

- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2017): Strahlung und Strahlenschutz, Broschüre: [http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/str-u-strschutz.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=3](http://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/str-u-strschutz.pdf?__blob=publicationFile&v=3) 2018
- BfS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Das Strahlenschutzgesetz: Neue Grundlage für den Strahlenschutz und die Arbeit des BfS: <http://www.bfs.de/DE/bfs/gesetze-regelungen/strahlenschutzgesetz/strahlenschutzgesetz.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Gesundheitliche Auswirkungen von Radon in Wohnungen. <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/wirkungen/wirkungen.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz 2018: Grenzwerte im Strahlenschutz: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/strahlenschutz/grenzwerte/grenzwerte.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Ionisierende Strahlung. [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/ion\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/ion_node.html)
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Natürliche Radionuklide in Baumaterialien: [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/baustoffe/radionuklide/radionuklide_node.html)
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Radon in Gebäuden: [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/gebaeude/gebaeude\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/gebaeude/gebaeude_node.html)
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Die Radonkarte Deutschlands: <https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html>
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Wie hoch ist die natürliche Strahlenbelastung in Deutschland? [http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung_node.html)
- BFS – Bundesamt für Strahlenschutz (2018): Wismut Uranbergarbeiter-Kohortenstudie [http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/projekte/wismut/wismut\\_node.html](http://www.bfs.de/DE/bfs/wissenschaft-forschung/projekte/wismut/wismut_node.html)
- Darby S. et. al. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: Colloberative analysis of individual data from 13 European case-control studies. *BMJ* 2005; 330 doi: <https://doi.org/10.1136/bmj.38308.477650.63> (Published 27 January 2005): *BMJ* 2005;330:223
- Kreuzer M. (2005): Radon in Wohnungen ist wichtigster Umweltrisikofaktor für Lungenkrebs. *UMID* 1/2005, 12–14
- Menzler S., Schaffrath-Rosario A., Wichman H.E., Kreienbrock L. (2006): Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Ecomed-Verlag, Landsberg, 2006
- Ministerium für Umwelt, Forsten und Verbraucherschutz Rheinland-Pfalz (2018): Radonmessung in der Bodenluft: <https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Arbeitssicherheit/Radoninformationen/Radoninformationsblatt.pdf>

#### Rechtsvorschriften

- Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27.06.2017 (BGBl. I S. 114, 1222)
- Röntgenverordnung in der Fassung der Bekanntmachung vom 30. April 2003 (BGBl. I S. 604), zuletzt geändert durch Artikel 6 der Verordnung vom 11. Dezember 2014 (BGBl. I S. 2010)
- Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV) vom 20. Juli 2001 (BGBl. I S. 1714; 2002 I S. 1459), die zuletzt durch nach Maßgabe des Artikel 10 durch Artikel 6 des Gesetzes vom 27. Januar 2017 (BGBl. I S. 114, 1222)

#### Über den Autor:

*Prof. Dr. med. Klaus Fiedler, Berlin*

---

## Radon in Schulen – Eine Erhebungsmessung in Baden-Württemberg

Ingo Fesenbeck, Christian Naber, Christian Wilhelm, Melanie Schaller

### Zusammenfassung

Mit durchschnittlich 1,1 mSv effektiver Dosis pro Jahr entsteht durch Radon und seine Folgeprodukte der größ-

te Anteil der natürlichen Strahlenexposition bei der Bevölkerung. Im Zuge der Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM [1] vom 17.01.2014 sollen die

Grenzwerte der Strahlenschutzverordnung angepasst und der Geltungsbereich in den EU-Staaten erweitert werden. Ziel des Projekts „Radon in Schulen“ ist es, eine flächendeckende Erhebungsmessung der Radonraumluftkonzentration in baden-württembergischen Schulen durchzuführen und mögliche Gefährdungen durch Radon-222 und dessen Tochternuklide zu untersuchen.

Für das Projekt wurden 1550 Schulen ausgewählt und über ein Informationsschreiben gebeten, teilzunehmen. Die Hälfte der Schulen ist flächendeckend in Baden-Württemberg verteilt. Die weitere Hälfte befindet sich in Gebieten mit erhöhtem Radonpotential.

