



Abschlussbericht

Ermittlung und Klassifizierung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Hinblick auf die Radonexposition

Projektlaufzeit: 2013–2019



strahlung



Abschlussbericht

Ermittlung und Klassifizierung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Hinblick auf die Radonexposition

Projektlaufzeit: 2013–2019

Impressum

Ermittlung und Klassifizierung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Hinblick auf die Radonexposition

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de/

Konzept/Text:

LfU, Ulrich Buchner und Dr. Tobias Kloubert

Bildnachweis:

LfU, Ulrich Buchner

Bundesamt für Strahlenschutz, Salzgitter, Abb. 13, S. 22

Stand:

September 2019

Diese Publikation wird kostenlos im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit der Bayerischen Staatsregierung herausgegeben. Jede entgeltliche Weitergabe ist untersagt. Sie darf weder von den Parteien noch von Wahlwerbfern oder Wahlhelfern im Zeitraum von fünf Monaten vor einer Wahl zum Zweck der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Landtags-, Bundestags-, Kommunal- und Europawahlen. Missbräuchlich ist während dieser Zeit insbesondere die Verteilung auf Wahlveranstaltungen, an Informationsständen der Parteien sowie das Einlegen, Aufdrucken und Aufkleben parteipolitischer Informationen oder Werbemittel. Untersagt ist gleichfalls die Weitergabe an Dritte zum Zweck der Wahlwerbung. Auch ohne zeitlichen Bezug zu einer bevorstehenden Wahl darf die Publikation nicht in einer Weise verwendet werden, die als Parteinahme der Staatsregierung zugunsten einzelner politischer Gruppen verstanden werden könnte. Den Parteien ist es gestattet, die Publikation zur Unterrichtung ihrer eigenen Mitglieder zu verwenden.

Das Werk ist urheberrechtlich geschützt. Alle Rechte sind vorbehalten. Die publizistische Verwertung der Veröffentlichung – auch von Teilen – wird jedoch ausdrücklich begrüßt. Bitte nehmen Sie Kontakt mit dem Herausgeber auf, der Sie – wenn möglich – mit digitalen Daten der Inhalte und bei der Beschaffung der Wiedergaberechte unterstützt.

Diese Publikation wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Für die Inhalte fremder Internetangebote sind wir nicht verantwortlich.



BAYERN | DIREKT ist Ihr direkter Draht zur Bayerischen Staatsregierung. Unter Tel. 0 89 12 22 20 oder per E-Mail unter direkt@bayern.de erhalten Sie Informationsmaterial und Broschüren, Auskunft zu aktuellen Themen und Internetquellen sowie Hinweise zu Behörden, zuständigen Stellen und Ansprechpartnern bei der Bayerischen Staatsregierung.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	6
1.1	Radon	6
1.2	Gesetzliche Regelung	6
1.3	Ziele des Untersuchungsvorhabens	7
2	Vorgehensweise	8
2.1	Radonmessungen	8
2.1.1	Langzeitmessungen	8
2.1.2	Zeitaufgelöste Messung	9
2.2	Ermittlung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern	9
2.3	Klassifizierung der Gebäude	10
2.4	Messstrategie	10
2.4.1	Messprogramm	10
2.4.2	Definition Arbeitsplatz	11
3	Ergebnisse	12
3.1	Radonmessungen	12
3.1.1	Langzeitmessungen	12
3.1.2	Parallelbestimmungen	12
3.1.3	Jahres- und Quartalsmessungen	13
3.1.4	Veränderung der mittleren Radonkonzentration zu höheren Stockwerken	14
3.1.5	Einfluss Lüftungssystem	15
3.2	Maßnahmen	16
3.2.1	Nur einzelne Räume betroffen	16
3.2.2	Sehr hohe Radonkonzentrationen im gesamten Gebäude	16
3.2.3	Zeitaufgelöste Messungen	18
3.3	Ermittlung und Klassifizierung der öffentlich zugänglichen Gebäude in Bayern	20
3.3.1	Radonkonzentration in der Bodenluft	21
3.3.2	Gebäudealter	22
3.3.3	Unterkellerung und Tiefgarage unter dem Gebäude	25
3.3.4	Nutzfläche pro Geschoss	26

3.3.5	Erforderliche Anzahl von Exposimetern bei erstmaliger Erhebung der Radonkonzentration	29
3.4	Mess- und Bewertungsstrategie	30
3.5	Abschätzung des Aufwandes von bayernweiten Messungen	31
4	Fazit	32
5	Literatur und Quellen	33
6	Anhang	34

Kurzfassung

Das Untersuchungsvorhaben „Ermittlung und Klassifizierung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Hinblick auf die Radonexposition“ wurde von Juli 2013 bis September 2019 am Bayerischen Landesamt für Umwelt durchgeführt. Ziel war die Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom in nationales Recht in Bezug auf Radon an Arbeitsplätzen zu begleiten.

Das „Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) ist am 31.12.2018 in Kraft getreten. Darin wird erstmalig ein verbindlicher Referenzwert von 300 Becquerel je Kubikmeter Luft für die über das Jahr gemittelte Radonkonzentration festgelegt. Dieser Referenzwert gilt für Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze in privaten und öffentlichen Gebäuden. In noch festzulegenden Gebieten müssen an Arbeitsplätzen Messungen der Radonkonzentration erfolgen.

Im Rahmen des Projekts wird eine Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Radonmessungen für Liegenschaftsverwaltungen erstellt. Rahmenbedingungen zu den Messungen werden bereits durch das Gesetz, die Verordnung und durch weitere bereits vorhandene Normen vorgegeben. Weitere Fragestellungen, insbesondere die Anzahl der erforderlichen Messgeräte pro Gebäude, sollen durch das Projekt beantwortet werden. Zudem soll ein Überblick über die Art und Anzahl der öffentlich zugänglichen Gebäude in Bayern erarbeitet werden und eine Klassifizierung der Gebäude anhand radonrelevanter Parameter erfolgen.

Folgende Projektziele wurden definiert: die Ermittlung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern, die Klassifizierung der Gebäude anhand verschiedener Parameter, die Erarbeitung einer grundlegenden Mess- und Bewertungsstrategie und die Abschätzung des Aufwandes von bayernweiten Messungen.

Eine Abschätzung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern ergibt, dass es sich um mehrere zehntausend handelt, die nicht einheitlich verwaltet werden, weil sie zu verschiedenen Einrichtungen gehören. Es wurde daher für die weitere Durchführung des Projektes der Gebäudebestand des Freistaats Bayern gewählt, der durch die Oberste Baubehörde zentral verwaltet wird. Hier handelt es sich nach aktuellem Stand um etwa 10.000 Gebäude.

Für die Klassifizierung der Gebäude anhand radonrelevanter Parameter wurden Messungen der Radonkonzentration durchgeführt. Es wurden insgesamt 2.015 Exposimeter in 102 öffentlich zugänglichen Gebäuden des Freistaats Bayern ausgebracht. Bei 25 Gebäuden konnte eine Überschreitung des Referenzwertes an mindestens einem Arbeitsplatz festgestellt werden. Die Testmessungen ergaben, dass das Gebäudealter und die Unterkellerung relevante Parameter für die Klassifizierung von Gebäuden sind. Je älter ein Gebäude, desto höher ist tendenziell die Radonkonzentration. In unterkellerten Gebäudebereichen ist die Radonkonzentration im Erdgeschoss tendenziell niedriger als in nicht unterkellerten Bereichen. Die Klassifizierung anhand der Radonkonzentration in der Bodenluft und anhand der Nutzfläche pro Geschoss ist weniger aussagekräftig.

Eine grundlegende Mess- und Bewertungsstrategie wurde erarbeitet. Auf Grundlage dieser wurde eine „Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Radonmessungen in öffentlich zugänglichen Gebäuden“ erstellt, welche im Anhang zu finden ist.

Der finanzielle und organisatorische Aufwand bayernweiter Messungen wurde mit den Erkenntnissen aus dem Projekt abgeschätzt. Für den Freistaat Bayern, in dessen Besitz aktuell etwa 10.000 öffentlich zugängliche Gebäude sind, würde ein Zeitaufwand von etwa 100.000 Stunden entstehen. Dieser ist jedoch auf mehrere Personen verteilt. Für die Beschaffung von Exposimetern müssten ungefähr 4.000.000 € eingerechnet werden.

1 Einleitung

1.1 Radon

Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wird mit Radon das Isotop Radon-222 bezeichnet. Dieses ist das am häufigsten vorkommende und besitzt mit 3,8 Tagen die längste Halbwertszeit aller Radon-Isotope. Aus diesen Gründen spielt es für die Radonexposition des Menschen in geschlossenen Räumen die wichtigste Rolle.

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas. Es ist unsichtbar, geruch- und geschmacklos. Es entsteht im Boden durch radioaktiven Zerfall von Uran, das ebenfalls überall natürlich vorkommt.

Radon entweicht aus Gesteinen und Böden und breitet sich über die Luft im Boden oder in Wasser gelöst aus. Die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft wird von der geologischen Beschaffenheit und der Durchlässigkeit des Untergrunds bestimmt. In Gebieten mit erhöhten Urangelhalten im Boden kommt Radon vermehrt vor. Deshalb werden unter anderem in den Mittelgebirgen aus Granitgestein erhöhte Radongehalte in der Bodenluft gemessen.

Durch Undichtigkeiten in erdberührenden Bereichen eines Gebäudes kann Radon eindringen und sich im Gebäude ausbreiten. Es kommt in den verschiedenen Räumen eines Gebäudes in unterschiedlichen Konzentrationen vor. Im Allgemeinen nimmt die durchschnittliche Radonkonzentration von den unteren zu den oberen Stockwerken ab.

Das Einatmen von Radon und dessen Zerfallsprodukten erhöht das individuelle Risiko, an Lungenkrebs zu erkranken. Dies konnte in mehreren Studien gezeigt werden (Menzler, et al., 2006).

Die Radonkonzentration in einem Raum wird in der Einheit Becquerel pro Kubikmeter Luft (Bq/m³) angegeben. Das Becquerel (Bq) entspricht einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde.

1.2 Gesetzliche Regelung

Dem Schutz der Bevölkerung vor Radon und seinen Zerfallsprodukten wurde im Laufe der Zeit mehr Bedeutung zugesprochen. Dies zeigt sich durch die Empfehlungen, Richtlinien und Gesetze, welche innerhalb der letzten 30 Jahre entstanden sind.

Von der internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) wurde 1984 in einer Veröffentlichung empfohlen, für bestehende Expositionssituationen sogenannte „action levels“ einzuführen, bei denen die Notwendigkeit und der Umfang von Maßnahmen geprüft werden sollte (International Commission on Radiological Protection, 1984).

Der Rat der Europäischen Gemeinschaften empfiehlt 1990 einen Referenzwert von 400 Bq/m³ für bestehende und 200 Bq/m³ für neu zu errichtende Gebäude (Europäische Kommission, 1990).

In der Richtlinie 96/29/Euratom gibt es erstmalig Regelungen zur Radonexposition an speziellen Arbeitsplätzen wie beispielsweise in Badeanlagen, Stollen, Bergwerken und unterirdischen Arbeitsstätten (Europäische Kommission, 1996). Mit der Novellierung der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) von 2001 wurde diese Richtlinie in nationales Recht umgesetzt (Bundesgesetzblatt, 2001). Als Arbeitsfelder mit potentiell erhöhten Radonexpositionen werden in Anlage XI Teil A der StrSchV untertägige Bergwerke, Schächte und Höhlen (einschließlich Besucherbergwerke), Radonheilbäder und Radonheilstollen, Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung erwähnt.

Durch die EU-Richtlinie 2013/59/Euratom (Europäische Kommission, 2014) wurde erstmals ein Referenzwert für die Radonkonzentration in Innenräumen öffentlich zugänglicher und privater Gebäude sowie an allen Arbeitsplätzen in Innenräumen gesetzlich vorgegeben. Er darf maximal 300 Bq/m³ für die über das Jahr gemittelte Radonkonzentration in der Luft betragen. Eine Überschreitung des Referenzwertes zieht Maßnahmen zur Reduktion der Radonexposition sowie gegebenenfalls eine Überwachung der Radonexposition an Arbeitsplätzen nach sich.

Von jedem Mitgliedsland der EU muss zudem ein Radon-Maßnahmenplan aufgestellt und umgesetzt werden. In Anhang XVIII der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom ist eine Reihe von Maßnahmen aufgelistet, von denen folgende Punkte im Rahmen des Untersuchungsvorhabens bearbeitet wurden:

- Strategie für die Durchführung von Erhebungen zur Bestimmung der Radonkonzentrationen in Innenräumen öffentlich zugänglicher Gebäude
- Ermittlung relevanter Parameter, die als spezifische Indikatoren für potenziell hohe Radonexposition genutzt werden können
- Festlegung von Kategorien für Arbeitsplätze und öffentlich zugängliche Gebäude, an denen Messungen erforderlich sind

Die EU-Richtlinie wurde mit dem „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) in nationales Recht umgesetzt. Dieses Gesetz wurde am 12.05.2017 vom Bundestag mit Zustimmung des Bundesrates beschlossen und am 03.07.2017 im Bundesgesetzblatt verkündet (Bundesgesetzblatt, 2017).

Das Strahlenschutzgesetz sowie die neue Strahlenschutzverordnung sind am 31.12.2018 in Kraft getreten. Eine Ausnahme davon bilden die Regelungen zur Optimierung des Notfallschutzes, welche bereits am 01.10.2017 in Kraft getreten sind.

1.3 Ziele des Untersuchungsvorhabens

Mit der Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom in nationales Recht entstehen im Strahlenschutz neue Vollzugsaufgaben. Auch die bayerischen staatlichen und kommunalen Liegenschaftsverwaltungen werden vor neue Aufgaben gestellt. Zur Vorbereitung auf diese Aufgaben wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens „Ermittlung und Klassifizierung von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Hinblick auf die Radonexposition“ folgende Aufgabenstellungen bearbeitet:

- Ermittlung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern
- Klassifizierung der Gebäude, beispielsweise nach Art der Nutzung, Art und Anzahl des Publikumsverkehrs, Größe, geographische Lage, Bauweise, Bauzustand
- Erarbeitung einer grundlegenden Mess- und Bewertungsstrategie für öffentlich zugängliche Gebäude
- Abschätzung des Aufwandes von bayernweiten Messungen

Das Untersuchungsvorhaben wurde von Juli 2013 bis September 2019 am Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU) durchgeführt und vom Bayerischen Staatsministeriums für Umwelt und Verbraucherschutz (StMUV) finanziert.

Mit den Ergebnissen des Untersuchungsvorhabens wird die Umsetzung der neuen Regelungen zum Schutz vor Radon unterstützt.

2 Vorgehensweise

2.1 Radonmessungen

Die Radonkonzentration in einem Raum unterliegt im zeitlichen Verlauf sehr starken Schwankungen. Zur Messung der Radonkonzentration stehen verschiedene Methoden und Messgeräte zur Verfügung.

Mit einer Langzeitmessung wird der Mittelwert der Radonkonzentration über einen längeren Zeitraum bestimmt. Sie ist die einfachste und kostengünstigste Methode einer Radonmessung und wird in der Regel mit Kernspur-Exposimetern durchgeführt.

Mit einer zeitaufgelösten Messung kann der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration in einem Raum und damit auch der Einfluss des Lüftungsverhaltens nachvollzogen werden. Eine zeitaufgelöste Messung ist jedoch aufwendiger und bedarf elektronischer Messgeräte.

