7. SÄCHSISCHER RADONTAG

9. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

24. SEPTEMBER 2013

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
UND WIRTSCHAFT DRESDEN

veranstaltet durch:

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft - SMUL

KORA e.V. - Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren

unterstützt durch:

HTW Dresden
Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden

ZAFT - Zentrum
für angewandte
Forschung und Technologie e.V.

INHALT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Grußwort des Vorstandsvorsitzenden von KORA e.V. 5

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel
Grußwort des Rektors der HTW Dresden 7

Dr. Hartmut Schwarze
Grußwort i.V. des Staatssekretärs des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft 9

RADONMESSUNG

Dr. rer. nat. Andreas Guhr
Vergleichende Analyse von Verfahren zur Kurz- und Langzeitmessung der Radonkonzentration 11

Dr. rer. nat. Walfried Löbner
Zeitreihenanalyse der Ergebnisse von Radonkonzentrationsmessungen in Häusern 23

Dr. Werner Preuße
Radonmessungen in Schulen in Sachsen - Messprogramm 2012 – 2013 25

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Brauchen wir für Neubauten Messungen der Bodenradonkonzentration? 37

RADONSANIERUNG VON ALTBAUTEN

Johannes Haid
Das Radonprogramm der US Army in Europa 49

Kai Geringswald
Radonsanierung an einem Altbau als Ergebnis einer komplexen Ursachen-aufklärung 61

Roland Baumann
Erfahrungen bei der Senkung der Radonbelastung in einem bayrischen Wasserwerk 73

Heinrich Rösl
Radon in Bayern - Radonsanierung in einem alten Bauernhaus in Aschau im Chiemgau 87

BEISPIELE / PRODUKTE

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann
Berücksichtigung der Radonthematik bei der Neuregelung des Beiblattes Kellerlüftung zur DIN 1946-6 93

Leopoldo Mazzoleni
Einsatz des MODULO-Systems unter Bodenplatten als Teil von Radonschutz-massnahmen 99

Frank Halm
Radonschutz In Wohnungen durch mineralische Dichtschlämme 107

Aicke Donant
Hauff-Technik – Der Spezialist in Sachen Gebäudeabdichtung 111

Referentenverzeichnis 115

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Vorsitzender Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen e.V.
und
Lehrgebiet Baukonstruktion an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren

Als im Jahr 2005 das Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen und Sanieren (KORA e.V.) zum ersten Mal zur „Tagung radonsicheres Bauen“ einlud, hatten wir uns das Ziel gesetzt, neben Berichten aus der aktuellen Forschung und Entwicklung praktische Lösungen aus dem Bereich des baulichen Radonschutzes vorzustellen. Seit 2007 wird dieses jährliche Treffen gemeinsam mit dem Sächsischen Ministerium für Umwelt und Landwirtschaft als „Sächsischer Radontag“ veranstaltet und hat sich seitdem als ein deutschlandweiter Treff aller am radonsicheren Bauen und Sanieren Interessierter etablieren können.

Bereits auf dem im September 2011 veranstalteten 5. Sächsischen Radontag stand der Entwurf des EU-Basic Safety Standards (EU-BSS) der EURATOM im Mittelpunkt einer Reihe von Tagungsbeiträgen. In diese EU-Grundnorm sind bekanntlich erstmals auf europäischer Ebene Regelungen zum baulichen Radonschutz aufgenommen worden. Inzwischen steht der Beschluss der Grundnorm im Europa-Parlament bevor, die Phase der Überführung in nationales Recht rückt also immer näher. Diese Entwicklung wirft insofern ihre Schatten voraus, als dass ein deutlich gestiegenes Interesse am radonsicheren Bauen und Sanieren unter Architekten und Bauingenieuren konstatiert werden kann. Und damit wird die Klärung einer Reihe von Fragen, die sich mit der praktischen Umsetzung des Radonschutzes im Baugeschehen befassen, immer dringender. Mit den diesjährigen Schwerpunktthemen des Radontages, der Radonmessung sowie der radonsicheren Sanierung von Altbauten, haben wir zwei der für die bauliche Umsetzung des Radonschutzes zentralen Themen in den Mittelpunkt der Tagung gestellt. Mit Beiträgen zur Messung von Radon in Gebäuden und im Boden wird zum wiederholten Maße ein Thema aufgegriffen, das in den letzten Jahren zu heftigen Diskussionen geführt hat und dessen umfassende Erörterung immer wieder gewünscht wurde. Für die radonsichere Sanierung gibt es keine „Patentrezepte“, jede Aufgabe erfordert einen eigenständigen, an die konkreten Bedingungen angepassten Lösungsweg. Trotzdem haben sich in den letzten Jahren grundsätzliche Lösungen, wie z.B. der Einbau von Radonbrunnen, etablieren können, die in der Regel zu guten Ergebnissen führen. In insgesamt vier Beiträgen werden einige Beispiele aus dem Bereich der baulichen Radonsanierung vorgestellt. Wie bereits gute Tradition unserer Tagung, wird das Programm durch die Vorstellung baupraktischer Lösungen abgerundet.

Viele haben dazu beigetragen, dass der 7. Sächsische Radontag wieder in den Räumen der HTW Dresden stattfinden kann. Vor allen Dingen möchte ich mich bei den Verantwortlichen und Mitarbeitern der Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur sowie des ZAFT e.V. für die umfassende Unterstützung bedanken. Dank sei auch der Hochschulleitung ausgesprochen, die wiederum die Durchführung der Tagung und darüber hinaus die Arbeit von KORA e.V. in vielfältiger Weise unterstützt. Bedanken möchte ich mich des Weiteren bei den Vertretern des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und

Landwirtschaft, ohne deren inhaltliche und finanzielle Unterstützung der Radontag in der heutigen Form nicht denkbar wäre.

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Vorsitzender KORA e.V.

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel
Rektor der Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden

Grußwort zum 7. SÄCHSISCHEN RADONTAG

In diesem Jahr veranstaltet das Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren – KORA e.V. – bereits seine „9. Tagung Radonsicheres Bauen“, die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als Sächsischer Radontag durchgeführt wird. Wie auch in den letzten Jahren wird die Tagung von der HTW Dresden und dem Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V., dem Forschungszentrum an der HTW Dresden, in vielfältiger Weise unterstützt.

Ich freue mich sehr, die Teilnehmer der Tagung an unserer Hochschule begrüßen zu können. Die Pflege und Förderung des wissenschaftlichen Erfahrungsaustausches ist eine wesentliche Aufgabe unseres Hochschullebens, die ich gern unterstütze.

Die enge Verbindung zwischen KORA e.V. und der HTW Dresden hat sich in den letzten Jahren sehr fruchtbar entwickelt. Dies zeigt sich – neben der Unterstützung des Sächsischen Radontages – vor allen Dingen in der Etablierung des Themas „Radonsicheres Bauen“ in der studentischen Ausbildung. So wird seit nunmehr sieben Jahren an der HTW Dresden - als einziger Hochschule Deutschlands - eine eigenständige Lehrveranstaltung zum radon¬sicheren Bauen und Sanieren angeboten, die durch Studierende der Fakultäten Bauingenieurwesen/Architektur und Maschinenbau/Verfahrenstechnik gut angenommen wird. Neben Hochschullehrern unserer Hochschule vermitteln in dieser Lehrveranstaltung Wissenschaftler von KORA e.V. und Verantwortliche des SMUL ihre Kenntnisse und tragen damit in hervorragender Weise zur umfassenden und praxisbezogenen Lehre bei. Eine ebenfalls intensive Zusammenarbeit von KORA e.V., dem SMUL sowie der HTW Dresden hat sich in der Betreuung von studentischen Praktikums-, Diplom- und Masterarbeiten herausgebildet. Seit Gründung von KORA e.V. im Jahre 2005 konnten so bisher insgesamt 14 Arbeiten zu unterschiedlichen Teilaspekten des radonsicheren Bauens und Sanierens abgeschlossen werden.

Die frühzeitige und umfassende Beschäftigung mit dem Thema des radonsicheren Bauens und Sanierens gewinnt heute vor allen Dingen auf Grund des unmittelbar bevorstehenden Beschlusses der neuen EU-Grundnorm, in die bekanntlich erstmalig Regelungen zum baulichen Radonschutz aufgenommen worden sind, immens an Bedeutung. In diesem Kontext kommt zudem der Weiterbildung von Bauingenieuren und Architekten zum radonsicheren Bauen eine ständig steigende Bedeutung zu. Der Radontag hat sich schon immer für diese Aufgabe eingesetzt und mit den diesjährigen Schwerpunktthemen „Radonmessung“ sowie „Radonsanierung von Altbauten“ wiederum Themen mit einem sehr aktuellen Praxisbezug in den Mittelpunkt der Tagung gestellt.

Mein Dank gilt dem Organisationsteam und den Referenten, die diese Tagung erfolgreich vorbereitet und mit gestaltet haben. Ich wünsche der Tagung einen interessanten Verlauf und allen Teilnehmern einen regen persönlichen Erfahrungsaustausch.

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

Rektor der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

Dr. Hartmut Schwarze
Sächsischen Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft

Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

zum 7. Sächsischen Radontag heiße ich Sie herzlich willkommen.

Die sächsischen Radontage bieten eine ausgezeichnete Möglichkeit den Kenntnisstand über die vielfältigen Optionen des Radonschutzes in Gebäuden darzustellen und zu diskutieren. Auch dieser Radontag wird, wie die bisherigen, mit bereits bekannten Themen, jedoch neuen Erkenntnissen und Methoden, einen Beitrag zur schrittweisen breiten Etablierung eines allgemeinen Bewusstseins über Radon leisten.

Einen großen Schwerpunkt dieser Veranstaltung stellen wieder unterschiedliche Fallbeispiele aus der Praxis von Messungen und Sanierungen dar. Zusätzlich werden neue Methoden zum praktischen Radonschutz vorgestellt. Außerdem wird ein Einblick in die Radonschutzpraxis der US Armee in Europa gegeben. Solche Erfahrungs- und Entwicklungsberichte sind gerade vor dem Hintergrund der voraussichtlich noch in diesem Jahr im Europäischen Rat zur Abstimmung kommenden EU-Grundnorm („Richtlinie des Rates zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung“) von großer Bedeutung. Die in der EU-Ratsarbeitsgruppe (RAG) Atomfragen vereinbarten Referenzwerte für Radon in Wohngebäuden und an Arbeitsplätzen müssen voraussichtlich bis 2018 in bundesdeutsches Recht umgesetzt werden. Das heißt, dass spätestens dann alle Voraussetzungen geschaffen sein müssen, um einheitliche Referenzwerte von 300 Bq/m³ für bestehende und neue Gebäude umsetzen zu können.

Mit den Vorträgen und Diskussionen wirken die Teilnehmer des Radontages aktiv an der Schaffung der Grundlagen für die bevorstehende Umsetzung mit. Damit die Notwendigkeit des Radonschutzes bei allen Interessensgruppen der Bevölkerung Akzeptanz findet, ist es einerseits erforderlich die Öffentlichkeit gut zu informieren, andererseits ist es wichtig kostengünstige Methoden des Radonschutzes in Gebäuden zu finden, zu kommunizieren und weiter zu entwickeln. Dies ist auch eine wesentliche Zielsetzung der sächsischen Radonstrategie.

Wir gehen derzeit davon aus, dass bei etwa 15 Prozent der Gebäude in Sachsen einzelne Räume oberhalb des geplanten Referenzwertes liegen werden. Die Aufgabe, die mit der Umsetzung der Grundnorm vor uns liegt, ist deshalb nicht einfach. Sie kann nur gemeinsam und mit der Unterstützung geschulter Fachpersonen aus den Bereichen des Bauwesens und der Wohnungslüftung gut gelöst werden. Gemeinsam mit Bayern, mit der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden und mit dem Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren e.V. (KORA e. V.) sowie dem Berufsförderungswerk Bau sind wir auf dem Weg solche Schulungen anzubieten.

Damit möchte ich Ihnen allen einen erkenntnisreichen Radontag und viele anregende Diskussionen wünschen.

Dr. Hartmut Schwarze

in Vertretung des Staatssekretärs im Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

VERGLEICHENDE ANALYSE VON VERFAHREN ZUR KURZ- UND LANGZEITMESSUNG DER RADONKONZENTRATION

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR SHORT- AND LONG-TERM MEASURE-MENTS OF THE RADON CONCENTRATION

Andreas Guhr[1)]

Jürgen Conrady[2)]

Bert Rein[3)]

[1)] ALTRAC Radon-Messtechnik, Berlin

[2)] PreCura-Institut für Präventive Medizin, Berlin

[3)] GeoConsult, Oppenheim

Zusammenfassung

Die Dauer einer Messung, d.h. die Entscheidungsfindung, ob Kurzzeitmessung oder Langzeitmessung, ist ein wesentliches Kriterium für die Ermittlung repräsentativer Ergebnisse der Radonkonzentration. Langzeituntersuchungen in verschiedenen Gebäuden über Messzeiträume von bis zu zwei Jahren zeigen, dass in Abhängigkeit von der Messdauer und den geologischen und geografischen Verhältnissen die Radonkonzentration erheblichen Schwankungen in Gebäuden und im Boden unterliegen kann. Es werden sowohl Überschätzungen als auch Unterschätzungen der Kurzzeitmesswerte im Vergleich zum Jahresmittelwert nachgewiesen. Diese Abweichungen sind u.U. erheblich und mit Bezug zu den neueren Risikoschätzungen der ICRP 115 für das radonbedingte Lungenkrebsrisiko der in Wohnungen und an Arbeitsplätzen auch für den Einzelnen relevant. So ist nachgewiesen, dass sich bereits bei dem in der Diskussion befindlichen Referenzwert von 300 Bqm-3 das Lungenkrebsrisiko durch die Radonexposition in Gebäuden nahezu verdoppelt. Bauausführende als auch die für die Radonkontrolle Verantwortlichen müssen sich dieser Problematik stets bewusst sein.

Summary

The duration of radon measurements and application of a proper estimation method is most important to get reliable and representative results. Long-term active and passive permanent measurements, lasting up to 2 years, in different buildings and up to 8 years on a stationary soil location have shown a strong dependency of the measured radon values on geographical, geological and metrological conditions. Due to this influences a large scale variation of radon values of short time measurements in comparison to the corresponding long term values was observed. In regard to the new and higher risk estimates suffering lung cancer by radon exposure by relatively low exposure conditions published by ICRP 115, the observed large scale underestimation of real radon exposure by short term measurements, can create a real health threat for individuals. Especially if the doubling dose for lung cancer is approximately 300 Bqm-3 which follows from the meta- analyses of the European radon studies. Everyone who is involved in building reconstruction for energy saving or monitoring of radon exposure in buildings or at work places should be aware of this problem in order to prevent some draw-backs to him.

1 Einführung

Ein an der Gesundheitsvorsorge orientiertes Schutzkonzept zur Begrenzung der Strahlenbelastung der Bevölkerung wird zukünftig auch eine grundsätzliche Senkung der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen zum Ziel haben. Um sicher unterhalb einer Radonkonzentration zu bleiben, oberhalb der Gesundheitsschäden nachweisbar sind, wird von den zuständigen Behörden darauf orientiert, in Aufenthaltsräumen den Wert von 300 Bq/m³ als Referenzwert für die maximal zulässige Radonkonzentration anzusetzen. Diesbezügliche Regelungen sind seitens der EU vorgesehen.

Die Radonkonzentration in Gebäuden unterliegt in Abhängigkeit von den Nutzungsgewohnheiten der Bewohner Schwankungen, die u.U. bis zu drei Größenordnungen betragen können. Im Folgenden wird auf Kurzzeitmessungen und langzeitintegrierende Messungen unter dem Gesichtspunkt eingegangen, ob Übersichtsmessungen mit Messzeiten von wenigen Tagen bis zu einigen Wochen für eine Beurteilung ausreichend sind oder ob längere Zeiträume, beispielsweise im Rahmen von Bewertungsmessungen, erforderlich sind. Die nachfolgende Tabelle zeigt übersichtsweise die gängigsten Messverfahren sowie deren Einschätzung [1] hinsichtlich der Eignung für bestimmte Aufgabenstellungen (Tab. 1).

