudeerrichtung muss es sein, eine Konzentration von 100 Bq/m^3 in der Innenraumluft zu unterschreiten.

So müssen bei Bauvorhaben auf Flächen mit hoher Radonkonzentration in der Bodenluft ggf. umfangreichere Maßnahmen zur Minimierung der Radonkonzentration geplant werden, als in Flächen mit niedrigerer Radonkonzentration.

- 3 Bei einer Planung nach HOAI ist in der Leistungsphase 1 (Grundlagenermittlung) in Gebieten mit erhöhter Radonbelastung in der Bodenluft die Radonkonzentration zu ermitteln.

In den Leistungsphasen 2-5 (Planungsleistungen) sind die darauf abgestimmten Maßnahmen zur Minimierung der Radonkonzentration in der Innenraumluft planerisch zu treffen. Werden keine Messungen vorgenommen, sind vorsorglich erhöhte bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Radoneintritt zu treffen.

In der Leistungsphase 8 (Bauüberwachung) ist die luftdichte Ausführung der Bauteile mit Erdkontakt zu überwachen.

- 4 Konkret gilt es bei der Planung, den konvektiven Eintritt von Bodenluft in die Baukonstruktion durch Spalten, Risse, Öffnungen und Leitungsdurchführungen zu vermeiden.

Dies gelingt durch eine bei der Bauausführung möglichst fehlerfreie Umsetzung der Planung zur Abdichtung der Bauteile mit Erdkontakt gegen eintretende Bodenluft. Betonkeller z.B. in der Ausführung als wasserundurchlässige Betonkonstruktion u.a. mit rissminimierender Stahlbewehrung und Fugenblechen erfüllen diese Voraussetzungen ebenso wie auch eine lückenlose außenliegende Kellerabdichtung (sog. Schwarzabdichtung).

- 5 Zusätzlich notwendige Maßnahmen können die

Umsetzung einer Radon-Flächendrainage unter der Bodenplatte, eines Radonbrunnens oder andere Maßnahmen für eine (spätere) Bodenluftabsaugung sein, um die Radonkonzentration in der Innenraumluft unter 100 Bq/m^3 zu halten. Damit kann z.B. durch Aufbau eines Unterdrucks gegenüber der Innenraumluft der Eintritt von Radon in das Gebäude minimiert werden.

- 6 Die Einhaltung dieses Grenzwertes von 100 Bq/m^3 ist durch eine Messung nach Stand der Technik bei der Abnahme nachzuweisen.

Vor Ablauf der Gewährleistung sollte diese Messungen wiederholt werden, um spätere Gebäudesetzungen und andere Einflüsse auf das Gebäude nach Fertigstellung zu berücksichtigen.

7.2 Bestandsbauten

- 7 Für Bestandsgebäude wird eine Ermittlungspflicht zur Risikoabwägung der Radonkonzentration in den Innenräumen als notwendig erachtet.

Wird eine Sanierung geplant, sind vor einer Messung möglichst umfassende Daten zum Objekt einzuholen, so dass die Aufstellung des bzw. der Messgeräte sinnvoll gewählt werden kann. Hinweise hierfür wurden bereits unter 5. gegeben.

- 8 Ein Bestandsschutz wird aufgrund der mit Radon einhergehenden Gesundheitsgefährdung ähnlich wie beim Umgang mit schwach gebundenen Asbestfasern als nicht gerechtfertigt angesehen.

Auch werden bei baulichen Veränderungen von Bestandsgebäuden hinsichtlich Einhaltung und Umsetzung aktueller Vorgaben zum Brandschutz und zur Energieeinsparverordnung behördliche Auflagen ohne Anspruch auf einen Bestandsschutz gefordert. In der gleichen Weise sollte hier ebenfalls auch die Einhaltung und Umsetzung der Vorgaben zum Strahlenschutz behandelt werden.

Beim Radonschutz gilt der Wert von durchschnittlich $>300 \text{ Bq/m}^3$ als Eingriffswert für die Notwendigkeit von Sanierungsmaßnahmen.

- 9 Der konvektive Eintritt von Radongas ins Gebäude ist hierbei kritischer zu bewerten als der mögliche Eintritt durch Diffusion.

- 10 Aufgrund von möglichen Umnutzungen und Umbauten im Gebäude, Setzungen mit einhergehenden Undichtigkeiten und Alterung von Abdichtungs-/Baustoffen und dgl. können neue konvektive Eintrittspfade für Radongas entstehen.

Daher wird eine regelmäßige kontrollierende Messung der Radonkonzentration im Abstand von 10 Jahren als sinnvoll erachtet.