Die Radonraumluftkonzentration wird passiv mittels Karlsruher Radonexposimetern bestimmt. Daraufaufgehend wurden bei auffälligen Schulen aktive Radonmessungen angeboten. In 48 von 172 ausgewerteten Schulen wurde mindestens bei einem Aufenthaltsraum eine Überschreitung des Referenzwerts von  $300 \text{ Bq/m}^3$  festgestellt.

### Natürliche Strahlenexposition durch Radon

Radon stammt aus dem Zerfall von Uran, das sich natürlicherweise in unserem Erdboden befindet. Das radioaktive Edelgas trägt mit seinen Folgeprodukten mit rund 50 % zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei. Über die Atmung gelangt Radon in die Lunge.

Die von Radon und seinen Folgeprodukten ausgehende Alpha-Strahlung führt zu einer Strahlenexposition der Lunge. Diese Exposition ist neben dem Rauchen der zweitgrößte Risikofaktor für Lungenkrebs in Deutschland [2] [3].

Aus diesem Grund legt das Strahlenschutzgesetz einen Referenzwert von  $300 \text{ Bq/m}^3$  für Radonkonzentrationen fest. Radon kann über Risse, Spalten oder Löcher aus dem Boden in das Gebäude gelangen. Dort reichert es sich in der Raumluft an. Je nach Bauweise, Alter und Zustand des Gebäudes kann die Radonkonzentration deutlich unterschiedliche Werte annehmen. Die Konzentration von Radon nimmt mit höheren Stockwerken hin ab.

