

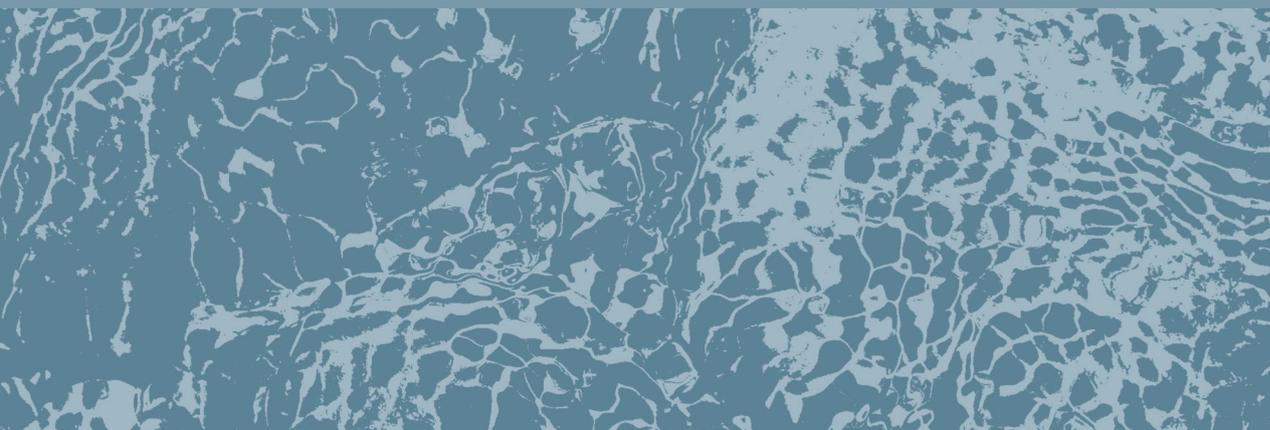


Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Radon in Innenräumen

Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern





Bayerisches Landesamt für
Umwelt



Radon in Innenräumen

Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern

Impressum

Radon in Innenräumen - Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern

Herausgeber:

Bayerisches Landesamt für Umwelt (LfU)

Bürgermeister-Ulrich-Straße 160

86179 Augsburg

Tel.: 0821 9071-0

Fax: 0821 9071-5556

E-Mail: poststelle@lfu.bayern.de

Internet: www.lfu.bayern.de

Bearbeitung:

LfU, Referat 41, Michael Heidler und Michael Loch

Redaktion:

LfU, Referat 41

Bildnachweis:

Bayerisches Landesamt für Umwelt

Kemski & Partner, Euskirchener Straße 54, 53121 Bonn, Abb. 1 S. 6

Stand:

Januar 2012

Diese Druckschrift wurde mit großer Sorgfalt zusammengestellt. Eine Gewähr für die Richtigkeit und Vollständigkeit kann dennoch nicht übernommen werden. Sofern in dieser Druckschrift auf Internetangebote Dritter hingewiesen wird, sind wir für deren Inhalte nicht verantwortlich.

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	5
2	Grundlagen zu Radon	6
2.1	Eigenschaften und Vorkommen	6
2.2	Wirkung auf den Menschen	7
2.3	Richtwerte und Grenzwerte	7
2.4	Radonkonzentration in Innenräumen	7
2.5	Energetische Sanierung und der Einfluss auf die Luftwechselrate	9
2.6	Messung der Radonkonzentration	10
3	Untersuchungsstrategie	12
3.1	Auswahl öffentlicher Gebäude	12
3.2	Vorgehensweise vor der Sanierung	13
3.3	Vorgehensweise nach der Sanierung	14
4	Untersuchungsergebnisse	16
4.1	Gebäudestruktur vor der Sanierung	16
4.2	Sanierungsmaßnahmen	16
4.3	Messwerte der Radonkonzentrationen	18
4.4	Beispiele für verschiedene Sanierungsmaßnahmen	20
4.5	Allgemeine Aussagen anhand der Beispiele	41
5	Veröffentlichungen und Kooperationen	43
5.1	Zusammenarbeit mit Nachbarländern	43
5.2	Kooperation mit dem Referat 22 „Anlagensicherheit, Energieeffizienz“	43
5.3	Vorträge und Veröffentlichungen	44
6	Zusammenfassung	45
7	Literatur	47
8	Anhang	48

1 Einführung

In Bayern werden durch Förderungen und Verordnungen, wie die Energieeinsparverordnung (EnEV) 2009 [1], das Konjunkturpaket II [2] und das „Klimaprogramm Bayern 2020“ [3], in öffentlichen Gebäuden verstärkt Gebäudeabdichtungsmaßnahmen durchgeführt. In Gebäuden, die im Zuge von Energieeinsparmaßnahmen saniert werden, kann unter Umständen die Konzentration des radioaktiven Edelgases Radon in der Innenraumluft ansteigen, da z.B. Bauwerksabdichtungen (Einbau dichter Fenster und Türen, luftundurchlässige Abdichtung der Außenfläche) eine Senkung des Luftaustausches im Gebäude bewirken.

Über die Radonkonzentration in Gebäuden nach einer energetischen Sanierung ist in Bayern wenig bekannt. Da jedoch zahlreiche Gebäude mit Hilfe verschiedener Förderprogramme und großen Investitionssummen energetisch saniert werden, die auch in Regionen mit geologisch bedingter erhöhter Radonkonzentration in der Bodenluft liegen (Bayerischer Wald, Fichtelgebirge, Alpenregion), ist hier ein besonderes Interesse an der Auswirkung der Bauwerksabdichtungen auf die Radonkonzentration angebracht. Daher wurde im Zeitraum September 2009 bis Dezember 2011 am Landesamt für Umwelt (LfU) das vom Staatsministerium für Umwelt und Gesundheit (StMUG) finanziell geförderte Untersuchungsvorhaben „Radon in Innenräumen - Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern“ durchgeführt.

Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wurden ausgewählte öffentliche Gebäude in Bayern bei ihrer Sanierung messtechnisch begleitet, um so Aussagen über die Auswirkungen von energetischen Maßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen treffen zu können. Zielgruppen wie Baufachleute, Architekten, Planer, Energieberater, kommunale und staatliche Bauverwaltungen sollen für das Thema Radon sensibilisiert werden und Radon bei zukünftigen Sanierungsmaßnahmen oder Neubauvorhaben berücksichtigen.

Unter den Begriffen „Radonkonzentration“ und „Radon“ ist im gesamten Bericht ausnahmslos die Radon-222-Aktivitätskonzentration bzw. das Isotop Radon-222 zu verstehen. Diese Vereinfachung hat sich im allgemeinen Sprachgebrauch eingebürgert. Unter dem Begriff „Sanierung“ ist in diesem Bericht ausnahmslos eine energetische Sanierungen zu verstehen.

2 Grundlagen zu Radon

2.1 Eigenschaften und Vorkommen

Radon ist ein natürliches, überall vorkommendes radioaktives Edelgas, das farb-, geruch- und geschmacklos ist. Es ist ein Zerfallsprodukt des in Böden und Gesteinen natürlich vorkommenden radioaktiven Schwermetalls Uran. Aus Gesteinen und Böden kann es relativ leicht entweichen, sich über die Bodenluft ausbreiten und in Gebäude eindringen.

Radon kommt daher vermehrt in Gebieten mit höheren Urangehalten im Boden vor. Deshalb sind hauptsächlich die Mittelgebirge aus Granitgestein Regionen mit erhöhter Radonkonzentration in der Bodenluft. In Bayern sind dies vor allem der Bayerische Wald, der Oberpfälzer Wald und das Fichtelgebirge. Aber auch im Alpenvorland (durchlässige Schotterböden, Talfüllungen etc.) und nördlich von München finden sich Bereiche mit erhöhten Radonkonzentrationen in der Bodenluft (Abb. 1).

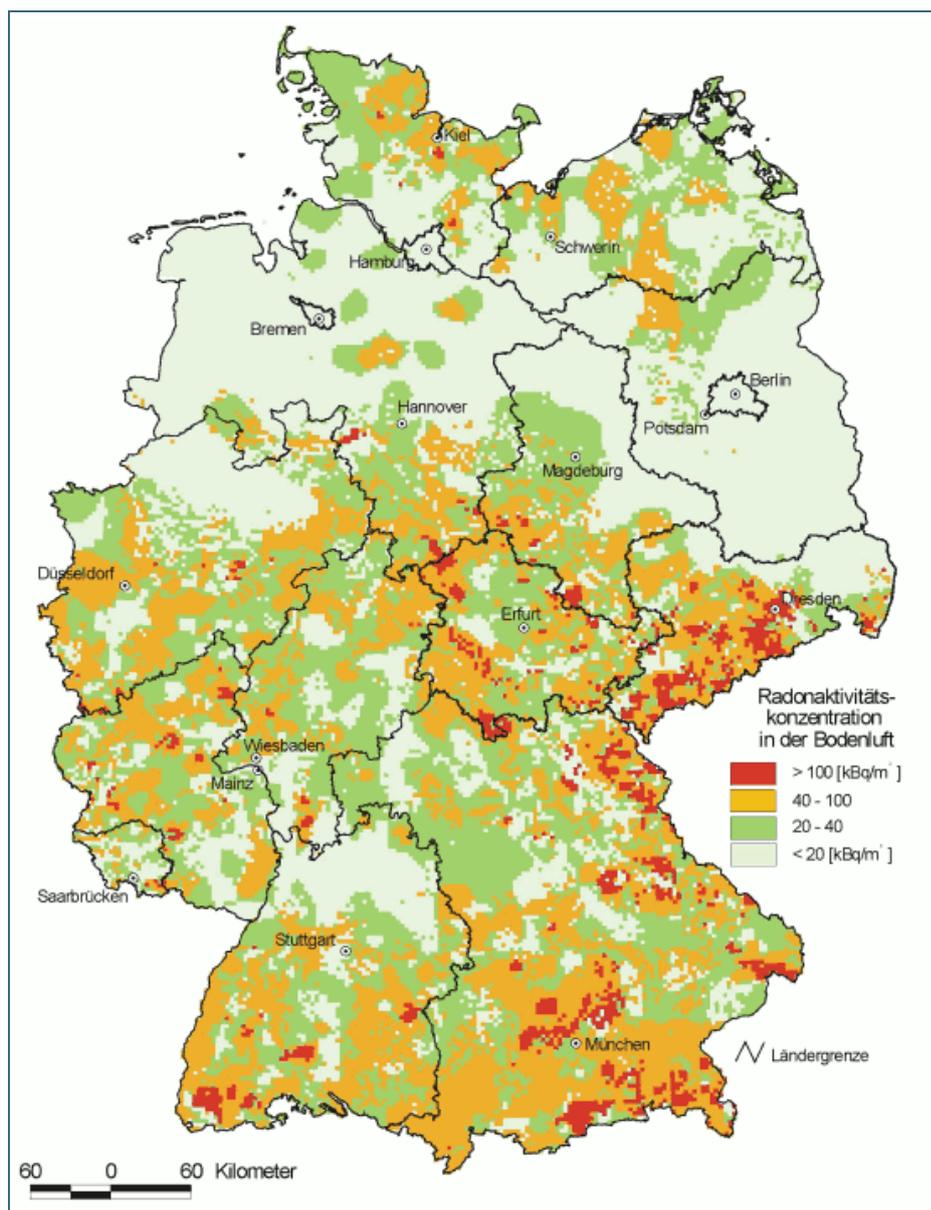


Abb. 1:
Übersicht der Radonkonzentration in der Bodenluft in einem Meter Tiefe
(Quelle: Kemski & Partner 2007)

2.2 Wirkung auf den Menschen

Über die Luft eingeatmetes Radongas wird zum überwiegenden Teil gleich wieder ausgeatmet. Das größte gesundheitliche Risiko geht daher nicht vom radioaktiven Edelgas Radon selbst aus, sondern von seinen Zerfallsprodukten, kurzlebigen, ebenfalls radioaktiven Schwermetallen. Die in der Raumluft vorhandenen Zerfallsprodukte lagern sich an luftgetragene Schwebeteilchen (Aerosole) an. Beim Atmen werden diese in der Lunge abgelagert. Von dort senden sie ionisierende Strahlung aus, die das unmittelbar umgebende Lungengewebe schädigen und letztendlich Lungenkrebs auslösen kann. Nach dem Rauchen (ca. 90 %) sind Radon bzw. seine Zerfallsprodukte (ca. 7 %) die häufigste Ursache für Lungenkrebs [4].

2.3 Richtwerte und Grenzwerte

In Deutschland gibt es für die Höhe der Radonkonzentration in Gebäuden keinen gesetzlichen Grenzwert. Für Wohnhäuser gibt es von nationalen und internationalen Institutionen (Deutsche Strahlenschutzkommission, Europäische Kommission, Weltgesundheitsorganisation) verschiedene Empfehlungen für den Jahresmittelwert der Radonkonzentration. Diese Richtwerte können für die vorliegende Untersuchung jedoch nicht herangezogen werden, da es sich hierbei nicht um Wohnhäuser, sondern um öffentliche Gebäude mit Arbeitsplätzen handelt.

Für diese Arbeitsplätze bestehen in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen, lediglich für ganz bestimmte radonexponierte Arbeitsplätze, die in der Strahlenschutzverordnung (StrSchV, §§ 93 ff i. V. m. Anlage XI Teil A) aufgelistet sind (untertägige Bergwerke, Radon-Heilbäder, Wasserversorgungsunternehmen), sind Verpflichtungen festgelegt [5]. Daher werden zur Bewertung der untersuchten öffentlichen Gebäude internationale Empfehlungen für Arbeitsplätze herangezogen. Die verschiedenen Gremien empfehlen eine Radonkonzentration in der Raumluft an Arbeitsplätzen (Jahresmittelwert) von maximal 1.000 Bq/m^3 (Europäische Kommission [6], Internationale Atomenergiebehörde IAEA [7], Internationale Strahlenschutzkommission ICRP [8]).

2.4 Radonkonzentration in Innenräumen

Für die Bundesrepublik Deutschland liegt die Radonkonzentration in Innenräumen im Mittel bei 50 Bq/m^3 , wobei Schwankungen zwischen wenigen bis zu über Tausend Bq/m^3 auftreten können. Die Schwankungen sind hauptsächlich durch drei Faktoren begründet:

Gebäudezustand

Die Durchlässigkeit eines Gebäudes gegenüber der Bodenluft im Fundamentbereich bzw. des Mauerwerks mit Erdkontakt ist von entscheidender Bedeutung für den Radoneintritt. Eindringmöglichkeiten gibt es beispielsweise über Spalten und Risse sowie entlang von Kabel- und Rohrdurchführungen (Abb. 2). Die radonhaltige Bodenluft wird durch einen im Gebäude entstehenden Unterdruck (Kamineffekt aufgrund von Temperaturdifferenzen zwischen Raum- und Außenluft bzw. durch Winddruck) in das Gebäude gesaugt. Sind Keller oder andere erdberührte Bereiche gegenüber den anderen Stockwerken offen, so kann sich Radon leicht nach oben ausbreiten.

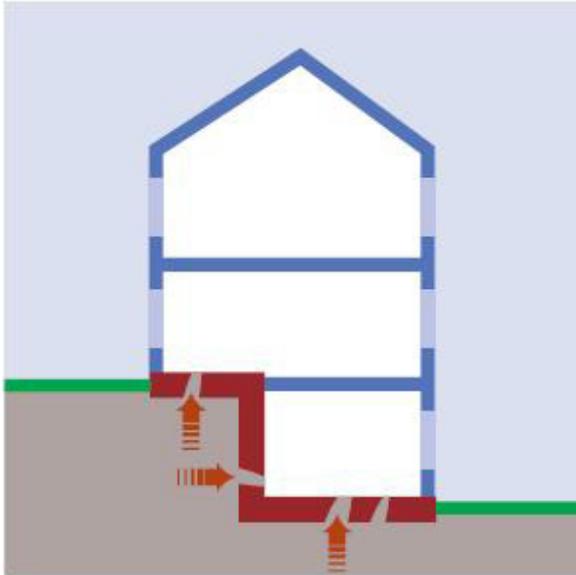


Abb. 2:
Radon dringt durch Fugen und Risse in der Bodenplatte und Kellerwand in das Gebäude ein.

Luftwechselrate im Gebäude

Der Austausch der Raumluft gegen die Außenluft hat einen wesentlichen Einfluss auf die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen (Abb. 3). Undichte Fenster und Türen führen zu höheren Luftwechselraten. Wird der Luftwechsel dagegen verringert, z. B. durch den Einbau dicht schließender Fenster und Türen, so kann die Radonkonzentration erheblich ansteigen.

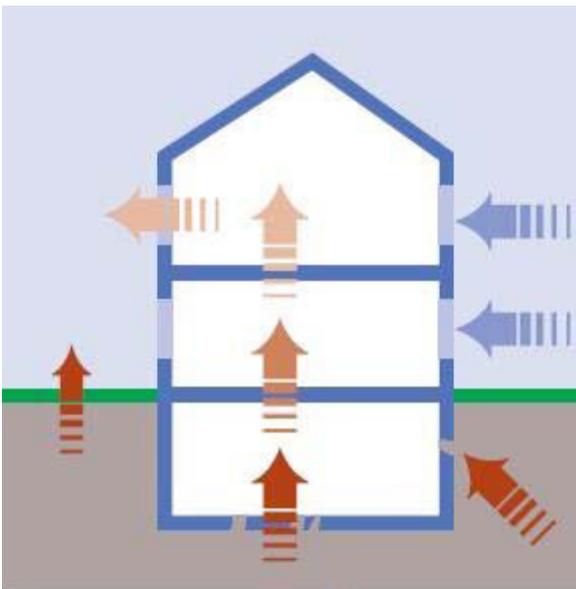


Abb. 3:
Der Luftaustausch zwischen Innen- und Außenluft verringert die Radonkonzentration im Innenraum.

Beschaffenheit des Untergrunds

Neben der Zusammensetzung von Boden und Gestein (Uran-, Radiumgehalt) spielen vor allem die Korngröße des Gesteins (Abgabe von Radon an die Bodenluft) und die Durchlässigkeit des Untergrunds (Weitertransport der radonhaltigen Bodenluft) eine wichtige Rolle (Abb. 4). Das Radonpotential ist bei Schuttkegeln und Hanglagen, verwittertem Granit, Karst- und Schotterböden in der Regel höher als bei sehr kompakten oder lehmhaltigen Böden.

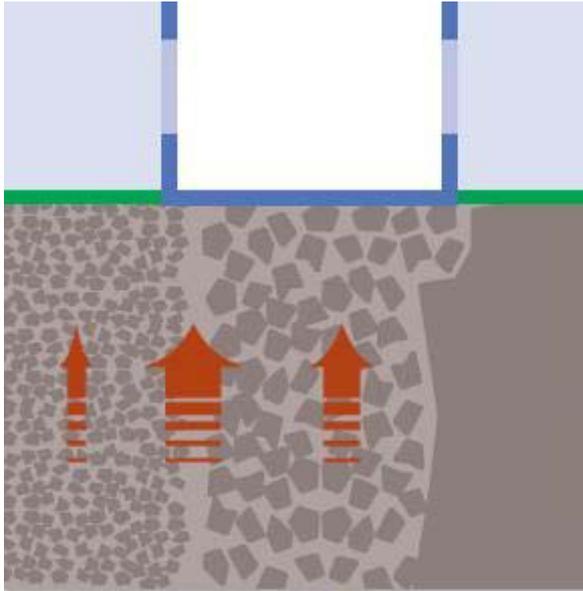


Abb. 4:
Bodenluft breitet sich in
Abhängigkeit von der
Beschaffenheit des Un-
tergrundes aus.

2.5 Energetische Sanierung und der Einfluss auf die Luftwechselrate

Ein großes Potential, Energie einzusparen und damit die Treibhausgasemissionen zu reduzieren, liegt in Deutschland mit 18 Mio. Wohngebäuden und 1,5 Mio. Nichtwohngebäuden im Gebäudebestand. Private und öffentliche Gebäude benötigen in Deutschland für Heizung, Warmwasser und Beleuchtung 40 % des gesamten Energieverbrauches, das entspricht fast 20 % des gesamten CO₂-Ausstoßes. Des Weiteren sind 75 % der Wohngebäude noch vor der ersten Wärmeschutzverordnung errichtet worden, größtenteils noch unsaniert und daher häufig in einem energetisch schlechten Zustand [9]. Dieses riesige Potenzial zu erschließen, haben sich auf Bundes- und Länderebene zahlreiche Förderprogramme angenommen.

Der Jahresprimärenergiebedarf in Wohn- und Nichtwohngebäuden soll nach EnEV 2009 im Vergleich zur letzten Fassung (2007) um durchschnittlich 30 % sinken [10]. Damit erhöhen sich die Ansprüche an die Wärmedämmung der Fassaden, der Decke und der Bodenplatte, an den Wärmeschutz der Fenster und insbesondere an die Luftdichtheit der Gebäudehülle.

Selbst bei geschlossenen Fenstern und Türen kann, sofern eine Luftdruckdifferenz zu beiden Seiten des Fensters oder der Tür besteht, immer Luft durch Fugen oder Bauteilübergänge strömen. Dieser sogenannte natürliche Luftaustausch ist aus mehreren Gründen unerwünscht: Einerseits entstehen unkontrollierte Lüftungswärmeverluste, die den Energieverbrauch des Hauses erhöhen. Andererseits kann warme, feuchte Luft aus dem Innenraum durch Undichtigkeiten in die kältere Bausubstanz eindringen, die mitgeführte Feuchtigkeit kondensieren und Bauschäden verursachen. Zuletzt bereiten zugige Bauteile vor allem im Winter ein unbehagliches Wohngefühl.

Ein Nachweis der Luftdichtheit ist zwar laut EnEV 09 nur für neue Gebäude vorgeschrieben, Bauherren wird jedoch empfohlen, auch bestehende Gebäude luftdicht zu sanieren. So werden Luftdichtheitsprüfungen (n₅₀-Test bzw. Blower-Door-Test) in vielen Fällen auch bei energetischen Gebäudesanierungen durchgeführt, um so Undichtigkeiten lokalisieren und beseitigen zu können. Gefundene Leckagen werden dann so lange abgedichtet, bis sich das gewünschte Messergebnis einstellt. So lassen sich in Gebäuden mit hohen energetischen Standards n₅₀-Werte von 0,6 pro Stunde und kleiner erreichen. Das bedeutet, dass die gesamte Raumluft der beheizten Innenräume maximal alle 100 Minuten ausgetauscht wird [11]. Bei alten Häusern mit alten Fenstern geschieht dies alle 30 bis 50 Minuten [12][13].

Der verminderte natürliche Luftaustausch in sanierten Gebäuden kann zu einer Anreicherung von Schadstoffen aus Baumaterialien oder Einrichtungsgegenständen in der Raumluft führen. Bei Untersuchungen zur raumlufthygienische Situation in energetisch sanierten Altbauten deuten die Ergebnisse darauf hin, dass der natürliche Luftwechsel in konventionellen Gebäuden ohne Lüftungsanlage offensichtlich häufig unterhalb des hygienisch als notwendig und zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in der Literatur für erforderlich gehaltenen Luftwechsels von ca. 0,3 bis 0,5 pro Stunde liegt [14].

Neben Wohnraumchemikalien, Schimmelpilzen und Kohlendioxidkonzentration spielt der verminderte Luftwechsel auch für das radioaktive Edelgas Radon eine entscheidende Rolle. Die Radonkonzentration kann nach Sanierungs- bzw. Modernisierungsmaßnahmen durch die verminderte Luftwechselrate an bestehenden Objekten deutlich höhere Werte annehmen. Untersuchungen, die in Sachsen vor und nach Sanierungen durchgeführt wurden, zeigen, dass sich die Radonkonzentration in Folge der Senkung des natürlichen Luftaustausches in etwa der Hälfte der Fälle um den Faktor zwei bis acht erhöht hat [15].

In der Regel beschränken sich Sanierungsmaßnahmen bei Altbauten auf Einzelmaßnahmen zur Reduzierung des Energieverbrauchs, wie z. B. den Einbau dichter Fenster und Türen und der Dämmung und Abdichtung der Gebäudehülle. Wenn im Zuge dieser Modernisierung die Zutrittswege für Radon nicht beachtet werden, steigt die Wahrscheinlichkeit, die Radonsituation im Gebäude zu verschlechtern, insbesondere dann, wenn sich das Gebäude in einer Region mit erhöhtem Radonpotential befindet.

Der Anstieg der Radonkonzentration nach einer energetischen Sanierung ist folglich auf die Kombination der beiden folgenden Faktoren zurückzuführen:

- Bei Baumaßnahmen zur Energieeinsparung werden die Radonzutrittswege in Gebäuden meistens vernachlässigt, so dass die ursprüngliche Menge an radonhaltiger Bodenluft weiterhin in das Gebäude eindringen kann.
- Die Dichtheit der Gebäudehülle sorgt dafür, dass sich Radon durch den verminderten natürlichen Luftaustausch mit der Außenluft in der Raumluft anreichern kann.

