



Bundesamt
für Strahlenschutz

Lessons Learned

**Erfahrungen aus der Vorbereitung und Durchführung von
Messprogrammen zu Radoninnenraumlufmessungen und
Radonbodenluftmessungen**

BfS-51/23

Lenkungskreis Radonmaßnahmenplan

Impressum

Herausgeber:

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und Verbraucherschutz

Referat S II 2

Postfach 12 06 29

53048 Bonn

Redaktion: Dr. Suhr, Dr. Hoffmann, Lenkungsreis Radonmaßnahmenplan

www.bfs.de

Bitte beziehen Sie sich beim Zitieren dieses Dokumentes immer auf folgende URN:

urn:nbn:de:0221-2023042837851

Dezember/2022

Zusammenfassung

Im Rahmen des Bund Länder Austauschs „Lenkungskreis Radonmaßnahmenplan“ (LK Radon) wurde der Wunsch geäußert, die langjährigen Erfahrungen aus der Vorbereitung und Durchführung von Messprogrammen zu Radoninnenraumlufmessungen und Radonbodenluftmessungen des Bundes, insb. des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) sowie der Bundesländer in einem Lessons Learned Bericht festzuhalten. In diesem Bericht werden die wichtigsten Erkenntnisse aus den Erfahrungen aus verschiedenen Messkampagnen vorgestellt, um im Sinne eines Wissensmanagement insb. Länder bei der Erhebung von Radondaten zu unterstützen. Der Mehrwert in einer gebündelten Darstellung der wichtigsten Erkenntnisse aus der Praxis des BfS liegt darin begründet, dass typische Fehler bei der zukünftigen Durchführung von Messprogrammen minimiert werden können, um Aufgaben in einer Kampagne frist- und kostengerecht durchzuführen und qualitativ hochwertige Daten zu generieren. Aus den Erfahrungen des BfS leitet sich ab, dass die Erhebung von repräsentativen Radondaten neben einer technisch/wissenschaftlichen korrekten Messung von einer Vielzahl von statistischen-, sozialen-, bautechnischen-, geologischen-, witterungsbedingten-, juristischen- und administrativen Faktoren oder auch der Teilnehmeraquise abhängen kann, die den Erfolg eines Messprogramms bestimmen. Der Bericht beinhaltet als Schwerpunkte übergeordnete Kapitel zu Innenraummessungen und Bodenluftmessungen von Radon. Wichtige Vorgehensweisen bei der Planung, Logistik und Projektdurchführung werden unter besonderer Berücksichtigung der o.g. Faktoren in Unterkapiteln vorgestellt. Des Weiteren werden die statistische Auswertung von Radondaten, deren Darstellung, Speicherung und Archivierung sowie die Kommunikationsstrategie mit der Bevölkerung in Kapiteln vorgestellt. Einzelheiten zur Teilnehmerakquise, Messanleitungsprotokolle und Fragebögen im Anhang können als Hilfestellung/Muster in zukünftigen Messprogrammen dienen. Dieser Bericht hat nicht den Anspruch, in seiner vorliegenden Form ein obligatorisches Vorgehen vorzuschreiben. Vielmehr dient er als Diskussionsgrundlage, die im Laufe der Zeit von Bund und Ländern weiterentwickelt werden sollte.

Inhalt

Anwendungsbereich.....	6
1 Hintergrund	6
2 Überblick Messprogramme	7
3 Innenraumlufmessungen	7
3.1 Planung.....	7
3.1.1 Repräsentativität von Messungen.....	7
3.1.2 Methoden.....	8
3.1.3 Beispiele von Einflussfaktoren, Randbedingungen und Zielsetzungen von Messprogrammen	9
3.2 Administrative Vorbereitungen	10
3.2.1 Datenschutz.....	10
3.2.2 Teilnehmerakquise.....	10
3.2.3 Fragebogen	11
3.3 Durchführung.....	12
3.3.1 Messgeräte	12
3.3.2 Aufstellorte und Messprotokolle	13
3.3.3 Normen	13
3.3.4 Rücklauf der Messgeräte und Fragebögen.....	13
4 Bodenluftmessungen	14
4.1 Planung.....	14
4.1.1 Ermittlung von Eingangsparametern in Prognosen und Zielsetzung.....	14
4.1.2 Messungen zur Charakterisierung einer geologischen Einheit bzw. Gegebenheit.....	15
4.1.3 Hinweise zu Messungen und Baugrundbewertung	15
4.2 Administrative Vorbereitung	16
4.2.1 Auswahl von geeigneten Messorten	16
4.2.2 Datenschutz.....	16
4.2.3 Schutz vor Personen- und Sachschaden.....	17

4.3	Durchführung.....	18
4.3.1	Kurzzeitmessung	18
4.3.2	Langzeitmessung	19
4.3.3	Pegel/Dauermessstelle.....	19
5	Auswertung, Darstellung	19
5.1	Logarithmische Normalverteilung und statistische Kennzahlen in Auswertungen und Darstellungen.....	19
5.2	Grafiken und Karten	20
6	Speicherung, Archivierung, Datenübermittlung	21
7	Kommunikation mit Bevölkerung/Betroffenen	21
8	Fazit.....	21
9	Literatur.....	21
10	Anhang	22
10.1	Potentielle Kosten einer Teilnehmerakquise bei Radoninnenraumluftmessungen.....	22
10.2	Beispiel Messanleitungsprotokoll für Innenräume.....	23
10.2.1	Anschreiben.....	23
10.2.2	Hinweise zu den Fragebögen	23
10.2.3	Fragebogen „Immobilie“	24
10.2.4	Fragebogen „Exposimeter“	27
10.2.5	Informationen zum Aufstellen des Exposimeters.....	28

Anwendungsbereich

Dieses Dokument stellt eine Zusammenfassung der Erfahrungen von Bund und Ländern dar, die bei der Planung, Umsetzung und Auswertung von Messprogrammen zur Bestimmung von Radonkonzentrationen in Gebäuden und in der Bodenluft durch das BfS gesammelt wurden. Die Erarbeitung des Berichts erfolgte unter Mitwirkung des LK Radon. Damit sollen die Erfahrungen gesichert und für folgende Messprogramme nutzbar gemacht werden. Es dient als Kompendium des „best practice“ dem Wissensmanagement und -transfer. Auf einige rechtliche Fragestellungen, die sich im Zusammenhang mit der Durchführung von Messprogrammen gestellt haben, insbesondere datenschutz- und betretungsrechtliche Fragestellungen, wird hingewiesen. Aufgrund der fachlichen Ausrichtung dieses Dokuments werden diese Fragen hier allerdings nicht beantwortet werden.

Verpflichtende Messungen an Arbeitsplätzen gem. §§ 127 ff StrlSchG werden in diesem Dokument ausdrücklich nicht behandelt. Hier sei auf den Leitfaden „Radon an Arbeitsplätzen in Innenräumen: Leitfaden zu den §§ 126 - 132 des Strahlenschutzgesetzes“ (<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-2022072633429>) verwiesen.

Sowohl die Messtechnik als auch die Randbedingungen von Messungen, wie gesetzliche Regelungen, unterliegen einer ständigen Weiterentwicklung. Und mit mehr Messprogrammen erweitert sich der Erfahrungspool. Daher muss sich dieses Dokument auch beständig weiterentwickeln.

1 Hintergrund

Das Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und die Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) setzen die Richtlinie 2013/59/Euratom in das deutsche Recht um. Das Strahlenschutzrecht regelt Maßnahmen zum Schutz des Menschen und der Umwelt vor den schädlichen Wirkungen ionisierender Strahlung. Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Gas und eine der häufigsten Ursachen für Lungenkrebs nach dem Rauchen. Das Strahlenschutzrecht beinhaltet Regelungen zum Schutz vor Radon in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen. Für Aufenthaltsräume und Arbeitsplätze in Innenräumen gilt jeweils ein Referenzwert von 300 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) für die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration (im folgenden Radonkonzentration) in der Luft (§§ 124 und 126 StrlSchG). Ein Referenzwert dient als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen. Er ist kein Grenzwert. Der in § 122 Abs. 1 StrlSchG vorgesehene Radonmaßnahmenplan des Bundesumweltministeriums (abrufbar unter: <http://www.bmu.de/PU544>) beschreibt das geplante Vorgehen von Bund und Ländern mit dem Ziel, die Radonkonzentration in Innenräumen zu senken und so langfristig die gesundheitlichen Risiken zu verringern. Die wichtigsten Handlungsfelder und konkrete Maßnahmen beziehen sich auf die folgenden Themenbereiche:

- **Öffentlichkeitsarbeit** mit dem Ziel ein Bewusstsein für die mit Radonexpositionen verbundenen Gesundheitsrisiken zu schaffen und die Eigeninitiative der Bürger*innen zu fördern, sich **vor Radon zu schützen**
- **Erhebung des Radonvorkommens**, einschließlich der Entwicklung einheitlicher Messstrategien, zur **Messung der Radonkonzentration** in Innenräumen und in der Bodenluft und der Durchführung von Radonmessungen in Gebäuden und in der Bodenluft
- **Maßnahmen für Neubauten und bestehende Gebäude** wie die Bewertung von baulichen Maßnahmen zum Schutz vor Radon
- **Maßnahmen zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen**, insbesondere die Erarbeitung eines Leitfadens zur Bestimmung der Radonexposition an Arbeitsplätzen
- **Forschung zu Radon und zu Schutzmaßnahmen**
- **Evaluation der Maßnahmen**

Um einen weitgehend homogenen Satz an Daten zur Radonsituation in Deutschland zu erlangen, wird deutlich, dass neben der Messung der Radonkonzentration auch die Interaktion mit Bürger*innen einen

entscheidenden Einfluss haben kann, da Bürger*innen dazu angeregt werden sollen, freiwillig Messungen durchzuführen.

§ 121 Absatz 1 Satz 1 des StrlSchG hat die Länder verpflichtet, bis zum 31. Dezember 2020 erstmalig sogenannte Radonvorsorgegebiete festzulegen. In diesen Gebieten wird erwartet, dass die über das Jahr gemittelte Radonkonzentration in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den Referenzwert für Aufenthaltsräume oder Arbeitsplätze überschreitet. In den Radonvorsorgegebieten wird erwartet, dass auf mindestens 75 Prozent des jeweils auszuweisenden Gebiets der Referenzwert von jeweils 300 Bq/m^3 für Aufenthaltsräume oder Arbeitsplätze in mindestens 10 Prozent der Anzahl der Gebäude überschritten wird. Sachsen, Sachsen-Anhalt, Thüringen, Niedersachsen, Bayern und Baden-Württemberg haben Radonvorsorgegebiete festgelegt. Gemäß § 121 Absatz 1 Satz 3 StrlSchG ist die Festlegung der Radonvorsorgegebiete jedoch mindestens alle zehn Jahre durch die Länder zu überprüfen, wodurch sich die Anzahl bei neuen Erkenntnisständen ändern kann.

Verbindliche Regelungen gelten nach § 123 Abs. 1 StrlSchG i.V.m. § 154 StrlSchV für den Schutz vor Radon in Neubauten auf dem gesamten Bundesgebiet, wobei in Radonvorsorgegebieten weitergehende Anforderungen bestehen. Maßnahmen in privaten Bestandsgebäuden ohne Arbeitsplätze unterliegen für Eigentümer*innen und Bewohner*innen dagegen der Eigenverantwortung des bzw. der Einzelnen.

2 Überblick Messprogramme

Für eine vorher definierte Zielsetzung lässt sich ein optimiertes Messprogramm erstellen, aus welchem unter sorgfältiger Betrachtung von Zielgrößen und deren Einflussfaktoren ein Mehrwert für nachfolgende Studien geschaffen wird. Unter Berücksichtigung von solchen vorab definierten Einflussgrößen und Randbedingungen ist es also möglich, abzuschätzen, ob Daten aus einem geplanten Messprogramm auch im Zuge von zukünftigen Projekten für deren Fragestellungen genutzt werden können. Die Konzeption eines Messprogramms sollte daher als Erstes mit der Definition der Zielsetzung beginnen. Dies kann bspw. die Erfassung der generellen Situation in einer Region sein, aber auch spezielle Fragen, wie der Anteil einer Überschreitung eines definierten Wertes oder die Abhängigkeit der Messgröße von bestimmten Bedingungen.

Für eine Optimierung zum Zwecke der Nutzung der Ergebnisse für andere Fragestellungen ist zu berücksichtigen, dass die Messwertdichte bei einer primär deutschlandweiten Erhebung einer Zielgröße in der Regel nicht ausreichend ist, um im Nachhinein auch lokale Differenzierungen zu ermöglichen. Des Weiteren orientieren sich die zu erhebenden Parameter an der Zielgröße. Parameter im Nachhinein zu erheben, um Aussagen zu einer anderen Zielgröße zu ermöglichen, führen in der Regel zu größeren Aufwänden, als diese direkt und vorausschauend in ein Messprogramm miteinzubeziehen.

