

NEUE ASPEKTE DER RADONMESSUNG IN GEBÄUDEN

NEW ASPECTS OF THE RADON MEASUREMENT IN BUILDINGS

Flesch¹, Hermann², Jobski², Leißring³, Löbner⁴, Schulz¹ in alphabetischer Folge

¹) IAF – Radioökologie GmbH

²) B.P.S. Engineering GmbH

³) Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX

⁴) Wismut GmbH

Zusammenfassung

Durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie wurden die Firmen IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX und B.P.S. Engineering GmbH mit der Studie „Radon in öffentlichen Gebäuden“ beauftragt. In der Studie wurden 6 Gebäude, d.h. je zwei Rathäuser, Ortsämter und Schulen mit unterschiedlichen Gebäudetypen und Nutzungsarten untersucht. Im Ergebnis der komplexen Untersuchungen wird ein Vorschlag zum Radon-Screening in öffentlichen Gebäuden vorgestellt, der sowohl aktive Messungen mit Radonmonitoren, passive integrierende Langzeitmessungen als auch integrierende Langzeitmessungen in den Zeitfenstern „Arbeitszeit“ und „nicht Arbeitszeit“ integriert. In der Auswertung wird gezeigt, dass die Ergebnisse der integrierenden Langzeitmessungen die Arbeitszeit zu ca. 20 % beinhalten und das Gesamtergebnis durch die restliche Zeit von ca. 80% außerhalb der Arbeitszeit maßgeblich beeinflusst wird. Die Untersuchungen zeigen, dass diese Messungen eine worst-case Situation darstellen und zur Ableitung von Expositionen und möglichen Maßnahmen ungeeignet sind. Das vorgestellte Bewertungsschema bietet die Möglichkeit, diese integrierenden Langzeitmessungen entweder sofort oder durch ergänzende Messungen als Bewertungsgrundlage nutzen zu können. Für zukünftige Radon-Screening-Messungen werden aus den Untersuchungen sinnvolle Methoden abgeleitet. Es wird darauf hingewiesen, dass das Bewertungsschema einen Vorschlag für die weitere Vorgehensweise darstellt, die jedoch durch weitere Untersuchungen an öffentlichen Gebäuden mit anderen Nutzungsszenarien validiert werden muss.

Summary

The companies IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX and B.P.S. Engineering GmbH were instructed with the study „radon in public buildings“ by the Saxon regional authority for environment and geology. In that study 6 buildings, i.e. two city halls, local offices and schools with different building types and kinds of utilisation were examined. In the result of the complex investigations a proposal is introduced to the Radon-Screening in public buildings which integrates active measurements with radon monitors, passive integrating long time measurements as well as integrating long time measurements in the time windows "working hours" and „non - working hours“. In the evaluation it is shown that the results of the integrating long time measurements the working hours are contained to approx. 20% and the whole result is decisively influenced by the remaining time of approx. 80% beyond the working hours. The investigations show that these measurements display a worst-case situation and are inexpedient for the derivation of expositions and possible measures. The introduced assessment pattern offers the possibility to be able to use these integrating long time measurements either immediately or by complementary

measurements as a basis of evaluation. For future radon screening measurements sensible methods are derived from the investigations. It is pointed out to the fact that the assessment pattern shows a proposal for the other approach which must be validated, nevertheless, by other investigations in public buildings with other scenarios of utilisation.

1 Vorbemerkungen

Die Firmen IAF - Radioökologie GmbH, WISMUT GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX und B.P.S. Engineering GmbH wurden als Bietergemeinschaft im Rahmen eines Werkvertrages durch das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) beauftragt, das Vorhaben "Radon in öffentlichen Gebäuden" zu bearbeiten.

Nachdem in Sachsen schon verschiedene Projekte zur Erfassung der Radonsituation in Wohngebäuden durchgeführt wurden, sollte im Rahmen dieses Vorhabens die Situation in öffentlichen Gebäuden untersucht werden, da sich diese wegen der spezifischen Nutzungsbedingungen von Wohngebäuden unterscheiden. Nachfolgend werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Studie dargestellt.