Der Referenzwert nach StrlSchG ist auf einen Jahresmittelwert festgelegt. Um sich auf diesen beziehen zu können, muss daher eine Langzeitmessung über ein ganzes Jahr durchgeführt werden. Wird über einen kürzeren Zeitraum gemessen, so sollte dies über mindestens drei Monate und mindestens zur Hälfte während der Heizperiode geschehen.

Im Untersuchungsvorhaben wurde, bedingt durch eine anfangs auf drei Jahre ausgelegte Laufzeit, jeweils nur etwa ein halbes Jahr lang gemessen. Davon lag mindestens die Hälfte des Messzeitraums in der Heizperiode, um eine konservative Abschätzung der Radonkonzentration zu erhalten.

2.1.1 Langzeitmessungen

Kernspur-Exposimeter, im Folgenden nur noch Exposimeter genannt, bestehen in der Regel aus einer Diffusionskammer und aus einem Detektor-Plättchen aus Polycarbonat. Durch Diffusion gelangen Radon-Atome aus der Raumluft in die Diffusionskammer. Die Alphazerfälle von Radon und seinen Zerfallsprodukten hinterlassen auf dem Detektor-Plättchen Spuren. Im Labor werden die Spuren auf dem Plättchen ausgezählt.

Zur Messung mit Exposimetern muss jeweils der Zeitraum notiert werden, den die Exposimeter vor Ort ausgelegt waren. Zudem muss jedem Exposimeter eine Raumnummer oder eine Raumbezeichnung zugeordnet werden. Die Exposimeter können jeweils durch eine eindeutige Nummer identifiziert werden. Anhand des Messzeitraumes und den Spuren auf dem Detektor-Plättchen kann die Radonkonzentration im Raum ermittelt werden.

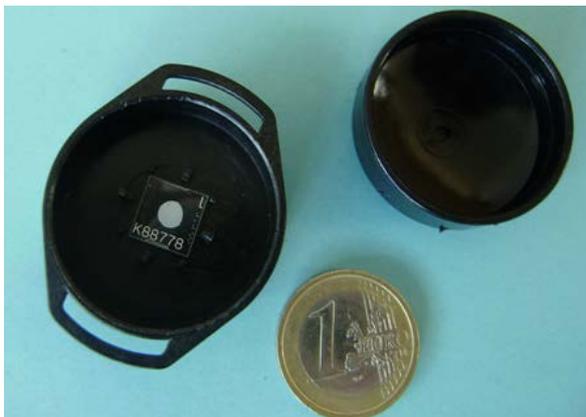


Abb. 1: Als Anschauungs-Objekt geöffnetes Exposimeter



Abb. 2: Zur Messung ausgelegtes Exposimeter mit Hinweis-Blatt

In Abb. 1 ist ein geöffnetes Exposimeter gezeigt. Im linken Teil der Abbildung ist der untere Teil des Exposimeters (Boden) mit dem darauf befestigten Detektor-Plättchen zu erkennen. Im rechten Teil der Abbildung ist der obere Teil des Exposimeters (Deckel) dargestellt.

In Abb. 2 ist ein zur Messung ausgelegtes Exposimeter mit dem Hinweis-Blatt „Bitte liegen lassen – Messung läuft!“ dargestellt. Das Hinweis-Blatt wird ausgelegt, um den Schwund an Exposimetern möglichst gering zu halten. Durch das Hinweis-Blatt und die Methode, die Exposimeter im Rahmen des Untersuchungsvorhabens selbst auszulegen und wieder einzusammeln, konnte ein sehr geringer Schwund an Exposimetern von nur zwei Prozent erreicht werden.

2.1.2 Zeitaufgelöste Messung

Die Zeitauflösung elektronischer Messgeräte beträgt zwischen zehn Minuten und einer Stunde. Sie verfügen über ein Display, auf dem die Radonkonzentration als Mittelwert über einen gewissen Zeitraum abgelesen werden kann. In Abb. 3 sind Beispiele für zeitauflösende Messgeräte dargestellt.



Abb. 3: Beispiele für zeitauflösende Radon-Messgeräte. Links: Messgerät „AlphaE“; Rechts: Messgerät „AlphaGuard“

Um die Auswirkung von Lüftungsmaßnahmen nachvollziehen zu können, muss der Messzeitraum und Lüftungszeitpunkte protokolliert werden. Die Messdaten werden mithilfe einer Software vom Speicher der Geräte ausgelesen und können anschließend am Computer ausgewertet werden. In Abschn. 3.2.3 sind Beispiele für Konzentrations-Verläufe von zeitaufgelösten Messungen gezeigt.

2.2 Ermittlung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern

Zu Beginn des Untersuchungsvorhabens war die Erfassung sämtlicher öffentlich zugänglicher Gebäude in Bayern vorgesehen. Es zeigte sich jedoch bald, dass sowohl die Anzahl (etwa 62.000, siehe Kapitel 3.3), als auch die Vielfalt an Kategorien öffentlich zugänglicher Gebäude sehr umfangreich ist. Des Weiteren unterliegen die Gebäude keiner einheitlichen zentralen Verwaltung, was die Erfassung und die Kontaktaufnahme mit den zuständigen Institutionen bedeutend erschwert hätte.

Für das Untersuchungsvorhaben wurden daher Gebäude aus einem einheitlich verwalteten Gebäudebestand ausgewählt. Ein solcher Bestand an öffentlich zugänglichen Gebäuden fand sich bei der Obersten Baubehörde (OBB), die dem ehem. Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (StMI) unterstellt war. Die OBB führt die Fachdatenbank Hochbau (FdH), in der sich zum Zeitpunkt der Projektdurchführung etwa 10.000 öffentlich zugängliche Gebäude im Besitz des Freistaats Bayern befanden.

2.3 Klassifizierung der Gebäude

Gebäude können mithilfe radonrelevanter Parameter klassifiziert werden. Die Klassifizierung dient dabei dem Zweck, die Dringlichkeit von Messungen zu beurteilen und eine Priorisierung vorzuschlagen. Folgende Gebäude-Parameter haben in Bezug auf Radon eine Relevanz:

- **Radonkonzentration in der Bodenluft:** Die Radonkonzentration in der Bodenluft hängt von der Bodenbeschaffenheit ab und variiert daher regional sehr stark. Es wird untersucht, inwieweit Gebäude anhand der Radonkonzentration in der Bodenluft des Testgebiets klassifiziert werden können.
- **Gebäudealter:** Die Gebäudebeschaffenheit ist meist abhängig vom Gebäudealter. Je älter ein Gebäude ist, desto mehr mögliche Eintrittspfade für Radon sind tendenziell vorhanden. Es wird untersucht, inwieweit anhand des Alters eine Klassifizierung vorgenommen werden kann.
- **Unterkellerung:** Die Unterkellerung kann einen Einfluss auf die Radonkonzentration in einem Gebäude haben. Es wird untersucht, inwieweit die Radonkonzentration in unterkellerten Gebäuden und Gebäudeteilen niedriger ist als in nicht unterkellerten Gebäuden und Gebäudeteilen selber Bauart.
- **Nutzfläche pro Geschoss:** Möglicherweise hat auch die Größe der Grundfläche eines Gebäudes einen Einfluss auf die Radonkonzentration im Gebäude. Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wird daher untersucht, wie groß der Einfluss der Nutzfläche pro Geschoss auf die Radonkonzentration im Gebäude ist.

2.4 Messstrategie

Eine Messstrategie zur Erfassung der Radonkonzentration in öffentlich zugänglichen Gebäuden soll eine Reihe von Kriterien erfüllen. Sie soll repräsentative und mit dem Referenzwert vergleichbare Jahresmittelwerte liefern, wenig Zeitaufwand erfordern, einfach und auch durch fachfremde Personen durchzuführen und kostengünstig sein. Zudem muss sie mit den gesetzlichen Regelungen konform sein.

Es bestehen bereits Normen, die Messstrategien zur Ermittlung und Beurteilung der Radonsituation enthalten. Hier seien die DIN-Norm 11665-8 und die ÖNORM S 5280-1 erwähnt. Diese enthalten unter anderem Vorgaben zu Messgeräten, Messdauer, Aufstellungsort und Beurteilung der Ergebnisse. Einige Punkte können direkt aus diesen Normen übernommen werden. Andere Aspekte, insbesondere die Anzahl der zu messenden Räume pro Gebäude, sollen im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens geklärt werden.

Um eine grundlegende Mess- und Bewertungsstrategie entwickeln zu können und den finanziellen und organisatorischen Aufwand bayernweiter Messungen abschätzen zu können, wurden im Rahmen des Untersuchungsvorhabens Testmessungen durchgeführt.

Es wurden insgesamt 102 Gebäude in 14 Orten in Bayern auf ihre Radonkonzentration hin untersucht. Dabei wurden insgesamt 2.015 Messungen mit Exposimetern durchgeführt.

2.4.1 Messprogramm

Im Projekt wurden drei Messphasen durchgeführt. Die Messphasen sollten jeweils verschiedene Fragestellungen beantworten. In der ersten Messphase wurde in erster Linie darauf geachtet, Testgebäude in Gebieten mit unterschiedlichen Radonkonzentrationen in der Bodenluft auszuwählen. Außerdem wurden Gebäude mit möglichst unterschiedlichen Nutzflächen und von verschiedenen Baujahren ausgewählt.

In der zweiten Messphase wurde zusätzlich darauf geachtet, dass Räume in Keller und Erdgeschoss der Gebäude möglichst vollständig mit Exposimetern ausgestattet wurden, um einen Rückschluss auf die minimal benötigte Anzahl von Exposimetern zu ermöglichen.

In der dritten Messphase lag der Fokus auf der Messung von großen Gebäuden. Das bedeutet, dass die Radonkonzentration in den Gebäuden auch in höheren Stockwerken erfasst wurde. Damit kann ermittelt werden, wie die Radonkonzentration zu höheren Stockwerken abnimmt und ob es notwendig ist, auch höhere Stockwerke bei den Messungen zu berücksichtigen.

Um Informationen zur Radonsituation im gesamten Gebäude zu erhalten, wurde in allen Messphasen auch in Räumen gemessen, die keine Arbeitsplätze sind.

2.4.2 Definition Arbeitsplatz

Bei der Entstehung der neuen Regelungen zu Radon gab es noch keine verbindliche Definition eines Arbeitsplatzes. Daher wurde für die Durchführung des Untersuchungsvorhabens eine Definition aus den „Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung“ des Länderausschusses für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI) verwendet. In Abschnitt C2 § 2 Abs. 2 der Leitlinien heißt es: „Arbeitsplätze (...) liegen nach allgemeiner Auffassung dann vor, wenn sich Beschäftigte zur Verrichtung ihrer Arbeitsaufgabe in abgrenzbaren Bereichen einer Arbeitsstätte entweder mindestens zwei Stunden täglich oder an mindestens 30 Arbeitstagen im Jahr aufhalten müssen“ (Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), 2009).

3 Ergebnisse

3.1 Radonmessungen

3.1.1 Langzeitmessungen

Von den 102 untersuchten Gebäuden konnte bei 47 eine Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum festgestellt werden. Das bedeutet, dass bei 46 Prozent der untersuchten Gebäude, also in fast jedem zweiten, eine Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum vorlag.

Bei 25 Gebäuden konnte eine Überschreitung des Referenzwertes an mindestens einem Arbeitsplatz festgestellt werden. Das bedeutet, dass bei 25 Prozent der untersuchten Gebäude, also in jedem vierten, eine Überschreitung des Referenzwertes an mindestens einem Arbeitsplatz vorlag.

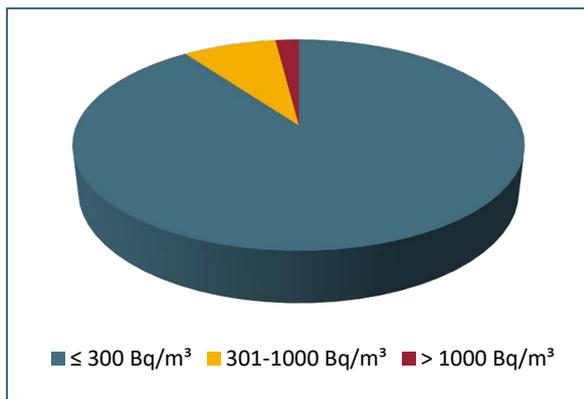


Abb. 4: Anteil von Räumen in Konzentrationsklassen

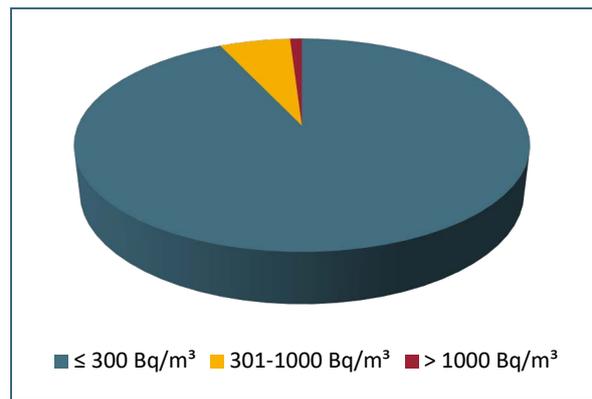


Abb. 5: Anteil von Arbeitsplätzen in Konzentrationsklassen

In Abb. 4 und Abb. 5 sind jeweils die Anteile von Räumen beziehungsweise Arbeitsplätzen in bestimmten Konzentrationsklassen gezeigt.

Von den 2.015 gemessenen Räumen liegen 1.810 (90 Prozent) unter dem Referenzwert von 300 Bq/m³, 161 (8 Prozent) zwischen 300 Bq/m³ und 1.000 Bq/m³ und 44 (2 Prozent) über 1.000 Bq/m³.

Es wurden an insgesamt 1.173 Arbeitsplätzen Radonmessungen durchgeführt. Davon liegen 1.089 (93 Prozent) unter 300 Bq/m³, 72 (6 Prozent) zwischen 300 Bq/m³ und 1.000 Bq/m³ und 12 (1 Prozent) über 1.000 Bq/m³.

3.1.2 Parallelbestimmungen

Um die Abweichung der Messwerte von mehreren Exposimetern in einem Raum zu ermitteln, wurden in verschiedenen Räumen Parallelbestimmungen der Radonkonzentration durchgeführt. Insgesamt wurden drei Kategorien von Parallelbestimmungen durchgeführt:

- **Messung von Räumen größer als 200 m²:** In Räumen mit einer Grundfläche größer als 200 m² wurden zwei bis drei Exposimeter in einigen Metern Abstand aufgestellt, um herauszufinden, wie die Radonkonzentration innerhalb großer Räume variiert. Insgesamt konnten zwölf Räume mit Exposimetern zur Parallelbestimmung ausgestattet werden. Es ergab sich eine durchschnittliche Abweichung der Messwerte von 20 Prozent.
- **Messung von Räumen kleiner als 200 m²:** Auch in Räumen mit einer Grundfläche von unter 200 m² wurden Parallelbestimmungen durchgeführt, um herauszufinden, wie die Radonkonzent-

ration innerhalb kleiner Räume variiert. In insgesamt fünf Räumen mit einer Grundfläche unter 200 m² wurden jeweils zwei Exposimeter mit einigen Metern Abstand aufgestellt. Es ergab sich eine durchschnittliche Abweichung der Messwerte von neun Prozent.