3 Innenraumlufmessungen

3.1 Planung

3.1.1 Repräsentativität von Messungen

In einem bundesweiten, Design-basierenden Survey im Auftrag des Bundes zur Abschätzung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in Innenräumen in Deutschland wurden zwischen Sommer 2019 bis Frühjahr 2021 Messungen in ca. 6.000 ausgewählten Wohnungen durchgeführt [1]. Hierfür musste vorab geplant werden, wie mit der Anzahl der Messungen die Verteilung der Innenraumkonzentration in verschiedenen Regionen Deutschlands realistisch abschätzbar ist. Der Begriff der Repräsentativität ist in diesem Zusammenhang einer der am häufigsten verwendeten Fachausdrücke für Stichprobenerhebungen. Der Besitz dieser Eigenschaft wird gemeinhin als Kennzeichen einer qualitativ hochwertigen Stichprobe verstanden, wobei der verwendete Auswahlvorgang, die Größe des verwendeten Stichprobenumfangs oder der erbrachte Aufwand bei der Vermeidung von Nichtstichprobenfehlern ebenfalls wichtige Qualitätskriterien darstellen [1, 2]. Ist ein interessierendes Merkmal (auch Parameter; z. B. die

Radonkonzentration in der Raumluft) nicht für die gesamte vorab definierte Population (Grundgesamtheit; hier: die Bevölkerung Deutschlands) bekannt und ist keine Vollerhebung möglich, so greift man auf einen Teil der Grundgesamtheit (Stichprobe) zurück. Unter bestimmten Voraussetzungen hat man die Möglichkeit, mithilfe statistischer Methoden das Merkmal aus der Stichprobe für die gesamte Population zu schätzen. Die Stichprobe muss dafür gewissen Qualitätsanforderungen entsprechen und das interessierende Merkmal oder dessen Verteilung in der Grundgesamtheit durch die Stichprobe exakt oder annähernd wiedergegeben werden. Als repräsentativ wird somit eine Stichprobe bezeichnet, die bezüglich eines Merkmals mit ausreichender Präzision durchschnittlich annähernd korrekte Ergebnisse liefert [2]. Die Auswahl und Ziehung der Stichprobe sind somit so zu gestalten, dass Repräsentativität bzw. Erwartungstreue hinsichtlich des interessierenden Merkmals erwartet werden kann, d. h., dass die Ergebnisse der Stichprobe unverzerrt auf die Grundgesamtheit übertragen werden können. Nicht erwartungstreue und somit verzerrte Stichproben generieren einen sogenannten Bias oder systematischen Fehler. Das bedeutet, ihre Ergebnisse streuen nicht nur zufällig um die gesuchten Parameter der Grundgesamtheit, sondern weichen systematisch davon ab [3]. Voraussetzungen für einen Rückschluss von der Stichprobe auf die Grundgesamtheit sind:

- ein geeigneter Auswahlvorgang (Stichprobenverfahren) für die Elemente in der Stichprobe aus der Grundgesamtheit,
- die Verwendung geeigneter Schätzmethoden,
- die Wahl ausreichend großer Stichprobenumfänge, die die benötigte Genauigkeit der Schätzung ermöglichen,
- die Vermeidung bzw. Berücksichtigung von Fehlern, die nicht durch die Ziehung einer Stichprobe erklärt werden können (Nichtstichprobenfehler). Hierzu gehören beispielsweise Falschantworten oder Antwortausfälle [2], die eine Gewichtung von Elementen verstärken oder abmindern und zu einer Verzerrung der Stichprobe führen.

Oftmals ist die Population umfangreich und das Ziehen einer einfachen Zufallsstichprobe aus praktischen Gesichtspunkten schwierig. Die Population zerfällt jedoch in den meisten Anwendungen ganz natürlich in einzelne Gruppen. Die Bundesrepublik Deutschland gliedert sich verwaltungsmäßig beispielsweise in 401 Kreise und kreisfreie Städte. Die Bewohner sind somit gemäß ihres Erstwohnsitzes in nicht überlappende Gruppen eingeteilt. Die Bevölkerung innerhalb eines Kreises ist natürlich in gewissem Rahmen heterogen, d.h. es gibt Personen verschiedenen Geschlechts, Alters, Berufs etc. In Bezug auf Merkmale, die mit Regionalität oder Geografie korrelieren, sind sie jedoch in gewissem Maß homogen. Zieht man nun jeweils in allen Regionen (Schichten) eine Stichprobe und führt die erhobenen Daten dann erst zur Auswertung zusammen, spricht man von einer geschichteten Stichprobe. Dieses Prinzip ist sinnvoll, wenn bekannt ist, dass das interessierende Merkmal stark von den Regionen abhängt, wie es beispielsweise bei der Radonkonzentration in der Raumluft der Fall ist. Man kann dadurch nicht nur Aufschluss über die Radonexposition in den einzelnen Regionen gewinnen, sondern auch die (durchschnittliche) Exposition der Bevölkerung effizienter schätzen. Die geschichtete Stichprobe ist das in der Praxis am häufigsten verwendete Design. Ein wesentlicher Grund hierfür ist, dass die Gesamtstichprobe dem Ideal der Repräsentativität bezüglich des Schichtmerkmals entspricht, wenn man die Stichprobenumfänge innerhalb der Schichten proportional zu den Schichtgrößen in der Grundgesamtheit wählt. Die Stichprobe stellt in diesem Fall ein möglichst gutes Abbild der Grundgesamtheit dar [4].

3.1.2 Methoden

Das Ziel eines Surveys besteht in der Ermittlung von statistischen Kenngrößen einer Population, z. B. mittels Zentraltendenz (arithmetischer Mittelwert, geometrischer Mittelwert, Median), Dispersion (Standardabweichung, geometrische Standardabweichung, mittlere absolute Abweichung) oder Perzentilen und Quantilen sowie minimal- und maximalen Werten (s.a. Kapitel 5). Prinzipiell unterscheidet man bei Surveys Design-basierte (neue und spezifische Surveys) und Modell-basierte (Aufarbeitung von Daten existierender Surveys) Ansätze. Informationen zu den Ansätzen von Surveys können u. A. von [5] entnommen werden. Bei Design-basierten Ansätzen sind die Repräsentativität der Daten und die Größe der

Stichprobe entscheidend. Für die Größe der Stichprobe sind von vorneherein Annahmen zu treffen, die üblicherweise aus einer vorherigen Pilotstudie stammen, wodurch Design-basierte Studien fast immer 2-stufig sind. Die Berechnung der minimal notwendigen Größe der Stichprobe ist kompliziert, wenn die Population autokorreliert ist, was in der Umwelt der Normalfall ist (z. B. Regionen mit bestimmten Radonkonzentrationsniveaus). Dies liegt daran, dass die in einer Punktprobe enthaltene Information schon in der Nachbarprobe enthalten ist. Eigenschaften endlicher Populationen (wie z. B. Personen, Gebäude) können im Prinzip durch eine vollständige Erhebung exakt (abgesehen von der Mess- bzw. Beobachtungsungenauigkeit) erfasst werden, bei unendlichen Populationen (z. B. geogenes Radon Potenzial) ist das nicht möglich. Jedoch sind auch endliche Populationen oft für eine Vollerhebung zu groß und man behilft sich mit Stichproben. Solange der Stichprobenumfang klein gegenüber der Population ist, ist die statistische Behandlung näherungsweise gleich wie bei der unendlichen Population. Wenn diese Bedingung nicht erfüllt ist, können manche statistischen Aufgaben wie bspw. die Bestimmung von Konfidenzintervallen sehr kompliziert werden. Modell-basierte Ansätze werden bevorzugt angewendet, wenn lediglich auf alte Datensätze zurückgegriffen werden kann und eine Generierung neuer Daten nicht möglich bzw. nicht praktikabel ist. Welche Genauigkeit mit den vorhandenen Daten und Methoden erreicht wird, lässt sich erst nachträglich prüfen.

3.1.3 Beispiele von Einflussfaktoren, Randbedingungen und Zielsetzungen von Messprogrammen

Messungen der Radonkonzentration in Innenräumen erfolgten bereits in einer Vielzahl von Projekten mit unterschiedlichen Zielsetzungen in Deutschland. Neben der Erhebung von Daten zur Ermittlung der Radonsituation auf regionaler Ebene wurden auch Studien an energetisch sanierten Gebäuden, in Bergbaugebieten oder Fallstudien bezüglich des Radonrisikos im Zusammenhang mit Lungenkrebs durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl an Themen mit Berührungspunkten zu Radon kann eine Zielstellung in einem Vorhaben daher unterschiedliche Ansprüche an die Laufzeit, den Teilnehmerkreis, Parameter, etc. haben. Daher ist es ratsam, vor einer Messung bereits klar definierte Zielstellungen festzulegen, da nachträgliche Datenerhebungen zu Radonsituationen aufgrund der vielen oftmals zeitlich variablen Einflussfaktoren meistens nicht möglich sind. Die Zielsetzungen von Messprogrammen der verschiedenen Länder können durchaus von denen des Bundes abweichen. Regionalspezifische Phänomene in den verschiedenen Ländern, wie bspw. historischer oder aktiver Bergbau mit hohen Radonkonzentrationen im Boden und Gebäuden, Unterschiede im Gebäudebestand (Baumaterial, Gebäudealter, Bauweise, energetische Modernisierungen, etc.), oder die geologische Beschaffenheit einer Region können eine modifizierte Strategie rechtfertigen, um zu einer speziellen Fragestellung ein sinnvolles Messprogramm zu entwickeln. Bspw. können energieeffizientere Gebäude im Vergleich zu nicht-energetisch sanierten Gebäuden unter denselben Randbedingungen doppelt so hohe Radonkonzentrationen im Durchschnitt und Median aufweisen [6]. Ebenso kann die Raumnutzung bzw. das Nutzerverhalten eine abweichende Strategie erfordern, da sich die Einflussgrößen auf Radon bspw. in öffentlichen Gebäuden durch deren Nutzung, Belüftung, Raumvolumen und gesetzlichen Vorgaben (Schulen, Ämter, Rathäuser, etc.) von denen in Wohngebäuden unterscheiden und somit bei der Zielsetzung eines Messprogrammes zu berücksichtigen sind.

In der Vergangenheit wurden im Auftrag des Bundes eine Reihe von Untersuchungen zur Radoninnenraumkonzentration durchgeführt. Dabei wurden ca. 60.000 Messungen in rund 30.000 Gebäuden gesammelt und in die Datenbank der Radonmessungen des Bundes („BuRG“) aufgenommen. Da die einzelnen Untersuchungen unterschiedliche Zielsetzungen hatten, sind die so gesammelten Daten von unterschiedlicher Qualität und insgesamt und ohne weitere Randbedingungen nicht als repräsentativ zu bezeichnen. Jedoch erlaubt die große Anzahl an Messungen, spezifische Qualitätsmerkmale und Randbedingungen abzufragen und in neue Studien einfließen zu lassen. Typische Zielsetzungen waren die Überprüfung von regionalen Vorhersagen zur Radoninnenraumkonzentration, was zu einer starken räumlichen Clusterung führte oder die Überprüfung des Einflusses gewisser Hauseigenschaften, wodurch Gebäudetypen selektiert wurden. Des Weiteren wurden die Untersuchungen mit unterschiedlichen Messverfahren und damit verbunden mit unterschiedlicher Messdauer durchgeführt. So finden sich sowohl Jahresmessungen und Messungen über drei Monate mit Kernspurdetektoren als auch Kurzzeitmessungen

über wenige Tage mittels Aktivkohlesammler. Für die Verwendung der Daten ist daher vorab die Zielstellung einer Untersuchung miteinzubeziehen, um diese Daten bestmöglich nutzen zu können. Letztendlich unterliegen die vorhandenen Daten auch einem Alterungsprozess. Ein wesentlicher Anteil der vorhandenen Daten stammt aus den 80er und 90er Jahren, und es ist anzunehmen, dass über die Jahre hinweg eine Entwicklung des Hausbestandes stattgefunden hat.

3.2 Administrative Vorbereitungen

3.2.1 Datenschutz

Bei Messkampagnen sind auch Aspekte des Datenschutzes zu beachten. Da personenbezogene Daten erhoben werden, ist frühzeitig das Datenschutzmanagement mit den zuständigen Stellen zu erörtern und das Kampagnendesign entsprechend zu planen.