Weiterhin stellt eine fehlende oder nur teilweise existierende Unterkellerung, nicht betonierte Kellerböden aus Naturstein oder Lehm und Geschosdecken ohne Sperren ideale Ausbreitungswege für Radon dar. Diese Situation ist vor allem bei Häusern älterer Bauart anzutreffen.

2.6 Messung der Radonkonzentration

Integrierende Messungen

Die Messung der Radonkonzentration in Innenräumen erfolgt in der Regel mit sogenannten ortsgebundenen Exposimetern (passive Kernspurdetektoren, Abb. 5). Ein Exposimeter besteht aus einer Diffusionskammer, meist aus Kunststoff, in der ein passiver Kernspurdetektor angebracht ist. Dieser Detektor ist eine strahlungsempfindliche Kunststoffolie. Während der Messung diffundiert Radon in die Kammer. Das Radon und die innerhalb der Kammer entstehenden Zerfallsprodukte emittieren Alpha-Teilchen, die bei ihrem Auftreffen im Kunststoff der Detektorfolie unsichtbare Spuren hinterlassen. Nach der Messung wird die Detektorfolie durch die Messstelle entnommen und ausgewertet. In einer Ätzlösung entstehen aus den bislang unsichtbaren Spuren sichtbare Spuren, die unter einem Mikroskop gezählt werden. Die Anzahl der Spuren pro Flächeneinheit ist ein Maß für die Höhe der Radonexposition der Folie. Daraus wird die mittlere Radonkonzentration im Messzeitraum unter Berücksichtigung der Messzeit von der Messstelle ermittelt. Um eine Exposition vor der Messung zu vermeiden, werden die Exposimeter von der Messstelle in radondichte Folie verpackt versandt.



Abb. 5:
Ortsgebundenes Expo-
simeter.

Optimal ist eine Messdauer von einem Jahr, um die jahreszeitlichen Schwankungen zu berücksichtigen. Eine kürzere Messdauer sollte wenigstens zwei bis drei Monate betragen und vorzugsweise in der Heizperiode liegen. Im vorliegenden zweijährigen Untersuchungsvorhaben wurde die Messdauer aus Zeitgründen auf drei Monate beschränkt.

Zeitaufgelöste Messungen

Neben den Exposimetern wurden zwei Arten von aktiven, elektronischen Geräten zur Messung der Radonkonzentration in der Raumluft eingesetzt: der „AlphaGuard“ und der „Radon Scout“ (Abb. 6). Diese Geräte bestimmen den Verlauf der Radonkonzentration in Abhängigkeit von der Zeit. Neben der Radonkonzentration werden weitere Parameter wie Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Luftdruck erfasst.

Der AlphaGuard besitzt eine Ionisationskammer, die entweder durch Diffusion oder mit Hilfe einer externen Pumpe kontinuierlich befüllt wird. Um die Radonkonzentration in der Raumluft über einen längeren Zeitraum zu messen, arbeitet das Gerät mittels Diffusion und zeichnet die Werte in vom Nutzer bestimmten Zeitabständen auf. Mit Hilfe der Pumpe besteht die Möglichkeit, durch ein sogenanntes „sniffing“ Radonquellen ausfindig zu machen. Dabei wird das Gerät so positioniert, dass der Ansaugschlauch der Pumpe direkt über potentielle Radonzutrittswege, z. B. Löcher und Fugen im Boden, die Luft ansaugt und in die Ionisationskammer pumpt. Durch die gemessene Radonkonzentration in der angesaugten Luft kann ermittelt werden, ob durch die Öffnungen radonhaltige Bodenluft in den Raum strömt. So können Radonquellen bzw. Radonzutrittswege lokalisiert werden.

Der Radon Scout besitzt eine dem AlphaGuard ähnliche Messkammer, die aber kleiner ist und ausschließlich mittels Diffusion befüllt wird. Der Radon Scout bietet den Vorteil, dass er durch sein handliches Maß und Gewicht auch per Post verschickt werden kann.



Abb. 6: AlphaGuard (links) und Radon Scout (rechts).

3 Untersuchungsstrategie

3.1 Auswahl öffentlicher Gebäude

Im ersten Schritt des Untersuchungsvorhabens wurden öffentliche Gebäude ermittelt, die im Rahmen des bayerischen Klimaprogramms Fördergelder für eine energetische Sanierung erhalten. Die Internetseiten der einzelnen Regierungsbezirke in Bayern bieten Informationen über öffentliche Gebäude, die energetisch saniert werden, darüber hinaus sind dort detaillierte Einsichten über Antragsteller, Investitionsort, Maßnahmen, Gesamtkosten, Fördersumme, Baubeginn usw. zu erhalten.

Die Vorauswahl der Gebäude erfolgte nach folgenden Kriterien:

- Die Sanierung musste innerhalb des Jahres 2010 stattfinden, um Messungen vor der Sanierung Anfang 2010 und nach der Sanierung Anfang 2011 zu ermöglichen
- Die Auswahl sollte möglichst repräsentativ für Bayern sein, aber dennoch den Schwerpunkt auf Gebiete mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft setzen
- Gebäude, die umfangreich energetisch saniert werden, nicht nur mittels Einzelmaßnahmen.
- Gebäude mit einer überschaubaren Gebäudestruktur, also eher Rathäuser und Gemeindehäuser als große komplexe Gebäude wie Krankenhäuser, Schulen, Hochschulgebäude etc.
- Gebäude von gleicher Größe und Funktion waren gesucht um Parallelen zu erkennen

Die 70 Gemeinden und Städte der so ausgewählten 72 Gebäude wurden telefonisch kontaktiert und über das Untersuchungsvorhaben „Radon in Innenräumen – Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern“ informiert. Nach dem Zusenden weiterer Information zu Zweck und Ziel des Untersuchungsvorhabens und Informationsmaterial zu Radon in Gebäuden, wurde um Teilnahme am Untersuchungsvorhaben gebeten.

Von den 70 Gemeinden zeigten etwa zwei Drittel ein hohes Maß an Interesse. Jedoch konnten aus folgenden Gründen nicht alle Gemeinden am Untersuchungsvorhaben teilnehmen:

- Manche Gemeinden zögerten, meldeten sich zu spät oder die Sanierungsmaßnahmen wurden verschoben/fallengelassen.
- Die Finanzierung war noch nicht sicher oder das Bauvorhaben war langfristiger geplant.
- Einige Gebäude werden, anders als ursprünglich geplant, nur minimal energetisch saniert (z.B. ausschließlich neuer Dachstuhl), so dass andere, umfassendere Sanierungsmaßnahmen für die Untersuchung bevorzugt wurden.
- Öffentliche Gebäude sollten relativ oft frequentiert werden und eine gewisse Präsenz und Gewichtung haben. Dies war nicht immer der Fall, wie z.B. bei nur ein- oder zweimal pro Woche genutzten Hallen.

Letztlich wurden 30 Gemeinden mit 31 öffentlichen Gebäuden ausgewählt. Sie liegen v.a. im Bayerischen Grundgebirge von Hof bis Passau aufgrund des Urangehalts im Gestein und im Voralpenland aufgrund örtlich hoher Radonkonzentrationen.

3.2 Vorgehensweise vor der Sanierung

Auswahl der Messorte

Die Anzahl der eingesetzten Exposimeter für das jeweilige Gebäude richtete sich vor allem nach der Anzahl der Räume und deren Nutzungszweck, weiterhin nach der Größe, Struktur und Komplexität des jeweiligen Bauwerks, z.B. ob das Gebäude ganz oder nur teilweise unterkellert ist.

Arbeitszimmer mit längeren Aufenthaltszeiten wurden Archiven, Registraturen etc. mit gewöhnlich kürzeren Aufenthalten für eine Messung vorgezogen. In der Regel wurden pro Gebäude drei bis sechs Exposimeter verschickt bzw. vor Ort ausgelegt. Die erste Messreihe fand von Oktober 2009 bis Januar 2010 in den insgesamt 31 Gebäuden statt. Die Auswahl der Messorte innerhalb des Gebäudes wurde mit der entsprechenden Kontaktperson diskutiert und getroffen. Da die höchsten Werte in den unteren Etagen eines Gebäudes zu erwarten sind und die Konzentrationen normalerweise nach oben hin abnehmen, wurden in der Regel je zwei Exposimeter im Keller und im Erdgeschoss sowie ein weiteres im 1. OG platziert. In Gebäuden, die z.B. mit nur einem einzigen Kellerraum eine einfachere Gebäudestruktur aufweisen, wurden dementsprechend weniger Exposimeter ausgelegt.

Zuschicken der Exposimeter und Fragebögen

Nach dem Einverständnis der Kontaktpartner wurden Exposimeter mit einer Messanleitung (Anhang I), je einem Begleitprotokoll pro Exposimeter (auf dem der Messzeitraum und der genaue Aufstellungsort festgehalten werden – Anhang II) und einem Fragebogen zu dem Zustand und der Verhaltensweise in den jeweilig zu messenden Räumen (Anhang III) per Post verschickt.

Auf einem zusätzlichen Fragebogen wurden Angaben zum Zustand des Gebäudes, z. B. der Unterkellerung, der Bodenplatte und der Feuchtigkeit, festgehalten (Anhang IV).

Ortseinsichten und Detailuntersuchungen

Es wurden zwölf Ortseinsichten durchgeführt. Bei fünf davon wurden Detailuntersuchungen mit zeit-aufgelösten Messungen vorgenommen. Viele der Ortseinsichten sowie eine Auswahl der Gebäude, die genauer untersucht werden sollten, erfolgte vor der Rücksendung und Auswertung der Exposimeter, da die Erhebungsmessungen mindestens drei Monate zuzüglich weiterer zwei Monate für die Auswertung beanspruchen.

Die Kriterien für die Auswahl der fünf Detailuntersuchungen waren eine umfassende energetische Sanierung der jeweiligen Gebäude, um die typischen Sanierungsmaßnahmen begleiten und ihren Einfluss auf die Radonkonzentration messen zu können, sowie die Bereitschaft der Kontaktpersonen, die Sanierungsmaßnahmen begleiten, beobachten und beschreiben zu lassen.

In der Regel wurden drei Radon Scouts bei den Detailuntersuchungen im jeweiligen Gebäude aufgestellt und nach zwei bis drei Wochen von der Kontaktperson zurückgeschickt. Außerdem wurde in allen detailliert untersuchten Häusern mit Hilfe eines AlphaGuards nach Radonzutrittspfaden gesucht.

Die Detailuntersuchungen selbst ergaben ein präziseres Bild des Gebäudes mit seinen baulichen, technischen und infrastrukturellen Besonderheiten, zudem konnten die geplanten und teils schon ausgeführten Einzelmaßnahmen der energetischen Sanierung genauer untersucht werden. Zusätzlich zu den Daten auf dem Fragebogen (Anhang IV) wurden im Gespräch mit der Kontaktperson vor Ort weitere Daten zum Gebäude erfasst, wie Nutzung, Baujahr, Bauweise, Baumaterial, Baugrund etc. Anschließend wurde das jeweilige Gebäude in seiner Aufteilung, Struktur und Substanz detailliert untersucht, wobei vor allem die folgenden typischen Radonzutritts- und Radonausbreitungswege von besonderem Interesse waren:

- Beschaffenheit des Fundaments: z. B. durchgehende Bodenplatte, Streifenfundament
- Durchlässigkeit bzw. Abdichtung des Kellerbodens: gefliest und verfugt, Naturboden, Durchlässe wie Gullys, Abwasserrohre etc.
- Durchlässigkeit bzw. Abdichtung der Kellerwände: Strom- und Telefonleitungen, Zu- und Abwasserrohre etc.
- Kellerdecke: Abdichtung der Durchführungen
- Lüftungssituation im Keller: Fenster, Schächte etc.
- Kellerzugang: außen oder innen, offenes Treppenhaus, abgetrennter Kellerzugang, Zustand der Kellertüren
- Heizungstechnik: Verteilungsrohre, Kaminschächte, Luftzufuhr für den Verbrennungsvorgang
- Unterdruckerzeugende Elemente wie Kamin, Ofen, Abluftanlagen etc.
- Geplante Sanierungsmaßnahmen: Wärmedämmung, Fenster, Lüftungstechnische Anlagen, neue Heizungsanlage

Neben der Besichtigung der jeweiligen Gebäude und den Auskünften des Geschäftsleiters bzw. des anwesenden Architekten wurden weitere Informationsquellen herangezogen, wie z. B. Baubeschreibungen, Pläne, Grundrisse und Schnitte sowie Energieberaterberichte. Das dadurch gewonnene Gesamtbild des Gebäudes ermöglichte eine grundsätzliche Erfassung möglicher Radoneintrittspfade und eine erste Abschätzung der Radonsituation.

3.3 Vorgehensweise nach der Sanierung

Zuschicken der Exposimeter

Um eine Aussage über die Veränderung der Radonkonzentration durch die Sanierung machen zu können, sind mindestens zwei Messungen nötig: vor und nach der Sanierung. Die zweite Messung sollte im folgenden Jahr möglichst zur gleichen Jahreszeit stattfinden, um gleiche bzw. ähnliche klimatische Bedingungen und ähnliches Lüftungsverhalten vorzufinden und damit einen besseren Vergleich zu ermöglichen. Dies war oft nicht möglich, da die Sanierungsmaßnahmen meistens länger dauerten und aus zeitlichen Gründen die Messung daher im Frühling bis Spätherbst 2011 erfolgen musste.

Nach Abschluss der Sanierungsmaßnahmen und telefonischer Absprache wurden wieder Exposimeter mit Messanleitung (Anhang I) und Begleitprotokolle auf dem der Messzeitraum und der genaue Aufstellungsort festgehalten werden (Anhang II) verschickt.

Da eine räumliche Umgestaltung oft Auswirkungen auf die Zimmer hatte (z. B. bei einer neuen Trennwand oder einer Raumvergrößerung), wurden für die Messung nach der Sanierung die alten Zimmerbezeichnungen beibehalten und möglichst der gleiche oder ein naher Auslegeplatz für das Exposimeter ausgesucht. Die Nutzungs- und Verhaltensänderungen wurden während den Ortseinsichten vermerkt.

Ortseinsichten und Fragebögen

Es wurden 28 Ortseinsichten durchgeführt, aus zeitlichen Gründen leider manchmal während der Sanierung und meistens ohne schon die Ergebnisse der Messung nach der Sanierung zu kennen. Eine Gemeinde wollte keine Ortseinsicht, eine Gemeinde ist mit der energetischen Sanierung voraussichtlich erst im Frühjahr 2012 fertig.

Die Ortseinsichten nach der Sanierung dienten der Bestandsaufnahme der Sanierungsmaßnahmen. Während der Ortseinsicht wurden der Fragebogen zu den Sanierungsmaßnahmen, z. B. zu Fenstern, Dachdämmung und Heizungsanlage (Anhang V) ausgefüllt sowie die Ergebnisse der Erhebungsmessungen diskutiert.

Zudem wurden Nutzungs- und Verhaltensänderungen besprochen. Da viele Fragen, z. B. nach dem Belüftungsverhalten oder der Frequenz der Raumnutzung, unterschiedlich interpretiert wurden, wurde der Fragebogen zu dem Zustand und der Verhaltensweise in den jeweilig zu messenden Räumen (Anhang III) diesmal nicht per Post verschickt, sondern während der Ortseinsichten ausgefüllt. Auch der Fragebogen (Anhang IV) zum Zustand des Gebäudes wurde vervollständigt.

Durch Besprechung und Führung mit dem Ansprechpartner der Gemeinde wurde ein Verständnis für die auszufüllenden Fragebögen erzeugt. Oft war eine Maßnahme oder Eigenschaft auf den Fragebögen nur bedingt erfüllt und konnten nicht nur angekreuzt oder mit Schlagwörtern ausgefüllt, sondern mussten erläutert werden.

Wiederholungsmessungen nach der Sanierung

Wiederholungsmessungen wurden mit Exposimetern, Radon Scouts und AlphaGuard aus folgenden Gründen durchgeführt:

- Nicht für alle Gebäude konnten sowohl vor als auch nach der energetischen Sanierung die Radonmessungen erfolgreich durchgeführt werden. Viele Exposimeter gingen trotz Hinweisblatt im Verlauf der Messungen verloren: Putzfrauen, Hausmeister, Veranstaltungsplaner und nicht informierte Mitarbeiter entfernten die Geräte. Dies führte zu zusätzlichen Messungen.
- Bei der Ortseinsicht nach der Sanierung wurden manchmal aufgrund der Ergebnisse der ersten Messung andere interessante Räume gefunden, die mit einer Messung nach der Sanierung zusätzlich mit eingebunden wurden.
- Der Einfluss einer dezentralen Belüftungsanlage mit Wärmetauscher auf die Radonkonzentration wurde mit einem AlphaGuard im Zeitraum von einem Monat genauer untersucht.
- Bei vier Gemeinden wurden zeitaufgelöste (ca. drei Wochen), bei zwei Gemeinden integrierende Wiederholungsmessungen (ca. sechs Wochen) durchgeführt. Diese Messungen wurden unter gleichen Witterungsbedingungen wie bei den Erhebungsmessungen durchgeführt.

Nutzungs- und Verhaltensmuster wurden auch bei allen Wiederholungsmessungen genau protokolliert.

4 Untersuchungsergebnisse

4.1 Gebäudestruktur vor der Sanierung

Die Auswertung der Fragebögen zu Zustand und Konstruktion der Gebäude, die bei allen 31 Gebäuden mitgeschickt bzw. bei den Ortseinsichten ausgefüllt wurden, findet sich in Anhang VI. Einige Fragebögen wurden nicht bzw. nur unvollständig ausgefüllt zurückgeschickt. Lücken wurden während der Ortseinsicht nach der Sanierung so gut wie möglich gefüllt.

Die Besuche vor Ort und die Fragebögen zeigten, dass die Gebäude sehr unterschiedlich sind: Das älteste Gebäude wurde 1697 erbaut, die jüngeren stammen aus den 80ern des 20. Jahrhunderts. Ebenso ungleich fallen die verwendeten Baumaterialien aus, obwohl es sich ausnahmslos bei allen untersuchten Gebäuden um Massivbauten handelt.

Wie üblich in Bayern bestehen die meisten Außenwände der Gebäude aus Ziegel, bei älteren Gebäuden und Gebäuden in Ostbayern und im Voralpenland sind häufig Natursteine mit verbaut (Granit, große Geröllsteine etc.). Die Innenwände sind meistens aus Ziegel oder Beton, selten aus oder mit Holz oder Naturstein.

Beim Zustand der Keller zeigten sich ebenfalls große Unterschiede: In den Gebäuden, die ab den 1950er Jahren errichtet wurden, wurde in den untersuchten Fällen ein relativ guter Zustand des Kellerbodens vorgefunden, d. h. der Kellerboden ist in der Regel gefliest und gut verfugt bzw. mit PVC ausgelegt. Bei jüngeren Gebäuden finden sich im Fundamentbereich häufiger durchgehende Stahlbetonplatten, dagegen weisen ältere Gebäude häufig ein Streifenfundament mit einem durchlässigen, z. B. mit Natursteinplatten ausgelegten Boden auf. Die meisten Gebäude haben einen Keller, gut die Hälfte davon sind teilunterkellert. Die Böden in den oberen Stockwerken sind hauptsächlich Beton-, selten auch Holzböden. Die Böden im Dachgeschoss sind fast immer aus Holz.

Bei genaueren Untersuchungen der Keller und der darüber liegenden Stockwerke war bei vielen Gebäuden besonders auffällig, dass häufig nachträglich EDV- bzw. Internet-Kabel zwischen den Stockwerken verlegt wurden. Diese Durchbrüche bzw. Bohrungen wurden in keinem der untersuchten Gebäude nachträglich abgedichtet. Hier besteht eine direkte Luftverbindung zwischen den einzelnen Stockwerken, was eine Radonausbreitung in darüber liegende Etagen erheblich vereinfacht.

Die alten Fenster waren Holzfenster, selten auch alte Kunststofffenster (zwei Gebäude) oder Alufenster (vier Gebäude). Alle Fenster waren über 15 Jahre alt, die meisten mehr als 30 Jahre alt. Viele alte Fenster waren ziemlich undicht bzw. verschoben oder hatten keine Dichtungen.

4.2 Sanierungsmaßnahmen

Die Maßnahmen der energetischen Sanierungen in den untersuchten öffentlichen Gebäuden umfassten eine weite Bandbreite. Die Wesentlichen sind in Anhang VII aufgelistet. Die Sanierungsmaßnahmen begannen bei den ausgewählten 31 Gebäuden zwischen Ende 2009 und Ende 2010. Der Abschluss wurde Ende 2010 bis Frühjahr 2011 erwartet. Die meisten Sanierungsmaßnahmen endeten jedoch erst zwischen April und November 2011. Verzögerungen bei Baumaßnahmen, besonders bei Sanierungsmaßnahmen, sind allgemein üblich und haben den Zeitablauf des Untersuchungsvorhabens erheblich beeinflusst.

Nicht alle energetischen Sanierungsmaßnahmen sind schon abgeschlossen. Für einige Maßnahmen ist die Finanzierung noch nicht beschlossen. Manche Gemeinden planen noch neue Heizöfen, Brenner oder sogar Aufdachdämmungen und Wanddämmungen.

Fenster

Der Fenstertausch ging immer mit anderen Maßnahmen einher. Bei 27 Gebäuden wurden mindestens ein Teil der Fenster ausgetauscht, nur wenige jedoch zur Gänze. Bei fünf Gebäuden wurden in alle oder einen Teil der alten Fensterrahmen neue Dichtungen eingeklebt und effiziente Scheiben eingepasst. Die neuen Fenster sind Kunststofffenster (16 Gebäude), Holz-Aluminium-Fenster oder reine Holzfenster (15 Gebäude). Es gab auch Gebäude, bei denen Kunststoff- und Holzfenster im gleichen Gebäude eingebaut wurden. Bei einem Gebäude wurde zu neuen energieeffizienten Aluminiumfenstern gewechselt. Über zwei Drittel der neuen Fenster sind dreifachverglast.

Die Fenster wurden fast immer in ihren Fugen gelassen, selten nach außen verrückt. Außenwinkelmontage oder eine partielle Einbettung der Fenster in die Außendämmung gab es nicht.

Wanddämmung

24 Gebäude bekamen durch die Sanierungsmaßnahmen eine Außendämmung oder zumindest wurde ein Teil der Fassade gedämmt. Meistens wurde mit Polystyrol gedämmt, zweimal mit Mineralwolle, je einmal mit Polyurethan, Holzfaserplatten oder perlitgefüllten Ziegeln. Standardstärke der Polystyrol-dämmung war zwischen 12 und 18 cm. Ein Gebäude hat keine Außendämmung bekommen, dafür einen mehrere Zentimeter dicken Wärmedämmputz.

Die Tiefe der Außendämmung variiert unter den Gebäuden von knapp über dem Bodenniveau bis etwa ein Meter darunter. Perimeterdämmung wurde einmal vollständig und zweimal partiell angebracht.

Innendämmung wurde partiell bei vier Gebäuden angewendet. Dabei handelt es sich um Kalziumsilikatplatten, um Cellulose oder Vakuumdämmplatten. Sie wurde bei einem Gebäude vollständig an den Zimmeraußenwänden und Decken angebracht, um die Außenfassade zu belassen, bei einem weiteren Gebäude nur für die Kellerdecke und bei den zwei übrigen Gebäuden nur für einzelne Elemente, wie z.B. bestimmte Zimmerwände und für die Heizkörpernischen verwendet.

Dachdämmung

Bei 26 Gebäuden wurde der Dachboden oder das Dach gedämmt. Im Zuge der Dachdämmung wurde der davor kaltstehende Dachboden meistens zu Arbeits- und Besprechungsräumen ausgebaut. Oft kamen Hybridversionen zustande: Einzelne Zimmer wurden in den Dachboden eingebracht, z. B. wurden beim mehreren Gebäuden Archive aus dem Keller in die trockenen Dachböden verlegt, so dass viele Teile vom Dachboden und vom Dach gedämmt wurden. Jeweils für Dach und/oder den Dachboden kann eine Einteilung zwischen Aufdämmung (vollständige Verdeckung mit druckfestem Dämmstoff) und Zwischensparren-/Kehlbalkendämmung (dämmendes Füllmaterial mit Holzfaser- oder Holzverkleidung) gemacht werden (siehe Anhang VII).

Die am häufigsten verwendeten Materialien für eine Zwischensparrendämmung und Dämmung des Bodens waren Glaswolle, Steinwolle, Cellulose oder intrudiertes Polystyrol, für eine Aufdachdämmung oder Dämmung auf dem Dachboden intrudiertes Polystyrol, Holzfaser- oder PU-Platten.

Andere Maßnahmen

Bei 16 Gebäuden wurden entweder eine oder mehrere Außentüren erneuert. Die neuen Außentüren sind alle relativ luftdicht. Bei zwei Gebäuden wurde ein automatisch öffnender Windfang installiert, bei einem weiteren Gebäude ein nicht-automatischer Windfang. Zwei Gebäude haben zusätzliche Feuer-schutztüren erhalten. Bei drei Gebäuden wurde das Treppenhaus durch die Sanierung ganz oder teilweise von den Stockwerken abgetrennt.