- **Doppelbestimmungen:** In vier Räumen wurden zwei Exposimeter direkt nebeneinandergelegt, um die Abweichung von zwei Messgeräten zueinander zu bestimmen. Es ergab sich eine durchschnittliche Abweichung von fünf Prozent.

Der typische Messfehler einer Exposimetermessung liegt im Bereich von 20 bis 30 Prozent. Die durchschnittliche Abweichung bei den Parallelbestimmungen ist also kleiner als der typische Messfehler einer Exposimetermessung. Daher reicht in der Regel auch in großen Räumen ein Exposimeter zur Bestimmung der Radonkonzentration.

3.1.3 Jahres- und Quartalsmessungen

Bei Überschreitungen des Referenzwertes in Testgebäuden werden je nach Höhe der Überschreitung und je nach der Art und Anzahl betroffener Räume unterschiedliche Maßnahmen empfohlen (siehe Kapitel 3.2).

Lag der gemessene Wert zwischen 300 Bq/m³ und 400 Bq/m³, so konnte noch keine eindeutige Überschreitung festgestellt werden, weil der Messzeitraum jeweils nur ungefähr ein halbes Jahr betrug. Bei Messung über ein ganzes Jahr kann es daher sein, dass der Messwert geringer ausfällt und unter dem Referenzwert liegt.

In einigen Fällen wurden daher Jahres- und Quartalsmessungen der Radonkonzentration durchgeführt. Mit der Jahresmessung konnte der Jahresmittelwert bestimmt und somit direkt Bezug auf den Referenzwert genommen werden. Mit den Quartalsmessungen konnte der Verlauf der Radonkonzentration während verschiedener Jahreszeiten ermittelt werden.

Im Zuge dessen wurden auch in Räumen, die bis dahin noch nicht gemessen wurden und in der Nähe von Räumen mit Überschreitungen lagen, Jahres- und Quartalsmessungen der Radonkonzentration durchgeführt. Insgesamt wurden 42 Jahres- und Quartalsmessungen durchgeführt.

In acht Räumen lag die ermittelte Radonkonzentration bei der ursprünglichen Halbjahresmessung zwischen 300 und 400 Bq/m³. Nach der Jahresmessung lag die Radonkonzentration in vier Fällen unter dem Referenzwert und in zwei Fällen weiterhin über dem Referenzwert. In zwei Fällen lag die Radonkonzentration nach der Jahresmessung deutlich unter dem Referenzwert. Dies lässt sich zum Teil auf ein verändertes Lüftungsverhalten zurückführen.

Die Quartalsmessungen zeigen, dass die niedrigsten Radonkonzentrationen erwartungsgemäß in den Sommermonaten zu messen sind.

Mit den Ergebnissen der Jahres- und Quartalsmessungen wurde berechnet, wie gut Halbjahres- oder Quartalsmessungen den Jahresmittelwert der Radonkonzentration in einem Raum wiedergeben. Dazu wird das Verhältnis der Halbjahres- und Quartalsmittelwerte zum Jahresmittelwert berechnet.

Die Jahres- und Quartalsmessungen der ersten Messphase wurden von Januar bis Januar durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt 15 Fälle, mit denen jeweils das Verhältnis von Quartals- und Halbjahresmittelwerten zum Jahresmittelwert berechnet werden kann.

Die Jahres- und Quartalsmessungen der zweiten Messphase wurden von Dezember bis Dezember durchgeführt. Daraus ergeben sich insgesamt 25 Fälle, mit denen jeweils das Verhältnis von Quartals- und Halbjahresmittelwerten zum Jahresmittelwert berechnet werden kann.

Tab. 1: Verhältnis von Quartalsmittelwerten zu Jahresmittelwerten

Messzeitraum	Januar bis April	April bis Juli	Juli bis Oktober	Oktober bis Januar
Verhältnis Quartalsmittelwert zu Jahresmittelwert	1,3	0,8	1,0	1,2
Messzeitraum	Dezember bis März	März bis Juni	Juni bis September	September bis Dezember
Verhältnis Quartalsmittelwert zu Jahresmittelwert	1,5	1,0	0,6	1,4

Tab. 2: Verhältnis von Halbjahresmittelwerten zu Jahresmittelwerten

Messzeitraum	Januar bis Juli	April bis Oktober	Juli bis Januar	Oktober bis April
Verhältnis Halbjahresmittelwert zu Jahresmittelwert	1,1	0,9	1,1	1,2
Messzeitraum	Dezember bis Juni	März bis September	Juni bis Dezember	September bis März
Verhältnis Halbjahresmittelwert zu Jahresmittelwert	1,2	0,8	1,0	1,4

In Tab. 1 und Tab. 2 sind die Ergebnisse der Berechnungen dargestellt. Je näher das Verhältnis an eins ist, desto besser bildet die entsprechende Messung den Jahresmittelwert ab.

Bei den Quartalsmessungen geben die Messungen von Juli bis Oktober und von März bis Juni besonders gut das Ergebnis der Jahresmessung wieder.

Bei den Halbjahresmessungen bildet die Messung von Juni bis Dezember den Wert der Jahresmessung am besten ab.

Eine Messung über mehrere Monate gibt den Jahresmittelwert also am besten wieder, wenn ungefähr die Hälfte des Messzeitraums in der Heizperiode liegt und die andere Hälfte des Messzeitraums außerhalb der Heizperiode.

Man könnte die Ergebnisse dieser Berechnungen auch verwenden, um von Messungen, die in diesen Zeiträumen stattgefunden haben, auf Jahresmittelwerte hochzurechnen. Da den Berechnungen jedoch nur wenige Datensätze zugrunde liegen, sind die Werte zu wenig aussagekräftig.

3.1.4 Veränderung der mittleren Radonkonzentration zu höheren Stockwerken

In den Boxplots in Abb. 6 sind die Messergebnisse von allen Gebäuden und allen Räumen vom 1. UG bis zum 2. OG nach Stockwerk zusammengefasst. Der Median und die 0,25- und 0,75-Quartile sind in den orangenen Boxen durch horizontale Linien dargestellt. Dies dient zur Markierung der Streuung. Die Extremwerte sind durch vertikale Linien dargestellt.

Im Durchschnitt nimmt der Median der Radonkonzentration von einem Stockwerk zum nächst höheren um 15 Prozent ab. Auch die Streuung der Messwerte und die Maximalwerte werden mit zunehmendem Stockwerk geringer.

Intuitiv wäre dieses oder ein ähnliches Ergebnis zu erwarten gewesen. Bewertet man die Ergebnisse jedoch nach Gebäude getrennt, so gibt es Ausnahmen zu dieser Tendenz.

In 30 Prozent der betrachteten Fälle ergibt sich rechnerisch eine Zunahme im Median von einem Stockwerk eines Gebäudes zum nächst höheren. Besonders in Stockwerken ab dem 1. OG ist das zu

beobachten. Es liegen jedoch insgesamt weniger Messdaten von höheren Stockwerken vor, weshalb dies nicht ausreichend aussagekräftig ist.

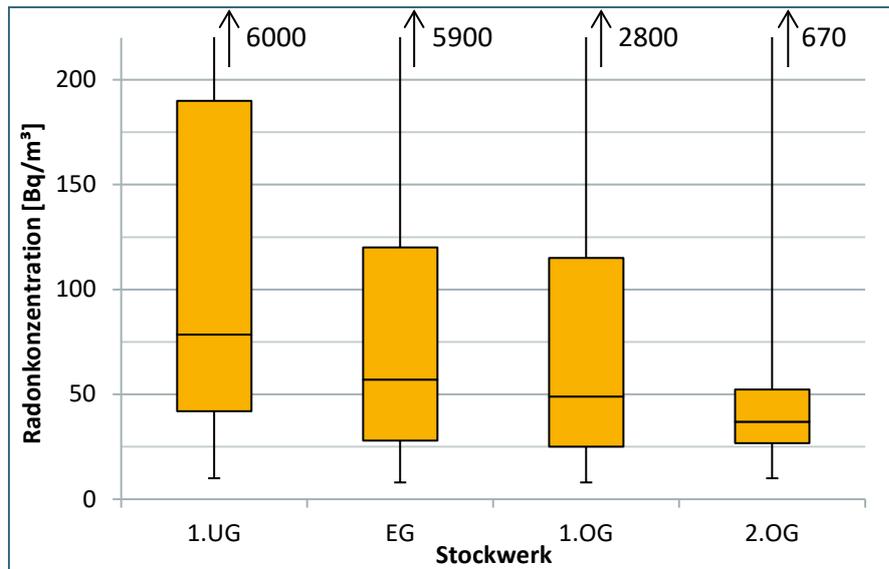


Abb. 6: Boxplots der Radonkonzentrationen in den Testgebäuden in Abhängigkeit vom Stockwerk

Eine Überschreitung des Referenzwertes in höheren Stockwerken (ab 1. OG) wurde nur bei Gebäuden festgestellt, die auch sehr hohe Radonkonzentrationen in Erdgeschoss und Keller hatten. Dies betrifft zwei Gebäude des Messprogramms und wird im Abschn. 3.2.2 behandelt.

3.1.5 Einfluss Lüftungssystem

Mit den Messdaten aus dem Untersuchungsvorhaben kann auch der Einfluss einer Raumlüftung auf die mittlere Radonkonzentration im Raum nachvollzogen werden. Bei 45 Gebäuden gab es in manchen Räumen ein Lüftungssystem und in anderen Räumen nicht. Es gab Messergebnisse von 284 Räumen mit Lüftungssystem und von 739 Räumen ohne Lüftungssystem. Aus den Messergebnissen wurden jeweils Boxplots für Räume mit und Räume ohne Lüftungssystem erstellt. Diese sind in Abb. 7 gezeigt.

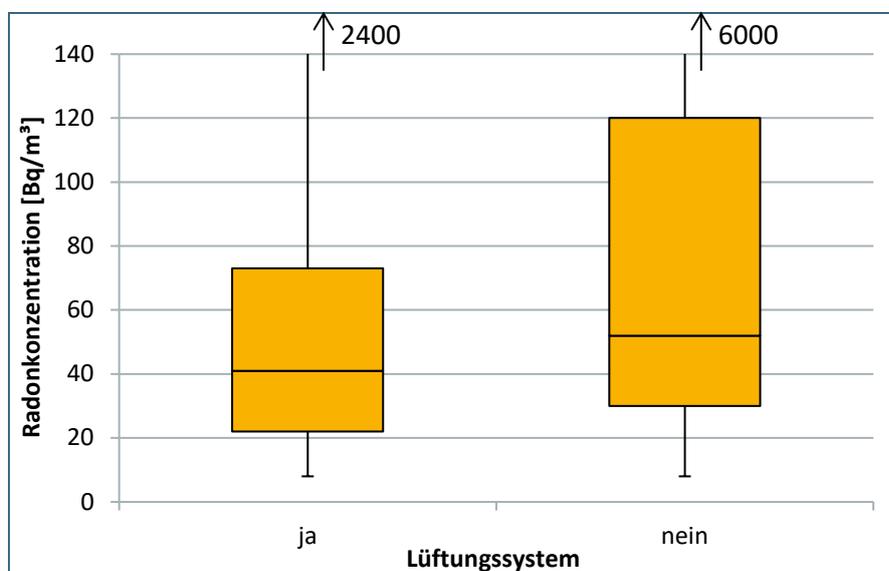


Abb. 7: Boxplots der Radonkonzentrationen für Räume mit und ohne Lüftungssystem

Der Median für Räume ohne Lüftungssystem beträgt 52 Bq/m^3 und ist damit etwas höher als der Median für Räume mit Lüftungssystem, welcher 41 Bq/m^3 beträgt. Der Unterschied zeigt sich auch im Streubereich der Messwerte, welcher durch die 0,25- und 0,75-Quantile festgelegt wird.

Der Streuungsbereich für Räume ohne Lüftungssystem ist größer als der Streuungsbereich für Räume mit Lüftungssystem.

Weiterhin wird der Anteil von Räumen und Arbeitsplätzen mit Überschreitung des Referenzwertes an der Gesamtzahl von Räumen und Arbeitsplätzen mit und ohne Lüftungssystem berechnet. Bei acht von 284 Räumen mit Lüftungssystem gab es eine Überschreitung des Referenzwertes. Das entspricht einem Anteil von drei Prozent. Bei Arbeitsplätzen mit Lüftungssystem ergab sich ein Anteil von null Prozent. Das heißt, im Rahmen des Untersuchungsvorhabens gab es keinen Arbeitsplatz mit Lüftungssystem, bei dem der Referenzwert überschritten wurde. Für Räume ohne Lüftungssystem ergibt sich ein Anteil von zehn Prozent und für Arbeitsplätze ohne Lüftungssystem ein Anteil von sechs Prozent.

Ein Lüftungssystem wirkt sich also im Normalfall positiv auf die Radonkonzentration im Raum aus.

3.2 Maßnahmen

3.2.1 Nur einzelne Räume betroffen

Bei Überschreitung des Referenzwertes müssen Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration ergriffen werden. In Tab. 3 sind Maßnahmen aufgelistet, die den Gebäude-Verantwortlichen bei Mitteilung der Messergebnisse für verschiedene Situationen empfohlen wurden. Die Maßnahmen sind von der Radonsituation in den gemessenen Räumen abhängig.

Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wurde die Radonkonzentration nur über etwa ein halbes Jahr lang gemessen. Der Referenzwert ist jedoch auf einen Jahresmittelwert festgelegt. Deshalb wurde für die Situation „Messwert etwas über dem Referenzwert“ (zwischen 300 und 400 Bq/m³) eine ganzjährige Messung empfohlen. Die Situation „eindeutig über Referenzwert“ bedeutet, dass der Messwert größer als 400 Bq/m³ ist.

Tab. 3: Maßnahmen in Abhängigkeit von der Situation

Situation	Maßnahme
Messwerte in allen Räumen maximal 300 Bq/m ³ .	Keine Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration erforderlich.
Messwert etwas über Referenzwert und Arbeitsplatz.	Ganzjährige Messung zur Bestimmung des Jahresmittelwertes durchführen; bei weiterhin bestehender Überschreitung des Referenzwertes sind Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration zu ergreifen.
Messwert etwas über Referenzwert, kein Arbeitsplatz, selten genutzt.	Raum vor längerem Aufenthalt lüften.
Messwert etwas über Referenzwert, kein Arbeitsplatz, selten genutzt, intensivere Nutzung denkbar.	Raum vor längerem Aufenthalt lüften. Wenn intensivere Nutzung geplant: zuerst Messung zur Bestimmung des Jahresmittelwertes. Bei weiterhin bestehender Überschreitung sind Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration zu ergreifen.
Messwert eindeutig über Referenzwert, Arbeitsplatz.	Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration sind zu ergreifen.
Messwert eindeutig über Referenzwert, kein Arbeitsplatz.	Raum vor dem Betreten bzw. während des Aufenthalts lüften. Vor einer geplanten intensiveren Nutzung des Raums sind Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration zu ergreifen.

3.2.2 Sehr hohe Radonkonzentrationen im gesamten Gebäude

In zwei Gebäuden des Messprogramms wurden sehr hohe Werte der Radonkonzentration im ganzen Gebäude festgestellt. In den beiden Gebäuden wurde die Radonkonzentration jeweils vom Unterge-

schoss bis in das Dachgeschoss gemessen. Die Boxplots der Messergebnisse in Abhängigkeit vom Stockwerk sind in Abb. 8 und Abb. 9 dargestellt.