In der Abb. 1 sind beispielhaft die Ergebnisse für einen Büroraum im 2. Obergeschoss dargestellt. Es ist im linken Bild klar zu erkennen, dass immer mit Beginn der Arbeitszeit die Radonkonzentration im Zimmer stark abfällt, während sie nach Feierabend wieder ansteigt. Dieser Sachverhalt ist in der rechten Abbildung anhand des gemittelten Tagesgangs in prägnanter Weise ablesbar. Zu Beginn der Arbeitszeit (etwa 8 Uhr) fällt die Radonkonzentration im Raum von knapp 200 Bq/m³ auf Werte von ca. 50 Bq/m³. Nach Feierabend, wenn die Türen und Fenster geschlossen sind, steigt die Radonkonzentration wieder an und erreicht zu Arbeitsbeginn den höchsten Wert.

Einen weiteren Einblick in das Systemverhalten des gesamten Gebäudes liefert die mittlere Radonkonzentration an Wochenenden und Feiertagen. Zwei Merkmale dieser Darstellung sind bedeutsam. Zuerst ist zu konstatieren, dass die mittlere Radonkonzentration höher liegt als während der arbeitsfreien Stunden an gewöhnlichen Arbeitstagen. Viel wichtiger ist jedoch die Erkenntnis, dass an den Wochenenden, wenn keine Nutzung besteht, die Radonkonzentration, verglichen zu den Arbeitstagen, annähernd konstant ist. Dies kann nur dadurch entstehen, dass sich ohne die direkte Nutzung im Raum eine Art von Fließgleichgewicht ausbilden kann, dass sich aus dem Radonreservoir des Hauses und den bei geschlossenen Türen und Fenstern bestehenden Luftwechsel einstellt.

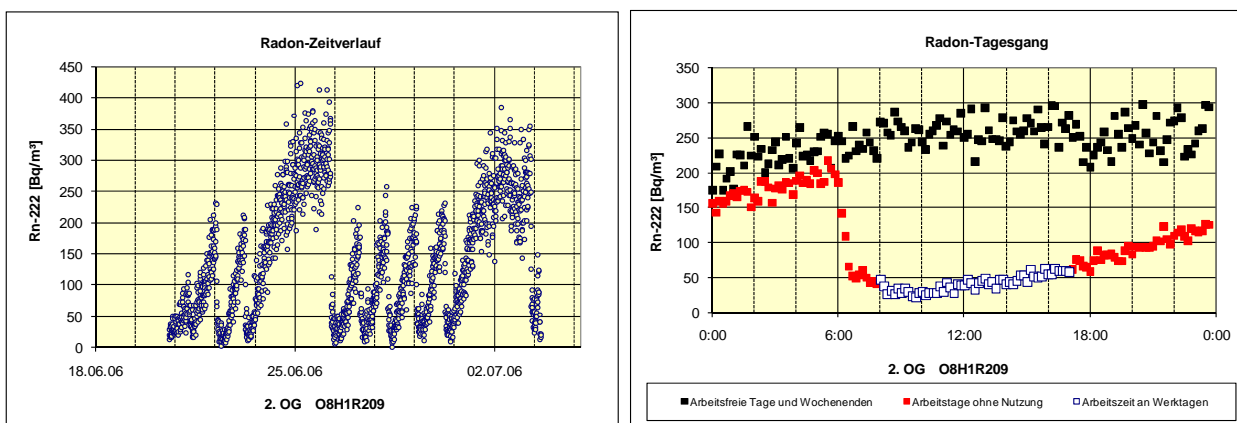


Abb. 1: Beispielhafte Darstellung des Radon-Zeitverlaufes und des Radon-Tagesgangs

Die Durchführung von Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse beruht auf den Ergebnissen zu ausgewählten Gebäudetypen und Nutzungsarten. Es wurden 6 Gebäude, d.h. je zwei Rathäuser, Ortsämter und Schulen untersucht. Es ist vom gegenwärtigen Sachstand denkbar, dass die im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen

Gebäuden" gewonnenen Erkenntnisse auch auf andere Typen von öffentlichen Gebäuden wie Krankenhäuser, Büro- und Verwaltungsgebäude, Kindergärten etc. verallgemeinert werden können. Diese Verallgemeinerung müsste jedoch durch entsprechende Untersuchungen belegt werden. Im Folgenden wird aufbauend auf den durchgeführten Untersuchungen eine vereinfachte Herangehensweise vorgeschlagen, wie bei Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse vorgegangen werden sollte.