Im Zuge der energetischen Sanierung gab es noch zahlreiche kleinere Baumaßnahmen: neue Elektrik wurde installiert, Löcher und Fugen abgedichtet, neue Leitungsdurchgänge geschaffen, Kellerböden

gefließt, Wände verputzt und Innenwände entfernt oder neu gezogen. Bei zwei Gebäuden wurde sogar das ganze Erdgeschoss neu strukturiert, hierbei wurden auch eine Außentür und zwei Fenster zugemauert. Zwei Gebäude wurden durch Anbauten erweitert.

Zwölf Heizungsanlagen wurden ausgetauscht. Die neuen Anlagen sind hauptsächlich Pellet- und Hackschnitzelheizungen, eine Gasheizung und ein Ölbrenner wurden durch modernere Geräte des gleichen Typs ersetzt. Ein Fernwärmeanschluss war schon vor der Sanierung vorhanden, zwei Gebäude wurden im Zuge der Sanierung an eine Fernwärmeleitung angeschlossen. Bei einem Gebäude wurden komplett neue Leitungen für die Heizkörper gelegt, bei vielen Gebäuden wurden einzelne Heizkörper ausgetauscht oder Leitungen ersetzt und gedämmt.

Ein dezentrales Belüftungssystem mit Wärmetauscher wurde nur in einem Gebäude installiert.

Kombinationen von Sanierungsmaßnahmen

Bei fast allen Gebäuden wurde nicht nur eine Sanierungsmaßnahme durchgeführt, sondern mehrere Maßnahmen kombiniert.

Die meisten Gebäude wurden mit neuen Fenstern, Außendämmung und Dachdämmung saniert (20 Gebäude). Nur bei drei dieser Gebäude wurden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt, wie z. B. Einbau dichter Außentüren, Änderungen des Innengrundrisses sowie Einbau neuer Kabelschächte oder einer neuen Heizung.

Bei sechs Gebäuden wurden die Fenster ersetzt und entweder eine Außen- oder eine Dachdämmung angebracht. Nur bei einem dieser Gebäude wurden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt.

Lediglich bei zwei Gebäuden wurden keine Dämmmaßnahmen durchgeführt, so dass sich die Sanierungsmaßnahmen fast ausschließlich auf einen Fenstertausch beschränkten. Bei zwei weiteren wurden Dämmmaßnahmen durchgeführt und die alten Fenster beibehalten. Aber auch hier wurden bei allen Gebäuden jeweils weitere Maßnahmen durchgeführt.

4.3 Messwerte der Radonkonzentrationen

Im Anhang VIII sind alle erfolgreich ausgewerteten Messergebnisse zusammengefasst. Die Messwerte der Radonkonzentrationen vor und nach der Sanierung sind in Abb. 7 gegenübergestellt. Es wurden nur Räume mit zwei Messergebnissen (vor und nach der Sanierung) berücksichtigt. Einzelne Messungen, zeitaufgelöste Messungen oder Wiederholungsmessungen nach der Sanierung wurden nicht einbezogen. Die verschiedenen Stockwerke werden im Weiteren wie folgt abgekürzt: KG – Kellergeschoss, EG – Erdgeschoss; OG – 1. Obergeschoss.

Der Median vor und nach der Sanierung beträgt im Keller 120 Bq/m³ bzw. 100 Bq/m³, im Erdgeschoss 63 Bq/m³ bzw. 56 Bq/m³ und im 1. Obergeschoss 46 Bq/m³ bzw. 32 Bq/m³.

Abb. 7 zeigt, dass sich die Radonkonzentration nach der Sanierung weder im Median noch in den mittleren 50 % der Messwerte („Box“) oder im Minimum signifikant von derjenigen vor der Sanierung unterscheidet. Eine Tendenz zu niedrigeren Werten nach der Sanierung ist jedoch ersichtlich.

Abb. 7 zeigt auch, dass die Radonkonzentration im Keller am höchsten ist und erwartungsgemäß zu den oberen Stockwerken hin abnimmt. Darüber hinaus nehmen auch die Schwankungsbreite und die Höhe der Box ab. Die Lage der Box befindet sich am unteren Ende der Schwankungsbreite, d. h. es gibt jeweils nur wenige hohe Messwerte.

Im Keller befinden sich mit nur einer Ausnahme in allen Gebäuden keine Büroräume bzw. Räume mit längeren Aufenthaltszeiten. Die Kellerräume werden überwiegend genutzt als Lagerräume (Archive, Registraturen, Materiallager usw.), Technikräume (Heizung, Elektroverteilung usw.), Sozialräume und weitere Räume mit geringer bis sehr geringer Aufenthaltsdauer.

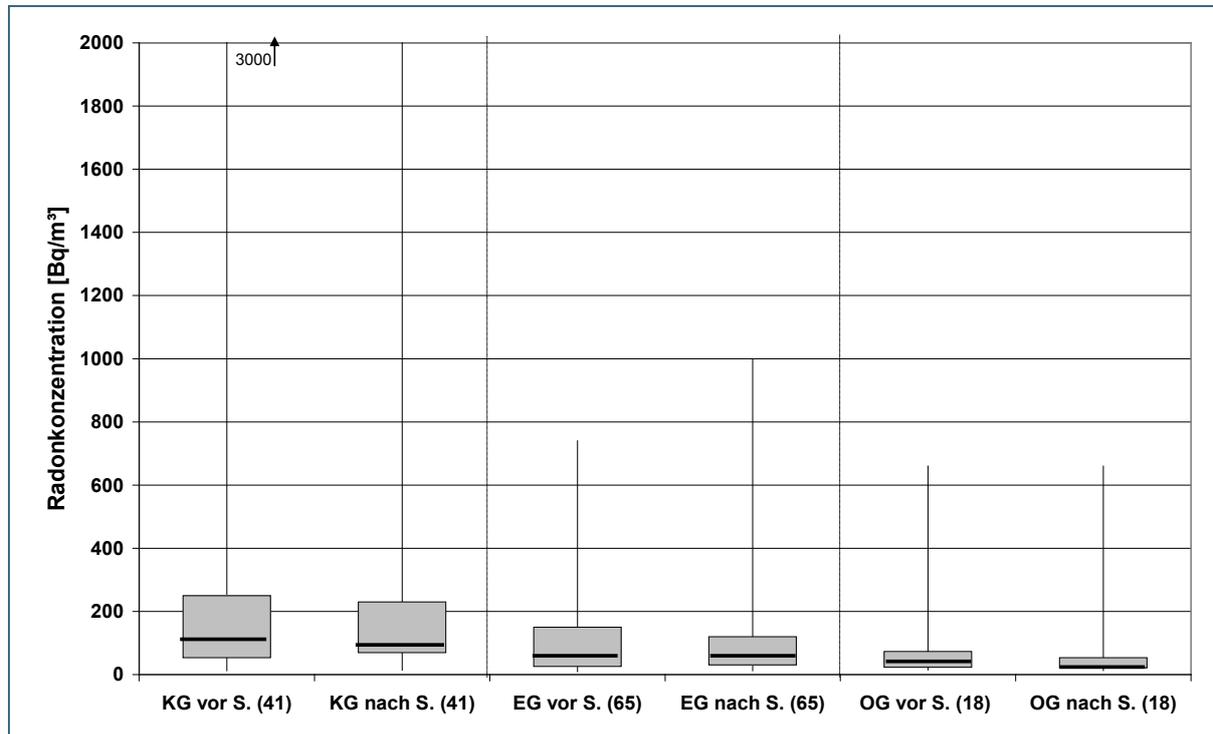


Abb. 7: Box-und-Whisker-Plot¹ der mittleren Radonkonzentration von 26 Gebäuden nach Sanierungsstand und Stockwerk. In Klammern ist die Anzahl der Räume angegeben, in denen im entsprechenden Stockwerk eine Messung durchgeführt wurde (S.: Sanierung).

Eine Abhängigkeit der Radonkonzentrationen in den einzelnen Gebäuden von der Radonkonzentration in der Bodenluft (Abb. 1) ist nicht ersichtlich. Bei den Gebäuden stellen daher Zustand, Baujahr und Nutzung die größeren Einflüsse dar.

Die Messungen wurden teilweise in unterschiedlichen Jahreszeiten durchgeführt. Die Messungen nach der Sanierung erfolgten tendenziell in der wärmeren Jahreszeit. Sie sind daher oft geprägt von intensiverem Lüften aufgrund der durchschnittlich höheren Außentemperaturen und der durch die Sanierung gestiegenen Wandfeuchte in den Gebäuden. Die Radonkonzentration nach der Sanierung ist in diesen Fällen nicht nur von den Sanierungsmaßnahmen, sondern auch von den geänderten Lüftungsgewohnheiten beeinflusst. Eine Gegenüberstellung der Radonkonzentration in Räumen, die vor und nach der Sanierung ähnlich gelüftet wurden, zeigt Abb. 8.

Unabhängig von den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen, dem Messzeitraum, der Intensität des Lüftens und dem Geschoss ist bei gleichem Lüftungsverhalten nach der Sanierung ein Anstieg der Radonkonzentration zu erkennen. Der Median der Radonkonzentration ist bei ungelüfteten Räumen von 69 Bq/m³ auf 150 Bq/m³ angestiegen, bei selten gelüfteten Räumen von 81 Bq/m³ auf 84 Bq/m³ und bei häufig gelüfteten Räumen von 37 Bq/m³ auf 74 Bq/m³.

¹ In einem „Box-und-Whisker-Plot“ werden die Extremwerte (Maximum und Minimum) einer Verteilung von (Mess-)Werten durch die Enden der Whisker dargestellt. Die obere Grenze der Box gibt das 75 %-Perzentil, die untere das 25 %-Perzentil an. Die Box umfasst damit die mittleren 50 % der Werte der Verteilung. Zusätzlich ist der Median (50 %-Perzentil) eingetragen.

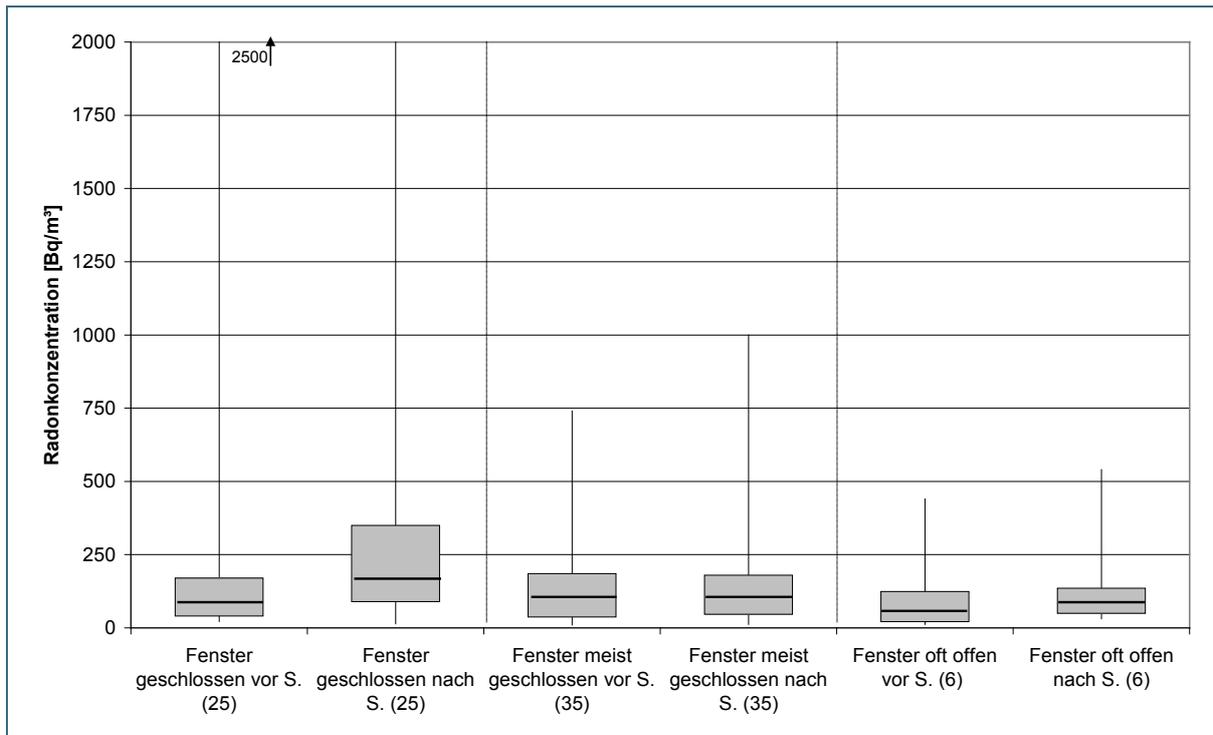


Abb. 8: Box-und-Whisker-Plot der mittleren Radonkonzentration von Räumen mit gleichen Lüftungseigenschaften (L.) vor und nach der Sanierung (S.).

4.4 Beispiele für verschiedene Sanierungsmaßnahmen

Im Folgenden werden einige der untersuchten Gebäude detailliert vorgestellt. Zuerst sind jeweils die Sanierungsmaßnahmen in einer Tabelle aufgelistet. Im Anschluss wird die Radonkonzentration vor und nach der Sanierung beschrieben und graphisch dargestellt. Zur Unterscheidung der Gebäude wird eine fünfstellige Nummer verwendet. Die verschiedenen Räume werden nach Nutzung und Aufenthaltszeit unterschieden in Büro (lange Aufenthaltszeit), Nutzraum (geringere Aufenthaltszeit; z. B. Archiv, Abstellraum, Waschraum, Sozialraum, Sitzungssaal) Heiz- bzw. Heizvorraum sowie Eingangsbereich und Treppenhaus.

Um das Ausmaß der Lüftung in den verschiedenen Räumen zu verdeutlichen, ist die Radonkonzentration in den folgenden Kapiteln sowie in Anhang VIII und Anhang IX farblich betont. Die verschiedenen Farben heben die Belüftungseigenschaften, die im Fragenbogen (Anhang III) ermittelt wurden (durch offene Fenster, im geringeren Maße durch den Durchgangsverkehr und offene Türen), hervor: Fenster und Türen sind...

	... oft offen
	... meist geschlossen
	... geschlossen

4.4.1 Gebäude 54003: Neue Fenster, Außenwand- und Aufdachdämmung, neue Eingangstür, neues Heizsystem, neuer Anbau

Gebäude 54003 wurde saniert mit einem kompletten Fenstertausch (Kunststoffrahmen und 3-Scheiben-Verglasung), einer Aufdachdämmung mit Polyurethan-Platten, einer Außenwanddämmung mit Perimeterdämmung, einem Wechsel des Heizsystems (Öl zu Hackschnitzel) und einer neuen Außen- tür. Zusätzlich wurden die Innenstruktur und die Nutzung der Räume im Erdgeschoss durch neu ge-

zogene Wände geändert. Ein Anbau vervollständigt die Sanierung. Neue EDV- und Stromkabel wurden nicht nur im Anbau, sondern auch im Keller verlegt. Dies fördert die Durchgängigkeit im Keller.

Abb. 9 zeigt die Radonkonzentrationen vor und nach der Sanierung. Sie sind insgesamt niedrig. Die Sanierungsmaßnahmen bewirken einen Anstieg der Radonkonzentration. Ausnahmen sind der KG Heizraum und der angrenzende KG Nutzraum 1. Diese Räume sind gut durchlüftet. Grund sind die gesteigerten Ansprüche an die Raumbelüftung des neuen Hackschnitzelofens. Das Fenster im KG Heizraum ist seit der Sanierung durchgehend geöffnet.

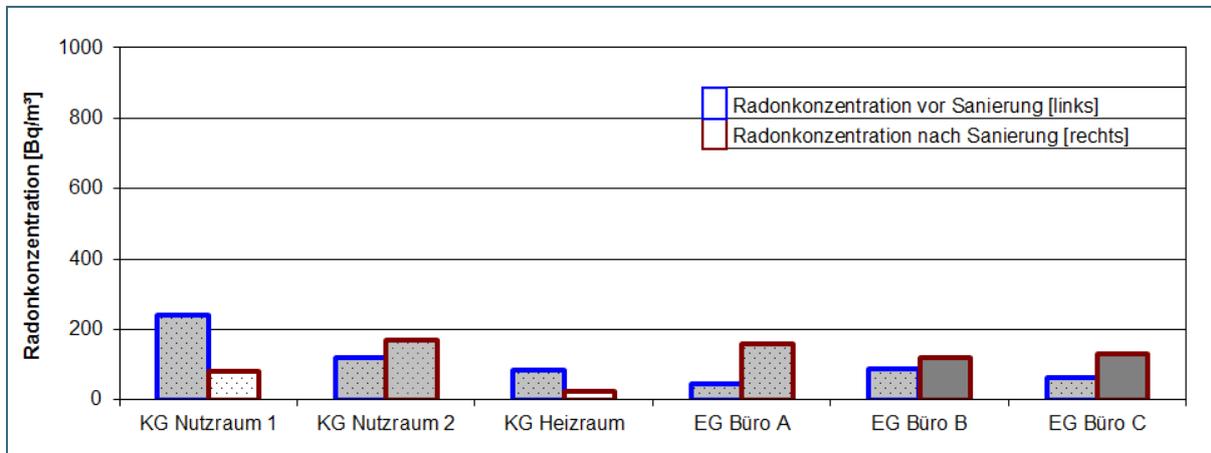


Abb. 9: Radonkonzentration im Gebäude 54003 vor und nach der Sanierung.

4.4.2 Gebäude 54004: Neue Fenster, Wärmedämmputz und Änderung der Innenstruktur

Im Gebäude 54004 wurden alle Fenster ausgetauscht. Auf eine Außendämmung wurde verzichtet und ein Wärmeputz angebracht. Zusätzlich wurden im Erdgeschoss einige Wände entfernt und neu gezogen. Die Treppe zum Keller war ursprünglich durch eine sehr undichte Tür getrennt und bot der Luftausbreitung eine geringe Barriere. Eine neue Tür wurde zwischen Keller und Erdgeschoss eingebracht.

Die Radonkonzentrationen sind in Abb. 10 zusammengefasst. Die Radonkonzentrationen sind in allen Räumen im Erdgeschoss gestiegen, im EG Nutzraum 1 z. B. sogar von 320 auf 620 Bq/m³. Die Lüftungseigenschaften im EG Nutzraum 2 waren vor und nach der Sanierung ähnlich. Dieser Raum hat keine Fenster und wird selten benutzt. Seine Radonkonzentration ist von 170 auf 350 Bq/m³ angestiegen.

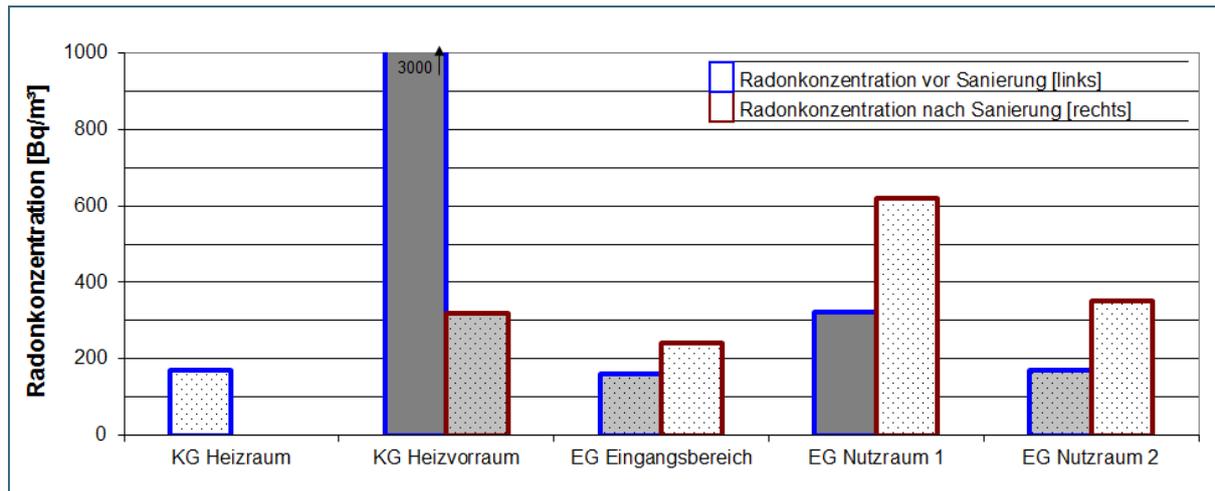


Abb. 10: Radonkonzentration im Gebäude 54004 vor und nach der Sanierung.

Der hohe Wert im KG Heizvorraum des Gebäudes 54004 (Abb. 11) vor der Sanierung ist höchstwahrscheinlich auf das Fehlen eines Betonbodens zurückzuführen. Hier liegt ein brüchiger und alter Natursteinplattenboden mit sehr undichten Fugen vor. In diesem Raum wurde mit einer Radonkonzentration von 3000 Bq/m³ im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens der höchste aller mit Exposimetern gemessenen Werte festgestellt. Auffällig ist außerdem, dass der benachbarte Heizraum einen relativ geringen Wert aufweist. Dieser Raum besitzt einen dicht betonierten Boden und ist mit einer massiven Brandschutztür vom Heizvorraum getrennt. Weiterhin steht das Fenster im Heizraum permanent offen, so dass Luft für den Verbrennungsvorgang in der Heizungsanlage nachströmen kann. Zusammenfassend ist festzuhalten, dass der gut zum Boden abgedichtete und dauerbelüftete Heizungsraum einen relativ niedrigen Wert, der fensterlose Heizungsraum mit seinem durchlässigen Natursteinplattenboden hingegen einen sehr hohen Wert aufweist. Das Lüftungsverhalten wurde zwar protokolliert, leider ging das Exposimeter aus dem Heizraum während der Messung nach der Sanierung verloren. Weiterhin konnten die zeitaufgelösten Messungen mit Radon Scouts nicht ausgewertet werden.

Besonders in der Heizperiode kann der thermische Auftrieb im Gebäude dazu führen, dass große Luftmengen aus dem Keller nachströmen und damit die Radonsituation in den darüber liegenden Räumen negativ beeinflusst wird. Die durch die Sanierung zusätzliche eingefügte Kellertür entlastet wahrscheinlich den Eintritt in die EG Eingangshalle (Abb. 12). Die Radonkonzentration der vorderen entlasteten Bereiche (EG Eingangshalle) steigen deshalb weniger an als die EG Räume im hinteren, nicht dem Eingang nahe gelegenen Bereich (EG Nutzraum 1 und EG Nutzraum 2). Zusätzlich sind diese Räume nicht unterkellert.



Abb. 11: KG Heizvorraum mit Natursteinplatten.



Abb. 12: Eingangsbereich mit neuer Kellertür.

4.4.3 Gebäude 54005: Neue Fenster, Türen, Außen- und Aufdachdämmung, neues Heizsystem

Gebäude 54005 bekam im Zuge der Sanierungen neue Fenster mit 3-Scheiben-Verglasung und Kunststoffrahmen (die alten waren aus Holz), eine vollständige Außendämmung aus Polystyrol, zwei neue Außentüren aus Kunststoff mit 3-Scheiben-Verglasung und eine Aufdachdämmung aus Polyurethan. Eine Pelletheizung ersetzt die Ölheizung. Da sich der Pelletslagerraum in einiger Entfernung zum Heizkessel befindet, mussten die Pelletversorgungsleitungen im Keller durch verschiedene Zwischenwände hindurchgebrochen werden. Da diese Leitung auch durch das offene Treppenhaus hindurch führt, besteht somit für die radonhaltige Luft, die sich in den 28 verschiedenen Kellerräumen sammelt, die Möglichkeit, sich direkt vom Keller in alle darüberliegenden Stockwerke auszubreiten. Bei Gebäude 54005 ist der Kellerboden durchgehend sehr gut verfliest und verfugt. Kurzzeitmessungen an ausgewählten Stellen mit dem AlphaGuard konnten keine spezifischen Radonzutrittspfade durch die Bodenplatte identifizieren. Weiterhin ist in jedem Stockwerk jeder Raum direkt an das Treppenhaus angeschlossen.

Grundsätzlich trägt eine derartige Konstruktion mit großem, offenem und zentralem Treppenhaus zur leichteren Ausbreitung von Radon aus dem Keller in die oberen Stockwerke bis in die einzelnen Räume bei. In diesem Fall ist die Radonkonzentrationen nach der Sanierung trotz dieser offenen Bauweise insgesamt und auch im Vergleich zwischen Keller und den darüber liegenden Stockwerken niedrig (Abb. 13).