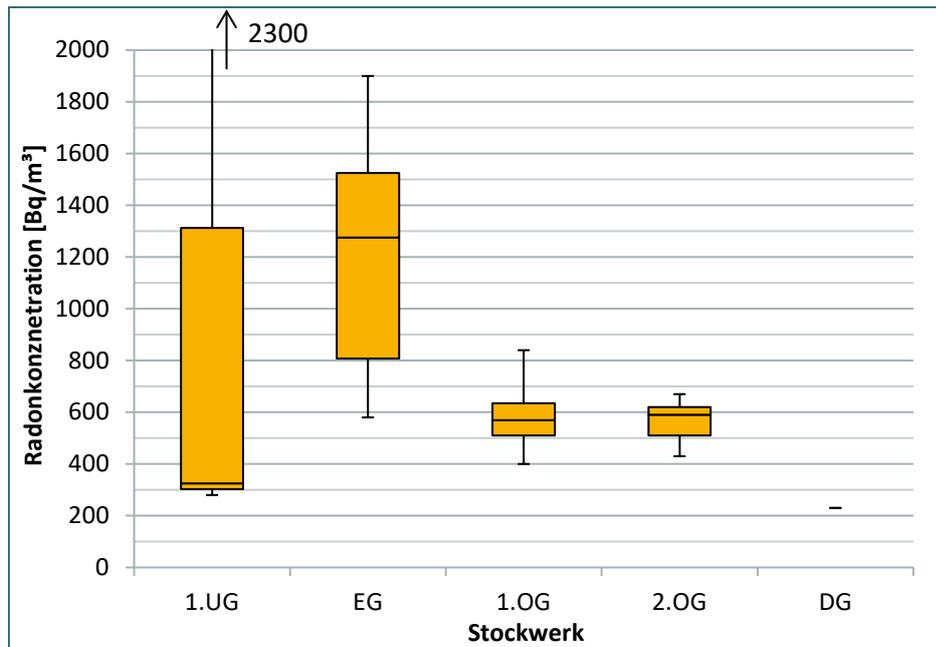


Abb. 8:
Boxplots der Radonkonzentrationen des Gebäudes 1 in Abhängigkeit vom Stockwerk

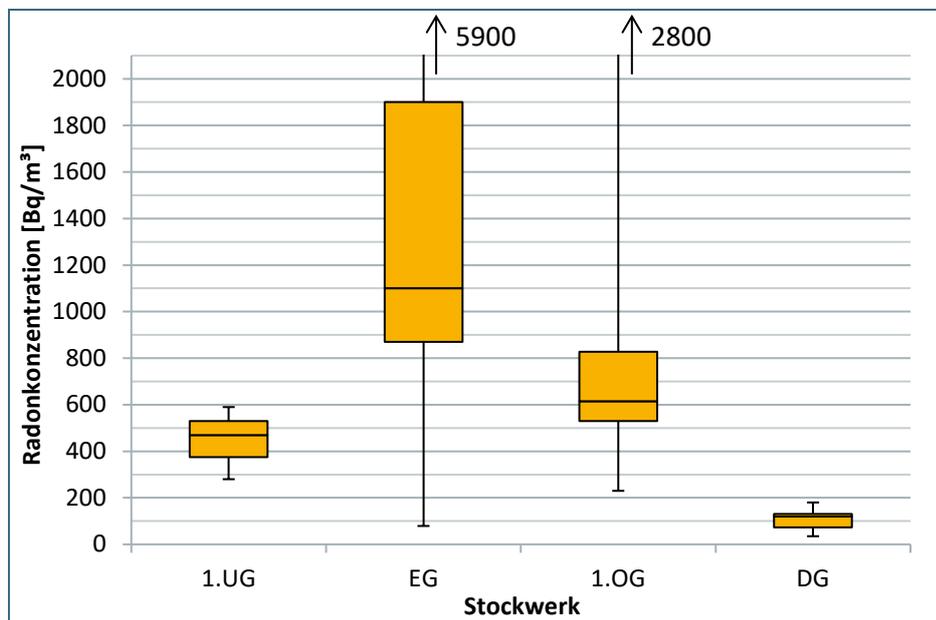


Abb. 9:
Boxplots der Radonkonzentrationen des Gebäudes 2 in Abhängigkeit vom Stockwerk

Es handelt sich bei beiden Gebäuden um teilunterkellerte Gebäude, deren Kellerräume größtenteils gut durchlüftet sind. Der Median der Radonkonzentration im 1. UG ist daher bei beiden Gebäuden im Vergleich zu den anderen Stockwerken relativ gering. Die höchsten Median-Werte der Radonkonzentrationen liegen jeweils im Erdgeschoss vor.

Das Gebäude 1 verfügt über drei Obergeschosse. Im Dachgeschoss wurde nur in einem Zimmer die Radonkonzentration gemessen ("-" in Abb. 8). Sie beträgt 230 Bq/m³. Das Gebäude 2 besitzt zwei Obergeschosse. Der Median der Radonkonzentration im Dachgeschoss von Gebäude 2 beträgt 120 Bq/m³.

Bei beiden Gebäuden sind in den Obergeschossen Radonkonzentrationen von über 500 Bq/m³ zu finden. Es waren auch jeweils größtenteils Arbeitsplätze von den hohen Konzentrationen betroffen. Nach Abschluss der Messungen wurde in mehreren Vor-Ort-Terminen den Gebäude-Verantwortlichen und den Mitarbeitern die Situation im Gebäude erklärt, die Wirkung von Radon und seinen Folgeprodukten auf die Gesundheit aufgezeigt und Empfehlungen zur weiteren Vorgehensweise gegeben.

Es wurde darauf hingewiesen, dass bei solchen Radonkonzentrationen ein sofortiger Handlungsbedarf besteht. Sofortmaßnahmen sind verstärktes Lüften der betroffenen Räume und wenn möglich eine Umnutzung der Räume mit den höchsten Konzentrationen.

Eine dauerhafte Lösung kann bei sehr hohen Radonkonzentrationen jedoch nur durch bauliche Maßnahmen erreicht werden. Die Empfehlung lautete daher, sich mit Radonfachpersonen in Verbindung zu setzen und die weiteren Schritte gemeinsam zu planen.

Nach einer Sanierung muss die Radonkonzentration im Gebäude erneut gemessen werden, um den Erfolg der Maßnahmen zu überprüfen. Bei beiden Gebäuden finden zum aktuellen Zeitpunkt Sanierungsmaßnahmen statt.

3.2.3 Zeitaufgelöste Messungen

Die Radonkonzentration in einem Raum unterliegt im zeitlichen Verlauf meist starken Schwankungen. Diese Schwankungen sind unter anderem von der Nutzung des Raumes abhängig. An einem Arbeitsplatz ist die Radonkonzentration im Normalfall während der Nutzungszeit geringer als in ungenutzten Phasen.

Mit einer zeitaufgelösten Radonmessung lässt sich nachvollziehen, wie sich die Radonkonzentration während der Nutzungszeit und in ungenutzten Phasen des Raumes verhält. In Abb. 10 und Abb. 11 sind beispielhafte Verläufe der Radonkonzentration in einem Raum dargestellt. Die Messung fand vom 15.11. bis zum 15.12.2017 statt.

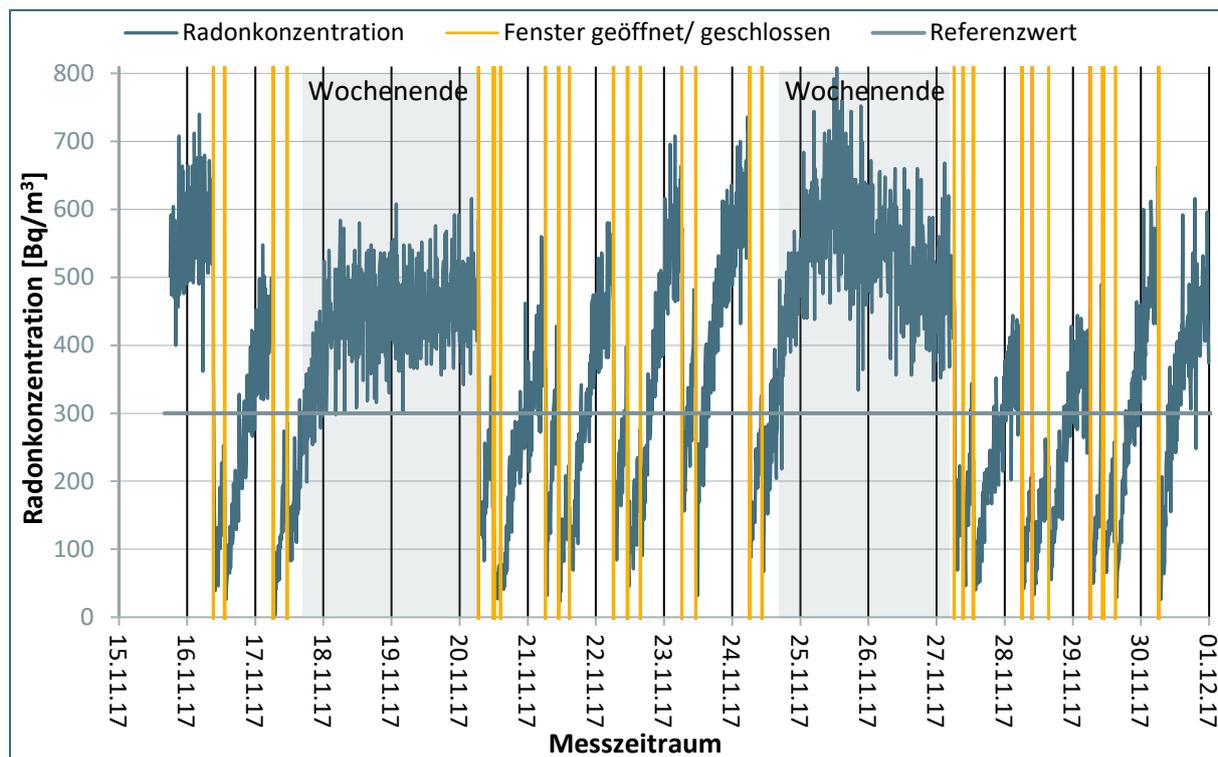


Abb. 10: Beispielhafter Verlauf der Radonkonzentration in einem Raum vom 15.11.2017 bis zum 01.12.2017

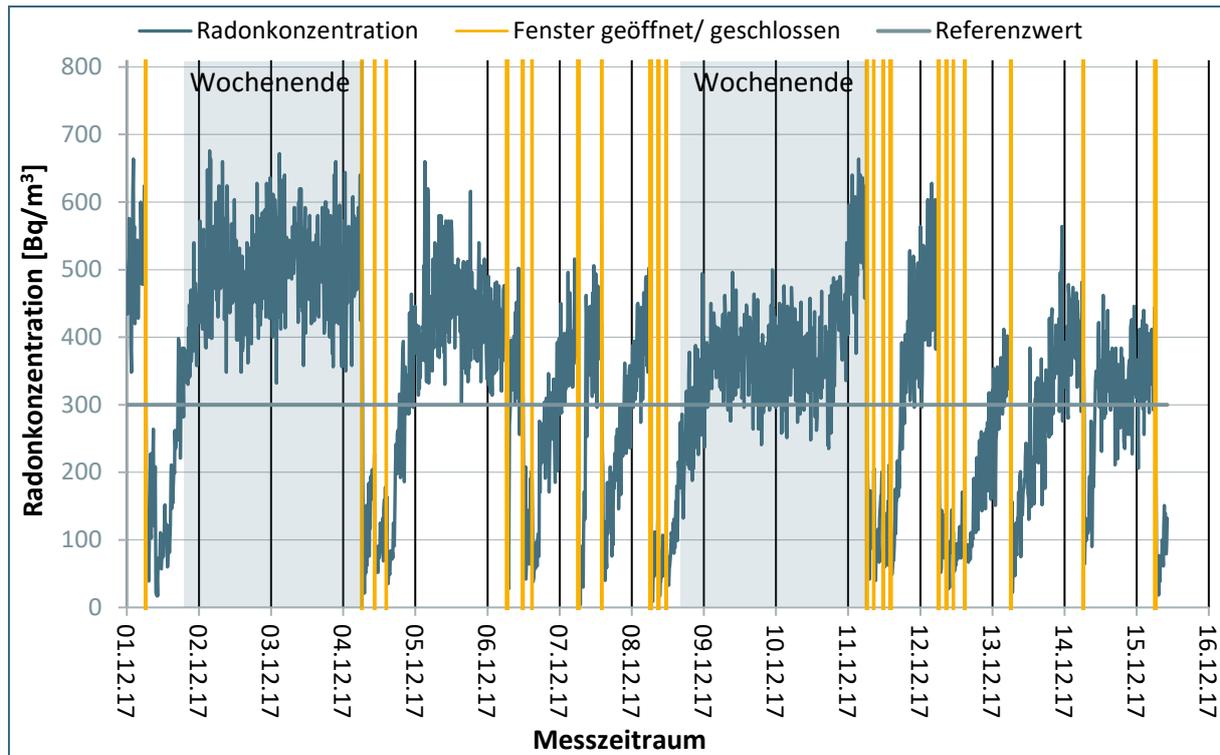


Abb. 11: Beispielhafter Verlauf der Radonkonzentration in einem Raum vom 01.12.2017 bis zum 15.12.2017

Die Radonkonzentration ist in den Abbildungen durch die blaue Kurve wiedergegeben, der Referenzwert ist mit einer horizontalen Linie eingezeichnet. Mit senkrechten gelben Linien sind Zeitpunkte dargestellt, zu denen im Raum gelüftet wurde. Die Wochenenden sind durch blaue Schattierungen markiert.

Die Radonkonzentration im Raum variiert im zeitlichen Verlauf stark. An den Wochenenden liegen tendenziell höhere Werte vor als während der Nutzungszeiträume. Nach Lüftungsphasen sinkt die Radonkonzentration im Raum stark ab und steigt anschließend langsam wieder an. Am Wochenende, an dem keine Nutzung des Raumes stattfindet, bleibt die Radonkonzentration annähernd auf gleich hohem Niveau.

Zur weiteren Auswertung der Radonkonzentration im Raum lässt sich ein „generalisierter Tagesgang“ berechnen. Dieser gibt den typischen Verlauf der Radonkonzentration an einem Werktag und an einem Tag des Wochenendes wieder. Der „generalisierte Tagesgang“ wird berechnet, indem die Radonkonzentration zu einer bestimmten Uhrzeit eines Tages über alle Tage im Messzeitraum gemittelt wird. Dabei wird zwischen Wochenenden (Samstag und Sonntag) und Werktagen unterschieden.

In Abb. 12 ist der generalisierte Tagesgang zur obigen Messung dargestellt. Der typische Tagesgang an einem Werktag ist durch eine blaue Kurve, der typische Tagesgang an einem Tag des Wochenendes durch eine gelbe Kurve wiedergegeben.

Weiterhin kann man folgende Mittelwerte der Radonkonzentration berechnen:

- Mittelwert über den gesamten Messzeitraum: 350 Bq/m³ (braune Linie)
- Mittelwert an Wochenenden: 470 Bq/m³ (rot gestrichelte Linie)
- Mittelwert an Werktagen: 310 Bq/m³ (blau gestrichelte Linie)
- Mittelwert im Nutzungszeitraum (07:00 Uhr bis 17:00 Uhr): 200 Bq/m³ (grün gestrichelte Linie)

Der Referenzwert von 300 Bq/m³ ist durch eine schwarze Linie markiert.

