

Radon – ein signifikantes Lungenkrebsrisiko im Innenraum

Gesetzliche Regelungen, Verbindlichkeiten und Fristen, Diagnostik, Sanierung und Prävention

T. Haumann

Zusammenfassung Radon reichert sich als natürliches radioaktives Gas im Innenraum an und führt in Deutschland jährlich zu ca. 1 900 Lungenkrebs-Todesfällen. Es gibt keinen unkritischen Schwellenwert, unterhalb dessen kein Risiko besteht. Der konvektive Eintrag aus dem Erdreich ist die häufigste Ursache für Radonauffälligkeiten in Innenräumen. Erstmals gibt es in Deutschland durch das neue Strahlenschutzgesetz und die Strahlenschutzverordnung seit 2019 verbindliche gesetzliche Regelungen für Radon an Aufenthaltsplätzen und Messpflichten an bestimmten Arbeitsplätzen. Beim Neubau sind grundsätzlich geeignete Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren. Hier können auch bei normgerechtem Feuchteschutz Radonprobleme auftreten. Für Bewertungsmessungen sind Langzeitmessungen bis zu einem Jahr erforderlich. Bei der Suche nach Eintrittspfaden und zur Abschätzung der Radon-Eintrittsrate bzw. Gebäudedichtheit können Unterdruckverfahren in Verbindung mit Kurzzeitmessungen eingesetzt werden. Bei der Sanierung und zur Prävention bietet in Zukunft eine neue DIN-Norm Lösungsvorschläge für bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen. Bei Bestandsgebäuden liefert die Methode der Absaugung unter der Gebäudehülle in vielen Fällen gute Sanierungserfolge.

Radon – a significant indoor lung cancer risk

Abstract Radon accumulates in indoor air as a natural radioactive gas and, in Germany, leads to about 1,900 lung cancer deaths annually. There is no minimum threshold below which there is no health risk. Convective entry from the soil is the most common source of indoor radon. For the first time in Germany, the new Radiation Protection Law has introduced regulations for indoor radon in residences and measurement obligations at certain workplaces, effective in 2019. In new constructions, suitable measures are required to prevent or significantly hinder the entry of radon from ground sources. Radon problems can still occur even with modern standard building moisture protection. Long-term measurements of up to one year are required for adequate radon measurement and evaluation. When searching for radon entry paths and estimating the entry rate or building impermeability, negative pressure techniques may be used in conjunction with short-term measurements. For renovation and prevention, a new DIN standard will offer solutions for structural and ventilation measurements. In the case of existing buildings, the extraction method under the building envelope provides good remediation results in many cases.

Dr. rer. nat. Thomas Haumann,
Sachverständigenbüro für Umweltanalytik und
Baubiologie, Essen.

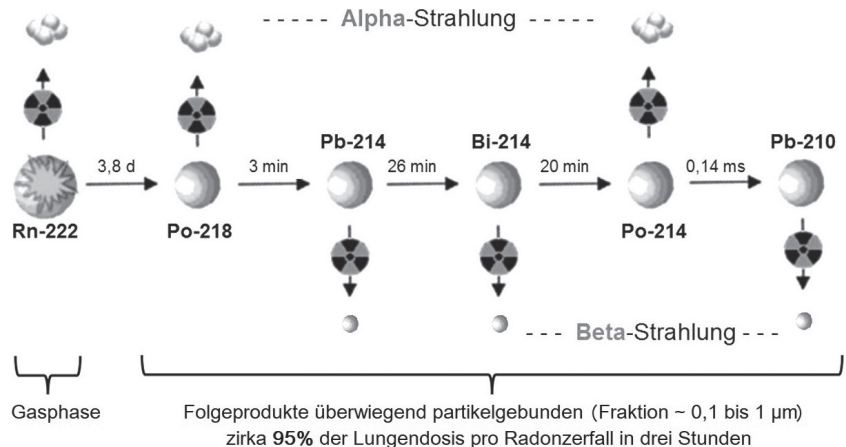


Bild 1. Zerfallsschema von Radon-222 und seinen Folgeprodukten.

1 Einleitung

Radon (Rn-222) ist ein natürliches radioaktives Gas im Innenraum und ist durch die aufgenommene Strahlendosis nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs. Durch die Summe von Radonbelastung und Rauchen wird das Krebsrisiko um ein Vielfaches erhöht. Radon ist besonders gefährlich, da es sich als unsichtbares, geruch- und geschmackloses Gas mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen unbemerkt im Innenraum anreichern kann. Das radioaktive Edelgas produziert radioaktive Folgeprodukte, die sich an Feinstaubpartikel anlagern, eingeatmet werden und den größten Beitrag zum gesundheitlichen Risiko liefern (Bild 1).

2 Vorkommen und Ursachen

Das gasförmige Radon gelangt als natürliches Bodengas durch Konvektion und Diffusion aus dem Erdreich und/oder aus auffälligen Baumaterialien als ein Zerfallsprodukt des Radiums (Ra-226) aus der Uran-Radium-Reihe in die Innenraumluft. Das Edelgas dringt durch verschiedene Schwachstellen ein: Risse in Mauerwerk und Bodenplatte, Kabelkanäle und Rohrdurchführungen, Lüftungs- und Lichtschächte, Keller mit Naturböden, Kies, Bruchstein und lose verlegte Ziegel.

Durch eine zunehmend luftdichtere Gebäudehülle und in der Praxis häufig unzureichende Wohnungslüftung wird das Gas im Innenraum festgehalten.

Die Hauptursachen für Radon im Innenraum sind

- mangelhafte Abdichtungen von Gebäuden zum Erdreich,
- mangelhafte Lüftung von Innenräumen,
- erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Mineralien in der Erde,
- gute Bodendurchlässigkeit bzw. Permeabilität unter der Gebäudehülle,

Tabelle. Radonkonzentration in der Bodenluft und in Gebäuden (Deutschland).