Tab. 1: *Eignung von Messgeräten und Messverfahren*

Messverfahren bzw. –gerät	**Übersichtsmessung**	**Bewertungsmessung**
Aktivkohle-Röhrchen	Geeignet	Nicht geeignet
Aktivkohle-Dosen	Geeignet	Nicht geeignet
Kernspur-Verfahren	Geeignet	Geeignet
Elektret-Verfahren	Bedingt geeignet	Geeignet
Aktive Radon-Messgeräte	Geeignet	Geeignet, aber aufwendig
Radon-Zerfallsprodukt-Messgeräte	Geeignet	Geeignet, aber aufwendig

Die Dauer einer Messung, d.h. die Entscheidungsfindung ob Kurzzeitmessung oder Langzeitmessung, ist ein wesentliches Kriterium für die Ermittlung repräsentativer Messergebnisse. Radonmessungen sollten nur mit Messgeräten erfolgen, die über eine gültige Kalibrierung verfügen [2].

2 Methoden

Kurzzeit- und Langzeitmessungen der Radonkonzentration in Gebäuden erfolgten mit Kernspurdetektoren bzw. auch aktiven Messsystemen. Die Bodenradonkonzentration wurde sowohl mit Kernspurdetektoren als auch aktiven Systemen über mehrere Jahre stationär gemessen und in verschiedenen Zeitintervallen ausgewertet. Der Gesamt-Messzeitraum in den vier Beispiel-Objekten erstreckte sich teilweise über mehr als zwei Jahre.

3 Ergebnisse

3.1 Vergleichende Kurz- und Langzeit-Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden in Dresden

Langzeit- und Kurzzeitmesswerte können durchaus in einem statistisch gesicherten Zusammenhang stehen. Allerdings sind die Schwankungsbreiten der aus Kurzzeitmessungen unter Nutzung der Regressionsfunktion aus Abb.1 hergeleiteten Langzeitmesswerte zu groß, um diesen Wert mit ausreichender Sicherheit zu bestimmen.

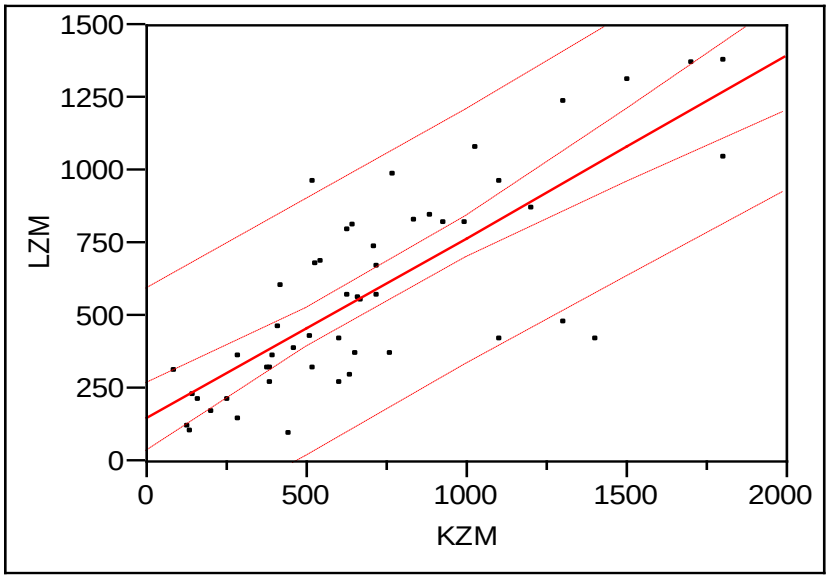


Abb. 1: *Zusammenhang zwischen Kurzzeitmessungen (KZM) und Langzeitmessungen (LZM) der* Radonkonzentration in Wohnungen in Dresden-Süd.

Die Messungen erfolgten mit Kernspurdetektoren jeweils für die Dauer von 4 Wochen (KZM) bzw. 12 Monaten (LZM). Obwohl ein hochsignifikanter Zusammenhang ($n = 51$; $R^2 = 0{,}62$) besteht, ist die Bestimmung des Langzeitwertes aus einem Kurzzeitmesswert mit großen Unsicherheiten behaftet. Die obere und untere gestrichelte rote Linie zeigt den Vertrauensbereich für Einzelwerte an. Werden z.B. 600 Bq/m^{-3} mit Kurzzeitmessungen bestimmt, kann der dazugehörige Langzeitwert im Bereich von ca. 50 – 900 Bq/m³ variieren.

3.2 Zeitaufgelöste Langzeitmessungen in Büro- und Wohngebäuden im Erzgebirge

Die in Gebäuden mit aktiven Systemen stationär gemessene Radonkonzentration können erhebliche Schwankungen der auf Stundenbasis gemessenen Konzentrationswerte aufweisen. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen diese Veränderungen anhand von vier Beispielen (Abb. 2-5). Aus Gründen der Übersichtlichkeit wird aus dem Messzeitraum von jeweils mehr als 24 Monaten nur ein Messintervall von zwölf Monaten betrachtet.

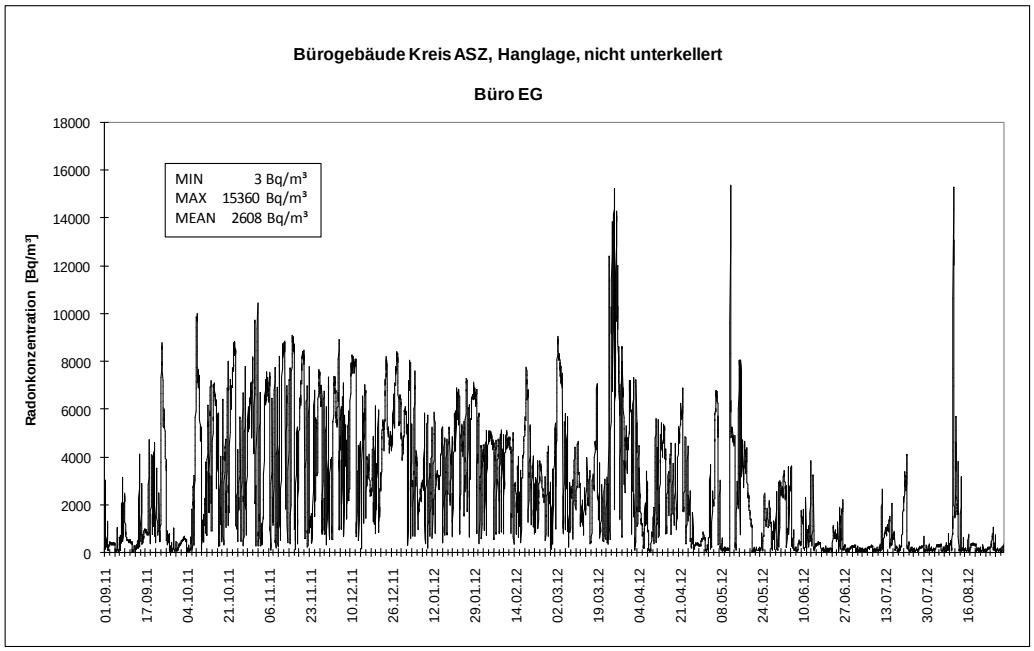


Abb. 2: *Verlauf der Radonkonzentration im EG eines nicht unterkellerten Bürogebäudes*

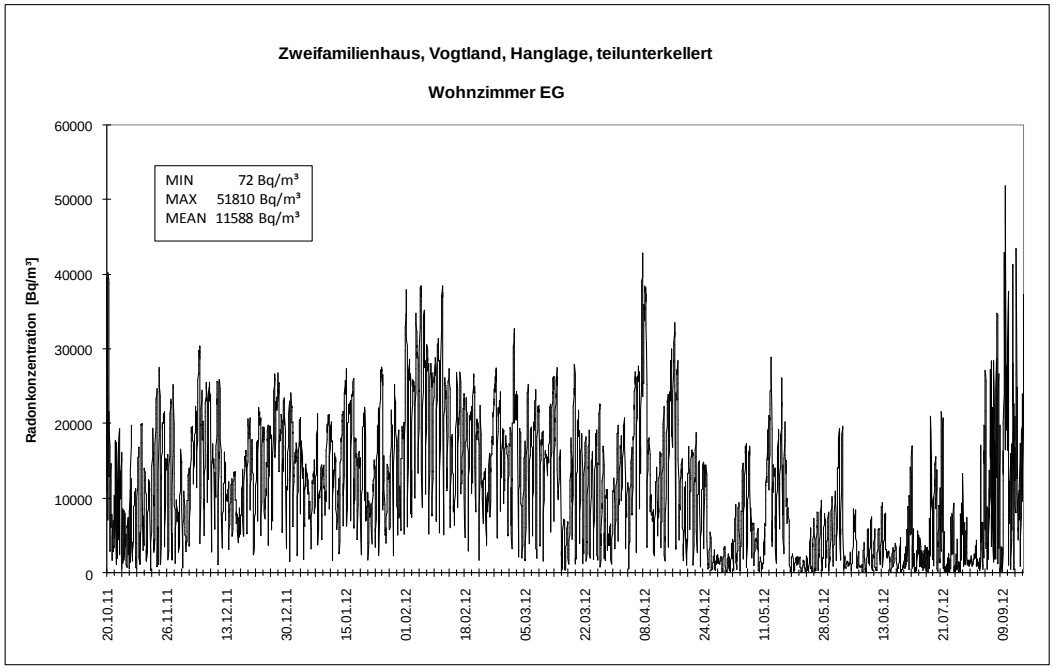


Abb. 3: *Verlauf der Radonkonzentration im EG eines teilunterkellerten Zweifamilienhauses*

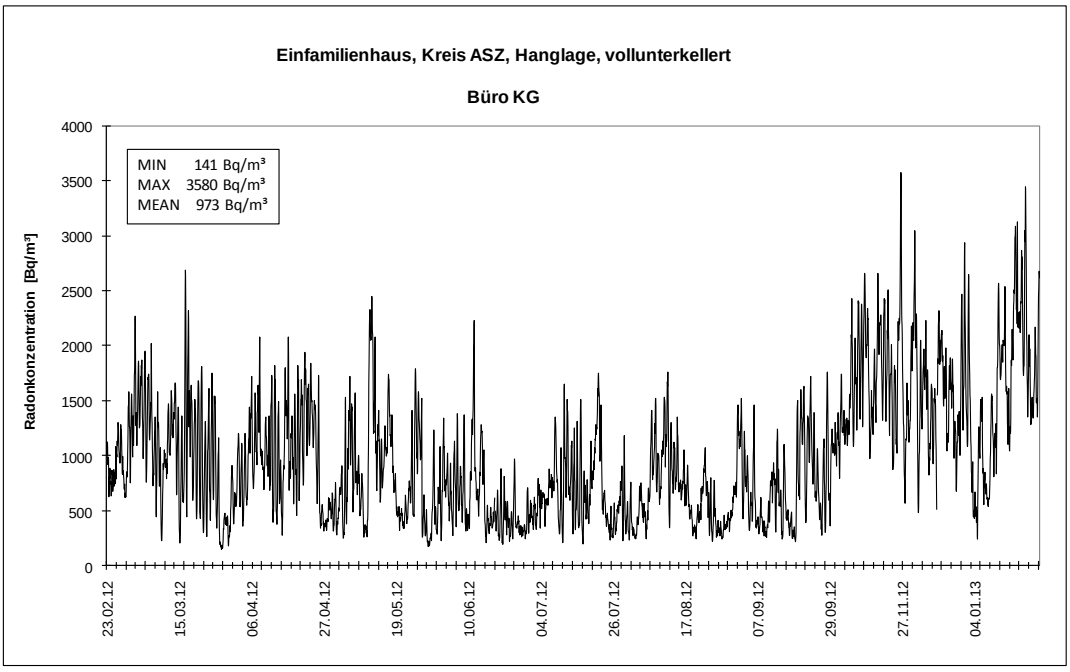


Abb. 4: *Verlauf der Radonkonzentration im Büro im Keller eines Zweifamilienhauses*

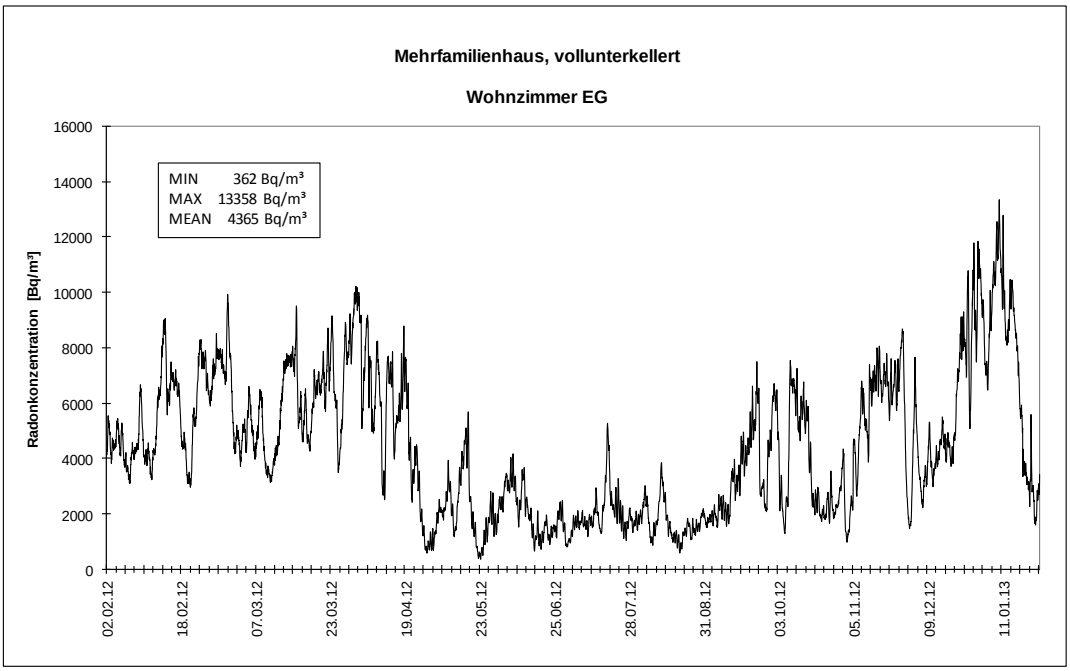


Abb. 5: *Verlauf der Radonkonzentration im EG eines vollunterkellerten Mehrfamilienhauses*

Die nachfolgenden Verteilungen der Radonmesswerte von vier Gebäuden weisen eine hohe Variabilität bei vergleichsweise sehr hohen Radonkonzentrationen auf, die im Bereich erheblicher Gesundheitsgefährdungen liegen (Abb. 6-9). Die Abbildungen beziehen sich jeweils auf den Gesamt-Messzeitraum von bis zu 30 Monaten.

