

Abschlussbericht

Radon in baden-württembergischen Schulen

von

Ingo Fesenbeck, Gerhard Frank
Christian Naber, Christoph Wilhelm

Karlsruher Institut für Technologie
Sicherheit und Umwelt

Förderkennzeichen: L75 13011

Laufzeit: 01.12.2013 - 31.12.2016

Die Arbeiten dieses Projekts wurden mit Mitteln
des Landes Baden-Württemberg durchgeführt.

Dezember 2017



Baden-Württemberg

MINISTERIUM FÜR UMWELT, KLIMA UND ENERGIEWIRTSCHAFT

Inhalt

1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Grundlagen.....	2
2.1 Natürliche Strahlenexposition durch Radon.....	2
2.2 Messung der Radonkonzentration	3
2.2.1 Passive Radonmesstechnik mittels Karlsruher Kernspurexposimeter	4
2.2.2 Aktive Radonmessung	4
3. Vorbereitung der Radonmesskampagne.....	5
3.1 Auswahl der Schulen	5
3.2 Sammeln der Kontaktinformationen.....	6
3.3 Online-Portal Radon in Schulen.....	7
3.3.1 Anmeldung mit Schulfragebogen	7
3.3.2 Eingabe von Adress- und Kontaktdaten.....	9
3.3.3 Eingabe von Daten zu den Messungen	9
3.3.4 Ergebnisberichtsanzeige	9
3.4 Bereitstellung von Informationsmaterialien	10
4. Radon-Erhebungsmessung.....	11
4.1 Einladung.....	11
4.2 Auswertung der Schulfragebögen.....	12
4.3 Allgemeine Informationen	12
4.3.1 Bauliche Informationen	13
4.4 Teilnehmende Schulen	15
4.5 Zuordnung der Radonmessgeräte	15
4.6 Start der Messkampagne.....	16
4.7 Rückversand der Radonmessgeräte.....	17
4.8 Auswertung und Ergebnisberichterstellung.....	17
4.9 Gebäudespezifische Radonmessung	18

4.9.1	Aktive Radonmessung vor Ort	18
4.9.2	Informationsveranstaltungen.....	18
5.	Ergebnisse der Messkampagne	19
5.1	Passive Radonmesskampagne.....	19
5.1.1	Statistische Auswertung der Radonmesswerte.....	19
5.1.2	Auswertungen mittels Geoinformationssystem	25
5.2	Gebäudespezifische Radonmessungen	28
5.3	Messung und Abschätzung von Personendosen.....	33
6.	Zusammenfassung.....	34
7.	Literaturverzeichnis	36
8.	Anhang.....	37

1. Einleitung und Zielsetzung

Mit durchschnittlich 1,1 mSv effektiver Dosis pro Jahr entsteht durch Radon und seine Folgeprodukte der größte Anteil der natürlichen Strahlenexposition bei der Bevölkerung in Deutschland [1].

Mit Erlass des Strahlenschutzgesetzes [2] wird die EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM vom 17.01.2014 [3] in Deutschland in nationales Recht umgesetzt. Hier sind neben der Bestimmung der Radonexposition an Arbeitsplätzen auch Aufenthaltsräume in öffentlichen und privaten Gebäuden berücksichtigt. Mit der Definition eines Radon-Referenzwertes von 300 Bq/m³ sowie der Erstellung eines nationalen Radonmaßnahmenplans sollen die langfristigen Risiken der Radonexposition in Deutschland minimiert werden.

Nach umfangreichen Messungen der Radonkonzentration in Wasserwerken und Wasseraufbereitungsanlagen im Rahmen eines BWPLUS-Projektes im Jahr 2009 [4] ist nun die Situation der Schüler, Lehrer und Mitarbeiter von Schulen in Baden-Württemberg im Hinblick auf eine mögliche Gefährdung durch Radon-222 und Radonfolgeprodukten untersucht worden. Im Vorfeld dieses Projekts durchgeführte aktive und passive Messungen in Schulen in Weil am Rhein und im Landkreis Lörrach haben teilweise erhöhte Radonkonzentrationen mit Werten bis zu 1915 Bq/m³ ergeben, so dass eine entsprechende Erhebung in weiteren Schulen in Baden-Württemberg zweckmäßig erschien.

Ziel des Projekts „Radon in Schulen“ war es, eine flächendeckende Erhebungsmessung der Radonraumluftkonzentration in baden-württembergischen Schulen durchzuführen und mögliche Gefährdungen durch Radon und die Radonfolgeprodukte für Schüler und Schulangestellte zu untersuchen.

In Zusammenarbeit mit dem Umweltministerium und dem Kultusministerium Baden-Württemberg wurden Schulen im ganzen Land durch ein Informationsschreiben über das radioaktive Edelgas informiert und zur Radon-Erhebungsmessung eingeladen.

Mit dem Ziel, die Radonthematik in der Öffentlichkeit bekannter zu machen und über die Neuerungen im Strahlenschutzrecht zu informieren, wurden neben den Messungen der möglichen Radonexposition in den Schulen im Rahmen des Projekts auch Informationsveranstaltungen für die Kommunen, das Lehrerkolloquium, sowie für interessierte Eltern und Schüler vorgesehen.

2. Grundlagen

2.1 Natürliche Strahlenexposition durch Radon

Die natürliche Strahlenexposition des Menschen entsteht durch die Strahlung aus dem Boden und dem Weltall, durch die Aufnahme von natürlichen radioaktiven Stoffen über die Nahrung sowie durch die Inhalation des radioaktiven Edelgases Radon. Radon stammt aus dem Zerfall von Uran, das sich natürlicherweise in unserem Erdboden befindet. Das radioaktive Edelgas und seine Folgeprodukte tragen rund 50 % zur natürlichen Strahlenexposition der Bevölkerung bei [5].

Über die Atmung (siehe Abbildung 1) 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. Rund 5 % aller Lungenkrebstote sind auf das radioaktive Edelgas zurückzuführen. Etwa 96 % dieser Fälle sind Raucher [5] [6] [7].

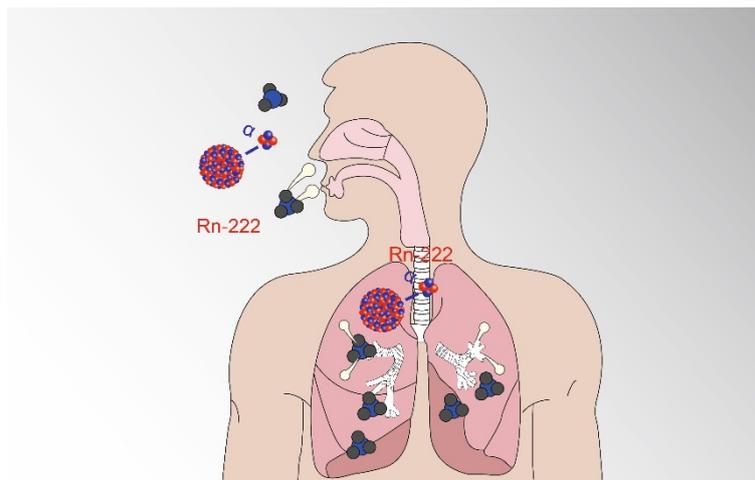


Abbildung 1: Inhalation von Radon und Radon-Folgeprodukten in die Lunge

Radon kann über Risse, Spalte oder Löcher aus dem Boden in das Gebäude gelangen und sich dort in der Raumluft anreichern. Je nach Bauweise, Alter und Zustand des Gebäudes kann die Radonkonzentration deutlich unterschiedliche Werte annehmen. Die Konzentration von Radon nimmt mit zunehmendem Stockwerk in der Regel ab. Sowohl die Luftwechselrate als auch die Gewohnheit der Nutzer (wie bspw. das Lüftungsverhalten) haben einen Einfluss auf die Radonkonzentration. In Abbildung 2 ist die schematische Verteilung der Radonkonzentration in einem Gebäude dargestellt. Die angegebenen Radonkonzentrationen in dieser Abbildung sind typische Werte für ein Gebäude in einem Gebiet mit hoher Radonbodenluftkonzentration.



Abbildung 2: Verteilung der Radonkonzentration in einem Gebäude;
Beispielwerte für ein Wohnhaus in einem Gebiet mit hoher Radonbodenluftkonzentration

2.2 Messung der Radonkonzentration

Grundsätzlich unterscheidet man bei der Messung der Radonkonzentration zwischen passiven und aktiven Messmethoden:

Passive Radonmessungen können mittels Kernspurdetektoren oder Aktivkohle durchgeführt werden. Dabei wird eine Messkapsel oder eine Dose mit Aktivkohle für einen längeren Zeitraum ausgelegt und anschließend in einem Labor ausgewertet. Das Messgerät besitzt keine Anzeige und benötigt keine elektrische Versorgung.

Im Gegensatz zur passiven Bestimmung der Radonkonzentration wird bei aktiven Messmethoden der Radongehalt in einer Messkammer oder auf einen Filter direkt vor Ort gemessen. Aktive Radonmessgeräte besitzen eine feste Stromversorgung oder eine Batterie und können in der Regel die durchschnittliche Radonkonzentration über einen kurzen Zeitraum ermitteln. Die Radonkonzentration kann in der Regel direkt am Messgerät abgelesen und für spätere Auswertungen gespeichert werden. Aktive Radonmessgeräte werden insbesondere für die Bestimmung der zeitaufgelösten Radonkonzentration in Innenräumen verwendet.

Im Projekt „Radon in baden-württembergischen Schulen“ wurden sowohl passive als auch aktive Messmethoden eingesetzt. Die flächendeckende Radon-Erhebungsmessung wurde mit passiven Kernspurdetektoren durchgeführt. Aktive Messgeräte wurden insbesondere bei auffälligen Werten zur weiteren Erkundung eingesetzt.

2.2.1 Passive Radonmesstechnik mittels Karlsruher Kernspurexposimeter

Zur Bestimmung der Radon-222-Raumluftkonzentrationen wird am Radonlabor des KIT ein passives Messverfahren mit Kernspurdetektoren angewandt. Es kann zur Bestimmung der Radonraumluftkonzentration und zur Personendosisüberwachung eingesetzt werden. Die Messung funktioniert nach folgendem Prinzip:

- Radon-222 gelangt durch eine Filtermembran in die halbkugelförmige Messkammer. Dort befindet sich ein kreisförmiger Detektor aus Polycarbonatfolie.
- Die von Radon-222 und den Folgeprodukten ausgehende Alpha-Strahlung verursacht nicht sichtbare Schädigungen im Detektormaterial (Kernspuren).
- Wird die Polycarbonatfolie chemisch und elektrochemisch geätzt, entstehen um die von Radon-222 und seinen Folgeprodukten erzeugten Kernspuren sichtbare Ätzkrater, die mit optischen Methoden ausgewertet werden können.
- Anhand der Anzahl von Kernspuren bzw. deren Ätzkratern pro Fläche kann mittels einer Kalibrierfunktion die Radon-222-Exposition bestimmt werden.

Eine schematische Darstellung des Messprinzips des Karlsruher Kernspurexposimeters zeigt Abbildung 3.

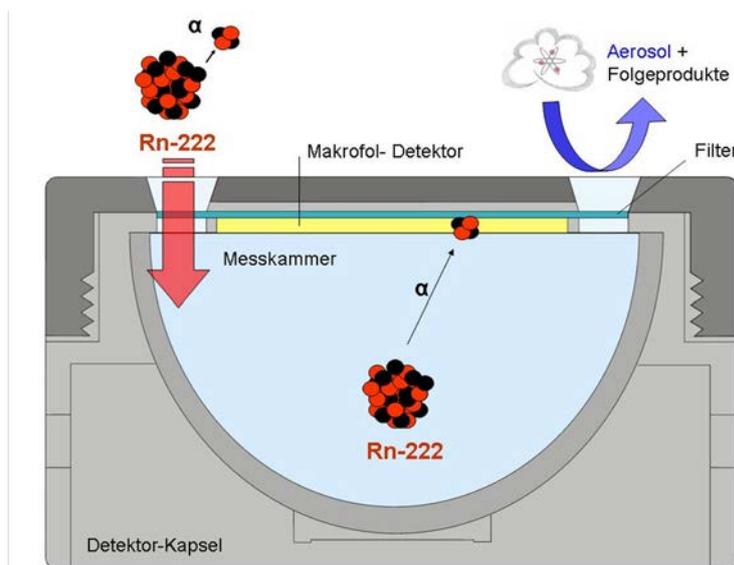


Abbildung 3: Messprinzip des Karlsruher Kernspurexposimeters

2.2.2 Aktive Radonmessung

Die aktiven Radonmessungen für dieses Projekt wurden mit dem Messgerät Alpha-GUARD der Firma Saphymo durchgeführt. Zur Bestimmung von Lüftungsprofilen oder von zeitlichen Verläufen der Radonkonzentration während der Nutzung wurde das Messgerät im sogenannten Diffusionsmodus betrieben, der eine zeitliche Auflösung von 10 Minuten gewährleistet. Die Bestimmung von Eindringpfaden erfolgte im so genannten Durchflussmodus, der eine zeitliche Auflösung von 1 Minute ermöglicht.

3. Vorbereitung der Radonmesskampagne

3.1 Auswahl der Schulen

Zu Beginn des Projekts lag eine Liste mit rund 1000 Schulen eines vorangegangenen Schulprojekts des Umweltministeriums vor. Diese können für das Bundesland Baden-Württemberg als repräsentativ angesehen werden.

Über Informationen aus der Radonbodenluftkarte des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) [12] (siehe Abbildung 18) wurden die in Tabelle 1 aufgeführten Postleitzahl-Bereiche als potenziell radongefährdet ausgewählt. Auf Basis von Erkenntnissen des Radonlabors aus vorangegangenen Messungen wurden hier die Bereiche „Lörrach“ und „Stuttgart“ ergänzt. 200 der oben genannten Schulen sind diesen „radongefährdeten“ Bereichen zuzuordnen. Um diese Anzahl zu erhöhen, wurde über diese Bereiche eine zusätzliche Schul-Suche [8] durchgeführt. Auf diese Weise wurden 550 weitere Schulen aus Bereichen mit erhöhter Radonbodenluftkonzentration gefunden. Diese wurden der ursprünglichen Liste hinzugefügt.

Tabelle 1: Bereiche in Baden-Württemberg, in denen mit erhöhter Radonkonzentration in der Raumluft gerechnet werden kann.

Postleitzahl-Bereich	Stadt	Kriterium
70000-70629	Stuttgart	Messwerte Radonlabor
72000-72149	Tübingen	Radonbodenluftkarte
72150-72189	Horb	Radonbodenluftkarte
72700-72829	Reutlingen	Radonbodenluftkarte
78000-78089	Villingen-Schwenningen	Radonbodenluftkarte
78090-78149	Triberg	Radonbodenluftkarte
78150-78199	Donaueschingen	Radonbodenluftkarte
78500-78609	Tuttlingen	Radonbodenluftkarte
79000-79299	Freiburg	Radonbodenluftkarte
79500-79599	Lörrach	Messwerte Radonlabor
79640-79699	Zell	Radonbodenluftkarte
79700-79739	Bad Säckingen	Radonbodenluftkarte
79810-79879	Titisee-Neustadt	Radonbodenluftkarte

In Abbildung 4 sind die Schulen, die für die Teilnahme an dem Projekt vom Radonlabor angeschrieben wurden, auf der Baden-Württemberg-Karte abgebildet.

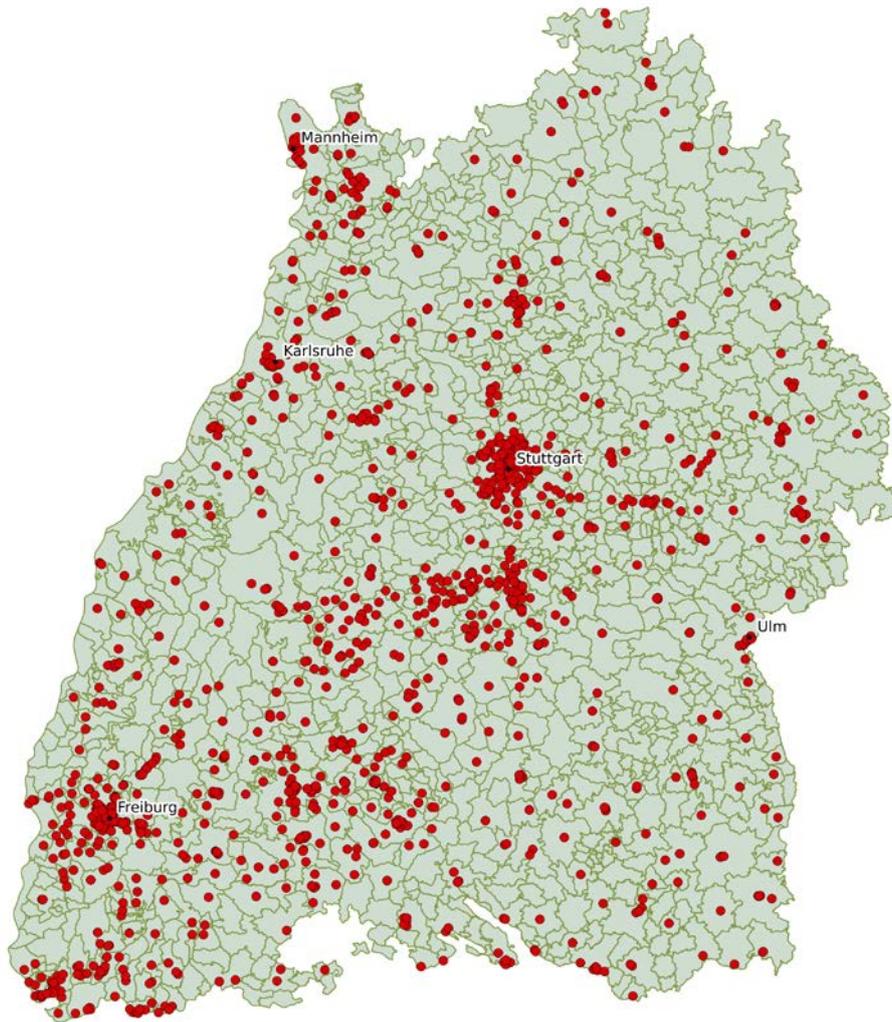


Abbildung 4: Örtliche Lage der zur Radon-Erhebungsmessung eingeladenen Schulen (Umrisse: Kommunen)

3.2 Sammeln der Kontaktinformationen

Um den Start der Messkampagne und den Informationsfluss zu besprechen, wurden Gespräche mit dem Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg und dem Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg geführt. Am gemeinsamen Treffen am 15. September 2014 konnten offene Fragen zum Ablauf und dem eigentlichen Kontakt besprochen werden.