Messort	Anzahl der Messwerte	Mittelwert in Bq/m ³	50. Perzentil (Median) in Bq/m ³	95. Perzentil in Bq/m ³	99. Perzentil in Bq/m ³
Bodenluft (1 m Tiefe)	1 781	36 000	25 000	104 000	154 000
Kellergeschoss	3 373	91	52	265	679
Erdgeschoss	10 692	53	39	129	292
1. Obergeschoss	5 994	43	34	102	177
Höhere Etagen	3 182	36	30	78	119

Quelle: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (2000) [2]

• evtl. erhöhte Radonkonzentration durch radiumhaltige Baustoffe (eher seltener im Altbau).

Erfahrungsgemäß gibt es im Winter bei reduzierter Lüftung und im Heizbetrieb meist höhere Innenraumkonzentrationen als im Sommer. Ausgehend von einem in deutschen Wohnräumen vorzufindenden Jahresmittelwert der Radon-Aktivitätskonzentration von ca. 50 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) in der Raumluft berechnet sich eine effektive Dosis von ca. 1,1 Millisievert pro Jahr (mSv/a). Der größte Anteil wird bei der Dosis durch den Aufenthalt im Innenraum und die radioaktiven Folgeprodukte des Radons (Alphastrahler Po-218, Po-214) verursacht.

In der Außenluft liegen im Mittel ca. 10 Bq/m³ vor [1]. In knapp 2 % der Wohnungen werden Radonkonzentrationen über 250 Bq/m³ gemessen. In etwa 10 % der deutschen Wohnungen liegen Radonkonzentrationen über 100 Bq/m³ vor. Die Tabelle zeigt einen Überblick über die Radonkonzentration im Boden und in Innenraumbereichen in Deutschland für das Jahr 2000.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit gibt im Jahresbericht für das Jahr 2016 Zahlenwerte für die effektive Dosis der radioaktiven Strahlenbelastung der deutschen Bevölkerung heraus. Es handelt sich hierbei um Mittelwerte, die jedoch relativ großen regionalen Schwankungen unterliegen können. Die Gesamtbelastung betrug demnach insgesamt durchschnittlich 5,8 Millisievert pro Jahr (mSv/a). Dieser Wert war zu 55 % auf natürliche und zu 45 % auf künstliche zivilisatorische Strahlenquellen zurückzuführen. Durch Radon resultieren über 50 % der Belastung ausgehend von natürlichen Strahlenquellen (Bild 2).

Die Universität Bonn hat im Rahmen eines Forschungsprojektes eine Radonkarte für Deutschland erstellt, welche laufend aktualisiert wird. Hierbei werden Bodenluftmessungen in einer Tiefe von jeweils 1 m durchgeführt. Erhöhte

und hohe Radonbodenluftkonzentrationen zeigen sich vor allem in Bayern, Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen und folgenden Gebieten:

- Bayerischer Wald, Oberpfalz, Fichtelgebirge, Thüringer Wald, Erzgebirge, südlicher Schwarzwald (u. a. durch granitische und vulkanische Gesteine),
- Vogtland, Sauerland (u. a. durch Schwarzschiefer),
- nördliches und östliches Schleswig-Holstein (durch nordische Gletschergesteine),
- einzelne eng begrenzte Gebiete in Mittel- und Süddeutschland.

Die Korrelationen mit der Radon-Raumluftkonzentration sind recht gut. Während in 1 m Tiefe im Boden sehr hohe Konzentrationen von ca. 10 000 bis über 600 000 Bq/m³ vorherrschen, liegen die Innenraumkonzentrationen häufig um den Faktor 1 000 niedriger. Bereits unter 20 000 Bq/m³ Bodenluftkonzentration kann bei ungünstiger Bauweise jedoch schon mit Radonauffälligkeiten in Häusern gerechnet werden. Der Durchschnittswert der Radonkonzentration in der Bodenluft liegt bei 36 000 Bq/m³ [2].

Eher seltener anzutreffen sind erhöhte Innenraumkonzentrationen von Radon ausgehend von Baustoffen (durch z. B. nuklidreiche Natursteine oder Schlacken und Chemiegips in Altbauten).

3 Mechanismus des Radoneintrages

Radon reichert sich in dem verfügbaren Luftraum im Erdreich an (Emanation) und kann sich, je nach Durchlässigkeit der Bodenschichten, gut weiterbewegen (Migration) und in die Atmosphäre entweichen (Exhalation). So kommt Radon auf konvektivem Weg durch geringe Druckdifferenzen zwischen Boden- und Raumluft (z. B. durch thermischen Auftrieb im Heizbetrieb) und Undichtigkeiten in der erdberührenden Gebäudehülle in ein Gebäude. Diffusion durch eine Betonbodenplatte spielt in der Regel eine untergeordnete Rolle. Der konvektive Eintrag aus dem Erdreich ist die häufigste Ursache für Radonauffälligkeiten in Innenräumen.

Häufig werden Radonkarten zur ersten Beurteilung eines Radonrisikos herangezogen. Diese Karten bieten jedoch in Deutschland bisher nur eine grobe Übersicht über die statistische Verteilung der Radon-Bodengaskonzentrationen [3].

Entscheidend sind jedoch die Gebäudeparameter und die Dichtheit der Gebäudehülle. Die im Innenraum zusätzlich zur meist sehr niedrigen Außenluftkonzentration auftretende Radonkonzentration (C_{Rn} in Bq/m³) richtet sich nach der Radonquellstärke bzw. Radoneintrittsrate (Q_{Rn} in

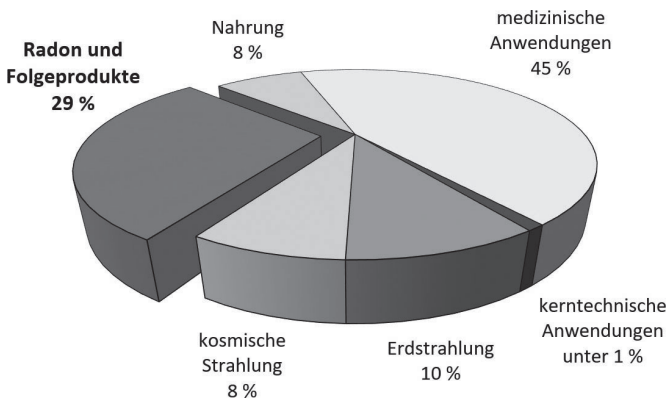


Bild 2. Strahlenbelastung in Deutschland 2016 (effektive Dosis in %).