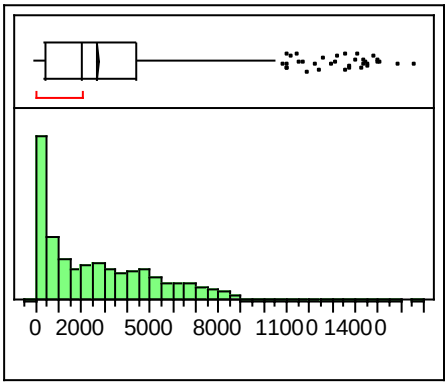


Abb. 6: *Verteilung der Radonkonzentration in einem Büro; Median: 2.064 Bqm^{-3}*

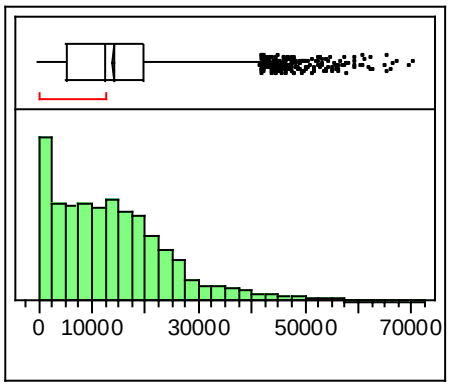


Abb. 7: *Verteilung der Radonkonzentration in einem Wohnzimmer; Median:12.480 Bqm^{-3}*

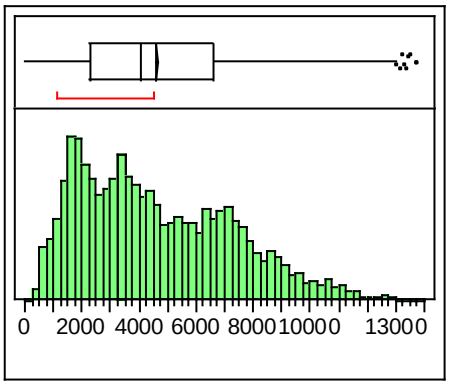


Abb. 8: *Verteilung der Radonkonzentration in einem Wohnzimmer; Median: 4.136 Bqm^{-3}*

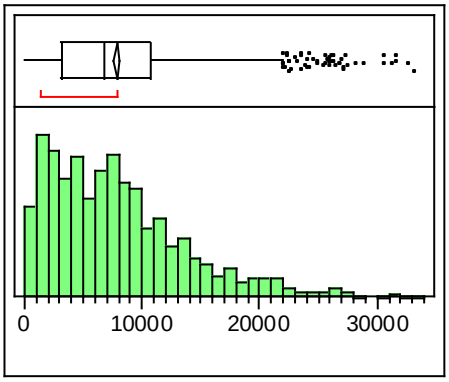


Abb. 9: *Verteilung der Radonkonzentration in einem Keller; Median: 6.936 Bqm^{-3}*

Auffällig sind die sehr hohen und über einen weiten Bereich streuenden Einzelmesswerte. Diese hohe Variabilität, die unter vergleichbaren Bedingungen auch durch andere Autoren beschrieben wird, ist die Ursache dafür, dass Kurzzeitmessungen auf Stundenbasis und wie die Abbildung 1 zeigt selbst bei einer Messdauer von mehreren Wochen nicht geeignet sind, die durchschnittliche jährliche Radonexposition mit der erforderlichen Genauigkeit zu bestimmen. Das zeigen auch die Vergleiche verschiedener Monatsmittelwerte mit dem Jahresdurchschnitt der Radonkonzentration (Abb. 10-12).

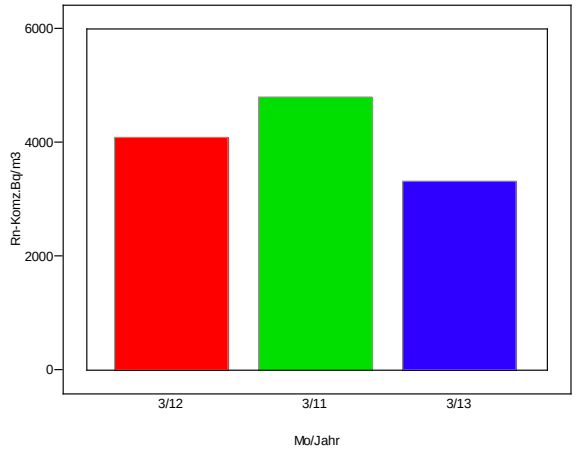


Abb. 10: *Vergleich der Radonkonzentration im Büro-Gebäude im Monat März der Jahre 2011 bis 2013*

Wie diese Abbildungen zeigen, sind die Werte zwischen den gleichen Monaten verschiedener Jahre doch relativ gut reproduzierbar. Diesen Effekt haben wir auch bereits bei Messungen der Bodenradonkonzentration festgestellt. Die Monatswerte des gleichen Jahres weichen dagegen untereinander und vom durchschnittlichen Jahreswert teilweise erheblich ab. Die Unterschiede sind signifikant und können zu erheblichen Fehleinschätzungen mit allen sich daraus ergebenden Konsequenzen führen.

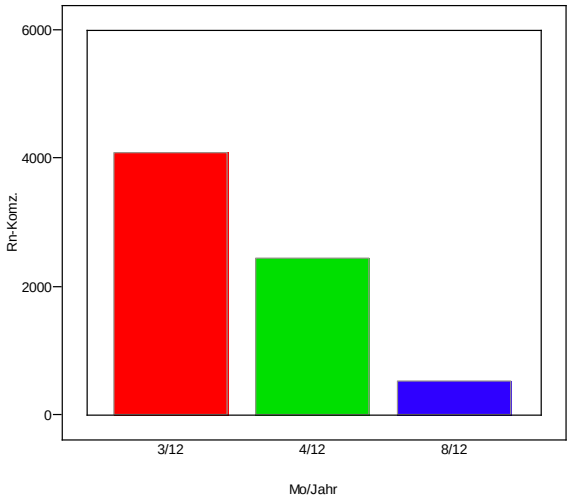


Abb. 11: *Monats-Mittelwert im Büro zwischen verschiedenen Monaten des Jahres 2012*

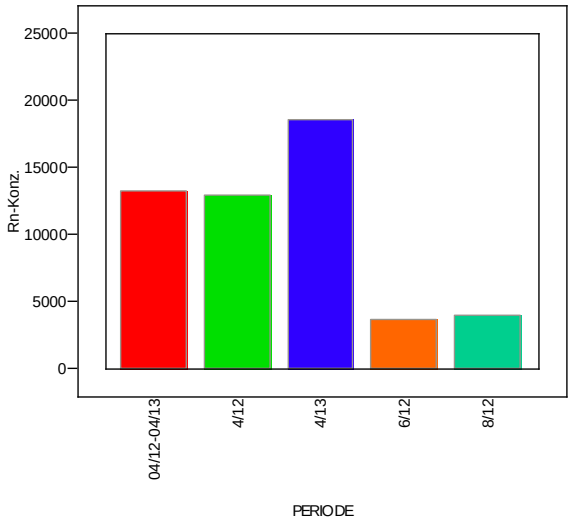


Abb. 12: *Monats-Mittelwert im Wohnzimmer zwischen verschiedenen Monaten im Vergleich zum Jahresmittelwert (rote Säule)*

3.3 Bodenradonmessungen

Die Hauptquelle der Radonbelastung in Häusern stellt das Bodenradon dar, welches vor allem durch Konvektion in Gebäude durch Undichtigkeiten eindringen kann. Ein Beispiel dafür zeigt exemplarisch die Abbildung 13 am Beispiel eines Mehrfamilienhauses mit Keller.

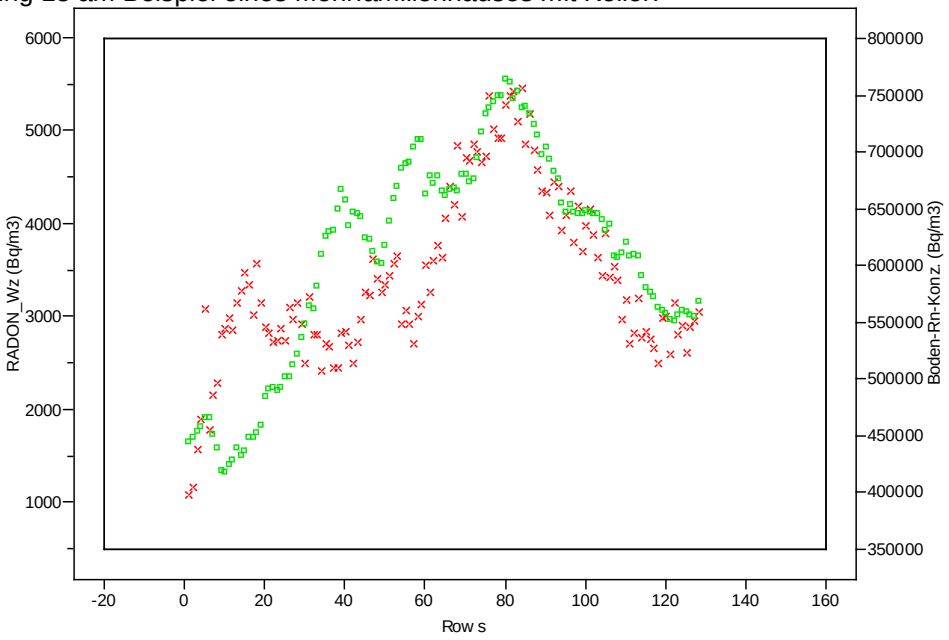


Abb. 13: *Zusammenhang zwischen der Bodenradonkonzentration unter der Fundamentplatte (rechte Skala, grün) und der Radonkonzentration im Erdgeschoss (linke Skala, rot)*

Diese Abbildung deutet darauf hin, dass diese Variablen bzw. deren Änderung im Zeitverlauf korreliert sind. Die entsprechende Korrelationsanalyse bestätigt dann auch diesen Zusammenhang (Abb. 14).

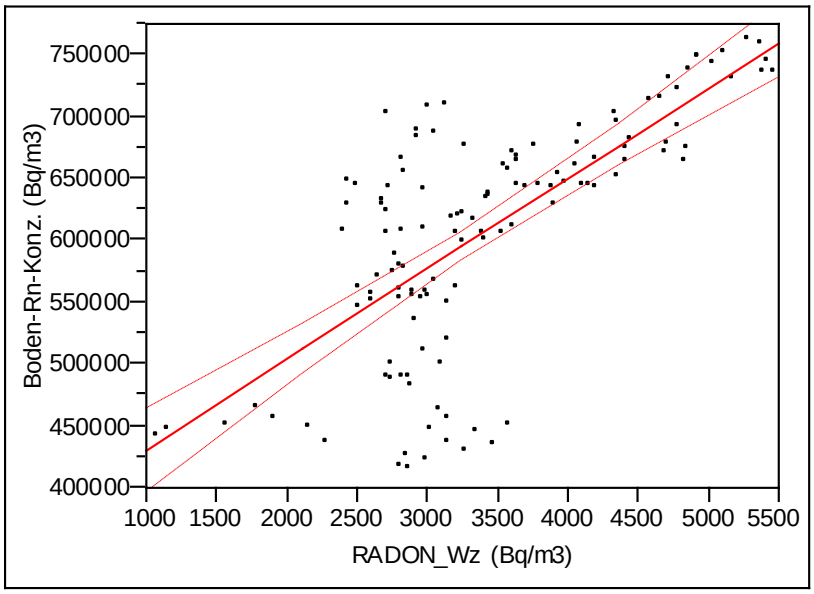


Abb. 14: *Zwischen der Radonkonzentration in Bq/m³ in der Wohnung (RADON_FL) und der Radon-*konzentration unter der Bodenplatte besteht ein statistisch hochsignifikanter Zusammenhang (p< 0,001)

Daraus folgt aber auch, dass die Bodenradonkonzentration im Lauf eines Jahres und abhängig von verschiedenen äußeren Einflüssen (z.B. Luftdruck, Temperatur, Feuchtigkeitsgehalt etc.) starken und periodischen Schwankungen unterliegen kann. Dieser Effekt wurde von uns und auch vielen anderen Autoren eindeutig nachgewiesen ([4], [5], [6]) (Abbildungen 15-18). Die Abbildung 15 zeigt die Auswertung von 366 Messperioden [3] zur Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft an einer stationären Messsonde in 80 cm Tiefe im Erdreich (Untersuchungsansatz Verbundene Stichprobe) mit Kernspurdetektoren und jeweils einer Woche Messzeit.

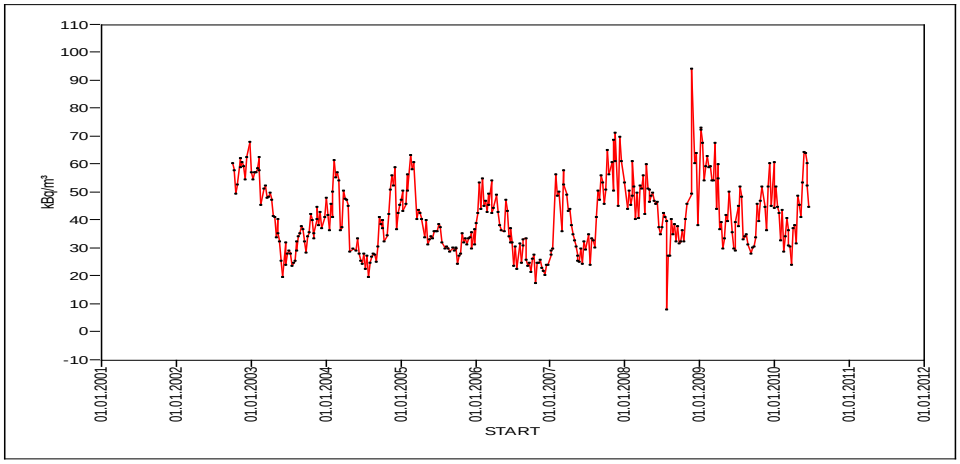


Abb. 15: *Zeitreihenanalyse der Bodenradonkonzentration im Zeitraum von IV/2002 bis II/2010*

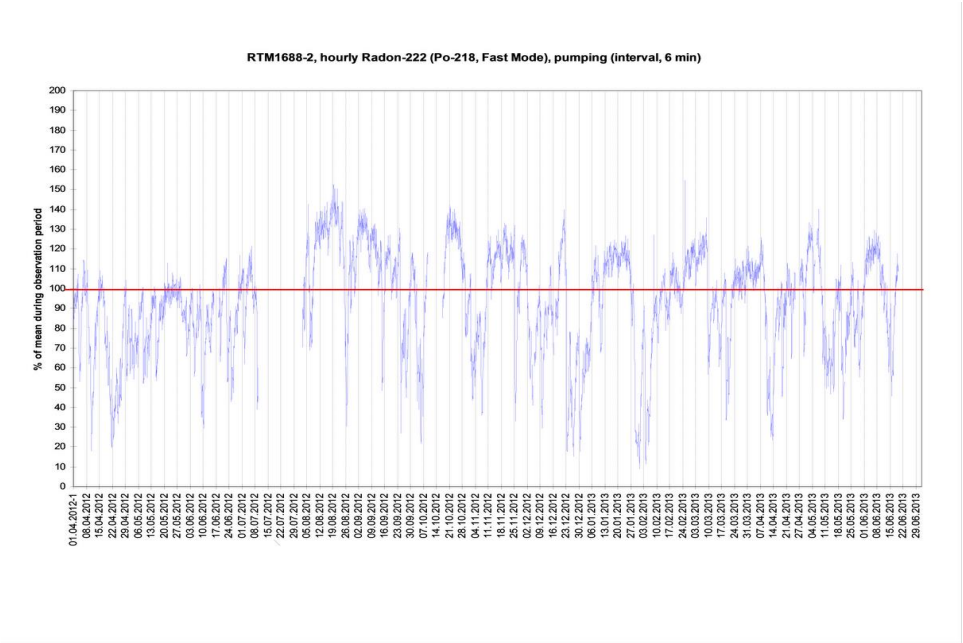


Abb. 16: *Verlauf der Bodenradonkonzentration in kBq/m³ in 1 m Tiefe an einem stationären Messpunkt Probenahme erfolgte aller 1 h mit einem Messgerät vom Typ RTM 1688[4]*

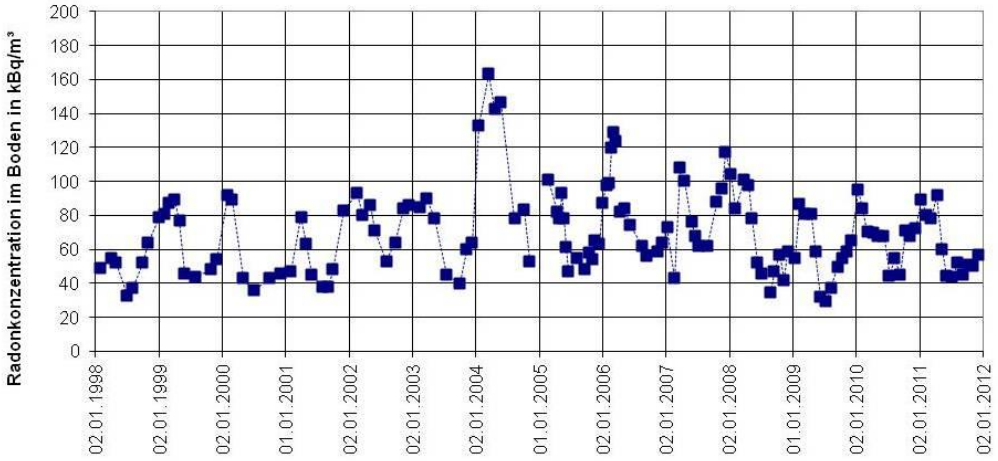


Abb. 17: *Verlauf der Bodenradonkonzentration in kBq/m³ in 1 m Tiefe an einem stationären Messpunkt im nicht durch Bergbau beeinflussten Teil Bad Schlema, Probenahme einmal monatlich [5]*