Leider konnte die Zuordnung der Schulträger zu den Schulen durch das Kultusministerium aus administrativen Gründen nicht geliefert werden. Somit konnte die Etablierung der Messkampagne nicht über die Schulträger erfolgen. Stattdessen wurden die Schulleitungen als Ansprechpartner ausgewählt. Auch die Adressen der rund 1000 Schulen des vorangegangenen Projekts lagen nicht vollständig vor. Die Vervollständigung mit Straßennamen und Hausnummern erfolgte über Internetrecherchen seitens des Radonlabors.

3.3 Online-Portal Radon in Schulen

Um den Aufwand der Radonerhebungsmessung für die Schulen möglichst praktikabel zu gestalten und gleichzeitig eine schnell verfügbare Dokumentation zu gewährleisten, wurde ein Online-Portal erstellt. Dieses enthielt folgende Anwendungen:

- Anmeldung zur Radonmesskampagne mit einem Fragebogen
- Eingabe der Kontaktdaten der Schule
- Eingabe der notwendigen Daten zur Dokumentation der Messungen
- Anzeige der Ergebnisberichte

Das Online-Portal wurde mit einem schulspezifischen Zugang versehen, so dass alle angeschriebenen Schulen die Möglichkeit hatten, sich an der Radon-Erhebungsmessung anzumelden und weitere für das Projekt notwendige Daten für die Kampagne dem KIT-Radonlabor zur Verfügung zu stellen [9]. Im Folgenden sind die Anwendungen aus dem Portal näher beschrieben.

3.3.1 Anmeldung mit Schulfragebogen

Zur Teilnahme an der Radonmesskampagne wurden die Schulen gebeten, einen Fragebogen mit gebäudespezifischen sowie weiteren allgemeinen Fragen zur Schule auszufüllen. Der Fragebogen für die Anmeldung an der Radonmesskampagne ist in zwei Teile untergliedert. Der erste Teil umfasst allgemeine Informationen zur Schule wie Schüleranzahl und die Frage, ob Radon bereits als natürliche Strahlenbelastung bekannt ist.

Der zweite Teil des Fragebogens befasst sich mit den baulichen Informationen des Schulgebäudes. Die Antworten dienten als Grundlage zur Festlegung der Anzahl und Zuordnung der Radonexposimeter an den teilnehmenden Schulen.

Folgende Informationen wurden in diesem Teil des Online-Portals abgefragt:

- Ist Ihre Schule unterkellert?: *Ja / Nein*
- Anzahl der Räume im Keller: *Kategorie (Auswahlmöglichkeit)*
- Gibt es Kellerräume, in denen sich Personen für längere Zeit aufhalten (Aufenthaltsdauer > 1 h pro Tag; z.B. Klassenzimmer, Werkräume, Hausmeisterbüro, Sporträume etc.)?: *Ja / Nein*
 - Falls ja, wie viele?: *Dateneingabe*
- Befindet sich in Ihrem Keller ein Heizungsraum?: *Ja / Nein*
- Haben Sie einen Erdkeller oder einen Kellerraum ohne gegossene Bodenplatte?: *Ja / Nein*

- Befindet sich in Ihrem Keller eine Be- oder Entlüftungsanlage?: *Ja / Nein*
- Wie viele häufig genutzte Räume befinden sich in Ihrem Erdgeschoss? (Aufenthaltsdauer > 1 h pro Tag; z.B. Klassenzimmer, Lehrerzimmer, Hausmeisterbüro, Aufenthaltsraum etc.)?: *Kategorie (Auswahlmöglichkeit)*
- Baujahr Ihrer Schule: *Dateneingabe*
- Wurden in Ihrer Schule energetische Sanierungen durchgeführt?: *Ja / Nein*
 - Falls ja, was wurde saniert und wann: *Bemerkungsfeld*

Die Definition für Aufenthaltsraum in § 5 (5) StrlSchG [2] lautet wie folgt:

„Aufenthaltsräume: Innenräume, die zum nicht nur vorübergehenden Aufenthalt von Einzelpersonen der Bevölkerung bestimmt sind, zum Beispiel in Schulen, Krankenhäusern, Kindergärten und zum Wohnen.“

Um dieser Definition gerecht zu werden, wurde vom Radonlabor des KIT der „nicht nur vorübergehende Aufenthalt“ mit > 1 h bei den Schulen festgelegt. In Abbildung 5 ist ein ausgefüllter Online-Fragebogen zur Ansicht abgebildet.

Allgemeine Informationen	
Schul-ID	SC9999
1.	Anzahl der Schüler: 100 - 250
2.	Haben Sie oder Ihre Kollegen sich in der Vergangenheit mit dem Thema "Radon als natürliche Strahlenquelle" auseinandergesetzt?: Ja
Bauliche Informationen	
3.	Ist Ihre Schule unterkellert?: Ja
a)	Anzahl der Räume im Keller: 7 - 11
b)	Gibt es Kellerräume, in denen sich Personen für längere Zeit aufhalten (Aufenthaltsdauer > 1h pro Tag; z.B. Klassenzimmer, Werkräume, Hausmeisterbüro, Sporträume etc.)?: Ja
c)	Falls ja, wie viele?: 2
d)	Befindet sich in Ihrem Keller ein Heizungsraum?: Ja
e)	Haben Sie einen Erdkeller oder einen Kellerraum ohne gegossene Bodenplatte?: Nein
f)	Befindet sich in Ihrem Keller eine Be- oder Entlüftungsanlage?: Nein
4.	Wie viele häufig genutzte Räume befinden sich in Ihrem Erdgeschoss? (Aufenthaltsdauer > 1h pro Tag; z.B. Klassenzimmer, Lehrerzimmer, Hausmeisterbüro, Aufenthaltsraum etc.)?: 12 - 15
5.	Baujahr Ihrer Schule: 1899
6.	Wurden in Ihrer Schule energetische Sanierungen durchgeführt?: Ja
a)	Falls ja, was wurde saniert und wann: Neue Fenster 2012; Volldämmung 2015

Abbildung 5: "Radon in Schulen"-Onlineportal: Anzeige Schulfragebogen nach erfolgter Messgerätezuordnung

3.3.2 Eingabe von Adress- und Kontaktdaten

Korrekturen, Aktualisierungen und Vervollständigungen von Adress- und Kontaktdaten konnten im Online-Portal eingebracht werden. Für die leichtere Kommunikation wurde um die Angabe einer E-Mail-Adresse und einer Telefonnummer gebeten.

3.3.3 Eingabe von Daten zu den Messungen

Zur Auswertung der passiven Radonmessgeräte sind weiterführende Informationen über die Expositionsdauer und den Expositionsort notwendig. Den Schulen wurde zur Dokumentation der Expositionsdaten eine weitere Eingabemaske im Online-Portal zur Verfügung gestellt. Folgende Daten wurden bei den Schulen abgefragt:

- Startdatum der passiven Radonmessung (Uhrzeit optional)
- Enddatum der passiven Radonmessung (Uhrzeit optional)
- Expositionsort (Raumbezeichnung)

Weitere Informationen zum Expositionsort, die nicht direkt für die Bestimmung der Radonkonzentration erforderlich sind, wurden für die spätere Auswertung der Messkampagne angefragt:

- Wie wird der Raum genutzt? (bspw. Klassenzimmer, Hausmeisterbüro, Werkraum, Heizkeller, Abstellraum etc.)
- Handelt es sich um einen Aufenthaltsraum? (Aufenthaltsdauer > 1 h pro Tag)

In Abbildung 6 ist ein Screenshot der Detektordateneingabe abgebildet.

Detektor-ID	RIS9992	Verloren	<input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein
Start Exposition	<input type="text" value="09.03.2015"/> <input type="text" value="11"/> : <input type="text" value="30"/> Uhr	Ende Exposition	<input type="text" value="10.03.2015"/> <input type="text" value="03"/> : <input type="text" value="45"/> Uhr
Expositionsort	<input type="text" value="Raum 12-2"/> (z.B. Bau 1 / Raum 2)		
Raumnutzung	<input type="text" value="Werkraum"/> (z.B. Klassenzimmer, Hausmeisterbüro, Werkraum, Heizkeller, Abstellraum etc.)		
Aufenthaltsraum	<input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein (Aufenthaltsdauer > 1h pro Tag)		
Detektor-ID	RIS9993	Verloren	<input checked="" type="radio"/> ja <input type="radio"/> nein
Start Exposition	<input type="text" value="03.03.2015"/> <input type="text" value="16"/> : <input type="text" value="00"/> Uhr	Ende Exposition	<input type="text" value="10.04.2015"/> <input type="text" value=""/> : <input type="text" value=""/> Uhr
Expositionsort	<input type="text" value="Raum 12-3"/> (z.B. Bau 1 / Raum 2)		
Raumnutzung	<input type="text" value="Hausmeisterbüro3"/> (z.B. Klassenzimmer, Hausmeisterbüro, Werkraum, Heizkeller, Abstellraum etc.)		
Aufenthaltsraum	<input type="radio"/> ja <input checked="" type="radio"/> nein (Aufenthaltsdauer > 1h pro Tag)		
Daten speichern			

Abbildung 6: "Radon in Schulen"-Onlineportal: Eingabemaske der Detektor-/Expositionsdetails

3.3.4 Ergebnisberichterstattung

Im Online-Portal Radon in Schulen wurde die Möglichkeit geschaffen, dass die Schulen ihre Messergebnisse nach erfolgter Auswertung in digitaler Form ansehen und herunterladen können.

3.4 Bereitstellung von Informationsmaterialien

Neben der Erhebungs-Messkampagne stand die Informationsweitergabe zum Thema „Radon – ein radioaktives Edelgas“ im Vordergrund des „Radon in Schulen“-Projekts. Dazu wurden Informationen zum Thema „Radon – ein radioaktives Edelgas“ gesammelt, in Flyern, Postern und Präsentationen aufbereitet und präsentiert

Der Flyer „Radon – Information zum radioaktiven Edelgas und zur Messung der Radonkonzentration“ (s. Anhang, Abbildung 28) enthält grundlegende Informationen zur Radonthematik und ist in folgende Themen gegliedert:

- Natürliche Radioaktivität
- Radon als natürliche Strahlenbelastung
- Wie kann Radon gefährlich werden?
- Regionale Radonverteilung (Bodenluft) in Baden-Württemberg
- Radon in Gebäuden
- Messung der Radonkonzentration in Innenräumen

Darüber hinaus wurden Poster zu folgenden Themen erstellt:

- Radon – ein radioaktives Edelgas
- Radonmessverfahren
- Radon sichtbar machen
- Radonschutzmaßnahmen

Die Poster wurden als Anschauungsmaterial für Fragen von interessierten Schülern und Schulangestellten während der aktiven Messkampagnen vor Ort aufgestellt. Im Anhang sind die Informationsposter als Abbildung 29 bis Abbildung 32 dargestellt.

Die für die im Projekt geplanten Informationsveranstaltungen vor Ort erstellte Präsentation enthält sowohl Grundinformationen zur Radioaktivität und dem radioaktiven Edelgas als auch Informationen zur Radonmesstechnik in Innenräumen. Damit soll eine möglichst umfassende Informationsweitergabe für die unterschiedlichen Zuhörerkreise gewährleistet werden.

Die Inhaltsthemen der Präsentation gliedern sich wie folgt:

- Vorstellung KIT und Radonlabor
- Radon – ein radioaktives Edelgas
- Strahlenexposition durch Radon
- Messtechnik (passiv und aktiv)
- Gesetzliche Grundlagen
- Informationen zum Projekt: Radon in Schulen

4. Radon-Erhebungsmessung

Im folgenden Kapitel wird die organisatorische Vorgehensweise der Radon-Erhebungsmessung in Baden-Württemberg in den einzelnen Unterpunkten beschrieben. Zum erleichterten Verständnis des Projektablaufes ist in diesem Bericht in Abbildung 7 eine schematische Zeichnung mit den einzelnen Schritten der Radonerhebungsmessung in baden-württembergischen Schulen dargestellt.

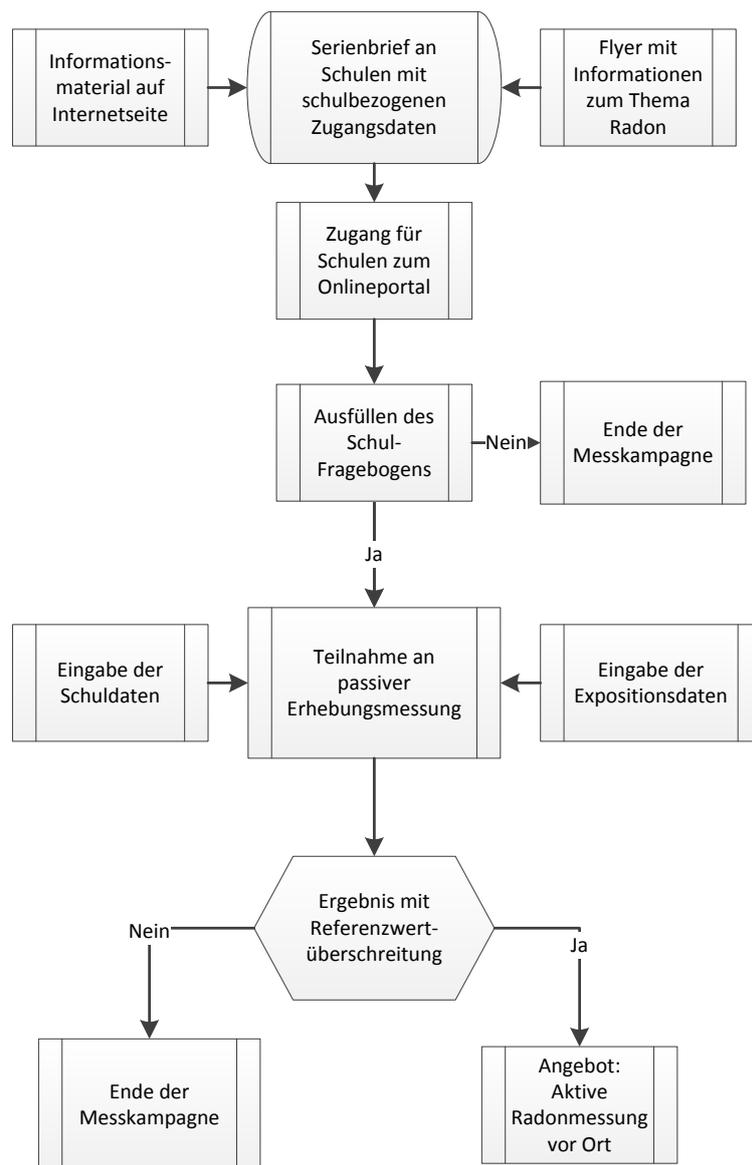


Abbildung 7: Schematischer Ablauf der Radonerhebungsmessung in Schulen

4.1 Einladung

Da die Schulträgerzuordnung des Kultusministeriums aus administrativen Gründen nicht übermittelt werden konnte, wurde nach Absprache mit dem Umweltministerium

die Einladung zur Radonerhebungsmessung über einen Serienbrief an die Schulleitungen versandt. Der Versand des ersten Serienbriefs mit 1550 Adressaten erfolgte am 2. Februar 2015. Ein Muster des Serienbriefs ist im Anhang in Abbildung 33 und Abbildung 34 dargestellt.

In diesem Brief wurden grundlegende Informationen zum Thema Radon, zur „Radon in Schulen“-Messkampagne und zur Messung der Radonkonzentration an die Schulen gegeben. Jedem Informationsschreiben wurde zusätzlich der Radon-Informationsflyer „Radon – Informationen zum radioaktiven Edelgas und zur Messung der Radonkonzentration“ beigelegt.

Nach dem Versand des ersten Serienbriefs haben sich bis zur gesetzten Anmeldefrist am 2. März 2015 153 Schulen für die Messkampagne angemeldet und den Schulfragebogen im Online-Portal ausgefüllt.

Durch einen zweiten Serienbrief am 15. Juni 2015 konnte die Zahl der teilnehmenden Schulen weiter erhöht werden. Zusätzliche Schulen haben sich durch persönliche Kontakte während der Messkampagne noch kurzfristig zur Teilnahme angemeldet, so dass am Ende 226 Schulen angemeldet waren.