Bq/(m³·h)) und dem Luftwechsel pro Stunde (L_w in 1/h), jeweils bezogen auf die Jahresmittelwerte ($C_{Rn} = Q_{Rn}/L_w$).

Die Radonquellstärke wird durch viele Parameter beeinflusst. Die wichtigsten Faktoren sind das Radonpotenzial (berechnet aus Bodenkonzentration und Verfügbarkeit), die konvektiven Eintrittspfade (Risse, Fugen, Durchführungen) und der Differenzdruck (Erdreich vs. Innenraum) [3; 4].

Im Altbau und insbesondere beim Streifenfundament oder fehlender Bodenplatte treten vermehrt Radonprobleme auf. Geringer Luftwechsel nach der Altbausanierung und hohe Druckdifferenzen im Winter führen zu einer verstärkten Anreicherung von Radon im Innenraum. Schon wenige Pascal können ein erhebliches Volumen radonhaltiger Bodenluft in ein Gebäude befördern. Daher werden erhebliche Überschreitungen von Referenz- und Empfehlungswerten auch schon bei mittlerem und niedrigem Radonpotenzial beobachtet.

4 Gesundheitliche Bewertung

Die gesundheitliche Bewertung von Radon hat eine lange Vorgeschichte. Nach der Entdeckung der Radioaktivität und der radioaktiven Zerfallsreihe von Uran wurde Radon als radioaktives Edelgas identifiziert und eine Anreicherung im Erdreich, in Höhlen und in Gebäuden beobachtet. Dementsprechend wurde die Schneeberger Krankheit (schon 1567 von *Paracelsus* beschrieben) später dem Radon zugeordnet. Epidemiologische Untersuchungen an Bergarbeitern zeigten 1960 die Risiken auf. Im Jahr 1988 wurde Radon von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) und der Internationalen Agentur für Krebsforschung (IARC) als für den Menschen krebserzeugender Schadstoff eingestuft [5 bis 7].

Weltweite Studien an Bergarbeitern zeigten in den 1990er-Jahren einen proportionalen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit steigender Gesamtradonbelastung in Abhängigkeit von Alter, Zeit, Exposition und Dosisrate. Da die Extrapolation des Risikos von Bergarbeiterstudien auf die Allgemeinbevölkerung schwierig ist, wurden weltweit umfangreiche Fall-Kontroll-Studien zu Radon in Wohnungen durchgeführt. Auswertungen der Studien aus den USA, China und Europa [8] von 2004 bis 2006 bestätigten das signifikante Radonrisiko auch in Wohnungen. Heute ist ein erhöhtes Lungenkrebsrisiko nach Auffassung der Europäischen Union ab einer Radon-222-Aktivitätskonzentration im Jahresmittel von 100 Bq/m³ epidemiologisch nachweisbar. Man geht zudem davon aus, dass es keinen unkritischen Schwellenwert gibt, unterhalb dessen kein Risiko besteht.

So führt eine lebenslange Exposition gegenüber 100 Bq/m³ Radon im Innenraum bei Nierauchern bereits zu einem Lungenkrebsrisiko in Höhe von 1 : 1 700 (6×10^{-4}). Bei chemischen Schadstoffen wie Benzol gilt ein Krebsrisiko in dieser Größenordnung von 10^{-6} bis 10^{-4} als für die Allgemeinbevölkerung nicht mehr zumutbar und es werden gesetzliche Regelungen und Maßnahmen zu dessen Vermeidung bzw. Reduzierung empfohlen [7; 9]. Der Ausschuss für Innenraumrichtwerte (AIR) des Umweltbundesamtes empfiehlt daher den auch den von der WHO und dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) vorgeschlagenen Wert von 100 Bq/m³ als gesundheitliches Beurteilungskriterium zur Reduzierung des Lungenkrebsrisikos durch Radon für die Allgemeinbevölkerung heranzuziehen. Der AIR fügt noch hinzu: „*Angesichts des relativ hohen, aus bevölkerungsbezogenen Untersuchungen abgeschätzten und damit belastbaren*

Krebsrisikos sollten nach Auffassung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe möglichst auch unterhalb dieses Referenzwertes weitere, vom Aufwand her vertretbare Maßnahmen zur Absenkung der Radonkonzentration in Innenräumen ergriffen werden“ [10].

Zum Vergleich: Das Krebsrisiko nach lebenslanger Exposition gegenüber 100 Bq/m³ entspricht etwa dem Krebsrisiko nach lebenslanger Exposition gegenüber 10 000 Asbestfasern/m³ [11], was dem Akzeptanzrisiko im Arbeitsschutz nach der Technischen Regel für Gefahrstoffe (TRGS) 910 entspricht. Nach einer aktuellen Abschätzung wird das Risiko von 100 Bq/m³ sogar 100 000 Asbestfasern/m³ gleichgesetzt [12].

Unabhängig von den exakten Zahlenwerten und Todesstatistiken gilt Radon eindeutig als das in Wohnungen nach dem Tabak wichtigste umweltbedingte Krebsrisiko für die Bevölkerung, deutlich vor Schadstoffen wie Asbest, Benzol, Dioxinen, Cadmium, Arsen, polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, polychlorierten Biphenylen und anderen Kanzerogenen. Es gilt das Minimierungsgebot.

Je zusätzliche 100 Bq/m³ im Innenraum erhöht sich das Lungenkrebsrisiko bereits signifikant um ca. 10 % und unter Berücksichtigung von Unsicherheiten in der Expositionsabschätzung sogar um 16 % [8]. So werden für Deutschland knapp 1 900 Lungenkrebs-Todesfälle pro Jahr dem Radon zugeordnet. In diesem Zusammenhang ist es auch wichtig zu wissen, dass die Mehrheit der radoninduzierten Lungenkrebsfälle durch geringe oder mittlere (unter 200 Bq/m³) und nur wenige durch sehr hohe Radonkonzentrationen verursacht werden. Die meisten (über 90 %) dieser radoninduzierten Lungenkrebsfälle sind zudem Raucher oder ehemalige Raucher, die ohne Radon nicht erkrankt wären. Trotzdem bleibt das Risiko auch für Nieraucher schon im niedrigen Konzentrationsbereich signifikant. Entgegen der Erwartung, abgeleitet aus den Radonkarten, kommen die meisten Lungenkrebs-Todesfälle (ca. 24 %) sogar aus dem Bundesland Nordrhein-Westfalen aufgrund der hohen Einwohnerzahl [13].