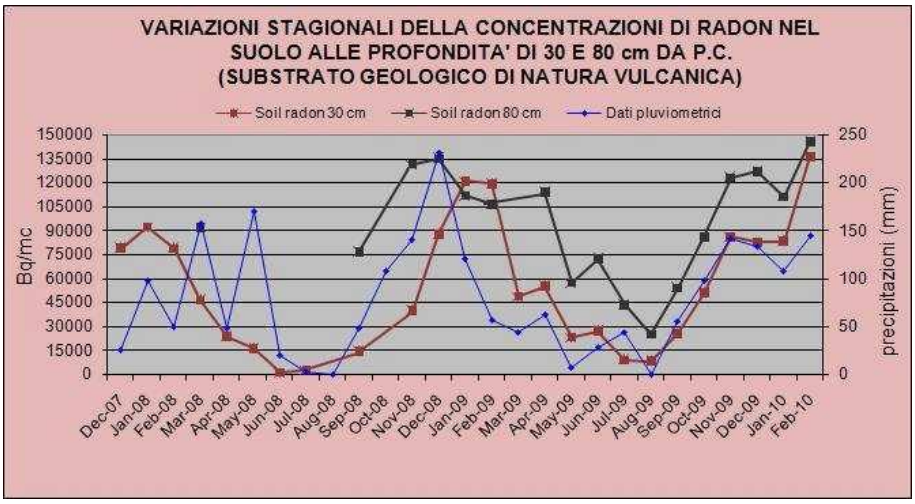


Abb. 18: *Verlauf der Bodenradonkonzentration in 80 cm Tiefe (schwarze Kurve) über einen Zeitraum von 16 Monaten [6]*

Auch hier wird die Schlussfolgerung wie im Fall der Wohnraummessungen bestätigt, dass Kurzzeitmessungen der Bodenradonkonzentration im Bereich weniger Minuten keinen repräsentativen Langzeitwert der Bodenradonkonzentration liefern können. Eine ausführliche Diskussion dieser Ergebnisse würde den Rahmen dieses Artikels sprengen und wir verweisen auf die zitierte Primärliteratur.

3.4 Diskussion und Schlussfolgerungen

Neue Schätzungen des radonbedingten Lungenkrebsrisikos im niedrigen Expositionsbereich zeigen, dass die bisherigen Annahmen zur Höhe des Risikokoeffizienten korrigiert werden müssen. Die neueste Empfehlung der ICRP (ICRP 115) bestimmt den neuen Risikofaktor für Radonexpositionen im Bereich von jährlich 200 Bqm^{-3} bzw. bei einer kumulativen Radonexposition von 50 WLM mit 5 x 10^{-4} WLM^{-1} statt bisher 2,8 x 10^{-4} WLM^{-1}. Das bedeutet auf das Lebenszeitrisiko bezogen, dass eine Exposition

von 1 WLM fünf Lungenkrebsfälle und 50 WLM 250 Lungenkrebsfälle pro 10.000 Personen verursacht. Andererseits folgt aus den Ergebnissen der Meta-

analyse der europäischen Radonstudien, dass bereits bei einer jährlichen Radonexposition mit ca. 350 Bqm^{-3} eine Verdopplung des Lungenkrebsrisikos zu erwarten ist und damit die Anerkennungsschwelle für eine radonbedingte Lungenkrebserkrankung erreicht wird. Der gegenwärtig diskutierte Referenzwert der zulässigen Radonexposition in Gebäuden liegt bei ca. 300 Bqm^{-3}.

Langzeitmessungen der Radonkonzentration in Gebäuden und auch bei Freimessungen an untertägigen Arbeitsplätzen mit geeigneten Messsystemen **und** Methoden sind daher unabdingbar, um repräsentative Messwerte der Radonkonzentration und Strahlendosis zu erhalten. Nur so ist gewährleistet, dass bei den nachgewiesenen Schwankungen der Kurzzeitmesswerte, die durchaus im Bereich der Verdopplungsdosis für Lungenkrebs liegen können und verschiedenen Aerosolcharakteristiken, Unterschätzungen der Radonexposition vermieden werden. Ansonsten besteht die Möglichkeit, das Bauausführende, Energieberater, Verantwortliche für die Strahlenschutzüberwachung, Arbeitgeber und Vermieter für mögliche Gesundheitsschäden verantwortlich gemacht werden können.

Die Anforderungen an die Gewährleistung des Strahlenschutzes, speziell in Sachsen mit einem erheblichen Anteil hochexponierter Gebäude in den Regionen mit hoher Radonbelastung und zunehmender Umsetzung der Energieeinsparverordnung, werden zukünftig weiter steigen.

4 Literaturverzeichnis

[1] Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten; Veröffentlichungen der Strahlenschutzkommission; Band 47, 2002

[2] Überwachung von Strahlenexpositionen bei Arbeiten, Leitfaden für die Umsetzung der Regelung nach Teil 3 Kapitel 1 und 2 StrlSchV, BfS-SW-03/06, 2006

[3] Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft – Wie zuverlässig sind die Messwerte, Strahlenschutzpraxis, S. 56-60, Heft 3/2011

[4] Persönliche Mitteilung durch Dr. Bert Rein, GeoConsult

[5] Regner,J., Wismut GmbH, Langzeituntersuchungen der Radonkonzentration im Boden, 43. Sitzung des AK Natürliche Radioaktivität, Zarrentin, 2012

[6] Castelluccio, M., Neznal, M., etal., Soil Gas Radon Concentration and Permeability, 10. International Workshop on the Geological Aspects of Radon Risk Mapping, Prague, 2010

ZEITREIHENANALYSE DER ERGEBNISSE VON RADONKONZENTRATIONSMESSUNGEN IN HÄUSERN

TIME SERIES ANALYSIS OF RADON MEASUREMENTS IN DWELLINGS

Kai Geringswald

Walfried Löbner

Christian Schramm

Wismut GmbH, Chemnitz

Zusammenfassung

Im Zusammenhang mit der Analyse des Einflusses bergbaulicher Hinterlassenschaften auf die Radonsituation in Häusern wurden in den letzten Jahren umfangreiche zeitaufgelöste Messungen in Kellern von Gebäuden, die sich in der unmittelbaren Umgebung von tagesnahen Grubenhohlräumen oder permeablen Aufschüttungen aus Haldenmaterial in dicht bebauten Gebieten befinden, ausgeführt. Die spezielle Zielstellung bestand in der messtechnischen Kontrolle des Einflusses von untertägigen Sanierungsarbeiten auf die Radonsituation in Häusern bzw. in einer fundierten Dokumentation des Sanierungseffektes. Die Methodik der Zeitreihenanalyse erlangte in den letzten Jahren auch zunehmende Bedeutung für das Langzeit-Monitoring von unterschiedlichen Umweltdaten, so dass eine Vereinheitlichung der Datenanalyse und Nutzung der Erkenntnisse aus anderen Fachgebieten zweckmäßig ist. Es wird eine Methodik der statistischen Auswertung der Zeitreihen von Radonkonzentrationsmessungen vorgestellt. Durch Anwendung bekannter statistischer Verfahren erfolgt eine geeignete Aggregation und Visualisierung umfangreicher zeitabhängiger Daten. Die effektive Zeitreihenanalyse erfolgte mit verfügbaren modernen Computerprogrammen, die auf eine statistische Datenanalyse spezialisiert sind. Die charakteristische hohe Variabilität der Radonkonzentrationen und ihre Abhängigkeit von Umweltparametern (Temperatur-, Wind- und Luftdruckschwankungen) sowie von der Gebäudenutzung (Luftwechsel) wurden durch ausgewählte statistische Parameter quantifiziert. Die Zeitreihenanalyse von Radonkonzentrationsmessungen trägt zur Verbesserung des Systemverständnisses, zur effektiven Ursachenaufklärung hoher Radonkonzentrationen in Häusern und zur Kommunikation über die Radonsituation mit der betroffenen Bevölkerung bei.

Summary

In connection with the analysis of the mining residue influence on the radon situation in dwellings extensive time resolved radon measurements has been conducted in the cellars of dwellings located in vicinity of abandoned mine workings and permeable mine dump materials on density populated sites. The special aim consisted in monitoring of underground remediation activity influences on the radon situation in dwellings and in funded documentation of the remediation effect. In the last years, the technique of time series analysis became important in different fields of long-term monitoring of environmental data. The standardization of data analysis using the know-how of other branches seems to be convenient. It will be demonstrated a methodology of statistical analysis of radon concentration time series measurements. The application of well-known statistical methods results in useful data

aggregation and visualization of extensive time series data. The effective data analysis has been done with available computer programs specialised in statistical data analysis. The characteristic large variability of radon concentrations in the special case and the dependence on environmental parameters (temperature, wind, barometric pressure changes) as well as on occupant behaviour (air change rate) has been quantified by selected statistical parameters. The time series analysis of radon concentration measurements improves the understanding of the complex behaviour, upgrades the cause analysis of high radon concentrations in dwellings and makes a contribution to the communication about radon situations with the public.

Der Beitrag lag zum Redaktionsschluss noch nicht vor.

RADONMESSUNGEN IN SCHULEN IN SACHSEN - MESSPROGRAMM 2012 - 2013

RADON MEASUREMENTS IN SCHOOLS IN SAXONY - MEASURING PROGRAM 2012 - 2013

Werner Preuße

Harry Busch

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL)

Zusammenfassung

Im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) führt die BfUL ein Messprogramm in sächsischen Schulen durch, das die Radonsituation in den betrachteten Schulgebäuden erkunden und ggf. das Zustandekommen von erhöhten Radonkonzentrationen in der Raumluft von Aufenthaltsräumen mit weiterführenden Untersuchungen analysieren soll. Im Ergebnis werden bei Bedarf Empfehlungen für Schutzmaßnahmen abgeleitet, deren Umsetzung durch die Nutzer und die zuständige Verwaltung des Gebäudes ebenfalls durch Radonmessungen begleitet wird, so dass eine kosteneffiziente, schrittweise Verbesserung der Radonsituation erzielt werden kann. Unsere Herangehensweise, die aufeinander aufbauende Durchführung der Untersuchungen, die Auswertung der Messungen und die Ableitung von Empfehlungen werden in diesem Beitrag am konkreten Beispiel eines Schulgebäudes demonstriert, dessen schrittweise Untersuchung bereits nahezu vollständig erfolgt ist.

Summary

By order of the Saxon State Ministry of the Environment and Agriculture (SMUL) the BfUL conducts a measuring program in Saxon schools in order to ascertain the radon situation in the inspected school buildings and, where indicated, to reveal the sources of elevated indoor radon concentrations by detailed further investigation. As outcome recommendations for protective actions are derived if required. Their implementation by the users and by the management of the building is accompanied by further radon measurements so that a cost-effective, stepwise improvement of the radon situation can be achieved. Our approach, the successive realisation of the inspection, the evaluation of the measurements and the derived suggestions are exemplary presented for a school building where the steps of the investigation were already almost completed.

1 Einleitung

Die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) führt als Radonberatungsstelle des Freistaates Sachsen seit dem Jahr 2009 keine Radonmessungen in sächsischen Wohnhäusern und öffentlichen Gebäuden mehr durch, die lediglich die Überprüfung des Baugrundes oder die Einhaltung von Empfehlungswerten in Innenräumen zum Ziel haben. Um den Erkenntnisgewinn für die zuständigen Landesbehörden zu den Zusammenhängen beim Zustandekommen von erhöhten Radonkonzentrationen in Gebäuden in den Vordergrund zu stellen und zur Abgrenzung gegenüber gewerblichen Anbietern wurden zwei Messprogramme initiiert, von denen eines Radon in öffentlichen Gebäuden zum Gegenstand hat. Auch staatliche und andere öffentliche Gebäude können von erhöhten Radonbelastungen betroffen sein, wobei deren Nutzungsspezifika und die oft gegebene Komplexität der Gebäude entsprechend modifizierte Bewertungen der Radonsituation sinnvoll und notwendig erscheinen lassen. Dies trifft in spezieller Weise auch auf Schulen zu. Die Bewertung und Erläuterung von gemessenen Radonkonzentrationen gegenüber den Nutzern eines untersuchten Gebäudes stellt ebenfalls eine besondere Herausforderung dar, da mit Besorgnissen sensibel umgegangen werden muss. Weder eine pauschale Bagatellisierung noch eine gezielte Dramatisierung wären sachgerecht und für gegebenenfalls anzustrebende Problemlösungen hilfreich.

2 Vorbereitung

Da die im Rahmen des Messprogramms in Schulen zu erhebenden Daten und durchzuführenden Auswertungen über das unmittelbare Interesse der Nutzer hinausgehen können, werden die Teilnehmer auf der Grundlage einer besonderen Aufgeschlossenheit der Schulträger und -nutzer (Liegenschaftsverwaltung und Schulleitung) ausgewählt. Besonderes Augenmerk wird auf eine detaillierte Vorstellung des Vorhabens vor Ort gelegt, um die folgenden Punkte zu klären:

- Warum wird das Messprogramm durch den Freistaat durchgeführt und "was kostet / bringt es" vor Ort?
- Welche Messungen sollen im Einzelnen stattfinden (Messgeräte, Anzahl, Dauer)?
- In welcher Form und an wen werden die Ergebnisse berichtet?
- Wie sollen mögliche erhöhte Radonkonzentrationen behandelt werden? Was geschieht zur Ursachenermittlung? Wie können gemeinsame Schritte zur Problembehandlung organisiert werden?
- Wie kann die Kommunikation mit Mitarbeitern, Schülern und Eltern organisiert werden? Welche Strategien sind hierzu möglich (die BfUL sichert der Schulleitung die Entscheidung darüber zu)? Welche Randbedingungen sind durch den gesetzlichen Datenschutz gegeben?
- Welche praktischen und technischen Fragen sind abzustimmen (Auswahl der Räume für die Messungen, mögliche Messzeiträume)?

Mit von der Schulleitung benannten zuständigen Ansprechpartnern in der Schule (z. B. naturwissenschaftlicher Fachlehrer und/oder Hausmeister) werden die konkreten Planungen abgestimmt. Auf der Grundlage von Gebäudeplänen unterbreitet die BfUL einen Vorschlag für die räumliche Verteilung von aktiven und passiven Messgeräten (s. Beispiel in Abb. 1). Dabei werden zunächst die relevanten Räume des erdberührten Geschosses betrachtet (solche mit potentiellen Eintrittspfaden, Nutzung durch Personen). Hinzu kommen weitere Räume vor allem im Erdgeschoss, die durch Ankopplung an das Untergeschoss am wahrscheinlichsten von der Ausbreitung erhöhter Radonkonzentrationen betroffen sein können bzw. als repräsentativ für die Etage anzusehen sind. Als Messzeiträume werden für die zeitaufgelösten Messungen mit aktiven Geräten mindestens zwei Unterrichtswochen (einschließlich der drei Wochenenden) und für die integrierenden Messungen mit Kernspurdetektoren 3 Monate außerhalb der größeren Ferien (d. h. im Herbst oder im Frühjahr) vorgesehen.