Die ursprüngliche Langzeitmessung über sechs Monate ergab für diesen Raum eine Radonkonzentration von 490 Bq/m³ und ist durch die rote Linie wiedergegeben.

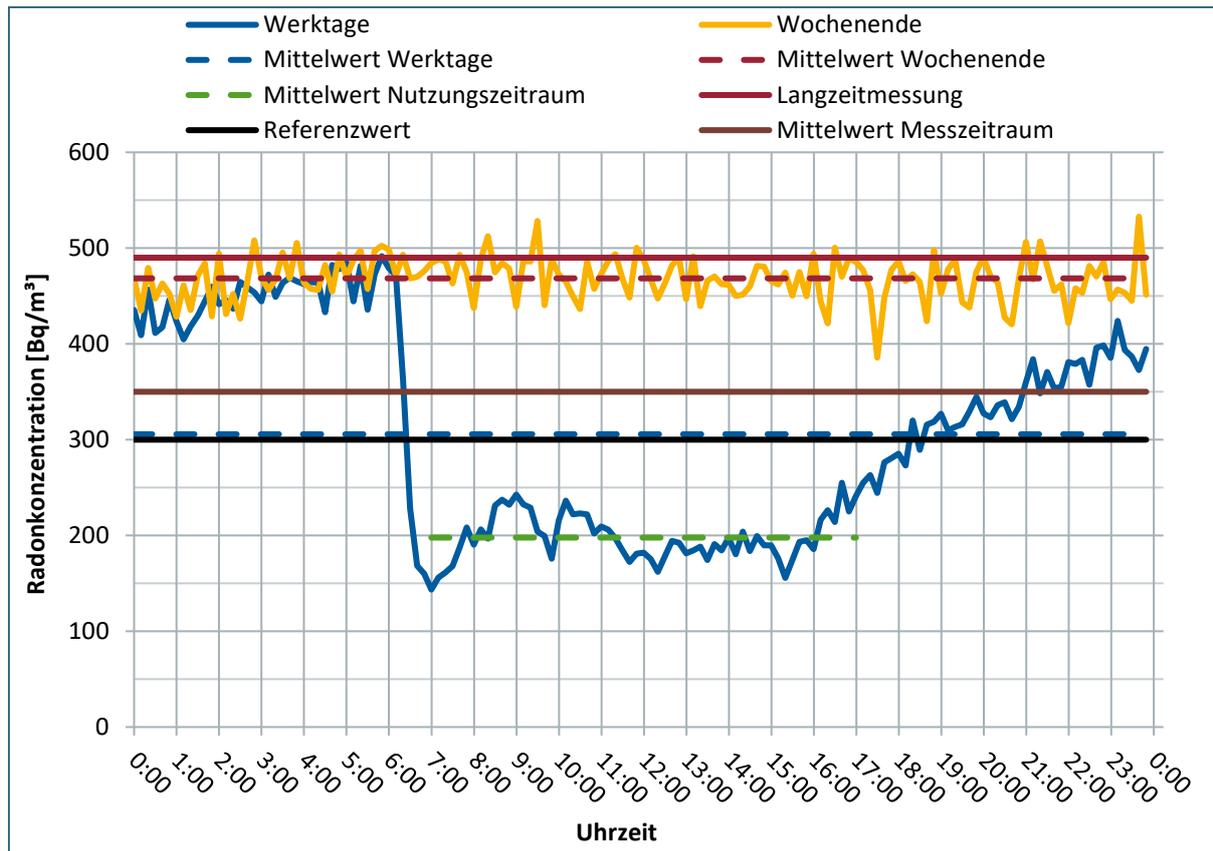


Abb. 12: Generalisierter Tagesgang der Radonkonzentration der Beispielmessung

Mit dem „generalisierten Tagesgang“ kann gezeigt werden, dass der Mittelwert der Radonkonzentration an einem Tag des Wochenendes höher ist als an einem Werktag. Außerdem kann nachvollzogen werden, dass die Radonkonzentration während des Nutzungszeitraums unter dem Referenzwert liegt, obwohl die Langzeitmittelwerte über dem Referenzwert liegen.

3.3 Ermittlung und Klassifizierung der öffentlich zugänglichen Gebäude in Bayern

Zur Ermittlung der Anzahl öffentlich zugänglicher Gebäude in Bayern wurden verschiedene Datenquellen genutzt. Zum einen konnte die Zusammenarbeit mit der Obersten Baubehörde (OBB) im ehem. Bayerischen Staatsministerium des Innern, für Bau und Verkehr (StMI) etabliert werden. Die OBB verwaltet den Gebäudebestand des Freistaates Bayern mithilfe der Fachdatenbank Hochbau. Aktuell befinden sich etwa 10.000 öffentlich zugängliche Gebäude im Besitz des Freistaates Bayern.

Eine weitere Datenquelle ist das Bayerische Landesamt für Statistik. Dieses bietet mit der Veröffentlichung „Kreisdaten für Bayern 2016“ (Bayerisches Landesamt für Statistik, 2017) und seiner Datenbank „GENESIS“ einen Zugang zu einer umfangreichen Sammlung an Statistiken in Bayern (Bayerisches Landesamt für Statistik, 2018).

Zudem wurde die GIS-gestützte Datenbank LoD1 des Landesamtes für Digitalisierung, Breitband und Vermessung ausgewertet (Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016). Daraus ergeben sich folgende Zahlen:

Tab. 4: Kategorien öffentlich zugänglicher Gebäude, deren Anzahl und die benutzte Datenquelle

Kategorie	Anzahl	Quelle (Stand)
Beherbergungsbetriebe	11.142	GENESIS (2018)
Kirche	10.968	LoD1 (November 2016)
Kindertageseinrichtungen	9.359	GENESIS (01.03.2017)
Gebäude für Bildung und Forschung (inkl. Schulen)	7.544	LoD1 (November 2016)
Feuerwehr	4.736	LoD1 (November 2016)
Stationäre Pflegeheime	1.751	Kreisdaten für Bayern (2016)
Rathaus	1.603	LoD1 (November 2016)
Einrichtungen für ältere Menschen	1.362	GENESIS (15.12.2016)
Heilanstalt, Pflegeanstalt, Pflegestation	798	LoD1 (November 2016)
Krankenhaus	761	LoD1 (November 2016)
Heime für volljährige Menschen mit Behinderung	732	Kreisdaten für Bayern (2016)
Bahnhofsgebäude	358	LoD1 (November 2016)
Vorsorge- oder Reha-Einrichtungen	262	GENESIS (31.12.2016)
Kreisverwaltung	162	LoD1 (November 2016)
Jugendherberge	100	LoD1 (November 2016)
Bezirksregierung	26	LoD1 (November 2016)

Aus den vorliegenden Daten ergeben sich insgesamt etwa 62.000 öffentlich zugängliche Gebäude in Bayern. Es wird jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben.

3.3.1 Radonkonzentration in der Bodenluft

Die Radonkonzentration in der Bodenluft hängt von der Bodenbeschaffenheit ab und variiert daher regional sehr stark. Auf den Seiten des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ist eine Karte der Radonkonzentration in der Bodenluft in einem Meter Tiefe zu finden. Die Karte basiert auf etwa 2.300 Messpunkten in ganz Deutschland. In Abb. 13 ist der Ausschnitt von Bayern der Karte gezeigt (Bundesamt für Strahlenschutz, 2019).

In der Karte wird die Radonkonzentration in der Bodenluft in vier Farben dargestellt:

- Weiß: unter 20.000 Bq/m³
- Grau: zwischen 20.000 Bq/m³ und 40.000 Bq/m³
- Hellrot: zwischen 40.000 Bq/m³ und 100.000 Bq/m³
- Dunkelrot: über 100.000 Bq/m³

Zur weiteren Auswertung werden die 102 Gebäude aus dem Messprogramm in drei Konzentrationsklassen unterteilt. In den „weißen“ und „grauen“ Gebieten lagen 30 Gebäude des Messprogramms. Diese werden als „niedrig“ klassifiziert. In den „hellroten“ Gebieten lagen 29 Gebäude des Messprogramms. Diese werden als „mittel“ klassifiziert. In den „dunkelroten“ Gebieten lagen 43 Gebäude des Messprogramms. Diese werden als „hoch“ klassifiziert.

Nun wird der Anteil von Gebäuden in der jeweiligen Konzentrationsklasse berechnet, bei dem der Referenzwert von 300 Bq/m³ in mindestens einem Raum beziehungsweise an mindestens einem Arbeitsplatz überschritten wurde. Dieser Anteil ist in Abb. 14 dargestellt.

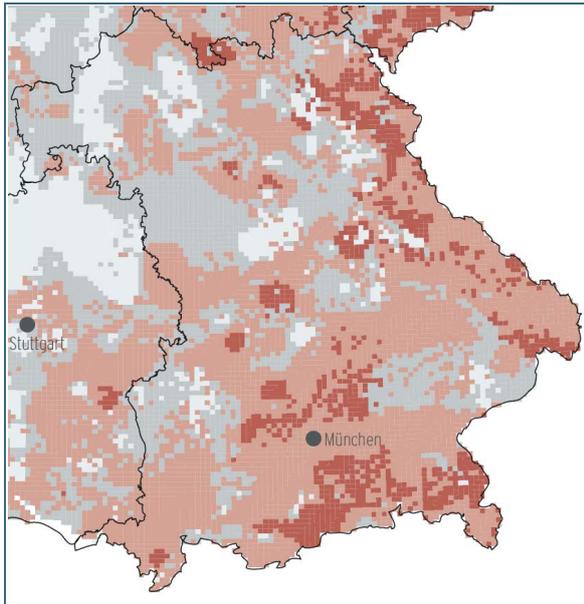


Abb. 13: Ausschnitt von Bayern der Karte „Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft“ (Bundesamt für Strahlenschutz, 2019)

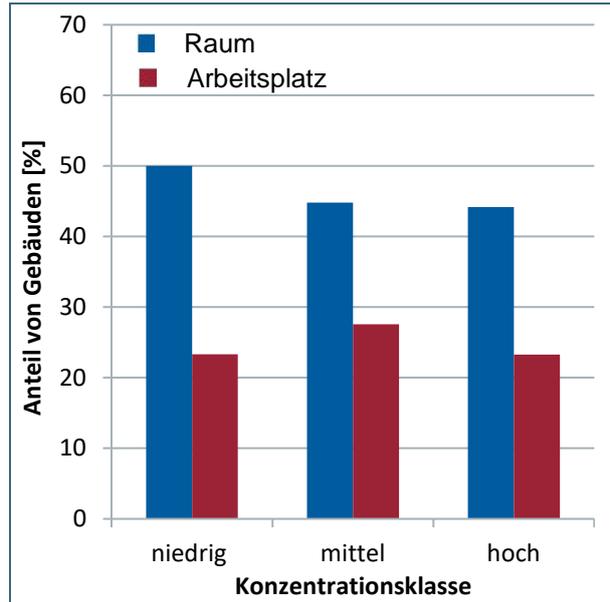


Abb. 14: Anteil von Gebäuden aus dem Messprogramm, bei dem der Referenzwert in mindestens einem Raum (blau) bzw. an mindestens einem Arbeitsplatz (rot) überschritten wurde, in Abhängigkeit von der jeweiligen Konzentrationsklasse

In der Klasse „niedrig“ ist der Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwerts in mindestens einem Raum 50 Prozent, in der Klasse „mittel“ 45 Prozent und in der Klasse „hoch“ 44 Prozent. Es zeigt sich also eine abnehmende Tendenz.

In der Klasse „niedrig“ ist der Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwerts an mindestens einem Arbeitsplatz 23 Prozent, in der Klasse „mittel“ 28 Prozent und in der Klasse „hoch“ 23 Prozent. Es zeigt sich also, dass der Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwerts an mindestens einem Arbeitsplatz pro Gebäude zur mittleren Klasse hin etwas steigt und zur hohen Klasse wieder auf denselben Wert absinkt.

Zusammenfassung:

Erwartet wurde, dass mit steigender Radonkonzentrationsklasse, also mit zunehmender Radonkonzentration in der Bodenluft, auch der Anteil an Gebäuden mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung steigt. Die obige Auswertung bestätigt diese Annahme nur in einem Fall. Bei allen anderen Fällen wurde das Gegenteil beobachtet.

Die Stichprobe mit den 102 Gebäuden aus dem Messprogramm wird nicht als repräsentativ angenommen. Für ein belastbares Ergebnis müsste eine größere Stichprobe ausgewertet werden.

Als alleiniges Merkmal für die Vorhersage der Radonkonzentration in einem Gebäude ist die Radonkonzentration in der Bodenluft grundsätzlich nicht geeignet. Nur eine Messung der Radonkonzentration in der Raumluft des Gebäudes kann Aufschluss über die Radonkonzentration in einem Gebäude geben.

3.3.2 Gebäudealter

Für die Klassifizierung der Testgebäude nach ihrem Baujahr wird zunächst die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude nach Baujahr untersucht. In Abb. 15 ist die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude nach Baujahr dargestellt. Es lagen Testgebäude zwischen den Baujahren 1570 und 2014 vor.

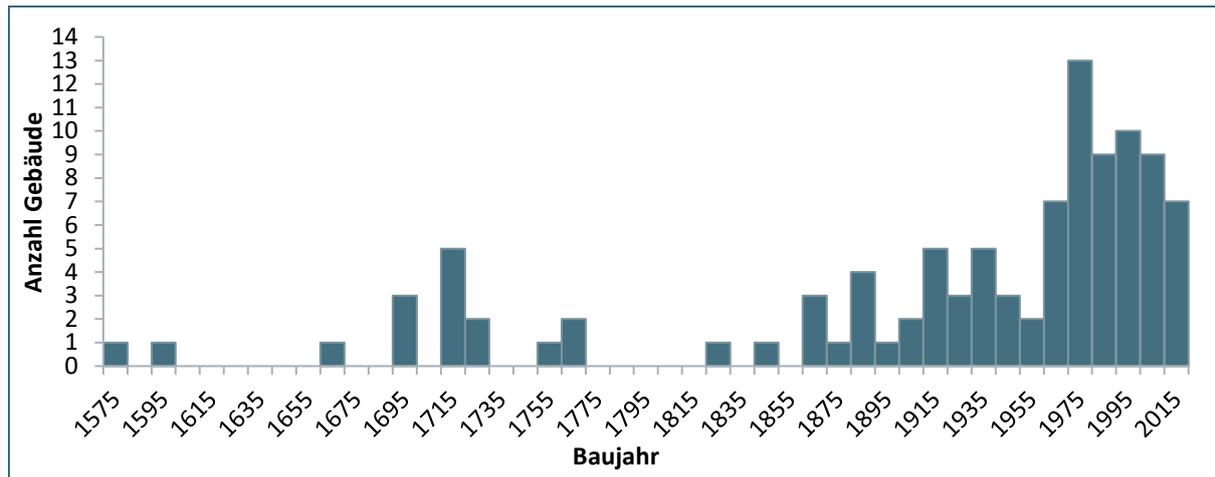


Abb. 15: Häufigkeitsverteilung der Testgebäude nach Baujahr. Die x-Achse ist in 10-Jahres-Intervalle unterteilt. In der Mitte jedes zweiten 10-Jahres-Intervalls ist eine Jahreszahl angegeben.