3.2.2 Teilnehmerakquise

Zur Kontaktaufnahme zu potenziellen Teilnehmer*innen stehen verschiedene Strategien zur Auswahl, um möglichst viele und weiträumig verteilte Personengruppen zu erreichen. Diese werden im Folgenden vorgestellt. Eine Zusammenstellung von Beispielen zu potentiellen Kosten zu den folgenden Unterpunkten kann im Anhang in 10.1 eingesehen werden. In den strategischen Planungen kann auch erwogen werden, auf Teilnehmer*innen aus ehemaligen Studien zurückzugreifen, um unnötigen Mehraufwand in neuen Projekten zu vermeiden. Das BfS schließt in seinen Studien daher entsprechende Vereinbarungen mit Teilnehmer*innen früherer Studien. Die Teilnahme an der Messkampagne sollte für die Haushalte kostenfrei sein und auch die postalische Rücksendung umfassen, welche je nach Messgerät bis zu 2,80 € pro Sendung betragen kann (Stand 2022). Als zusätzliche „Motivation“ sollten die Teilnehmer*innen nach Abschluss der Messungen die Messwerte von ihrem Gebäude bzw. ihrer Wohnung erfahren, um einen Anreiz für den getätigten Aufwand zu schaffen. Im Bereich von Studien zu umweltbedingten Gesundheitseinflüssen ist es auch üblich, den Teilnehmer*innen eine Aufwandsentschädigung in Form von Geld oder Sachmitteln anzubieten. Unabhängig von der Wahl der Akquisemethode ist es notwendig, dass die so Angesprochenen die Echtheit der Akquise prüfen können. Dies gilt besonders, wenn die Akquise im Auftrag durch einen Dritten erfolgt. So sind entsprechende Webseiten, auf denen die Akquise bestätigt werden, sinnvoll. Erfahrungsgemäß sollten auch die Telefonzentralen informiert und auskunftsfähig sein.

- **Mailing:**

Nach Bestimmung der Messgebiete müssen die notwendigen Informationen für die postalische Versendung der Einladungen und später dann Messgeräte eingeholt werden (Anrede, Name, Anschrift). Es existieren Anbieter*innen, die auf Wunsch geschichtete Stichproben der Bevölkerung auswählen und datenschutzkonform Mailings durchführen können.

- **Medienkampagnen:**

Medienkampagnen erreichen allgemein mehr Personen, sollten aber auf mehrere zeitlich versetzte Kampagnen aufgeteilt werden, um eine höhere Resonanz zu erfahren. Artikel in bundesweiten und mit hohen Abonnentenzahlen versehenen Medien haben den Vorteil, dass auch kleinere, regionale Medien die Nachricht oft übernehmen. Durch das gezielte, direkte Ansprechen regionaler Medien können regionale Unterrepräsentanzen an Teilnehmenden ausgeglichen werden. Je nach Medium kann eine andere Bevölkerungsschicht erreicht werden. Bspw. wurden auf Landesebene ältere Teilnehmer*innen durch Anfragen in Gemeindeblättern und ähnlichen Medien eher angesprochen und konnten akquiriert werden.

- **Vertrauenspersonen aus dem Umfeld:**

Grundsätzlich ist eine Akquise auch über Vertrauenspersonen im Umfeld potentieller Teilnehmer*innen möglich. Denkbar und zum Teil auch schon im europäischen Raum genutzte Personengruppen sind z. B. Hausärzte, Apotheken oder (freiwillige) Feuerwehren sowie Schornsteinfeger*innen. Als Vertrauenspersonen können auch Multiplikatoren wie bspw. ein Radonbeirat mit Teilnehmer*innen verschiedener Institutionen (Hausbesitzer*innen, Kammern, etc.) oder auf Gemeindeebene die Gemeinderäte bzw. Ortsvorsteher*innen dienen.

Um Radon repräsentativ in einer Studie zu erheben, ist allerdings auch eine Messung notwendig. Dies bedeutet, dass eine Befragung alleine nicht ausreichend ist. Somit müsste die Vertrauensperson neben der Befragung auch nach Messende wiederum mit den Teilnehmer*innen persönlich Kontakt aufnehmen oder die Teilnehmenden an eine Rücksendung per Post erinnern. Ebenso sollten alle Vertrauenspersonen im Idealfall zumindest eine Basisschulung zum Thema Radon erhalten.

Die Akzeptanz für die Teilnahme durch persönlichen Kontakt mit einer bekannten Person ist deutlich höher als bei einem Mailing. Dem gegenüber steht der hohe finanzielle Aufwand, der durch eine Befragung durch Vertrauenspersonen entsteht (s. Anhang 10.1).

- **Umsetzung des bundesweiten Surveys:**

Neben der Anwerbung von Teilnehmer*innen haben Erfahrungen aus einem Forschungsvorhaben [1] gezeigt, dass die Ziehung einer repräsentativen Stichprobe aus allen Einwohnern Deutschlands aus verschiedenen Gründen (z. B. kein deutschlandweites Melderegister) nicht möglich ist. Ebenfalls ist es nicht möglich, ein kleineres Gebiet in Deutschland zu benennen, das für alle potentiell radonrelevanten Parameter (z. B. Geologie, Bauweise) und gleichzeitig auch für „klassische“ Merkmale (z. B. Alter, Geschlecht, sozioökonomische Faktoren, Siedlungsstruktur) repräsentativ wäre, so dass sich die Auswahl der Teilnehmer*innen auf eben dieses Gebiet hätte beschränken können. Daher erfolgte deutschlandweit eine kreisbezogene Auswahl von Teilnehmenden (siehe auch Kapitel 3.1.1). Hierdurch wurde gewährleistet, die gesamte Landesfläche zu berücksichtigen und die Teilnehmerzahl je Kreis proportional zur Einwohnerzahl zu berechnen. Die Stichprobe selbst wurde in den jeweiligen Kreisen bzw. kreisfreien Städten nach dem Zufallsprinzip gezogen. Wurden bei der Akquise die o. g. gewünschten Teilnehmer*innenzahlen in Kreisen überschritten, erfolgte die Berücksichtigung entsprechend der Reihenfolge der zeitlichen Anmeldung der Teilnehmer*innen. Wurden bei der Akquise in Kreisen die gewünschten Teilnehmer*innenzahlen nicht erreicht, wurde für die Durchführung der Messungen zunächst keine „automatische Verrechnung“ mit überrepräsentierten Kreisen vorgesehen, sondern mit Unterstützung der Auftragnehmer*in gezielt regionale Medien angesprochen.

- **Anfragen an Behörden und Radoninfostellen:**

Zur Gewinnung von Teilnehmer*innen über eingerichtete Radoninfostellen, welche z. B. bei Anmeldung kostenlos ein Messgerät zur Messung versenden, hat sich auf europäischer Ebene gezeigt, dass hierdurch vermehrt Menschen angesprochen werden, die sich aufgrund ihres Hintergrunds mit dem Thema Radon auseinandergesetzt haben (z. B. Lehrer*innen, Physiker*innen, etc.). Hierdurch entsteht keine Repräsentativität und viele Bevölkerungsgruppen werden nicht erreicht. Außerdem sollte berücksichtigt werden, dass in Ländern mit festgelegten Radonvorsorgegebieten bei freiwilligen Teilnehmer*innen eine bestimmte Interessenlage bestehen kann, die möglicherweise zu einer Verzerrung der Ergebnisse führt. Bspw. können Gemeinden einer Festlegung als Radonvorsorgegebiet kritisch gegenüberstehen oder mietrechtliche Sachverhalte u. ä. Motive zu einer erhöhten Teilnahme beitragen.

Bei der Einbindung bspw. von der freiwilligen Feuerwehr kann über Leiter*innen, deren Befehlsstruktur und allgemein guten Vernetzung von einer hohen Beteiligung an Messprogrammen ausgegangen werden. Auch in diesem Fall ist jedoch keine Repräsentativität gegeben, da in dieser und ähnlichen Organisationen ein Bias vorliegt, da Mitglieder meistens jüngere, gesunde Menschen mit Familien sind und deren Wohnsituation tendenziell ähnlich ist.

3.2.3 Fragebogen

Um für ein Messprogramm relevante Informationen von Teilnehmer*innen zu erhalten, muss ein Fragebogen mit einer Liste von Fragen und zugehörigen Antwortmöglichkeiten erstellt werden, der einerseits die gewünschten gebäudebezogenen Informationen beinhaltet, andererseits Informationen, die für eine anschließende Bewertung der Repräsentativität der Teilnehmendenauswahl (Metadaten) benötigt wird [1]. Vergleichsdaten können bspw. aus der Zensusdatenbank des Statistischen Bundesamts entnommen werden, um eine einheitliche Vergleichsbasis zu haben.

Die Anzahl und der Inhalt der Fragen sollten so gewählt werden, dass der benötigte Aufwand für den Teilnehmenden, diese zu beantworten, zeitlich überschaubar ist (ca. 10 bis 15 Minuten). Dadurch soll gewährleistet werden, dass die „Motivation“ des Teilnehmenden für die Dateneingabe nicht beeinträchtigt wird. Aufgrund von Erfahrungen aus vorangegangenen Messreihen sollten ausschließlich definierte Antwortmöglichkeiten vorgegeben werden. Freie Texteingaben oder Mehrfachnennungen sollen nicht möglich sein, weil diese nicht einheitlich ausgewertet werden können [s. a. 1]. Jedoch kann es bei regionalen Surveys auf Länderebene zu Abweichungen kommen und bei einer geringen Anzahl von Teilnehmer*innen Sinn ergeben, nach spezifischen Gebäudemerkmalen in Gegenden zu fragen, die im Vergleich zur Bundesebene kaum Verwendung finden.

Die Daten können prinzipiell über Papier, (professionelle) Interviewer*innen oder durch Eingabe über das Internet erfolgen und der jeweilige Mehraufwand zu den verschiedenen Formen sollte Beachtung bei Planungen finden. Ebenso sollte auf eine barrierefreie Form geachtet werden, um späteren Mehraufwand zu vermeiden. Fragen sind so zu wählen, dass sie von Bürger*innen problemlos und fehlerfrei beantwortbar sind. Bspw. werden viele Hausbesitzer*innen keine Fragen zu Baumaterialien beantworten können oder das genaue Baujahr eines Gebäudes kennen. Sinnvoller ist es, in diesem Fall eine übergeordnete Kategorie und Klassifizierung zu wählen und mit verschiedenen Klassifizierungsschemata zu verschiedenen Fragestellungen zu arbeiten, die denen des Zensus entsprechen, um eine nahtlose Anbindung der Surveydaten an andere statistische Informationsquellen zu ermöglichen (z. B. Gebäudetyp, Haushaltsgrößenklassen, Baujahrklassen, etc.), während nicht-konsistente Klassen vermieden werden sollten (z. B. Survey A Baujahr 1980-1990; in Survey B 1974-1994). Wichtige vs. optionale Fragen sollten im Fragebogen klar als solche herausgestellt werden. Bei Unsicherheiten können auch Testbefragungen durchgeführt werden, um einen Einblick zu erhalten, ob fachfremde Personen in der Lage sind spezielle Fachfragen zu beantworten.

3.3 Durchführung

3.3.1 Messgeräte

Am einfachsten lässt sich die Radonkonzentration in der Raumluft zur Bestimmung des Mittelwertes von längeren Zeiträumen (in der Regel drei oder zwölf Monate) mit einem so genannten Exposimeter, einem passiven Detektor ("Kernspurdosimeter") messen. Exposimeter sind kleine Plastikbehälter, die keinen Strom benötigen, weder Licht noch Geräusche aussenden, sondern lediglich ausgelegt werden. Radon aus der Raumluft kann in den Behälter eindringen. Beim Zerfall des Radons im Behälter hinterlassen die dabei entstehenden Alphaeilchen winzige Spuren auf einer Detektorfolie im Inneren des Behälters. Mit Hilfe der Spuren auf der Detektorfolie kann in einem Messlabor die Radonkonzentration in der Luft des Raumes, in dem das Gerät aufgestellt war, bestimmt werden. Passive Radon-Messgeräte können bei Messlaboren bestellt werden.