Im nachfolgenden Kapitel sind die Ergebnisse der Schulfragebögen mit den teilnehmenden Schulen zusammengefasst.

4.2 Auswertung der Schulfragebögen

Während der Einladung zur Radonerhebungsmessung konnten rund 1550 Schulen über grundlegende Informationen zum radioaktiven Edelgas Radon und zur Messung der Radonkonzentration informiert werden. Der Bitte um Teilnahme an der Messkampagne sind 226 Schulen nachgekommen. Dies entspricht einer Teilnehmerquote von 14,7 %.

Die Auswertung der Schulfragebögen ergab 3092 Aufenthaltsräume im Erdgeschoss und Keller. Im Folgenden werden die Antworten der allgemeinen und baulichen Informationen der Schulfragebögen ausgewertet und grafisch dargestellt.

4.3 Allgemeine Informationen

Zu den allgemeinen Informationen des Schulfragebogens gehören die Anzahl der Schüler und die Frage „Haben Sie oder Ihre Kollegen sich in der Vergangenheit mit dem Thema "Radon als natürliche Strahlenquelle" auseinandergesetzt?“.

Lediglich 34 der 226 angemeldeten Schulen haben eine Schüleranzahl von weniger als 250 Schülern. Die Auswertung der Schüleranzahl ist in Tabelle 2 dokumentiert.

Tabelle 2: Auswertung der Schüleranzahl

Schüleranzahl	Anzahl der Schulen
<100	11
100-250	23
251-500	41
501-1000	103
1001-1500	35
>1500	13

Die Antworten auf die Frage: „Haben Sie oder Ihre Kollegen sich in der Vergangenheit mit dem Thema "Radon als natürliche Strahlenquelle" auseinandergesetzt?“ sind in der nachfolgenden Abbildung 8 dokumentiert.

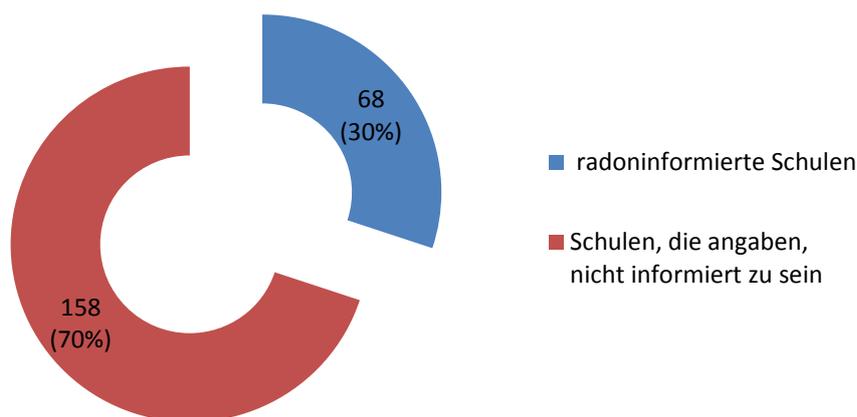


Abbildung 8: Auswertung der Fragestellung: „Haben Sie oder Ihre Kollegen sich in der Vergangenheit mit dem Thema "Radon als natürliche Strahlenquelle" auseinandergesetzt?“ (absolute und relative Anzahl).

4.3.1 Bauliche Informationen

Zur Verteilung der Radonexposimeter und zur Auswertung der passiven Radonerhebungsmessungen sind weiterführende bauliche Informationen von Interesse.

Informationen zur Unterkellerung

Ein Großteil der angemeldeten Schulen ist mit einem Keller ausgestattet. Lediglich 48 der 226 angemeldeten Schulen verfügen über eine direkte Bodenplatte und sind nicht teil- oder vollunterkellert. Die weiteren Informationen zur Unterkellerung und

den vorhandenen Räumen im Kellergeschoss aus der Erhebung wurden ebenfalls ausgewertet. Die Auswertungen der zusätzlichen Raum- und Gebäudeinformationen sind in Abbildung 9 zusammengefasst.

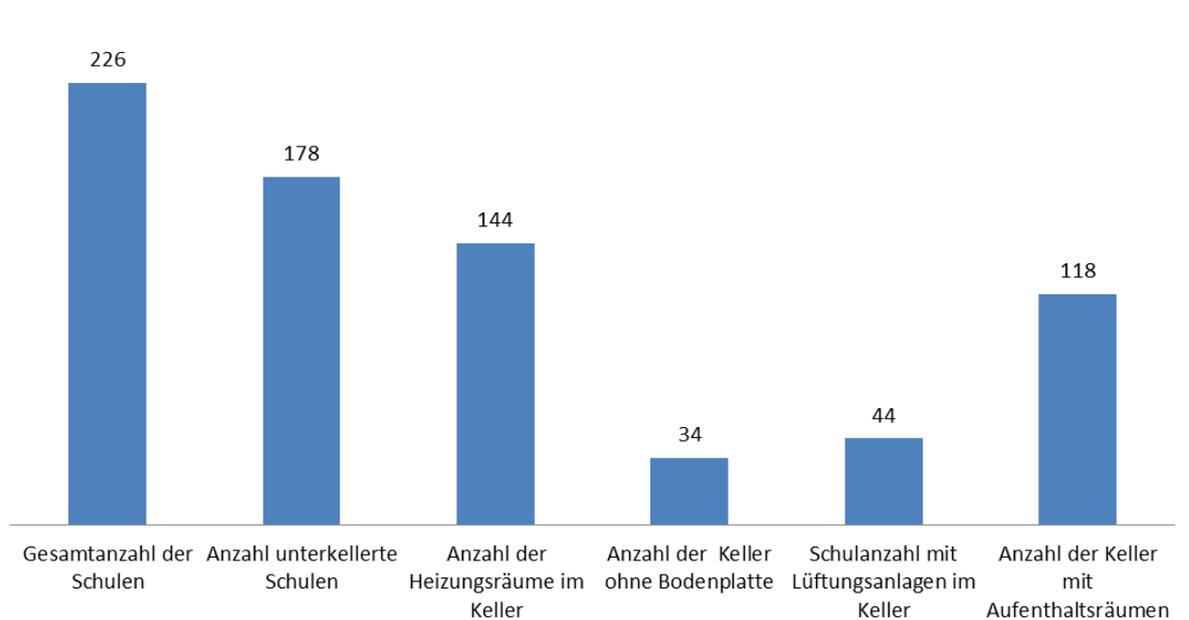


Abbildung 9: Informationen zur Anzahl der vorhandenen Kellerräume in den teilnehmenden Schulen

Informationen zur Anzahl der zu messenden Räume

Die für das Projekt vorgesehenen 3000 Radonmessungen wurden auf die teilnehmenden Schulen aufgeteilt. Anhand der Auswertung der vorhandenen Räume im Keller- und Erdgeschoss wurde geprüft, wie viele Messgeräte auf welche Schulräume verteilt werden. Die Radonmessgeräte wurden lediglich in Keller- und Erdgeschossräumen aufgestellt, damit mögliche Referenzwertüberschreitungen an den Schulen identifiziert werden können. Die Auswahl der Räume entspricht der künftigen Messpflicht im neuen Strahlenschutzgesetz [2]. Dort ist vorgesehen, dass in Radonvorsorgegebieten die Radonkonzentration an Arbeitsplätzen im Keller- und Erdgeschoss zu messen ist.

Die erste Auswertung aller Keller- und Erdgeschossräume der 226 teilnehmenden Schulen ergab eine Anzahl von 4103 Messräumen. Darunter befanden sich neben den Klassenzimmern und weiteren häufig genutzten Räumen ein Großteil von nicht und wenig genutzten Räumen wie bspw. Lagerräume.

Die Auswertung der häufig genutzten Räume mit Aufenthaltsdauern größer 1 h pro Tag ergab eine Gesamtzahl an 3092 vorhandenen Messräumen. Davon befanden sich 80 % in Erdgeschossen und 20 % in Kellergeschossen.

4.4 Teilnehmende Schulen

Zur kartografischen Ansicht sind in Abbildung 10 die an der Messkampagne angemeldeten Schulen in Baden-Württemberg dargestellt.

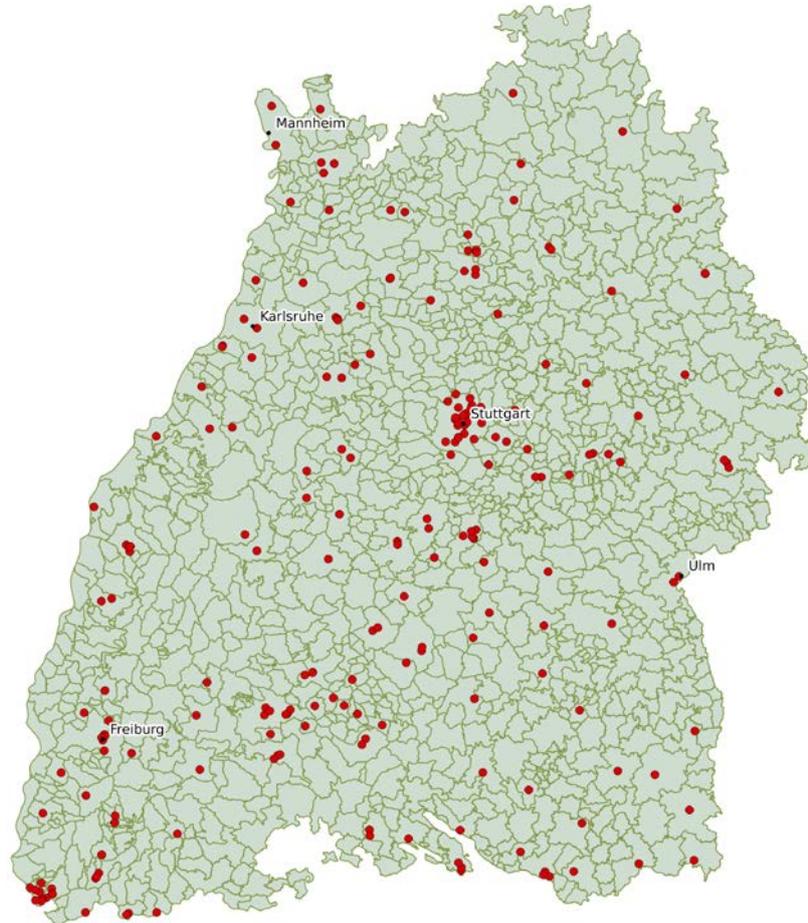


Abbildung 10: Örtliche Lage der teilnehmenden Schulen (Umrisse: Kommunen)

Die angemeldeten Schulen sind gleichmäßig über Baden-Württemberg verteilt. Eine größere Anzahl an teilnehmenden Schulen befindet sich im Großraum Stuttgart und den Städten Weil am Rhein und Lörrach.

Die Stadtverwaltung Weil am Rhein hat während der Messkampagne um eine nachträgliche Ausweitung der Messkampagne in Weil am Rhein gebeten. In diesem Zusammenhang wurden weitere Schulen im Stadtbereich an der Messkampagne angemeldet und es konnten zusätzliche Radonexposimeter in den Aufenthaltsräumen der teilnehmenden Schulen in Weil am Rhein ausgelegt werden.

4.5 Zuordnung der Radonmessgeräte

Die Auswertung der Schulfragebögen diente unter anderem zur Auswahl und Zuordnung der Radonmessgeräte für die teilnehmenden Schulen und zur Dokumentation

von baulichen Informationen wie bspw. dem Baujahr oder dem Stand der energetischen Sanierung für weitere Auswertungen.

Die Schulen erhielten für jeden Kellerraum mit Aufenthaltsdauern > 1 h pro Tag ein Messgerät. Zur ausreichenden Messabdeckung von Aufenthaltsräumen im Erdgeschoss wurden je nach Antworten folgende Anzahl an Messgeräten für das Erdgeschoss geliefert:

Tabelle 3: Zuordnung der Radonmessgeräte für Aufenthaltsräume im Erdgeschoss.

Antwortauswahl der Aufenthaltsräume EG	Zugeordnete Messgeräte
kleiner 4	3
4-6	5
7-11	9
12-15	12
größer 15	15

Räume in Obergeschossen wurden aufgrund der dort zu erwartenden geringeren Radonkonzentrationen nicht in die Messkampagne aufgenommen.

4.6 Start der Messkampagne

Nach der Zuteilung der Messgeräte wurden die Radonmessgeräte durch das Radonlabor verpackt und zusammen mit diversem Befestigungsmaterial zum Anbringen der Radonmessgeräte im Klassenraum sowie weiterführenden Informationen zur Messplatzauswahl, Messgerätebefestigung und allgemeinen Informationen versandt (s. Anhang, Abbildung 35, Abbildung 36, Abbildung 37).

Auch im Online-Portal waren die Informationen zur Dokumentation der Expositionsbedingungen und zum Rückversand der Radonmesskapseln zum KIT-Radonlabor hinterlegt.

Rund 2200 Messgeräte wurden im April 2015 versandt, ca. 800 weitere nach der zweiten Informationskampagne im Oktober 2015.

Die Schulen wurden gebeten, die Messgeräte nach einer 100-tägigen Auslegedauer an das Radonlabor zurückzusenden. Befand sich das Ende der Messperiode innerhalb einer Ferienzeit wurde eine selbständige Verlegung des Zeitraumes um ± 3 Wochen eingeräumt.

4.7 Rückversand der Radonmessgeräte

Nach der Exposition der Messgeräte wurden diese zum Radonlabor zurückgesandt. Dabei sollten die bereits für den Versand benutzten Aluminiumverbundtüten wiederverwendet werden. Die Schulen wurden informiert, dass die Messgeräte im Radonlabor ausgewertet werden, und die Ergebnisse in schriftlicher Form rund 2 Monate nach Messgeräteeingang versandt werden.

4.8 Auswertung und Ergebnisberichterstellung

Nach Eintreffen der Messgeräte am Radonlabor wurde die Eingabe der Expositionsdaten im Online-Portal für die jeweiligen Detektoren gesperrt, so dass keine nachträglichen Eintragungen oder Änderungen der Daten mehr möglich waren. Dies ist erforderlich, da die Expositionszeiten direkt in die Berechnung der Radonkonzentration eingehen. Die Messgeräte wurden chronologisch nach Eingang geätzt und ausgewertet.

Die Ergebnisse der passiven Radon-Erhebungsmessung wurden pro Schule und Messkampagne in einem Ergebnisbericht zusammengefasst. Zur Einschätzung der Messwerte wurde ein Informationsblatt mit weiterführenden Informationen zur Höhe des Messergebnisses und zur Erklärung der charakteristischen Grenzen des Kernstrahlungsmessverfahrens beigelegt (s. Anhang, Abbildung 40). Es wurde im Laufe der Messkampagne aufgrund der erhaltenen Rückmeldungen und Fragen fortlaufend aktualisiert. Die Ergebnisse wurden auf dem Postweg an die teilnehmenden Schulen gesendet sowie im Online-Portal als PDF-Datei zum Download zur Verfügung gestellt.

Bei der Ergebnisberichtübermittlung wurde je nach Höhe der gemessenen Radonkonzentration zwischen zwei Antwortschreiben unterschieden:

1. Schulen mit allen Messergebnissen kleiner 300 Bq/m^3

Die Ergebnisse wurden zusammen mit dem Informationsblatt mit weiterführenden Informationen zur Höhe des Messergebnisses an die teilnehmende Schule versandt.

2. Schulen mit mindestens einem Ergebnis größer 300 Bq/m^3

Die Ergebnisse wurden zusammen mit dem Informationsblatt mit weiterführenden Informationen zur Höhe des Messergebnisses an die teilnehmende Schule versandt. Im Anschreiben wurde die Referenzwertüberschreitung angesprochen und die teilnehmende Schule gebeten, sich mit dem Radonlabor in Verbindung zu setzen, um

weiterführende Informationen zu den gemessenen Räumen zu erhalten und eine gebäudespezifische aktive Messung an der Schule zu planen.

Im Anhang sind das Anschreiben und das Informationsblatt in Abbildung 38 bis Abbildung 40 dokumentiert.

4.9 Gebäudespezifische Radonmessung

4.9.1 Aktive Radonmessung vor Ort

Insgesamt wurde an 78 Schulen mindestens ein Radonmesswert von mehr als 300 Bq/m³ ermittelt. In 48 dieser Schulen handelt es dabei um Räume mit Aufenthaltsdauern größer einer Stunde am Tag.

Von den 78 im Anschreiben aufgeforderten Schulen haben sich 19 beim Radonlabor gemeldet. Mit diesen Schulen wurde das weitere Vorgehen aufgrund der Referenzwertüberschreitung besprochen und weitere Messungen, falls notwendig, an den Schulen geplant. Bei dem Teil der rückgemeldeten Schulen, bei dem die Referenzwertüberschreitungen in Räumen mit wenigen oder nicht vorhandenen Aufenthaltszeiten auftraten, wurden keine weiteren Messungen vereinbart. Somit wurden nach Rückmeldungen und Gesprächen letztlich in 13 der Schulen aktive Messungen durchgeführt. Es wurde die Auswirkung des mechanischen Lüftens und die Funktion von vorhandenen Lüftungsanlagen geprüft. Des Weiteren wurden in den exponierten Räumen Radoneindringpfade gesucht.

4.9.2 Informationsveranstaltungen

Den Schulen, bei denen eine Überschreitung des Referenzwertes aufgetreten war, wurde angeboten, im Rahmen einer Informationsveranstaltung die Lehrer und, falls gewünscht, die Öffentlichkeit über das Thema „Radon – ein radioaktives Edelgas“ zu informieren.