2 Festlegung einer geeigneten Anzahl der Messpunkte

Es ist im Sinne einer Screening-Messung nicht erforderlich, in jedem Raum zu messen. Eine Mindestanzahl der Messpunkte N_{MP} ergibt sich, wenn

- in jeder Etage und im Keller jeweils in 3 Räumen gemessen wird.

Bei großen Gebäuden könnte eine statistische Anpassung an die Gesamtraumzahl der Räume N_R zielführend sein:

- Falls mehr als 50 Räume vorhanden sind, kann die Anzahl der Messpunkte nach $N_{MP} = 2\sqrt{N_R}$ abgeschätzt werden, wobei N_R die Anzahl aller Räume des Gebäudes ist.
- Bei $N=36$ Räumen, sollten in etwa 12 Räumen Radon-Screening-Messungen durchgeführt werden, bei $N=100$ etwa in 20 Räumen.

3 Messdauer und Messmethode

Die Messdauer und die Messmethode hängen stark von der Nutzung des Raums ab. Die Raumnutzung sollte im Vorfeld der Messungen durch entsprechende Befragungen oder Recherchen spezifiziert werden. Es werden 4 Varianten diskutiert, die gegenwärtig praktiziert werden, um die Radonsituation in öffentlichen Gebäuden zu erfassen:

- Variante (1) Zeitauflösende Messungen mit Radonmonitoren,
- Variante (2) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren,
- Variante (3) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren während und außerhalb der Arbeitszeit,
- Variante (4) Kombination der Variante (1) mit den Varianten (2) und (3).

3.1 Variante (1) Zeitauflösende Messungen mit Radonmonitoren

In möglichst vielen Räumen zeitauflösend die Radonkonzentration über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen messen, wobei nach Möglichkeit zwei Wochenenden eingeschlossen sein sollten.

Vorteil: Die Variante (1) ist sehr differenziert einsetzbar, kann aber auch wegen der Bereitstellung der Radonmessgeräte und dem damit verknüpften Handling kostenintensiv sein. Es hat sich gezeigt, dass bei Erfassung des Gesamtsystemverhaltens des Gebäudes eine Messung im 10-Minuten- oder 1-Stunden-Rhythmus von ca. 10 Tagen (2 Wochenenden eingeschlossen) ausreichend ist, die tatsächliche Exposition während der Arbeitszeit realistisch abzuschätzen. Diese Methode liefert überdies genaue Aussagen über das Wechselspiel von Radonkonzentration und Nutzungsverhalten und ermöglicht, die Ursachen hoher Radonkonzentrationen zu erkennen und Problemlösungen

anzustreben. Die Aussagekraft dieser Methode wurde im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" detailliert untersucht.

Nachteil: Wegen der Kosten für einen Radonmonitor und den Kosten für Auf- und Abbau der Geräte sind zeitauflösende Messungen für ein Radon-Screening in großen öffentlichen Gebäuden nur in Ausnahmefällen finanziell zu vertreten. Für das Verstehen der allgemeinen Radonsituation in einem Gebäude und der Ableitung von Sanierungsmaßnahmen sind sie jedoch unverzichtbar.

3.2 Variante (2) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren

In möglichst vielen Räumen die Radonkonzentration über einen Zeitraum von 1 - 3 Monaten mit Hilfe von Kernspurdetektoren messen.

Vorteil: Die Variante (2) ist sehr kostengünstig. Deshalb kann die mittlere Radonkonzentration in vielen Räumen eines Gebäudes gemessen werden.

Nachteil: In öffentlichen Gebäuden oder Schulen sind Räume nur etwa 20% der Zeit genutzt, so dass die Radonsituation in der arbeitsfreien Zeit den weitaus größten Beitrag zum gemessenen Mittelwert liefert. Da jedoch nur zeitgemittelte Radonkonzentrationswerte für die untersuchten Räume für den gesamten Zeitraum zur Verfügung stehen, kann mit der Variante (2) nur eine beschränkte Information über die tatsächliche Expositionssituation während der Raumnutzung gewonnen werden. Keine Aussagen zur Identifikation von Quellen im Sanierungsfall möglich.