Zum Vergleich ist in Abb. 16 die Häufigkeitsverteilung nach Baujahr im Gebäudebestand des Freistaats Bayern dargestellt. Die Daten stammen aus der Fachdatenbank Hochbau der Obersten Baubehörde, sind jedoch auf den Baujahresbereich der Testgebäude (1570–2014) angepasst.

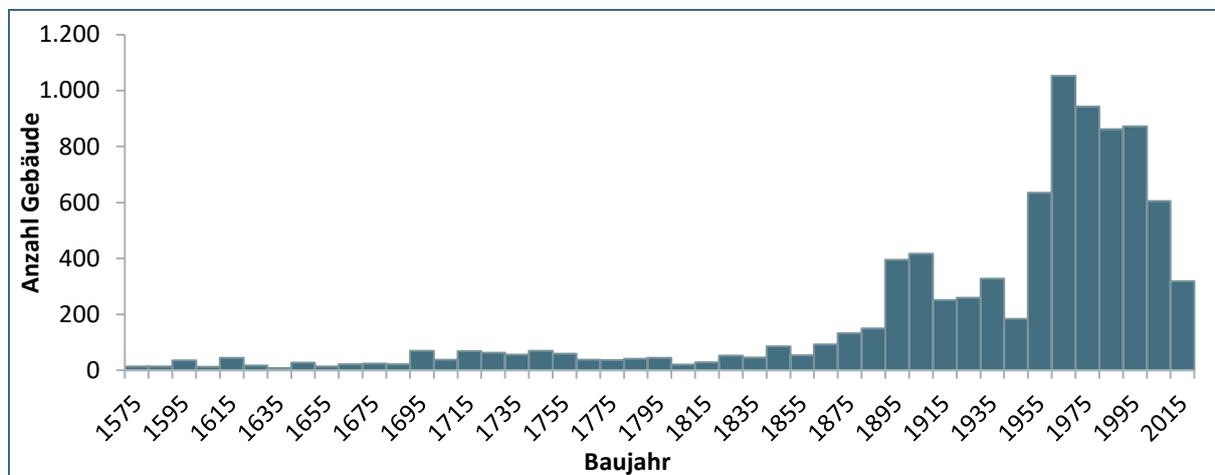


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung der Gebäude des Freistaats Bayern nach Baujahr. Die x-Achse ist in 10-Jahres-Intervalle unterteilt. In der Mitte jedes zweiten 10-Jahres-Intervalls ist eine Jahreszahl angegeben.

Die Häufigkeitsverteilung der Gebäude des Freistaats Bayern zeigt relativ wenig alte und relativ viele neuere Gebäude. Die meisten Gebäude im Bestand des Freistaats Bayern (1.053 Stück) sind von den Baujahren 1960–1970.

Die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude nach Baujahr entspricht sehr gut der Häufigkeitsverteilung im Gebäudebestand des Freistaats Bayern.

Zur Einteilung von Baujahresklassen wurde folgender Ansatz gewählt: Angelehnt an die Häufigkeitsverteilung des Gebäudebestandes des Freistaats Bayern wurden drei beziehungsweise vier Klassen geschaffen, die annähernd gleich viele Gebäude enthalten.

Folgende Tabellen zeigen diese Klassen, welcher Anteil der Gebäude des Freistaats Bayern und wie viele Testgebäude in der jeweiligen Klasse liegen.

Klasse	Baujahr	Anteil Gebäude Freistaat Bayern [%]	Anzahl Testgebäude
1	1570–1935	33	34
2	1936–1978	34	30
3	1979–2014	33	38

Tab. 5:
Übersicht drei Gebäude-Klassen nach Baujahr und der jeweilige Anteil an Testgebäuden bzw. Gebäuden Freistaat Bayern

Klasse	Baujahr	Anteil Gebäude Freistaat Bayern [%]	Anzahl Testgebäude
1	1570–1900	25	29
2	1901–1963	25	22
3	1964–1986	26	21
4	1987–2014	24	30

Tab. 6:
Übersicht vier Gebäude-Klassen nach Baujahr und der jeweilige Anteil an Testgebäuden bzw. Gebäuden Freistaat Bayern

Mithilfe dieser Klassen wird wie zuvor der Anteil an Gebäuden berechnet, bei denen in mindestens einem Raum beziehungsweise an mindestens einem Arbeitsplatz der Referenzwert von 300 Bq/m³ überschritten wird. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abb. 17 und Abb. 18 dargestellt.

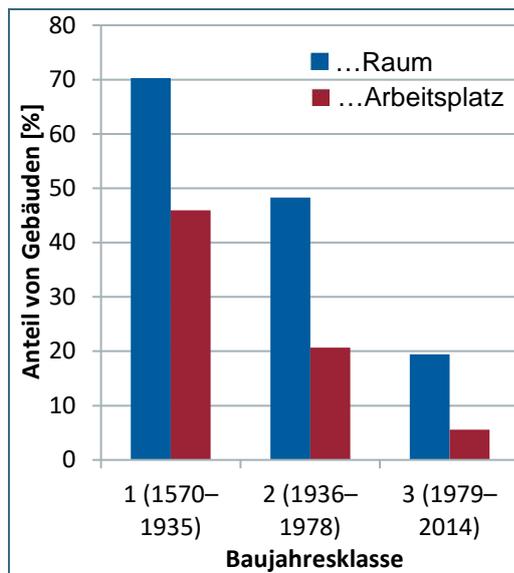


Abb. 17: Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum (blau) bzw. an mindestens einem Arbeitsplatz (rot) in Abhängigkeit von der jeweiligen Baujahresklasse für drei Klassen

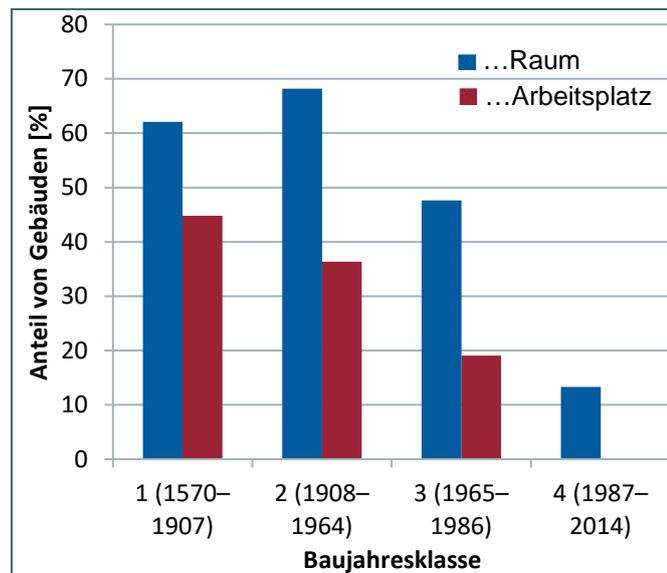


Abb. 18: Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum (blau) bzw. an mindestens einem Arbeitsplatz (rot) in Abhängigkeit von der jeweiligen Baujahresklasse für vier Klassen

Bei der Unterteilung des Baujahres in drei Klassen (Abb. 17) ist zu jüngeren Baujahren hin eine abnehmende Tendenz im Anteil der Gebäude mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung zu erkennen.

Bei der Unterteilung des Baujahres in vier Klassen (Abb. 18) ist ebenso eine abnehmende Tendenz hin zu jüngeren Baujahren im Anteil der Gebäude mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung zu erkennen.

Allerdings nimmt der Anteil an Gebäuden mit Referenzwertüberschreitung in mindestens einem Raum von der ältesten Klasse (1570–1907) zur zweitältesten Klasse (1908–1964) etwas zu. Dies könnte dadurch begründet sein, dass bei ganz alten Gebäuden ein Eintritt von Radon begünstigt ist, jedoch auch die Belüftung durch eventuell nicht ganz dichtende Fenster gewährleistet ist.

Im Rahmen des Messprogramms wurde für Gebäude ab einem Baujahr von 1987 keine Überschreitung des Referenzwerts an einem Arbeitsplatz festgestellt, weshalb der letzte rote Balken in Abb. 18 nicht vorhanden ist.

Zusammenfassung:

Die Klassifizierung von Gebäuden anhand des Baujahres liefert nachvollziehbare Ergebnisse. Im Allgemeinen kann im Anteil der Gebäude mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung eine abnehmende Tendenz mit abnehmendem Alter des Gebäudes festgestellt werden. Ältere Gebäude oder Gebäudeteile sollten daher für Messungen priorisiert werden.

3.3.3 Unterkellerung und Tiefgarage unter dem Gebäude

Von den 102 Gebäuden des Messprogramms waren 38 vollunterkellert, 32 teilunterkellert und 24 nicht unterkellert. Es gab vier Gebäude mit Tiefgarage im Untergeschoss und vier Gebäude mit einer teilweisen Tiefgarage im Untergeschoss.

Eine Tiefgarage ist meist gut durchlüftet, was sich positiv auf die Radonkonzentration in den Räumen über der Tiefgarage auswirkt. Es konnte keine Überschreitung des Referenzwertes in Räumen über einer Tiefgarage festgestellt werden. Für diese Auswertung standen jedoch nur acht Gebäude zur Verfügung, weshalb dies nur als Tendenz und nicht als belastbare Aussage zu verstehen ist.

In den Boxplots in Abb. 19 sind die Messwerte aus den Erdgeschossen der Testgebäude, unterteilt nach Art der Unterkellerung, dargestellt. Der Median der Messwerte im Erdgeschoss ist für vollunterkellerte Gebäude am niedrigsten und für nicht unterkellerte am höchsten.

Die Box, in der jeweils die Hälfte aller Messwerte enthalten sind, ist für vollunterkellerte Gebäude relativ schmal und für nicht unterkellerte Gebäude relativ breit. Das bedeutet, dass die Streuung der Messwerte für vollunterkellerte Gebäude klein und für nicht unterkellerte Gebäude groß ist.

Die teilunterkellerten Gebäude liegen bei beiden Kennwerten jeweils zwischen den voll- und den nicht unterkellerten Gebäuden.

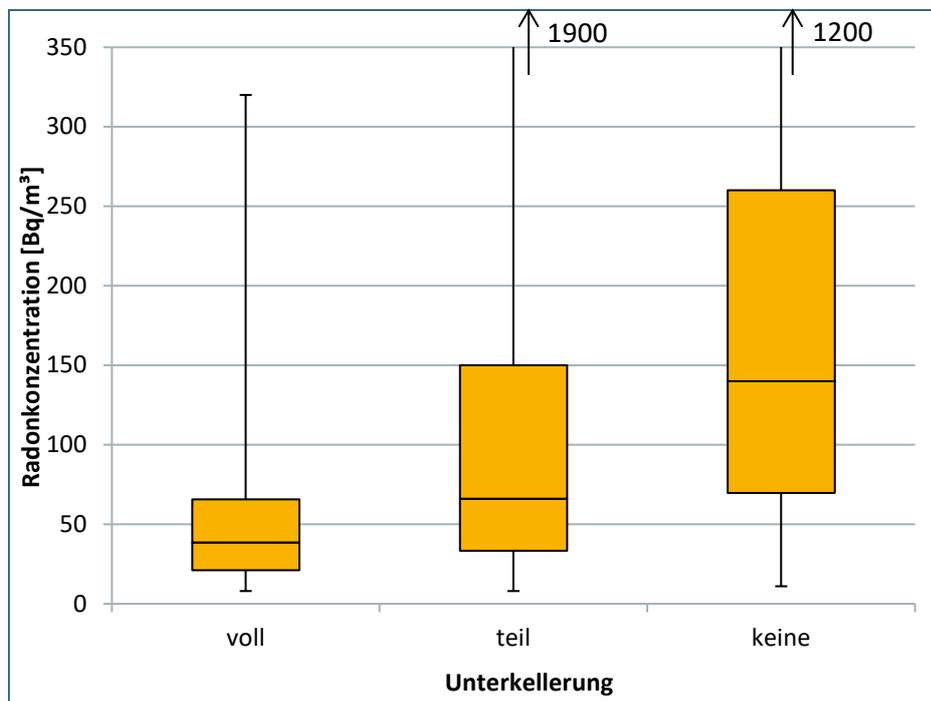


Abb. 19: Boxplots der Radonkonzentrationen in den Erdgeschossen der Testgebäude in Abhängigkeit von der Unterkellerung

Um den Unterschied zwischen unterkellerten und nicht unterkellerten Bereichen teilunterkellerten Gebäude noch besser zu charakterisieren, wird eine weitere Auswertung durchgeführt. Dazu wird zunächst der Median der Messwerte in den Erdgeschossen unterkellerten und nicht unterkellerten Bereiche teilunterkellerten Gebäude berechnet.

Die Differenz im Median zwischen dem unterkellerten und dem nicht unterkellerten Bereich eines Gebäudes beträgt im Mittel etwa 90 Prozent. Das bedeutet, dass im Mittel die Radonkonzentration in nicht unterkellerten Bereichen teilunterkellerten Gebäudes fast doppelt so groß ist wie in unterkellerten Bereichen.

Diese Auswertung wurde auch für das erste Obergeschoss teilunterkellerten Gebäude durchgeführt, um herauszufinden, ob sich diese Tendenz auch im ersten Obergeschoss fortsetzt. Dort beträgt die Differenz im Median zwischen dem unterkellerten und dem nicht unterkellerten Bereich eines Gebäudes jedoch nur noch zehn Prozent und ist somit nicht aussagekräftig.

Weiterhin wird der Einfluss des Erdkontakts auf die Radonkonzentration in einem Raum untersucht. Erdkontakt bedeutet, dass unter dem Raum oder hinter mindestens einer Seite des Raumes direkt der Erdboden vorzufinden ist. Räume mit Erdkontakt sind beispielsweise Kellerräume, nicht unterkellerte Räume im Erdgeschoss und Räume in Hanglage. Räume ohne Erdkontakt sind beispielsweise Räume im Obergeschoss und unterkellerte Räume des Erdgeschosses ohne Hanglage.

Es werden die jeweiligen Anteile von Räumen mit und ohne Erdkontakt ermittelt, bei denen der Referenzwert überschritten wird. Der Anteil von Räumen mit Erdkontakt bei denen der Referenzwert überschritten wird, beträgt 18 Prozent. Der Anteil von Räumen ohne Erdkontakt bei denen der Referenzwert überschritten wird, beträgt vier Prozent.

Dieselbe Auswertung wird für Arbeitsplätze mit Erdkontakt und Arbeitsplätze ohne Erdkontakt durchgeführt. Dabei ergibt sich ein Anteil von 16 Prozent für Arbeitsplätze mit Erdkontakt, bei denen der Referenzwert überschritten wird und ein Anteil von fünf Prozent für Arbeitsplätze ohne Erdkontakt, bei denen der Referenzwert überschritten wird.

Zusammenfassung:

Eine Unterkellerung oder eine Tiefgarage wirkt sich meist positiv auf die Radonkonzentration in den darüber liegenden Räumen aus. Der Anteil von Räumen mit einer Überschreitung des Referenzwertes ist bei nicht unterkellerten Gebäudeteilen beziehungsweise Gebäudeteilen mit Erdkontakt höher. Bei einer erstmaligen Erhebung der Radonkonzentration sollten daher nicht unterkellerte Gebäudeteile beziehungsweise Arbeitsplätze mit direktem Erdkontakt priorisiert werden.