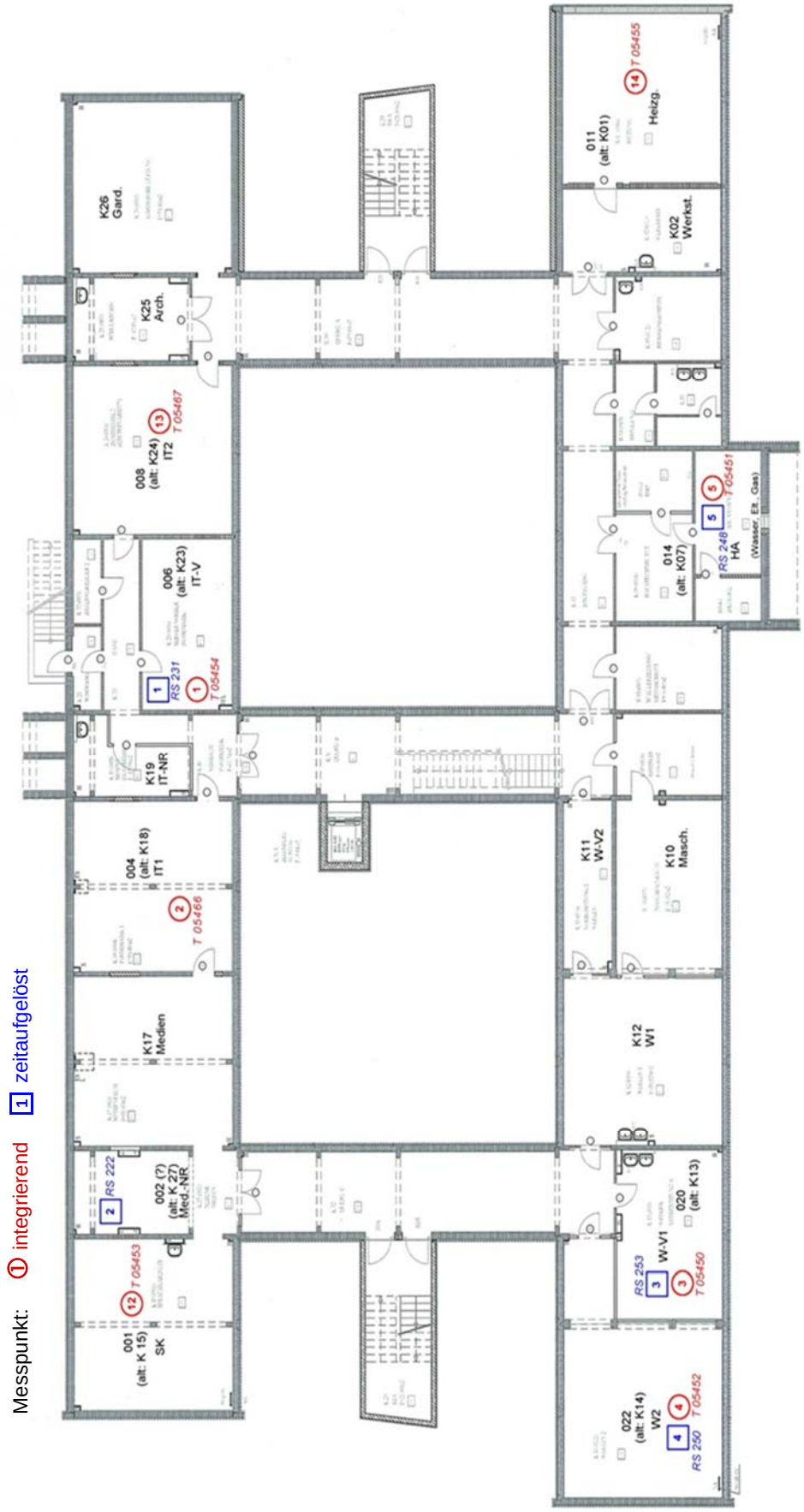


Abb. 1: *Anordnung der Messpunkte im Untergeschoss eines Schulgebäudes*

3 Durchführung

Nachdem der Vorschlag der BfUL für die Verteilung der Messgeräte auf bestimmte Räume durch den Nutzer bestätigt oder mit Hinweisen versehen worden ist, werden die zu bestückenden Räume einvernehmlich festgelegt. Neben den fachlichen Kriterien spielen hierfür auch weitere Aspekte eine Rolle, wie nicht in den Gebäudeplänen enthaltene Details der Raumnutzung, gegenüber den Gebäudeplänen veränderte Leitungsführungen oder andere Besonderheiten, mögliche Störungen der Messungen in Folge anderweitiger Arbeiten in bestimmten Räumen und die Messkapazitäten der BfUL.

Die folgende Tab. 1 gibt einen Überblick über die Bestückung eines Schulgebäudes mit Radonmessgeräten bei den aufeinanderfolgenden Messeinsätzen.

Tab. 1: *Radonmessungen in einem Schulgebäude bei mehreren Messeinsätzen (ETP = Eintrittspfadsuche an mehreren Punkten pro Raum, *)in Verbindung mit einem vorgegebenen Lüftungsregime)*

		Anzahl der Messungen				
	im Jahr	2012				2013
	Messzeiträume	13.4. - 2.5. / 16.7.	2.7. - 16.7.	9.8.	14.9. - 1.10.	18.2. - 12.3.
Untergeschoss	zeitaufgelöst	7	5	3 *)	8 *)	7 *)
	integrierend	12	-	-	-	-
	ETP	-	-	19 in 7 R.	-	-
Erdgeschoss	zeitaufgelöst	4	-	-	-	1 *)
	integrierend	9	-	-	-	-
1. Obergeschoss	integrierend	5	-	-	-	-

Nach den ersten Messungen im April-Mai 2012 wurden die Ergebnisse in einer Beratung mit der Schulleitung und der Liegenschaftsverwaltung vorgestellt und die möglichen Maßnahmen gegen die in einigen Räumen des Untergeschosses vorgefundenen, hohen Radonkonzentrationen diskutiert. Im Ergebnis sollten die auffälligen Werte durch Wiederholungsmessungen bereits vor den Sommerferien und dem Ende der dreimonatigen, integrierenden Messungen überprüft werden.

In den folgenden Monaten schlossen sich weitere zeitaufgelöste Messungen an, um einerseits die vermuteten Eintrittspfade für Radon aus dem Untergrund zu lokalisieren und andererseits die Wirksamkeit eines von der BfUL empfohlenen Lüftungsregimes zu überprüfen. Bei letzterem traten zunächst Abweichungen bei der Umsetzung auf, so dass diese Messungen nach den Winterferien im Jahr 2013 wiederholt wurden.

4 Ergebnisse

4.1 Mittelwerte und Zeitreihen der Raumluftmessungen

In der folgenden Tab. 2 sind die Ergebnisse der Radonmessungen im Untergeschoss zur Erfassung des Istzustandes als Mittelwerte über die betreffenden Messzeiträume zusammengestellt. Die zeitaufgelösten Messungen (Stundenwerte) erlauben die Unterscheidung der prinzipiellen Aufenthaltszeiten, die expositionsrelevant sein können. Hierfür wurde pauschal der Zeitraum von 8 bis 16 Uhr an Unterrichtstagen angenommen. In den untersuchten Räumen des Erdgeschosses und des 1. Obergeschosses lagen alle Ergebnisse bis auf einen Fall unterhalb von 200 Bq/m^3 und in jenem bei 280 Bq/m^3 (integrierende Messung).

Tab. 2: *Mittelwerte der gemessenen Radonkonzentrationen in Untergeschossräumen eines Schulgebäudes ([1)]gesamter Messzeitraum; [2)]nur Werktage außerhalb von Ferien, jeweils 8-16 Uhr; [3)]integrierende Langzeitmessung)*

Haus / Etage	Raum	Beschreibung	Radonkonzentration (Bq/m³)			
			13.4.-2.5. ges. MZ[1)]	13.4.-2.5. Nutzung[2)]	2.7.-16.7. Nutzung[2)]	13.4.-16.7.[3)]
1 / K	001	Sprachkabinett				1000
1 / K	002	Nebenraum Medien	2520	2340	280	
1 / K	004	Informatik 1			130	650
1 / K	006	Informatik Vorbereitung	610	510		270
1 / K	008	Informatik 2				290
1 / K	011	Heizung				50
1 / K	014	Hausanschlussraum (W, E, G)	700	700		620
1 / K	020	Werken Vorbereitung 1	2960	2860	1700	1700
1 / K	022	Werken 2	2520	2430	2800	2900
1 / K	TH-N	Treppenhaus Nordflügel (Keller)			700	
2 / K	030	Musik	310	260		410
2 / K	031	Unterrichtsraum				260
2 / K	035	Unterrichtsraum				450
2 / K	042	Vorbereitung Musik	820	670		740

Der Einfluss der Nutzung eines Raumes (noch ohne gezieltes Lüften) lässt sich an Hand eines sogenannten mittleren Tagesganges veranschaulichen, bei dem die Werte zu den jeweils gleichen Tagesstunden über die gesamte Messperiode von zwei Wochen zusammen gefasst werden. Da sich die Wochenenden (keine Nutzung der Räume) typischerweise von den Werktagen unterscheiden, ist eine getrennte Darstellung sinnvoll. In Abb. 2 ist ein entsprechendes Beispiel dargestellt.

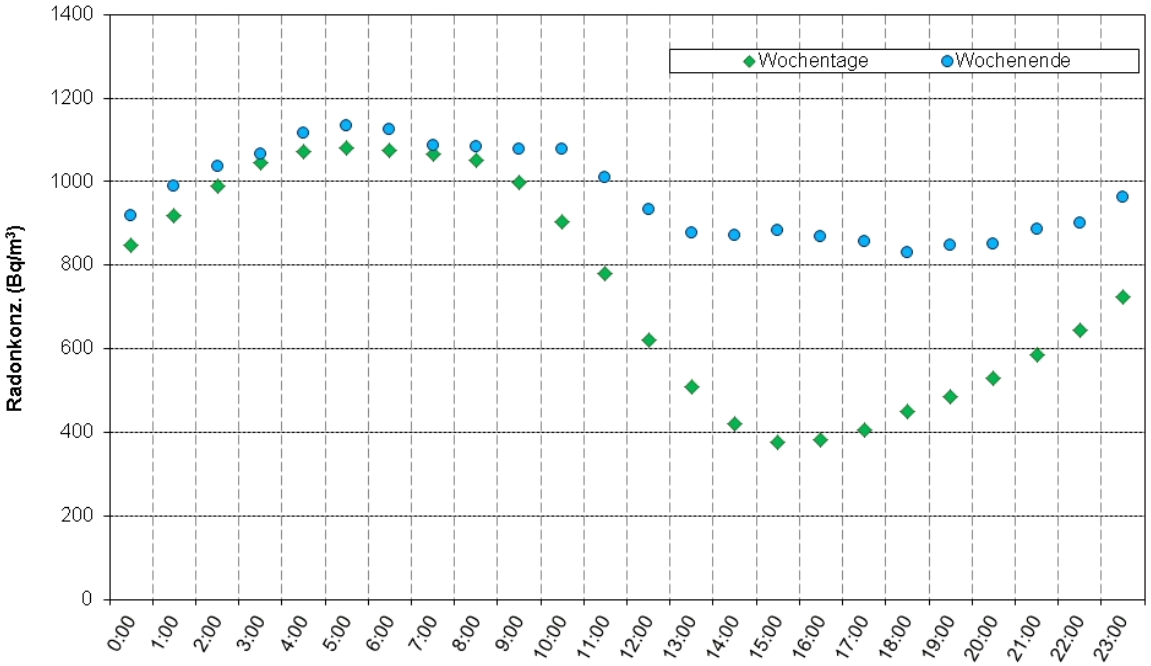


Abb. 2: *Mittlerer Tagesgang der Radonkonzentration im Vorbereitungsraum Musik*

Allerdings verdeutlicht die Darstellung des mittleren Tagesganges den Einfluss der Nutzung bzw. Lüftung nur dann, wenn diese wenigstens an den meisten Tagen zu etwa gleichen Zeiten stattfinden. Andernfalls ist es vorzuziehen zur Beurteilung der Dynamik der Radonkonzentration den Verlauf der einzelnen Stundenwerte zu betrachten. Die Daten eines entsprechenden Beispiels in Abb. 3 würden in der Darstellung des mittleren Tagesganges kaum Unterschiede zwischen den Tageszeiten erkennen lassen.

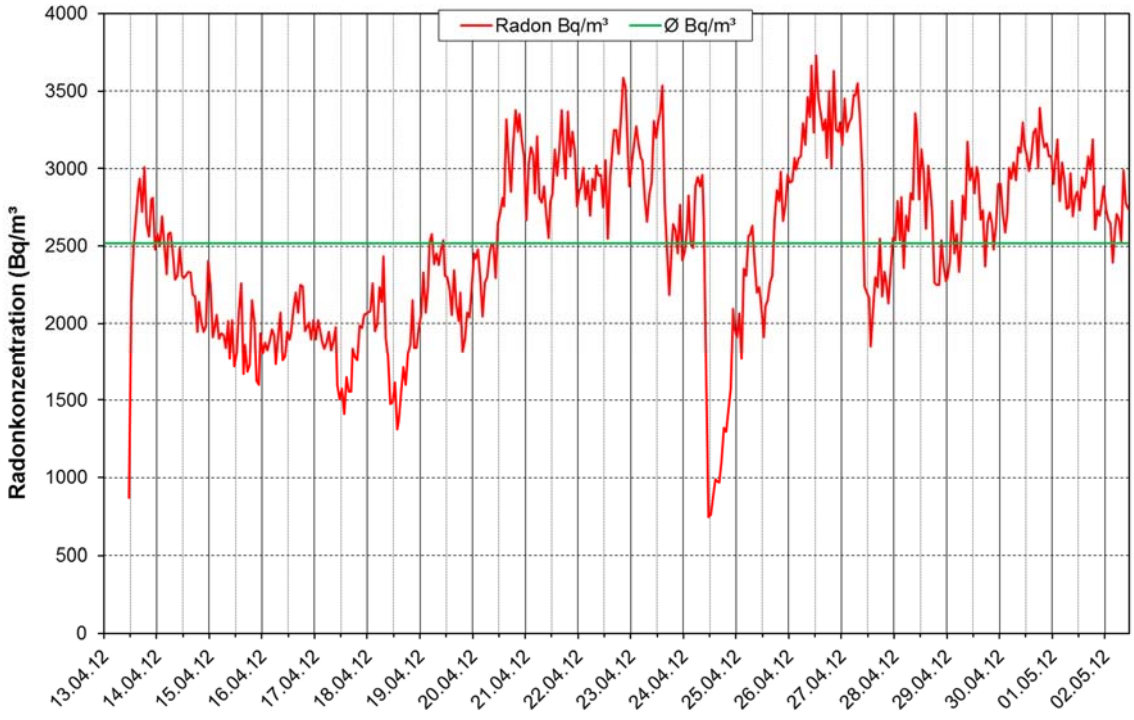


Abb. 3: *Stundenwerte der Radonkonzentration im Raum Werken 2*

4.2 Eintrittspfadsuche

Die Höhe der Radonkonzentration in einzelnen Räumen des Untergeschosses ist ein Hinweis darauf, dass es einen signifikanten Radoneintritt aus dem Untergrund gibt. Sofern eine unbeschädigte Bodenplatte vorhanden ist, rücken deshalb mögliche Eintrittspunkte an Leitungsdurchführungen oder Fugen in den Fokus.

Die Suche nach Eintrittspfaden für Radon erfolgt durch das gezielte Ansaugen und Messen von Luft an Stellen der erdberührten Gebäudehülle (Wänden und Fußboden des Untergeschosses), an denen erfahrungsgemäß lokale Undichtigkeiten nicht unwahrscheinlich sind. Die auf diese Weise gewonnenen Werte sind als qualitative Hinweise aufzufassen und in ihrer Größe nicht mit den gemessenen Radonkonzentrationen zu vergleichen, die zur Bewertung der Radonsituation eines Raumes ermittelt werden (mittlere Raumluftkonzentrationen, die zumindest potentiell eingeatmet werden, für den Vergleich mit Referenzwerten aus Empfehlungen der EU-Kommission).

In der folgenden Tab. 3 sind die Ergebnisse der Messungen an möglichen Eintrittsstellen zusammen gestellt.