11 Als Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration kommen die unter [3], Kapitel 6 näher beschriebenen Methoden in Betracht:

- Konsequente freie Fensterlüftung als Akutmaßnahme zur schnellen Senkung der Radonkonzentration
- Umnutzung von erdberührten Aufenthaltsräumen als Räume mit zeitlich geringer Nutzung oder Lagerräume
- Beseitigen von Unterdruck von offenen oder undichten Kamin-/Schächten
- Nachträgliches flächiges und/oder punktuell Abdichten von Leckagen und Durchführungen erdberührter Boden- und Wandbereiche
- Abschotten von zum Keller hin offenen Treppenhäusern und Durchgängen zum Wohnraum
- Absaugung von radonangereicherter Bodenluft unterhalb oder neben dem Gebäude durch Herstellen von Radondrönung, Radonbrunnen und/oder Hohlraumabsaugung
- In diesem Zusammenhang sei auf die mögliche Setzungsgefahr von Gebäuden durch Absaugung der Bodenluft und damit Schrumpfung durch Verminderung des Feuchtegehaltes des Baugrundes hingewiesen. Je nach Fall sollte ein Baugrundgutachter hinzugezogen werden.
- Kontrollierte Be- und Entlüftung mittels raumlufttechnischer Anlagen unter Berücksichtigung der Druckverhältnisse im Gebäude

12 Nach Durchführung der Sanierungsmaßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration sollte eine kontrollierende Erfolgsmessung durchgeführt werden.

13 Der durch die Sanierungsmaßnahmen anzustrebende Zielwert sollte $\leq 100 \text{ Bq/m}^3$ im Jahresmittel betragen.

Dieser Wert sollte bei der anschließenden Kontrollmessung in dauerhaft genutzten Wohn- und Aufenthaltsräumen im Durchschnitt nicht mehr überschritten werden.

Im Einzelfall kann ein Erreichen des Zielwertes wirtschaftlich nicht möglich sein. Bei einer Sanierung sollte dann aber eine möglichst große Reduktion der Radonbelastung erreicht werden, sodass das Erreichen eines Richtwertes von durchschnittlich $\leq 300 \text{ Bq/m}^3$ akzeptiert werden kann.

14 Die Anforderungen des Wärmeschutzes (luftdichtes Bauen bei Neubauten, energetische Sanierung im Bestand, ggf. Einbau technischer Lüftungsanlagen) können sich mit einer dichte-

ren Gebäudehülle ungünstig auf die Radonkonzentrationen auswirken. Einem möglichen Anstieg ist mit einem geeigneten Lüftungskonzept entgegenzuwirken, wie es nach DIN 1946-6 grundsätzlich bei Modernisierungen gefordert wird [17].

8 Literatur

- [1] EU-Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013, Abs. 22
- [2] Radonkarte Deutschland
- [3] „Radonschutzmaßnahmen - Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten“, Hrsg. Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 72 S., 2016, zum kostenfreien Download unter <https://publikationen.sachsen.de/bdb/artikel/26126>
- [4] Quelle: UM Baden-Württemberg 11/2011: Radon – Messung und Bewertung. Download: <https://um.baden-wuerttemberg.de/de/presse-service/publikation/did/radon-messung-und-bewertung/>
- [5] BfS /Bundesamt für Strahlenschutz: Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende Strahlenexposition, Salzgitter, November 2012
- [6] BfS, 2006, Bundesamt für Strahlenschutz
- [7] WHO 2010, World Health Organisation
- [8] Sagunski 2016 Krebsrisikoabschätzungen von Verunreinigungen der Innenraumluft in Umwelt Gebäude und Gesundheit AGÖF 2016).
- [9] Drucksache 18/3543 des Deutschen Bundestages von 18.12.2014 als Antwort der Bundesregierung
- [10] GDV 2016, Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft
- [11] DIN IEC 61577-1:2007-06; VDE 0493-1-10-1:2007-06 Strahlenschutz-Messgeräte - Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten - Teil 1: Allgemeine Anforderungen (IEC 61577-1:2006)

DIN EN ISO 61577-2:2015-03; VDE 0493-1-10-2:2015-03 Strahlenschutz-Messgeräte - Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten - Teil 2: Besondere Anforderungen an Messgeräte für Rn-222 und Rn-220 (IEC 61577-2:4)

DIN EN ISO 61577-3:2015-03; VDE 0493-1-10-3:2015-03 Strahlenschutz-Messgeräte - Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten - Teil 3: Besondere An-

forderungen an Messgeräte für Radonfolgeprodukte (IEC 61577-3:2011, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61577-3:2014