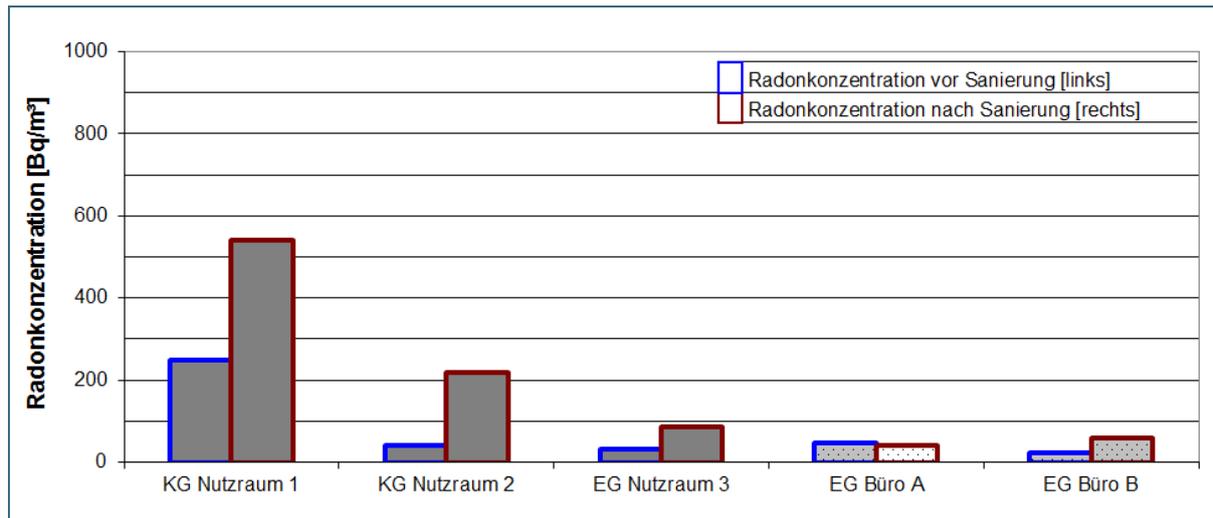


Abb. 13: Radonkonzentration im Gebäude 54005 vor und nach der Sanierung.

Die umfassenden Sanierungsmaßnahmen bewirkten einen Anstieg der Radonkonzentration, besonders in den ungelüfteten Räumen. Die Radonkonzentration des KG Nutzraums 1, aufgrund der vielen Kabeldurchleitungen ein wahrscheinlicher Radoneintrittspfad, ist von 250 auf 540 Bq/m³ angestiegen. Der EG Nutzraum 3 ist kein Durchgangsraum, wird täglich nicht häufig benutzt und wird nicht gelüftet. Die Tür ist jedoch meistens offen. Die Radonkonzentration ist von 31 auf 86 Bq/m³ angestiegen.

4.4.4 Gebäude 54010: Neue Fenster, Außendämmung, Zwischensparrendämmung und bewusst radonmindernde Maßnahmen

Gebäude 54010 wurde umfassend energetisch saniert mit einer fast vollständigen Außendämmung mit Polystyrol, Holz-Alu-Fenster mit 3-Scheibenverglasung und einer Zwischensparrendämmung mit Glaswolle. Die Beschäftigten im Gebäude hatten sich nach Beratung ein paar Änderungen während der Messung nach der Sanierung vorgenommen. Nach der Sanierung waren die zuvor offene Kellertür und die Türen des KG Nutzraums 1 permanent geschlossen und somit getrennt vom vermutlichen Radonhaupteintrittspfad (Abb. 15). Die Fenster im KG Nutzraum 1 waren geöffnet. Die Außentür des EG Durchgangs wurde, falls das Wetter es zuließ, aufgelassen.

Abb. 14 zeigt die Ergebnisse der Radonmessungen vor und nach der Sanierung. Die Radonkonzentration ist in allen Räumen gesunken. Die Messung vor der Sanierung fand im Winterhalbjahr statt. Die Messung nach der Sanierung konnte jedoch aus Zeitgründen nur im Sommerhalbjahr durchgeführt werden. Weiterhin wurden aufgrund des Ortstermins während der Sanierung einfache Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration durchgeführt: seither sind die zuvor offene Kellertür und die Türen des KG Nutzraums 1 permanent geschlossen (Abb. 16) und somit getrennt vom vermutlichen Radonhaupteintrittspfad (Abb. 15). Das Treppenhaus wird durch die geschlossene Kellertür entlastet. Während der Messung nach der Sanierung waren die Fenster im KG Nutzraum 1 geöffnet. Die Außentür des EG Durchgangs wurde, falls das Wetter es zuließ, aufgelassen. Insgesamt wurden alle Räume intensiver gelüftet.

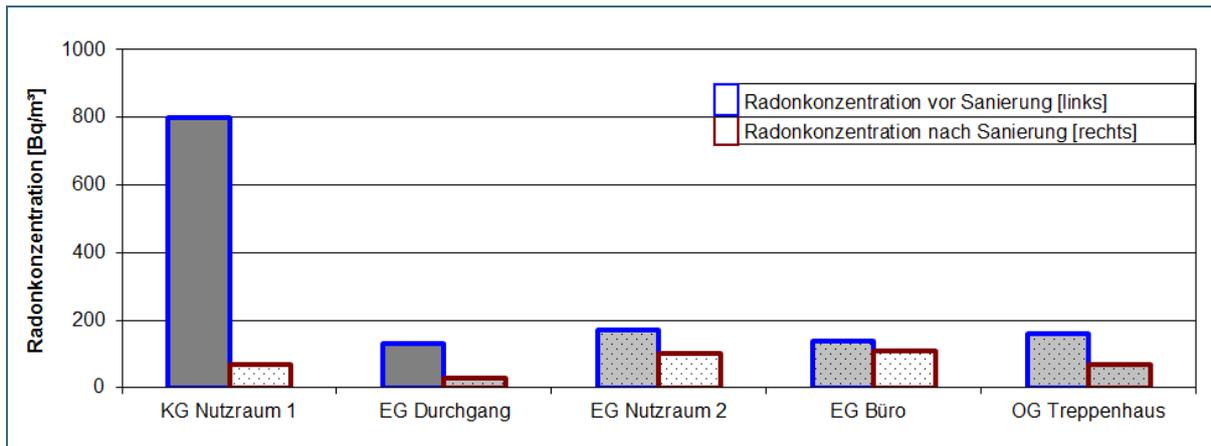


Abb. 14: Radonkonzentration im Gebäude 54010 vor und nach der Sanierung.



Abb. 15: Undichtes Mauerwerk, offener Kellerboden: vermutlich Radon-Haupteintrittspfad.



Abb. 16: Drastische und abschreckende Maßnahmen.

4.4.5 Gebäude 54011: Außenwand-, Dachbodendämmung und neue 3-Scheiben-Verglasung

Dieses Gebäude wurde saniert mit einer vollkommenen Polystyrol-Außenwanddämmung, abdichtende Polyurethan- und Holzfaserplatten auf dem Dachboden (Abb. 17) und umfassend neuen Kunststofffenstern mit 3-Scheibenverglasung. Gebäude 54011 ist damit ein klassisches Beispiel für eine umfassende Abdichtung der Außenhülle eines Gebäudes. Das Heizsystem wurde ausgetauscht. Eine Pelletheizung ersetzt die Ölheizung. Der Heizraum besitzt nun, infolge erhöhter Belüftungsansprüche, eine Verbindung nach außen, die immer geöffnet ist. Im KG Nutzraum sind die EDV-Leitungen zu einem zum Heizraum offenen Bereich nicht abgedichtet (Abb. 18).



Abb. 17: Dämmung des Fußbodens auf dem Dachboden.



Abb. 18: Nicht abgedichtete Durchführung mit EDV-Leitungen.

Die Radonkonzentration vor der Sanierung betrug in allen Räumen im Erdgeschoss und Obergeschoss etwa 700 Bq/m³ (Abb. 19) und liegt damit am oberen Ende des im Untersuchungsvorhaben gemessenen Konzentrationsbereichs. Nach der umfassenden Sanierung ist sie in manchen Büroräumen im Erdgeschoss deutlich angestiegen (Abb. 19).

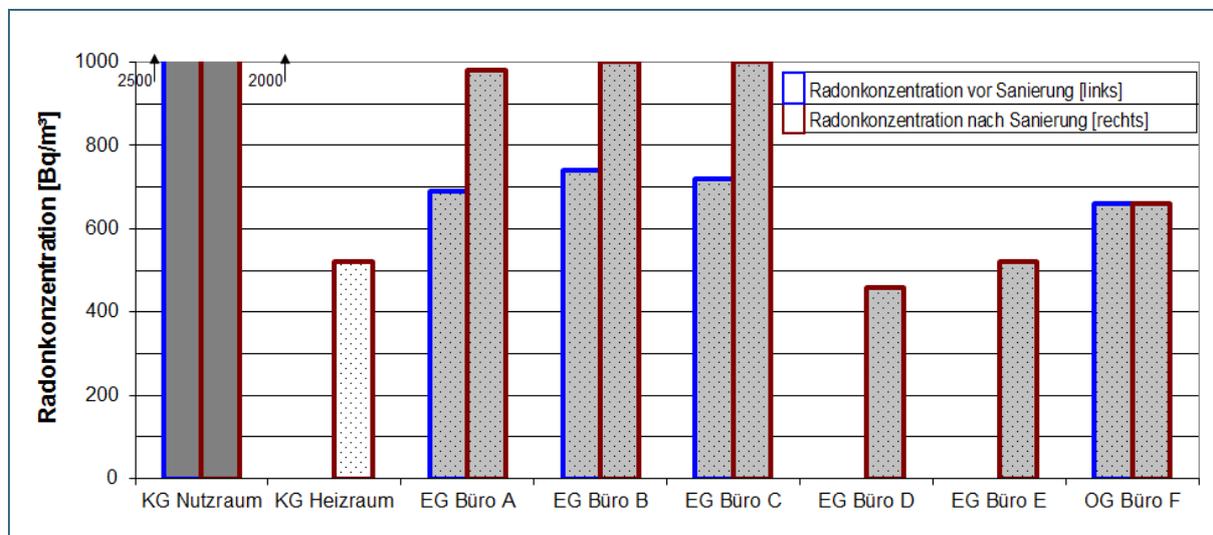


Abb. 19: Radonkonzentration im Gebäude 54011 vor und nach der Sanierung.

4.4.6 Gebäude 54012: Neue Fenster, Außenwand- und Aufdachdämmung, neues Heizsystem, Änderung der Innenstruktur

Gebäude 54012 wurde saniert mit einem vollständigen Tausch von Holzfenstern zu dichten Kunststofffenstern mit 3-Scheiben-Verglasung, einem Tausch des Nachtspeichers zu einer Pelletheizung, einer Polystyrol-Aufdachdämmung, zwei neuen Feuerschutztüren im Keller und einem eingebauten Windfang im Eingangsbereich. Eine Außenwanddämmung aus Polystyrol wurde überall dort angebracht, wo dies möglich war. Bei Teilen des Erdgeschosses mit Natursteinwänden sowie bei einer von Holz zu Kunststoff ausgetauschten Außenwand wurde keine Außenwanddämmung angebracht.

Nach der Sanierung ist die Radonkonzentration allgemein gesunken (Abb. 20). Einzige Ausnahmen sind der KG Nutzraum, dessen Radonkonzentration von 250 auf 1200 Bq/m³ angestiegen ist, und das darüber liegende EG Büro C. Alle Büros wurden während der Messung nach der Sanierung mehr ge-

lüftet als zu den Zeiten der Erhebungsmessung. Zur Kontrolle wurde nach der Sanierung auch der KG Heizraum gemessen, der aufgrund der Pelletheizung ein durchgehend offenes Fenster hat und dadurch eine niedrige Radonkonzentration aufweisen sollte. Auch ein weiteres Büro, EG Büro D, wurde zusätzlich gemessen, da es direkt über dem KG Nutzraum liegt und folglich eine höhere Radonkonzentration aufweisen sollte. Die EG Büros A und B sind nicht unterkellert und hatten vor der Sanierung im Vergleich zu den EG Büros C und D eine höhere Radonkonzentration. Nach der Sanierung hat sich die Radonkonzentration angeglichen.

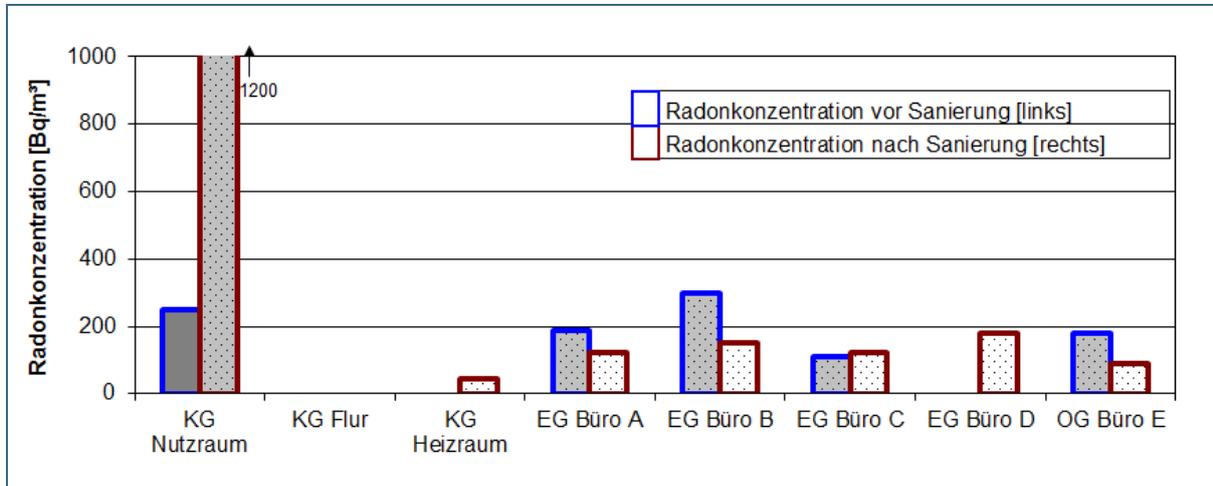


Abb. 20: Radonkonzentration im Gebäude 54012 vor und nach der Sanierung.

Um die Radonkonzentrationen nach der Sanierung genauer zu untersuchen, wurden zeitaufgelöste Wiederholungsmessungen bei kälteren Außentemperaturen durchgeführt. Das Messgerät wurde dabei entlang des Luftstromes bzw. des Radon-Hauptausbreitungsweges versetzt (Abb. 21): vom Keller über den Kellerflur, über das Treppenhaus hoch zum nicht unterkellertem Nebentrakt (Büro B) und weiter über das Treppenhaus zu den Büros über dem Keller (Büro C).

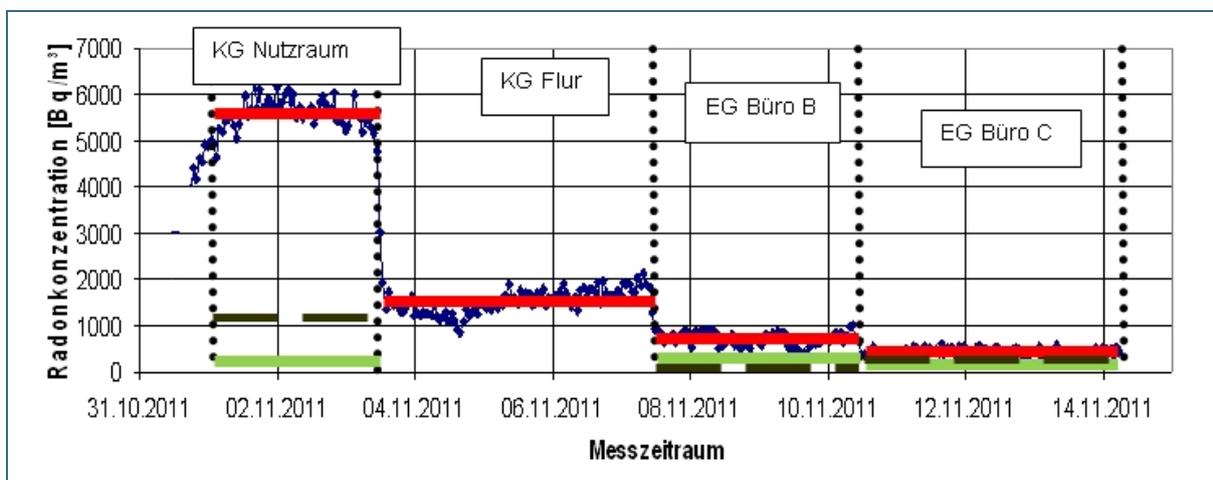


Abb. 21: Vergleich von Messwerten vor (grüner Strich) und nach (schwarz gestrichelt) der Sanierung einschließlich Mittelwert der zeitaufgelösten Wiederholungsmessung (roter Strich) im Gebäude 54012.

Durch abgedichtete Heizungsleitungen, das Schließen der Tür zum KG Nutzraum, besonders aber durch zwei neue Feuerschutztüren im Kellerflur, wird die Luft-/Radonausbreitung eingeschränkt.

Der deutliche Unterschied zwischen der zeitaufgelösten und der Exposimetermessung im KG Nutzraum lässt sich wahrscheinlich dadurch erklären, dass der während der zeitaufgelösten Messung erwärmte Nutzraum einen Sog erzeugt, der die Luft nicht mehr in den Flur sondern über die Schächte in den Heizraum führt, hingegen keine Frischluftströmung von dem Heizraum in den Nutzraum mehr gelangen kann.

4.4.7 Gebäude 64001: Umfassende Sanierung ohne neue Fenster

Gebäude 64001 wurde umfassend saniert. Eine vollständige Außenwanddämmung (Polystyrol) mit zusätzlichem Wärmeputz und Perimeterdämmung im unterkellerten Bereich, eine erneuerte Gasheizung, ein paar entfernte Heizkörper, neue Fenster nur im Dachboden, eine neue Fensterscheibe im Flur, neue dichte Haus- und Seitentüren, der Dachbodenausbau mit neuen Bodenplatten, eine Aufdachdämmung mit Styrodur und Holzfaserplatten, neue Dachziegel, eine Kellerdeckendämmung (Glaswolle) in vier Kellerräumen, neue Toilettenleitungen mit zusätzlichem Waschbecken, eine Änderung der Raumstruktur im Toilettenbereich und eine Verkleidung von Wasserleitungen sind alles Maßnahmen, die zwischen den beiden Radonmessungen stattfanden. Auffallend an diesem Gebäude ist, trotz umfangreicher Sanierung, die Beibehaltung der meisten alten Fenster und Fensterscheiben. Hier wurden andere Sanierungsmaßnahmen bevorzugt.

Abb. 22 zeigt die Messwerte der Radonkonzentration vor und nach der Sanierung. Nur im Kellergeschoss sind sie relativ unverändert geblieben, im Erdgeschoss hingegen sind sie gesunken (z. B. im EG Büro B von 250 auf 56 Bq/m³). Die Lüftungseigenschaften haben sich im Erdgeschoss während der zweiten Messung unter anderem aus zwei Gründen verbessert: die höhere Luftfeuchte nach der Sanierung sowie das bessere Wetter. Dies sorgte für eine intensivere Lüftung durch die Beschäftigten.

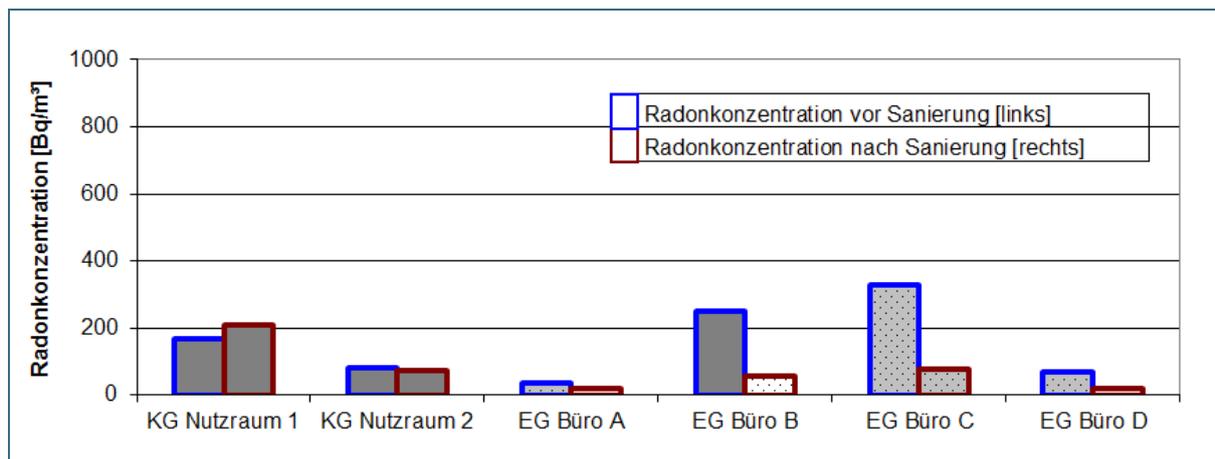


Abb. 22: Radonkonzentration im Gebäude 64001 vor und nach der Sanierung.

In Abb. 23 ist die Messung vor der Sanierung (grüner Strich), die erste integrierende Messung nach der Sanierung (im Sommer; schwarz gestrichelt) und der zeitlichen Verlauf und dessen Durchschnittswert (roter Strich) der zeitaufgelösten Wiederholungsmessung nach der Sanierung in zwei Büros im Erdgeschoss dargestellt. Die Radonkonzentration nach der Sanierung ist deutlich niedriger als vor der Sanierung (grüner Strich – schwarz gestrichelt). Eine zeitaufgelöste Messung zeigt jedoch, dass die Radonkonzentration zur gleichen Jahreszeit vor und nach der Sanierung in etwa gleich ist (grüner Strich – roter Strich).

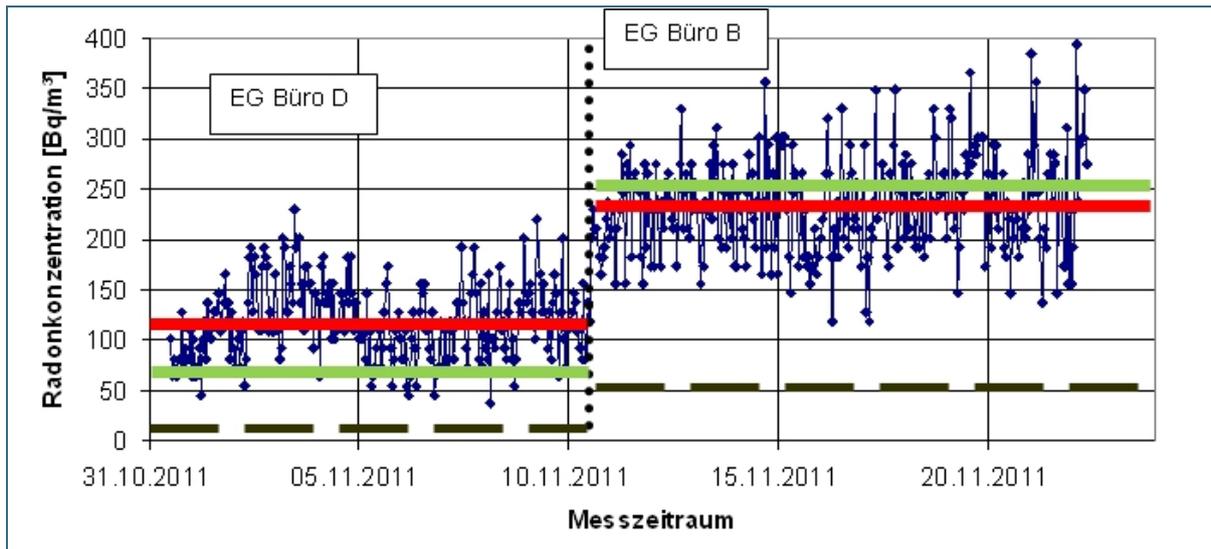


Abb. 23: Vergleich von Messwerten vor (grüner Strich) und nach (schwarz gestrichelt) der Sanierung einschließlich Mittelwert der zeitaufgelösten Wiederholungsmessung (roter Strich) im Erdgeschoss des Gebäudes 64001.

In Abb. 24 ist die Messung vor der Sanierung (grüner Strich), die erste integrierende Messung nach der Sanierung (im Sommer; schwarz gestrichelt) und der zeitlichen Verlauf und dessen Durchschnittswert (roter Strich) der zeitaufgelösten Wiederholungsmessung nach der Sanierung in zwei Räumen im Keller dargestellt. Hier ist keine deutliche Abweichung der verschiedenen Messwerte untereinander ersichtlich.