Zwei öffentliche Radoninformationsveranstaltungen wurden in Weil am Rhein und Lörrach gehalten. In einer weiteren Informationsveranstaltung konnten sowohl Schulleiter, als auch Mitarbeiter des Gebäudemanagements der Stadt Weil am Rhein über die Radonthematik informiert werden.

Darüber hinaus wurden während den Pausenzeiten der aktiven Radonmessung vor Ort mittels Postervorträgen oder PowerPoint-Präsentationen mehrere Kurzveranstaltungen für interessierte Schüler und Lehrer durchgeführt.

5. Ergebnisse der Messkampagne

Neben der statistischen Auswertung der erzeugten Radonmesswerte in Baden-Württemberg, wurden die Messwerte mit Hilfe eines Geoinformationssystems grafisch aufgearbeitet und im Bericht dargestellt, um einen Vergleich mit bereits vorhandenen Radonbodenluftkarten zu ermöglichen.

Das Hauptaugenmerk der Auswertung wurde auf die Schwellen der Radonkonzentration von 100 Bq/m³ und 300 Bq/m³ gelegt. 300 Bq/m³ entsprechen dem Referenzwert aus dem Strahlenschutzgesetz [2], 100 Bq/m³ dem Richtwert, der in der WHO-Empfehlung [10] angegeben ist.

5.1 Passive Radonmesskampagne

Im Folgenden werden die Ergebnisse der Radon-Erhebungsmessung mittels passiver Radonmesstechnik zusammengefasst. Die Ergebnisse wurden, sofern möglich, in grafischer Form dargestellt. Folgende Aspekte wurden hierbei insbesondere mit berücksichtigt:

- Einteilung der Radonmesswerte in Konzentrationsklassen zur Prüfung von Referenz- bzw. Richtwertüberschreitungen,
- Einfluss der Gebäudebeschaffenheit (Alter, Sanierungszustand, Lüftung),
- Einfluss der geografischen Lage.

5.1.1 Statistische Auswertung der Radonmesswerte

Insgesamt wurden 3208 Radonmessgeräte an die teilnehmenden Schulen versandt. 3092 der Messgeräte wurden aufgrund der Auswertung der Schulfragebögen und weitere 116 auf direkte Nachfrage der teilnehmenden Schulen zur Verfügung gestellt.

Ein Großteil der Radonmessgeräte wurde nach der Expositionszeit zur Auswertung an das Radonlabor zurückgesandt. Insgesamt konnten 2671 der 3208 versandten Radonmessgeräte ausgewertet werden. Dies entspricht einer Auswertequote von 83,3 %. Die restlichen Kapseln kamen teilweise entweder nicht zum Einsatz, konnten aufgrund von Vandalismus nicht ausgewertet (s. Abbildung 11) werden oder wurden als verloren gegangen gemeldet.

Die Auswertung der übermittelten Detektordetails der Schulmessungen ergab, dass lediglich 1826 der Kapseln in Räumen mit erhöhter Aufenthaltsdauer (größer 1 h pro Tag) ausgelegt wurden.



Abbildung 11: Beispielabbildung für nicht auswertbare Radondetektoren

Die individuellen Messdauern der Exposimeter lagen im Bereich zwischen 66 und 296 Messtagen. Alle Messungen wurden mindestens über 2 Monate durchgeführt und halten die geforderte Auslegedauer der Norm „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 - Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden“ [11] ein. Aufgrund der unterschiedlichen Informationskampagnen und dem administrativ bedingten, abweichenden Messgeräteversand wurden die Messungen an den Schulen zu unterschiedlichen Zeiten durchgeführt. Ein Teil der Messungen wurde im Frühjahr, der andere Teil im Spätjahr begonnen. In Abbildung 12 ist der Startmonat der einzelnen Messungen dokumentiert.

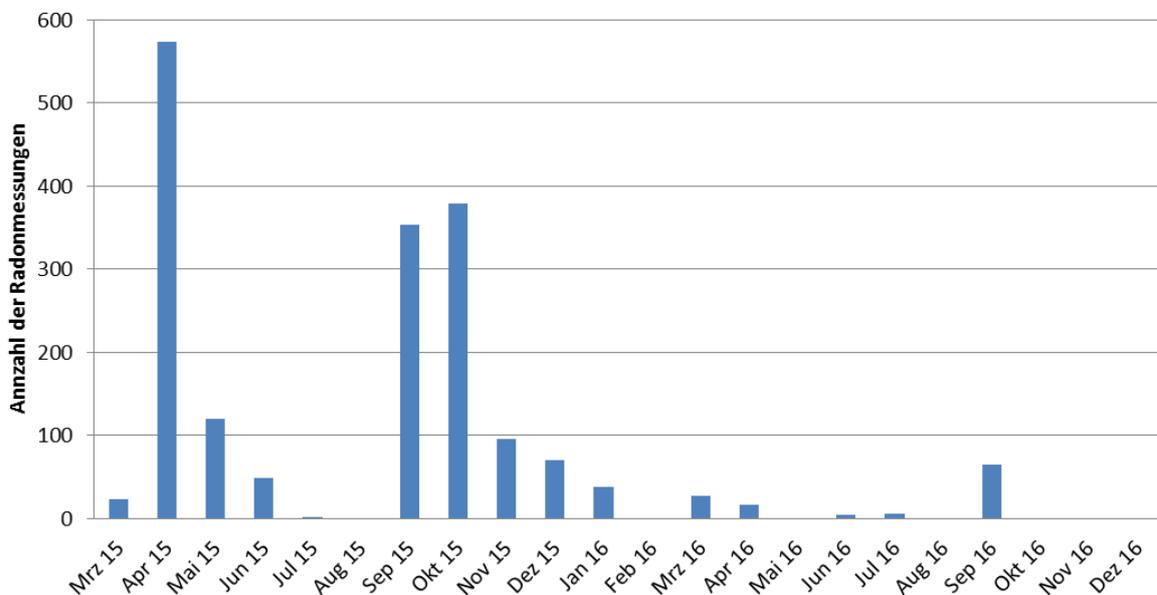


Abbildung 12: Verteilung der Startzeitpunkte der passiven Messungen

Neben dem Startzeitpunkt ist die Messperiode für die Auswertung der Erhebungsmessung von Interesse. Die Messung kann als konservativ betrachtet werden, wenn mehr als die Hälfte der Messdauer während der Winter- oder Heizperiode stattgefunden hat [11]. Dies war in 1010 der Messungen der Fall. Die übrigen 816 Messungen

wurden mit weniger als der Hälfte der Messdauer während der Heizperiode durchgeführt. Eine weitere Optimierung der Messzeiten war aus folgenden Gründen nicht möglich: Zum einen sollten während der passiven Messkampagne möglichst wenige Ferientage erfasst werden, zum anderen stand dem Projekt nur eine begrenzte Anzahl an Messgeräten zur Verfügung.

In den nachfolgenden Auswertungen werden die Ergebnisse aller Aufenthaltsräume als Datengrundlage herangezogen, da diese aufgrund der Aufenthaltsdauer zur erhöhten Strahlenexposition der Raumnutzer führen kann.

Zur statistischen Auswertung der erzeugten Daten werden die Radonmesswerte in Radon-Konzentrationsklassen eingeteilt. Die Klassen sind wie folgt definiert:

- Radon-Aktivitätskonzentration kleiner 100 Bq/m³ in Grün (unterhalb des von der WHO vorgeschlagenen Richtwertes [10])
- Radon-Aktivitätskonzentration größer 100 Bq/m³ und kleiner 300 Bq/m³ in Gelb (oberhalb des WHO-Richtwertes, aber unterhalb des Referenzwertes)
- Radon-Aktivitätskonzentration größer 300 Bq/m³ in Rot (Messwerte über dem Referenzwert)

Die Aufteilung der 1826 Radonmessdaten aus Aufenthaltsräumen in die verschiedenen Radon-Konzentrationsklassen ist in Abbildung 13 grafisch dargestellt.

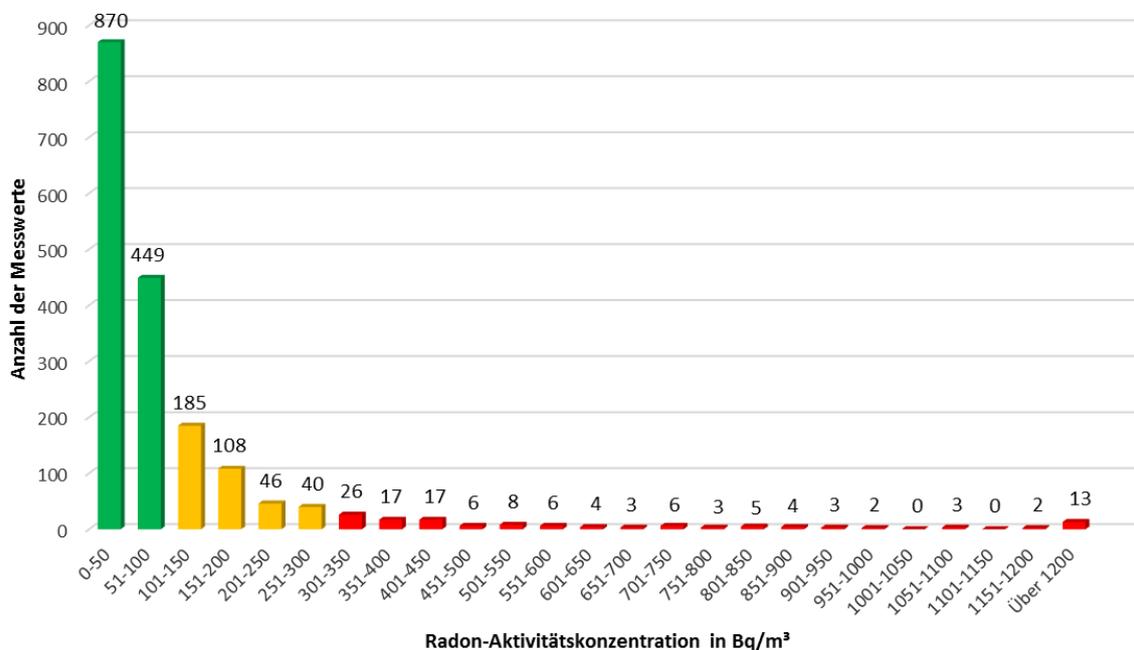


Abbildung 13: Verteilung der Radonmesswerte in Aufenthaltsräumen in baden-württembergischen Schulen; grün: unterhalb WHO-Richtwert; gelb: zwischen WHO-Richtwert und Referenzwert StrlSchG; rot: über Referenzwert StrlSchG

128 Messwerte in Aufenthaltsräumen verteilt auf 48 Schulen liegen über dem Referenzwert von 300 Bq/m³ des Strahlenschutzgesetzes [2]. Insgesamt sind 507 Mess-

werte in Aufenthaltsräumen größer 100 Bq/m³, also dem Richtwert der WHO [10]. Diese 507 Messwerte verteilen sich auf 128 der 172 Schulen.

Einfluss der Gebäudebeschaffenheit

Die Ergebnisse der passiven Radonmessungen wurden in Abbildung 14 nach Gebäudealter und bereits durchgeführten energetischen Sanierungen aufgeteilt. Die Anzahl der einbezogenen Messwerte sind in Tabelle 4 angegeben.

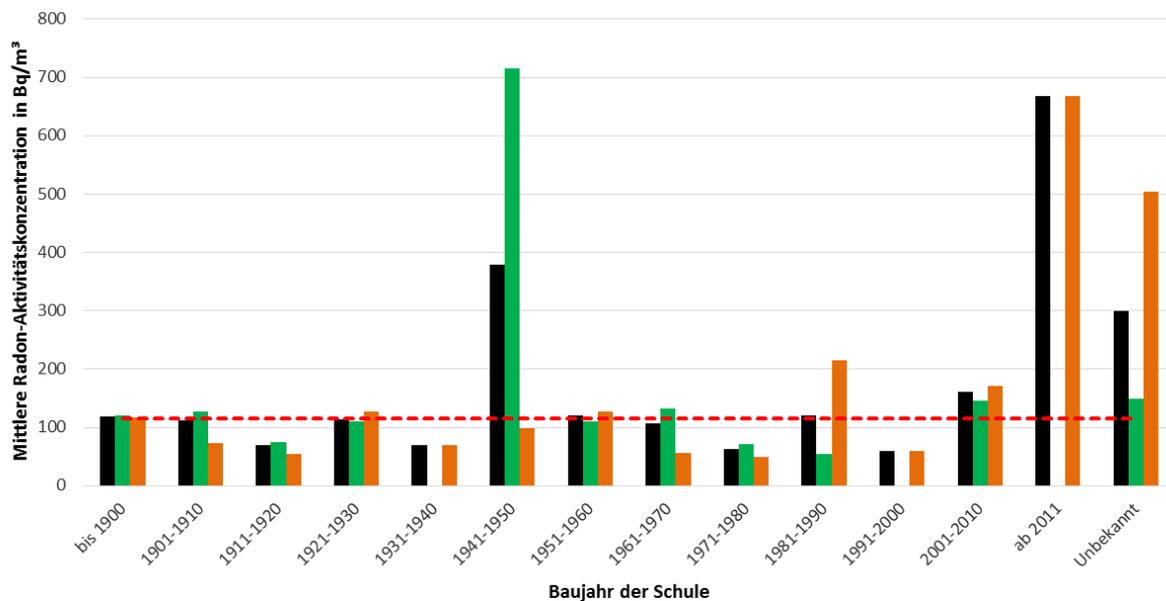


Abbildung 14: Durchschnittliche Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen in Bezug auf Gebäudealter und Sanierungsstand. schwarz: gesamt; grün: energetisch saniert; orange: nicht energetisch saniert; rot gestrichelt: Mittelwert über alle Messungen

Tabelle 4: Anzahl der Messpunkte bezogen auf das Baujahr und auf energetischen Sanierungen

Baujahr	Anzahl Gesamt	energetisch saniert	energetisch unsaniert
bis 1900	99	56	43
1901-1910	84	61	23
1911-1920	51	37	14
1921-1930	48	37	11
1931-1940	21	0	21
1941-1950	22	10	12
1951-1960	323	163	151
1961-1970	527	348	150
1971-1980	440	272	168
1981-1990	21	7	9
1991-2000	53	0	53
2001-2010	48	19	29
ab 2011	17	0	17
Unbekannt	72	27	32

Vermutlich aufgrund der geringen Datengrundlage konnte die zunächst vermutete, erhöhte Radonkonzentration von energetisch sanierten Schulen nicht festgestellt werden. Der auffällige Wert in den Baujahren 1941 - 1950 ist auf Grund der zugehörigen geringen Anzahl der Messwerte statistisch nicht als signifikant zu werten.

Einfluss der geografischen Lage

Für die gemäß der Prognosekarte des BfS [12] ausgewählten als potenziell radongefährdet eingestuften Gebiete (s. Kapitel 3.1 und Tabelle 1) wurden die Ergebnisse der Radonmessung aus Aufenthaltsräumen je Postleitzahl-Bereich zusammengefasst. Abbildung 15 zeigt die zugehörigen durchschnittlichen Radonkonzentrationen, Tabelle 5 die Anzahl der dabei einbezogenen Messwerte.

Wie aus Abbildung 15 zu erkennen ist, zeigen die aus der Prognosekarte (s. Abbildung 18) abgeleiteten, potenziell als radongefährdet einzustufenden Gebiete keine systematisch erhöhten Werte gegenüber dem über alle in der Messkampagne ermittelten Durchschnittswert von 114 Bq/m³ auf. Allein der Mittelwert für Triberg liegt deutlich darüber. Auch Lörrach weist einen deutlich erhöhten Wert aus, der allerdings aus der Prognosekarte nicht abzuleiten ist.