3.3.4 Nutzfläche pro Geschoss

Für die Klassifizierung der Gebäude nach ihrer Nutzfläche pro Geschoss (NFG) wird ebenso wie beim Baujahr zunächst untersucht, wie die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude im Vergleich zur Häufigkeitsverteilung im Gebäudebestand des Freistaats Bayern aussieht. Dazu werden die nach NFG oberen und unteren Intervalle des Gebäudebestandes des Freistaats Bayern an die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude angepasst: Gebäude mit einer NFG unter 42 m² (kleinste NFG bei den Testgebäuden) und über 2.115 m² (größte NFG bei den Testgebäuden) werden nicht berücksichtigt. In Abb. 20 ist die Häufigkeitsverteilung der Testgebäude und in Abb. 21 die angepasste Häufigkeitsverteilung im Gebäudebestand des Freistaats Bayern dargestellt. Die beiden Verteilungen stimmen nicht ganz so gut überein, wie dies zuvor beim Baujahr der Fall war.

Dies lässt sich jedoch dadurch erklären, dass bei der Auswahl der Testgebäude darauf geachtet wurde, dass auch Gebäude mit großer NFG für Messungen zur Verfügung standen. Dadurch sind bei den

Testgebäuden tendenziell mehr Gebäude mit großer NFG als im Gebäudebestand des Freistaats Bayern.

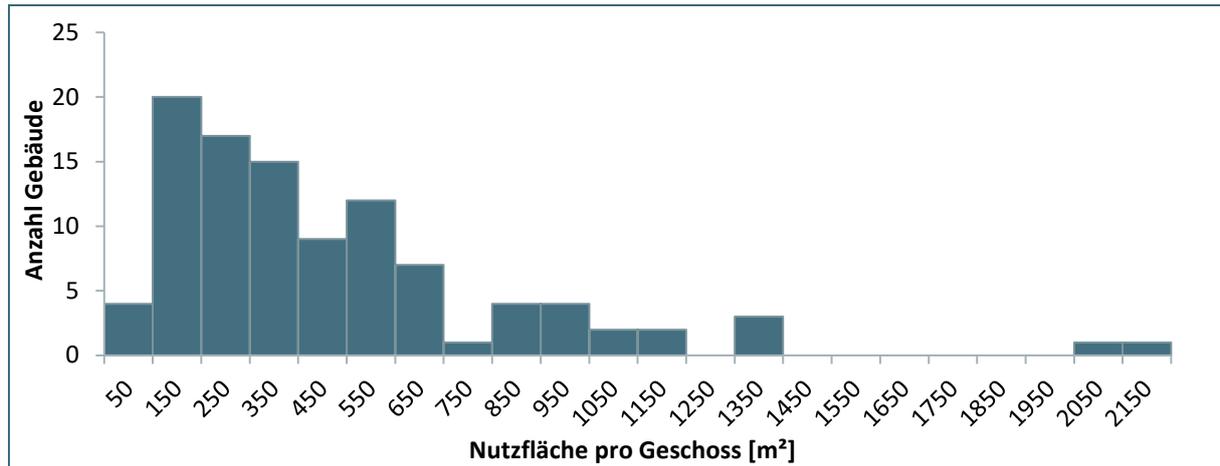


Abb. 20: Häufigkeitsverteilung der Testgebäude nach Nutzfläche pro Geschoss. Die x-Achse ist in 100 m²-Intervalle unterteilt. In der Mitte jedes 100 m²-Intervalls ist eine Flächenzahl angegeben.

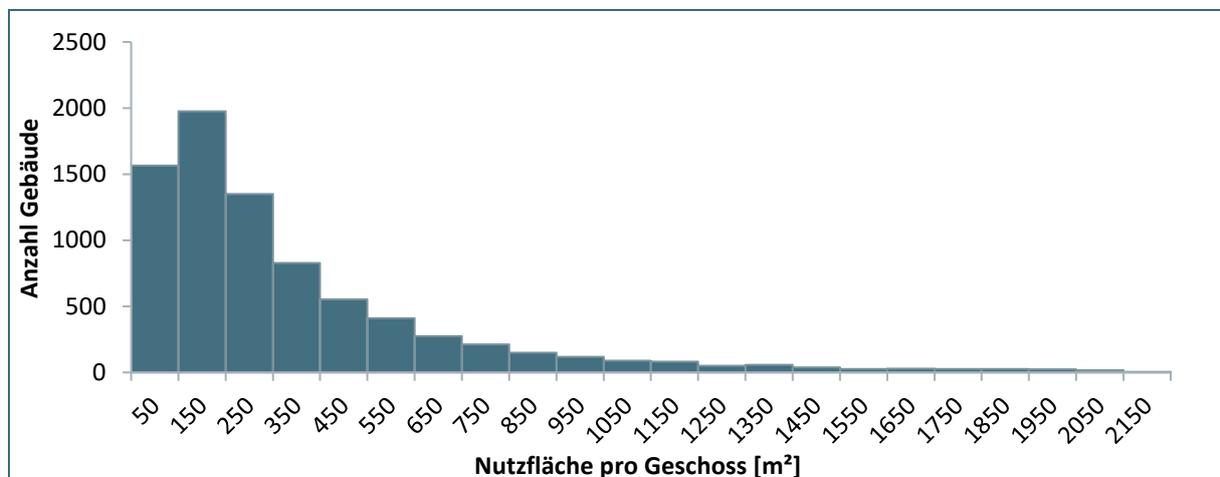


Abb. 21: Häufigkeitsverteilung der Gebäude des Freistaats Bayern nach Nutzfläche pro Geschoss. Die x-Achse ist in 100 m²-Intervalle unterteilt. In der Mitte jedes 100 m²-Intervalls ist eine Flächenzahl angegeben.

Zur Einteilung von Klassen nach Nutzfläche pro Geschoss wird wie zuvor beim Baujahr der Ansatz gewählt, angelehnt an die Häufigkeitsverteilung des Gebäudebestandes des Freistaats Bayern, drei beziehungsweise vier Klassen zu schaffen, die annähernd gleich viele Gebäude enthalten. Folgende Tabellen zeigen diese Klassen, welcher Anteil der Gebäude des Freistaats Bayern und wie viele Testgebäude in der jeweiligen Klasse liegen.

Klasse	NFG [m ²]	Anteil Gebäude Freistaat Bayern [%]	Anzahl Testgebäude
1	42–148	33	17
2	149–338	33	28
3	339–2115	33	57

Tab. 7: Übersicht drei Gebäude-Klassen nach Nutzfläche pro Geschoss

Klasse	NFG [m ²]	Anteil Gebäude Freistaat Bayern [%]	Anzahl Testgebäude
1	42–118	25	8
2	119–227	25	21
3	228–430	25	29
4	431–2115	25	44

Tab. 8: Übersicht vier Gebäude-Klassen nach Nutzfläche pro Geschoss

Mithilfe dieser Klassen werden wie zuvor Anteile von Gebäuden in Abhängigkeit einer NFG-Klasse berechnet, bei denen in mindestens einem Raum beziehungsweise an mindestens einem Arbeitsplatz der Referenzwert von 300 Bq/m³ überschritten wird. Die Ergebnisse dieser Berechnungen sind in Abb. 22 und Abb. 23 dargestellt.

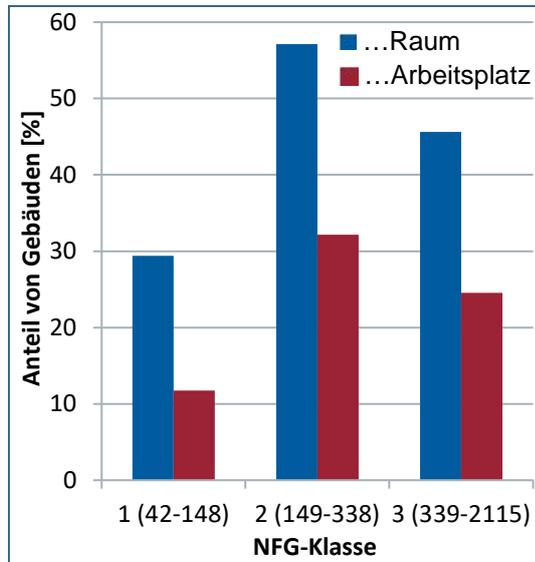


Abb. 22: Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum (blau) bzw. an mindestens einem Arbeitsplatz (rot) in Abhängigkeit von der jeweiligen NFG-Klasse für drei Klassen

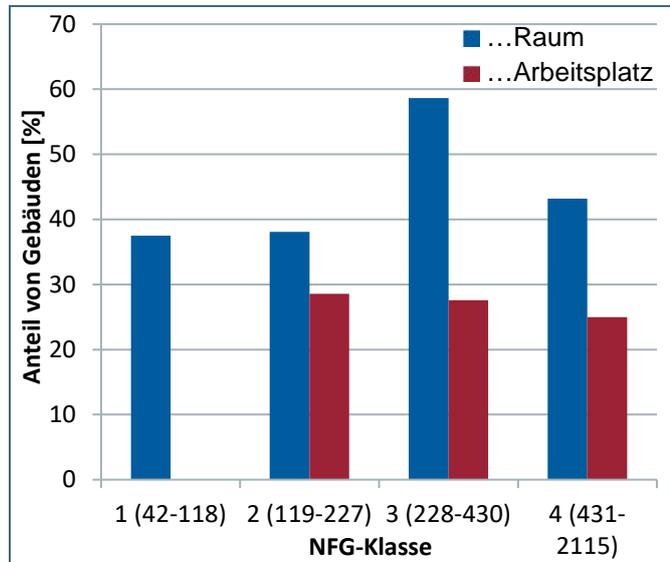


Abb. 23: Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum (blau) bzw. an mindestens einem Arbeitsplatz (rot) in Abhängigkeit von der jeweiligen NFG-Klasse für vier Klassen

Bei Einteilung der NFG in drei Klassen sind die Anteile von Gebäuden mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung für Gebäude mit mittlerer NFG am höchsten.

Bei Einteilung der NFG in vier Klassen sind die Anteile von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum für die Klassen eins und zwei annähernd gleich groß. Am größten ist der Anteil in Klasse drei. In Klasse vier, also bei den Gebäuden mit der größten NFG, ist der Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in mindestens einem Raum wieder etwas geringer.

Bei Einteilung der NFG in vier Klassen nimmt der Anteil von Gebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes an mindestens einem Arbeitsplatz von Klasse zwei bis Klasse vier kontinuierlich ab. In Klasse eins, also bei den Gebäuden mit der kleinsten NFG, ist der Anteil null. Es gab jedoch auch nur acht Testgebäude in dieser Klasse.

Zusammenfassung:

In Gebäuden mit mittlerer NFG werden höhere Anteile von Gebäuden mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung festgestellt als in Gebäuden mit sehr großer und sehr kleiner NFG. Gebäude mit mittlerer NFG sollten daher für Messungen priorisiert werden. Diese Tendenz ist jedoch nicht ganz so eindeutig, wie dies beim Baujahr der Fall war.

3.3.5 Erforderliche Anzahl von Exposimetern bei erstmaliger Erhebung der Radonkonzentration

Im Rahmen einer erstmaligen Erhebung der Radonkonzentration in einem Gebäude wird ermittelt, in wie vielen Räumen beziehungsweise an wie vielen Arbeitsplätzen Referenzwertüberschreitungen auftreten. Wenn dabei Referenzwertüberschreitungen an einem oder mehreren Arbeitsplätzen auftreten, sind Maßnahmen zur Reduzierung der Radonkonzentration zu ergreifen.

Durch das Untersuchungsvorhaben soll geklärt werden, ob bei einer erstmaligen Erhebung wirklich in jedem Raum beziehungsweise an jedem Arbeitsplatz gemessen werden muss oder eine Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Exposimetern stattfinden kann. Durch eine Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Exposimetern könnten bei einer erstmaligen Erhebung, insbesondere bei sehr großen Gebäuden mit sehr vielen Arbeitsplätzen, Kosten und Zeit gespart werden.

Um diese Fragestellung zu klären, werden die Ergebnisse von den Keller- und Erdgeschossen aus dem Testprogramm, bei denen in jedem Raum eine Messung stattfand, noch einmal genauer ausgewertet.

Grundlage:

Von den 102 Gebäuden des Messprogramms wurde bei 22 Gebäuden in jedem Raum im Keller die Radonkonzentration gemessen. Bei einem dieser 22 komplett bestimmten Kellergeschosse gab es eine Überschreitung des Referenzwertes an einem Arbeitsplatz.

Von den 102 Gebäuden des Messprogramms wurde bei 22 Gebäuden in jedem Raum im Erdgeschoss die Radonkonzentration gemessen. Bei vier dieser 22 komplett bestimmten Erdgeschosse gab es genau eine Überschreitung des Referenzwertes an einem Arbeitsplatz und bei vier gab es mehrere Überschreitungen des Referenzwertes an Arbeitsplätzen.

Auswertung:

Wenn im Rahmen einer erstmaligen Erhebung nur jeder zweite Raum eines Stockwerks gemessen wird, gibt es grundsätzlich zwei Möglichkeiten die Exposimeter über das Stockwerk zu verteilen. Dies ist schematisch anhand eines Stockwerks mit zehn Räumen und einer Referenzwertüberschreitung in den Abb. 24 und Abb. 25 dargestellt. Gibt es in einem Stockwerk genau einen Arbeitsplatz mit einer Referenzwertüberschreitung, so ist die Wahrscheinlichkeit diesen zu finden 50 Prozent, je nachdem wo mit den Messungen begonnen wird.

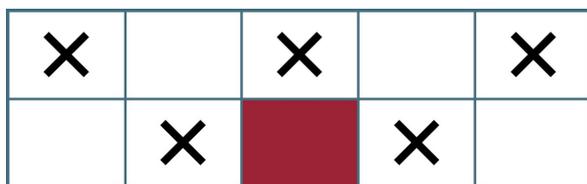


Abb. 24: Schema eines Stockwerks mit 10 Räumen und Messung in jedem zweiten Raum – erste Möglichkeit. Der rot markierte Raum überschreitet den Referenzwert. Die Platzierungen der Exposimeter sind jeweils mit „X“ markiert.

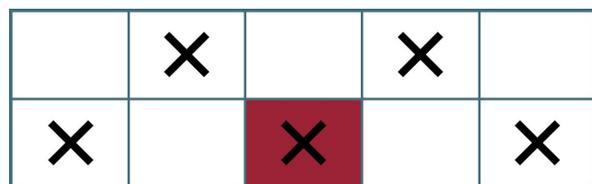


Abb. 25: Schema eines Stockwerks mit 10 Räumen und Messung in jedem zweiten Raum – zweite Möglichkeit. Der rot markierte Raum überschreitet den Referenzwert. Die Platzierungen der Exposimeter sind jeweils mit „X“ markiert.

Gibt es in einem Stockwerk mehrere Arbeitsplätze mit Referenzwertüberschreitungen, so ist die Wahrscheinlichkeit diese bei Messung jedes zweiten Raumes zu finden im Durchschnitt etwas höher als 50 Prozent, je nachdem wie diese über das Stockwerk verteilt sind.

Da die Referenzwertüberschreitungen häufig nur an einzelnen Arbeitsplätzen eines komplett bestimmten Stockwerks auftraten, ist die Wahrscheinlichkeit diese Arbeitsplätze zu übersehen relativ hoch, wenn nur in jedem zweiten Raum eine Radonmessung stattfindet.