Auch die ökonomische Sicht wurde durch ein Forschungsprojekt vom BfS beleuchtet. Hier heißt es in der Zusammenfassung, dass „*aus der Perspektive der durch etablierte Methoden ermittelten Kosteneffektivität festzustellen ist, dass für Deutschland allgemein die Sanierung bestehender Gebäude mit einem verpflichtenden Eingreifwert von 100 Bq/m³ mit anschließender Erfolgskontrolle die geringsten Kosten verursacht*“ [14].

5 Gesetzliche Regelungen

Das Bundesumweltministerium bereitete mit Unterstützung des BfS bereits im Jahr 2004 ein Radonenschutzgesetz vor, das Maßnahmen für Neu- und Altbauten unter dem Aspekt der Vorsorge regeln sollte. Bei Neubauten (Planung) sollte dabei in Radonverdachtsgebieten, in denen verstärkt erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden auftreten können, bereits bauliche Schutzmaßnahmen berücksichtigt werden, um möglichst den Wert von 100 Bq/m³ im Innenraum nicht zu überschreiten. Aufgrund des Regierungswechsels im Jahr 2005 wurde das Gesetz aber nicht verabschiedet.

Erstmals gibt es nun für Radon verbindliche gesetzliche Regelungen an Aufenthaltsplätzen und Messpflichten an bestimmten Arbeitsplätzen in Radonverdachtsgebieten. Seit

2017 liegt das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) vor, das am 1. Januar 2019 in Kraft getreten ist. Ende 2018 folgte die neue Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [15; 16]. Nach dem gültigen Strahlenschutzgesetz gelten u. a. folgende Grundregeln:

- Wer ein Gebäude mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen errichtet, hat grundsätzlich geeignete Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren.

- Wer im Rahmen der baulichen Veränderung eines Gebäudes mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen Maßnahmen durchführt, die zu einer erheblichen Verminderung der Luftwechselrate führen, soll die Durchführung von Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Betracht ziehen, soweit diese Maßnahmen erforderlich und zumutbar sind. Ausgangspunkt war die Neufassung der EU-Richtlinie Basic Safety Standards (EU-BSS) aus dem Jahr 2013, in der erstmals Regelungen für die Begrenzung der Radonkonzentration in Gebäuden aufgenommen worden sind [17]. Vorgeschrieben wurden Referenzwerte zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Gebäuden von maximal 300 Bq/m⁵ im Jahresmittel für Aufenthaltsbereiche und ebenso 300 Bq/m⁵ für den Arbeitsplatz. Die EU-Richtlinie definiert den Referenzwert als ein Wert „... oberhalb dessen Expositionen als unangemessen betrachtet werden, auch wenn es sich nicht um einen Grenzwert handelt, der nicht überschritten werden darf“. Im neuen Strahlenschutzgesetz wird der Referenzwert definiert als „... ein festgelegter Wert, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. Ein Referenzwert ist kein Grenzwert.“ (StrlSchG § 5 Absatz 29). Im neuen Strahlenschutzgesetz wurde der maximal mögliche Beurteilungswert trotz zahlreicher Einwände aufgrund des bereits recht hohen Lungenkrebsrisikos bei 300 Bq/m⁵ im Jahresmittel als Referenzwert übernommen. In anderen EU-Staaten mit durchschnittlich deutlich höherem Radonpotenzial wurden sogar Grenzwerte eingeführt. Für Großbritannien, Norwegen und Schweden gilt ein Grenzwert für Neubauten von 200 Bq/m⁵. In Schweden wurden von der Regierung bereits 2002 Radonziele festgelegt: Bis spätestens zum Jahre 2020 sollen die Radonkonzentrationen in allen Wohngebäuden unter 200 Bq/m⁵ liegen. In den USA gilt schon lange die Empfehlung der Environmental Protection Agency von ca. 150 Bq/m⁵ (4 pCi/l) in Wohnungen. Zum Schutz der Öffentlichkeit haben viele Bundesstaaten, wie z. B. Kalifornien und Illinois, Gesetze und Vorschriften zur Offenlegung der Radonkonzentrationen bei einem Immobilienverkauf oder Anmietungen, zur Radonzertifizierung und zur Sanierung erlassen.

Die EU-Mitgliedstaaten sollen nun Gebäuderichtlinien einführen, um den Zutritt von Radon aus dem Boden und aus Baumaterialien zu verhindern. Die bisherigen Richtwerte der EU waren als Empfehlungen zu verstehen, die Referenzwerte werden dann einen deutlich verbindlicheren Charakter und mehr juristische Relevanz haben. Dadurch kommt dem baulichen Radonschutz deutlich größere Bedeutung zu.

Die Gesetzgebung geht davon aus, dass bei Neubauten in der Regel der normgerechte Feuchteschutz ausreicht, um eine Referenzwertüberschreitung im Jahresmittel zu vermeiden. Bei hohem Radonpotenzial am Bauplatz (vermehrt in Radonverdachtsgebieten anzutreffen) oder bei einem erhöhten Schutzbedürfnis (< Referenzwert) sind lüftungstechnische und/oder bauliche Maßnahmen notwendig. In

Radonverdachtsgebieten sind diese sogar gesetzlich vorgeschrieben. In diesen von den Behörden innerhalb von zwei Jahren (ab dem 1. Januar 2019) auf Verwaltungsebene nach § 212 Absatz 1 StrlSchG auszuweisenden Gebieten (hier vereinfacht „Radonverdachtsgebiete“ genannt), in denen die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den Referenzwert überschreitet, muss nach StrlSchV beim Neubau mindestens eine der folgenden Maßnahmen durchgeführt werden:

- Verringerung der Radon-222-Aktivitätskonzentration unter dem Gebäude,
- gezielte Beeinflussung der Luftdruckdifferenz zwischen Gebäudeinnerem und Bodenluft an der Außenseite von Wänden und Böden mit Erdkontakt, sofern der diffusive Radoneintritt aufgrund des Standorts oder der Konstruktion begrenzt ist,
- Begrenzung der Rissbildung in Wänden und Böden mit Erdkontakt und Auswahl diffusionshemmender Betonsorten mit der erforderlichen Dicke der Bauteile,
- Absaugung von Radon an Randfugen oder unter Abdichtungen,
- Einsatz diffusionshemmender, konvektionsdicht verarbeiteter Materialien oder Konstruktionen.