Neben den passiven Detektoren stehen zur Messung der Radonkonzentration auch elektronische Messgeräte zur Verfügung. Diese Messgeräte können nur für wenige Minuten bis Tage, aber auch Monate eingesetzt werden und zeigen den Messwert direkt in einem Display an, wodurch dynamische Verläufe der Radonkonzentration zeitlich aufgelöst festgehalten werden können. Solche zeitaufgelösten Messungen lassen Aussagen über die Radodynamik in einem Gebäude zu, so dass z. B. die Effizienz von Lüftungsmaßnahmen kontrolliert werden kann. Elektronische Geräte eignen sich gut, um einen ersten Überblick über die Radonkonzentration in einem Gebäude zu erhalten (so genanntes "Screening") oder Stellen zu identifizieren, an denen Radon in ein Gebäude eindringt (so genanntes "Sniffing"). Auch die Bestimmung des Jahresmittelwertes ist möglich.

Zur Erhebung großer Datenmengen sind aus Kostengründen Kernspurdosimeter einzusetzen, deren Anschaffung, Zusendung und Laborauswertung in der Regel zwischen 30 bis 50 Euro pro Messung kosten (Stand 2022). Hierbei sollte darauf geachtet werden, dass die Anbieter*innen der Messungen sowohl über die fachliche Kompetenz, als auch qualitätsgesicherte Geräte verfügen. Beim Bund und vielen Ländern hat sich die postalische Versendung der Detektoren bewährt, da die Aufstellung i. d. R. einfach und leicht verständlich ist.

Im Falle der Nutzung aktiver Messgeräte sollten zur Qualitätssicherung eine Kalibrierung der verwendeten Messgeräte durch ein akkreditiertes Kalibrierlaboratorium gefordert werden. Typische Kosten für aktive Messgeräte liegen gegenwärtig je nach deren Eigenschaften und Qualität zwischen 400-12.000 Euro (Stand 2022).

3.3.2 Aufstellorte und Messprotokolle

Wie viele Messgeräte aufgestellt werden sollten, kommt auf das Haus/die Wohnung an: Üblicherweise wird ein Messgerät im Keller platziert (dort, wo die Ver- und Entsorgungsleitungen in das Haus hineinkommen), da dort die höchsten Werte zu erwarten sind. Dazu wird je ein Messgerät in Wohn- und ggfs. Schlaf- oder Kinderzimmer aufgestellt, da dort die Aufenthaltszeit i. d. R. am größten ist. Die Messgeräte sollten mindestens drei, besser aber zwölf Monate an ihrem Platz bleiben. Ideal ist die Messung über die vollen zwölf Monate, um ein möglichst repräsentatives Bild des zu ermittelnden Jahresmittelwertes zu erhalten. Wird nur in den Sommermonaten gemessen, ist die ermittelte Radonkonzentration in der Regel niedriger als der Jahresmittelwert, da im Sommer Türen und Fenster häufiger offenstehen und das Gebäude besser gelüftet ist als im Jahresdurchschnitt und ebenso eine mögliche Sogwirkung der Bodenluft in Gebäude (Kamineffekt) vermieden wird. Umgekehrt würde eine Messung, die nur in den Wintermonaten stattfindet, eine zu hohe Radonkonzentration ergeben. Wenn für eine Messung nicht ein Jahr gewartet werden kann, sollte die Messperiode und der Messzeitpunkt der Fragestellung angepasst werden. Ist das Ziel, den Jahresmittelwert zu ermitteln oder Überschreitungen des gesetzlich festgelegten Referenzwertes zu suchen, so sind Messungen in der Übergangszeit besser geeignet als Messungen im Sommer oder Winter. Kann eine Konservativität in den Messwerten toleriert werden, wird man besser im Winter messen, um den Jahresmittelwert auf keinen Fall zu unterschätzen.

Weitere Informationen eines Messprotokolls für Innenräume, inkl. Anschreiben und wichtiger zu berücksichtigender Gebäudeeigenschaften finden sich diesbezüglich in Anhang 10.2.

3.3.3 Normen

Für die Messung und Bewertung von Radon in Umweltmedien ist die Normenreihe ISO 116665 entwickelt worden. Von besonderer Relevanz ist der Teil 8 (Erstbewertungen und vertiefende Messungen in Gebäuden). Anforderungen an die Messgeräte selber werden in der [8] DIN IEC 61577 „Strahlenschutz-Messgeräte – Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten“ dargestellt. Teil 1 der Normenreihe beschreibt die grundsätzlichen Aspekte für Geräte zur Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten. Teil 2 beschreibt die speziellen Anforderungen für Radonmessgeräte. Unabhängig davon kann es sinnvoll sein, bei besonderen Fragestellungen, z. B. bei dem Design von speziellen Surveys, diese Normen durch weitere Vorgaben zu ergänzen.

3.3.4 Rücklauf der Messgeräte und Fragebögen

Beim Rücklauf von versendeten Messgeräten und Fragebögen hat die Erfahrung gezeigt, dass aufgrund von persönlichen Umständen (Umzüge, Schicksalsschläge, menschliche Fehler, etc.) eine Rücksendung vergessen werden kann. Die Rücksendungsquote kann durch die Erinnerung der Teilnehmer*innen über Erinnerungsschreiben oder öffentliche Aufrufe in der Presse im geeigneten zeitlichen Abstand zum Rücksendetermin (2 Wochen vor dem Rücksendetermin bzw. rechtzeitig vor Ablauf des einjährigen Messzeitraumes) signifikant erhöht werden. Bei bundesweiten Surveys mit ca. 6500 Haushalten bzw. 13.000 Einzelmessungen konnte so eine Rücksendequote von bis zu ca. 90 % aller versendeten Geräte erreicht werden [1].

Ebenso ist es empfehlenswert, Kapazitäten und Ressourcen für eine Kommunikationsstelle einzuplanen, um aufkommende Fragen zu den Innenraummessungen (Geräte, Aufstellung, etc.), Ergebnissen, Handlungsempfehlungen bei hohen Radon-Innenraumkonzentrationen und sonstigen Fragen von Teilnehmer*innen beantworten zu können.

4 Bodenluftmessungen

4.1 Planung

4.1.1 Ermittlung von Eingangsparametern in Prognosen und Zielsetzung

Die Verfügbarkeit von Radon zur Exhalation an der Oberfläche und zur Infiltration in Gebäude wird maßgeblich durch die Eigenschaften von Geologie und Boden bestimmt und weist daher ausgeprägte räumliche Trends auf. Jedoch sind sowohl die Radonkonzentration als auch die Gaspermeabilität des Bodens eines Standortes zeitlich nicht konstant, sondern variieren in Abhängigkeit von Umwelt- und anthropogenen Einflüssen, welche sich somit auch auf zu erstellende Prognosen auswirken. Die Zielsetzung der Bodenluftmessung und abgeleiteter Prognosen erfordern daher eine klare Evaluierung von potenziell anfallenden Einflussgrößen.

Der weit überwiegende Teil der Radon-Bodenluftdaten, die im Auftrag des Bundes erhoben bzw. von den Ländern an das BfS übermittelt wurden, resultieren aus Kurzzeitmessungen. Daher stellen diese Werte Momentaufnahmen des Bodenzustandes dar. Der Einfluss der zeitlichen Variabilität auf die Standortcharakterisierung kann demzufolge unter Umständen beträchtlich sein und ist neben weiteren Unsicherheitskomponenten, wie etwa der Probenahme, für einen bedeutenden Teil des Unsicherheitsbudgets verantwortlich. Ein verbessertes quantitatives Verständnis der Abhängigkeit der zeitlichen Variabilität der Radonkonzentration im Boden und der Gaspermeabilität von Umwelteinflüssen kann daher die Interpretation einzelner Kurzzeitmessungen deutlich verbessern.

Generell werden Ausmaß und Ausprägung der zeitlichen Variabilität der Radon-Bodenluftkonzentration durch die lokalen bodenphysikalischen Eigenschaften gesteuert, die in komplexer Wechselwirkung mit meteorologischen Variablen (Niederschlag, Lufttemperatur, Luftdruck, Windgeschwindigkeit etc.) stehen. So steuert die Niederschlagscharakteristik (Intensität, Dauer) im Zusammenspiel mit den bodenphysikalischen Parametern (z. B. Korngrößenzusammensetzung, Lagerungsdichte, Schichtung, Porengeometrie) die Bodenfeuchte. Die Bodenfeuchte wiederum beeinflusst die Infiltrationsrate und – Geschwindigkeit, welche ihrerseits die bodenphysikalischen Eigenschaften modifizieren kann (z. B. hydraulische Leitfähigkeit). All diese hochkomplexen Prozesse im Boden beeinflussen letztlich die Emanation von Radon, dessen Transport (Gaspermeabilität) und die Verteilung von Radon im Porenraum zwischen gasförmiger und flüssiger Phase (Ostwald-Verteilungskoeffizient). Ein starkes Niederschlagsereignis führt in der Regel zu einer deutlichen Erhöhung der Bodenfeuchte im Oberboden, so dass die Gaspermeabilität sinkt und der Radon-Transport deutlich reduziert wird. Infolgedessen kann die Radonkonzentration in der Bodenluft zunächst initial ansteigen, weshalb Starkregenereignisse bei Einzelmessungen zu vermeiden sind bzw. mehrere Messungen am Standort zeitversetzt erfolgen sollten (s.a. Kapitel 4.2). Gleichzeitig infiltriert jedoch radonarmes Wasser in den Boden, wodurch sich ein Teil des in der Gasphase befindlichen Radons im Porenwasser des Bodens aufgrund des sich aufbauenden Verteilungsungleichgewichts lösen kann. Mit einem gewissen Zeitversatz nach dem Niederschlagsereignis ist dann eine Abnahme der Radonkonzentration in der Bodenluft möglich [9]. Auch Grundwasser und Staunässebildung, Hanglagen und Durchwurzelungen wirken sich auf die bodenphysikalischen Eigenschaften und Radonkonzentrationen der Bodenluft aus. Folglich müssen bei Bodenluftmessungen eine Vielzahl natürlicher Parameter berücksichtigt werden, die je nach Dauer der Bodenluftmessung zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können, welche wiederum Einfluss auf Prognosen zur Radonkonzentration in der Bodenluft haben. Neben natürlichen Parametern sind bei Planungen auch anthropogene Einflüsse zu berücksichtigen, die sich auf die Bodeneigenschaften auswirken. Veränderungen an Flächen (Auffüllungen, Deponien, Versiegelungen, etc.) sowie Störfaktoren durch Infrastruktur (Bahntrassen, Autobahnen, Leitungen, etc.) sind hierbei als Einflussgrößen zu nennen.

Grundlegend sollte jedoch festgehalten werden, dass je nach Zielsetzung der Messung eine Gewichtung der verschiedenen Umwelt- und anthropogenen Einflussfaktoren erfolgen kann. Laut Kemski, Klingel [10] ist eine Feldmessung der Bodenluft mit einem standardisierten aktiven Probenahme- und Messverfahren unter definierten Randbedingungen die beste und auch einfachste Möglichkeit zur repräsentativen Erhebung der Radonkonzentration. Die zeitgleiche Bestimmung der Gasdurchlässigkeit des Bodens kann bei

Flächenbewertungen hilfreich sein, weil sie Aussagen über eine potenzielle Gasmigration im oberflächennahen Boden erlaubt. Die (zeitgleiche) Messung anderer meteorologischer und/oder bodenphysikalischer Parameter kann für wissenschaftliche Fragestellungen hilfreich sein, für eine praxisbezogene Radonmessung in der Bodenluft und deren Interpretation ist sie aber nicht notwendig.

4.1.2 Messungen zur Charakterisierung einer geologischen Einheit bzw. Gegebenheit

Messungen zur Charakterisierung einer geologischen Einheit bzw. Gegebenheit sollten im ersten Schritt eine Evaluierung der geologischen Beschaffenheit des Interessengebietes mittels geologischer Karten beinhalten. Je nachdem, wie der geologische Untergrund aufgebaut ist, sind verschiedene Ansätze denkbar, um ein möglichst repräsentatives Ergebnis zu erhalten. In einem geologisch homogen aufgebauten Untersuchungsgebiet können in Abhängigkeit von dessen Größe Flächenelemente mit einer Seitenlänge zwischen 3 (Areale bis ca. 1000 km²) und 5 km (Areale von ca. $n \times 1000$ km²) geologisch repräsentativ durch jeweils einen Messort mit je drei Sondierungen (Messpunkten) beprobt werden. Dies entspricht Flächenelementen zwischen ca. 9 und 25 km² [10].