Fazit:

Im Rahmen einer erstmaligen Erhebung der Radonkonzentration in einem Gebäude sollte daher prinzipiell immer an jedem Arbeitsplatz eine Radonmessung stattfinden. Eine Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Exposimetern kann nur in Einzelfällen bei sehr großen Gebäuden mit sehr vielen Arbeitsplätzen und nur nach Rücksprache mit einer Fachperson in Betracht gezogen werden. Bei neueren Gebäuden und in unterkellerten Gebäudebereichen sind tendenziell weniger Überschreitungen zu erwarten. Werden bei einer Messung mit einer reduzierten Exposimeteranzahl Überschreitungen an Arbeitsplätzen festgestellt, sollten auch die bei der erstmaligen Erhebung nicht gemessenen Räume auf ihre Radonkonzentration hin untersucht werden.

3.4 Mess- und Bewertungsstrategie

Die Ergebnisse aus dem Messprogramm werden zur Erarbeitung einer Mess- und Bewertungsstrategie verwendet. Sie basieren auf Testmessungen in etwa einem Prozent der Gebäude des Freistaats Bayern. Es handelt sich daher nur um eine Stichprobe, weshalb die Ergebnisse als Tendenz zu verstehen sind. Im Folgenden werden die Ergebnisse noch einmal zusammengefasst und bewertet:

- **Parallelbestimmungen:** Die durchschnittliche Abweichung bei einer Parallelbestimmung war kleiner als der typische Messfehler einer Exposimetermessung (Abschn. 3.1.2). In der Regel ist daher auch in großen Räumen ein Exposimeter zur Bestimmung der Radonkonzentration ausreichend.
- **Messung von höheren Stockwerken:** Überschreitungen des Referenzwertes in höheren Stockwerken (ab dem 1. OG) wurden nur in zwei Gebäuden des Messprogramms festgestellt. Bei diesen waren jedoch auch sehr hohe Konzentrationen im Keller und Erdgeschoss zu finden (Abschn. 3.1.4 und 3.2.2). Es genügt daher Keller und Erdgeschoss eines Gebäudes zu messen. Liegen dort hohe Radonkonzentrationen vor, müssen Reduktionsmaßnahmen ergriffen werden, die sich in der Regel auch positiv auf die Radonkonzentration in den Obergeschossen auswirken.
- **Langzeitmessungen:** Im Rahmen des Messprogramms wurden überwiegend Halbjahresmessungen durchgeführt, vereinzelt aber auch Jahres- und Quartalsmessungen. Eine Vergleichbarkeit zum gesetzlichen Referenzwert lässt sich nur mit einer Jahresmessung erreichen. Wird über einen kürzeren Zeitraum gemessen wird das beste Ergebnis erreicht, wenn ungefähr die Hälfte des Messzeitraums während der Heizperiode liegt (Abschn. 3.1.3).
- **Zeitaufgelöste Messungen:** Ergibt eine Langzeitmessung eine Überschreitung des Referenzwertes kann mithilfe zeitaufgelöster Messungen die Radonkonzentration während verschiedener Nutzungszustände des Raumes ermittelt werden (Abschn. 3.2.3). Damit kann beispielsweise gezeigt werden, dass die Radonkonzentration in einem Raum am Wochenende höher ist als an einem Werktag. Zudem kann gegebenenfalls nachvollzogen werden, dass der Referenzwert während des Nutzungszeitraumes nicht überschritten wird. Eine zeitaufgelöste Messung kann also helfen, die Situation besser einzuschätzen und zu vermitteln.
- **Klassifizierung nach Radonkonzentration in der Bodenluft:** Die Erwartung, dass mit zunehmender Radonkonzentration in der Bodenluft auch der Anteil an Gebäuden mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung steigt, konnte anhand der Messergebnisse größtenteils nicht bestätigt werden (Abschn. 3.3.1). Als alleiniges Merkmal für die Vorhersage der Radonkonzentration in einem Gebäude ist die Radonkonzentration in der Bodenluft grundsätzlich nicht geeignet. Nur ei-

ne Messung der Radonkonzentration in der Raumluft des Gebäudes kann Aufschluss über die Radonkonzentration in einem Gebäude geben.

- **Klassifizierung nach Gebäudealter:** Mit abnehmendem Alter des Gebäudes kann im Allgemeinen eine abnehmende Tendenz im Anteil der Gebäude mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung festgestellt werden (Abschn. 3.3.2). Ältere Gebäude oder Gebäudeteile sollten daher für Messungen priorisiert werden.
- **Klassifizierung nach Unterkellerung:** Der Anteil von Räumen mit einer Überschreitung des Referenzwertes ist für nicht unterkellerte Räume und Gebäudeteile höher (Abschn. 3.3.3). Es sollten daher bei einer Messung Arbeitsplätze mit direktem Erdkontakt beziehungsweise nicht unterkellerte Gebäudeteile priorisiert werden.
- **Klassifizierung nach Nutzfläche pro Geschoss:** In Gebäuden mit mittlerer NFG werden höhere Anteile von Gebäuden mit mindestens einer Referenzwertüberschreitung festgestellt als in Gebäuden mit sehr großer und sehr kleiner NFG (Abschn. 3.3.4). Gebäude mit mittlerer NFG sollten daher für Messungen priorisiert werden. Diese Tendenz ist jedoch nicht ganz so eindeutig, wie dies beim Baujahr der Fall war.
- **Erforderliche Anzahl von Exposimetern:** Eine Reduzierung der Anzahl von Exposimetern geht mit einer Erhöhung der Wahrscheinlichkeit einher, Räume mit Referenzwertüberschreitungen zu übersehen (Abschn. 3.3.5). Im Rahmen einer erstmaligen Erhebung der Radonkonzentrationen in einem Gebäude sollte daher prinzipiell immer an jedem Arbeitsplatz eine Radonmessung stattfinden. Eine Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Exposimetern kommt nur in Einzelfällen bei sehr großen Gebäuden mit sehr vielen Arbeitsplätzen in Frage.

Mit den gewonnenen Erkenntnissen wurde eine „Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Radonmessungen in öffentlich zugänglichen Gebäuden“ erarbeitet. Diese findet sich im Anhang

3.5 Abschätzung des Aufwandes von bayernweiten Messungen

Mithilfe der Erkenntnisse aus dem Untersuchungsvorhaben lässt sich der Aufwand abschätzen, die Radonsituation in allen öffentlich zugänglichen Gebäuden des Freistaats Bayern zu erfassen.

Im Mittel befanden sich im Erdgeschoss eines Gebäudes zehn Arbeitsplätze und im Untergeschoss ein Arbeitsplatz. Der Aufwand für das Aufstellen und wieder Einsammeln eines Exposimeters beträgt pro Arbeitsplatz zusammen etwa 15 Minuten. Somit beträgt der durchschnittliche Aufwand für die Ausbringung der Exposimeter pro Gebäude 165 Minuten. Zusätzlich ist der Aufwand für die Einarbeitung einer Person in das Thema und der Aufwand für die Bestellung der Exposimeter mit jeweils zwei Stunden und der Aufwand für die Verarbeitung der Ergebnisse mit etwa drei Stunden anzurechnen. Somit ist der zeitliche Aufwand pro Gebäude für die Bearbeitung des Themas mit durchschnittlich etwa zehn Stunden abzuschätzen.

Der Beschaffungspreis für ein Exposimeter inklusive Auswertung beträgt aktuell etwa 30–40 €. Dadurch entsteht pro Gebäude durchschnittlich ein finanzieller Aufwand von etwa 400 € für die Beschaffung von Exposimetern.

Für den Freistaat Bayern, in dessen Besitz aktuell etwa 10.000 öffentlich zugängliche Gebäude sind, würde dies insgesamt einen Zeitaufwand von 100.000 Stunden bedeuten. Dieser ist jedoch auf mehrere Personen verteilt. Für die Beschaffung von Exposimetern müssten etwa 4.000.000 € eingerechnet werden.

4 Fazit

Mit dem Untersuchungsvorhaben „Ermittlung und Klassifizierung öffentlich zugänglicher Gebäude im Hinblick auf die Radonexposition“ wird die Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/Euratom in das neue Strahlenschutzrecht begleitet. Die Ziele des Untersuchungsvorhabens ergaben sich größtenteils aus den Maßnahmen, die in Anhang XVIII der Richtlinie aufgeführt sind.

Folgende Ziele wurden definiert: die Ermittlung der vorhandenen öffentlichen Gebäude in Bayern, die Klassifizierung der Gebäude anhand verschiedener Parameter, die Erarbeitung einer grundlegenden Mess- und Bewertungsstrategie und die Abschätzung des Aufwandes bayernweiter Messungen.

Die Ziele des Untersuchungsvorhabens konnten im Durchführungszeitraum erreicht werden.

Mithilfe der Erkenntnisse aus dem Messprogramm konnte eine Mess- und Bewertungsstrategie für die Erfassung der Radonkonzentration in öffentlich zugänglichen Gebäuden erarbeitet werden.

Daraus wurde eine „Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Radonmessungen in öffentlich zugänglichen Gebäuden“ entwickelt, welche in der Anlage dieses Berichts zu finden ist. Diese kann Liegenschaften zur Unterstützung bei Messungen an die Hand gereicht werden.

Zudem konnte Erfahrung gewonnen werden, welche Informationen Liegenschaften mit Überschreitungen des Referenzwertes benötigen, um mit Unterstützung durch entsprechendes Fachpersonal, Radonsanierungen an Gebäuden beziehungsweise Gebäudeteilen durchführen zu können.

5 Literatur und Quellen

Bayerisches Landesamt für Digitalisierung, Breitband und Vermessung, 2016. *3D-Gebäudemodell*. [Online]

Available at: <http://www.ldbv.bayern.de/produkte/3dprodukte/3d.html>

[Zugriff am 07 Juni 2019].

Bayerisches Landesamt für Statistik, 2017. *Kreisdaten für Bayern 2016*, Fürth: Bayerisches Landesamt für Statistik.

Bayerisches Landesamt für Statistik, 2018. *GENESIS-Online Datenbank*. [Online]

Available at: <https://www.statistikdaten.bayern.de/genesis/online/logon>

[Zugriff am 07 Juni 2019].

Bossew, P. & Hoffmann, B., 2018. *Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten*, Salzgitter: Bundesamt für Strahlenschutz.

Bundesamt für Strahlenschutz, 2019. *Ionisierende Strahlung: Radon in der Bodenluft in Deutschland*. [Online]

Available at: <http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html>

[Zugriff am 07. Mai 2019].

Bundesgesetzblatt, 2001. Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV). *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2001 Teil I Nr. 38*, 26. Juli, pp. 1714-1846.

Bundesgesetzblatt, 2017. Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG). *Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017 Teil I Nr. 42*, 03. Juli.

Europäische Kommission, 1990. 90/143/Euratom: Empfehlung vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, 27. März.

Europäische Kommission, 1996. Richtlinie 96/29/Euratom zur Festlegung der grundlegenden Sicherheitsnormen für den Schutz der Gesundheit der Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlung. *Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften*, 29. Juni.

Europäische Kommission, 2014. Richtlinie 2013/59/Euratom zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung. *Amtsblatt der Europäischen Union*, 17. Januar.

International Commission on Radiological Protection, 1984. Principles for Limiting Exposure of the Public to Natural Sources of Radiation. *ICRP Publication 39. Ann. ICRP 14(1)*.

Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik (LASI), 2009. *Leitlinien zur Arbeitsstättenverordnung*. Potsdam/ Dresden: Länderausschuss für Arbeitsschutz und Sicherheitstechnik.

Menzler, S., Schaffrath-Rosario, A., Wichmann, H. E. & Kreienbrock, L., 2006. *Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen*. Hannover und München: Wichmann, H. E.; Schlipkötter, H. W.; Fülgraff, G.

6 Anhang

Hilfestellung zur Planung und Durchführung von Radonmessungen in öffentlich zugänglichen Gebäuden

Folgende Punkte sind bei der Durchführung von Radonmessungen in öffentlich zugänglichen Gebäuden zu beachten:

- **Messgeräte:** Nach § 155 Absatz 3 der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) sind die für die Ermittlung der Radonkonzentration notwendigen Messgeräte bei einer vom Bundesamt für Strahlenschutz für die Messung der Radonkonzentration anerkannten Stelle anzufordern und nach deren Vorgaben einzusetzen. Die Auswertung der Messgeräte hat durch die anerkannte Stelle zu erfolgen.
- **Messdauer:** Nach § 155 Absatz 1 StrlSchV sind die Messungen der Radonkonzentration nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik über eine Gesamtdauer von zwölf Monaten durchzuführen. Abweichend hiervon kann eine Überschreitung des Referenzwertes auch auf Grundlage einer kürzeren Messzeit festgestellt werden, wenn aufgrund einer Abschätzung der über das Jahr gemittelten Radonkonzentration davon auszugehen ist, dass der Referenzwert überschritten wird.
- **Messorte:** Nach § 127 Absatz 1 des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) müssen Messungen der Radonkonzentration an Arbeitsplätzen im Erd- oder Kellergeschoss eines Gebäudes durchgeführt werden, wenn sich das Gebäude in einem nach § 121 Absatz 1 StrlSchG festgelegten Gebiet befindet. Im Strahlenschutzgesetz ist ein Arbeitsplatz definiert als: Jeder Ort, an dem sich eine Arbeitskraft während ihrer Berufsausübung regelmäßig oder wiederholt aufhält. Prinzipiell sollte an allen Arbeitsplätzen im Erd- und Kellergeschoss eine Messung stattfinden. Eine Reduzierung der erforderlichen Anzahl von Exposimetern kann nur in Einzelfällen bei sehr großen Gebäuden mit sehr vielen Arbeitsplätzen und nur nach Rücksprache mit einer Fachperson in Betracht gezogen werden. Werden bei erstmaliger Erhebung mit reduzierter Exposimeteranzahl Überschreitungen an Arbeitsplätzen festgestellt, sollten auch die nicht gemessenen Räume auf ihre Radonkonzentration hin untersucht werden.
- **Platzierung der Messgeräte:** Pro Arbeitsplatz sollte ein Messgerät verwendet werden. Die optimale Höhe für die Aufstellung des Messgeräts beträgt ein bis zwei Meter (normale Atemhöhe). In Gebäuden mit Publikumsverkehr sollte es außerhalb des Zugriffs des Publikums (beispielsweise auf einem Schrank) ausgebracht werden. Um das Messgerät besser kenntlich zu machen, ist es empfehlenswert es mit einem Hinweisblatt („Bitte liegen lassen, Messung läuft“) zu versehen. Das Messgerät sollte einen Mindestabstand von zehn Zentimeter zur Wand aufweisen. Für die Auswertung ist unbedingt der Zeitraum der Messung und der Messort zu protokollieren.
- **Weitere Rahmenbedingungen:** Das Messgerät sollte nicht in der Nähe von Fenstern und Türen liegen (Zugluft). Es sollte frei im Raum liegen, nicht stark erwärmt werden (etwa durch direkte Sonneneinstrahlung oder Heizung) und nicht in abgeschlossene Bereiche (Schränke) gelegt werden. Die Benutzer der jeweiligen Räumlichkeiten (auch Reinigungspersonal) sollten über die laufenden Radonmessungen informiert werden.

Nach § 127 Absatz 3 StrlSchG hat der für den Arbeitsplatz Verantwortliche die Ergebnisse der Messungen unverzüglich aufzuzeichnen, fünf Jahre ab dem Zeitpunkt der Erstellung aufzubewahren und der zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen.



Eine Behörde im Geschäftsbereich
Bayerisches Staatsministerium für
Umwelt und Verbraucherschutz