Zur Konkretisierung der Maßnahmen soll auf DIN SPEC 18117 (Teile 1 und 2) verwiesen werden [18].

An Arbeitsplätzen gibt das Strahlenschutzgesetz in § 128 im Gegensatz zu Aufenthaltsräumen sehr viel verbindlichere Regelungen vor. Wird der Referenzwert an einem Arbeitsplatz überschritten, so hat der für den Arbeitsplatz Verantwortliche unverzügliche Minderungsmaßnahmen zu ergreifen. Der Erfolg der Minderungsmaßnahmen muss innerhalb von 24 Monaten, nachdem eine Überschreitung des Referenzwertes bekannt geworden ist, durch Luftmessungen nachgewiesen werden. Zusammenfassend ergeben sich in Zukunft in Bezug auf Radon u. a. nachfolgende Pflichten:

1. Behördliche Ausweisung der Radonverdachtsgebiete gemäß § 121 StrlSchG und § 153 StrlSchV (bis 1.1.2021)
2. Grundsätzlich Berücksichtigung von Radon bei Neubau und bei der Altbauanierung gemäß § 123 StrlSchG
3. Zusätzliche Maßnahmen zum Radonschutz beim Neubau in Radonverdachtsgebieten § 154 StrlSchV (ab Bekanntgabe zur Ausweisung der Radonverdachtsgebiete)
4. Radonmessungen an Arbeitsplätzen im Erd- oder Kellergeschoss eines Gebäudes in Radonverdachtsgebieten gemäß StrlSchG § 127 (innerhalb von 18 Monaten ab Bekanntgabe zur Ausweisung der Radonverdachtsgebiete)
5. Einhaltung des Referenzwertes von 300 Bq/m⁵ Radon-222-Aktivitätskonzentration im Jahresmittel an Aufenthaltsplätzen gemäß StrlSchG § 124 und an Arbeitsplätzen gemäß StrlSchG § 126 (bei Überschreitung „Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen“), *Anmerkung des Verfassers: Im Hinblick auf das signifikant erhöhte Lungenkrebsrisiko wäre die Angemessenheit in den meisten Fällen gegeben.*

6 Messung der Radonkonzentration

Bei der Messung der Radonkonzentration werden z. B. aufzeichnende und direkt anzeigende elektronische Messgeräte verwendet oder Passivsammler aufgestellt. Bei

Radon werden je nach Aufgabenstellung Messungen vor Ort zur Quellensuche, Kurzzeitmessungen zur Übersicht über einige Tage oder Aufzeichnungen sowie Langzeitmessungen über mehrere Monate bis zu einem Jahr durchgeführt. Zu den üblichen Mess- und Untersuchungsmethoden gehören Raumluftuntersuchungen, Bodengasuntersuchungen und Materialuntersuchungen. Grundlagen für die technische Umsetzung bieten hier die Normenreihe DIN (EN) ISO 11665 und die VDB-Richtlinien [19 bis 22].

• Kurzzeitmessungen

Kurzzeitmessungen bzw. Punktmessungen der Raumluft werden in der Regel über wenige Minuten oder Stunden mit elektronischen direkt anzeigenden Radon- oder Zerfallproduktmessgeräten durchgeführt. Die Messungen werden zur Quellensuche, zur Beurteilung der Quellstärke und Lokalisierung von Eintrittspfaden oder für vergleichende Beurteilungen durchgeführt. Die Messungen erfordern besonders empfindliche Messtechnik (z. B. Halbleiterdetektoren oder Ionisationskammern).

• Übersichtsmessungen

Übersichtsmessungen der Raumluft werden über mehrere Tage bis zu wenigen Wochen mit elektronischen Messgeräten (evtl. zeitauflösend) oder Kernspurdetektoren durchgeführt. Hier geht es um die Einschätzung der Einflussfaktoren einer Radonbelastung. Es werden Simultanmessungen in mehreren Wohnräumen und ggf. Etagen und im Keller (vorzugsweise in der Heizperiode) oder anderen Verdachtsräumen empfohlen. Lüftungsverhältnisse, Raumklimaparameter und Druckdifferenzen können je nach Aufgabenstellung angepasst werden.

• Bewertungsmessungen

Zur Bewertung einer Radonkonzentration im Innenraum (Jahresmittelwert, Referenzwert) werden Langzeitmessungen über mindestens zwei bis drei Monate bis zu einem Jahr mit Kernspurdetektoren (Exposimetern) durchgeführt, wobei die Hälfte der Messzeit im Winter oder in der Heizperiode liegen sollte. Aufgrund der zeitlich starken Konzentrationsänderungen werden zur Sicherheit Messungen über ein Jahr empfohlen.