Bemerkung: Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" zeigten, dass dennoch mit Variante (2) unter Einbeziehung der Nutzungsgewohnheiten eine Relativierung der gemessenen Langzeitmittelwerte der Radonkonzentrationen vorgenommen werden kann (siehe Kap. 5).

3.3 Variante (3) Passive Messungen der Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren während und außerhalb der Arbeitszeit

In möglichst vielen Räumen eines Gebäudes die Radonkonzentration über einen Zeitraum von 1 - 3 Monaten separat während und außerhalb der Arbeitszeit mit Hilfe von Kernspurdetektoren in zwei unterschiedlichen Zeitregimen zu messen.

Vorteil: Die Variante (3) ist sehr kostengünstig und erfasst die tatsächliche Exposition sehr sicher, wenn die Expositionszeit mit der vorprogrammierten Schaltzeit übereinstimmt.

Nachteil: Die Kernspurdetektoren müssen in ein batteriegetriebenes Schaltmodul positioniert werden, um eine separate Exposition der Detektoren zu garantieren. Keine Aussagen zur Identifikation von Quellen im Sanierungsfall möglich.

Bemerkung: Die Variante (3) erfasst die tatsächliche Exposition sehr sicher, wenn die Expositionszeit mit der vorprogrammierten Schaltzeit übereinstimmt. Sie ist in vielerlei Hinsicht aus ökonomischen Gründen alternativlos. Die Schaltmodule können wiederverwendet werden.

3.4 Variante (4) Kombination der Variante (1) mit den Varianten (2) und (3)

In ausgewählten Räumen zeitauflösend die Radonkonzentration im 10-Minuten- oder 1-Stunden-Rhythmus über einen Zeitraum von ca. 10 Tagen messen, wobei nach Möglichkeit zwei Wochenenden eingeschlossen sein sollten. Gleichzeitig wird in diesen und anderen Räumen die mittlere Radonkonzentration mit Hilfe von Kernspurdetektoren über den gesamten

Untersuchungszeitraum (Variante (2)) oder mit den Schaltmodulen (Variante (3)) separat während und außerhalb der Arbeitszeit gemessen.

Vorteil: Die Variante (4) ist sehr differenziert einsetzbar. Ihre Aussagekraft hinsichtlich der tatsächlich zu veranschlagenden Radonexposition wurde im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" sehr detailliert untersucht und stellt nach den vorliegenden Erkenntnissen die Vorzugslösung dar, die Gesamtradonsituation zu erfassen. Diese Variante liefert wie Variante (1) die erforderlichen Aussagen über das Wechselspiel von Radonkonzentration und Nutzungsverhalten und ermöglicht, Ursachen hoher Radonkonzentrationen zu erkennen und Problemlösungen anzustreben.

Nachteil: Die Variante (4) ist für einen Routinebetrieb und generelles Radon-Screening wegen des möglichen Kostenfaktors (Bereitstellung von Radonmonitoren) weniger geeignet. Für das Verstehen der allgemeinen Radonsituation in einem Gebäude und der Ableitung von Sanierungsmaßnahmen ist ein Vorgehen, wie durch Variante (4) vorgegeben, die Methode der Wahl.

4 Zusatzinformation zu den jeweiligen Räumen

Für die Bewertung der Radonsituation ist eine Reihe von Zusatzinformationen erforderlich, die nachfolgend aufgelistet sind:

- Wie oft wird der Raum genutzt?
 - Regelmäßige Nutzung: ca. 40 Std. pro Woche oder mehr
 - Sporadische Nutzung: < 10 Std. pro Woche
 - Seltene Nutzung: < 2 Std. pro Woche
- Charakterisierung des Raums
 - Fenster werden nachts immer verschlossen,
 - Türen am Tag geöffnet,
 - Fenster am Tage angekippt,
 - Lüftungssysteme vorhanden,
 - sichtbare lufttechnische Anbindungen zu anderen Räumen bestehen,
 - etc.
- Charakterisierung des Gebäudes
 - Alter und Lage des Gebäudes,
 - Aufbau des Gebäudes,
 - etc.