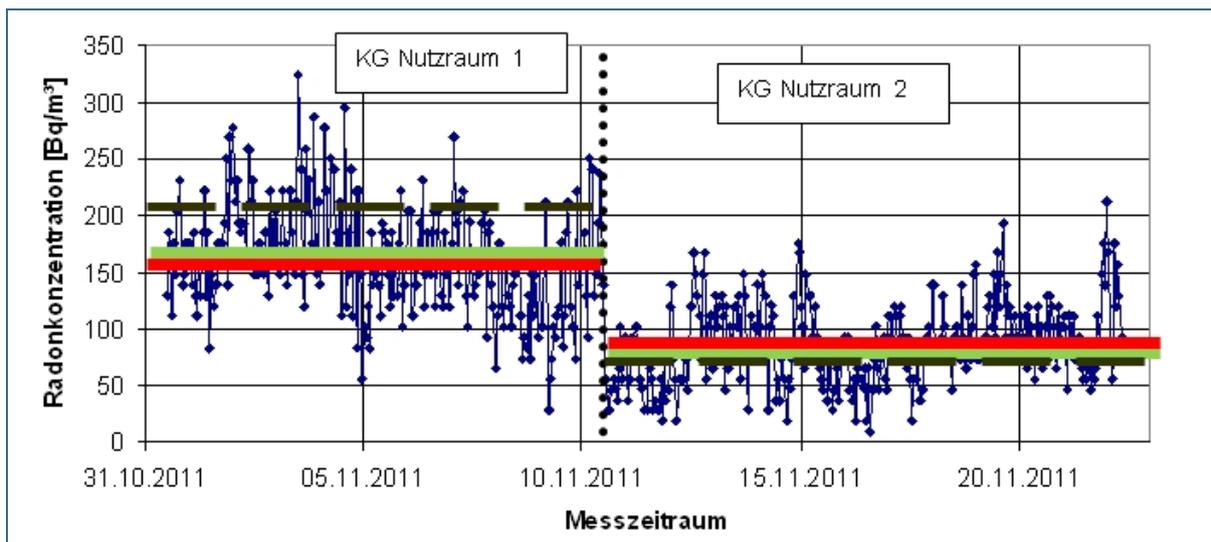


Abb. 24: Vergleich von Messwerten vor (grüner Strich) und nach (schwarz gestrichelt) der Sanierung einschließlich Mittelwert der zeitaufgelösten Wiederholungsmessung (roter Strich) im Keller des Gebäudes 64001.

4.4.8 Gebäude 74006: Eingebaute dezentrale Belüftungsanlage, neue Fenster, Außen- und Dachbodendämmung, Änderung der Innenstruktur

Gebäude 74006 wurde mit einer Außenwanddämmung (Polystyrol), einer Dachbodendämmung (Cellulose zwischen den Balken und Holzweichfaserplatten) und einem Fensterwechsel (zur 3-Scheiben-Verglasung aus Kunststoff) saniert. Der Haupteingang wurde in den neu angebauten Windfang verlegt. Die Außen- und Innentür wird jeweils mit einem Bewegungsmelder gesteuert. Das Gebäude ist teilunterkellert, s. Abb. 25. Ein Teil des Kellers wurde gefliest.

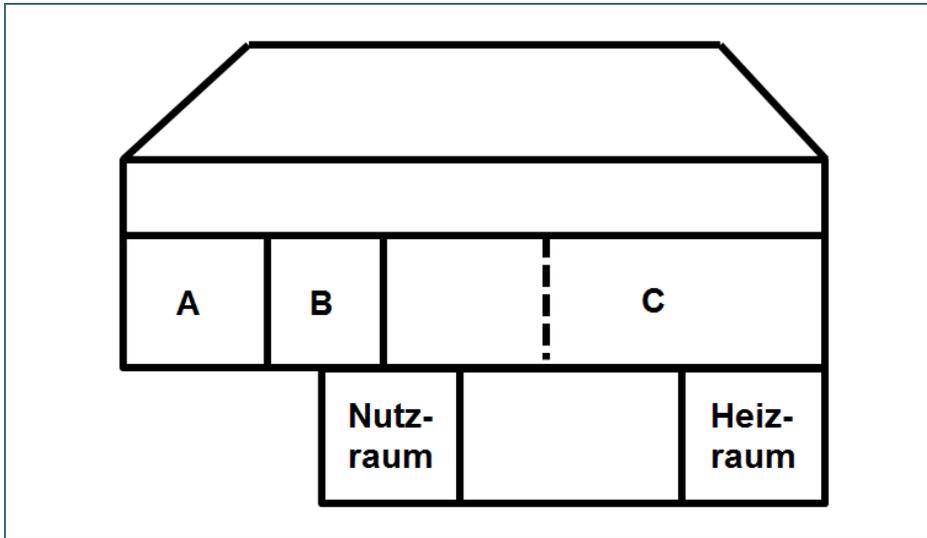


Abb. 25:
Querschnitt Gebäude
74006.

Das Gebäude ist das Einzige, bei dem im Zuge der Sanierung eine dezentrale Belüftungsanlage eingebaut wurde. Die Anlagen haben jeweils einen Wärmetauscher und sind jeweils an eine andere Anlage gekoppelt: EG Büro A ist z. B. mit einem EG Nutzraum gekoppelt und EG Büro B mit einem anderen EG Büro. EG Büro C hat aufgrund seiner Größe zwei Anlagen und ist daher mit sich selbst gekoppelt. Durch einen 70-Sekunden-Wechseltakt zwischen Zu- und Abluft wird kein Luftstrom zwischen gekoppelten oder anderen Räumen im Gebäude erzeugt. Die Belüftungsanlagen haben drei Stufen, mit einem Luftstrom zwischen 15 und 40 m³/h Luft pro Anlage. Büro C hat aber auch ein Raumvolumen, das mehr als zweimal so groß ist wie Büro A. Die jeweils gekoppelten Anlagen können unabhängig von den anderen Anlagen geschaltet werden.

Während der Messung nach der Sanierung war die Belüftungsanlage bereits installiert. Die Radonkonzentrationen sind nach der Sanierung in vielen Räumen überraschend gesunken, im Keller z. B. von 670 auf ca. 100 Bq/m³ (Abb. 26). Im EG Büro A und im EG Büro C sind die Radonkonzentrationen nicht gesunken. Das Ausmaß der Benutzung der Belüftungsanlage wurde allerdings zu diesem Zeitpunkt noch nicht protokolliert. In Büro B waren aber, im Gegensatz zu den meisten anderen Büros, die Fenster konsequent geschlossen und die Belüftungsanlage durchgehend angeschaltet. Da dort die Radonkonzentration von 200 auf 100 Bq/m³ gesunken ist, wirkte sich die Belüftungsanlage wahrscheinlich positiv auf die Radonkonzentration aus.

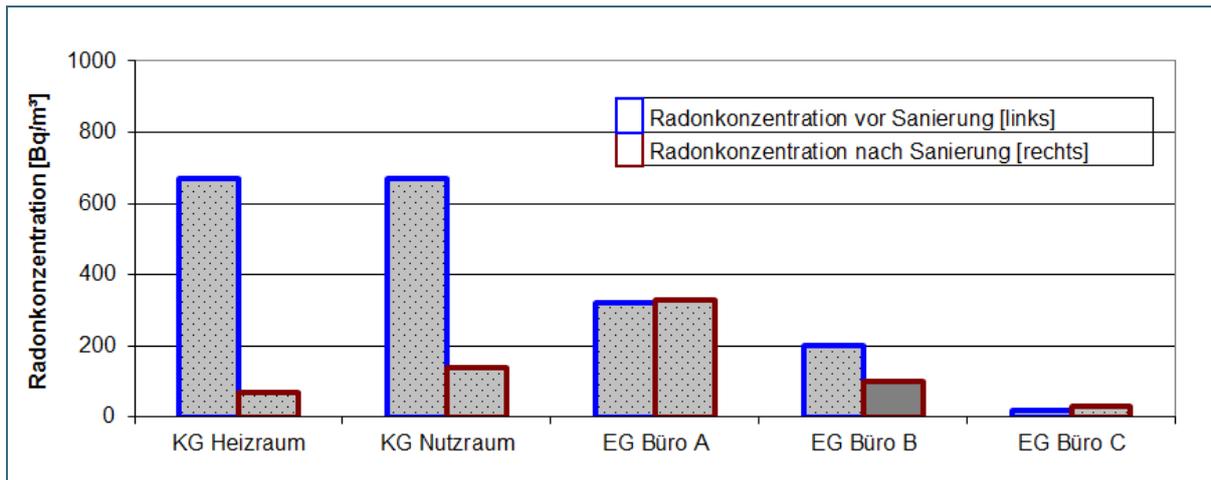


Abb. 26: Radonkonzentration im Gebäude 74006 vor und nach der Sanierung.

Um den Einfluss der Belüftungsanlage genauer zu untersuchen, wurden im November 2011 zeitauf lösende Radonmessungen in drei Räumen durchgeführt. Dazu wurde ein Lüftungsplan in Absprache mit den Angestellten im Gebäude erstellt, siehe Tab. 1.

Tab. 1: Lüftungsplan und zugehörige Radonkonzentration im Gebäude 74006.

Woche	Betrieb der Belüftungsanlage	Radonkonzentration [Bq/m³]		
		EG Büro A	EG Büro C	KG Nutzraum
1	Stufe 0 (ausgeschaltet)	840	130	1200
2	Stufe 1	680	100	1400
3	Stufe 1, Feierabend und Wochenende Stufe 3	670	85	1100
4	Stufe 0/ab Donnerstag Stufe 2	990/1100	120/120	1200/900
5	Stufe 1	770	100	1200

Vor der zeitaufgelösten Messung waren fast alle Belüftungsanlagen auf Stufe 1 eingestellt. In den nächsten fünf Wochen wurden die Stufen laut Tab. 1 eingestellt. Alle Belüftungsanlagen hatten untereinander aber immer die gleiche Stufe. Stufe 3 wird von den Beschäftigten wegen der Geräusentwicklung als unangenehm empfunden. Deswegen kam sie nur am Feierabend und am Wochenende zum Einsatz.

In Abb. 27 ist der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration in Büro A dargestellt. Die grünen Kreise markieren die Radonkonzentration während den Zeiten, zu denen das Fenster geöffnet war. Die größeren grünen Ovale markieren Lüftungszeiten durch die Putzkraft. Büro A ist einer der wenigen Räume, bei denen die Fenster nicht ausgetauscht wurden. Das könnte sich z. B. auf die Messwerte der zweiten Woche auswirken, in der das Wetter windig war und eventuell für einen höheren Luftwechsel sorgte. Die Belüftung mit einer durchgängigen Stufe scheint bei Büro A effektiver als hohe Stufen nur zu bestimmten Zeiten.

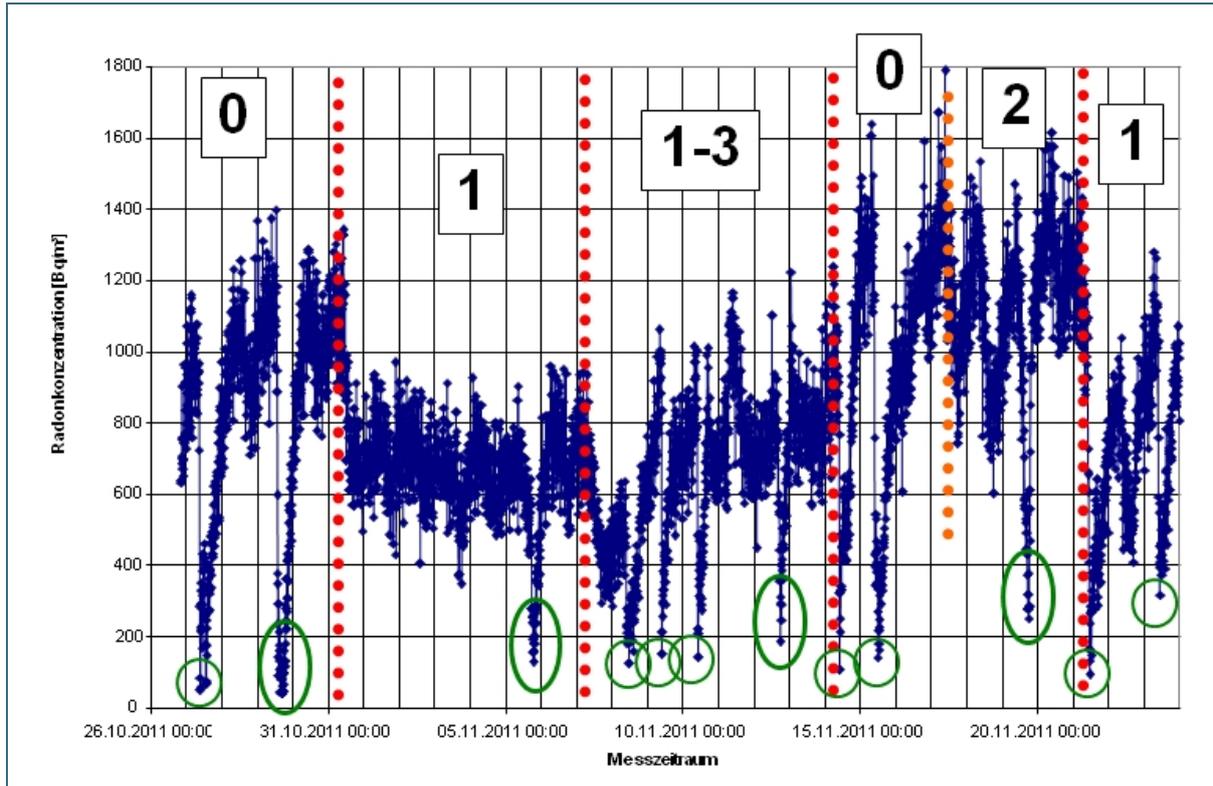


Abb. 27: Radonkonzentration im Büro A bei verschiedenen Stufen der Belüftungsanlage.

EG Büro C ist vollständig unterkellert und hatte bei der ersten Radonmessung vor der Sanierung eine sehr niedrige Radonkonzentration. Die Werte sind nach wie vor niedriger als im Keller bzw. dem nicht-unterkellertem Erdgeschoss, jedoch höher als vor der Sanierung. Die Belüftungsanlage zeigt keinen großen Einfluss auf die Radonkonzentration, siehe Tab. 1.

Im gesamten Keller sind keine Belüftungsanlagen installiert und die Kellertüren sind immer geschlossen. Der KG Nutzraum wird fast jeden Samstag von der Putzkraft benutzt. Ein Einfluss der Belüftungsanlagen im Erdgeschoss ist nicht erkennbar (Abb. 28). Den größten Einfluss auf die Radonkonzentration zeigt die Lüftung durch Öffnen der Fenster durch die Putzkraft (grüne Ovale). Aus Abb. 28 ist auch ersichtlich, dass der KG Nutzraum in der zweiten Woche nicht gelüftet wurde. Innerhalb dieser Woche fiel der Druck von durchschnittlich 0,957 auf 0,942 bar. Dies könnte dazu geführt haben, dass mehr Bodenluft in den Keller eingetreten ist und dadurch die Radonkonzentration in der zweiten Woche höher ist als in der ersten Woche.

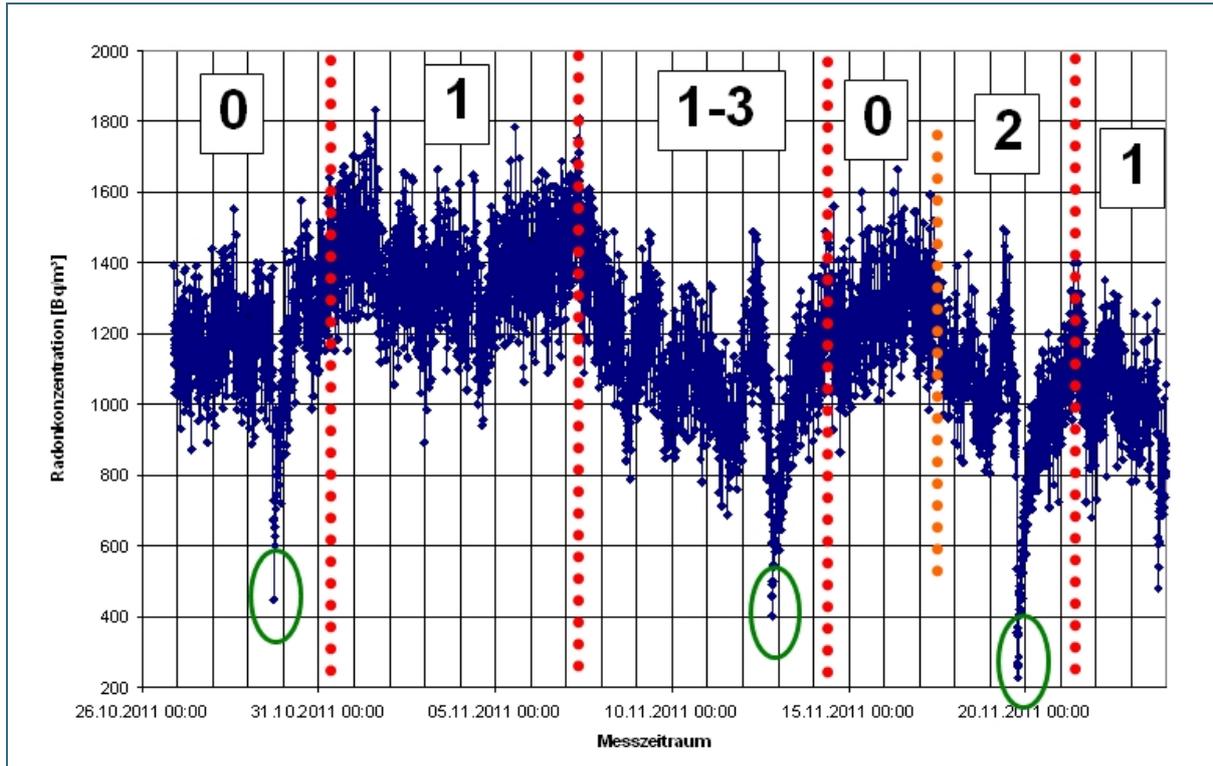


Abb. 28: Radonkonzentration im KG Nutzraum bei verschiedenen Stufen der Belüftungsanlage.

Tab. 2 vergleicht die Radonkonzentration vor der Sanierung (1. Jahreshälfte) mit der durchschnittlichen Radonkonzentration nach der Sanierung sowohl der integrierenden Messung (Sommerhalbjahr) als auch der zeitaufgelösten Messung während den zwei Stufe-0-Messzeiträumen und dem durchschnittlichen Wert des gesamten Messzeitraumes (Oktober/November). Obwohl integrierende Messungen mit zeitaufgelösten Messungen verglichen werden, kann nicht ausgeschlossen werden, dass die Radonkonzentration durch die Sanierungsmaßnahmen im Jahresmittel wahrscheinlich angestiegen ist.

Tab. 2: Vergleich der Radonkonzentration vor der Sanierung (Spalte 2) mit derjenigen nach der Sanierung (integrierende Messung (Spalte 3), zeitaufgelöste Messung mit ausgeschalteter Belüftungsanlage (Stufe 0) (Spalte 4) und laut Lüftungsplan (Stufe 0-3, siehe Tab. 1) (Spalte 5).

Raum	vor Sanierung [Bq/m ³]	nach Sanierung [Bq/m ³]	nach Sanierung Stufe 0 [Bq/m ³]	nach Sanierung Stufe 0-3 [Bq/m ³]
Messzeitraum	12/09 – 07/10	04/11 – 10/11	26. – 31.10.11 u. 14. – 17.11.11	26.10. – 23.11.11
EG Büro A	320	330	840 u. 990	800
EG Büro C	< 20	32	130 u. 120	110
KG Nutzraum	670	140	1200 u. 1200	1200

Die Belüftungsanlage wirkt sich nicht so positiv auf die Radonkonzentration aus wie erwartet. Der Unterschied zwischen ausgeschalteten Belüftungsanlagen (Stufe 0) und Gebrauch der Belüftungsanlagen nach Lüftungsplan (Stufe 0-3, Tab. 1) ist zu gering für einen Luftaustausch von einigen Kubikmetern pro Stunde. Die 70-Sekunden-Taktung ist aufgrund des Effizienzgrades des Wärmetauschers

zwar sinnvoll, der Luftaustausch in den Räumen aber wahrscheinlich nicht optimal. Es entsteht kein durchgängiger Zu- und Abluftbereich, kein einheitlicher Luftstrom und ein Teil der gerade ausgetauschten Luft wird wahrscheinlich abermals ausgetauscht. Die Belüftungsanlagen sind an den Raumwänden sehr weit oben angebracht, die Messgeräte waren auf Kopf- bzw. Schreibtischhöhe platziert. Es ist daher möglich, dass die Raumbereiche, in denen die Messgeräte aufgestellt waren, außerhalb des durch die Belüftungsanlagen erzeugten Luftkreislaufes lagen.

4.4.9 Gebäude 74008: Neue Fenster, Außen- und Dachbodendämmung und Änderung der Innenstruktur

Im Gebäude 74008 wurden im Zuge der Sanierung auch viele Strukturänderungen, vor allem im Flur-, Eingangs- und Treppenhausbereich, durchgeführt. Neben einer vollständigen Außenwanddämmung (Polystyrol) und Sockeldämmung, einem vollständigen Fenstertausch (Holzfenster mit 3-Scheiben-Verglasung), den Umbau von Toiletten zu einem Aufzugschacht in Trockenbauweise und einer Dachbodensanierung mit PU-Platten wurden neue Glaselemente im Eingangsbereich, eine neue Glas-trennwand zwischen Treppenhaus und Obergeschoss und neue Wände und Brandschutztüren im Keller eingebracht. Die neue Glaswand im Eingangsbereich verhindert einen Luftzug, etwa wie eine zweite Eingangstür oder ein Windfang. Das Treppenhaus ist nach der Sanierung zwar immer noch mit dem Erdgeschoss verbunden, aber nicht mehr durchgängig mit dem Obergeschoss und dem Keller.

Trotz umfangreicher Sanierungsmaßnahmen haben sich die ohnehin niedrigen Radonkonzentrationen nicht deutlich geändert (Abb. 29). Die Büroräume im Erdgeschoss weisen nach der Sanierung eine geringfügig höhere Radonkonzentration auf. Im OG Nutzraum 2 ist die Radonkonzentration gesunken. Das Obergeschoss scheint von der Abtrennung zum Treppenhaus zu profitieren.

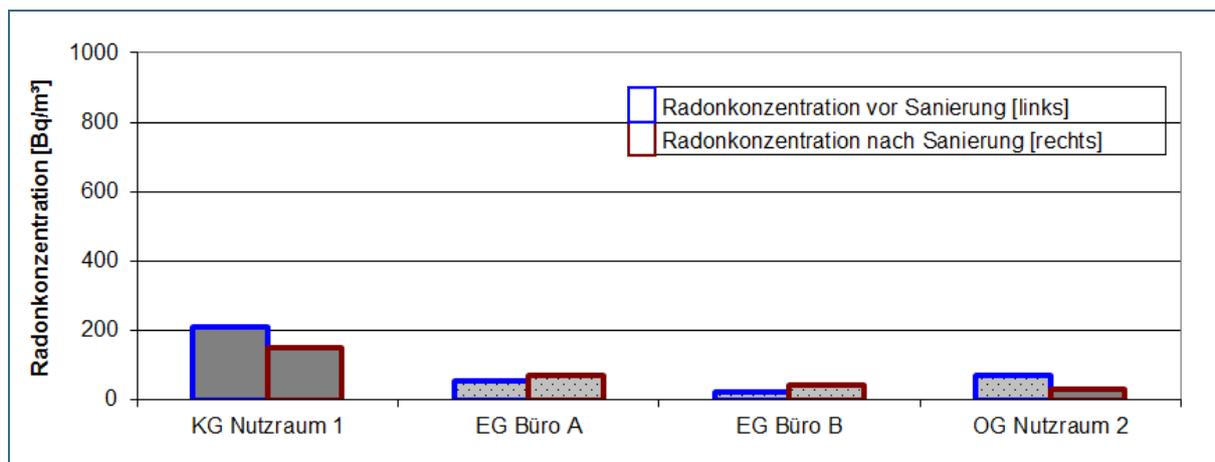


Abb. 29: Radonkonzentration im Gebäude 74008 vor und nach der Sanierung.

4.4.10 Gebäude 74009: Neue Fenster, Außenwand-, Dach- und Kellerdeckendämmung, neue Türen und Änderung der Innenstruktur

Gebäude 74009 wurde saniert mit einer vollständigen Außenwanddämmung aus Polystyrol, Aufdachdämmung, Kellerdeckendämmung (Polystyrol) in zwei Räumen, einem vollständigen Fenstertausch (Holz-Alu-Fenster mit 3-Scheiben-Verglasung), das Treppenhaus wurde von Erdgeschoss und Obergeschoss mit neu gezogenen Wänden und Brandschutztüren abgetrennt, eine neue Trennwand wurde im Obergeschoss gezogen und eine neue luftdichte Tür ersetzt die alte Haupteingangstür. Die meisten Innentüren wurden erneuert.

Der Kellerflur ist offen an das Treppenhaus angeschlossen und die im Treppenhaus befindlichen Fenster sind oft geöffnet. Der rege benutzte Hintereingang liegt am anderen Ende des Kellerflurs und erzeugt bei Benutzung einen Luftzug durch das Treppenhaus.

Die Radonkonzentrationen sind vor und nach der Sanierung niedrig (Abb. 30). Die luftdichte Schließung des Treppenhauses zu den oberen Etagen und die Durchlüftung und Benutzung des Kellers trägt sehr wahrscheinlich zu den geringen Radonkonzentrationen bei und verhindert eine Feststellung von negativen Auswirkungen anderer Sanierungsmaßnahmen, z. B. Fenstertausch und Außendämmung. Eine positive Auswirkung der Kellerdeckensanierung, wie wahrscheinlich bei Gebäude 64001, kann nicht eindeutig festgestellt werden.