Leider kann die Radon-Raumluftkonzentration nicht zu einem beliebigen Zeitpunkt sachverständig wie viele andere typische Innenraumschadstoffe (VOC, SVOC, Formaldehyd, Asbest) normgerecht in der ungelüfteten Raumsituation z. B. nach DIN EN ISO 16000-1 [23] in wenigen Stunden gemessen werden. Da die Quelle in der Regel nicht im Innenraum liegt und die Eintrittsrate sehr empfindlich gegenüber Temperatur, Druck- und Klimaschwankungen ist, können sehr verschiedene Tages-, Wochen- und auch Monatswerte resultieren. So können die Radon-Monatsmittelwerte der Innenraumkonzentrationen im Sommer sogar um den Faktor 3 bis 5 niedriger liegen als im Winter [24]. Selbst die Jahresmittelwerte zeigen signifikante Variatio-

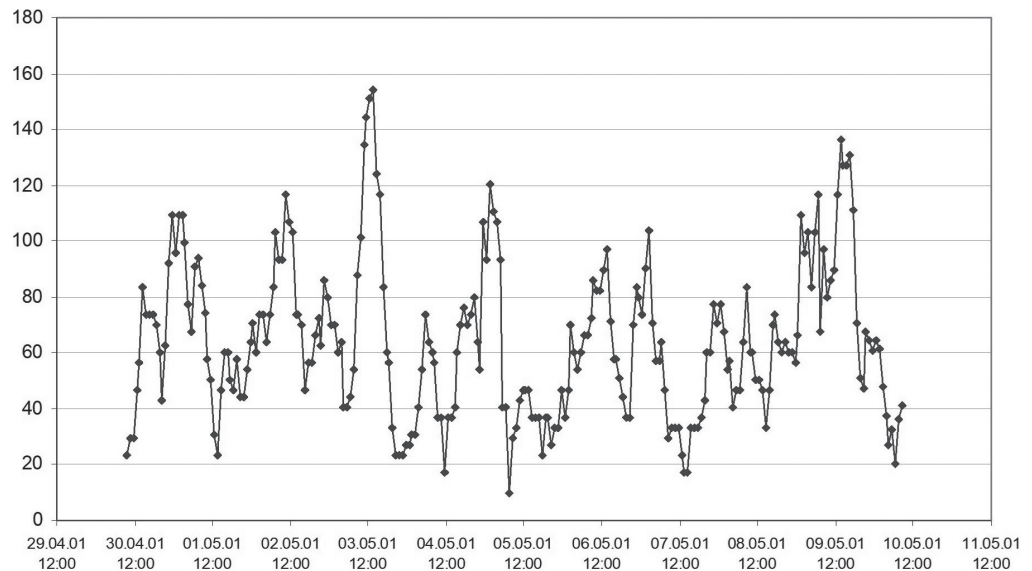


Bild 3. Zeitliche Variationen der Radonkonzentration (in Bq/m³) im Innenraum.

nen. Auch im Erdreich können jahreszeitlich bedingte Unterschiede der Radon-Bodengaskonzentrationen festgestellt werden, diese fallen jedoch deutlich geringer aus.

Bild 5 zeigt den zeitaufgelösten Verlauf der Radonluftkonzentration über elf Tage in einem Wohnraum. Hier zeichnet sich die zum Teil sehr stark schwankende Radonkonzentration im Innenraum ab. Überlagert werden die Änderungen der Quellstärke zudem durch die Nutzungs- bzw. Lüftungsverhältnisse.

Darüber hinaus gibt es Methoden und Möglichkeiten, über Kurzzeitmessungen mit elektronischen Messgeräten die Dichtheit der Gebäudehülle und die Radoneintrittsrate unter Einbeziehung des Unterdruckverfahrens „Rn₅₀-Test“ zu ermitteln (Bild 4) [21; 25; 26].

Bei der Quellensuche (Radon-Sniffing) werden mit aktiven Methoden und Pumpen aus Verdachtsbereichen (z. B. Rissen, Öffnungen, unter Bodenabdeckungen) relevante Radon-Eintrittspfade ermittelt und quantifiziert. Auch hier ist das Unterdruckverfahren hilfreich (Bild 5).



Bild 4. Radon-Dichtheitsprüfung unter Einbeziehung des Unterdruckverfahrens (Rn₅₀-Test) bei 50 Pascal Unterdruck.

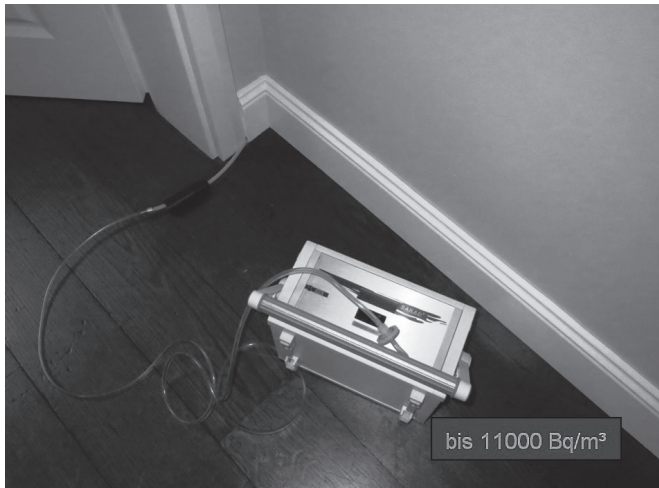


Bild 5. Radonquellensuche mit aktiven Messgeräten (Radon-Sniffing).

Ergänzend zu den Radonmessungen in der Innenraumluft und zur Quellensuche kommen auch Materialprüfungen (Radonexhalationsrate gemäß DIN ISO 11665-9), Bodengasmessungen (mit Bodengassonde gemäß DIN EN ISO 11665-11 (Entwurf), empfohlene Tiefe: 80 bis 100 cm) infrage.

7 Sanierung und Prävention

Ausgangspunkt für jede Maßnahme in Bezug auf Radon ist immer eine gewissenhafte und fachgerechte Diagnostik, Beurteilung und Bewertung sowie die Formulierung eines Sanierungs- und Präventionsziels (Radonkonzentration, -eintrittsrate). Bei der Radonsanierung geht es um die konsequente Reduzierung der Radonkonzentration in Wohn- und Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen im Innenraum durch Lüftung, Abdichtung und Absaugung.