Tab. 3: *Per Ansaugung ermittelte Radonkonzentrationen an potentiellen Radoneintrittsstellen in Untergeschossräumen eines Schulgebäudes*

Haus/ Raum	**Nutzung**	**MP**	**potentieller Eintrittspfad an …**	**Radonkonz. (Bq/m³)**
1 / K 001	Sprach-kabinett	1	Versorgungsschacht Außenwand hinten links	400
		2	Heizleitungskanal Fensterseite links	900
1 / K 002	Nebenraum Medien	1	Heizleitungskanal Außenwand links	700
		2	Versorgungsschacht rechts	1100
		3	Versorgungsschacht links (Elt.)	400
1 / K 003	Medien-raum	1	Versorgungsschacht Außenwand hinten links	500
		2	Heizleitungskanal Fensterseite (an Pfeiler)	500
1 / K 020	Werken Vorberei-tung 1	1	Versorgungsschacht links vorn neben Tür/Waschbecken	6500
		2	Versorgungsschacht rechts vorn neben Tür	5500
		3	Heizleitungskanal Fensterseite links	15500
1 / K 022	Werken 2	1	Heizleitungskanal Außenwand rechts hinten	9100
		2	Heizleitungskanal Außenwand links hinten	1700
		3	Heizleitungskanal Außenwand rechts vorn neben Tür	1500
		4	Versorgungsschacht links vorn neben Tür (Elt.)	700
2 / K 030	Musik	1	Heizleitungskanal Fensterseite Mitte	3200
		2	Heizleitungskanal Fensterseite rechts	2000
		3	hinter Verkleidung Versorg.-Schacht rechts von Tür (Waschbecken)	1200
2 / K 042	Musik Vor-bereitung	1	Heizleitungskanal Fensterseite links	2400
		2	Heizleitungskanal Fensterseite rechts	5000

Die Eintrittspfadsuche kann insofern als erfolgreich bewertet werden, als sich eine Reihe von Stellen lokalisieren ließen, an denen ein signifikanter konvektiver Radoneintritt erfolgt, der bei entsprechenden Unterdruckbedingungen (in der Regel in der Heizperiode verstärkt) und unzureichendem Luftwechsel

mit radonarmer Luft während der Nutzung zu erhöhten Radonkonzentrationen in solchen Räumen führen muss. Daraus leiten sich Empfehlungen für spezielle Maßnahmen ab (s. Pkt. 5.).

4.3 Lüftungsversuche

Um zumindest übergangsweise einen Weg zur Selbsthilfe aufzuzeigen, wurde für die Räume, in denen die Mittelwerte der Radonkonzentration oberhalb 400 Bq/m^3 (= Referenzwert aus der noch geltenden Empfehlung 90/143/Euratom der Europäischen Kommission für bestehende Gebäude) gelegen hatten, ein Lüftungsregime vorgeschlagen (manuelles ca. 10-minütiges Querlüften vor Unterrichtsbeginn und in der Mittagspause). Im Ergebnis zeigte sich, dass mit einer Ausnahme alle Räume während der tatsächlichen Nutzungszeiten, die anhand der Raumbelegungspläne zugeordnet werden konnten, deutlich unter 200 Bq/m^3 lagen. In einem Raum wurde zwar während der tatsächlichen Nutzungszeiten eine Absenkung auf ca. die Hälfte des früheren Wertes erreicht, das Ergebnis lag mit 1100 Bq/m^3 aber immer noch deutlich über den Referenzwerten. Die folgende Abb. 4 zeigt den Verlauf der Stundenwerte in diesem Raum über eine Unterrichtswoche und macht deutlich, dass sich der durch das Lüften erzielte positive Effekt in ausreichendem Umfang erst zu spät auswirkt bzw. die Nutzung allein ohne gezieltes Lüften hier keinen ausreichenden Luftwechsel bewirkt.

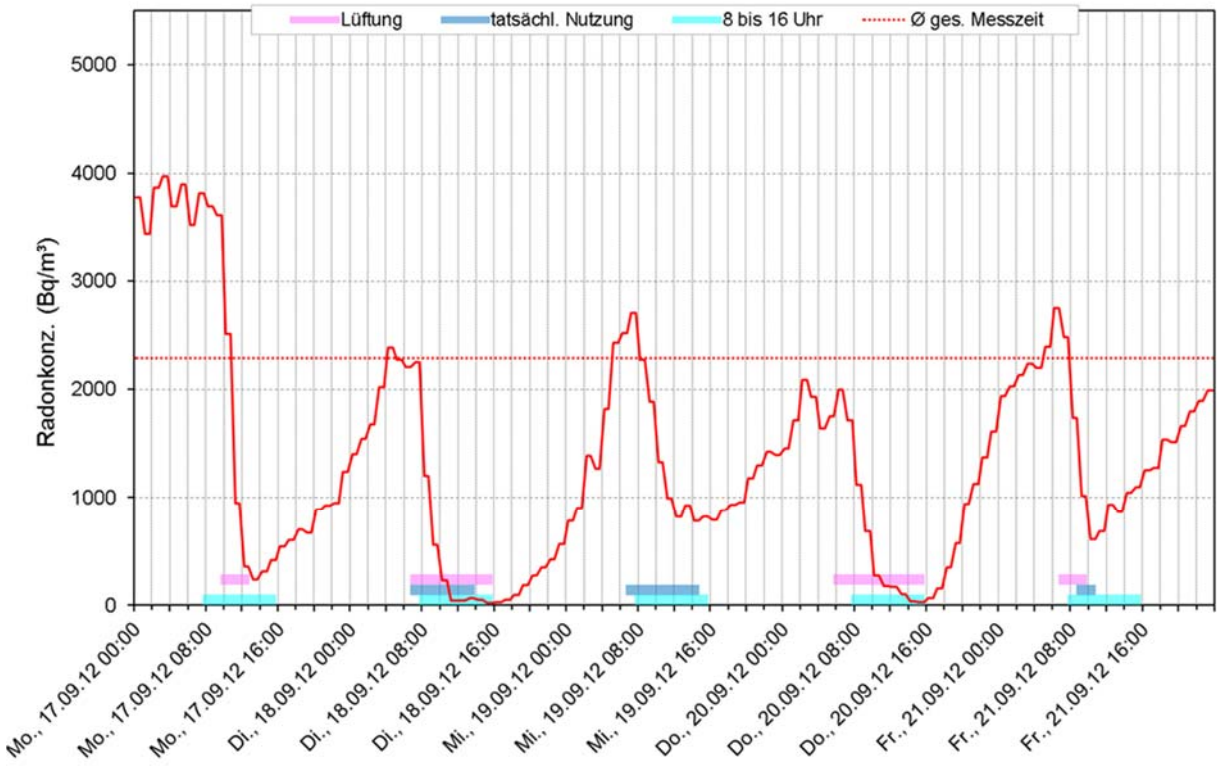


Abb. 4: *Stundenwerte der Radonkonzentration im Raum Werken 2 in einer Unterrichtswoche mit dokumentierten Lüftungs- und Nutzungszeiten (mit Durchschnittswert über 2 Wochen einschließlich Wochenenden)*

Einschränkend ist allerdings anzumerken, dass die tatsächlichen Lüftungszeiten und -arten teilweise deutlich von dem Vorschlag der BfUL abwichen, da die milde Witterung in der zweiten Septemberhälfte wahrscheinlich zu deutlich längerem Lüften motivierte (z.T. mehrere Stunden pro Tag mit angekippten Fenstern). Deshalb können die hierbei gewonnenen Ergebnisse nicht auf die kalte Jahreszeit übertragen und die festgestellten positiven Lüftungseffekte nicht für das Winterhalbjahr verallgemeinert werden. Um dafür belastbare Aussagen zu gewinnen, mussten die Untersuchungen unter Befolgung

des vorgeschlagenen Lüftungszyklus mit jeweils ca. 10-minütiger Querlüftung, die auch bei kalter Witterung noch nutzungsverträglich sein sollte, wiederholt werden.

Zur Unterstützung der Einhaltung der Lüftungsempfehlungen durch die vor Ort durch die Schulleitung beauftragten Hausmeister wurde seitens der BfUL ein Lüftungsprotokoll vorgegeben, für das ein Beispiel auszugsweise in der Abb. 5 dargestellt ist.

Staatliche Betriebs-gesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft	Protokolle	Prot-Rn-412-2 Ausgabe 01 Seite 11 von 16

Messprogramm des Freistaates Sachsen zu Radon in öffentlichen Gebäuden:
Az. 22-4691.80/7/12-412 - Lüftungs- und Nutzungsprotokoll

Raum	H1 K022	Verantwortliche:
Nutzung	Werken 2	
Datum	**Uhrzeit (von – bis)**	**Lüften oder andere relevante Aktivität und auch** Abweichungen v. Stundenplan d. Raums
20.02. .2013	$6^{00} - 6^{25}$	Lüften
21.02 .2013	$6^{10} - 6^{35}$	- " -
22.02. .2013	$6^{15} - 6^{30}$	- " -

Abb. 5: *Protokoll zur Dokumentation des empfohlenen manuellen Lüftens in der Schule*

Das empfohlene Lüftungsregime wurde nach den Winterferien in der Schule umgesetzt (allerdings nur am Morgen vor dem Unterrichtsbeginn, nicht jedoch in der Mittagspause). Die folgende Tab. 4 enthält die begleitend ermittelten Werte der Radonkonzentration. Eine individuell nach jedem einzelnen Raum und seiner tatsächlichen Nutzungszeit differenzierte Erfassung der Radonkonzentration ist jedoch für eine standardisierte Bewertung nicht praktikabel. Deshalb wurde im Weiteren nur von einer "regulären" (d.h. normalerweise möglichen) Nutzung zwischen 8 und 16 Uhr während der Unterrichtstage ausgegangen.

Tab. 4: *Mittelwerte der Radonkonzentration in Räumen (mit zuvor > 400 Bq/m³) eines Schulgebäudes bei einem definierten Lüftungsregime*

Haus / Etage	**Raum**	**Beschreibung**	**Radonkonzentration (Bq/m³)**	
			gesamter Zeitraum (alle Tage, 0-24h)	reguläre Nutzung (Unterrichtstage, 8-16h)
1 / K	001	Sprachkabinett	620	420
1 / K	002	Nebenraum Medien	520	420
1 / K	004	Informatik 1	360	310
1 / K	006	Informatik Vorbereitung	70	100
1 / K	020	Werken Vorbereitung 1	1900	1330
1 / K	022	Werken 2	1870	1210
2 / K	042	Vorbereitung Musik	580	340

Die Ergebnisse zeigen, dass morgendliches Lüften über jeweils ca. 10 min in 2 der 7 Räume nicht ausreicht, um die Radonkonzentration wenigstens in die Nähe des Referenzwertes von 400 Bq/m³ zu senken. Dies verdeutlicht auch der zeitliche Verlauf der Radonkonzentration (Beispiel in Abb. 6).

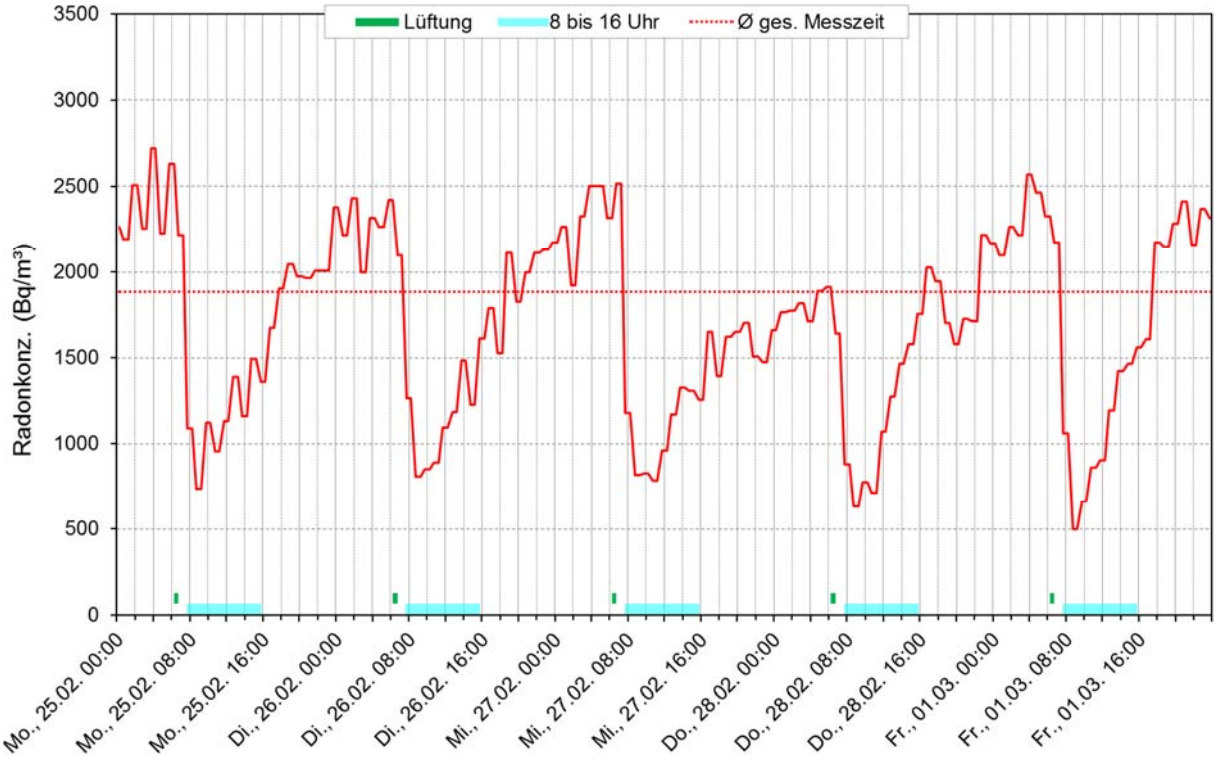


Abb. 6: *Stundenwerte der Radonkonzentration im Raum Werken 2 in einer Unterrichtswoche mit dokumentierten Lüftungszeiten (mit Durchschnittswert über 2 vollständige Wochen)*

5 Bewertung

Die in den insgesamt 5 durchgeführten Messkampagnen gewonnenen Ergebnisse erlauben eine vorläufig abschließende, zusammenfassende Bewertung der Radonsituation in dem untersuchten Schulgebäude und prinzipiell tragfähige Empfehlungen zur Vermeidung erhöhter Innenraum-Radonkonzentrationen in diesem Objekt. Die gesonderte Behandlung jedes einzelnen Raumes erscheint hierbei vor dem Hintergrund der praktischen Umsetzbarkeit der Empfehlungen nicht sinnvoll. Deshalb wird vorausgesetzt, dass eine potentielle Nutzung durch Personen an Unterrichtstagen zwischen 8 und 16 Uhr zu unterstellen ist, solange kein Lüftungsregime realisiert werden kann, welches spezifisch auf die tatsächlichen Unterrichtsstunden bzw. Aufenthaltszeiten in den betreffenden Räumen abgestimmt ist. Dies ist konform mit dem Prinzip im Strahlenschutz durch eine gewisse Konservativität sicherzustellen, dass Besonderheiten im Einzelfall möglichst nicht dazu führen, dass das vorgegebene Schutzziel nicht erreicht wird.

Die Ergebnisse der zeitaufgelösten Messungen unter definierten Lüftungsbedingungen zeigen, dass durch gezieltes Lüften in allen Räumen deutliche Absenkungen der Radonkonzentration auch unter winterlichen Bedingungen erreichbar sind. Dennoch wurde nicht durchweg der Referenzwert von 400 Bq/m^3 (entspricht der noch geltenden Empfehlung 90/143/Euratom der Europäischen Kommission von 1990 für bestehende Gebäude) eingehalten, da sich die durch das morgendliche Lüften erzielte Absenkung der Radonkonzentration nur innerhalb weniger Stunden auswirkt. Die Wiederholung des Lüftens (praktischerweise) während der Mittagspause (und in den Räumen "Werken 2" sowie "Werken Vorbereitung 1" während der Hofpause am Vormittag) würde zu einer erneuten Absenkung führen und sicherstellen, dass während der zu betrachtenden Stunden zwischen 8 und 16 Uhr Radonkonzentrationen in der Nähe bzw. unterhalb von 400 Bq/m^3 erreicht werden. Insofern sollte die Einschätzung der Realisierbarkeit des Lüftens in der Mittagspause, welches bei den Messungen im

Februar/März 2013 nicht erfolgte, hinterfragt werden. Entsprechende Festlegungen kann nur die Schulleitung bzw. die Schulverwaltung treffen.