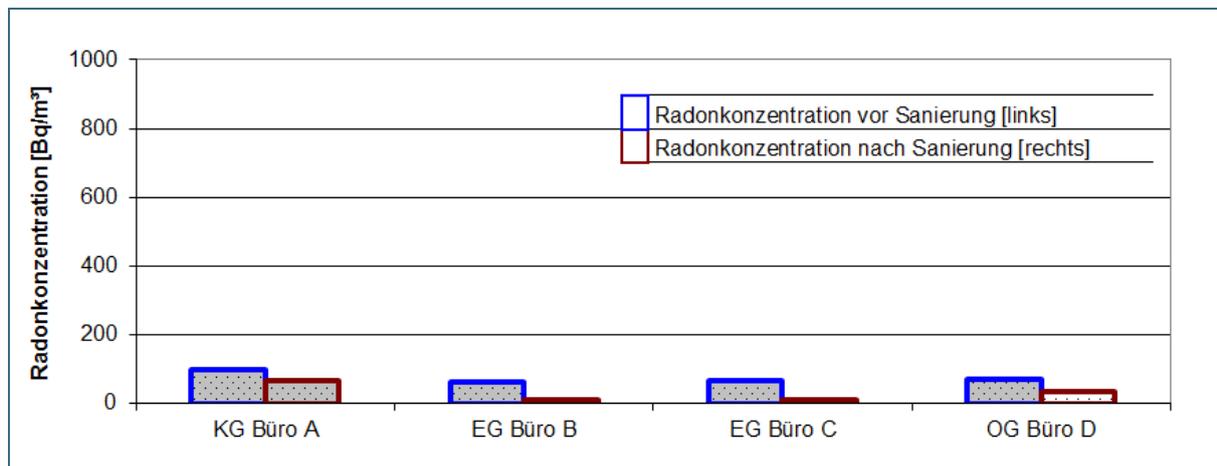


Abb. 30: Radonkonzentration im Gebäude 74009 vor und nach der Sanierung.

4.4.11 Gebäude 84001: Neue, doppelte Fenster, dichte Außentüren und Dachbodenausbau

Gebäude 84001 ist das einzige Beispiel mit sanierten doppelten Fenstern. Zusätzlich wurde die Eingangstür ausgewechselt und das 2. Obergeschoss ausgebaut. Eine Außendämmung wurde nicht angebracht und ist auch nicht vorgesehen. Die hauptsächlichen Sanierungsmaßnahmen lassen sich auf folgende Punkte beschränken:

- Neue Isolierungen für eine vorgespannte Einzelverglasung und im Erdgeschoss und ersten Obergeschoss neu angebrachte und isolierte Doppelverglasung für die dahinterliegenden restaurierten Holzfensterrahmen (Abb. 31).
- Neue Eingangstür.
- Aufdachdämmung mit Glaswollplatten und einen neuen relativ dichten Holzfußboden im 2. Obergeschoss ersetzen alte Dielen (Abb. 32).
- Neue Holzverkleidung zwischen Dachsparren und -ziegel.



Abb. 31: Erneutes Fenster mit einzelner Außenscheibe und dahinterliegender Zweifachverglasung.



Abb. 32: Saniertes 2. Obergeschoss.

Die Radonkonzentrationen im Gebäude 84001 betragen im Erdgeschoss vor der Sanierung zwischen 140 und 210 Bq/m³. Trotz geringfügig intensiverer Belüftung nach der Sanierung sind die Radonkonzentrationen durchwegs deutlich angestiegen (Abb. 33). Im Erdgeschoss ist der Anstieg der Radonkonzentration noch deutlicher als im Keller oder im 2. Obergeschoss.

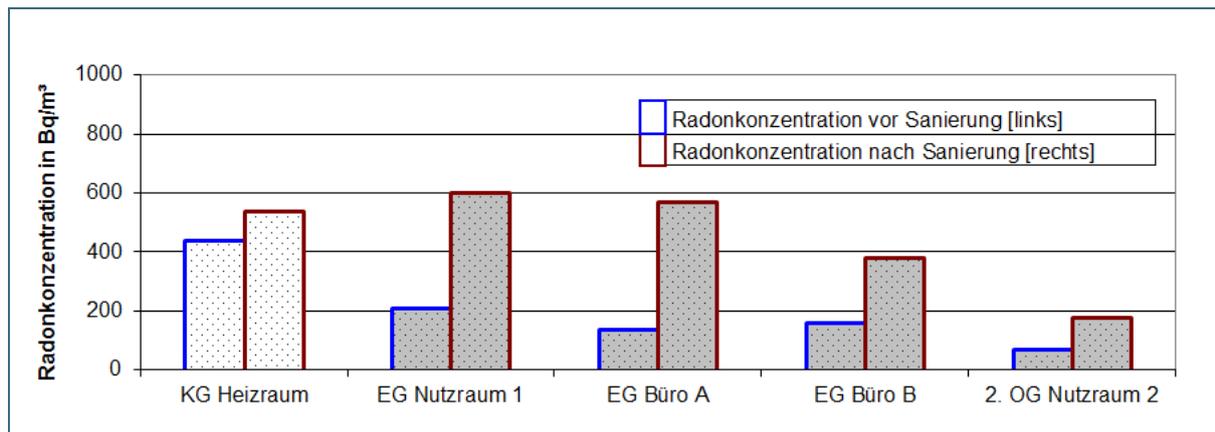


Abb. 33: Radonkonzentration im Gebäude 84001 vor und nach der Sanierung.

Den einzelnen Maßnahmen kann kein konkreter Anteil am Anstieg der Radonkonzentration zugeordnet werden. Da hauptsächlich der Boden des 2. Obergeschosses abgedichtet wurde, ist der Anstieg der Radonkonzentration eventuell überwiegend durch den Einbau luftdichter Fenster in den darunterliegenden Stockwerken und aufsteigende Warmluft aufgrund vielleicht wärmerer Zimmertemperaturen entstanden.

Im Keller wurde während beider Messzeiträume viel gelüftet. Das Fenster ist dort untertags durchgehend geöffnet gewesen. Höchstwahrscheinlich ist dadurch der Anstieg der Radonkonzentration geringer als bei geschlossenen Fenstern.

4.4.12 Gebäude 84003/1 und 84003/2

Gebäude 84003/1: Fensterwechsel

Gebäude 84003/1 ist das einzige Beispiel, das zu dem Zeitpunkt der Radonmessung nach der Sanierung ausschließlich sanierte/ausgetauschte Fenster hatte. Andere Sanierungsmaßnahmen sind längerfristig vorgesehen.

Die gemessenen KG Nutzräume 1, 2 und 3 sind zwar miteinander verbunden, da der Keller aber langgestreckt ist, liegen die Messorte weit voneinander entfernt. Im Nutzraum 1 (Abb. 34) ist eine mögliche Radonhaupteintrittsstelle, vornehmlich Durchleitungskabel für Elektroinstallationen.



Abb. 34: Kabeldurchführung nach außen in KG Nutzraum 1.



Abb. 35: Offener Übergang von KG Nutzraum 1 zu Nutzraum 2.

Abb. 36 zeigt, dass die Radonkonzentrationen vor der Sanierung insgesamt niedrig sind. Lediglich der KG Nutzraum 1 weist vor der Sanierung eine Radonkonzentration von über 100 Bq/m³ auf.

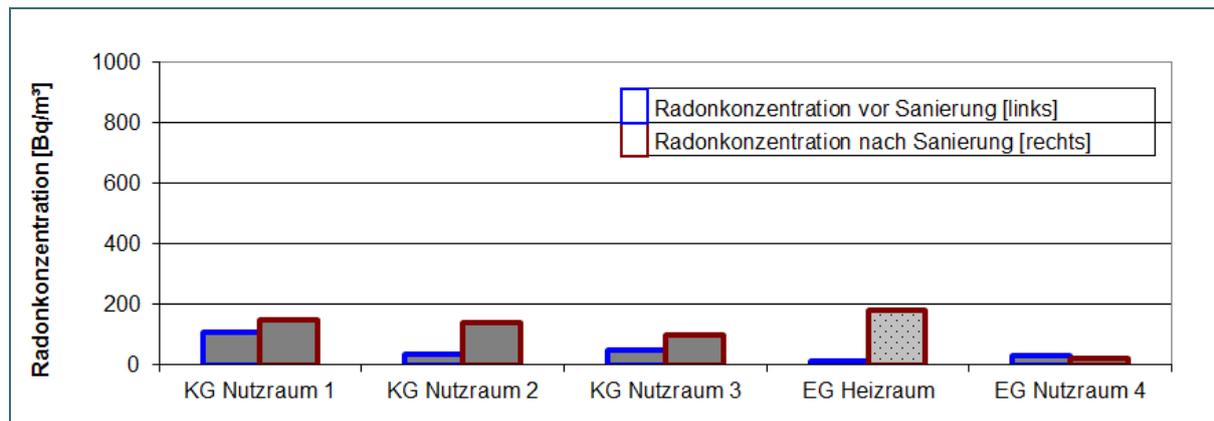


Abb. 36: Radonkonzentration im Gebäude 84003/1 vor und nach der Sanierung.

Nach der Sanierung ist die Radonkonzentration angestiegen. Der KG Nutzraum 1 hat im Vergleich zu den anderen verbundenen KG Nutzräumen (Abb. 35) immer noch eine höhere Radonkonzentration, alle liegen jedoch zwischen 100 und 150 Bq/m³. Der EG Heizraum verzeichnete den größten Anstieg in der Radonkonzentration, von 15 zu 180 Bq/m³.

Gebäude 84003/1 ist das einzige Beispiel, wonach die erhöhte Radonkonzentration ausschließlich durch den Fenstertausch begründet werden kann.

Gebäude 84003/2: Partielle Fenster- und Fassadendämmung

Bei Gebäude 83003/2 wurden neben der Fenstersanierung (die Fenster wurden (noch) nicht vollständig ausgetauscht) zusätzlich einige Fassaden mit Polystyrol gedämmt. Die Dämmung der verbliebenen Fassaden ist in Planung.

Die Radonkonzentrationen sind vor und nach der Sanierung wiederum relativ niedrig (Abb. 37). Lediglich KG Nutzraum 2 wies vor der Sanierung eine Radonkonzentration über 150 Bq/m³ auf. Die gut gelüfteten Räume im Erdgeschoss hatten mit der Außenluft vergleichbare Radonkonzentrationen.

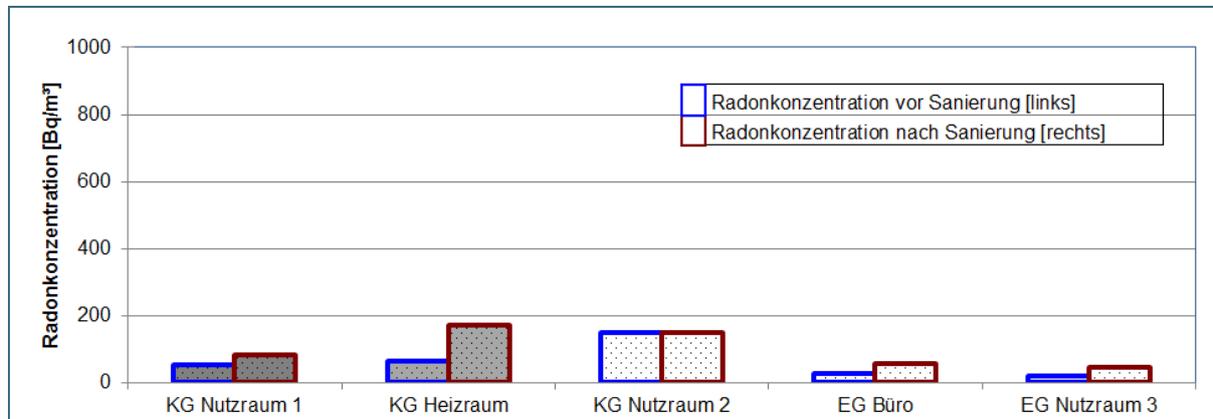


Abb. 37: Radonkonzentration im Gebäude 84003/2 vor und nach der Sanierung.

Durch die neuen Fenster und die neu aufgebrachte Außendämmung ist die Radonkonzentration angestiegen. EG Nutzraum 3 hat selbst z. B. noch keine neuen Fenster zum Zeitpunkt der zweiten Messung. Trotzdem ist die insgesamt niedrige Radonkonzentration leicht gestiegen. Vermutlich hat die gesamte Abdichtung des Gebäudes auch Auswirkung auf die noch unsanierten Räume.

Am meisten angestiegen ist, wie bei Gebäude 84003/1, die Radonkonzentration im Heizraum (von 63 Bq/m³ auf 170 Bq/m³).

4.4.13 Gebäude 84004: Neue Fenster, Eingangstüren, Außen- und Aufdachdämmung, Änderung der Innenstruktur

Gebäude 84004 wurde saniert mit vollständigem Fenstertausch, vollständiger Außendämmung und Aufdachdämmung. Die Ölheizung wurde durch einen Fernwärmeanschluss ersetzt. Neue EDV-Kabel wurden im Keller verlegt und zwischen den Kellerräumen unabgedichtet durchgeleitet (Abb. 38).



Abb. 38: Offene EDV-Kabeldurchgänge im Keller.

Vor der Sanierung waren die einzelnen Stockwerke durch Türen getrennt, das Treppenhaus war durch die Stockwerke unterteilt. Im Zuge der Sanierung wurden die Türen zum Treppenhaus entfernt, dafür das Treppenhaus vom restlichen Gebäude getrennt (Abb. 39), z. B. im Erdgeschoss durch drei luftdichte Türen.



Abb. 39: Das von den einzelnen Stockwerken getrennte Treppenhaus.

Im Gebäude 84004 sind die Radonkonzentrationen nach der Sanierung trotz umfangreicher Sanierungsmaßnahmen nicht wesentlich angestiegen. Die Radonkonzentrationen außerhalb des Kellers sind vor und nach der Sanierung sehr niedrig (Abb. 40).

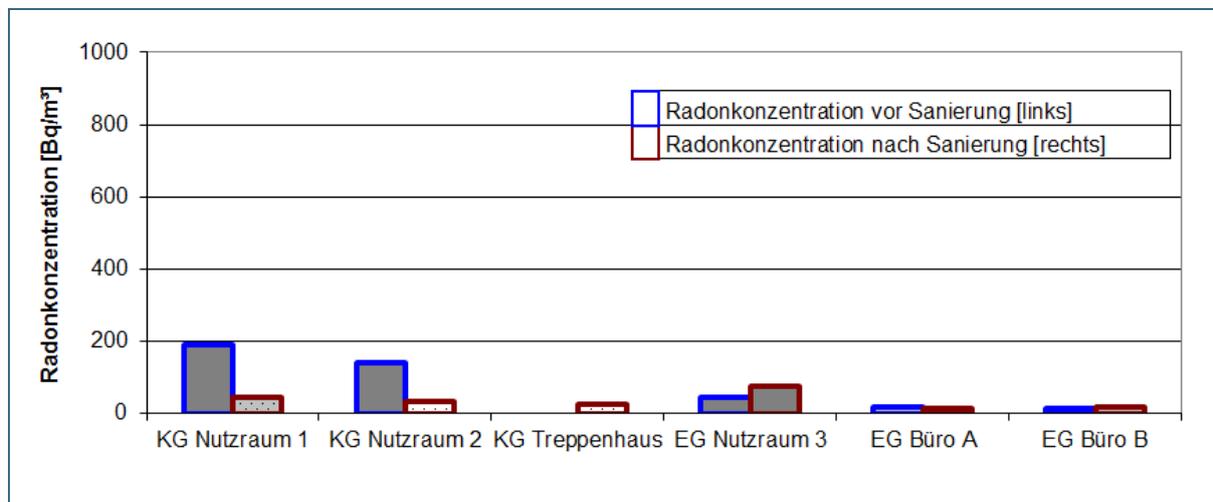


Abb. 40: Radonkonzentration im Gebäude 84004 vor und nach der Sanierung.

Der Keller wird bei wärmeren Außentemperaturen durch die offenstehende Außentür und offenstehende Kellertüren wirkungsvoll entlüftet (erste Messung nach Sanierung, Abb. 40). Die oberen Geschosse sind nach der Sanierung vom Keller energetisch abgetrennt und dadurch auch besser vor Radon geschützt als zuvor.

Bei kälteren Außentemperaturen wird der Keller nicht gelüftet. Vermutlich dadurch steigt die Radonkonzentration, wie eine zeitaufgelöste Wiederholungsmessung im KG Nutzraum 2 mit geschlossenen Fenstern sowie Türen zum Treppenhaus und nach draußen zeigt. Die Radonkonzentration dieser zeitaufgelösten Messung (280 Bq/m^3) ist nicht nur höher als im Sommer, sondern auch höher als vor der Sanierung (140 Bq/m^3). Zwei Gründe könnten die Ursache sein. Die im Winter nach der Sanierung homogenen Innentemperaturen (im Keller wärmer) und die durch neugeschaffene EDV-Durchbrüche größere Durchgängigkeit im Keller könnten einen Sog durch das im Keller meist offene Treppenhaus begünstigen und damit radonhaltige Bodenluft ansaugen. Zusätzlich oder alternativ können die Abdichtungsmaßnahmen (z. B. Fenstertausch und Außendämmung – auch eine Außentür im Keller wurde zugemauert) für eine allgemein höhere Radonkonzentration während kälterer Außentemperaturen sorgen.

4.4.14 Gebäude 94001: Neue Fenster, Außenwand- und Aufdachdämmung, Änderung der Innenstruktur

Gebäude 94001 wurde saniert mit einem kompletten Fenstertausch (Holz-, im Keller Kunststoffenster), einer Außenwanddämmung über drei Fassaden mit Mineraldämmplatten und einer Aufdachdämmung aus Polyurethan. Im Zuge der Sanierung wurde auch im Innenbereich einiges umstrukturiert. Die hintere Außentür (zum Keller und Erdgeschoss) wurde erneuert. Auch die in das Erdgeschoss weiterführende Tür wurde erneuert: Der Kellerbereich ist nach draußen und ins Erdgeschoss abgedichtet worden. Der Kellerflur bekam eine neue Trennwand, die den vorderen Trakt (z. B. KG Nutzraum 1) von einem anderen Raum (Nutzraum 3) zusätzlich trennt.

Abb. 41 zeigt die Radonkonzentrationen im Gebäude 94001 vor und nach der Sanierung. Die sehr niedrige Radonkonzentration im KG Heizraum (12 Bq/m^3 vor und 92 Bq/m^3 nach der Sanierung) ist mit hoher Wahrscheinlichkeit auf das dort permanent geöffnete Fenster zurückzuführen. Die Heizungsanlage kann so mit einer ausreichenden Menge an Verbrennungsluft versorgt werden.

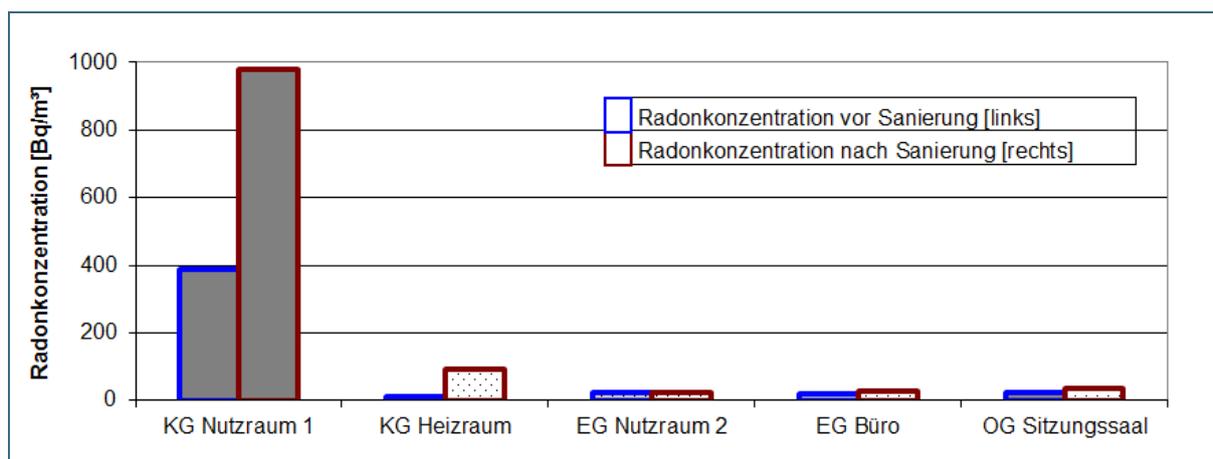


Abb. 41: Radonkonzentration im Gebäude 94001 vor und nach der Sanierung.

In Nutzraum 1 mit höheren Werten (390 Bq/m^3 vor und 980 Bq/m^3 nach der Sanierung) wurde mit einem zeitauflösenden Messgerät versucht, Eintrittsstellen für Radon zu lokalisieren („sniffing“, s. Kapitel 2.6). Es wurde ein Schacht gefunden, der direkt mit dem Erdreich verbunden ist. An zwei kleinen Löchern des ansonsten relativ dichten Schachtdeckels wurde eine deutliche Erhöhung der Radonkonzentration im Vergleich zur Durchschnittskonzentration im Raum gemessen. Der ganze Keller scheint durch die Dämmung im Erdgeschoss etwas wärmer zu sein. Da die Fenster geschlossen sind, entsteht vermutlich ein Sog, der die Luft aus dem Schacht noch stärker als vor der Sanierung in den KG Nutzraum 1 und in den Kellerflur zieht.

In Abb. 42 ist eine zeitaufgelöste Messung der Radonkonzentration vor der Sanierung des im Keller gelegenen Nutzraums 3 dargestellt. Auffällig sind hier drei Maxima der Radonkonzentration. Nutzraum 3 wird nur unregelmäßig genutzt. Dabei wird ein großer Ventilator betrieben, der vor allem dazu dient, die verbrauchte Luft aus dem Raum abzusaugen. Für die Zuluft sorgen gekippte Fenster auf der gegenüberliegenden Raumseite bzw. kleine Lüftungsschlitze im Fensterrahmen. Wie sich bei einem derartigen Lüftungsregime Zu- und Abluft verhalten, also z. B. ob genau so viel Luft über die gekippten Fenster nachströmt, wie über den sehr leistungsstarken Ventilator abgeführt wird, ist schwer zu beurteilen. Bei einem Test vor Ort zeigte sich jedoch, dass sich bei geschlossenen Fenstern sehr schnell ein Unterdruck im Raum aufbaute. Dieser Unterdruck kann unter Umständen dazu führen, dass vermehrt Luft aus dem Boden angesaugt wird und somit zumindest kurzzeitig radonhaltige Bodenluft in die Raumluft gelangt.

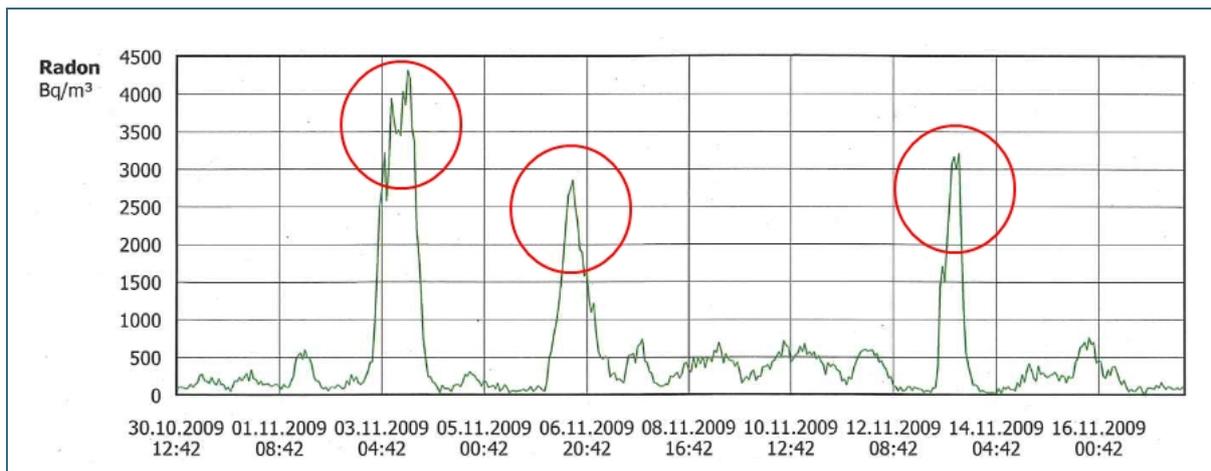


Abb. 42: Zeitaufgelöste Messung in Nutzraum 3 mittels Radon Scout im Gebäude 94001.