DIN EN ISO 61577-4:2015-03; VDE 0493-1-10-4:2015-03 Strahlenschutz-Messgeräte - Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten - Teil 4: Einrichtungen für die Herstellung von Referenzatmosphären mit Radonisotopen und ihren Folgeprodukten (STAR) (IEC 61577-4:2009, modifiziert); Deutsche Fassung EN 61577-4:2014

DIN EN ISO 16641:2016-05; VDE 0493-1-6641:2016-05 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt -Luft - Radon-220: Integrierende Messmethoden für die Bestimmung der mittleren Aktivitätskonzentration mit passiven Festkörperspurdetektoren (ISO 16641:2014); Deutsche Fassung EN ISO 16641:2016

- [12] DIN EN ISO 11665-1:2015-11; VDE 0493-1-6651:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt- Luft: Radon-222 - Teil 1: Radon und seine kurzlebigen Folgeprodukte: Quellen und Messverfahren (ISO 11665-1:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-1:2015

DIN EN ISO 11665-2:2015-11; VDE 0493-1-6652:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt- Luft: Radon-222 - Teil 2: Integrierendes Messverfahren für die Bestimmung des Durchschnittswertes der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte (ISO 11665-2:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-2:2015

DIN EN ISO 11665-3:2015-11; VDE 0493-1-6653:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt- Luft: Radon-222 - Teil 3: Punktmessverfahren der potenziellen Alpha-Energiekonzentration der kurzlebigen Radon-Folgeprodukte (ISO 11665-3:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-3:2015

DIN EN ISO 11665-4:2013-05; VDE 0493-1-6654:2013-05 Messung der Radioaktivität in der Umwelt -Luft: Radon-222 - Teil 4: Integrierendes Messverfahren zur Bestimmung des Durchschnittswertes der Aktivitätskonzentra-

tion mittels passiver Probenahme und zeitversetzter Auswertung (ISO 11665-4:2012)

DIN EN ISO 11665-5: 2015-11; VDE 0493-1-6655:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt –Luft: Radon-222- Teil 5: Kontinuierliches Messverfahren für die Aktivitätskonzentration (ISO 11665-5:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-5:2015

DIN EN ISO 11665-6:2015-11; VDE 0493-1-6656:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt -Luft: Radon-222 - Teil 6: Punktmessverfahren für die Aktivitätskonzentration (ISO 11665-6:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-6:2015

DIN EN ISO 11665-7:2015-11; VDE 0493-1-6657:2015-11 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt -Luft: Radon-222 - Teil 7: Anreicherungsverfahren zur Abschätzung der Oberflächenexhalationsrate (ISO 11665-7:2012); Deutsche Fassung EN ISO 11665-7:2015

DIN EN ISO 11665-8:2013-08; VDE 0493-1-6658:2013-08 Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt -Luft: Radon-222 - Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden (ISO 11665-8:2012)

- [13] Radon Merkblätter 2004 Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit 2004

- [14] BMU/BfS: Radon-Handbuch Deutschland, September 2001, aktualisiert 2010

- [15] BfS: Natürliche Radioaktivität in Baumaterialien und die daraus resultierende Strahlenexposition; Salzgitter, November 2012

- [16] ÖNORM S 5280-2:2012-07-15.; Radon - Teil 2: Technische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden

ÖNORM S 5280-3:2005-06-01.; Radon - Teil 3: Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden

- [17] DIN 1946-6:2009-05 Raumluftechnik - Teil 6: Lüftung von Wohnungen - Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung.

Leiter des Arbeitskreises „Radon in Gebäuden“

Dr. Martin Pitschke

öbuv Sachverständiger für Schadstoffe in Innenräumen und an Gebäuden
40597 Düsseldorf, Telefon: 0211 / 41 60 430 · E-Mail: martin.pitschke@domolytik.de

Mitwirkende des Arbeitskreises

Dr.-Ing. Mario Blei

öbuv Sachverständiger für Messen und Beurteilen von mikrobiologischen Belastungen in Innenräumen, 07749 Jena
Telefon: 03641 / 50 48 48 · E-Mail: m.blei@blei-institut.de

Dipl.-Ing (BA) Karin Leicht

Anwärterin als öbuv Sachverständige für Schäden an Gebäuden
97299 Zell am Main, Tel 0931 / 30 44 59 85 - E-Mail: leicht@leicht-sv.de

Dipl.-Chemiker (Univ.) Jörg Thumulla

öbuv Sachverständiger für Schadstoffe und Gerüche in Innenräumen
90762 Fürth, Telefon: 0911 / 74 37 172 · E-Mail: jt@anbus-analytik.de

Dipl.-Ing. Lutz Hüttemann

Sachverständigenbüro Richardson, 58452 Witten
Telefon: 02302 / 58 09 80 - E-Mail: huettemann@sv-richardson.de