5 Bewertung der Messergebnisse und Handlungsschema

Es wird davon ausgegangen, dass nach Abschluss der Messung mit Hilfe von Kernspurdetektoren (vgl. Variante (2)) von mehreren Wochen oder Monaten ein mittlerer Radonkonzentrationswert C_{Rn} für die Gesamtzeit vorliegt. Diese Radonkonzentration enthält a priori keine Information über die Höhe der Radonkonzentration, die während der Arbeitszeit zu veranschlagen ist und ob tatsächlich ein Radonrisiko besteht. Es wird vorgeschlagen, einen Schwellenwert C_{SW} zu betrachten, der festlegt, ob vertiefende Untersuchungen zur Erfassung der Radonexpositionssituation während der Arbeitszeit erforderlich sind oder nicht.

- Ist $C_{Rn} < C_{SW}$, sind keine vertiefenden Untersuchungen erforderlich, d.h. es ist beim Unterschreiten des Schwellenwerts davon auszugehen, dass auch während der

Arbeitszeit durch die durch die Raumnutzung bedingte Absenkung der Radonkonzentration ein Auftreten eines Radonrisikos nicht zu besorgen ist.

- Ist $C_{Rn} > C_{SW}$, können entweder pauschale oder detailliertere Bewertungen der Radonsituation durchgeführt werden. Grundvoraussetzung ist jedoch in jedem Fall, dass das Systemverhalten des Gebäudes bzw. des betrachteten Raums qualitativ verstanden ist.

Handelt es sich z.B. um einen Typ von Gebäude, über den bereits Erfahrungswerte vorliegen, könnte auf zusätzliche zeitauf lösende Kurzzeitmessungen mit Radonmonitoren (ca. über eine Woche) in ausgewählten Räumen verzichtet werden. Falls keine Erfahrungswerte vorliegen, sollten in Abhängigkeit von den Messergebnissen der Langzeitmessungen nachträglich Informationen über das Systemverhalten des Gebäudes hinsichtlich des Radontransports und des Luftwechsels gewonnen werden. Es ist davon auszugehen, dass mit dem Anwachsen der Anzahl der Untersuchungsergebnisse über unterschiedlichste öffentliche Gebäude auch der Grad der Pauschalierung stetig anwachsen kann.

Regelmäßige Nutzung

Eine regelmäßige Raumnutzung liegt vor, wenn der Raum mindestens oder ca. 40 Std. pro Woche genutzt wird. Für die Abschätzung der Radonexposition wird die während der Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) zu veranschlagende Radonkonzentration $\langle C_{Rn} \rangle$ im Raum (als Schätzwert) aus dem Ergebnis der Langzeitmessung C_{Rn} wie folgt berechnet:

$$\langle C_{Rn} \rangle = (1 - \alpha) \cdot 30 \frac{Bq}{m^3} + \alpha \cdot C_{Rn} \quad (1)$$

Der erste Term berücksichtigt, dass die Radonkonzentration im Raum nicht unter die der Außenluft fallen kann, für die hier 30 Bq/m³ angenommen wurde. Der Parameter α ist eine empirisch zu bestimmende Größe, die zwischen null und eins variiert. Sie wird durch den während der Arbeitszeit herrschenden Luftwechsel und die Kopplung des Raums an das Radonreservoir des Gebäudes bestimmt. Bei großen Luftwechseln tendiert $\alpha \rightarrow 0$, bei Nichtnutzung des Raums $\alpha \rightarrow 1$, so dass beide wichtigen Grenzfälle erfasst sind. Beispielhaft wird im Folgenden $\alpha \approx 0.5$ betrachtet. Welcher Faktor tatsächlich zu berücksichtigen ist, der auch gleichzeitig ein gewisses Maß an Konservativität enthält, können nur weiterführende Untersuchungen zeigen.