Als erste und effektive Radonreduzierung sollte eine konsequente Raumlüftung angestrebt werden. Da Radon zumeist über den Keller in ein Gebäude gelangt, sollte bei einem Radonproblem eine separate Kellerbelüftung erfolgen (druckunabhängige Zu- und Abluftventilation). Derzeit sind sensorgesteuerte Lüftungssysteme mit Radonsensoren in Entwicklung. Zur Abdichtung können einfache Isolationsmaßnahmen bereits sehr hilfreich sein. Als solche gelten eine selbst schließende luftdichte Kellertür, eine fachgerechte Abdichtung der Durchbrüche (z. B. Leitungen für Wasser, Strom, Heizung, Gas, Telefon), Installationskanäle, Luftschächte, Abwurfschächte (z. B. für Wäsche), Naturböden, das Verschließen von sichtbaren Öffnungen und Rissen in den erdberührenden Gebäudeteilen. Kann eine ausreichende Radonreduzierung nicht über Wohnraumlüftung, Kellerbelüftung und einfache Abdichtungen von Eintrittspfaden erreicht werden, kommen besondere Absaugverfahren infrage. Eine effektive und relativ kostengünstige Absaugung des Radons unter der Bodenplatte eines Gebäudes wird hierbei z. B. mit speziellen Radonsaugern realisiert (Bild 6).

Bei Neubauten können oft kostengünstig vorsorglich dichte Rohrdurchführungen und Flächendrainagen eingesetzt werden. Abdichtungen werden zudem durch außenseitige Dichtungsbahnen unter der Fundamentplatte (Neubauten) als Feuchte- und Radonsperre realisiert.

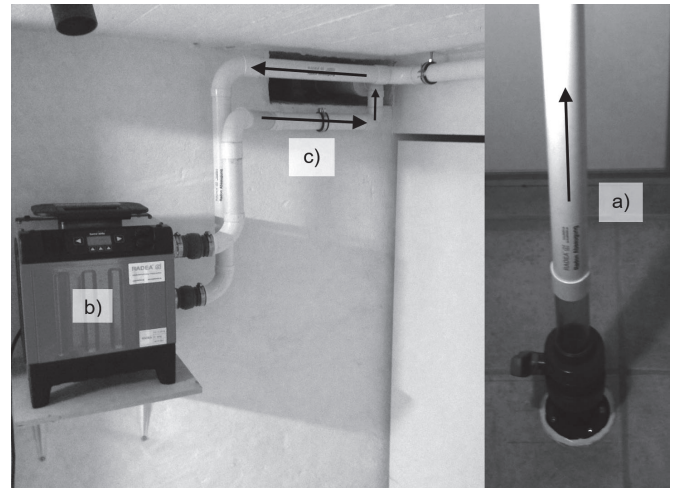


Bild 6. Sanierung eines Einfamilienhauses mit Radonsauger, a) Bohrung durch die Bodenplatte, b) Radonsauger, c) Fortluft nach außen.

Unabhängig von der gesetzlichen Pflicht in Radonverdachtsgebieten ist zur Beurteilung des Radonrisikos an einem Bauplatz eine individuelle Beurteilung sinnvoll. Verfügbare Radon-Bodengaskarten (z. B. Karte Deutschland, BfS) sind nicht geeignet, um zuverlässige Voraussagen für ein individuelles Grundstück bzw. Baufeld zu ermöglichen. Die Radonkarten liefern erste Hinweise auf rein statistischer Basis. Im lokalen Umfeld eines Neubauvorhabens können eng begrenzte starke Schwankungen der Radon-Bodengaskonzentrationen und der Radonverfügbarkeit auftreten. Mehr Sicherheit können nur konkrete Baugrunduntersuchungen mit Bestimmung des Radonpotenzials bieten.

Nach den Grundsätzen der Abdichtungstechnik erdberührender Bauteile nach der neuen DIN 18533 kann auch bei fachgerechter Abdichtung eines Neubaus gegen Bodenfeuchtigkeit nicht in jedem Fall ein Radoneintritt ausreichend verhindert werden. Wasserdicht bedeutet nicht immer auch gasdicht. So kann z. B. auch bei fachgerechter und mangelfreier Bauausführung bei Wassereintrittsklasse W1-E (Bodenfeuchtigkeit und nicht drückendes Wasser) ein merklicher Radoneintritt nicht verhindert werden. Bei Abdichtungen nach W2-E (drückendes Wasser) kann bei normalem Radonpotenzial zur Unterschreitung der gesetzlichen Referenzwertes von einer ausreichenden Radondichtheit ausgegangen werden [27; 28].

8 Medien, Öffentlichkeitsarbeit und Fortbildungen

Bisher spielte das Thema Radon in der Öffentlichkeit und in den Medien kaum eine Rolle. Bei den Behörden, Baufachleuten, Sachverständigen, Baubiologen und Sanierern wird es langsam aktuell. Ein Internet-Video vom BfS zeigt sehr anschaulich die Radonproblematik auf [29].

In Bezug auf Fachausbildungen gibt es seit 2013 die Weiterbildung und Qualifikation zur Radon-Fachperson nach dem Vorbild aus der Schweiz auch in Deutschland (Bayerisches Landesamt für Umwelt, Bauakademie Sachsen, Berufsverband Deutscher Baubiologen – VDB). Speziell zum Thema Radon und Radonschutz findet seit 2005 jährlich die Fachtagung „Radonsicheres Bauen“ des Kompetenzzentrums für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren (KORA e. V.) in Verbindung mit dem sächsischen Radontag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt

und Landwirtschaft (SMUL) statt. Der VDB führt seit 2015 alle zwei Jahre einen VDB-Radonfachtag durch (2015, 2017, 2019). Schulungen und Praxisseminare bieten VDB und der Verband Baubiologie e. V. (VB) jährlich an.

Der Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e. V. (BVS) hat im Jahr 2017 den BVS-Standpunkt „Radon in Gebäuden“ herausgegeben [11]. Auch bei den Fachtagungen zum Thema

Innenraumschadstoffe (WaBoLu, AGÖF, DCONex und Deutscher Sachverständigentag) werden in den letzten Jahren vermehrt Beiträge zum Thema Radon integriert.

Wichtige fachliche Hilfestellungen bei Sanierung und Prävention bieten das Radon-Handbuch Deutschland, die SMUL-Broschüre „Radonschutzmaßnahmen, Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten“ [30; 31] und natürlich auch in Zukunft die DIN SPEC 18117 [18].