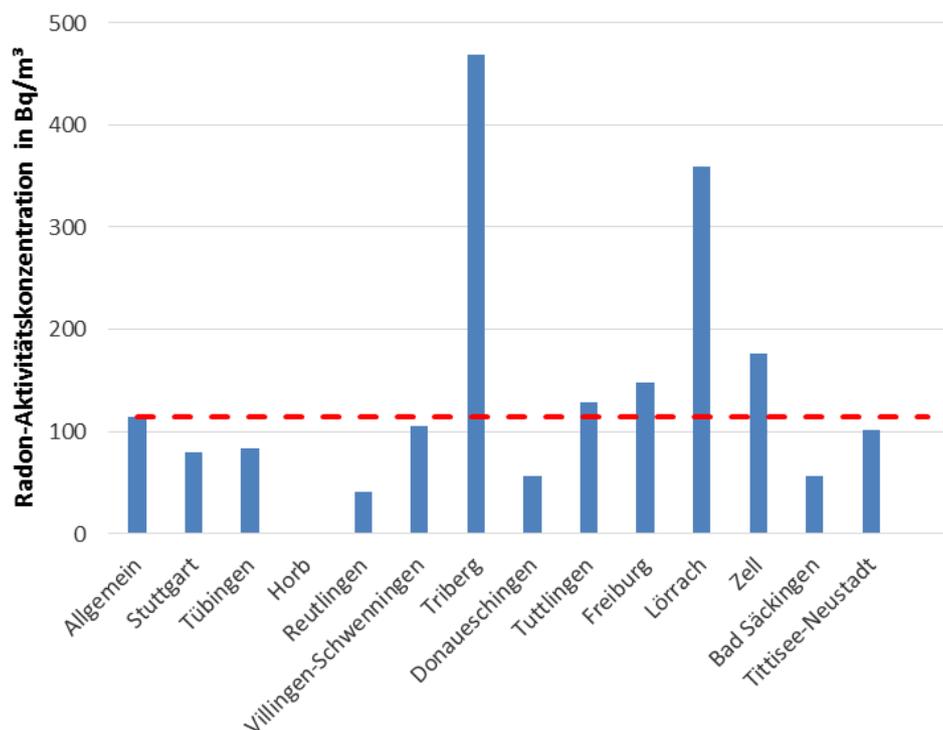


Abbildung 15: Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen in Gebieten mit erhöhter Radon-Bodenluftkonzentration; rot gestrichelt: Mittelwert über alle Messungen der Kampagne

Tabelle 5: Anzahl der in Abbildung 15 einbezogenen Messpunkte

Gebiet	Anzahl Messwerte
Stuttgart	133
Tübingen	38
Horb	0
Reutlingen	54
Villingen-Schwenningen	59
Triberg	16
Donaueschingen	51
Tuttlingen	52
Freiburg	59
Lörrach	154
Zell	24
Bad Säckingen	13
Tittisee-Neustadt	11

Einfluss von Lüftungsanlagen

In der nachfolgenden Tabelle werden die Ergebnisse der passiven Radonmessung mit und ohne Lüftungsanlage gegenübergestellt. Zur Gegenüberstellung werden die Antworten des Schulfragebogens auf die Frage: „Befindet sich in Ihrem Keller eine Be- oder Entlüftungsanlage?“ mit den dazugehörigen Radonmesswerten aus Schul-Aufenthaltsräumen herangezogen.

Tabelle 6: Mittlere Radonkonzentrationen in Bezug auf das Vorhandensein einer Lüftungsanlage im Keller

Lüftungsanlage im Keller	Anzahl Messungen	mittlere Radonkonzentration
vorhanden	364	126 Bq/m ³
nicht vorhanden	1113	124 Bq/m ³
keine Angabe	349	70 Bq/m ³

Es wurden keine signifikanten Unterschiede in der Höhe der durchschnittlichen Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen zwischen Gebäuden mit Lüftungsanlage im Keller und nicht vorhandener Lüftungsanlage im Keller festgestellt.

Mithilfe der Radon-Erhebungsmessung können daher keine Aussagen über die durchschnittliche Radonkonzentration in Innenräumen eines Gebäudes mit verbauter Lüftungsanlage im Keller getroffen werden.

Für weiterführende Radonmesskampagnen ist es empfehlenswert, die Fragen in Bezug auf den zu messenden Raum zu spezifizieren. Eine mögliche Frage wäre „Befindet sich eine Lüftungsanlage im gemessenen Raum“. Die Auswertung der raumbezogenen Frage könnte weitere Möglichkeiten zur statistischen Auswertung bieten.

5.1.2 Auswertungen mittels Geoinformationssystem

Zur kartografischen Darstellung der Daten der Radon-Erhebungsmessung wurden die Ergebnisse mittels eines Geoinformationssystems dargestellt. Dies ermöglicht einen direkten Vergleich der Radonmesswerte mit der Radonbodenluftkarte.

Teilnehmende Schulen

Abbildung 16 zeigt die für die Messkampagne angemeldeten Schulen mit Informationen zu den durchgeführten Radonmessungen und vorhandenen Messwerten.

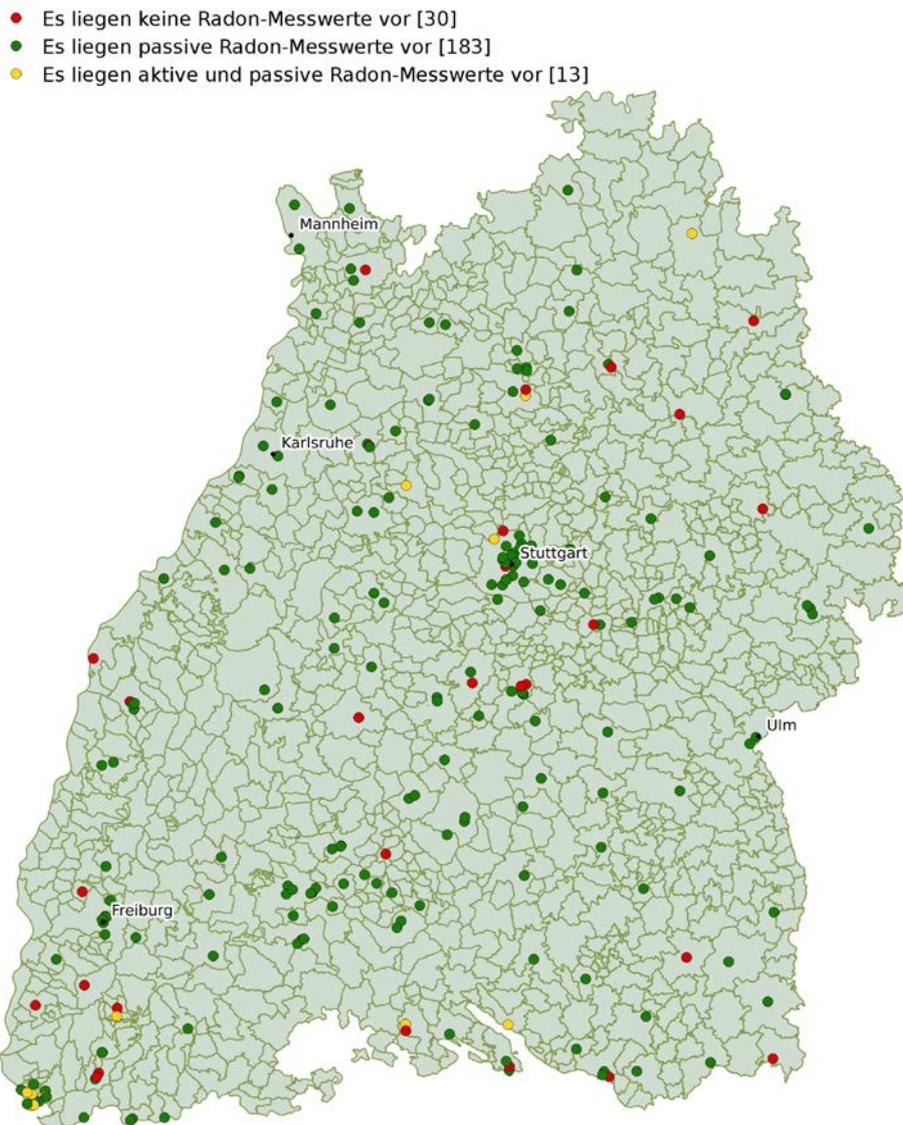


Abbildung 16: An der Radon-Messkampagne angemeldete Schulen

Nach Abschluss der Messkampagne lagen Werte aus insgesamt 196 Schulen vor. 30 für die Teilnahme registrierte Schulen haben die Messgeräte trotz zweifacher schriftlicher Nachfrage nicht zurückgesandt. In 24 Schulen wurde kein Raum, in dem eine Messkapsel ausgelegt war, als Aufenthaltsraum ausgewiesen. Somit liegen für

172 Schulen Messwerte für Aufenthaltsräume vor. In 13 Schulen wurden neben passiven zusätzlich auch aktive Radonmessungen durchgeführt.

Maximale Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen je Schule

Zur Darstellung des Auftretens von Referenzwertüberschreitungen wurden in nachfolgender Grafik (Abbildung 17) die höchsten gemessenen Radonkonzentrationen aus Aufenthaltsräumen je Schule abgebildet. Gegenübergestellt ist die Radonbodenluftkarte aus Baden-Württemberg vom Bundesamt für Strahlenschutz [12].

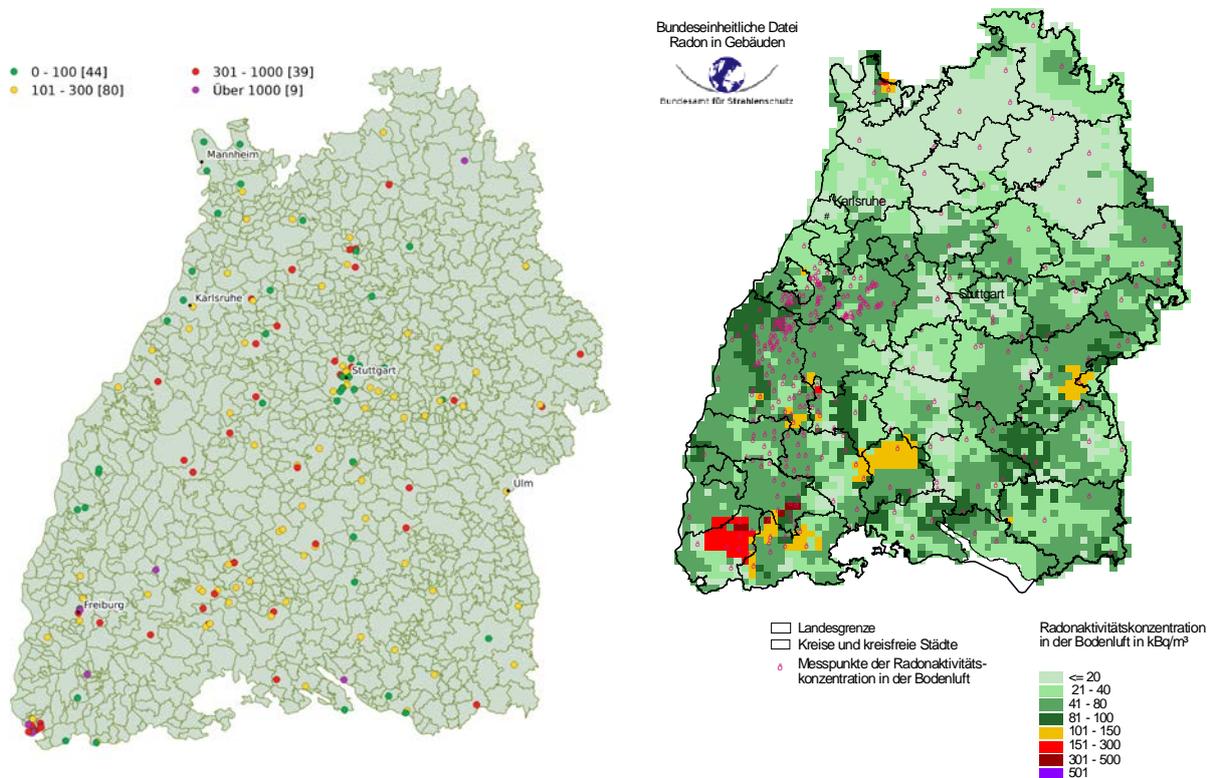


Abbildung 17: Höchste gemessene Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen je Schule in Bq/m³

Abbildung 18: Radonbodenluftkarte in Baden-Württemberg. Erläuterungen zur Bodenluftkarte: [12]

In 48 von 172 Schulen wurde mindestens ein Aufenthaltsraum mit Referenzwertüberschreitung festgestellt. 128 Schulen weisen Aufenthaltsräume mit Radonkonzentrationen größer 100 Bq/m³ auf.

Auch in Schulen in Gebieten mit gemäß Radonbodenluftkarte des BfS [12] vermeintlich geringen Radonbelastungen konnten Referenzwertüberschreitungen in Aufenthaltsräumen festgestellt werden. Die höchsten gemessenen Radonkonzentrationen wurden in Schulräumen in Lörrach und Weil am Rhein festgestellt, obwohl dem Gebiet nach der Radonbodenluftkarte geringe Radonbodenluftkonzentrationen zuge-

ordnet werden. Die Erhöhung der Radonkonzentration in Innenräumen kann in diesen Gebieten der Gebäudestruktur, den lokalen Änderungen der Bodenstruktur und dem kleinregional schwankenden Radonvorkommen im Boden zugeordnet werden. Dies macht deutlich, dass die alleinige Verwendung der Radonbodenluftkarte zur Identifikation von Radonvorsorgegebieten als unzureichend anzusehen ist.

Radonmesswerte in den einzelnen Gemeinden

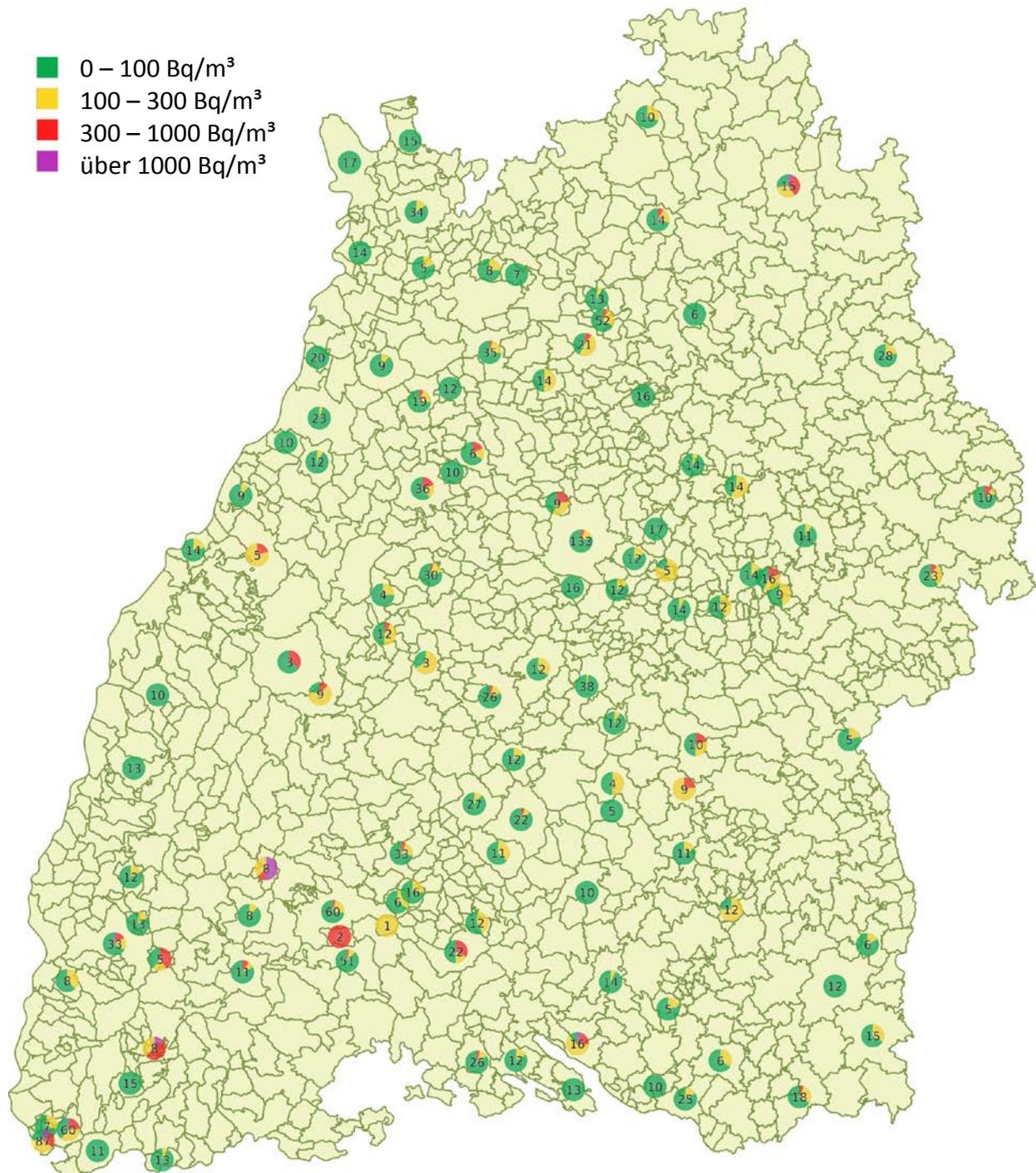


Abbildung 19: Radonmesswerte zu Aufenthaltsräumen in Schulen in den Gemeinden von Baden-Württemberg.
Farben: Höhe der Messwerte (s. Legende); Zahlen: Anzahl der erhobenen Messwerte.

Zur Veranschaulichung aller erzeugten Messwerte in Aufenthaltsräumen von Schulen und zum Vergleich einer bereits durchgeführten Radonrecherche in Baden-Württemberg wurden die Radonkonzentrationen bezogen auf die Gemeindekennzahl abgebildet. Abbildung 19 zeigt neben der Höhe der einzelnen Radonmesswerte (Farbe) auch die Anzahl der durchgeführten Radonmessungen pro Gemeinde.

5.2 Gebäudespezifische Radonmessungen (Fallbeispiele)

Im Rahmen der Messkampagne wiesen 78 Schulen einen Radonmesswert von mehr als 300 Bq/m^3 auf. Diese Schulen wurden über das Anschreiben des Ergebnisberichts gebeten, Kontakt mit dem Labor aufzunehmen, um weitere Informationen für die gemessenen Räume zu erhalten und ggfs. eine aktive Radonmessung vor Ort durchführen zu lassen.

Lediglich 13 Schulen sind der Bitte um Kontaktaufnahme nachgekommen. Dort wurden aktive Radonmessungen durchgeführt.

Im Folgenden werden Ergebnisse aus Aufenthaltsräumen und weiteren Räumen der Schule exemplarisch zusammengefasst. Auf folgende Aspekte wird dabei näher eingegangen:

- mechanische Fensterlüftung,
- technische Lüftungsanlagen,
- Radoneindringpfadsuche und Abdichtungsmaßnahmen,
- Vorhandensein eines Kriechkellers.