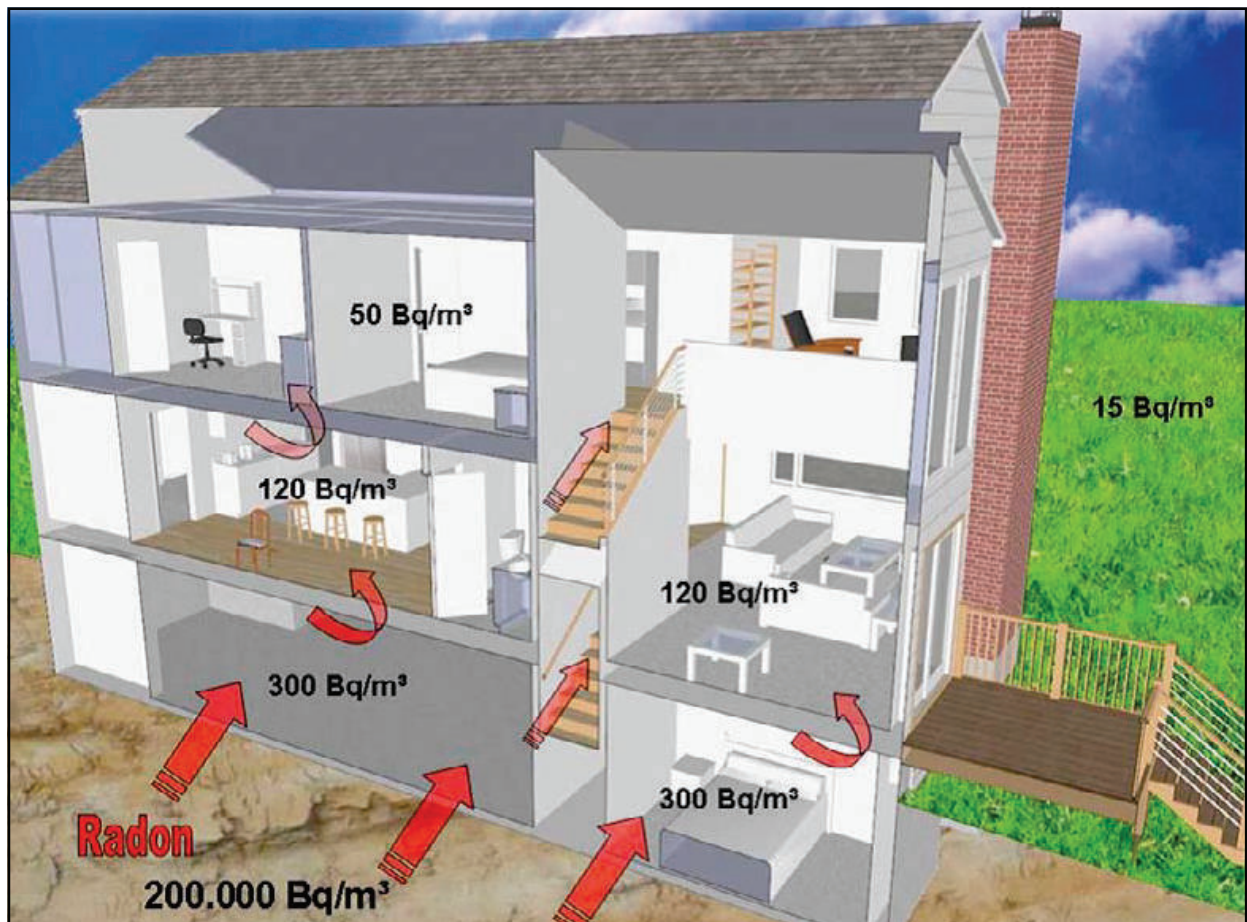


Abb. 1: Schematische Verteilung der Radonkonzentration in einem Gebäude

### Messung der Radonraumlufkonzentration

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Messung der Radonkonzentration zwischen passiven und aktiven Messmethoden. Bei aktiven Radonmessgeräten wird die radonhaltige Luft über Ventilation oder Diffusion in eine Messkammer oder auf einen Filter befördert. Diese Messgeräte besitzen eine feste Stromversorgung oder eine Batterie und können in der Regel die durchschnittliche Radonkonzentration über einen kurzen Zeitraum ermitteln. Die Radonkonzentration kann meist direkt am Messgerät abgelesen werden.



Abb. 2: Karlsruher Radonexposimeter (Einzelansicht)

Passive Radonmessungen werden u.a. mittels Kernspurdetektoren oder Aktivkohle durchgeführt. Im Gegensatz zur aktiven Messmethode wird bei der passiven Radonmessung ein Messgerät für einen längeren Zeitraum ausgelegt und anschließend in einem Labor ausgewertet. Das Messgerät selbst besitzt keine Anzeige. Die Messergebnisse der Radonkonzentration werden nach der zeitversetzten Auswertung ermittelt.

Am Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie werden passive Radonmessungen mittels Makrofol-Kernspurdetektoren (siehe Abb. 2) durchgeführt. Der Kernspurdetektor wird für typischerweise 100 Tage in einem Raum ausgelegt und anschließend im Radonlabor ausgewertet. Aufgrund der langen Messdauer können tägliche Schwankungen der Radonkonzentration sowie unterschiedliche Lüftungsverhalten herausgemittelt werden.

### Messkampagne Radon in Schulen

Für die Messkampagne: „Radon in Schulen“ wurden rund 1550 baden-württembergische Schulen ausgewählt und über ein Informationsschreiben gebeten, an einer Radonmesskampagne teilzunehmen. Die Hälfte der Schulen ist flächendeckend auf Baden-Württemberg verteilt. Die restlichen Schulen befinden sich in Gebieten mit erhöhtem Radonpotential. Bei 3208 Messungen mit dem Karlsruher Radonexposimeter wurde die Radon-Situation von Schülern und dem Schulpersonal in Baden-Württemberg bestimmt und ausgewertet. Im Anschluss an die passive Messkampagne wurden aktive Radonmessungen an auffälligen Schulen durchgeführt.

Im Rahmen von Informationsveranstaltungen wurden die betroffenen Schulangestellten und Schüler über das Thema Radon informiert.

Radonerhebungsmessung – eine Herausforderung in unbekanntem Gebäuden

Ziel der Radonerhebungsmessung ist eine möglichst umfassende Bestimmung der Radon-Situation an baden-württembergischen Schulen. Die passiven Radonmessgeräte werden aufgrund der großen Anzahl und der kurzen Projektdauer parallel an den Schulen ausgelegt. Aus diesem Grund wurde ein Online-Portal für die Schulen eingerichtet. Für die Teilnahme an der Erhebungsmessung wurden die Schulen gebeten, einen Fragebogen mit 13 Fragen zu ihrer Schule und ihrem Schulgebäude auszufüllen. Mithilfe der daraus resultierenden Informationen konnte das Labor automatisiert eine Messgerätezuordnung für die teilnehmenden Schulen vornehmen.