Literatur

- [1] Umweltradioaktivität in der Bundesrepublik Deutschland. Bericht der Leitstellen des Bundes und des Bundesamtes für Strahlenschutz, Stand 2017 – Daten und Bewertung. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU), Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter 2017.
- [2] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000. Unterrichtung durch die Bundesregierung. (Drucksache 14/6905). Tabelle III.1, S. 10. Hrsg.: Deutscher Bundestag, Berlin 2001.
- [3] Radon-Karten: Radonkonzentrationen in der Bodenluft und Radonpotential. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter. www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html
- [4] *Bossew, P.; Hoffmann, B.*: Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten (BfS-SW-24/18). Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter 2018.
urn:nbn:de:0221-2017122814454
- [5] Radon. In: WHO Air Quality Guidelines. 2nd Edition, Chapter 8.3. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf.
- [6] WHO handbook on indoor radon – Radonhandbuch der WHO. Hrsg.: Weltgesundheitsorganisation, Genf 2009.
- [7] WHO guidelines for indoor air quality – selected pollutants. Hrsg.: World Health Organization – Regional Office for Europe, Kopenhagen 2010.
- [8] *Darby, S.; Hill, D.; Auvinen, A.; Barros-Dios, J. M.; Baysson, H.* et al.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ*. (2005) 330:223.
- [9] *Sagunski, H.*: Bewertung von Radon aus Sicht des Ausschusses für Innenraumrichtwerte (AIR). In: Tagungsband zum 2. Radonfachtag des VDB, München, 4. Mai 2017.
- [10] Gesundheitliche Bewertung von Radon in der Innenraumluft. In: Ergebnisprotokoll der 50. Sitzung der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der IRK und der AOLG am 4. und 5. November 2014. Hrsg.: Umweltbundesamt, Dessau-Roßlau 2015.
- [11] Radon in Gebäuden (BVS-Standpunkt 02–2017). Hrsg.: Bundesverband öffentlich bestellter und vereidigter sowie qualifizierter Sachverständiger e. V. (BVS), Berlin 2017.
- [12] *Wesselmann, M.; Sagunski, H.*: Asbest in Fliesenklebern, Putzen und Spachtelmassen in Gebäuden – Probleme und Risiken. *Umweltmed. Hygiene Arbeitsmed.* 23 (2018) Nr. 4, S. 259-267.
- [13] *Menzler, S.; Schaffrath-Rosario, A.; Wichmann, H. E.; Kreienbrock, L.*: Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Landsberg: Ecomed 2006, bzw.: Stellungnahme der Strahlenschutzkommission (SSK), 11./12. Juli 2006.
- [14] *Egblomassé-Roidl, C.*: Gesundheitsökonomische Betrachtung zu Radonsanierungsmaßnahmen. In: *Bernhard-Ströl, C.; Gödde, R.; Hachenberger, C.; Löbke-Reinl, A.; Schmitt-Hannig, A.* (Hrsg.): Strahlenschutzforschung – Programmreport 2010. Bericht über das vom Bundesamt für Strahlenschutz fachlich begleitete und administrativ umgesetzte Forschungsprogramm Strahlenschutz des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BfS-SCHR-49/11). Salzgitter 2011.
urn:nbn:de:0221-201111236640
- [15] Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG). *BGBl. I* (2017) Nr. 42, S. 1966-2067.
- [16] Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV). *BGBl. I* (2018) Nr. 41, S. 2036-2171.
- [17] Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom. *Abs. 22. ABl. EU* (2014) Nr. L 13, S. 1-73.
- [18] DIN SPEC 18117: Bauliche und Lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz. Teile 1 und 2. Berlin: Beuth (in Bearbeitung).
- [19] *Haumann, T.*: Radon-Messverfahren. In: Tagungsband zum 11. AGÖF-Fachkongress 17.11.2016 in Hallstadt bei Bamberg. S. 91-105. Hrsg.: Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute (AGÖF), Springe-Eldagsen 2016.
- [20] DIN (EN) ISO 11665: Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222. Teile 1 bis 11. Berlin: Beuth.
- [21] VDB e. V.: Untersuchungen auf Radon. (B I 8). In: VDB-Richtlinien zur Vorgehensweise bei baubiologischen Untersuchungen in Gebäuden, Bd. 2. Hrsg.: Berufsverband deutscher Baubiologen e.V. (VDB), Jesteburg 2018.
- [22] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten. Bd. 47. Hrsg.: Strahlenschutzkommission (SSK), Bonn 2002.
- [23] DIN EN ISO 16000-1: Innenraumluftverunreinigungen – Teil 1: Allgemeine Aspekte der Probenahmestrategie. Berlin: Beuth 2006.
- [24] Radon, Vorkommen – Wirkung – Schutz. S. 17. Hrsg.: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), Dresden 2012. www.smul.sachsen.de
- [25] *Haumann, T.*: Radonmessungen und Blower Door – Fallbeispiele aus Bestandsgebäuden. Vortrag. 2. Radonfachtag des VDB, München 4. Mai 2017. www.baubiologie.net

- [26] *Haumann, T.; Münzenberg, U.*: Radonmessungen im Unterdruckverfahren. B+B Bauen im Bestand 40 (2017) Nr. 7, S. 68-72.
- [27] *Schäfer, M.*: Abdichtung erdberührter Bauteile. In: Tagungsband 11. Sächsischer Radontag und 13. Tagung Radonsicheres Bauen, 12. September 2017, Dresden. S. 42. Hrsg.: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) und KORA e. V., 2017.
- [28] DIN 18533: Abdichtung von erdberührten Bauteilen. Teile 1 bis 3. Berlin: Beuth 2017.
- [29] Radon-Video 2013. Hrsg.: Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter. www.bfs.de/SharedDocs/Videos/Bfs/DE/ion-radon.html
- [30] Radon-Handbuch Deutschland. Hrsg.: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit und Bundesamt für Strahlenschutz. September 2001, aktualisiert 2010.
- [31] Radonschutzmaßnahmen, Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten. Hrsg.: Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden 2018. www.smul.sachsen.de