Im Ergebnis des Nachweises von Radoneintrittspfaden (s. Tab. 3) war der für das Schulgebäude zuständigen Stelle eine genauere Eintrittspfadsuche angeboten worden, da vorhandene Verkleidungen von Heizungskanälen die genauen Eintrittsstellen verdeckten. Das hierfür erforderliche Entfernen der Abdeckungen soll während der kommenden Herbstferien erfolgen, so dass nach einer genauen Lokalisierung der Eintrittsstellen durch Messungen der BfUL deren Abdichtung erfolgen kann.

Als Probleme bei der Auseinandersetzung mit erhöhten Radonkonzentrationen in Schulen sind auf der Grundlage der bei der Untersuchung des hier vorgestellten und anderer Schulgebäude gemachten Erfahrungen zu nennen:

- Raumspezifische Lüftungszyklen (z.B. in Räumen, die nur gelegentlich genutzt werden) sind unter den Bedingungen des regulären Schulbetriebs und der organisatorischen wie personellen Kapazitäten wahrscheinlich kaum realisierbar.
- Die Aufrechterhaltung eines Lüftungsregimes, das sich als ausreichend zur Beherrschung des Radons erwiesen hat (nach entsprechender messtechnischer Kontrolle), durch die Schulleitung allein erscheint schwierig, da naturgemäß deren Aufgabenschwerpunkte andere sind und Beauftragte, wie z.B. Hausmeister, regelmäßig kontrolliert werden müssten. Abhilfe könnte hier eine generelle "Lüftungsvorgabe" der Schulverwaltung schaffen, die zumindest in bestimmten Raumarten (v.a. Nutzungsräume im erdberührten Gebäudebereich) ein minimal durchzuführendes manuelles Lüften als Routineaufgabe (z.B. ähnlich wie das Einschalten oder Hochfahren der Heizung) vorschreibt, solange keine technische Lüftung genutzt werden kann.
- Auch nach der Feststellung von radonrelevanten Mängeln in einem Schulgebäude (z.B. Radoneintrittspfade) können seitens der liegenschaftsverwaltenden Stelle nicht ohne weiteres Mittel für zumindest vorläufige Maßnahmen wie lokale Abdichtungen aufgewendet werden. Die Mittelbereitstellung für Radonmaßnahmen in begrenztem Umfang (keine großen Sanierungen) sollte deshalb in die Instandhaltungsplanung (Mittelreserve für Akutmaßnahmen) aufgenommen werden.

BRAUCHEN WIR FÜR NEUBAUTEN MESSUNGEN DER BODENRADONKONZENTRATION?

DO WE NEED MEASUREMENTS OF THE GROUND RADON CONCENTRATION FOR NEW BUILDINGS?

Walter-Reinhold Uhlig

HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur

Zusammenfassung

Im Beitrag werden die Verfahren zur Bodenradonmessung sowie die Probleme, die sich im Zusammenhang mit der Messung ergeben, kurz vorgestellt.

Die Analyse von Messungen der Radonbelastung in Neubauten führt im Zusammenhang mit der unbefriedigenden Situation der Bodenradonmessung zu dem Schluss, dass letztere letztendlich nicht erforderlich und zweckmäßig sind. Vielmehr ist eine hohe Bauqualität hinsichtlich der Dichtheit der erdberührten Gebäudehülle durchzusetzen, die bei Schadensfreiheit mit Sicherheit zu geringen Radonkonzentrationen in der Raumluft führt. Ggf. können ergänzende lüftungstechnische Maßnahmen im Neubau vorgesehen werden, die erst dann aktiviert werden müssen, wenn durch Baumängel die Radonbelastung im fertig gestellten Gebäude trotz Anwendung heute üblicher Abdichtungslösungen über den angestrebten Zielwerten liegt.

Summary

In the paper the procedures to the ground radon measurement as well as the problems which arise in connection with the measurement are briefly introduced.

The analysis of measurements of the radon load in new buildings leads in connection with the dissatisfactory situation of the ground radon measurement to the conclusion that the last eventually are not necessary and suitable. Rather a high construction quality is to be put through concerning the density of the ground-touched building cover which leads with damage freedom with certainty to low radon concentrations in the ambient air. If necessary complementary airing-technical measures can be planned in the new building which must be activated only when by construction faults the radon load lies in the finished building in spite of use today of usual sealing solutions about the aimed aim values.

1 Einführung

Bodenradonmessungen, die in Vorbereitung von Neubauvorhaben durchgeführt werden sollen, sind weltweit außerordentlich unterschiedlich geregelt. In den meisten Ländern – so auch in Deutschland - gibt es keine standardisierten Verfahren für die Ermittlung der Bodenradonkonzentration. Im Rahmen dieses Beitrages soll auf die Frage eingegangen werden, wie mit der Ermittlung der Bodenradonkonzentration in der Planungsphase von Neubauten umgegangen werden sollte und welche Schlussfolgerungen sich hinsichtlich des baulichen Radonschutzes ergeben.

An der HTW Dresden sind in den letzten zwei Jahren im Rahmen einer Projektarbeit des Masterstudienganges Bauingenieurwesen [1] in insgesamt sechs Wohngebäuden Messungen durchgeführt worden, die, soweit nicht bereits Werte vorlagen, durch Bodenradonmessungen ergänzt worden sind. Auf diese Untersuchung wird im Abschnitt 3 dieses Beitrages näher eingegangen, um im Abschnitt 4 die Ergebnisse der Messungen in die Gesamtbewertung einzubeziehen.

2 Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft

Wie ist die Radonkonzentration in der Bodenluft zu messen?

Eine klare, eindeutige Antwort kann auf diese Frage nicht gegeben werden. Zu unterschiedlich sind die Aussagen und Vorgehensweisen in Forschung und Baupraxis, ein standardisiertes Messverfahren ist nicht bekannt. So wurden eine ganze Reihe von staatlichen Institutionen sowie Ingenieurbüros befragt und eine gründliche Internetrecherche (unter Einbezug Deutscher, Schweizer, Südtiroler und Österreichischer Quellen) durchgeführt. Das Ergebnis ist insgesamt wenig ergiebig. Die wenigen Quellen, die auf die Bodenradonmessung eingehen, bleiben sehr häufig im Ungewissen.

Eine kurze Übersicht über die Rechercheergebnisse aus dem Internet (die Ergebnisse der durchgeführten Befragung lagen zum Zeitpunkt der Erarbeitung dieses Beitrages leider noch nicht vor), zeigt, wie unterschiedlich man sich der Frage der Bodenradonmessung nähert:

Zuerst soll ein kurzer Blick in das allgegenwärtige Nachschlagewerk „wikipedia“ geworfen werden. Dort ist unter dem Stichwort „Radonmessungen“ [2] ein langer Artikel veröffentlicht. Die Bodenradonmessung wird nicht einmal erwähnt, geschweige denn beschrieben, wie eine solche durchgeführt werden soll. Auch ein Blick auf die Internetseite des Bundesamtes für Strahlenschutz [3] bringt keine konkreten Hinweise für die Bodenradonmessung. Als einzige konkrete Information konnte ich dort entnehmen, dass sich die Konzentration ab einer Tiefe von einem Meter in der Regel nur noch wenig ändert (mit dem unausgesprochenen Umkehrschluss, dass eine Messtiefe von einem Meter ausreichend ist). Eine Aussage, die ich, so allgemein ausgesprochen, nicht unterschreiben würde! Zu unterschiedlich sind die geologischen Bedingungen, wenn man einen konkreten Bauplatz betrachtet. Auch Veröffentlichung einiger Landesämter enthalten keine klaren Vorschläge für die Messdurchführung, sodass hier auf weitere Zitate verzichtet werden soll. Die Informationen, die aus Veröffentlichungen verschiedener Ingenieurbüros zum Thema Bodenradonmessung entnommen werden können, sind ebenfalls nicht geeignet, eine eindeutige Aussage zu erhalten.

Warum dies so ist, soll durch zwei Zitaten, ebenfalls aus dem Internet entnommen, verdeutlicht werden. So schreibt die Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie in ihrer Erläuterung zur Messung der Bodenradonkonzentration: „*Die Messung der Radon-Konzentration in der Bodenluft dient vor allem zur Bewertung des Radon-Potenzials an Neubaustandorten und zur Erkundung der Ursachen erhöhter Radon-Konzentrationen in bestehenden Gebäuden. Das methodische Vorgehen hängt sehr stark von den konkreten örtlichen Gegebenheiten ab. Die Messungen erfolgen in Bohrlöchern in Tiefen > 1 m. Messungen in geringeren Tiefen tragen nur orientierenden Charakter. Das Ergebnis sind Kurzzeitmesswerte, die den aktuellen Radonstatus im Boden wiederspiegeln. Um Verfälschungen der Messung zu minimieren sind viele Randbedingungen (z.B. meteorologische - und Umgebungsbedingungen, Homogenität des Untergrundes, Art des Messung, Messzeitraum) zu berücksichtigen.“* [4]. Ein weiteres Zitat aus der Beantwortung einer Anfrage im Österreichischen Parlament [5] geht in die gleiche Richtung: „*Es gibt keinen Bodenkataster über die Radonkonzentration*

im Boden. Die Radonkonzentration im Boden ist von einer Unzahl von Parametern abhängig, wie z.B. Feuchtigkeit, Permeabilität, Bodenbeschaffenheit, Temperatur, Luftdruck etc., die sich laufend ändern. Jede Radonmessung liefert in diesem Sinne eine Momentaufnahme und die Ergebnisse sind unter anderen Außenbedingungen nicht reproduzierbar." (Hervorhebungen Uhlig).

Diese kurzen Beschreibungen und Zitate zeigen im Grunde das Dilemma auf: Viele Unwägbarkeiten beeinflussen die Messungen, weswegen die Ergebnisse lediglich orientierenden Charakter haben. Zweifellos, auch das kann indirekt der Veröffentlichung der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie entnommen werden, sind durchaus Messungen möglich, die die Radonsituation in der Bodenluft exakt beschreiben, nur sind das dann Langzeitmessungen, die ggf. auch in größerer Tiefe als einem Meter durchgeführt werden (oder in verschiedenen Tiefenstufen). Diese eignen sich aber auf Grund des hohen Aufwandes sowie der langen Messdauer nicht für den Planungsprozess von Gebäuden.

Trotz der unbefriedigenden Situation hinsichtlich verbindlicher Regelungen haben sich gewisse Regelungen für die Messung der Bodenradonkonzentration herauskristallisiert: So wird vor Ort eine Rammsondierung bis etwa 1,10 m Tiefe eingebracht, in der eine Bodenluftsonde abgelassen wird. Die Bodenluftentnahme erfolgt somit aus etwa einem Meter Tiefe. Die Anwendung eines Packersystems wird empfohlen, da somit der Entnahmeraum definiert abgegrenzt werden kann. In der aus einem Meter Tiefe angesaugten Bodenluft wird mittels verschiedener Verfahren und Geräte die Radonkonzentration bestimmt. Dabei können sowohl Einzelproben entnommen werden (wobei die Luftmenge abhängig von dem Volumen der Messkammer ist) oder aber es wird eine kontinuierliche Luftentnahme durchgeführt, die mittels eines Radonmonitors zeitaufgelöste Messergebnisse erbringt. Für Messungen im Zusammenhang mit der Planung von Gebäuden werden in der Regel Kurzzeitmessungen (weniger als eine Stunde) durchgeführt. Dabei sollen nach einer Empfehlung von „kemski und partner" [6] pro Einfamilienhaus fünf Einzelmessungen, jeweils an den Eckpunkten sowie der Mitte der geplanten Bodenplatte, durchgeführt werden.

3 Untersuchungen der Radonbelastung in Neubauten

3.1 Motivation

Im Rahmen einer studentischen Projektarbeit im Masterstudiengang Bauingenieurwesen [1] wurden an der HTW Dresden zwischen 2009 und 2012 mehrere Messungen in Einfamilienhäusern durchgeführt. Teilweise handelte es sich um Zweitmessungen, mit denen überprüft werden sollte, inwieweit sich seit der im Rahmen einer Diplomarbeit [7] 2006 durchgeführten Erstmessungen Veränderungen eingestellt haben. Mit den Messungen wurden die folgenden Ziele verfolgt:

- Die Studenten sollten Messtechniken und –methoden erlernen, die Ergebnisse waren nach wissenschaftlichen Standards auszuwerten und zu beschreiben.
- Darüber hinaus wurde ein Erkenntnisgewinn zur Radonbelastung in neu errichteten Einfamilienhäusern sowie zur Dauerhaftigkeit radonschützender Maßnahmen angestrebt.

Während der pädagogisch-didaktische Ansatz im Rahmen dieses Beitrages nicht weiter thematisiert wird, werden die Ergebnisse der Untersuchungen im Abschnitt 3.3 und 3.4 kurz vorgestellt.

3.2 Wodurch Neubauten charakterisiert sind

Die Frage, welche Gebäude unter dem Begriff „Neubauten" einzuordnen sind, wird aus bautechnischer Sicht dahingehend bewertet, inwieweit die Gebäudehülle nach den heute allgemein anerkannten

Regeln der Bautechnik geplant und errichtet worden sind. Das Baujahr spielt demnach nur insofern eine Rolle, ob zu diesem Zeitpunkt bereits die heute allgemein anerkannten Regelungen Gültigkeit besaßen.

Für die erdberührten Bauteile können diese Regelungen wie folgt zusammengefasst werden:

- *Fundamentausbildung:* in der Regel werden im Einfamilienhausbau durchgehende Bodenplatten in Dicken zwischen 20 und 30 cm vorgesehen. Alternativ können Streifenfundamente errichtet werden, wobei dann die Bodenplatte oberhalb der Streifenfundamente zwischen den aufgehenden Kellerwänden eingeordnet wird. Eine dritte Bauform sieht eine direkte Verbindung der Fundamente mit der Bodenplatte vor, in diesem Falle wird die Bodenplatte gegenüber einer durchgehenden Konstruktion mit geringerer Dicke ausgeführt. Die eingesetzten Betone werden nach DIN EN 206-1/DIN 1045-2 [8] in verschiedene Güteklassen eingeteilt. In dieser DIN werden zudem Anwendungskriterien sowie Regelungen zur Qualitätsüberwachung festgelegt. Da in der Regel auf bzw. unter der Bodenplatte eine Abdichtung nach DIN 18195 [9] eingebaut wird (s.u.), ist die Anwendung von WU-Beton für normale Feuchtebelastungen nicht erforderlich und nicht üblich.

- *Kellerwände:* Diese werden im heutigen Baugeschehen entweder aus Beton (Ortbeton, vorgefertigte oder teilvorgefertigte Elemente) oder Mauerwerk (in der Regel Vollsteine aus gebrannten Ziegelsteinen oder Kalksandstein) errichtet. Für die Material- bzw. Konstruktionswahl sind neben bautechnologischen Fragen vor allen Dingen die Aufnahme der horizontalen Lasten aus Erdreich und ggf. drückendem Wasser maßgeblich.

- *Feuchteschutz*: Die Abdichtung gegen Wasserbelastungen aus dem Erdreich wird in Abhängigkeit von den unterschiedlichen Lastfällen (Bodenfeuchte, nicht drückendes und drückendes Wasser) nach DIN 18195 geplant und ausgeführt. Für die senkrechten, auf der Außenwand angeordneten Abdichtungen kommen heute zumeist kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen (KMB) oder ähnliche Beschichtungslösungen zum Einsatz. Möglich sind ebenfalls Bahnenabdichtungen, allerdings erfordern diese einen deutlich höheren Aufwand und werden deshalb nur noch selten bzw. bei sehr hohen Beanspruchungen eingesetzt. Für horizontale Abdichtungen kommen entweder Bahnenbeläge oder aber KMB zum Einsatz. Besonderer Wert muss auf die sichere und absolut dichte Ausbildung der Anschlüsse zwischen den verschiedenen senkrechten und horizontalen Abdichtungen sowie der Eindichtung von Rohr- und Leitungsdurchführungen gewidmet werden.

  Die im Rahmen der studentischen Arbeiten untersuchten Gebäude waren in der Regel nicht mit weißen oder schwarzen Wannen ausgeführt worden. Inwieweit Bodenplatten in dem einen oder anderen Falle in WU-Beton errichtet worden sind, konnte zumeist nicht mehr rekonstruiert werden, ist aber für die Auswertung der durchgeführten Untersuchungen ohnehin nur sekundär von Interesse.