Ist beispielhaft im Langzeitmittel (4 - 12 Wochen) eine Radonkonzentration von $C_{Rn} = 200$ Bq/m³ in einem Raum gemessen worden, wird nach Gl. (1) die während der Aufenthaltszeit zu veranschlagende Radonkonzentration mit $\langle C_{Rn} \rangle \approx 115$ Bq/m³ abgeschätzt. Erst bei einer Langzeitradonkonzentration von ca. 400 Bq/m³ würde bei einem regelmäßig genutzten Raum die für die Arbeitszeit zu veranschlagende Radonkonzentration etwa 200 Bq/m³ erreichen.

Im Ergebnis der hier durchgeführten Abschätzungen könnte ein Schwellenwert von $C_{SW} \approx 400$ Bq/m³ eingeführt werden. Die Fortführung der Untersuchungen und Berücksichtigung weiterer empirischer Daten könnte die Schwankungsbreite des Schwellenwerts, die mit der Raumnutzung eng verknüpft ist, weiter eingrenzen.

Sporadische oder seltene Nutzung

Eine sporadische oder seltene Raumnutzung liegt vor, wenn der Raum weniger als 10 Stunden in der Woche genutzt wird. In dem Fall sollte für die Abschätzung der Radonexposition die zu veranschlagende Radonkonzentration $\langle C_{Rn} \rangle$ während der Aufenthaltszeit (Arbeitszeit) im Raum nach folgender zu Gl. (1) komplementärer Näherung berechnet werden:

$$\langle C_{Rn} \rangle = (1 - \beta) \cdot 30 \frac{Bq}{m^3} + \beta \cdot C_{Rn} \quad (2)$$

Erste Auswertungen zeigen, dass der Parameter β bei 0,8 anzusiedeln ist. Ist z.B. im Langzeitmittel (4 - 6 Wochen) $C_{Rn} = 250 \text{ Bq/m}^3$ gemessen worden, ergibt sich für die Radonkonzentration während der Aufenthaltszeit ein Wert von $\langle C_{Rn} \rangle \approx 200 \text{ Bq/m}^3$. Auch hier wird die Zukunft zeigen, welcher Faktor tatsächlich anzuwenden ist, der auch gleichzeitig ein gewisses Maß an Konservativität enthält. Das höchste Maß an Konservativität wird erreicht, wenn der Langzeitmittelwert berücksichtigt wird. Die Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass bereits sehr kurze Lüftungsmaßnahmen zu einem signifikanten Absenken der während der Arbeitszeit zu veranschlagenden Radonkonzentration führen können. Die dargestellte Vorgehensweise ist schematisch in der Abb. 2 dargestellt.