4.5 Allgemeine Aussagen anhand der Beispiele

Anhand der Ergebnisse der Erhebungsmessungen, der Messungen nach der Sanierung und weiterer Wiederholungsmessungen (Anhang VIII und Anhang IX) allein können aufgrund der vielfältigen Kombinationen der durchgeführten Maßnahmen einzelnen Sanierungsmaßnahmen Auswirkungen auf die Radonkonzentration nicht eindeutig zugeordnet werden. Die Radonkonzentration kann nach den Sanierungsmaßnahmen steigen oder sinken. Nach einer Einteilung der Gebäude in Gruppen mit gleichen Sanierungsmaßnahmen oder Gebäudeeigenschaften werden Tendenzen aber durchaus sichtbar.

Fenster, Außendämmung, Dachdämmung

Diese Abdichtungsmaßnahmen scheinen insgesamt einen Anstieg der Radonkonzentration zu bewirken. Besonders bei neuen Fenstern ist, bei gleicher Lüftung, Gebäudenutzung und Innenstruktur, ein Anstieg der Radonkonzentration bemerkbar. Den einzelnen Maßnahmen kann jedoch kein konkreter Anteil an diesem Anstieg zugeordnet werden.

Änderung des Lüftungsverhaltens

Aufgrund der Verzögerung bei den Sanierungsarbeiten und Zeitvorgabe des Untersuchungsvorhabens wurde die Radonkonzentration nach der Sanierung oft während der Sommerzeit gemessen. Dies spiegelte sich in einem unterschiedlichen Lüftungsverhalten (siehe Anhang VIII) wider. Zwar wird es oft nicht als unterschiedlich empfunden, jedoch haben die Häufigkeit und Länge der Fensterlüftung einen großen Einfluss auf den Mittelwert der Radonkonzentration. Aber auch die erhöhte Luftfeuchtig-

keit, die durch die Sanierungsarbeiten entstand, war laut Fragebogen (Anhang V) verantwortlich für eine intensivere Lüftung während den Messungen nach der Sanierung.

Die Radonkonzentrationen zeigen, dass in fast allen Räumen mit deutlich niedrigeren Radonkonzentrationen nach der Sanierung auch intensiver gelüftet wurde. In den meisten Fällen weisen nach der Sanierung intensiv gelüftete Räume Radonkonzentrationen unter 100 Bq/m^3 auf. Sehr wenige der Räume mit deutlich gesenkten Radonkonzentrationen werden nach der Sanierung ähnlich oder weniger gelüftet.

In Räumen mit deutlich gestiegenen Radonkonzentrationen ist dies nicht die Folge einer schlechteren Lüftung. Oft verbesserte sich die Lüftung sogar. Die Messwerte verdeutlichen, dass, unabhängig von der Lüftung, durch energetische Sanierungsmaßnahmen die Radonkonzentration in Innenräumen tendenziell ansteigt. Dies zeigt sich auch bei zeitaufgelösten Kurzzeitmessungen im Winter, die tendenziell höhere Radonkonzentrationen aufweisen.

Treppenhäuser

Treppenhäuser verbinden die Geschosse. Es ist aufwendiger und energetisch weniger sinnvoll, die Stockwerke voneinander im Treppenhausbereich thermisch zu trennen. Daher werden Treppenhäuser oft vom restlichen Gebäude im Zuge einer energetischen Sanierung getrennt, können also Teil eines nichtbeheizten Bereiches werden. Einige Beispiele haben gezeigt, dass die räumliche Trennung von Treppenhäusern eine positive Auswirkung auf die Radonkonzentration im Gebäude haben kann.

Heizungsanlage

Neue Heizungsanlagen können eine Auswirkung auf die Radonkonzentration in Gebäuden haben. Effizientere Anlagen haben zur Folge, dass der Heizraum kälter ist und weniger Auftrieb warmer Luft erzeugt. Entscheidend ist jedoch hauptsächlich, ob die neue Heizungsanlage raumluftabhängig ist oder nicht. Bei Passivhäusern und vielen Neubauten ist sie nicht raumluftabhängig, besitzt also eine Leitung als Luftzufuhr. Bei den sanierten Gebäuden hingegen wurden meistens raumluftabhängige Systeme eingebaut. Vor allem die Hackschnitzel- und Pelletheizungen, wie bei den Gebäuden 54003, 54005, 54011 und 54012, haben erhöhte Anforderungen an die Raumluftzufuhr. Die Heizräume dieser Gebäude haben nach der Sanierung Fenster, die durchgehend oder fast durchgehend geöffnet sind, oder dauerhafte Öffnungen nach draußen. Folglich sinkt dort die Radonkonzentration.

In diesen Fällen könnte aber auch ein benachbarter Kellerraum über Leitungsschächte seine warme Luft abführen und einen Unterdruck erzeugen, der radonhaltige Bodenluft ansaugt. Dies könnte zum Beispiel bei Gebäude 54012 der Fall sein und der Grund, weswegen die Ergebnisse der Messung nach der Sanierung (Raum ungeheizt) und der Wiederholungsmessung (Raum geheizt) so verschieden sind.

5 Veröffentlichungen und Kooperationen

5.1 Zusammenarbeit mit Nachbarländern

Während des Untersuchungsvorhabens fand eine intensive internationale Zusammenarbeit mit Kollegen aus Österreich, der Schweiz, Südtirol und Baden-Württemberg statt, die aus regelmäßigen Treffen der letzten Jahre hervorging. Es wurden vier Broschüren zu verschiedenen Radonthemen erarbeitet:

- Radon – Einfluss der energetischen Sanierung
- Radon – Vorsorgemaßnahmen bei Neubauten
- Radon – Radon-Sanierungsmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden
- Radon – Messung und Bewertung

Die Broschüren sind unter www.bestellen.bayern.de unter dem Stichwort „Radon“ als Download oder auch gedruckt erhältlich.

Ein besonderes Anliegen dieser internationalen Kooperation ist es, den in der Baubranche Beschäftigten (Bauherren, Sanierungsfirmen, staatliche und kommunale Bauverwaltungen, Architekten und Bauingenieure) Informationen über Radon zugänglich zu machen und zu zeigen, dass zum Thema „Radon“ länderübergreifend zusammengearbeitet wird und Radon auch in den benachbarten Ländern eine große Bedeutung beigemessen wird.

5.2 Kooperation mit dem Referat 22 „Anlagensicherheit, Energieeffizienz“

Während der Untersuchung und der Ortseinsichten ergaben sich regelmäßig Fragen und Diskussionsbedarf zu Einzelmaßnahmen sowie zum Einfluss einer umfassenden Sanierung auf die Raumluftqualität, Luftschadstoffe und letztlich Radon. Dadurch kam es zu einer engen Kooperation mit dem Referat 22 „Anlagensicherheit, Energieeffizienz“ im LfU, wo wichtige Fragen zu Lüftungsanlagen, Einfluss derselben auf die Radonkonzentration, luftdichten Wärmeschutzverglasungen, Wärmedämmverbundsysteme u.a. gemeinsam diskutiert werden konnten. Dieser Austausch war besonders bei Anfragen von Seiten der Verantwortlichen der Rathaussanierungen, aber auch von Privatpersonen zu Radonreduktionsmaßnahmen bei anstehenden energetischen Sanierungsmaßnahmen sehr hilfreich. Konkret wurden mögliche Lösungsansätze für bestimmte Sanierungssituationen vor Ort erarbeitet sowie grundsätzliche Fragen zu Sanierungsmaßnahmen erörtert.

In zahlreichen Diskussionen rückten vor allem Lüftungsanlagen als ein wichtiges Instrument in den Fokus, das sowohl für eine umfassende energetische Sanierung von großer Bedeutung ist, als auch bei einer gewissenhaften Radonsanierung nützlich und zielführend sein kann und damit beiden Ansprüchen genügt. Die Bedeutung von Lüftungsanlagen bei energetischen Sanierungen ist hinreichend bekannt, obwohl sie in zahlreichen Fällen häufig aus Kostengründen dennoch nicht realisiert wird. Neben vielen bauphysikalisch sehr bedeutenden Argumenten für eine Lüftungsanlage kann der Radonschutz bei gleichzeitiger Beachtung grundlegender Radonschutzmaßnahmen, wie z. B. der Abdichtung erdberührter Gebäudeteile, ein zusätzlicher Anreiz für einen Einbau darstellen.

Mit Referat 22 gab es auch einen Austausch an Informationsmaterialien. Die Radonbroschüren wurden dem Referat 22 für Messeauftritte zur Verfügung gestellt, wo sie unter anderem auf der RenExpo 2011 in Augsburg ausgelegt wurden.

Im Gegenzug konnten verschiedene Energieeffizienz-Broschüren des Referates 22 aus den Themenfelder 3-Scheiben-Verglasung, energieeffiziente Beleuchtung, energieeffiziente Heizungsumwälzpum-

pen, Energieeffizienz am Arbeitsplatz, Energiespar-Armaturen und energieeffiziente Schallschutzfenster, z. B. „Klima Schützen – Kosten Senken“, den am Untersuchungsvorhaben beteiligten Gemeinden zur Verfügung gestellt werden.

5.3 Vorträge und Veröffentlichungen

Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wurden sowohl das Thema „Radon in Gebäuden“ allgemein als auch erste Ergebnisse des Untersuchungsvorhabens auf verschiedenen Tagungen und Veranstaltungen einem breiten Publikum vorgestellt werden (Eigenheimerverband Bayern, Sächsischer Radontag, Radon-Expertentreffen ROOMS).

Im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsvorhabens wurde in der Zeitschrift „Siedlung und Eigenheim“, die vom Eigenheimerverband Bayern herausgegeben wird, ein zweiteiliger Artikel über Radon und Auswirkungen von energetischen Sanierungen auf die Radonkonzentration veröffentlicht. In der Ausgabe vom Juli 2010 wurden Grundlagen zu Radon, das Eindringen ins Gebäude, Auswirkungen auf die Gesundheit, Messstrategien und aktuelle Richtwerte für die Radonkonzentration erläutert. In der August-Ausgabe wurden darauf aufbauend der Einfluss einer energetischen Sanierung auf die Radonkonzentration in der Raumluft ausführlich thematisiert und mögliche Radonreduktionsmaßnahmen aufgezeigt. Dabei wurde besonders betont, dass sich Energieeinsparung und eine gegebenenfalls notwendige Radonreduzierung bei richtiger Planung und Ausführung zusammen verwirklichen lassen. Auf insgesamt 4 Seiten konnten ca. 80.000 Haus- und Grundbesitzer, die diese Zeitschrift regelmäßig erhalten, über Radon und seine Risiken informiert werden.

6 Zusammenfassung

Das Untersuchungsvorhaben „Radon in Innenräumen - Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern“ wurde im Zeitraum September 2009 bis Dezember 2011 am Landesamt für Umwelt (LfU) durchgeführt. Im Rahmen des Untersuchungsvorhabens wurden verschiedene öffentliche Gebäude in Bayern bei ihrer Sanierung messtechnisch begleitet, um so Aussagen über die Auswirkungen von energetischen Maßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen treffen zu können. Dazu wurden 31 Gebäude ausgewählt, umfassende Radonmessungen vor und nach deren Sanierung durchgeführt und Gebäudezustand sowie Sanierungsmaßnahmen erfasst.

Die Auswahl der Gebäude erfolgte unter denjenigen, die im Rahmen des bayerischen Klimaprogramms Fördergelder für eine umfangreiche energetische Sanierung erhielten. Die Sanierung musste innerhalb des Jahres 2010 stattfinden, um Messungen vor und nach der Sanierung zu ermöglichen.

Die Messung der Radonkonzentration erfolgte vor und nach der Sanierung mittels ortsgebundener Exposimeter, die über einen Zeitraum von mindestens 3 Monaten aufgestellt wurden. Die Messungen vor der Sanierung erfolgten überwiegend im Herbst/Winter 2009/2010. Die Messung nach der Sanierung hätte im folgenden Jahr möglichst zur gleichen Jahreszeit stattfinden sollen, um vergleichbare Bedingungen zu ermöglichen. Dies war aufgrund von Verzögerungen bei der Sanierung und dem begrenzten Projektzeitraum nur in wenigen Fällen möglich. Viele Messungen erfolgten daher zwischen Frühjahr und Spätherbst 2011. Nach der Sanierung wurden in einigen Fällen Kontrollmessungen mit zeitauflösenden Messgeräten durchgeführt.

Für Arbeitsplätze in öffentlichen Gebäuden bestehen in Deutschland keine gesetzlichen Regelungen. Verschiedene internationale Gremien empfehlen eine Radonkonzentration an Arbeitsplätzen von maximal 1.000 Bq/m^3 (Jahresmittel). Vor der Sanierung wurde dieser Wert in einem der 31 Gebäude überschritten. Nach der energetischen Sanierung wurde dieser Wert in einem weiteren Gebäude erreicht.

Eine Abhängigkeit der Radonkonzentrationen in den einzelnen Gebäuden von der Radonkonzentration in der Bodenluft ist nicht ersichtlich. Bei den Gebäuden stellen daher Zustand, Baujahr und Nutzung die größeren Einflüsse dar.

Die Gebäudesubstanz und das Nutzungsverhalten in den gemessenen Räumen wurden mittels Fragebogen erhoben. Bei fast allen Gebäuden wurden bei einer Ortseinsicht die vorgenommenen Sanierungsmaßnahmen aufgenommen. Die meisten Gebäude wurden mit neuen Fenstern, Außendämmung und Dachdämmung versehen. Nur bei drei dieser Gebäude wurden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt, wie z. B. Einbau dichter Außentüren, Änderungen des Innengrundrisses sowie Einbau neuer Kabelschächte oder einer neuen Heizung. Die Vielzahl der erfolgten Kombinationen der Maßnahmen bei nur 31 Gebäuden lässt damit keinen Rückschluss auf den Einfluss einer Einzelmaßnahme zu. Zusätzlich hat sich bei vielen Gebäuden das Lüftungsverhalten der Beschäftigten nach der Sanierung intensiviert.

Die Messungen nach der Sanierung erfolgten tendenziell in der wärmeren Jahreszeit. Sie sind daher oft geprägt von intensiverem Lüften. Die Radonkonzentration nach der Sanierung ist in diesen Fällen nicht nur von den Sanierungsmaßnahmen, sondern u. a. von den geänderten Lüftungsgewohnheiten beeinflusst. Unabhängig von den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen, dem Messzeitraum, der Intensität des Lüftens und dem Geschoss ist jedoch bei gleichem Lüftungsverhalten nach der Sanierung ein Anstieg der Radonkonzentration zu erkennen. Der Median der Radonkonzentration ist bei ungelüfteten Räumen von 69 Bq/m^3 auf 150 Bq/m^3 angestiegen, bei selten gelüfteten Räumen von 81 Bq/m^3 auf 84 Bq/m^3 und bei häufig gelüfteten Räumen von 37 Bq/m^3 auf 74 Bq/m^3 .

Die Sanierungsmaßnahmen beinhalteten neben den klassischen Sanierungsmaßnahmen wie Fenstertausch, Außen- und Dachdämmung, die üblicherweise in Kombination angewendet werden, auch kleinere Maßnahmen, die gerade für eine Senkung der Radonkonzentration oft sehr wichtig sind, z. B. der Einbau dichter Türen oder neuer raumluftabhängiger Heizsysteme mit hohen Anforderungen an die Luftzufuhr sowie die Abtrennung von Treppenhäusern vom restlichen Gebäude.

In fast allen Räumen mit deutlich niedrigeren Radonkonzentrationen nach der Sanierung wurde auch intensiver gelüftet. In den meisten Fällen weisen nach der Sanierung intensiv gelüftete Räume Radonkonzentrationen unter 100 Bq/m^3 auf. Sehr wenige der Räume mit deutlich niedrigeren Radonkonzentrationen werden nach der Sanierung ähnlich oder weniger gelüftet.

Die im Rahmen dieses Untersuchungsvorhabens angewandte Strategie und durchgeführten Messungen mittels ortsgebundener Exposimeter stellt eine gute Möglichkeit dar, die Radonsituation in einem Gebäude mit wenig Aufwand und in einem angemessenem Zeitraum zu erfassen. Besonders im Rahmen einer energetischen Sanierung besteht dann die Möglichkeit, bei Bedarf eine Radonsanierung durchzuführen und so gleichzeitig die Radonkonzentration zu senken. Mit überschaubaren finanziellen Mitteln und Aufwand können wirksame Reduktionsmaßnahmen ausgeführt werden, z. B. der Einbau dichter Türen, das Abdichten von Durchbrüchen durch die Bodenplatte und durch erdberührte Gebäudeteile oder das Abtrennen des Kellers vom Erdgeschoss.

Nach den bisherigen Erfahrungen bei den Ortseinsichten ist das Thema Radon in der Bevölkerung und besonders unter den Baufachleuten nur wenig bekannt. Baufachleute wie Architekten, Planer, Energieberater, kommunale und staatliche Bauverwaltungen sollten zukünftig für das Thema Radon sensibilisiert werden und Radon bei Sanierungsmaßnahmen oder Neubauvorhaben berücksichtigen.

7 Literatur

- [1] EnEV – ONLINE: EnEV 2009 – Energieeinsparverordnung für Gebäude – Verordnungstext. www.enev-online.org/enev_2009_volltext/index.htm
- [2] DPA: Beschlüsse der Koalition zum Download. Koalition schnürt zweites Konjunkturpaket. In: General-Anzeiger vom 13.01.2009. Berlin. <http://www.general-anzeigerbonn.de/index.php?k=news&itemid=10006&detailid=544253> (22.07.10).
- [3] BAYERISCHE STAATSREGIERUNG, BAYERISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR GESUNDHEIT UND UMWELT (Hrsg.): Klimaprogramm Bayern 2020. München. 2009. [http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUGV&DIR=stmugv&ACTIONxSETVAL\(index.htm,APGxNODENR:1325,USERxBODYURL:artdtl.htm,AARTxNR:stmugv_klima_00025\)=X](http://www.bestellen.bayern.de/application/applstarter?APPL=STMUGV&DIR=stmugv&ACTIONxSETVAL(index.htm,APGxNODENR:1325,USERxBODYURL:artdtl.htm,AARTxNR:stmugv_klima_00025)=X) (06.08.10).
- [4] BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (BfS) www.bfs.de/de/ion/radon
- [5] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlung (StrSchV) vom 20. Juli 2001. In: Bundesgesetzblatt, Teil I, 1713-1848. 2001.
- [6] EUROPÄISCHE KOMMISSION: Proposal for a COUNCIL DIRECTIVE laying down basic safety standards for protection against the dangers arising from exposure to ionising radiation (29.09.11)
- [7] IAEA Safety Standards: International basic safety standards for protection against ionizing radiation and for the safety of radiation sources. January 2010. <http://www-ns.iaea.org/standards/documents/default.asp?sub=160> (10.09.10).
- [8] ICRP: Statement on radon. November 2009. http://www.icrp.org/docs/ICRP_Statement_on_Radon%28November_2009%29.pdf (10.09.10).
- [9] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG: CO₂-Gebäudesanierung – Energieeffizient Bauen und Sanieren: Die Fakten. <http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Klimaschutz-und-Energiesparen/Fakten-,3147.982592/CO2-Gebaeudesanierung-Energiee.htm> (06.08.10).
- [10] BUNDESMINISTERIUM FÜR VERKEHR, BAU UND STADTENTWICKLUNG: Energieeinsparverordnung (EnEV). (Allgemeine Informationen zur EnEV) <http://www.bmvbs.de/Bauwesen/Klimaschutz-und-Energiesparen-,2975/Energieeinsparverordnung.htm> (09.08.10).
- [11] HAAS-ARNDT, RANFT: Altbauten sanieren - Energie sparen. 2. Auflage. Bonn. 2008. S. 44f. FIZ Karlsruhe, Solarpraxis, Bine Informationsdienst.
- [12] HESSISCHES MINISTERIUM FÜR UMWELT, LANDWIRTSCHAFT UND FORSTEN; INSTITUT WOHNEN UND UMWELT (Hrsg.): Lüftung im Wohngebäude. Wiesbaden. 2001. http://www.hmulv.hessen.de/irj/zentral_Internet?rid=zentral_15 (18.10.10).
- [13] BORSCH-LAAKS: Lüftung der Wohnung über Fenster. In: Künzel (Hrsg.): Wohnungslüftung und Raumklima. 2. Auflage. Stuttgart. 2009. S. 313. Fraunhofer IRB Verlag.
- [14] MORISKE, WENSING: Untersuchungen zur raumlufthygienischen Situation in energetisch sanierten Altbauten und in einem Passivhaus. In: Berufsgenossenschaftliches Institut für Arbeitsschutz – BGIA (Hrsg.): Gefahrstoffe – Reinhaltung der Luft. Düsseldorf. 67. Jahrgang. 2007. S. 85-90.
- [15] GUHR: Radonprobleme durch energetische Gebäudesanierung. Architektenkammer Niedersachsen (Hrsg.). 2004. http://www.aknds.de/fileadmin/pdf/servicedb/203-radonprobleme_durch_energetische_gebaeudesanierung.pdf (13.08.10).

8 Anhang

Anhang I: Anleitung zum Aufstellen von Ortsexposimetern

Anhang II: Begleitprotokoll für Ortsexposimeter

Anhang III: Fragebogen zu Zustand und Verhaltensweisen der zu messenden Räume

Anhang IV: Fragebogen für öffentliche Gebäude vor der Sanierung

Anhang V: Fragebogen zu den Sanierungsmaßnahmen

Anhang VI: Auswertung des Fragebogens für Gebäude vor der Sanierung

Anhang VII: Auswertung des Fragebogens zu Sanierungsmaßnahmen (Anhang V)

Anhang VIII: Messergebnisse

Anhang IX: Messung nach der Sanierung (A) und Wiederholungsmessung nach der Sanierung (B)

Anhang I: Anleitung zum Aufstellen von Ortsexposimetern

Bayerisches Landesamt für Umwelt



Anleitung zum Aufstellen von Ortsexposimetern

Die Ortsexposimeter (stationäre Exposimeter) sind einzeln in beschichteten Tüten verpackt und mit einer Nummer gekennzeichnet. Bitte Exposimeter-Nummer, Datum, Uhrzeit und Aufstellungsort auf dem Begleitprotokoll für das jeweilige Ortsexposimeter vermerken. Die Exposimeter werden aus der Tüte genommen und ausgelegt. Die Tüten bitte für den Rückversand aufbewahren.

Das Exposimeter sollte auf einer Höhe von ein bis zwei Metern, möglichst nicht an einem Fenster oder Lüftungsschlitz, aufgestellt (Bücherregal etc.) oder gegebenenfalls an die Wand geheftet werden. Das Exposimeter jedoch nicht auf den Fußboden legen!

Nach drei Monaten Expositionszeit sind die Exposimeter wieder in ihre Transporttüten zu verpacken und diese mit Klebstreifen abzudichten. Bitte unbedingt Datum und Uhrzeit auf das Begleitprotokoll notieren und die Dosen samt den Protokollen an das LfU zurücksenden.

Anhang II: Begleitprotokoll für Ortsexposimeter

BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELT



Messung erfolgt – Bitte liegen lassen!!!

Begleitprotokoll für ortsgebundenes Radonexposimeter
(pro Radonexposimeter einmal zu kopieren)

Exposimeter Nr.:

WICHTIG!

Aufstellungsort: Gebäude Raum

Name:

Adresse Aufstellungsort:

.....

Expositionszeit: 3 Monate

	Datum	Uhrzeit
Exposimeterverpackung geöffnet am	. .	:
Exposimeter verpackt und wieder verschlossen am	. .	:

WICHTIG!

Bemerkungen:

Nach Beendigung der Messung ortsgebundenes Exposimeter in seine Transporttüte verpacken.
Tüte mit Klebestreifen möglichst gut abdichten.

Exposimeter sofort zurücksenden an die Messstelle, bei der die Exposimeter bestellt wurden.

Bei Fragen wenden Sie sich bitte an:

Michael Heidler, LfU, Tel: 0821 / 90 71 – 53 33

Anhang III: Fragebogen zu Zustand und Verhaltensweisen der zu messenden Räume

Exposimetervergleich -----	-----	-----	-----	-----	
Etage					
Keller	<input type="checkbox"/>				
Erdgeschoss	<input type="checkbox"/>				
Obergeschoss	<input type="checkbox"/>				
Raumnutzung					
Arbeitszimmer	<input type="checkbox"/>				
Vorzimmer/Zwischenz.	<input type="checkbox"/>				
Archiv	<input type="checkbox"/>				
EDV	<input type="checkbox"/>				
Küche	<input type="checkbox"/>				
Sonstiges	<input type="checkbox"/>				
Material des Bodens im Messraum					
Beton	<input type="checkbox"/>				
Ziegel	<input type="checkbox"/>				
Naturb. Lehm/Ton, etc.	<input type="checkbox"/>				
Sonstiges	<input type="checkbox"/>				
Begehung des Messraumes					
Täglich, mehrmals	<input type="checkbox"/>				
Täglich, selten	<input type="checkbox"/>				
Wöchentlich	<input type="checkbox"/>				
Monatlich	<input type="checkbox"/>				
Ungenutzt	<input type="checkbox"/>				
Verbindung des Messraumes mit Nachbarräumen					
Offen	<input type="checkbox"/>				
Meist offen	<input type="checkbox"/>				
Meist geschlossen	<input type="checkbox"/>				
Geschlossen	<input type="checkbox"/>				
Fenster im Messraum					
Offen	<input type="checkbox"/>				
Meist geschlossen	<input type="checkbox"/>				
Geschlossen	<input type="checkbox"/>				

Kontrollieren mit dem alten Stand. Sind die Änderungen gerechtfertigt? Wenn keine alten Daten vorhanden sind, gibt es Änderungen?