In einem geologisch heterogenen Gebiet, welches durch eine Vielzahl verschiedener Gesteinsarten charakterisiert ist, bietet es sich an, die Anzahl der Messorte pro Flächenelement entsprechend der Zahl der hauptsächlich verbreiteten Gesteinsarten zu erhöhen. Dadurch kann erreicht werden, dass über das gesamte Untersuchungsgebiet gemittelt die Anzahl der Messorte in den verschiedenen Gesteinseinheiten ihrer flächenmäßigen Verbreitung proportional ist. Für geologische Einheiten, deren Gesamtgröße innerhalb eines Untersuchungsgebietes in einer geologischen Karte weniger als 30 km² beträgt, wird nach Kemski, Klingel [11] eine Beprobung mit bis zu fünf Messorten vorgeschlagen. Bei flächenmäßig größeren Einheiten kann je begonnenen 10 km² ein weiterer Messort hinzukommen. So würde z. B. eine geologische Einheit mit einer Ausbissfläche zwischen 30 und 40 km² mit 6 Messorten oder mit einer Ausbissfläche zwischen 90 und 100 km² mit 12 Messorten beprobt werden.

Bei einem geologisch sehr heterogenen Gebiet mit entsprechender Flächenausdehnung stößt die praktische Durchführung einer sehr großen Anzahl an Messorten an ihre Grenzen. Hier bietet sich im Hinblick auf die Festlegung von Radonvorsorgegebieten eine Priorisierung auf kleinräumige Flächen in der Nähe von Siedlungen und die Nutzung von Modellierungen zur Charakterisierung einer geologischen Einheit bzw. Gegebenheit an.

Aus wissenschaftlicher Sicht interessant sind Untersuchungen geologischer Strukturmerkmale, um sicherzustellen, nicht aufgeschlossene Lithologien korrekt zu beproben. So kann die Mächtigkeit der Gesteinsschichten sowie die räumliche Orientierung der Längsachse des Ausbisses jedes Gesteinstypen (das sogenannte geologische Streichen) Berücksichtigung finden. Einen Sonderfall stellen Gebiete dar, in denen die Existenz von markanten Trennflächen wie Verwerfungen oder Scherzonen sowie von oberflächennahen lokalen Uran- bzw. Radiumanreicherungen bekannt ist bzw. vermutet wird. Oftmals lassen sich die exakten Probenahmepunkte vor Ort erst nach Begutachtung der geologischen Verhältnisse festlegen. Dazu werden senkrecht zum Streichen der vermuteten Anomalien Bodenluftmesstrassen gelegt. Die Messpunktabstände sollten 25 m betragen; u. U. ist eine Verdichtung auf 10 m Abstände notwendig, falls wechselnde tektonische Strukturmerkmale oder Konzentrationsanomalien kleinräumig erwartet werden. Linear angeordnete Boden-Luftanomalien sollten dann durch mehrere parallel angelegte Messtrassen bestätigt werden.

4.1.3 Hinweise zu Messungen und Baugrundbewertung

Messungen zur Baugrundbewertung können prinzipiell zum Datenpool Modell-basierter Auswertungen hinzugefügt werden, wenn sich die Messung im Untergrund (aktives Ansaugen, Tiefe der Messung) nicht grundsätzlich von denen der Messkampagnen unterscheidet, um die Ergebnisse bestmöglich zu nutzen. Für die Ermittlung der Radonexposition aus dem Baugrund können die Grundlagen der geotechnischen Bemessung nach der Normenreihe Eurocode 7 (DIN 1997) [12] herangezogen werden. Auch wenn Messungen zur Baugrundbewertung nicht explizit in der entsprechenden technischen Regel zur Bewertung von Baugrundstücken gefordert werden, werden Radonbodenluftmessungen zu diesem Zweck

durchgeführt, da bspw. nach Eurocode 7 (DIN 1997) die Radonsituation am Baugrund („wo erforderlich“) bewertet werden muss. Dies kann unter Umständen sinnvoll sein, da nur eine Messung am Standort Aufschluss über die tatsächliche Bodenluftkonzentration im Untergrund gibt sowie insbesondere der urbane Raum durch anthropogene Eingriffe verändert wurde und von der natürlichen Beschaffenheit des geologischen Untergrundes im Umland abweichen kann. Eine Empfehlung zur Durchführung von Messungen zur Baugrundbewertung gibt das BfS aber nicht ab, da es als sinnvoller angesehen wird, die Kosten einer solchen Untersuchung gleich für bauliche Radonschutzmaßnahmen einzusetzen.

Hierbei ist anzumerken, dass je nach Höhe der Radon-Bodenluftkonzentrationen geeignete Radonbarrieren im DIN-Vornormungsausschuss zur DIN/TS 18117-1: 2 [13] gegenwärtig diskutiert werden (Stand 2022), um Vorschläge zu unterbreiten, wie vorab mit Hilfe von Bodenluftmesswerten die Radoninnenraumkonzentration bestmöglich reduziert werden kann.

4.2 Administrative Vorbereitung

4.2.1 Auswahl von geeigneten Messorten

Bei der Auswahl von Messorten zur Bestimmung der Bodenluftkonzentration von Radon sollte im ersten Schritt auf die Besonderheiten der Geologie als Primärparameter in einem Gebiet eingegangen werden. Je nach Größe des Gebietes und der homogenen, heterogenen bzw. sehr heterogenen Beschaffenheit der Lithologie sowie strukturgeologischen Eigenschaften und der darüber lagernden Böden (s.a. Kapitel 4.1.2) sind die Anzahl und Abstände an Messorten festzulegen.

Hierbei muss auch berücksichtigt werden, dass je nach Ausgangslage der Messort im Eigentum der öffentlichen Hand oder in Privateigentum liegen kann und unterschiedliche Anforderungen zum Betreten von Flächen bestehen. Das Betreten privater Grundstücke, die im Zusammenhang mit einer Wohnnutzung stehen, bedarf einer gesetzlichen Grundlage (Art. 13 Abs. 7 GG); fehlt eine gesetzliche Grundlage, kann dies unter bestimmten Voraussetzungen durch eine entsprechende Einverständniserklärung des Berechtigten kompensiert werden. Des Weiteren ist in Planungen zu berücksichtigen, dass die jeweiligen Messorte mit den benötigten Messgeräten auf Fahrt- und Fußwegen erreichbar sind. Die Nutzung von Waldwegen im Staatswald oder im Körperschafts- und Privatwald kann genehmigungsbedürftig sein.

Die als Messorte ausgewählten Flächen sollten sich zur Messung eignen, da sowohl die natürliche als auch die anthropogen veränderte Beschaffenheit einer Fläche Auswirkungen auf die Radonkonzentration in der Bodenluft haben können. So sind beispielsweise dicht bewaldete Flächen, Moor- und Anmoorstandorte, Flächen auf steilen Hängen, Kammlagen oder Dolinen und Auffüllungen, Abgrabungen, Einfriedungen, landwirtschaftliche Flächen, Verkehrsflächen, Standort- und Truppenübungsplätze oder Kasernengelände als Messorte meist eher ungeeignet. Entscheidend ist die tatsächliche Vorort-Situation. Bodenkarten unterstützen die Auswahl geeigneter Messorte und können je nach Informationsgehalt auch Hinweise auf Böden liefern, die durch Grundwasser beeinflusst sind und deshalb als Messort ausgeschlossen werden sollten. Je nach Region können darüber hinaus noch Grabungsschutzgebiete (z. B. Verlauf des Limes aus der Römerzeit), Naturschutzgebiete oder Einträge im Altlasten-Kataster (z. B. Halden) zu beachten sein.

4.2.2 Datenschutz

Bezüglich des Datenschutzes ist bei Bodenluftmessungen auf Flächen zu klären, ob sich diese im Privatbesitz befinden und daraus resultierend personenbezogene Daten mit erhoben werden. Mögliche datenschutzrechtliche Fragen sind durch die jeweils für die Messungen Verantwortlichen zu klären. Eine andere Möglichkeit besteht darin, die Messorte von vornherein auf Grundstücke in öffentlichem Eigentum (Land, Kommune) zu legen, für die kein Personenbezug besteht. Letztgenanntes beschränkt allerdings die Auswahl geeigneter Messorte aus fachlichen Erwägungen (s. a. Kapitel 4.2.1) weiter.

Die Ermittlung einer Eigentümer*in eines Grundstückes oder Geländes kann eine schwierige Aufgabe sein. Hinweise liefert meist nur ein Grundbucheintrag. Gemäß § 12 Grundbuchordnung (GBO) ist eine Grundbucheinsicht aber nur dann möglich, wenn der oder die Interessierte ein berechtigtes Interesse darlegen kann (bspw. Mieter*innen, Erbinnen und Erben, potenzielle Käufer*innen). Der Antrag muss beim

Grundbuchamt gestellt werden. Diesem obliegt die Entscheidung, ob Einsicht in den gewünschten Grundbucheintrag gewährt wird. Die oben beschriebenen abgeleiteten Aufwände und Herausforderungen können ggf. über strategische Planungen reduziert oder umgangen werden, falls anfänglich evaluiert wird, für welche Lokationen eine Zutrittserlaubnis benötigt wird. Z. B. können öffentliche Grundstücke wie Parks, Grünflächen, etc. es Behörden ermöglichen, ohne besonderen Aufwand Messungen durchzuführen, während ein Zutritt zu Privateigentum üblicherweise mit höherem Aufwand verbunden ist. Gemäß Erfahrungen aus den Ländern liegen die Informationen über Eigentumsverhältnisse an Grundstücken üblicherweise auch den für Geoinformationen und Vermessungsaufgaben zuständigen Landesämtern vor. Diese können gegebenenfalls auch mit einer entsprechenden Datenbankabfrage bei der Suche nach geeigneten Grundstücken in öffentlichem Eigentum weiterhelfen.

4.2.3 Schutz vor Personen- und Sachschaden

Weiterhin muss berücksichtigt werden, dass aufgrund der Gefahr bspw. durch Blindgänger aus dem 2. Weltkrieg an verschiedenen Lokationen Belege oder Bescheinigungen gebraucht werden, um die Sprengmittelfreiheit des Untergrundes zu verifizieren. Es ist daher zu prüfen, ob an einem Messort eine solche Bescheinigung benötigt wird.

Aus den Ländern konnten zur Thematik folgende Erfahrungen zusammengetragen werden:

Auskünfte erteilen die jeweils zuständigen Landesbehörden für Erkundungs- und Räumungsmaßnahmen für Kampfmittel („Kampfmittelbeseitigungsdienste“) (<http://www.kampfmittelportal.de/anforderungen-der-bundeslaender-zu-erkundungs-und-ggf-raeumungsmassnahmen.html>). Die Sprengmittelfreiheit von Grundstücken darf nur von fachkundigen Personen und Fachfirmen geprüft und bescheinigt werden. Je nach Land existieren auch landesrechtliche Kampfmittelverordnungen (KampfmittelVO), nach denen u. U. eine Auskunftseinholungspflicht besteht und auf deren Grundlage die zuständige Landesbehörde auf Antrag „Maßnahmen im Tiefbau mit geringer Flächen- und Tiefenausdehnung“ wie bei der Durchführung von Radonbodenluftmessungen gestatten kann. Wo eine solche Gestattung nicht ausgestellt werden kann, weil Fundmunition oder kampfmittelverdächtige Gegenstände nicht völlig auszuschließen sind und eine Sprengmittelfreiheit bislang weder geprüft noch festgestellt worden ist, kann gegebenenfalls der Schutz von Personen auch in Absprache mit der o. g. Landesbehörde durch die Verwendung von Metallsuchgeräten (Magnetometer) an den Messorten sichergestellt werden. Sollte das Gerät eine Auffälligkeit anzeigen, wird auf dem betreffenden Grundstück nach einem anderen geeigneten (unauffälligen) Messpunkt für die Sondierungen gesucht. Das Ziel der Messungen mit dem Magnetometer besteht nicht darin, für ein jeweiliges Grundstück die Kampfmittelfreiheit festzustellen und zu bescheinigen. Die Messungen dienen ausschließlich der Sicherheit des Einsatzpersonals, bei den Sondierungen nicht auf mögliche noch im Boden vorhandene Kampfmittel zu stoßen. Eine weitergehende Untersuchung beobachteter Auffälligkeiten im Boden oder gar die Verifizierung und Identifizierung verdächtiger Gegenstände ist weder vorgesehen noch werden sie durchgeführt. Zum Verhalten bei oberirdisch aufgefundenen kampfmittel- bzw. munitionsverdächtigen Gegenständen wird das Einsatzpersonal außerdem auf die Verhaltensregeln beim Auffinden von Fundmunition und die jeweilige Meldestelle im Land (z. B. nächst gelegene Ortspolizeibehörde) hingewiesen.