Mechanische Fensterlüftung

Zur Prüfung der Radonkonzentration während der Aufenthaltszeit in Klassenräumen wurden Nutzungsprofile mit simulierter Pausenlüftung durchgeführt.

Ein beispielhaftes Ergebnis eines Lüftungsprofils ist in Form einer aktiven Radonmessung eines Lehrerzimmers einer Schwarzwälder Schule dokumentiert. Die passive Radonmessung der vorliegenden Schule wies eine durchschnittliche Radonkonzentration von 1200 Bq/m^3 über 84 Tage auf. Zur Prüfung der Radonkonzentration während der Aufenthaltsdauer wurde die Schule gebeten, die Fenster und Türen vor der Messung über das Wochenende geschlossen zu halten.

Zum Messbeginn wurde das aktive Radonmessgerät in der Mitte des Lehrerzimmers positioniert. Während der Pausenzeit wurden einige Fenster zur Stoßlüftung geöffnet und nach der Pause wieder geschlossen. In Abbildung 20 ist der Abfall der Radon-

konzentration durch die Stoßlüftung und der anschließende langsame Anstieg der Konzentration zu erkennen.

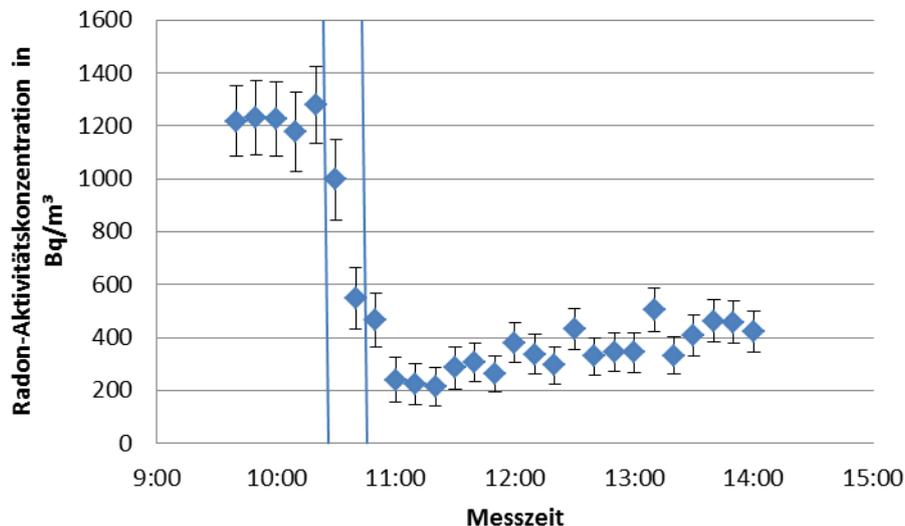


Abbildung 20: Radonkonzentration eines Lehrzimmers mit einfacher Lüftungszeit von 20 Minuten während der Pausenzeit

Die Radonkonzentration konnte durch die mechanische Fensterlüftung während der Pausenzeit auf etwa 300 Bq/m³ verringert werden. Bei einer morgendlichen Lüftung und kontinuierlicher Pausenlüftung ist eine Reduktion der Radonkonzentration während der Aufenthaltszeit möglich. Bei unterbliebener Lüftung steigt die Radonkonzentration in wenigen Stunden allerdings über den Referenzwert an. Ein regelmäßiges Lüften, wie in den Technischen Regeln für Arbeitsstätten [14] vorgesehen, ist im vorliegenden Fall zweckmäßig.

Technische Lüftungsanlage

Eine weitere Methode zur Vergrößerung der Luftwechselrate in einem Gebäude bietet der Einsatz einer technischen Lüftungsanlage.

Sind Radoneindringpfade in einem Gebäude vorhanden, kann mittels dezentraler oder zentraler Lüftungsanlagen der Anstieg der Konzentration verringert und somit die Radonbelastung gesenkt werden.

Ein Beispiel für den Einsatz einer Lüftungsanlage zum Radonschutz wurde in einer baden-württembergischen Schule im Süden gefunden: Während der passiven Messkampagne wurden Klassenräume und Schulbüros bis zu 1800 Bq/m³ identifiziert. Durch die Auswertung des Schulfragebogens war bekannt, dass es sich bei dem

Gebäude um einen Neubau mit verbauter Lüftungsanlage handelt. Unklar war die Funktionalität der Lüftungsanlage.

Während einer zweitägigen aktiven Radonmesskampagne konnte die Eignung der Lüftungsanlage und deren Einstellungen geprüft, die Radoneindringpfade im Schulgebäude identifiziert sowie die Schüler, Lehrer und Eltern der Schule während einer Radoninformationsveranstaltung informiert werden.

In Abbildung 21 ist der Verlauf der Radonkonzentration in einem Hausmeisterbüro während eingeschalteter Lüftungsanlage und dem darauffolgenden Anstieg der Radonkonzentration während der lüftungsfreien Nachtzeit mit anschließendem Abfall am Morgen grafisch dargestellt.

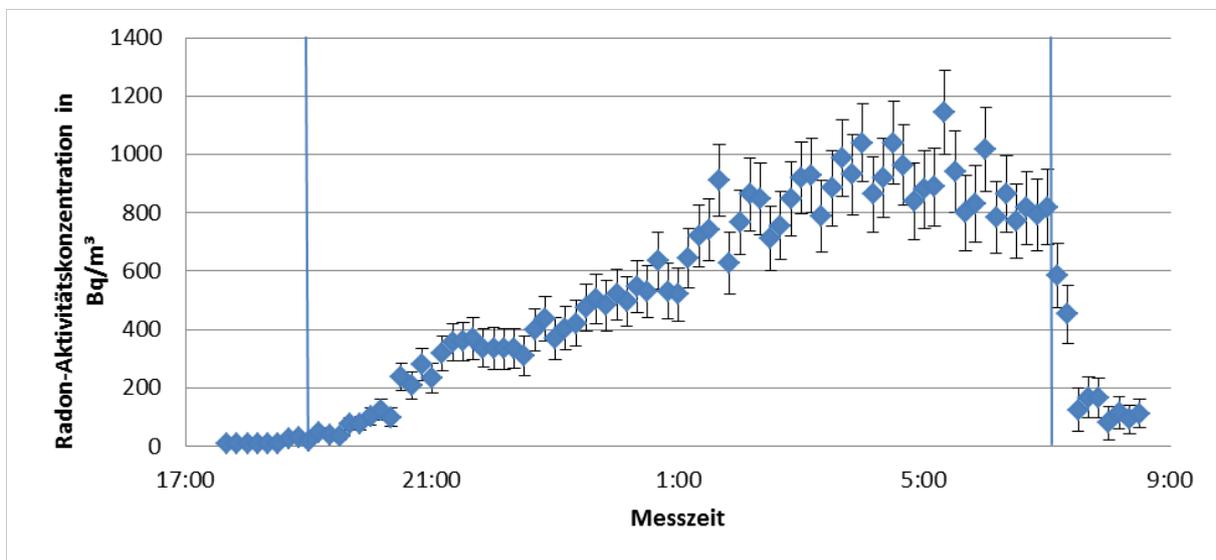


Abbildung 21: Verlauf der Radonkonzentration über Nacht und nach Einschalten der Lüftungsanlage in einem Hausmeisterbüro

Radoneindringpfadsuche und Abdichtungsmaßnahmen

Neben der Messung der Radoninnenraumkonzentration wurden Messungen zur Identifikation von Radoneindringpfaden während des aktiven Messprogramms durchgeführt. Als Beispiel ist die Radon-Eindringpfadsuche einer Schule im südbaden-württembergischen Raum dokumentiert. Während der passiven Erhebungsmessung wurde eine Radonkonzentration von 1050 Bq/m³ über drei Monate ermittelt. Die aktive Radonmessung vor Ort zeigt den Anstieg der Radonkonzentration über Nacht von rund 1000 Bq/m³ auf 2200 Bq/m³. Der Anstieg der Radon-Aktivitätskonzentration ist in Abbildung 22 dokumentiert. Zu Beginn des Unterrichts wurde der Abzug des Labors eingeschaltet und während der Pausenzeit das Fenster geöffnet.

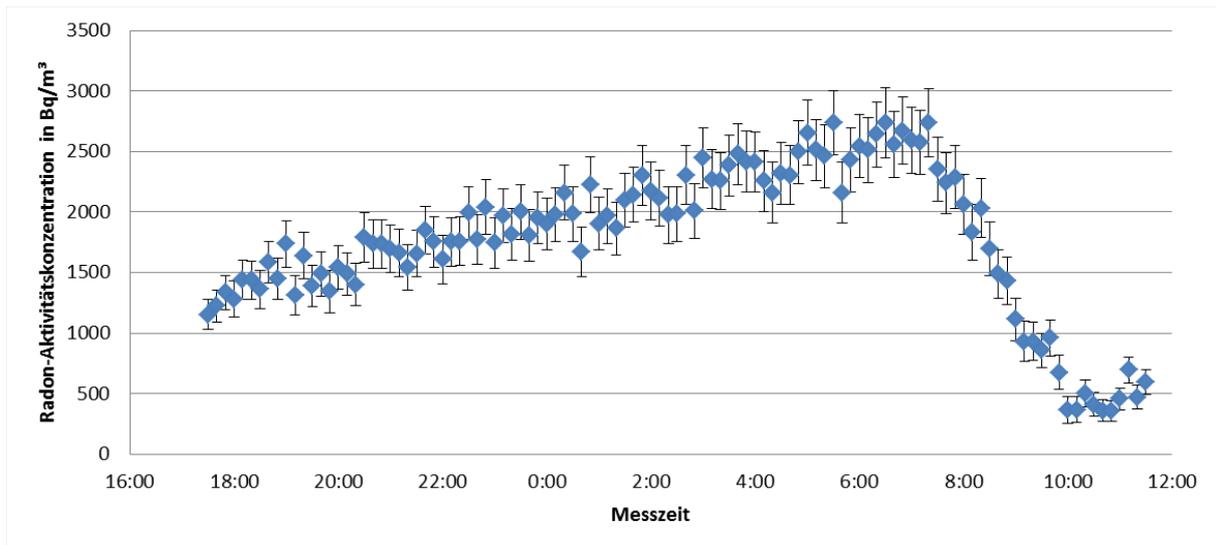


Abbildung 22: Verlauf der Radonkonzentration über Nacht und nach Einschalten der Lüftungsanlage in einem BioChemie-Labor

Die erhöhte Radonkonzentration konnte auf mehrere Radon-Eindringpfade im Unterrichtstraum zurückgeführt werden. Aufgrund von Hochwasser wurden rund zwei Jahre zuvor Bohrungen in das Fundament für Feuchtigkeitsmessungen vorgenommen. Diese Bohrungen wurden seither nicht mehr verschlossen und stellen den größten Radon-Eindringpfad dar. In Abbildung 23 und Abbildung 24 ist die Bestimmung des Radon-Eindringpfades grafisch dargestellt.

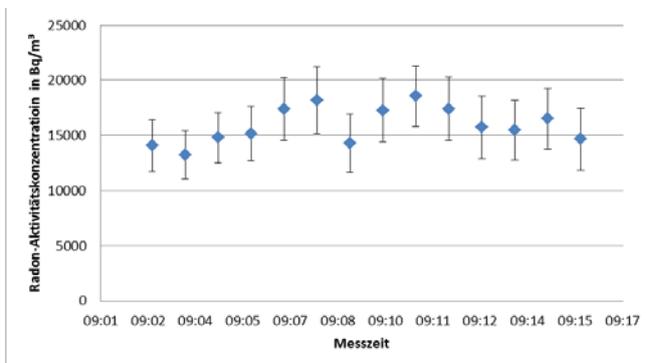


Abbildung 23: Zeitlicher Verlauf der Radonkonzentration an zwei Bohrungen zur Feuchtigkeitsmessung in einem BioChemie-Labor. Bemerkenswert sind hier die hohen Radonkonzentrationen von fast 20 000 Bq/m³ in den Bohrungen.



Abbildung 24: Bilddokumentation der Radon-Eindringpfadbestimmung an zwei Bohrungen in einem BioChemie-Labor

Eine nachträgliche aktive Messung nach erfolgter Abdichtung der Bohrungen zeigte im Bereich der Abwasserleitungen der Labortische und hinter den Sockelleisten weitere Radon-Eindringpfade. Zunächst konnten die Bohrungen und Abwasserleitungen versiegelt werden. Die Radonkonzentration nach eintägiger, lüftungsfreier Zeit ist in Abbildung 25 dargestellt.

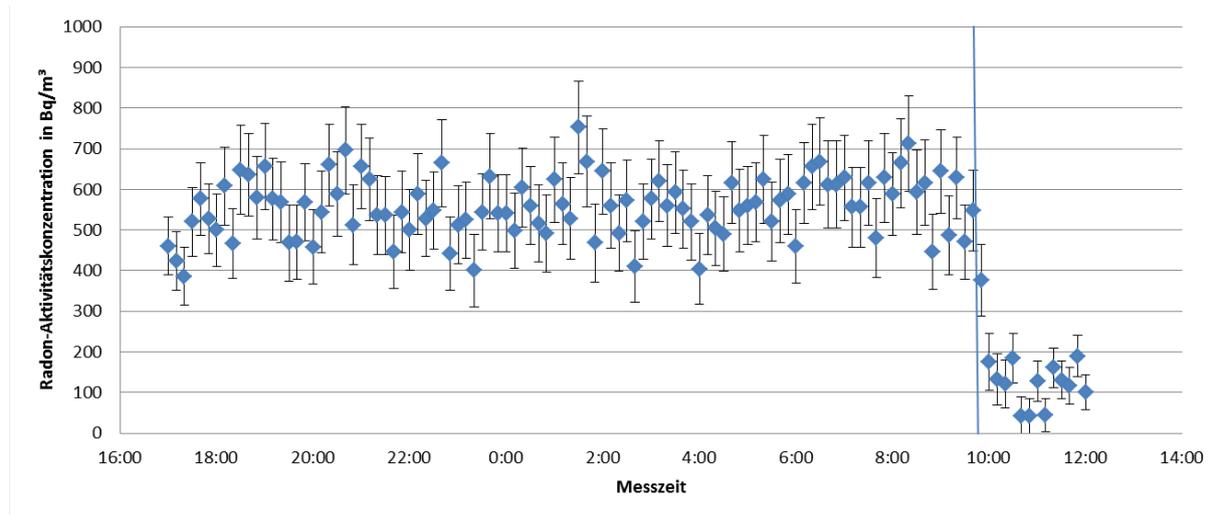


Abbildung 25: Radon-Aktivitätskonzentration in einem BioChemie-Labor nach Abdichtung der Bohrlöcher und Abflüsse.
 Ab 9:30 Uhr wurde der Laborabzug eingeschaltet und die Fenster für 30 Minuten geöffnet.

Durch die Abdichtung der Bodenöffnungen konnte die Radonkonzentration im ungelüfteten Raum von über 2 500 Bq/m³ auf knapp über 700 Bq/m³ abgesenkt werden. Dies zeigt deutlich die Effektivität der Maßnahme.

Kriechkeller

Ein weiterer Eindringpfad konnte in einer Schule im Enzkreis in Form eines Kriechkellers unter dem Gebäude identifiziert werden. Über dem Kriechkeller befindet sich der Verwaltungsteil der Schule mit Sekretariat, Schulleiterbüro und dem Lehrerzimmer. Aufgrund des geringen Luftwechsels im Kriechkeller wurde eine Radonkonzentration von 1800 Bq/m³ gemessen. Über Versorgungsschächte für Multimedia- sowie Zu- und Abwasserleitungen kann Radon in die überliegenden Räume gelangen. In Abbildung 26 und Abbildung 27 sind die Messungen im Kriechkeller dokumentiert.

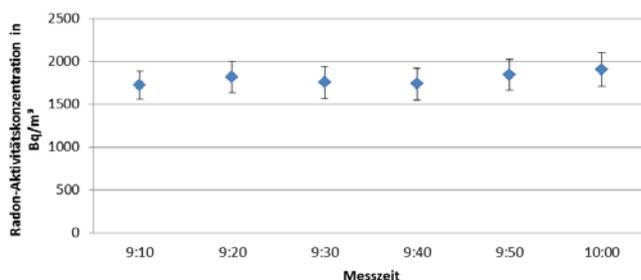


Abbildung 26: Radonmessung im Kriechkeller eines Gymnasiums



Abbildung 27: Bilddokumentation der Radonmessung in einem Kriechkeller unter dem Verwaltungsteil einer Schule

In den Verwaltungsräumen der Schulen wurden während der passiven Messkampagne durchschnittliche Werte zwischen 260 und 350 Bq/m³ gemessen.

Empfehlungen zur Reduktion der Radonkonzentration in Innenräumen.

Zusammen mit dem Ergebnisbericht der zeitaufgelösten Radonmessung vor Ort wurden weiterführende Informationen zur Reduktion der Radonkonzentration in den Schulräumen an die Schulen übermittelt. Die Maßnahmen waren zum Teil allgemein gefasst, falls möglich jedoch auch auf die vorhandene Schulmessung bezogen. Am Beispiel des Bio-Chemie-Labors einer Schule konnten Bohrungen für Feuchtigkeitsmessungen als Radon-Eindringpfad identifiziert werden. Nach Abdichtung dieser Bohrungen wurde die durchschnittliche Radonkonzentration um den Faktor 4 verringert.