In die Messgerätezuordnung fließen u.a. Antworten auf die Fragen „Ist Ihre Schule unterkellert?“ oder „Wie viele häufig genutzte Räume (wie Klassenzimmer, Hausmeisterbüros, etc.) befinden sich in Ihrem Erdgeschoss?“ ein. Der Fragebogen hat dem Labor eine möglichst aussagekräftige Verteilung der rund 3000 Messorte auf die teilnehmenden baden-württembergischen Schulen ermöglicht. Neben der Verteilung der Messgeräte wurde mit dem Online-Portal eine umfangreiche Messgeräteverwaltung geschaffen. Teilnehmende Schulen erhielten die Möglichkeit, die Daten ihrer Radon-Messgeräte (u.a. Messperiode, Messort, Raumnutzung, etc.) online einzutragen und dem Radonlabor für die darauffolgende Auswertung zur Verfügung zu stellen. Mithilfe des Online-Portals konnten unter relativ geringem administrativem Aufwand ausreichend viele Informationen seitens der Schulen für die Auswertung gesammelt werden [4].



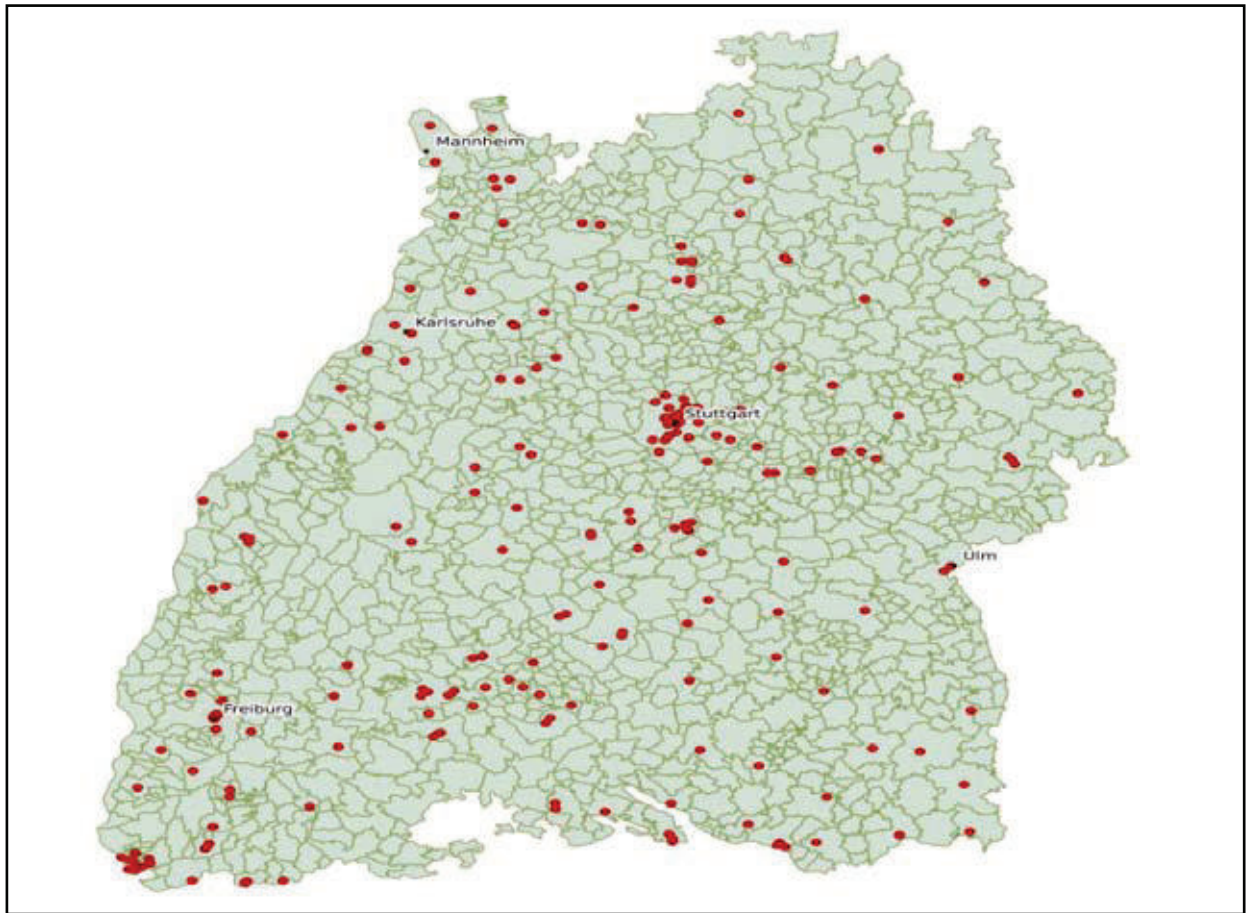


Abb. 3: Örtliche Verteilung der teilnehmenden Schulen; Im Hintergrund sind die Umrisse der Gemeinden in Baden-Württemberg eingezeichnet.