Erfahrungen aus der Praxis haben außerdem gezeigt, dass Bohrungen Schäden an Versorgungsleitungen verursachen können. Um Beschädigungen zu vermeiden, sollten sich Behörden und Auftragnehmer*innen darüber informieren, ob und in welcher Tiefe Versorgungsleitungen (z. B.: Elektroenergie, Fernwärme, Telefon, Glasfaser-Internet, Gas und Wasser, etc.) verlegt sind. Typische Lokationen, die Vorsicht erfordern, sind bspw. Straßen, Wege, Bürgersteige, Wiesen, Felder, aber auch private Grundstücke. Hierzu sind die örtlich relevanten Betreiber*innen von Leitungen aller Art anzufragen, welche wiederum Auskunft über die Lage Ihrer Leitungen z. B. auch in Form von Schachtscheinen bzw. Erlaubnisscheinen für Erdarbeiten geben können.

Zudem können Metall- und Kabelsuchgeräte vor Ort eingesetzt werden, um die Sicherheit weiter zu erhöhen. Schließlich können Schäden an Versorgungsleitungen auch zu einem Personenschaden führen.

Bei der Durchführung von Radonbodenluftmessungen mit der vergleichsweise schmalen sog. „Bonner Sonde“ (s. a. Kapitel 4.3) werden nach den Messungen die Sonden wieder aus dem Boden gezogen und weiterverwendet. Die Löcher können leicht durch die umgebende Erde verschlossen werden. Beim Einsatz der Tschechischen Sonde (s. a. Kapitel 4.3) verbleiben rund 3 cm große und bis zu 14 mm breite Metallspitzen aus Edelstahl im Boden zurück.

4.3 Durchführung

Zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft stehen verschiedene Möglichkeiten zur Beprobung und Messung zur Verfügung; Kurzzeitmessungen, Langzeitmessungen und Pegel- bzw. Dauermessstellen. Bei allen Messmethoden ist bei der Wahl des Messortes auf die Beschaffenheit des Bodens zu achten, Standorte mit z. B. extrem niedriger oder hoher Permeabilität sind nicht geeignet. Bei Kurzzeitmessung sind zudem Extremwetter wie Dürre, Sturm und Stark-Regen zu vermeiden. Daher ist auch eine logistische Verteilung der Messungen unter Berücksichtigung des Wetters an verschiedenen Orten an verschiedenen Tagen in einer Region empfehlenswert, damit eine zeitliche Konzentration eine örtliche Korrelation nicht vortäuscht.

Ein Erfahrungsaustausch über Radon-Bodenluftmessungen zwischen Vertreter*innen des Bundes und der Länder unter der Leitung des Ministeriums für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg hat ergeben, dass die Geräte zur Bestimmung der Gasdurchlässigkeit des Bodens ihre Grenzen bei sehr permeablen Böden (z. B. Grobsand/Kies) sowie bei sehr undurchlässigen Böden (z. B. Ton) haben. Bei sehr permeablen Böden lässt sich zumindest die Radonkonzentration messen. Bei sehr undurchlässigen Böden kann gegebenenfalls nicht einmal Bodenluft angesaugt werden. Falls weiträumig in einer Region die Tiefe von 1 m bei einer Bohrung nicht erreicht werden kann, so kann der Messwert unter der Annahme einer rein diffusiven Radonmigration im Boden entsprechend der Bodenart und dem davon abhängigen effektiven Diffusionskoeffizienten auf eine Radonkonzentration vom 1 m Tiefe umgerechnet werden [14]. Weitere Sondierungen können zeigen, ob eine kleinräumige Inhomogenität vorliegt und die Radon-Bodenluftmessung dann doch noch erfolgreich durchgeführt werden kann. Zuweilen kann auch versucht werden, die Messung einige Monate (ca. ein halbes Jahr) später noch einmal zu probieren, wenn sich die Bodenverhältnisse etwas witterungsbedingt verändert haben. Im ungünstigen Fall eignet sich der Messort nicht für eine Messung, weil der Boden zu (gas-)undurchlässig/dicht ist. Dann wird dort auch nicht viel Radon an die Erdoberfläche gelangen.

4.3.1 Kurzzeitmessung

Zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft werden vorwiegend eine Reihe unterschiedlicher Kurzzeitmessmethoden eingesetzt, denen gemeinsam ist, dass mit Hilfe einer Sonde Bodenluft angesaugt und anschließend gemessen wird. Probenahmetechnik, Probenahmetiefe und Messverfahren variieren dabei in weiten Bereichen. Nach Kemski, Klingel [11] werden an jedem Messort drei Bohrungen vorgenommen. Pro Bohrung werden zwei Bodenluftproben genommen und im Labor ausgewertet oder eine kontinuierliche Radonmessung durchgeführt. Die Prozedur der Probenahme dauert in der Regel wenige Minuten und es muss daher darauf geachtet werden, Extremsituationen (Böden, Wetter) zu vermeiden.

Bei Beachtung vorgegebener Randparameter wie Probenahmetiefe, Vermeidung von Randläufigkeiten oder Ausschluss eines Thoronsignals können Kurzzeitmessverfahren weitgehend vergleichbare Resultate liefern. Aus diesem Grunde kommt für die aktiven Radonmessungen eine standardisierte Probenahme mittels einer Bodenluftsonde mit Packersystem (sog. „Bonner Sonde“) [15] oder nach der Methode der „verlorenen Spitze“ (sog. „Tschechische Sonde“) [10, 16] und ein Kurzzeitmessverfahren zur Ermittlung der Radonkonzentration in der Bodenluft inkl. der anschließenden Bestimmung der Gasdurchlässigkeit des Bodens in Frage. Für die Radonmessung sind verschiedene kommerziell erhältliche, aktive Messgeräte verfügbar und nutzbar.

Beide Methoden, die in Deutschland derzeit überwiegend Verwendung finden, werden durch die Normenreihe ISO 11665 abgebildet. Unabhängig davon kann es sinnvoll sein, bei besonderen

Fragestellungen, z. B. bei dem Design von speziellen Surveys, diese Normen durch weitere Vorgaben zu ergänzen. Insbesondere im Falle von Bodenluftmessungen mit dem Ziel der Charakterisierung von größeren Gebieten bei gleichzeitiger Vergleichbarkeit mit bundesweit erhobenen Daten oder mit dem Ziel, diese Daten in eine bundesweite Prognose einfließen lassen zu können, empfehlen sich einheitliche Messmethoden und –protokolle. Da insb. die Vergleichbarkeit der Messwerte zwischen aktiven Kurzzeitmessungen und passiven Langzeitmessungen nach derzeitigem Kenntnisstand nicht sicher gegeben ist, wird vom BfS empfohlen, im Falle von Bodenluftmessungen bzw. Potentialbestimmungen die Methode nach Kemski, Klingel [17] zu verwenden.

4.3.2 Langzeitmessung

Nach Rein [18] erfolgt eine Langzeitmessung mit einer passiven Probenahme der Bodenluft in Anlehnung an die DIN ISO 11665-11. Dabei beruht die Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft auf dem Einbringen einer Nachweiskammer an den Ort der Messung unterhalb der Bodenoberfläche, der repräsentativ für den zu untersuchenden Erdboden während des Messzeitraums ist;

In dem Verfahren wird ein Kernspurdetektor in eine Schutzsonde eingebracht, die nach unten geöffnet ist. Mit Handbohrer oder Rammkernbohrung wird eine 102 cm tiefe und 60 mm durchmessende Bohrung angefertigt. In die Basis der Bohrung wird die an einem Drahtseil befestigte Schutzsonde mit Kernspurdetektor eingebracht und die Bohrung danach mit dem Bohrgut in der ursprünglichen Reihenfolge und Lagerungsdichte rückverfüllt. Das Drahtseil endet unter der Bodenoberfläche. In dem nun verbleibenden kleinen Hohlraum im Boden stellt sich nach kurzer Zeit ein Gleichgewicht zwischen der Radonkonzentration in der Bodenluft und der im Hohlraum ein. Nach ein- bis mehrwöchiger Expositionsdauer wird die Schutzsonde geborgen und der Kernspurdetektor ausgewertet. Die Auswertung ergibt somit eine über die Expositionsdauer gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration. Die Verifizierung des Mittelwertes bei diesem Messverfahren erfolgte über nebeneinanderliegende Parallel- und Zwillingsmessungen.

Die Diffusionslänge des die Kernspurdetektorfolie umschließenden Plastikgehäuses verhindert, dass die kurzlebigen Radonisotope (Rn-219, Rn-220), die wegen ihrer Kurzlebigkeit selten in nennenswerten Mengen aus der Bodenluft in Gebäude übertreten und sich dort verteilen können, auch an den Kernspurdetektor gelangen.

4.3.3 Pegel/Dauermessstelle

Ob die Installation von Pegel- bzw. Dauermessstellen im Boden zur Ermittlung von Langzeitmesswerten an einer Lokation oder periodisch erfolgende Stichprobenmessungen als Verfahren besser geeignet sind, ist nicht abschließend geklärt und steht noch offen zur Diskussion. Laut Rein [18] macht die Verwendung eines Pegelrohres dann Sinn, wenn Zeitreihen mit wechselnden Kernspurdetektoren gemessen werden sollen. Ansonsten stellt die Einbringung eines Pegelrohres einen tiefergreifenden Eingriff in die Bodenverhältnisse dar, weil die Bohrung deutlich größer als der Pegeldurchmesser sein muss, um eine annähernde Verfüllung des Raums um das Rohr zu ermöglichen. Des Weiteren ist der Grenzraum von glattem Rohr zum Boden eine Schwachstelle der Abdichtung sowohl gegen von oben eindringender Feuchte/Niederschläge wie auch für Bodenschumpfung durch mangelnde Feuchte.

5 Auswertung, Darstellung

5.1 Logarithmische Normalverteilung und statistische Kennzahlen in Auswertungen und Darstellungen

Bei der Einplanung von statistischen Methoden zur Auswertung von Radonkonzentrationen in Innenräumen und der Bodenluft sind verschiedene Kenngrößen und Einflussfaktoren vorab festzulegen, um eine möglichst sinnvolle Beschreibung und somit auch Aussage zu einer Fragestellung zu erhalten. Es sollte berücksichtigt werden, dass die Verteilung von Radoninnenraumkonzentrationen **logarithmisch** annähernd einer **Normalverteilung** folgt, da für die Größen (im Falle von Radon die Konzentration) nur positive Werte (mindestens die atmosphärische bodennahe Radonkonzentration) in Frage kommen und im linken Bereich

einer Verteilungskurve die Häufigkeiten größer sind als im rechten Bereich der Verteilung (rechtsschiefe Verteilung). Dies lässt sich damit erklären, dass niedrigere Radonkonzentrationen mit größerer Häufigkeit vorkommen als hohe Werte, da extrem hohe Radonkonzentrationen in Umweltkreisläufen nur selten zu erwarten sind. Aufgrund der logarithmischen Normalverteilung von Radonkonzentrationen ergibt sich, dass der **geometrische Mittelwert** eine größere Aussagefähigkeit als der **arithmetische Mittelwert** besitzt, da dieser im Falle einer genauen Lognormalverteilung exakt mit dem **Median** übereinstimmt. Der Median ist wiederum stabiler gegenüber Extremwerten und Ausreißern. Der **arithmetische Mittelwert** ist jedoch in der Bevölkerung geläufiger und daher einfacher zu kommunizieren. Dementsprechend sollte anlassbezogen entschieden werden wann welcher Mittelwert verwendet wird. Um z. B. Missverständnissen vorzubeugen, kann es auch empfehlenswert sein, nur einen Mittelwert heranzuziehen und sich auf diesen zu fokussieren.

In Auswertungen von Datensätzen sollte generell berücksichtigt werden, welche statistischen Kennzahlen neben der reinen Darstellung an Messwerten den Bürger*innen sowie Fachpersonen in Grafiken und Karten die bestmögliche Antwort zu einer Fragestellung liefern. Während Durchschnittswerte der Radonkonzentration auf Rasterflächen und Karten nur bedingt für Bauplanungen (bspw. im Baugrund) oder zur Gefährdungsabschätzung der Referenzwertüberschreitung (bspw. von interessierten Bürger*innen in einer Gemeinde) eine Hilfestellung sein können, sind Angaben als **Perzentile im 90 % oder 95 % Bereich** oftmals sinnvoller. Diese geben bspw. an, dass die Höhe einer Radonkonzentration in Gebäuden (z. B. 300 Bq/m³) in einer Region in 10 % oder 5 % der Fälle überschritten wird oder identisch ist. Im Umkehrschluss geben sie an, dass eine hohe Bodenkonzentration (in Deutschland bspw. > 100.000 Bq/m³) in 90 % oder 95 % der Fälle im Baugrund niedriger oder identisch mit dem in der Karte angegebenen Wert ist. Je nachdem, auf wie vielen empirischen Daten solche Prognosen basieren, können Aussagen mit einer hohen statistischen Genauigkeit getroffen werden.