Anhang IV: Fragebogen für öffentliche Gebäude vor der Sanierung

Fragenkatalog für öffentliche Gebäude vor der Sanierung

Aufstellungsort/Ansprechpartner:

Gebäude

Name

Adresse

Angaben zum Gebäude:

Zutreffendes bitte ankreuzen

Art des Gebäudes

- Rathaus/Verwaltungsgebäude
- Begegnungsstätte/Gemeindehaus
- Sonstiges

Lage des Hauses

- Ebenes Gelände
- Hang

Bauweise

- Massivhaus
- Fertighaus
- Sonstiges

Baumaterial

Keller

oberirdisch

- Normal- oder Schwerbeton
- Leichtbeton
- Verbauung von Naturstein
- Kalksandstein
- Ziegelstein
- Holz
- Verschiedene Materialien

Baugrund

- Bodenfeuchte unmittelbar am Haus
- überwiegend trocken
- überwiegend feucht
- überwiegend nass

Wärmedämmung innen/außen

- vorhanden
- nicht vorhanden
- nicht bekannt

Feuchteschutz: Kellerboden / Kellerwände

-
-
-

Angaben zum Keller:**Art des Kellers**

- ganze Grundfläche unterkellert
- teilweise unterkellert

Sonstiges.....

Dicke des Kellerbodens

- < 25 cm
- > 25 cm

Bodenplatte

- Risse, offene Fugen
- Rohrdurchführungen
- Leitungsdurchführungen

Feuchtesituation im Keller

- trocken
- feucht
- nass

Kellerzugang

- über Hausflur
- offener Zugang
- verschlossen
- separate Zugangstür von außen

Anhang V: Fragebogen zu den Sanierungsmaßnahmen

Zeitraum der Sanierung:

Dämmung

Außenwanddämmung (Material, Stärke, Vollkommenheit, Lücken, Übergang zu Fenstern, Übergang zum Dachstuhl):

Innenwanddämmungen (Material, Stärke, welche Räume):

Wärmeputz:

Wände

Neue Wände, Wände entfernt?

Putz: Neuer Putz, Putz entfernt

Aufschlüsse

Neue Aufschlüsse, alte Aufschlüsse abgesiegelt
(z.B. für Geothermie oder neues Heizsystem)

Fenster

Neue Fenster, nur neue Scheiben? Alle Fenster neu? Exposimeterzimmer? Zwei oder Drei Scheiben?
Was für ein Rahmen? Was war der alte Rahmen? Wurden die Fenster nach außen versetzt? Winkelmontage? Wurde um die Fensterkanten gedämmt?

Türen

Türen ausgetauscht, Türen neu (doppelte Eingangstür, Stockwerk Türen, Kellertür), Türen entfernt? Alte, neue Türen Luftschutz, Wärmedämmwert?

Für Türen oder Fenster: Haben sich seit der Sanierung die Angewohnheiten geändert?

Dachdämmung

Ja, Nein, Material, Abdichtung mit z.B. Aluminium, Dampfsperre

Dachbodensanierung

Ja, Nein, Material, Durchgängigkeit, Dichtheit

Kellerdeckensanierung oder Perimeterdämmung

Material (z.B. extrudiertes Polystyrol, Schaumglas, etc.)

Heizungsanlage

(Welche alt, welche neu)

Belüftungssystem

Ja, Nein

Gab es vor der Sanierung oder gibt es nach der Sanierung einen Luftzug oder Kamineffekt?

Anhang VI: Auswertung des Fragebogens für Gebäude vor der Sanierung

Der Fragebogen wurde nicht von allen Gemeinden vollständig ausgefüllt.

		Anzahl
Baujahr	vor 1800	1
	1800-1900	1
	1900-1940	1
	1940-1960	2
	1960-1970	3
	1970-1980	3
	nach 1980	3
Lage	ebenes Gelände	22
	Hang	6
Bauweise	Massivhaus	28
	Fertighaus	0
	Holzhaus	0
	Sonstiges	0
Baumaterial	Holz	4
	Ziegelstein	11
	Kalksandstein	2
	Leichtbeton	1
	Normal/Schwerbeton	15
	Versch. Mat.	2
	Verbauung v. Naturstein	5
Baugrund	Bodenfeuchte am Haus	3
	überwiegend trocken	19
	überwiegend feucht/nass	8
Art des Kellers	komplett unterkellert	11
	teilweise unterkellert	15
	nicht unterkellert	3
Dicke des Kellerbodens	<25 cm	12
	>25 cm	12
Wärmedämmung Keller	vorhanden	3
	nicht vorhanden	17
	nicht bekannt	5
Feuchteschutz Keller	vorhanden	4
	nicht vorhanden	7
	nicht bekannt	11
Feuchtesituation im Keller	trocken	17
	feucht	4
	nass	3
Bodenplatte	Risse, offene Fugen	4
	Rohrdurchführungen	8
	Leitungsdurchführungen	10
Kellerzugang	über Hausflur	21
	von außen	6
	Zugang verschlossen	13
	Zugang offen	5

Anhang VII: Auswertung des Fragebogens zu Sanierungsmaßnahmen (Anhang V)

	Neue Fenster				Tür	Dämmung			Dach		Andere Maßnahmen				Rn-Konz.	
	Alle/großteils Fenster neu	Neue Kunststofffenster	Neue Holz/Holz-Alufenster	Fensterscheibentausch	Neue Außentüren	Vollständige Außendämmung	Teilweise Außendämmung	Außendämmung aus Polystyrol o.Ä.	Aufdach(boden)dämmung	Zwischensparrendämmung	Änderungen des Innengrundes	Neue Kabelverlegungen/-schächte	Nach Sanierung intensiveres Lüften	Neues Heizsystem/Brenner	Radonkonz. überwiegend gestiegen	Radonkonz. überwiegend gefallen
34001	x		x			x			x	x	x	x				
34002	x	x			x	x		x	x			x	x	x		
44001	x				x		x	x				x	x	x	x	
44002	x	x			x	x			x							
44003	x		x						x	x		x	x			
54002	x		x		x	x		x	x					x		
54003	x		x		x	x		x	x		x	x	x	x	x	
54004	x		x		x				x		x	x		x	x	
54005	x	x			x	x		x	x					x	x	
54006	x	x		x	x	x		x	x		x	x		x	x	
54007	x	x				x		x	x				x		x	
54008	x	x				x				x			x		x	
54009	x			x						x					x	
54010	x		x		x		x	x		x		x	x		x	
54011	x	x				x		x	x					x	x	
54012	x	x				x		x	x		x		x	x		
54013	Energetische Sanierung noch nicht abgeschlossen															
54014	x		x								x					
64001				x	x	x		x	x		x		x	x	x	
74003	x	x			x	x		x		x?			x			
74004	x		x	x		x		x	x				x			
74005		x					x	x	x			x				
74006	x	x	x		x	x		x	x		x		x	x		
74007	x		x		x	x		x		x			x			
74008	x		x		x	x		x	x		x					
74009	x		x	x		x		x	x		x		x		x	
84001	x	x		x	x				x						x	
84003/1	x	x	x				x	x						x	x	
84003/2	x	x													x	
84004	x	x			x	x		x	x		x	x	x	x		
94001	x	x	x				x	x	x		x				x	
Summe	28	16	14	6	16	19	5	21	19	7	12	10	16	13	11	5

Anhang VIII: Messergebnisse

Um das Ausmaß der Lüftung in den verschiedenen Räumen zu verdeutlichen, ist die Radonkonzentration in den Anhängen IX bis XI farblich betont: Fenster und Türen waren im Messzeitraum...

	... oft offen
	... meist geschlossen
	... geschlossen

Gebäude	Raum	vor Sanierung		nach Sanierung	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
34001	KG Büro A	28	01.02.10-31.08.10	34	10.05.11-13.10.11
	EG Büro B	20	01.02.10-31.08.10	12	10.05.11-13.10.11
	EG Büro C	45	01.02.10-31.08.10	21	10.05.11-13.10.11
	OG Sitzungssaal	21	01.02.10-31.08.10	26	10.05.11-13.10.11
	OG Nutzraum	23	01.02.10-31.08.10	17	10.05.11-13.10.11
34002	KG Nutzraum 1	86	30.12.09-30.03.10	100	21.03.11-28.06.11
	KG Nutzraum 2	42	30.12.09-30.03.10	37	21.03.11-28.06.11
	EG Büro A	46	30.12.09-30.03.10	31	21.03.11-28.06.11
	EG Büro B	63	30.12.09-30.03.10	20	21.03.11-28.06.11
	OG Büro C	22	31.12.09-30.03.10	33	21.03.11-28.06.11
44001	KG Nutzraum 1	120	22.01.10-22.04.10	77	23.03.11-28.06.11
	KG Nutzraum 2	250	20.01.10-22.04.10	230	23.03.11-28.06.11
	EG Büro A	95	20.01.10-22.04.10	28	23.03.11-28.06.11
	EG Büro B	54	20.01.10-22.04.10	14	23.03.11-28.06.11
	OG Büro C	62	20.01.10-22.04.10	57	23.03.11-28.06.11
44002	KG Nutzraum	1600	27.01.10-18.06.10	790	17.03.11-13.10.11
	EG Büro A	140	27.01.10-18.06.10	180	17.03.11-13.10.11
	EG Büro B	130	27.01.10-18.06.10	68	17.03.11-13.10.11
44003	EG Büro A	69	07.01.10-07.04.10		
	EG Büro B	37	07.01.10-07.04.10	56	10.10.11-06.12.11
	EG Nutzraum 1	140	07.01.10-07.04.10		
	OG Nutzraum 2	28	07.01.10-07.04.10	31	10.10.11-06.12.11
	2. OG Büro			24	10.10.11-06.12.11
	3. OG Nutzraum 3			24	10.10.11-06.12.11
54002	KG Heizvorraum	63	22.10.09-10.02.10		
	KG Heizraum	16	22.10.09-10.02.10	10	28.03.11-16.01.12
	KG Nutzraum	49	22.10.09-10.02.10	34	28.03.11-16.01.12
	EG Büro A	56	22.10.09-10.02.10	76	28.03.11-16.01.12
	EG Büro B	81	22.10.09-10.02.10	45	28.03.11-16.01.12
54003	KG Nutzraum 1	240	11.11.09-13.04.10	81	11.10.11-09.12.11

Gebäude	Raum	vor Sanierung		nach Sanierung	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
	KG Nutzraum 2	120	11.11.09-13.04.10	170	11.10.11-09.12.11
	KG Heizraum	86	11.11.09-13.04.10	23	11.10.11-09.12.11
	EG Büro A	45	11.11.09-13.04.10	160	11.10.11-09.12.11
	EG Büro B	90	11.11.09-13.04.10	120	11.10.11-09.12.11
	EG Büro C	65	11.11.09-13.04.10	130	11.10.11-09.12.11
54004	KG Heizraum	170	04.11.09-17.06.10		
	KG Heizvorraum	3000	04.11.09-09.06.10	320	08.06.11-18.10.11
	EG Eingangsbereich	160	04.11.09-09.06.10	240	17.03.11-18.10.11
	EG Nutzraum 1	321	04.11.09-09.06.10	620	17.03.11-18.10.11
	EG Nutzraum 2	170	04.11.09-09.06.10	350	17.03.11-18.10.11
54005	KG Nutzraum 1	250	21.10.09-09.06.10	540	18.03.11-21.06.11
	KG Nutzraum 2	41	21.10.09-09.06.10	220	18.03.11-21.06.11
	EG Nutzraum 3	31	21.10.09-09.06.10	86	18.03.11-21.06.11
	EG Büro A	48	21.10.09-09.06.10	42	18.03.11-21.06.11
	EG Büro B	23	21.10.09-09.06.10	58	18.03.11-21.06.11
54006	EG Büro	69	08.12.09-04.03.10	340	27.09.11-21.12.11
	EG Nutzraum 1	110	07.12.09-04.03.10	350	27.09.11-21.12.11
	OG Sitzungssaal	47	08.12.09-04.03.10	230	27.09.11-21.12.11
	OG Nutzraum 2	110	07.12.09-04.03.10	490	27.09.11-21.12.11
54007	EG Büro A	150	18.11.09-22.02.10	48	21.03.11-04.07.11
	EG Büro B	150	18.11.09-22.02.10	52	21.03.11-04.07.11
	EG Büro C	86	18.11.09-22.02.10	81	21.03.11-04.07.11
	OG Nutzraum 1	69	18.11.09-22.02.10	13	21.03.11-04.07.11
	OG Nutzraum 2	84	18.11.09-22.02.10	13	21.03.11-04.07.11
54008	KG Nutzraum 1	360	11.11.09-22.04.10	340	24.03.11-04.07.11
	EG Büro A	26	11.11.09-22.04.10	25	24.03.11-04.07.11
	EG Büro B	36	11.11.09-22.04.10	62	24.03.11-04.07.11
	EG Nutzraum 2	22	11.11.09-22.04.10	89	24.03.11-04.07.11
	OG Büro C	29	11.11.09-22.04.10	42	24.03.11-04.07.11
54009	KG Nutzraum	43	04.01.10-26.05.10	14	22.03.11-27.06.11
	EG Büro A	16	04.01.10-26.05.10	46	22.03.11-27.06.11
	EG Büro B	9	04.01.10-26.05.10	42	22.03.11-27.06.11
	EG Sitzungssaal	18	04.01.10-26.05.10	41	22.03.11-27.06.11
	OG Büro C	23	04.01.10-26.05.10	28	22.03.11-27.06.11
54010	KG Nutzraum 1	800	21.12.09-15.03.10	70	09.05.11-15.08.11
	EG Durchgang	130	21.12.09-15.03.10	27	09.05.11-15.08.11
	EG Nutzraum 2	170	21.12.09-15.03.10	100	09.05.11-15.08.11
	EG Büro	140	21.12.09-15.03.10	110	09.05.11-15.08.11
	OG Treppenhaus	160	21.12.09-15.03.10	69	09.05.11-15.08.11
54011	KG Nutzraum	2500	22.12.09-22.03.10	2000	16.11.10-21.02.11

Gebäude	Raum	vor Sanierung		nach Sanierung	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
	KG Heizraum			520	03.05.11-26.10.11
	EG Büro A	690	22.12.09-22.03.10	980	16.11.10-21.02.11
	EG Büro B	740	22.12.09-22.03.10	1000	16.11.10-21.02.11
	EG Büro C	720	22.12.09-22.03.10	1000	16.11.10-21.02.11
	EG Büro D			460	16.11.10-06.04.11
	EG Büro E			520	16.11.10-21.02.11
	OG Büro F	660	22.12.09-22.03.10	660	16.11.10-06.04.11
54012	KG Nutzraum	250	04.01.10-06.04.10	1200	21.03.11-22.06.11
	KG Flur				
	KG Heizraum			46	21.03.11-22.06.11
	EG Büro A	190	04.01.10-06.04.10	120	21.03.11-22.06.11
	EG Büro B	300	04.01.10-06.04.10	150	21.03.11-22.06.11
	EG Büro C	110	04.01.10-06.04.10	120	21.03.11-22.06.11
	EG Büro D			180	21.03.11-22.06.11
	OG Büro E	180	04.01.10-06.04.10	91	21.03.11-22.06.11
54013	KG Nutzraum	220	21.12.09-19.03.10		noch nicht saniert
	EG Büro A	1800	21.12.09-19.03.10		
	EG Büro B	1300	21.12.09-19.03.10		
	EG Büro C	980	21.12.09-19.03.10		
	OG Büro D	610	21.12.09-19.03.10		
54014	EG Nutzraum 1		Exposimeter	760	02.05.11-19.08.11
	EG Treppenhaus		nicht mehr	100	02.05.11-19.08.11
	EG Nutzraum 2		auffindbar	85	02.05.11-19.08.11
	OG Büro			25	02.05.11-19.08.11
	OG Sitzungssaal			250	03.05.11-19.08.11
64001	KG Nutzraum 1	170	15.12.09-15.03.10	210	04.04.11-05.07.11
	KG Nutzraum 2	82	15.12.09-15.03.10	75	04.04.11-05.07.11
	EG Büro A	35	15.12.09-15.03.10	20	04.04.11-05.07.11
	EG Büro B	250	15.12.09-15.03.10	56	04.04.11-05.07.11
	EG Büro C	330	15.12.09-15.03.10	76	04.04.11-05.07.11
	EG Büro D	69	15.12.09-15.03.10	19	04.04.11-05.07.11
74003	KG Nutzraum 1	37	04.11.09-14.06.10	89	29.03.11-26.10.11
	KG Nutzraum 2		Exposimeter nicht	44	29.03.11-26.10.11
	EG Büro		mehr auffindbar	24	29.03.11-26.10.11
74004	EG Nutzraum	15	25.11.09-24.02.10	15	17.03.11-20.06.11
	EG Eingangsbereich	23	25.11.09-24.02.10	15	17.03.11-20.06.11
	OG Büro A	16	25.11.09-24.02.10	15	17.03.11-20.06.11
	OG Büro B	15	25.11.09-24.02.10	23	17.03.11-20.06.11
74005	KG Nutzraum 1	370	14.12.09-10.03.10	590	16.08.11-08.12.11
	KG Heizraum	92	14.12.09-10.03.10	230	16.08.11-08.12.11
	KG Nutzraum 2	36	14.12.09-10.03.10	21	16.08.11-08.12.11

Gebäude	Raum	vor Sanierung		nach Sanierung	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
	EG Nutzraum 3	110	14.12.09-10.03.10	46	16.08.11-08.12.11
	EG Durchgang	110	14.12.09-10.03.10	55	16.08.11-08.12.11
74006	KG Heizraum	670	23.12.09-20.07.10	69	05.04.11-05.10.11
	KG Nutzraum	670	23.12.09-20.07.10	140	05.04.11-05.10.11
	EG Büro A	320	23.12.09-20.07.10	330	05.04.11-05.10.11
	EG Büro B	200	23.12.09-20.07.10	100	05.04.11-05.10.11
	EG Büro C	< 20	23.12.09-20.07.10	32	05.04.11-05.10.11
74007	KG Nutzraum 1	120	17.12.09-12.03.10	14	21.03.11-27.06.11
	KG Nutzraum 2	40	17.12.09-12.03.10	15	21.03.11-27.06.11
	KG Nutzraum 3	79	17.12.09-12.03.10	86	21.03.11-27.06.11
	EG Büro	16	17.12.09-12.03.10	39	21.03.11-27.06.11
	EG Sitzungssaal	40	17.12.09-12.03.10	35	21.03.11-27.06.11
74008	KG Nutzraum 1	210	12.01.10-13.04.10	150	06.10.11-05.12.11
	EG Büro A	55	12.01.10-13.04.10	73	06.10.11-05.12.11
	EG Büro B	23	12.01.10-13.04.10	42	06.10.11-05.12.11
	OG Nutzraum 2	73	12.01.10-13.04.10	32	06.10.11-05.12.11
74009	KG Büro A	98	19.01.10-20.04.10	69	29.03.11-04.07.11
	EG Büro B	64	19.01.10-20.04.10	13	29.03.11-04.07.11
	EG Büro C	66	19.01.10-20.04.10	13	29.03.11-04.07.11
	OG Büro D	71	19.01.10-20.04.10	34	29.03.11-04.07.11
84001	KG Heizraum	440	12.11.09-08.06.10	540	31.08.11-25.11.11
	EG Nutzraum 1	210	12.11.09-08.06.10	600	31.08.11-25.11.11
	EG Büro A	140	12.11.09-08.06.10	570	31.08.11-25.11.11
	EG Büro B	160	12.11.09-08.06.10	380	31.08.11-25.11.11
	2. OG Nutzraum 2	73	12.11.09-08.06.10	180	31.08.11-25.11.11
84003/1	KG Nutzraum 1	110	25.11.09-24.02.10	150	11.10.11-07.12.11
	KG Nutzraum 2	35	25.11.09-24.02.10	140	11.10.11-07.12.11
	KG Nutzraum 3	51	25.11.09-24.02.10	100	11.10.11-07.12.11
	EG Heizraum	15	25.11.09-24.02.10	180	11.10.11-07.12.11
	EG Nutzraum 4	33	25.11.09-24.02.10	23	11.10.11-07.12.11
84003/2	KG Nutzraum 1	53	26.11.09-24.02.10	84	11.10.11-07.12.11
	KG Heizraum	63	26.11.09-24.02.10	170	11.10.11-07.12.11
	KG Nutzraum 2	150	26.11.09-24.02.10	150	11.10.11-07.12.11
	EG Büro	27	26.11.09-24.02.10	56	11.10.11-07.12.11
	EG Nutzraum 3	18	26.11.09-24.02.10	47	11.10.11-07.12.11
84004	KG Nutzraum 1	190	17.12.09-25.03.10	45	18.05.11-15.09.11
	KG Nutzraum 2	140	17.12.09-25.03.10	33	18.05.11-15.09.11
	KG Treppenhaus			25	18.05.11-15.09.11
	EG Nutzraum 3	45	17.12.09-25.03.10	76	18.05.11-15.09.11
	EG Büro A	17	17.12.09-25.03.10	15	18.05.11-15.09.11

Gebäude	Raum	vor Sanierung		nach Sanierung	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
	EG Büro B	14	17.12.09-25.03.10	20	18.05.11-15.09.11
94001	KG Nutzraum 1	390	20.10.09-09.06.10	980	22.03.11-04.08.11
	KG Heizraum	12	20.10.09-09.06.10	92	22.03.11-04.08.11
	EG Nutzraum 2	25	20.10.09-09.06.10	26	22.03.11-04.08.11
	EG Büro	18	09.11.09-09.06.10	30	22.03.11-04.08.11
	OG Sitzungssaal	23	20.10.09-09.06.10	37	22.03.11-04.08.11

Anhang IX: Messung nach der Sanierung (A) und Wiederholungsmessung nach der Sanierung (B)

Gebäude	Raum	Messung (A)		Wiederholungsmessung (B)	
		Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum	Radonkonzentration [Bq/m ³]	Messzeitraum
54012	KG Nutzraum	1200	21.03.11-22.06.11	5550*	31.10.11-03.11.11
	KG Flur			1530*	03.11.11-07.11.11
	KG Heizraum	46	21.03.11-22.06.11		
	EG Büro A	120	21.03.11-22.06.11		
	EG Büro B	150	21.03.11-22.06.11	710*	07.11.11-10.11.11
	EG Büro C	120	21.03.11-22.06.11	440*	10.11.11-14.11.11
	EG Büro D	180	21.03.11-22.06.11		
	OG Büro E	91	21.03.11-22.06.11		
64001	KG Nutzraum 1	210	04.04.11-05.07.11	170*	31.10.11-10.11.11
	KG Nutzraum 2	75	04.04.11-05.07.11	92*	10.11.11-23.11.11
	EG Büro A	20	04.04.11-05.07.11		
	EG Büro B	56	04.04.11-05.07.11	240*	10.11.11-23.11.11
	EG Büro C	76	04.04.11-05.07.11		
	EG Büro D	19	04.04.11-05.07.11	120*	31.10.11-10.11.11
74006	KG Heizraum	69	05.04.11-05.10.11	1190*	26.10.11-26.11.11
	KG Nutzraum	140	05.04.11-05.10.11		
	EG Büro A	330	05.04.11-05.10.11	800*	26.10.11-26.11.11
	EG Büro B	100	05.04.11-05.10.11		
	EG Büro C	32	05.04.11-05.10.11	105*	26.10.11-26.11.11
74007	KG Nutzraum 1	14	21.03.11-27.06.11	50	02.11.11-28.11.11
	KG Nutzraum 2	15	21.03.11-27.06.11		
	KG Nutzraum 3	86	21.03.11-27.06.11		
	EG Büro	39	21.03.11-27.06.11		
	EG Sitzungssaal	35	21.03.11-27.06.11	99	02.11.11-28.11.11
84004	KG Nutzraum 1	45	18.05.11-15.09.11		
	KG Nutzraum 2	33	18.05.11-15.09.11	277*	01.11.11-18.11.11
	KG Treppenhaus	25	18.05.11-15.09.11		
	EG Nutzraum 3	76	18.05.11-15.09.11		
	EG Büro A	15	18.05.11-15.09.11		
	EG Büro B	20	18.05.11-15.09.11		
94001	KG Nutzraum 1	980	22.03.11-04.08.11	1600	31.10.11-01.12.11
	KG Heizraum	92	22.03.11-04.08.11	160	31.10.11-01.12.11
	EG Nutzraum 2	26	22.03.11-04.08.11	94	31.10.11-01.12.11
	EG Büro	30	22.03.11-04.08.11	82	31.10.11-01.12.11
	OG Sitzungssaal	37	22.03.11-04.08.11	100	31.10.11-01.12.11

* Zeitaufgelöste Radonmessung