### Teilnehmende Schulen in Baden-Württemberg

Mit 226 teilnehmenden Schulen – das entspricht einer Teilnehmerquote von 14,7% - konnte das Projekt der Radonerhebungsmessung gestartet werden. Die teilnehmenden Schulen sind homogen über gesamt Baden-Württemberg verteilt. Es nehmen ausreichend viele Schulen in sowohl radongefährdeten Bereichen, als auch Bereichen mit geringerer Radonbodenluftkonzentration teil.

### Zusammenstellung der erzeugten Ergebnisse

Nach Auswertung von 2671 Exposimetern wurden 48 Schulen identifiziert, welche Aufenthaltsräume mit durchschnittlichen Radonkonzentrationen über dem Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> aufweisen. Insgesamt wurden 128 Schulen identifiziert, in denen Aufenthaltsräume mit Radonkonzentrationen größer 100 Bq/m<sup>3</sup> existieren.

Zur Überprüfung der allgemeinen Radon-Situation der teilnehmenden Schulen werden die Ergebnisse der pas-

siven Radonmesskampagne herangezogen. Eine Unterscheidung der Radonkonzentration am Tag und der Nacht sowie während der Ferienzeiten ist mittels passiver Messung nicht möglich. Bei auffälligen Messergebnissen sind weitere aktive Messungen an den Schulen vor Ort notwendig, um die Radon-Situation für die jeweilige Schule während der Aufenthaltszeit zu bestimmen. An 13 besonders auffälligen Schulen wurden aktive Radonmessungen zur Prüfung der Radonkonzentration unter Einbeziehung des Lüftungsverhaltens durchgeführt.

### Passive Messkampagne

Rund 83 % der Radonmessgeräte wurden nach dem Einsatz in den Schulen wieder funktionstüchtig an das Labor zurückgesendet. Nur wenige Messgeräte konnten nicht ausgewertet werden oder sind während der Messung verloren gegangen. Die Ergebnisse der passiven Radonmesskampagne können unter verschiedenen Gesichtspunkten ausgewertet werden. Im Folgenden ist ein Teil der grundlegenden Ergebnisse zusammengefasst:

- In 128 von 1826 Aufenthaltsräumen wurde eine Radonkonzentration über dem neu definierten Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> festgestellt.
- Rund ein Viertel der untersuchten baden-württembergischen Schulen weisen mindestens einen Aufenthaltsraum auf, in dem der Radon-Referenzwert von 300 Bq/m<sup>3</sup> überschritten ist.