5.2 Grafiken und Karten

Da für alle Gebiete in einem Survey nur an einzelnen ausgewählten Lokationen Messungen erfolgen, ist neben der strategischen Auswahl der Messorte auch ein sinnvolles Interpolationsverfahren zur flächenhaften Darstellung in Karten zu wählen. Dieses Interpolationsverfahren sollte verfügbare Informationen zu relevanten Naturraumeigenschaften wie Geologie (Muss), aber auch Boden, Klima und ggf. Gebäudeeigenschaften (Soll) berücksichtigen (bspw. Co-Kriging bzw. Regression kriging, Machine Learning, etc.). Es ist gegenüber Verfahren, die diese Eigenschaften nicht berücksichtigen zu bevorzugen. Weiterhin ist zu beachten, dass die räumliche Auflösung der Karten konsistent mit der räumlichen Auflösung in den Prädiktoren ist (d. h. die Radon-Karte sollte nicht höher aufgelöst sein, als die Prädiktoren). Bei geostatistischen Verfahren sollte sich die Auflösung der finalen Karte an der Messpunktdichte orientieren.

Als Basis für räumliche Darstellungen sollten die INSPIRE-konformen Geographischen Gitter des Bundesamtes für Kartographie und Geodäsie verwendet werden, um vergleichbare und zeitstabile räumliche Bezugsgrößen für die dargestellten statistischen Sachverhalte zu gewährleisten. Diese Geogitter sind in den Auflösungen 100 m, 250 m, 500 m, 1 km, 5 km, 10 km und 100 km verfügbar und definieren die exakte Ausdehnung einer jeden Zelle (X- und Y-Koordinate der Süd-West-Ecke sowie X- und Y-Koordinate des Mittelpunktes der Zelle). Diese Geogitter verwenden das nationale Referenzsystem UTM in Zone 32 (Ellipsoid GRS80, Datum ETRS89).

Neben den inhaltlichen Elementen ist für graphische Darstellungen auch Zeit für die Umsetzung der Barrierefreiheit einzuplanen. Ebenso muss auf eine passende Farbwahl geachtet werden, um Menschen mit Sehfehlern nicht zu benachteiligen. In den meisten Fällen ist die Darstellung von nur einer Farbe in unterschiedlichen Helligkeitsstufen intuitiv leichter verständlich. Weiterhin kann damit vermieden werden, den Informationsgehalt einer Karte zu überladen, vor allem wenn neben Informationen zu Radon weitere Parameter abgebildet werden. Es ist ebenso in Planungen vorzusehen, in welchen Symbolgrößen Datenpunkte dargestellt werden, damit kleine Datenpunkte in einer Karte nicht übersehen werden. Ebenso ist für die Reihenfolge der Datenpunkte in einer Kartendarstellung, in welcher sich viele Punkte überlappen, eine zufällige Auswahl oftmals sinnvoller als hohen-Werten kleinen, oder umgekehrt kleinen-Werten hohen

folgen zu lassen, um missverständliche Übertreibungen oder Untertreibungen bezüglich der Radonkonzentrationen in einer Region zu vermeiden.

6 Speicherung, Archivierung, Datenübermittlung

Neben der Beachtung der gesetzlichen Vorgaben bei dem Umgang mit personenbezogenen Daten sollte auch langfristig an die Datenstruktur von späteren Altdaten gedacht werden, um eine Langzeitsicherung und Verwendbarkeit der Daten zu garantieren. Untypische Dateiformate oder solche, die bspw. durch Softwareupdates oder nur über die Geräte einer speziellen Marke bzw. Firma abrufbar und verarbeitbar sind, sollten vermieden werden. Ebenso sollte bspw. die Verwendung von Koordinatensystemen einer Prüfung unterliegen, da diese in Geoinformationssystemen und auf Karten prinzipiell in verschiedenen Systemen darstellbar sind. Wichtig ist hierbei zu wissen, dass die Arbeitsgemeinschaft der Vermessungsverwaltungen der Länder der Bundesrepublik Deutschland (AdV) 1991 die Einführung des Europäischen Terrestrischen Referenz Systems 1989 (ETRS89) beschlossen hat. In einem weiteren Beschluss von 1995 wurde sich auf die Universale Transversale Mercatorabbildung (UTM) als Gebrauchskoordinatensystem geeinigt (https://www.bezreg-koeln.nrw.de/brk_internet/publikationen/abteilung07/pub_geobasis_etr89.pdf). Es empfiehlt sich somit, diese zu benutzen, um Projektionsprobleme und Datenheterogenität zu vermeiden und Darstellungsfehlern sowie unnötigem Arbeitsaufwand vorzubeugen (s. a. Kapitel 5).

7 Kommunikation mit Bevölkerung/Betroffenen

Bei der Durchführung von Messprogrammen ist vorab eine Kommunikationsstrategie zu entwickeln, um Teilnehmer*innen für Kampagnen zu gewinnen. Zur Motivation können z. B. Aufklärungskampagnen über das Risiko von Radon helfen, wobei nicht abschließend feststeht, was als die beste Motivationsstrategie gilt. Es sollte von 10 % der Teilnehmer*innen mit Rückfragen gerechnet werden. Für Beratungen, Rückfragen, Auskünften zu Radonfachleuten als Ansprechpartner*innen und Ergebnismitteilungen sollte deshalb eine Telefonhotline oder Internethomepage eingerichtet werden. Bei bestehenden Telefonzentralen sollten Mitarbeiter*innen mit einer FAQ versorgt werden, um typische Fragen standardisiert beantworten zu können.

8 Fazit

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Durchführung von Messprogrammen zu Radon in Gebäuden und Böden neben technischen Herausforderungen auch von einer Vielzahl von umweltrelevanten, sozialen und juristischen Parametern geprägt ist. Die Einbeziehung der in dem Bericht genannten Erfahrungen kann somit dabei helfen, einen zusätzlichen oder nachträglichen Arbeitsaufwand zu reduzieren und zum Erfolg eines Messprogramms beizutragen. Ebenso entwickeln sich neben den grundlegenden statistischen Verfahren in Prognosen die Auswertungs- und Darstellungsformen durch innovative IT immer weiter fort. Daher soll dieser Bericht als Hilfestellung dienen, die es im Laufe der Zeit weiterzuentwickeln gilt.

9 Literatur

1. Kemski, J., Gruber, V., Baumann, S., Alber, O., Ermittlung der aktuellen Verteilung der Radonkonzentration in deutschen Wohnungen - Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben 3618S12261. 2022. p. 261.
2. Quatember, A., Datenqualität in Stichprobenerhebungen: Eine verständnisorientierte Einführung in die Survey-Statistik. 2019: Springer-Verlag.

3. ADM, Arbeitskreis Deutscher Markt- und Sozialforschungsinstitute e.V - Stichproben-Verfahren in der Umfrageforschung: eine Darstellung für die Praxis. 2 ed. 2013: Springer-Verlag.
4. Kauermann, G. and H. Küchenhoff, Stichproben: Methoden und praktische Umsetzung mit R. 2010: Springer-Verlag.
5. Cinelli, G., De Cort, M., Tollefsen, T. (eds), European Atlas of Natural Radiation. 1st ed. 2019, Luxembourg: Publication Office of the European Union.
6. Meyer, W., Impact of constructional energy-saving measures on radon levels indoors. *Indoor Air*, 2019. 29(4): p. 680-685.
7. DIN (EN) ISO 116665: Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt - Luft: Radon-222. Teile 1 bis 11. Beuth: Berlin.
8. DIN (EN) 61577 : Strahlenschutz-Messgeräte - Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukten. Teile 1 bis 5. Beuth: Berlin.
9. Ohno, M., et al., Results of simultaneous monitoring of soil ²²²Rn and moisture at different depths in a forest site in Fukushima Prefecture, Japan. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry*, 2016. 310(3): p. 1013-1020.
10. Kemski, J., et al., Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration-Vorhaben 3609S10003: Bd. 1, Abschlussbericht. 2012.
11. Kemski, J., et al., Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und Wohnraumluft. Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben St. Sch. 4186 und St. Sch. 4187: Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotenzials. Teil A: Bodenuntersuchungen zum geogenen Radonpotenzial. Teil B: Validierung der geologischen Prognose durch Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden. Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. 2002, BMU-2002–598.
12. DIN EN 1997-1: 2014-03 Eurocode 7 - Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Regeln; Deutsche Fassung EN 1997-1:2004 + AC:2009 + A1:2013. Beuth: Berlin.
13. DIN/TS 18117-2: (Vornorm) Titel Bauliche und Lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen. Beuth: Berlin.
14. Kemski, J., R. Klingel, and A. Siehl, Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radon-Potentials (Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4062).- Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 1996. 4062.
15. Kemski, J., R. Klingel, and A. Siehl, Classification and mapping of radon-affected areas in Germany. *Environment International*, 1996. 22: p. 789-798.
16. Neznal, M., M. Neznal, and J. Šmarda, Radon infiltration risk from the ground in Chaby, Prague. *Radon Investigations in Czechoslovakia (BARNET, I., Ed.)*, 1991. 2: p. 34-39.
17. Kemski, J., R. Klingel, and A. Siehl, Das geogene Radon-Potential. *Umweltradioaktivität*. S, 1996: p. 179-222.
18. Rein, B., Butz, C. , Radonpotentialkarte – Rheinland-Pfalz 2021. p. 178.

10 Anhang

10.1 Potentielle Kosten einer Teilnehmerakquise bei Radoninnenraumluftmessungen

Die Kosten einer Mailing Kampagne sind bezogen auf die so erreichten Teilnehmer*innen erfahrungsgemäß hoch, da sich die Erfolgsquote im unteren einstelligen Promillebereich bewegt. Mit Kosten von ca. 50 EUR

pro auf diesem Wege gewonnenen Teilnehmenden ist zu rechnen. Die Kosten einer Befragung liegen bei Vorab-Informationen (z. B. für die Übergabe der Einladung zur Teilnahme an der Messung) bei 20 bis 30 Euro pro Adresse. Für geplante Radonstudien mit mehreren tausenden Haushalten wären bei einem vermuteten Rücklauf von 70 %, ca. 30 % mehr Haushalte für den Erstkontakt nötig. Bei einer Jahresmessung kann sich der Rücklauf darüber hinaus bis zum Messende noch weiter reduzieren. Geht man beispielsweise von einer Zielgröße in der Größenordnung von 6.000 Haushalten aus, wären alleine für den Erstkontakt Kosten von 250.000 EUR einzuplanen.

10.2 Beispiel Messanleitungsprotokoll für Innenräume

10.2.1 Anschreiben

Anschrift

Messung der Radonkonzentration in Wohngebäuden

Sehr geehrte Familie, Herr, Frau -,

anbei erhalten Sie drei Messeinrichtungen (Exposimeter) zur Langzeitmessung der Radonkonzentration in Gebäuden. Idealweise stellen Sie - entsprechend den beigefügten Hinweisen - zwei Exposimeter in häufig genutzte Wohn- bzw. Schlafräume und das dritte Exposimeter in einen darunter befindlichen Kellerraum auf.

Zur Auswertung der Messergebnisse benötigt das Bundesamt für Strahlenschutz Daten zu dem untersuchten Gebäude und den Aufstellungsorten der Exposimeter, die in den beiliegenden Fragebögen erhoben werden.

Alle Angaben werden dabei streng **vertraulich** behandelt und **anonymisiert** ausgewertet. Deshalb werden auch die **personenbezogenen** Daten (Antwortkarte; siehe Rückseite) sowie die **standortbezogenen** Daten (Fragebogen) getrennt voneinander erfasst.

Das beigelegte Informationsblatt gibt einen Überblick über Radon in Häusern. Sollten Sie weitere Fragen haben, können Sie sich gerne an das Bundesamt für Strahlenschutz (siehe Briefkopf) wenden.

Bitte schicken Sie nach 12 Monaten die Exposimeter samt ausgefüllten Begleitzetteln sowie die möglichst vollständig ausgefüllten Fragebögen an das Bundesamt für Strahlenschutz zurück.

Wichtig: Tragen Sie die Nummern der Exposimeter wie auf dem Begleitzettel auf die Fragebögen E1, E3 und E4 ein, um die richtige Zuordnung der Messergebnisse zu den untersuchten Räumen zu gewährleisten.

Wir werden Sie dann schnellstmöglich über das Ergebnis der Messung informieren!

Vielen Dank für Ihre Unterstützung.

Unterschrift

10.2.2 Hinweise zu den Fragebögen

Das vollständige und gewissenhafte Ausfüllen der Fragebögen ist für die wissenschaftliche Auswertung von größter Wichtigkeit. Auch lässt sich nur so eine fundierte Aussage zur Radonbelastung in Ihrer Wohnung bzw. Ihrem Haus treffen.