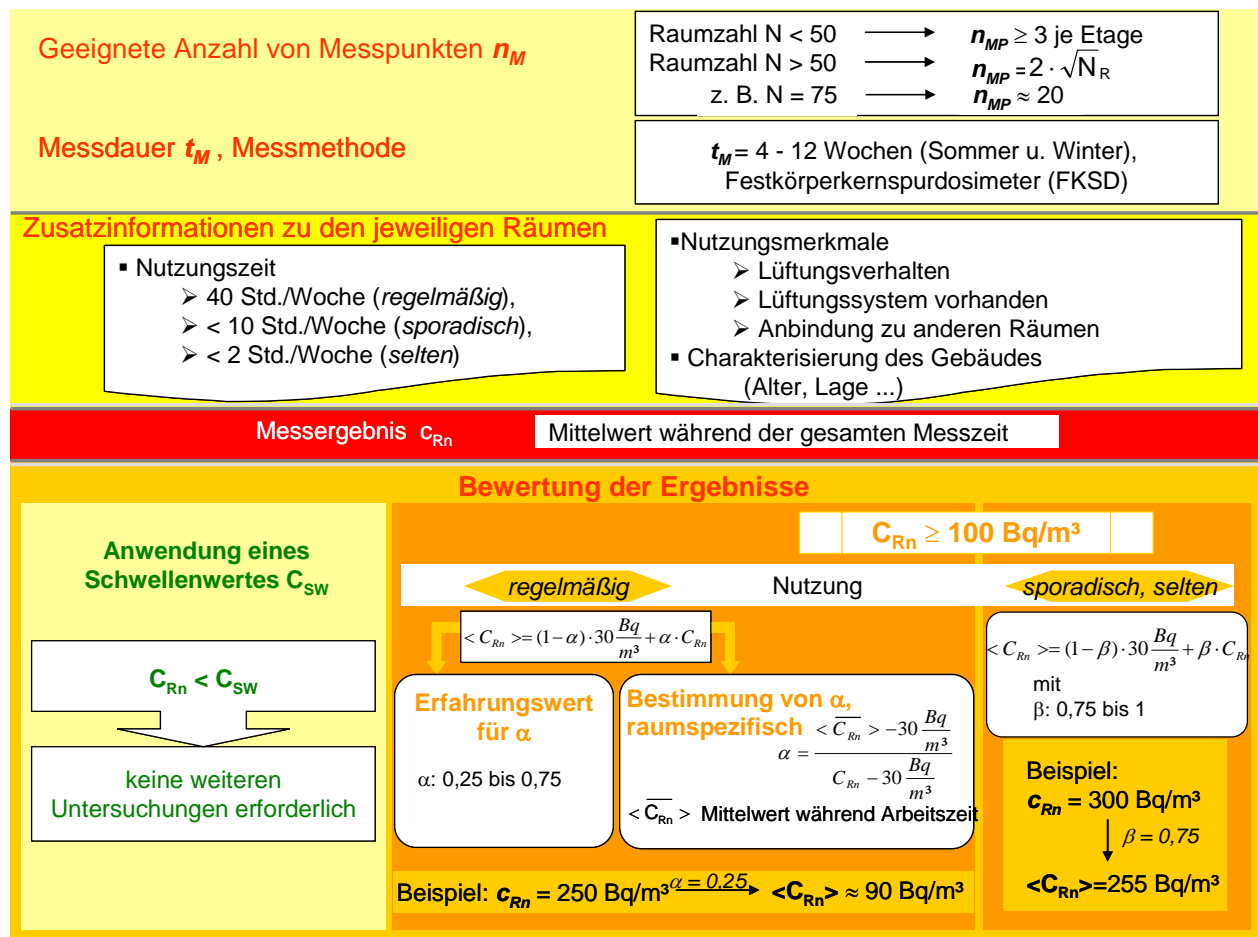


Abb. 2: Vorgehensweise bei der Durchführung von Radon-Screenings in öffentlichen Gebäuden und der Bewertung der Messergebnisse

6 Zusammenfassung/Fazit

Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts "Radon in öffentlichen Gebäuden" haben zu dem Tatbestand geführt, dass die Radonkonzentration in einem Raum teils drastisch abgesenkt wird, wenn durch die Nutzung bereits ein geringer Luftwechsel induziert wird. Es wird deshalb vorgeschlagen, einen Schwellenwert C_{SW} für die Langzeitmessungen zu betrachten, der festlegt, ob vertiefende Untersuchungen zur Erfassung der Radonexpositionssituation während der Arbeitszeit erforderlich sind oder nicht. Das hier diskutierte Bewertungsschema ist ein erster Vorschlag, wie eine Bewertung der durch eine Langzeitmessung gewonnenen Radonkonzentrationen unter Berücksichtigung der Nutzungseigenschaften in einfachster Form vorgenommen werden könnte. Die zukünftigen Untersuchungsergebnisse werden zeigen, ob eine einfache Pauschalierung der Langzeitmessergebnisse möglich ist oder nicht.

Wird jedoch die Langzeitradonkonzentration gemäß Variante (3) bestimmt, sind die hier durchgeführten Abschätzungen für eine Pauschalierung nicht erforderlich, da für die zwei Zeitregime, d.h. während der Arbeitszeit und außerhalb der Arbeitszeit, separate Mittelwerte der Radonkonzentration vorliegen. Mit Hilfe dieser Werte kann der Schwellenwert C_{SW} und die Parameter α und β direkt bestimmt werden. Gegenüber der herkömmlichen Methode der Langzeitmessung mit Kernspurdetektoren würden sich in längerer Sicht die Kosten verdoppeln, da die notwendigen Schaltmodule wiederverwendet werden können.