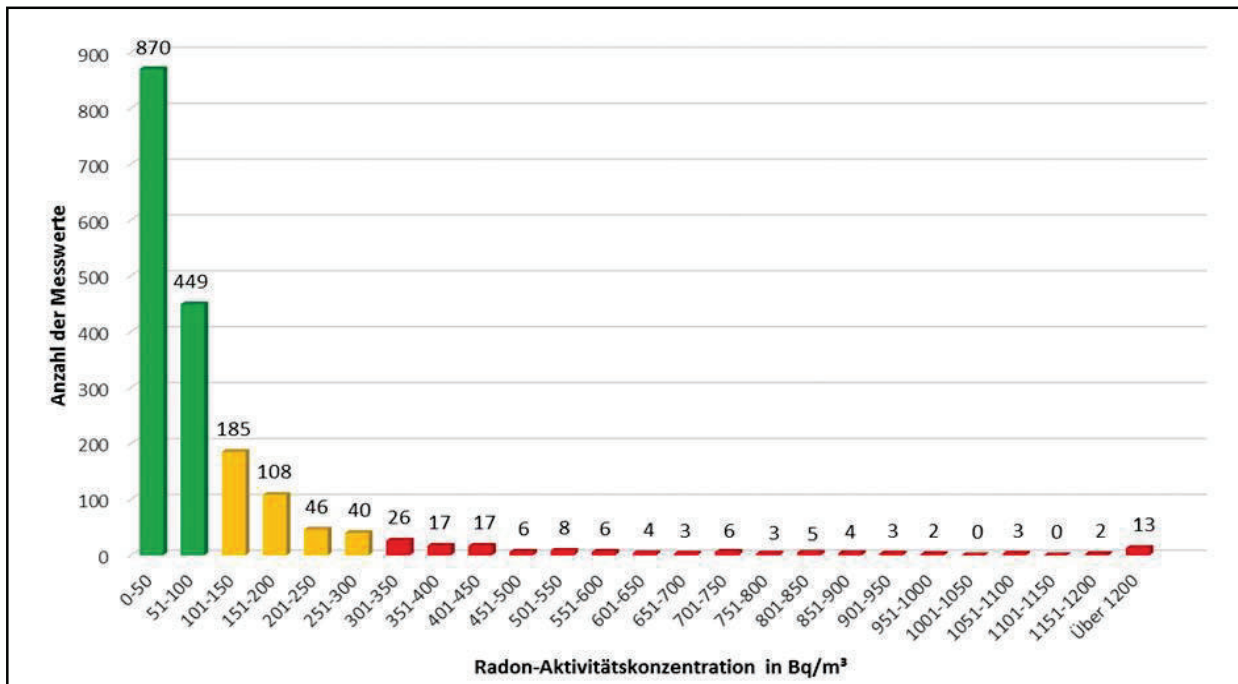


Abb. 4: Verteilung der Radonmesswerte in Aufenthaltsräumen in baden-württembergischen Schulen; Aufteilung in Radonkonzentrationsklassen Grün: Werte bis 100 Bq/m<sup>3</sup>; Gelb: Werte zwischen 100 und 300 Bq/m<sup>3</sup>; Rot: Referenzwertüberschreitung

### Aktive Messkampagne

Zur Prüfung der Radonkonzentration während Tag- und Nachtzeiten sowie der Radonkonzentration an nicht gelüfteten Tagen, wie beispielsweise Ferienzeiten, wurden aktive Radonmessungen an auffälligen Schulen angeboten.

Für aktive Radonmessungen werden die zu messenden Räume für mehrere Stunden/Tage nicht gelüftet, um eine angereicherte Radon-Konzentration zu messen. Anschließend wird ein Lüftungsprofil des Raumes aufgenommen, um die Radonkonzentration bei größerem Luftwechsel zu simulieren und Empfehlungen für die betroffenen Schulen aussprechen zu können.

### Diskussion

Ziel des BWPLUS-Projektes „Radon in baden-württembergischen Schulen“ war es, einen ersten Überblick über die Radon-Aktivitätskonzentrationen in Bildungseinrichtungen des Landes zu erhalten.

Die Ergebnismitteilung an die Schulen fand zweigleisig statt. Schulen, an denen Aktivitätskonzentrationen oberhalb des zukünftigen Referenzwertes von 300 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen gemessen wurden, erhielten ein gesondertes Antwortschreiben, in dem eine aktive Radonmessung vor Ort empfohlen und angeboten wurde.

Ein sehr wichtiger Aspekt des Projektes bestand in der Information sowie der Aufklärung interessierter Kreise, wie Lehrern, Schülern, Eltern etc. Zu diesem Zweck wurden Informationsmaterialien erstellt und mehrere Vor-Ort-Termine an Schulen durchgeführt. Insgesamt lag die Aktivitätskonzentration bei 7 % aller Messpunkte (128 Messwerte) oberhalb von 300 Bq/m<sup>3</sup>, bei 28 % aller Messpunkte (507 Messwerte) über 100 Bq/m<sup>3</sup>.

In 48 von 172 Schulen mit Aufenthaltsräumen wurde mindestens ein Aufenthaltsraum mit Referenzwertüberschreitung festgestellt. Entsprechend weisen mehr als jede vierte gemessene Schule Referenzwertüberschreitungen auf. In 128 von 172 Schulen wurden Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen von größer 100 Bq/m<sup>3</sup> gemessen.

Insgesamt fanden 1010 Radonmessungen mit rund mindestens 50 % Messdauer während der Heizperiode statt. Zusätzlich weisen alle Messungen eine Messdauer größer als 2 Monate auf.