- Füllen Sie daher die Fragebögen vollständig und gut lesbar aus.
- Kreuzen Sie bitte das Zutreffende an oder füllen Sie die entsprechenden Felder aus.

- Bitte füllen Sie auch für jedes Exposimeter einen **eigenen** „Fragebogen Exposimeter“ aus. Übertragen Sie **unbedingt** die **Nummer des Exposimeters** in den Fragebogen. Nur so kann eine richtige Zuordnung der Messergebnisse sichergestellt werden.
- Es ist zu empfehlen, die **Fragebögen** und die kleinen, am Exposimeter befestigten **Begleitzettel** gleichzeitig auszufüllen, um übereinstimmende Angaben zu gewährleisten.
- **Füllen Sie auch unbedingt die im unteren Drittel abgedruckte Antwortkarte aus, damit wir Sie über die Messergebnisse informieren können!** Falls Sie nicht der Eigentümer der untersuchten Immobilie sind, benötigen wir auch die Anschrift des Hauseigentümers bzw. -verwalters, um diesen ebenfalls über das Ergebnis informieren zu können:

Firma:

Name, Vorname:

Straße, Nr.:

PLZ, Ort:

In eigener Sache: Zu den Aufgaben des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) gehören auch die Messungen der Radonkonzentration in Häusern, um die Bewertung der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Radon ableiten zu können. Daher werden die Ergebnisse – ohne Bezugnahme auf Ihre personenbezogenen Daten – für hoheitliche Aufgaben, wie z. B. die Erarbeitung von Regelungen zum Radonschutz, verwendet.

Antwortkarte! An diese Anschrift werden die Ergebnisse geschickt!

Anschrift Name Straße PLZ und Ort	 Wichtig! <i>Bitte prüfen und zusammen mit dem Fragebogen „Immobilie“ und den drei Fragebögen „Exposimeter“ sowie den drei Exposimetern samt den daran befestigten Begleitzetteln an das BfS schicken!</i>
--	---

Im Falle von Rückfragen:

Telefon:

Email:

1 Beispiel für eine Antwortkarte

10.2.3 Fragebogen „Immobilie“

^A Wo wird gemessen?

Straße, Nr.: _____

PLZ, Ort: _____ ggf. Ortsteil: _____

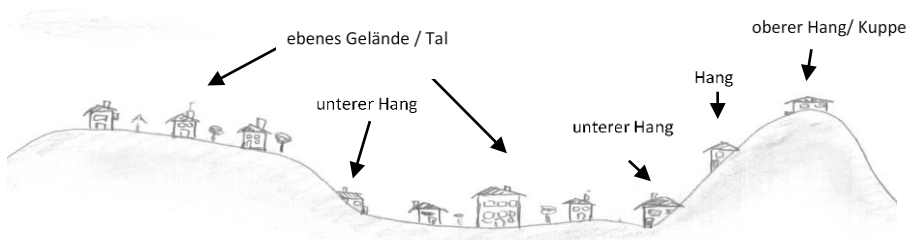
B Angaben zum Haus

B¹Art des Hauses:

- Einfamilienhaus (freistehend), Doppelhaushälfte, Mehrfamilienhaus,
 Reihenhaus (max. 2 Familien im Haus) oder Sonstiges:

B²Baujahr (exakt oder geschätzt): _____

B³Lage des Hauses (siehe Skizze):












- ebenes Gelände/ Tal unterer Hang Mittelhang oberer Hang / Kuppe

B Bauweise

C¹Konstruktion:

- Massivhaus Fertighaus Fachwerkhaus Holzhaus Sonstiges

C²Baumaterial der Hausaußenwände (Mehrfachantworten möglich; bitte in Tabelle ankreuzen):

Holz, massiv <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch		Hochloch- ziegel <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch		Ziegel, massiv <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch	
Fachwerk <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch		Beton <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch		Porenbetonsteine / Leichtbeton <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch	
Bimsblöcke <input type="checkbox"/> Keller		Kalksandstein <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch		Natursteine <input type="checkbox"/> Keller <input type="checkbox"/> oberirdisch	

<input type="checkbox"/>	oberirdisch					
--------------------------	-------------	--	--	--	--	--

Sonstiges:

C³ Wärmedämmung der oberirdischen Hausaußenwände ist

vorhanden nicht vorhanden unbekannt.

C⁴ Isolierverglasung der Fenster ist

vorhanden nicht vorhanden unbekannt.

D Baugrund

D¹ Der Boden unmittelbar am Haus (subjektive Beurteilung) ist

überwiegend trocken stellenweise/ zeitweise feucht überwiegend feucht
 überwiegend nass der Zustand ist unbekannt.

D² An wie vielen Seiten ist der Boden zu mehr als 50% unmittelbar am Haus durch **Betonierung** oder **Asphaltierung** versiegelt? Anzahl: _____

Die durchschnittliche Breite der Versiegelung beträgt weniger als 2 m mehr als 2 m.

E Fundament/Gründung

E¹ Verfügt das Haus über ein/e

Streifenfundament Grundplatte (Beton) bzw. unbekannt?

E² Wurde bei der Gründung **wasserdichter Beton** oder eine **weiße Wanne** verbaut?

ja nein unbekannt.

E³ Ist eine Kies- bzw. Schotterschicht unter dem Fundament eingebracht?

ja nein unbekannt.

E⁴ Führen Ver- und Entsorgungsrohre oder -kabel bzw. ein Gully durch das Fundament ins Erdreich?

ja nein unbekannt

F Angaben zum Keller

F¹ Aus welchem **Material** ist der **Kellerboden**?

Beton Ziegel Naturboden aus Lehm/Ton oder Fels
 Sonstigem unbekannt

F² Die **Dicke** des **Kellerbodens** beträgt:

bis 25 cm über 25 cm unbekannt

F³ Die Kellerdecke ist eine

• gegossene Betondecke • Fertigelementdecke • Kappendecke (Träger und
Ziegelgewölbe) • sonstige Bauweise: _____ • unbekannt

F⁴ Ein Feuchtigkeitsschutz der erdberührten Kellerwände ist

vorhanden nicht vorhanden unbekannt.

F⁵ Eine Wärmedämmung der erdberührten Kellerwände ist

- vorhanden nicht vorhanden unbekannt. Falls vorhanden, welches Material:
_____?

F6 Die **Feuchtigkeitssituation im Keller** (subjektive Beurteilung) ist

- trocken, stellenweise/ zeitweise feucht, feucht. nass
(Wasser ist sichtbar) der Zustand ist unbekannt.

F7 Der **Kellerzugang** erfolgt

- vom Wohnbereich über den Flur oder von außen (Mehrfachnennung möglich)

F8 Der **Kellerzugang** ist

- offen durch eine Tür verschlossen.

F9 Vom Keller besteht ein **Zugang bzw. eine Verbindung** zu

- unterirdischen Gewölben weiteren, nicht mehr genutzten Kellern einem
Brunnen

G Sonstiges

G1 Liegt das Haus in einem Gebiet mit ehemaligem oder aktivem Bergbau?

- ja nein unbekannt. Falls ja: Sind Bergbauschäden (z. B. Risse) in den
 Kellerböden Kellerwänden Hauswänden auszumachen?

G2 Hinweise auf Besonderheiten des Hauses, wie z. B. mehrere Kelleretagen, Parkette,

- Niedrigenergiehaus oder Sonstiges: _____ Keine

10.2.4 Fragebogen „Exposimeter“

Achtung: Für jedes Exposimeter ist ein eigener Fragebogen auszufüllen!

Nummer (siehe Gerät):

Datum der Aufstellung:

Datum des Endes der Messung:

	Ebenes Gelände	Hanglage	Muster
nicht unterkellert			
teilweise unterkellert			
unterkellert			
	<p>Haben die Erdgeschosswände direkte Erdberührung?</p> <p>ja <input type="checkbox"/></p> <p>nein <input type="checkbox"/></p> <p>Wenn ja: Anzahl der Wände mit Erdberührung <input type="checkbox"/></p>		
	<p>Haben die Kellerwände direkte Erdberührung?</p> <p>ja <input type="checkbox"/></p> <p>nein <input type="checkbox"/></p> <p>Wenn ja: Anzahl der Wände mit Erdberührung <input type="checkbox"/></p>		

Raumnutzung überwiegend als:

- Wohnzimmer Schlafzimmer Kinderzimmer Arbeitszimmer
 Hobbyraum Vorrats-/Abstellraum oder Sonstiges

Führen aus dem Messraum Ver- und Entsorgungsrohre, -kabel o.ä. in den darunter liegenden Raum oder ins Erdreich?

- ja Nein unbekannt

Begehung des Messraums:

- täglich wöchentlich monatlich ungenutzt

Verbindung des Messraums zu Nachbarräumen: stets offen stets geschlossen

- meist offen meist geschlossen

Fenster im Messraum: ...

... im Sommer stets offen meist offen stets geschlossen meist geschlossen

... im Winter stets offen meist offen stets geschlossen meist geschlossen

Das Material des Bodens im Messraum (ohne Bodenbeläge) besteht aus:

- Beton Ziegel Naturboden aus Lehm/Ton oder Fels Sonstigem
 unbekannt

Sind im Messzimmer Natursteine (z. B. Granit, Schiefer, Kalkstein, Marmor) verbaut?

- Granit Schiefer Kalkstein Andere: _____

... und wo sind diese verbaut?

- Bodenbelag Wand Kamin Fensterbank Arbeitsplatte Sonstiges

10.2.5 Informationen zum Aufstellen des Exposimeters

Das Exposimeter ist in einer radondichten Verpackung eingeschweißt. Es kann daher maximal drei Wochen auch an anderer Stelle als am Untersuchungsort aufbewahrt werden.

Bitte beachten Sie die folgenden Hinweise beim Aufstellen:

Das Exposimeter ...

... bitte erst am Tag des Messbeginns und direkt am Aufstellungsort aus der bis dahin verschlossenen Verpackung entnehmen!

...mit den Füßen nach unten in mindestens 1 m Höhe aufstellen. Der Mindestabstand zu den Wänden sollte mindestens 20 cm betragen!

... nicht in Schränke oder Vitrinen stellen!

... nicht in die Nähe von Wärme abgebenden Geräten (z. B. Beleuchtungen, Heizungen) platzieren!

... nicht in der Nähe von Türen und Fenstern positionieren!

Zudem muss für jedes Exposimeter der daran befestigte Begleitschein ausgefüllt werden. Beachten sie bitte auch, dass die Angaben auf dem Begleitschein mit denen im Fragebogen (siehe Frontseite) übereinstimmen.

Eine Vorstellung über den technischen Aufbau des Exposimeters vermittelt die folgende Darstellung. Beachten Sie unbedingt, dass der **Exposimeter nicht demontiert werden darf**, da sonst die Ergebnisse nicht mehr zuverlässig sind!

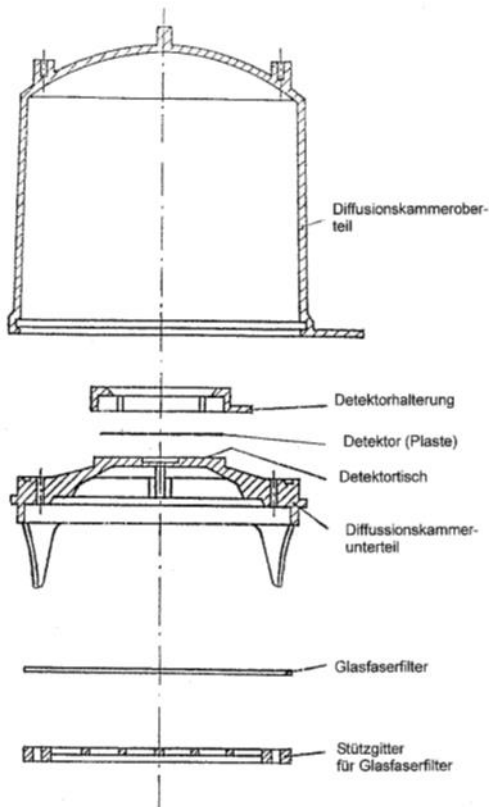


Abb. 1 Darstellung eines passiven Detektors. Passive Detektoren sind kleine Plastikbehälter, die keinen Strom benötigen, weder Licht noch Geräusche aussenden, sondern lediglich ausgelegt werden. Mithilfe von passiven Detektoren können Radon-Konzentrationen von 15 bis über 5.000 Becquerel pro Kubikmeter Raumluft bestimmt werden