In weiteren Schulen wurden Sockelleisten, Kriechkeller, Bohrungen sowie Durchführungen für Heizungszu- und -Rückläufe als Radon-Eindringpfade identifiziert.

5.3 Messung und Abschätzung von Personendosen

In zwei Fällen wurden auf Wunsch von betroffenen Personen Personendosismessungen durchgeführt. Lediglich ein Radonmessgerät wurde nach der besprochenen Nutzdauer an das Radonlabor zur Auswertung zurückgesandt.

Die durchschnittliche Arbeitskonzentration des zurückgesandten Messgeräts lag bei 550 Bq/m^3 . Mit einer Aufenthaltsdauer von 414 Arbeitsstunden während 3 Wintermonaten ergibt sich daraus eine Personendosis von $0,7 \text{ mSv}$ für 3 Monate.

6. Zusammenfassung

Ziel des BWPLUS-Projektes „Radon in baden-württembergischen Schulen“ war es, einen ersten Überblick über die Radon-Aktivitätskonzentrationen in Bildungseinrichtungen des Landes zu erhalten. Zu diesem Zweck wurden rund 1550 Schulen angeschrieben und um Teilnahme am Projekt gebeten. 750 dieser Schulen lagen in Gebieten, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft zu erwarten sind, die restlichen 800 waren homogen über das Land verteilt.

Zur Optimierung der Administration des Vorhabens sowie der Vereinfachung der Teilnahme für die Schulen wurde ein Onlineportal programmiert. Implementiert war unter anderem ein Fragebogen für die Schulen, der es dem Radonlabor ermöglichte, die notwendige Anzahl an Exposimetern pro Teilnehmer abschätzen zu können. Ebenso wurden Fragen zu den Gebäuden gestellt, die zur Auswertung in Bezug auf Korrelationen der Radonaktivitätskonzentration zu verschiedenen Gebäudespezifika, wie beispielsweise dem Baujahr, herangezogen werden konnten. Nach Versand der Exposimeter konnten durch die verantwortlichen Personen vor Ort die Expositionsdaten, die zur späteren Auswertung der Messungen nötig waren, im Portal eingetragen sowie am Ende der endgültige Prüfbericht eingesehen werden. Im Verlauf des Projektes hat sich das Tool als sehr effektiv für die Administration einer solchen Messkampagne erwiesen. Das programmierte Portal kann leicht auch auf andere Projekte mit ähnlicher Struktur übertragen werden.

Die Ergebnismitteilung an die Schulen fand zweigleisig statt. Schulen, an denen Aktivitätskonzentrationen oberhalb des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 in Aufenthaltsräumen gemessen wurden, erhielten ein gesondertes Antwortschreiben, in dem eine aktive Radonmessung vor Ort empfohlen und angeboten wurde. Dieses Angebot nahmen insgesamt 13 Schulen wahr. Im Rahmen dieser Messungen wurden Lüftungsprofile aufgenommen und ausgewertet sowie Radon-Eindringpfade ermittelt.

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.

Von insgesamt 1826 Messwerten lag die Aktivitätskonzentration in 128 Fällen oberhalb des Referenzwertes des Strahlenschutzgesetzes von 300 Bq/m^3 , 507 Messwerte lagen über dem Richtwert der WHO von 100 Bq/m^3 .

Von den 172 teilnehmenden Schulen wurde bei 48 mindestens ein Aufenthaltsraum mit Referenzwertüberschreitung (StrlSchG) festgestellt, in 128 Schulen lag mindestens ein Wert über dem WHO-Richtwert.

Insgesamt fanden 1010 Radonmessungen mit mindestens 50 % Messdauer während der Heizperiode statt. Zusätzlich weisen alle Messungen eine Messdauer von mehr als 2 Monaten 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 gemäß der Radonbodenluftkarte des BfS [12] vermeintlich geringen Radonbodenluftkonzentrationen wurden Referenzwertüberschreitungen in Aufenthaltsräumen festgestellt (siehe Abbildung 17 und Abbildung 18). Die höchsten gemessenen Radonzentrationen wurden sogar in Gebieten festgestellt, die gemäß der Prognosekarte des BfS geringen Radonbodenluftkonzentrationen zugeordnet werden.

7. Literaturverzeichnis

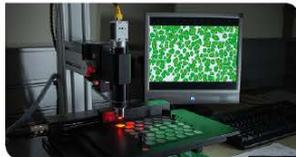
- [1] Strahlenschutz KOMPAKT Nr. 03 „Strahlung durch Radon“, Fachverband für Strahlenschutz e.V., September 2015
<http://www.fs-ev.org/der-fs/oeffentlichkeitsarbeit/strahlenschutzkompakt/>
- [2] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrlSchG) vom 27. Juni 2017
- [3] 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; 17.01.2014
- [4] BWPLUS: Radonerhebungsmessungen in Wasserwerken in Baden-Württemberg; Forschungszentrum Karlsruhe GmbH; 2009
- [5] <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/natuerliche-strahlenbelastung/natuerliche-strahlenbelastung.html> 24.11.2016 08:05
- [6] Darby 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
- [7] http://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse_PDF/2006/Lungenkrebsrisiko_RadoninHaeusern.pdf 24.11.2016 08:06
- [8] Ministerium für Kultus, Jugend und Sport Baden-Württemberg; Schulsuche: schulfinder.kultus-bw.de
- [9] Zugang zum Radon in Schulen Onlineportal:
<http://www.sum.kit.edu/Schulen.php> 28.03.2017 07:15
- [10] WHO Handbook on Indoor Radon, a Public Health Perspective; World Health Organization 2009
- [11] DIN ISO 11665-8: Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden; August 2013
- [12] Auszug aus der Prognosekarte zur Radonkonzentration in der Bodenluft in Baden-Württemberg. Vom Bundesamt für Strahlenschutz SW1.1 zur Verfügung gestellt.
- [13] KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R., VALDIVIA-ANCHEGO, M. (1999): Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials. – Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1999-534, 133 S., Bonn
- [14] Technische Regel für Arbeitsstätten - ASR A3.6 Lüftung, Ausgabe: Januar 2012 (GMBI 2012, S. 92, zuletzt geändert GMBI 2017, S. 10)

8. Anhang

Messprinzip der aktiven Radonmessung

Im Gegensatz zu passiven Messgeräten besitzen aktive Radonmessgeräte eine Stromzufuhr. Über eine Messkammer im Inneren des Messgeräts können Radonkonzentrationen während der Messung ausgewertet und über eine Anzeige ausgegeben werden.

Aktive Messgeräte werden für Direktmessungen eingesetzt und können mithilfe einer Pumpe zum Suchen von Radoneindringpfaden verwendet werden.



Kontakt

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Sicherheit und Umwelt
Ingo Fesenbeck B.Sc.
Campus Nord
Hermann-von-Helmholtz-Platz 1
76344 Eggenstein-Leopoldshafen
Telefon: 0721 608-23621
Fax: 0721 608-22054
E-Mail: ingo.fesenbeck@kit.edu

www.sum.kit.edu/Radonlabor.php

Herausgeber

Karlsruher Institut für Technologie (KIT)
Großforschungsbereich
Kaiserstraße 12, 76131 Karlsruhe

Stand: Oktober 2014

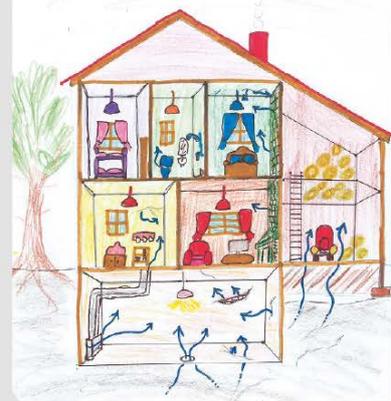
www.kit.edu



Radon

Informationen zum radioaktiven Edelgas und zur Messung der Radonkonzentration

SICHERHEIT UND UMWELT



KIT – Universität des Landes Baden-Württemberg und nationales Forschungszentrum in der Helmholtz-Gemeinschaft

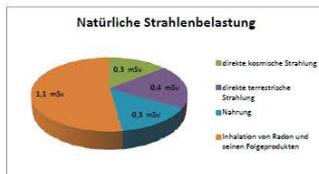
www.kit.edu

Natürliche Radioaktivität

Die natürliche Strahlenbelastung des Menschen entsteht durch kosmische und terrestrische Strahlung, durch Aufnahme über die Nahrung sowie durch Radon.

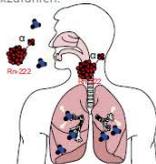
Radon als natürliche Strahlenbelastung

Radon-222 stammt aus dem natürlichen Zerfall von Uran in unserer Erde. Das radioaktive Edelgas trägt mit seinen Zerfallsprodukten zu rund 50% der natürlichen Strahlenbelastung der Bevölkerung bei.



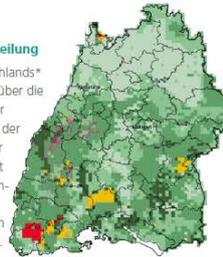
Wie kann Radon gefährlich werden?

Über die Atmung gelangt Radon in die Lunge. Die von Radon und seinen Folgeprodukten ausgehende Alpha-Strahlung schädigt das Lungengewebe. Rund 5% aller Lungenkrebsfälle in Deutschland sind auf das radioaktive Edelgas zurückzuführen.



Regionale Radonverteilung

Die Radonkarte Deutschlands* gibt eine Orientierung über die regionale Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft 1m unter der Erdoberfläche. Sie dient zur Prognose der Radonkonzentration in der Bodenluft ausschließlich im regionalen Maßstab. Die Radonkonzentration in der Bodenluft gibt Aufschluss, wieviel Radon im Untergrund zum Eintritt in ein Gebäude zur Verfügung steht. Die Konzentration kann aufgrund unterschiedlicher Gesteinszusammensetzung auch kleinräumig stark schwanken.



Radon in Gebäuden

Radon kann über Risse, Spalte 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 schwanken. Die Konzentration von Radon nimmt mit zunehmendem Geschoss ab.



Bundesweite Daten
Radon in Gebäuden



* Dies ist eine Übersichtskarte für Planungszwecke. Diese Karte reicht nicht für detaillierte Aussagen über kleinräumige Gebiete oder gar die Prognose der Belastung von Einzelelementen aus.

Radonmessung

Da Radioaktivität nicht über die Sinne wahrgenommen werden kann, bietet lediglich eine Messung Aufschluss über die Höhe der Radonkonzentration im Gebäude. Eine einfache und kostengünstige Messung ist mittels passiven Radonexposimetern möglich.

Messprinzip der passiven Radonmessung mit Kernspurdetektoren

Ein passives Radonexposimeter wird für 100 Tage in einem Raum aufgestellt. Über einen Filter diffundiert die Raumluft in die Messkammer des Exposimeters. Die von Radon und seinen Folgeprodukten ausgehende Alphastrahlung schädigt einen Detektorfilm in der Messkammer.

Nach der Messdauer von 100 Tagen werden die Detektorfilme im Radonlabor ausgewertet.

Mithilfe einer chemischen und elektrochemischen Ätzung können die Schädigungen im Detektormaterial sichtbar gemacht werden. Die Anzahl der Schädigungen im Detektorfilm gibt Aufschluss über die Radonkonzentration im gemessenen Raum.



Abbildung 28: Informationsflyer Radon - Informationen zum radioaktiven Edelgas und zur Messung der Radonkonzentration

Radon: ein radioaktives Edelgas

Informationen zum radioaktiven Edelgas

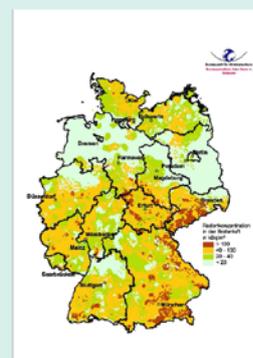
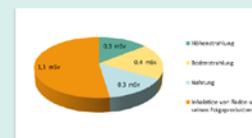
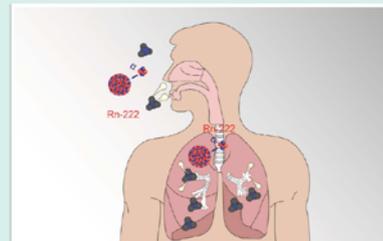
03/2016

Was ist Radon?

Radon ist ein überall in der Umwelt natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas. Es entsteht beim Zerfall natürlicher radioaktiver Stoffe (z. B. Uran) im Boden und kann über Undichtigkeiten im Keller oder im Fundament auch in Häuser gelangen.

Gefährdung durch Radon

Es ist erwiesen, dass Radon das größte umweltbedingte Lungenkrebsrisiko darstellt und nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache von Lungenkrebs ist. Beim Atmen gelangt Radon in den Körper. Dabei wird das Radon zu großen Teilen wieder ausgeatmet. Die ebenfalls radioaktiven Produkte des Radonzerfalls sind aerosolgebunden und werden in der Lunge abgelagert. Das Bundesamt für Strahlenschutz geht davon aus, dass 5-10 % aller Lungenkrebstodesfälle in Deutschland auf das radioaktive Edelgas Radon zurückzuführen sind.



Wie kann ich mich schützen?

Die Messung von Radon ist nicht teuer und wird auch im KIT angeboten. Oft helfen einfache Maßnahmen, die Radonkonzentration in Häusern zu reduzieren. Weiterführende Informationen hierzu erhalten Sie im Radonlabor des KIT.

Radon: Karlsruher Radonexposimeter

Radon sichtbar machen:

03/2016

Herstellung und Einsatz:



Einzelteile des
Radonexposimeters



Exposimeter: fertig montiert; luftdicht verpackt ; während der Exposition



Ätzung:



Einlegen der Detektoren
in das Ätzpaket



Vorbereitung der Ätzung

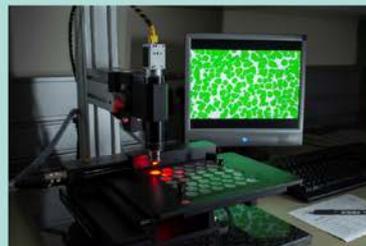


Ätzlabor: Wärmeschranke mit
Generatoren

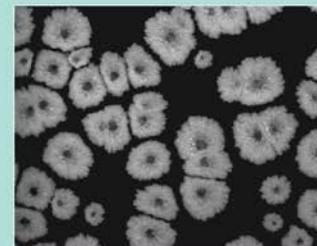
Auswertung und Ergebniserstellung:



Detektor nach der Ätzung



Automatische Spurenzählanlage



Radonspuren auf Detektor

Detektor	Expositionsort	Expositionszeit		Aktivitätskonzentration in Bq/m ³	Mess- unsicherheit	Erkennungs- grenze in Bq/m ³	Nachweis- grenze in Bq/m ³
		von	bis				
182	Schlafzimmer	25.09.2010	20.12.2010	122	12%	2	6

Ergebnisbericht an den Kunden

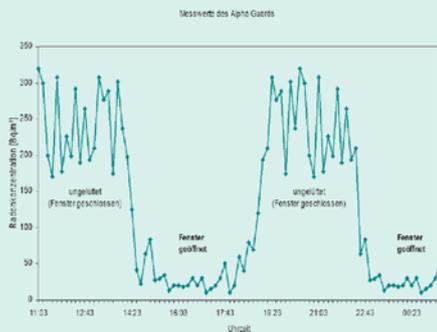
Radon: aktives und passives Messverfahren

Anwendung in öffentlichen Gebäuden, Häusern, Wohnungen, Wasserwerken und Heilstollen.
03/2016

Aktive Radonmessung

Aktive Geräte kommen immer dann zum Einsatz, wenn dynamische Prozesse erkannt werden sollen und eine zeitabhängige Aussage über die Radonkonzentration an einem Ort getroffen werden soll.

Durch die Erfassung des kontinuierlichen, zeitlichen Verlaufes der Radonkonzentration über einen längeren Zeitraum lassen sich präzise Parameter für z.B. eine Sanierung erarbeiten.



Funktion des Alpha Guards:

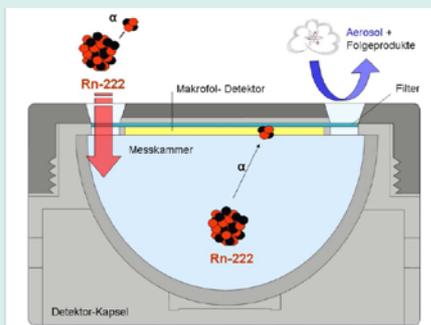
- Radon diffundiert in eine Messkammer.
- Die Signale am Detektor werden durch eine Elektronik gezählt, in eine Aktivitätskonzentration (Bq/m^3) umgerechnet und gespeichert.



Passive Radonmessung

Bei Kernspurdetektoren handelt es sich um ein einfaches passives Messverfahren, bei dem einfallende Alphateilchen Kernspuren entlang ihrer Bahn in einem Polycarbonat-Plättchen hinterlassen.

Anschließend können diese Kernspuren durch ein elektrochemisches Ätzverfahren vergrößert und damit sichtbar gemacht werden.



Das passive Radondosimeter funktioniert ohne Elektronik!

Aerosole und Folgeprodukte werden durch den Filter zurück gehalten, lediglich Radon kann in die Messkammer eindringen.



Nach der Expositionszeit kann die durchschnittliche Radonkonzentration über den Messzeitraum ermittelt werden.

Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“

Sehr geehrte Schulleitung
sehr geehrte Damen und Herren,

das Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM) hat das Karlsruher Institut für Technologie mit der Durchführung des Forschungsvorhabens „Radon in Schulen“ beauftragt. Das Vorhaben wird durch das Programm BWPLUS (Baden-Württemberg Programm Lebensgrundlage und ihre Sicherung) gefördert. Zuständig für die Umsetzung des Vorhabens ist das Radonlabor am KIT.

Für das Vorhaben wird eine flächendeckende Radonerhebungsmessung in baden-württembergischen Schulen durchgeführt. Radon-222 ist ein natürliches radioaktives Edelgas und entstammt der natürlichen Uran-Zerfallsreihe. Durch Spalte und Risse gelangt Radon aus dem Gestein und kann sich in Gebäuden, meist im Keller- oder Erdgeschoss, anreichern. Rund 5% aller Lungenkrebsfälle in Deutschland sind auf das radioaktive Edelgas zurückzuführen.

Mit diesem Schreiben wollen wir Sie anregen, an der Messkampagne teilzunehmen. Das Forschungsvorhaben ist durch das Förderprogramm finanziert. Es entstehen Ihnen keine Kosten für alle im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchgeführten Messungen in Ihrer Schule.

Weiterführende Informationen zum Thema Radon, der Messkampagne sowie den Zugang zum Online-Portal des Forschungsvorhabens finden Sie auf der Internetseite www.sum.kit.edu/Schulen.php

Für die Anmeldung Ihrer Schule zur Messkampagne bitten wir Sie, sich mit den auf der nächsten Seite stehenden Zugangsdaten beim Online-Portal auf der Internetseite anzumelden und den dort erscheinenden Fragebogen auszufüllen. Der Fragebogen beinhaltet 13 einfache Fragen zu Ihrem Schulgebäude und zu weiterführenden Schulinformationen. Das Ausfüllen des Fragebogens dauert keine 5 Minuten. Mithilfe der von Ihnen gegebenen Antworten kann die Anzahl der Messorte in Ihrer Schule bestimmt werden. Anmeldeschluss für die Messkampagne ist der 27. Februar 2015.

Abbildung 33: Erste Seite des Informationsschreibens an baden-württembergische Schulen zur Teilnahme an der Radonmesskampagne

Für die Messkampagne erhalten sie wenige Wochen nach Ausfüllen des Fragebogens eine Anzahl an Radonmessgeräten zugesandt. Die Messgeräte sollen für 100 Tage unverändert in den von uns ausgewiesenen Räumen aufgestellt werden. Nach der Messdauer bitten wir Sie, die Messgeräte zum Radonlabor des Karlsruher Institut für Technologie zurückzusenden, dort werden die Messgeräte anschließend ausgewertet.

Ihre Zugangsdaten zum Online-Portal:	
Schul-ID:	SC0001
Kennwort:	xXxXxXxXx

Das Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie bedankt sich für die Teilnahme an der Messkampagne.

Mit freundlichen Grüßen



i.A. Gerhard Frank



i. A. Ingo Fesenbeck

Abbildung 34: Zweite Seite des Informationsschreibens an baden-württembergische Schulen zur Teilnahme an der Radonmesskampagne

Ihre Schulkennung:

Schul-ID:

Kennwort:

Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“

Sehr geehrte Damen und Herren,

vielen Dank für die Teilnahme am Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“ und Ihrem Interesse, mehr zum Thema „Radon - ein radioaktives Edelgas“ zu erfahren.

Wir freuen uns sehr, Ihnen heute 9 Radonmessgeräte für die Messung der Radonkonzentration in Ihren Schulräumen zukommen zu lassen. Die Anzahl der Radonmessgeräte wurde anhand der von Ihnen gegebenen Antworten des Onlinefragebogens ermittelt. Falls Sie weitere Messgeräte für bspw. Schülerprojekte oder weitere Räume von Interesse benötigen, bitte ich Sie, mich zu kontaktieren.

Bitte teilen Sie die Radonexposimeter mit der auf der Rückseite dieses Schreibens zusammengefassten Raumliste zu. Die Messdauer mit dem Karlsruher Exposimeter beträgt **ungefähr 100 Tage**.

Zur einfachen Aufhängung der Exposimeter haben wir Ihnen zu den Messgeräten zusätzliche Klebehaken beigelegt. Mögliche Befestigungsorte und Befestigungsarten für die Messgeräte sind auf der Rückseite zusammengefasst.

Zur Dokumentation der Messzeiten haben wir in unserem Onlineportal (www.sum.kit.edu/Schulen.php) eine Seite eingerichtet, in der die Start- und Endzeiten der Messung sowie der Messort und die Raumnutzung angegeben werden können. Da diese Informationen für unsere Auswertung notwendig sind, bitte ich Sie um besondere Sorgfalt bei der Pflege der Messdaten im Onlineportal.

Gerne können Sie dieses Anschreiben auch an Ihren Schulträger oder den Gebäudeverantwortlichen weiterleiten. Das Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie bedankt sich für die Teilnahme an der Messkampagne.

Mit freundlichen Grüßen

Abbildung 35: Erste Seite des Anschreibens zum Messgeräteversand mit weiterführenden Informationen zur Durchführung und Dokumentation der passiven Radonmessung

Messräume in Ihrer Schule:

Anzahl Messgeräte	Raum bzw. Raumnutzung
4	Kellerräume: - bevorzugt mit Personenaufenthaltsdauer >1h pro Tag - falls vorhanden: <ul style="list-style-type: none">▪ Heizungsraum▪ Kellerraum ohne gegossene Bodenplatte
5	Erdgeschossräume: - bevorzugt mit Personenaufenthaltsdauer >1h pro Tag

Auswahl des Messortes und Hilfe bei der Befestigung der Radonmessgeräte:

Für aussagekräftige Messergebnisse ist eine Messdauer von rund 100 Tagen notwendig. Befindet sich das Ende der Messperiode innerhalb einer Ferienzeit, kann die Messperiode um bis zu ± 3 Wochen angepasst werden. Während der Messdauer muss das Messgerät an einem gleichbleibenden Ort in einem Raum aufgehängt oder aufgestellt werden. Das Messgerät soll nicht direkt am Fenster oder der Tür platziert werden. Die Öffnung des Messgeräts (mit der Messgerätebezeichnung) muss frei zur Umgebungsluft sein. Damit das Messgerät während der Messdauer nicht abhandenkommt, ist eine deckennahe Aufhängung oder eine Aufhängung hinter der Tafel ratsam. Zur Befestigung der Messgeräte an glatten Oberflächen sind diesem Paket selbstklebende Haken beigelegt. Falls vorhanden, können die Messgeräte auch auf einem Hochschrank oder in einem Regal aufgestellt oder mit dem Befestigungsclip aufgehängt werden. Die übrig gebliebenen Befestigungsmaterialien nehmen wir gerne beim Rückversand der Radonmessgeräte entgegen.

Beispiele zur Befestigung des Radonmessgeräts:



Rückversand der Radonmessgeräte:

Bitte legen Sie die Radonmessgeräte nach der Messdauer von rund 100 Tagen in die Aluminiumverbundtüten zurück und verschließen Sie diese mit einem Klebestreifen. Zur Auswertung der Radonkonzentration benötigen wir die Start- und Endzeit der Messperiode. Bitte tragen Sie die Daten in unserem Onlineportal zusammen. Zum Rückversand kann die gleiche Verpackung verwendet werden. Zur Rücksendung haben wir Ihnen ein Adresslabel mit unserer Adresse beigelegt.

Nach Erhalt Ihrer Messgeräte werden diese bei uns im Labor ausgewertet. Sie erhalten die Ergebnisse der Radonmessung schriftlich zugesandt. Bitte beachten Sie, dass die Auswertung der Radonmessgeräte aus organisatorischen Gründen bis zu 2 Monate dauern kann.

Abbildung 36: Zweite Seite des Anschreibens zum Messgeräteversand mit weiterführenden Informationen zur Durchführung der passiven Radonmessung

MERKBLATT ZUR MESSKAMPAGNE „RADON IN SCHULEN“	
Seite	1 von 1

Sehr geehrte Damen und Herren,

mit dem Karlsruher Radonexposimeter erhalten Sie ein sehr einfaches und zuverlässiges Messgerät zur Bestimmung der Radonkonzentration in Luft. Trotzdem sollten Sie im Interesse einer exakten Messung folgende Hinweise beachten:

- Bitte teilen Sie Ihre Messgeräte auf die zu messenden Räume auf. Mögliche Räume sind
 - im Keller: Heizungsräume, Räume ohne gegossene Bodenplatte, Klassenräume, Aufenthaltsräume, Büroräume, etc.
 - im Erdgeschoss: Klassenräume, Lehrzimmer, Hausmeisterbüro, Aufenthaltsräume, etc.
- Hängen, legen oder stellen Sie das Messgerät nicht direkt an eine Fensteröffnung. Das Messgerät sollte nicht nass werden. Der sichtbare weiße Filter darf nicht beschädigt werden. Zur Aufhängung sind unterschiedliche Befestigungen beigelegt.
- Werfen Sie die Verpackung nicht weg, sie wird zur Rücksendung benötigt.
- Öffnen Sie die gasdichte Messgeräteverpackung mit einer Schere auf einer Seite am Rand. Werfen Sie auch diese Tüte bitte nicht weg; sie wird für die Rücksendung wieder verwendet.
- Entnehmen Sie das Dosimeter, öffnen Sie es nicht, die Detektoren könnten sonst beschädigt werden oder verloren gehen.
- Bitte tragen Sie den Messbeginn und den Messort auf der Messgeräteverpackung sowie im Onlineformular www.sum.kit.edu/Schulen.php ein.
- An seinem Messort soll das Exposimeter für 100 Tage \pm 3 Wochen unverändert stehen oder hängen. Abweichende Expositionszeiten sind im Vorfeld mit dem KIT-Radonlabor abzustimmen. Die über diesen Zeitraum schwankende Radonkonzentration durch Wetterveränderung wird damit gut erfasst.
- Die Seite mit den sichtbaren weißen Filteröffnungen darf nicht verdeckt werden.
- Nach Ablauf des Aufstellungszeitraumes stecken Sie das Dosimeter in die Messgeräteverpackung zurück und verschließen die Verpackung mit einem Klebestreifen (z. B. Tesafilm) möglichst luftdicht.
- Tragen Sie das Messende auf der Messgeräteverpackung ein.
- Tragen Sie die Expositionszeiten in das Onlineformular www.sum.kit.edu/Schulen.php ein.
- Verpacken Sie die Messgeräte in das Päckchen oder Kuvert, versehen es mit der beigelegten Rücksendeadresse und senden Sie es mit dem notwendigen Porto an das Karlsruher Institut für Technologie zurück.
- Zusammen mit dem Ergebnis der Messung erhalten Sie zusätzliche Erläuterungen zur Bedeutung des Messwertes zugesandt.

Abbildung 37: Merkblatt mit zusammengefassten Informationen zur Messung mit dem Karlsruher Radonexposimeter.



Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“

Sehr geehrte Damen, sehr geehrte Herren,

wir freuen uns sehr, Ihnen heute weitere Informationen zum Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“ zukommen zu lassen. Mit diesem Schreiben erhalten Sie die schriftlichen Ergebnisse Ihrer passiven Radonmessung.

Auf dem beiliegenden Informationsblatt haben wir zusätzliche Informationen zur Erkennungs- und Nachweisgrenze sowie Bewertungskriterien für die Ergebnisse mit dem Karlsruher Radonexposimeter zusammengefasst.

Das Karlsruher Radonexposimeter misst Radon mittels eines passiven, zeitintegrierenden Messverfahrens. Die angegebenen Radonkonzentrationen auf dem Ergebnisdokument sind daher gemittelte Konzentrationen über den Überwachungszeitraum. Unterschiedlich hohe Radonkonzentrationen am Tag- oder Nachtzyklus können über die passive Messmethode nicht ermittelt werden.

Im Onlineportal unter www.sum.kit.edu/Schulen.php sind das Merkblatt und der Ergebnisbericht in digitaler Form abgelegt.

Ihre Schul-ID:

Ihr Kennwort:

Wir bitten Sie die Informationen über die Radonmesskampagne zusammen mit den Radonmessergebnissen an Ihren Schulträger oder den Gebäudeverantwortlichen weiterzuleiten.

Das Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie bedankt sich für die Mithilfe und Teilnahme an der Messkampagne.

Mit freundlichen Grüßen



i.A. Ingo Fesenbeck



i.A. Melanie Schaller

Abbildung 38: Anschreiben zum Ergebnisbericht mit Radonkonzentrationen kleiner 300 Bq/m^3 .



Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“

Sehr geehrte Damen, sehr geehrte Herren,

wir freuen uns sehr, Ihnen heute weitere Informationen zum Forschungsvorhaben „Radon in Schulen“ zukommen zu lassen. Mit diesem Schreiben erhalten Sie die schriftlichen Ergebnisse Ihrer passiven Radonmessung.

Auf dem beiliegenden Informationsblatt haben wir zusätzliche Informationen zur Erkennungs- und Nachweisgrenze (EG und NWG) sowie Bewertungskriterien für die Ergebnisse mit dem Karlsruher Radonexposimeter zusammengefasst.

Das Karlsruher Radonexposimeter misst Radon mittels eines passiven, zeitintegrierenden Messverfahrens. Unterschiedlich hohe Radonkonzentrationen am Tag- oder Nachtzyklus können über die passive Messmethode nicht ermittelt werden.

Im Onlineportal unter www.sum.kit.edu/Schulen.php sind das Merkblatt und der Ergebnisbericht in digitaler Form abgelegt:

Ihre Schul-ID:

Ihr Kennwort:

Die Auswertung Ihrer Messgeräte ergab, dass vereinzelte Räume erhöhte Radonkonzentrationen zum neu entstehenden Referenzwert für öffentliche Gebäude aufweisen. Zur Prüfung der Raumnutzung und zur Besprechung für eventuelle neue Messungen bitte ich Sie mich zu kontaktieren.

Wir bitten Sie die Informationen über die Radonmesskampagne zusammen mit den Radonmessergebnissen auch an Ihren Schulträger oder den Gebäudeverantwortlichen weiterzuleiten.

Das Radonlabor des Karlsruher Instituts für Technologie bedankt sich für die Mithilfe und Teilnahme an der Messkampagne.

Mit freundlichen Grüßen



i.A. Ingo Fesenbeck



i.A. Melanie Schaller

Informationsblatt

Bewertungskriterien für die Ergebnisse mit dem Karlsruher Radonexposimeter

Dieses Informationsblatt soll eine Bewertungsgrundlage für die ermittelten Ergebnisse der Radonerhebungsmessung darstellen.

Die vom KIT Radonlabor ausgegebenen Ergebnisse für die Radonkonzentration beziehen sich auf den im Ergebnisbericht **aufgeführten Überwachungszeitraum**.

Die nachfolgende Tabelle soll Ihnen Entscheidungshilfen liefern, ab welcher Radonkonzentration Maßnahmen zum Schutz der Gesundheit getroffen werden sollten. Die aufgezeigten Maßnahmen sind weder vollständig noch immer die Maßnahme der Wahl. Bevor Sie Maßnahmen umsetzen, sollten Sie Expertenrat hinzuziehen.

Radonkonzentration	Bemerkungen
< 100 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none">Gemäß Weltgesundheitsorganisation WHO sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
100 Bq/m ³ bis 300 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none">mit einfachen Maßnahmen, wie regelmäßiger Lüftung (Stoßlüften) kann die Radonkonzentration weiter herabgesetzt werden. Die erhöhte Luftwechselrate senkt die Radonkonzentration Ihres Raumes kostengünstig und effektiv.
300 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none">Neuer Referenzwert für die Radonkonzentration in öffentlichen Gebäuden. Der Referenzwert soll nach der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM bis 2018 in die nationale Gesetzgebung aufgenommen werden.
300 Bq/m ³ bis 1.000 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none">Informieren Sie sich vor geplanten baulichen Maßnahmen (Renovierung, Instandsetzungen etc.) am Gebäude über einfache Sanierungsmöglichkeiten. Planen Sie mittelfristig Sanierungen ein. Sanierungsarbeiten sollten durch Wiederholungsmessungen auf Wirksamkeit überprüft werden
> 1.000 Bq/m ³	<ul style="list-style-type: none">Eine Sanierung ist bei Räumen mit Radonkonzentrationen über 1000 Bq/m³ ausdrücklich empfohlen. Mit Hilfe eines Messplanes sollten die Eindringpfade des Radons gesucht werden. Anhand dieser Messergebnisse kann dann ein Planungskonzept für eine Sanierung erstellt werden. Die Kontrolle des Erfolges Ihres Sanierungsplanes ist erforderlich. Auch einzelne Sanierungsabschnitte können mit Kurzmessungen überprüft werden. Eine dauerhafte Reduzierung der Radonkonzentration unter den Referenzwert von 300 Bq/m³ sollte angestrebt werden.

Nachweis- und Erkennungsgrenzen bei Kernstrahlungsmessungen

Die statistischen Grenzen geben die Güte eines Messsystems für den eingesetzten Messzweck an:

Die **Nachweisgrenze** (NWG) gibt den kleinsten wahren Wert der Aktivitätskonzentration an, der zuverlässig gemessen werden kann.

Die **Erkennungsgrenze** (EG) entscheidet, ob unter den Messsignalen ein Beitrag der Probe ist.

Stand: August 2016

Abbildung 40: Informationsblatt: Bewertungskriterien für die Ergebnisse der Radonmessung und Informationen zu charakteristischen Grenzen der Messung