Aufgrund der geringen Fallzahlen und der großen Anzahl an Einflussparametern auf die Radonkonzentration in Innenräumen konnten mit dem durchgeführten Projekt „Radon in Schulen“ keine Korrelationen zwischen dem Gebäudealter und der Durchführung von energetischen Sanierungen auf die Radon-Aktivitätskonzentration in Innenräumen festgestellt werden.

Auch in geologischen Bereichen mit geringen Radonbodenluftkonzentrationen wurden Referenzwertüberschreitungen in Aufenthaltsräumen festgestellt. Die höchsten gemessenen Radonzentrationen wurden in Bereichen mit geringer Radonbodenluftkonzentration festgestellt.

#### Danksagung

Ein besonderer Dank gilt dem Ministerium für Umwelt, Klima, und Energiewirtschaft Baden-Württemberg, welches das Projekt „Radon in baden-württembergischen

Schulen“ im Rahmen des Förderprogramms BWPLUS (Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage Umwelt und ihre Sicherung) unterstützt.

#### Literaturverzeichnis

- Richtlinie 2013/59/EURATOM DES RATES 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, 17.01.2014
- WHO handbook on indoor radon: a public health perspective, 2009
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Radon, Merkblätter zur Senkung der Radonkonzentration in Wohnhäusern, Bonn 2004

#### Über die Autoren

Ingo Fesenbeck, Christian Naber, Christian Wilhelm, Melanie Schaller: Sicherheit und Umwelt, Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland

Internetauftritt Radon in Schulen: <https://www.sum.kit.edu/Schulen.php>

---

## Kosteneffiziente und prozesssichere Radonsanierung im Bestand

Richard Zinken

RADON – mittlerweile auch in Deutschland über die in 2018 erfolgte Änderung des Strahlenschutzgesetzes als Problem erkannt, ist in der Bevölkerung nach wie vor quasi unbekannt und die Fachwelt scheint vor dem Problem der Radon-Sanierung im Bestand zu erstarren. Als wesentlicher, blockierender Faktor der Radonsanierung wurden die fehlende Prozesssicherheit und die nicht kalkulierbaren Kosten erkannt. Auf Basis der Erkenntnisse mehrerer tausend Radon-Sanierungen in Skandinavien wurde das Verfahren in Deutschland weiter zur prozesssicheren und zugleich kosteneffizienten/-günstigen Lösung weiterentwickelt. Corroventa beschränkt sich wie auch im Bereich der Trocknung auf die Weiterentwicklung und Produktion der erforderlichen Systeme und die Ausbildung in den entsprechenden Sanierungsprozessen. Die Sanierung selbst erfolgt dann durch die ausgebildeten Fachpartner.

### 1. Veranlassung

Der Schutz der Bevölkerung vor den Gesundheitsgefahren, die von dem natürlichen, radioaktiven Gas Radon und

der in Gebäuden auftretenden Anreicherung dieses Gases ausgehen, wurde sehr lange diskutiert und zuletzt auch in Deutschland mit der Novelle des Strahlenschutzgesetzes Anfang 2018 endlich in Angriff genommen. Dabei wurde im Wesentlichen das Risiko, aufgrund der Belastung mit Radon an Lungenkrebs zu erkranken, untersucht und zugrunde gelegt. Studien aus anderen Ländern, wie Japan, China und Schweden zeigen aber darüber hinaus auch den Zusammenhang der Radonbelastung in Wohngebäuden und anderen Erkrankungen. Ein signifikanter Zusammenhang der Häufigkeit von Leukämieerkrankungen bei Neugeborenen und der Radon-Konzentration wird nun mittlerweile auch unter dem Punkt „IONISIERENDE STRAHLUNG“ auf [www.bfs.de](http://www.bfs.de) zumindest erwähnt und bestätigt. Bei der Festlegung der zulässigen Belastung der Bevölkerung wurde dieser Aspekt nicht berücksichtigt.

Leider wurde nur ein wenig greifbarer und nicht für alle Gebäude vorgeschriebener „Referenzwert“ von 300Bq/m<sup>3</sup> angegeben, welcher nach Studien der WHO zu einem Krebsrisiko 1:500 führt. Diese Festlegung auf einen Wert, der die Gefährdung der Bevölkerung in Kauf zu