  In der Regel wird heutzutage zusätzlich eine Ringdränage zur Abführung zeitweise stauenden Wassers in Höhe der Fundamente vorgesehen. Planung und Ausführung erfolgt nach DIN 4095 [10]. Inwieweit diese bei den untersuchten Objekten vorhanden war, konnte allerdings nicht immer zweifelsfrei ermittelt werden. Flächendränagen, die an die Ringdränagen angeschlossen werden, sind nach DIN 4095 bei Grundflächen größer 200 m² vorzusehen. Da Einfamilienhäuser in der Regel kleinere Grundflächen aufweisen, ist davon auszugehen, dass in den untersuchten Gebäuden keine Flächendränagen vorhanden sind. Allerdings fehlten auch hierüber zumeist aussagefähige Unterlagen.

- *Wärmeschutz*: Keller werden heutzutage zumeist so geplant, dass die Kellerräume beheizt werden können. Insofern wird zumeist eine außenliegende Wärmedämmung vor der Abdichtungsebene (sogenannte Perimeterdämmung) vorgesehen, auch wenn der eine oder andere Kellerraum aktuell nicht beheizt wird. Sind ein funktionierender Feuchteschutz und gleichzeitig eine Wärmedämmung vorhanden, erreicht man trockene Kellerräume. Insofern ist die (subjektive) Einschätzung oder messtechnische Ermittlung der Feuchte im Keller ein erstes Indiz dafür, ob die hier beschriebenen Regeln der Bautechnik eingehalten worden sind.

3.3 Vorstellung der Gebäude

Im Rahmen des Masterprojektes wurde in insgesamt 6 Wohnhäusern die Radonkonzentration in der Raumluft ermittelt. Die hierfür erforderlichen Messungen wurden im Zeitraum August 2011 bis April 2012 durchgeführt. In drei Wohnhäusern waren bereits im Jahr 2006 im Rahmen der Diplomarbeit von Frank Bergmann umfangreiche Messungen durchgeführt worden. Die Zweitmessungen dienten hier einerseits der Ergänzung, sollten vor allen Dingen aber darüber Auskunft geben, inwieweit sich Veränderungen zwischen den beiden Messperioden eingestellt haben.

In der folgenden Tabelle 1 sind wichtige Daten für die Untersuchungsobjekte zusammen gestellt.

Beim Bau von vier der insgesamt sechs untersuchten Häuser sind die allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik hinsichtlich des heute üblichen Feuchteschutz im erdberührten Bereich erfüllt worden. Diese werden demnach im Sinne der Definition nach Abschnitt 3.2 als Neubauten bezeichnet.

Beim EF-Haus in Bad Elster (lfd. Nr. 3) hat man offensichtlich die Regelungen zur Abdichtung nach DIN 18195 bewusst nicht auf den (bereits vorhandenen?) Keller angewendet. In diesem Haus ist kein direkter Kellerzugang von der Wohnung aus vorhanden.

Das EF-Haus in Olbersdorf ist ein typischer Altbau. Trotz einer im Jahre 2006 durchgeführten Sanierung sind die Keller undicht. Offensichtlich wurde die Sanierung nur auf den bewohnten Bereich begrenzt, eine Abdichtung des Gebäudes gegen Feuchtigkeit im Erdreich wurde demnach nicht eingebaut.

Tab. 1: *Zusammenstellung der Gebäudedaten*

Lfd Nr.	*Bezeichnung*	*Baujahr*	*Beschreibung der Baukonstruktion*					*Beschreibung des Kellers*	*Neubaustandard für Dichtheit erfüllt*	*Bemerkungen / Hinweise*
			Unterkellerg.	*Fundament bzw. Bodenplatte*	*Kellerwände*	*Rohrdurchführungen*	*Art der Abdichtung*			
1	**EF-Haus Hänichen**	1996	Vollunterkellert	ca. 25 cm St-betonplatte	MW	Insges. 6 Durchführungen	nach DIN 18195	trocken	ja	Erstmessung
2	**EF Haus Pesterwitz**	1994	Vollunterkellert	ca. 25 cm St-betonplatte	MW	keine in Bodenplatte	nach DIN 18195	trocken	ja	Erstmessung
3	**EF Haus Bad Elster**	2003 auf altem Keller	Teilunterkellert	Streifenfundamente			nicht bekannt		Für Keller nicht erfüllt	Zweitmessung / Passivhaus
4	**EF Haus Müglitz, OT Maxen**	2006	Vollunterkellert	ca. 25 cm St-betonplatte	MW	keine in Bodenplatte	nach DIN 18195	trocken	ja	Zweitmessung / Passivhaus
5	**EF-Haus Olbersdorf**	1890 Sanierung 2006	Teilunterkellert	Teilweise St-betonplatte, teilweise Ziegel			nicht vorhanden	feucht	nein	Erstmessung
6	**EF-Haus Öederan**	2001	Hanglage	Vermutlich Bodenplatte	MW	im Eingangsbereich Rohreinführung	nach DIN 18195		ja	Zweitmessung / Passivhaus

3.4 Messungen

Die Bodenradonmessungen (Tabelle 2) stammen für die Gebäude, in denen 2011/12 zum zweiten Mal gemessen wurde, aus der Erstmessung 2006. Es sind je Objekt 3 bis 4 um das Gebäude verteilte Einzelmessungen in etwa 1 m Tiefe durchgeführt worden.

Tab. 2: *Zusammenstellung der gemessenen Bodenradonwerte*

Lfd Nr.	*Bezeichnung*	*Erwartungs-wert nach. Sächsischer Radonkarte*	*Bodenradonmessungen*				*Anmerkungen*
			Anzahl der MP	*Höchst-wert*	*Mindest-wert*	*Verhältnis Höchst- zu Mindestwert*	
		kBq/m³		kBq/m³	kBq/m³		
1	EF-Haus Hänichen	41 bis 100	3	**111**	**30**	3,7	
2	EF Haus Pesterwitz	41 bis 100; >100	2	**77**	**33**	2,3	
3	EF Haus Bad Elster	>100	4	**121**	**101**	1,2	Messungen 2006
4	EF Haus Müglitz, OT Maxen	unklare Zuordnung	4	**136**	**43**	3,2	Messungen 2006
5	EF-Haus Olbersdorf	41 bis 100	4	**37**	**11**	3,4	
6	EF-Haus Oederan	>100	3	**139**	**49**	2,8	Messungen 2006

Für die Innenraummessungen sind die folgenden Messgeräte eingesetzt worden:

- Alpha-Guard (AG)
- Radon-Scout (RSc)
- Dosimeter der Firma Altrac (Dm)

Teilweise wurden an einem Messpunkt (MP) mit unterschiedlichen Messgeräten und-methoden (aktiv bzw. passiv) gemessen. Diese Vorgehensweise wurde deshalb gewählt, um den beteiligten Studenten die unterschiedlichen Messverfahren zu vermitteln und Aussagen zur Genauigkeit der Messgeräte und -methoden ableiten zu können. Diese Überlegungen spielen für die Betrachtung dieses Beitrages keine Rolle und werden deshalb nicht weiter thematisiert.

Die folgende Tabelle 3 gibt einen Überblick über die die durchgeführten Messungen.

Tab. 3: *Überblick über die Messungen im Rahmen des studentischen Projektes*

Lfd Nr.	*Bezeichnung*	Messpunkte								Bemerkungen
		Anzahl der MP im Gebäude	Bezeichnung der MP im Gebäude							
			Keller			Erdgeschoss			Obergeschoss	
1	EF-Haus Hänichen	**5**	MP1	MP2		MP3	MP4		MP5	
2	EF Haus Pesterwitz	**6**	MP1	MP2	MP3	MP4	MP5	MP6		
3	EF Haus Bad Elster	**5**	MP 11	MP 12		MP 13	MP 14		MP 15	Die exakte Lage des Kellermesspunktes aus dem Jahr 2006 konnte nicht rekonstruiert werden. Es wurden deshalb zwei neue Messpunkte im Keller hergestellt, um eine annähernde Vergleichbarkeit zwischen den Messungen 2006 und 2012 zu erreichen
4	EF Haus Müglitz, OT Maxen	**4**	MP 11	MP 12		MP 13	MP 14			
5	EF-Haus Olbersdorf	**4**	MP1	MP2		MP3	MP4		MP5	
6	EF-Haus Oederan	**5**				MP 11	MP 12	MP 13	MP 14	MP 15	Das Haus ist in Hanglage errichtet. Dadurch entwickelt sich das Erdgeschoss in dem hinteren Gebäudeteil zum Keller

Erläuterungen zur Tabelle:

MP von Erstmessung 2011/12
Erstmessung 2006; Wiederholungsmessung 2011/12 am gleichem MP
Erstmessung 2006; Wiederholungsmessung 2011/12 im gleichen Raum, aber nicht an gleichem MP

Messpunkte, die in der Auswertung (Tabelle 4) aufgenommen sind

In der folgenden Tabelle 4 sind die in die weitere Auswertung einbezogenen Messergebnisse zusammengestellt. Im Wesentlichen betrifft das die Messpunkte aus Räumen, die direkt an das Erdreich angrenzen.

Tab. 4: *Zusammenstellung ausgewählter Messergebnisse*

Lfd Nr.	*Bezeich-nung*	*Messung 2012/13*							*Vergl. Mesg. 2006*	*Bemerkungen*
		MP	*Lage des MP*		*Mess-gerät*	*Mess-dauer*	*Mess-zeitraum*	*Mess-ergebnis (Durch-schnitts-wert)*		
								Bq/m³	Bq/m³	
1	EF-Haus Hänichen	**1**	KG	Heizung HA	AG	10 Tage	8/11	**57**		Insgesamt 6 Durchführungen durch Außenwand und Bodenplatte
					RSc	8 Tage	8/11	**84**		
					Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**40**		
		2	KG	Garage	AG	10 Tage	8/11	**51**		Keine Durchführungen in der BPl
					Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**30**		
2	EF Haus Pesterwitz	**1**	KG	Kellerraum	AG	14 Tage	8/11-9/11	**40**		
					Dm	6 Mon	9/11-4/12	**23**		
		2	KG	Heizung	Dm	6 Mon	9/11-4/12	**10 (!)**		
		3	KG	Hobbyr.	RSc	14 Tage	8/11-9/11	**82**		
					Dm	6 Mon	9/11-4/12	**48**		
3	EF-Haus Bad Elster	**11**	KG	Heizung	Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**720**	**ca. 2.000** (MP 1)	MP 11 und 12 (2011/12) stimmen mit MP 1 nicht exakt überein, sind aber beide im nicht abgedichteten Keller angeordnet
		12	KG	Gästezimmer	Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**590**		
		13	EG	Küche	RSc	10 Tage	8/11-9/11	**82**	**53** (MP 2)	Diese Messung wird mit in die Tabelle aufgenommen, um nachzuweisen, dass in den OG eine dichte Gebäudehülle vorliegt.
					Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**32**		
4	EF Haus Müglitz, OT Maxen	**11**	KG	HA	RSc	20 Tage	8/11-9/11	**181**	**49**	Die Veränderung des Ergebnisses zwischen 2006 und 2012 ist signifikant und sollte weiter beobachtet werden!
		12			Dm	7,5 Mon	8/11-4/12	**230**		
5	EF-Haus Olbersdorf	**1**	KG	Vorratskeller	Dm	6 Mon	9/11-4/12	**2800**		nicht abgedichteter Keller
		2	KG	Heizung	RSc	13 Tage	9/11	**2225**		
					Dm	6 Mon	9/11-4/12	**2400**		
6	EF-Haus Oederan	11	EG / KG	Vorratskeller	RSc	18 Tage	9/11	**67**	**105**	
					Dm	8 Mon	9/11-5/12	**74**		
		12	EG / KG	Heizung	RSc	18 Tage	9/11	**82**	**124**	
					Dm	8 Mon	9/11-5/12	**56**		
		13	EG / KG	Eingangsbereich mit Hausanschlüssen	RSc	18 Tage	9/11	**1100**	**436**	Die hohen Werte aus der Messung 2006 haben sich 2011 bestätigt. Verursacht sind diese vermutlich durch Undichtheiten in den Wanddurchführungen (Sniffingmessungen erforderlich
					Dm	8 Mon	9/11-5/12	**450**		

Erläuterung der in Tabelle und gewählten Abkürzungen:

EF-Haus:	Einfamilienhaus	MP:	Messpunkt
KG:	Kellergeschoss	AG:	AlphaGuard
EG:	Erdgeschoss	RSc.	Radonscout
HA:	Hausanschlussraum	Dm:	Dosimeter
BPl:	Bodenplatte		
St-beton:	Stahlbeton		

4 Bewertung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

4.1 Bodenradonmessungen

Die bereits in mehreren Beiträgen thematisierten großen Schwankungen in den Bodenradonmessungen (z.B. [11] und [12]) sind durch die hier vorgestellten ergänzenden Messungen bestätigt worden. Unterschiede zwischen den Messungen auf einem relativ kleinen Grundstück von 370% sind zwar erklärbar (s. Abschnitt 2), machen aber die Messungen als Grundlage für baupraktische Entscheidungen wertlos. Dabei ist noch einmal darauf zu verweisen, dass in diesen Werten tages- und jahreszeitliche Schwankungen sowie der Einfluss unterschiedlicher Messtiefen noch nicht einmal erfasst sind und somit, wie in [11] nachgewiesen, die Schwankungen auf einem Baugrundstück leicht den Faktor 10 erreichen können! Bodenradonmessungen als Einzelmessungen in einem Meter Tiefe führen deshalb zu vollkommen unsicheren Ergebnissen. Zugespitzt kann gesagt werden, dass die Erwartungswerte der Bodenradonkarte – wenn sie denn genügend stark differenziert sind – die Vorhersage der tatsächlichen Belastungen mit keiner größeren Ungenauigkeit angibt, als durch Einzelmessungen erreicht (s. die in Tabelle 2 vergleichsweise aufgenommenen Erwartungswerte der Sächsischen Radonkarte)!

4.2 Zusammenhang zwischen Bodenradonkonzentration, baulicher Lösung und der Radonkonzentration in den an das Erdreich grenzenden Räumen

Die Messergebnisse können wie folgt gruppiert werden (s. Tabelle 5):

- Gebäude, die nach den heute allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik errichtet worden sind und gute Bauqualität aufweisen. **In allen untersuchten Häusern sind keine besonderen zusätzlichen Radonschutzmaßnahmen angewendet worden!**
    - Lfd. Nr. 1: Einfamilienhaus in Hänichen
    - Lfd. Nr. 2: Einfamilienhaus in Pesterwitz
    - Lfd. Nr. 3: Einfamilienhaus in Bad Elster (gilt nur für die gedämmte Gebäudehülle ab Erdgeschoss)
    - Lfd. Nr. 4: Einfamilienhaus in Müglitz, OT Maxen
- Gebäude, die nach heute allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik geplant sind, aber die Bauqualität nicht ausreichend ist oder aber gravierende Planungsfehler zu bemängeln sind.
    - Lfd. Nr. 6: Einfamilienhaus in Oederan
- Altbauten, die (noch) nicht nach den heute allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik abgedichtet sind oder Gebäude mit extrem schlechter Bauqualität bezüglich der Dichtheit der Gebäudehülle:
    - Lfd. Nr. 3: Einfamilienhaus in Bad Elster (gesamter Keller)
    - Lfd. Nr. 5: Einfamilienhaus in Olbersdorf

Die Messergebnisse (s. Tab 5) bestätigen eine klare Aussage: Gebäude, die nach den heute allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik und dabei unter Einhaltung einer hohe Bauqualität errichtet worden sind, können unabhängig von der Radonkonzentration in der Bodenluft als radonsicher gelten – lediglich extreme Verhältnisse erfordern ggf. besondere zusätzliche Schutzmaßnahmen. Es soll hier noch einmal betont werden, dass in allen untersuchten Gebäuden keine besonderen baulichen Radonschutzmaßnahmen, wie der Einbau sogenannter „Radonfolien“ oder spezieller Belüftungssysteme, angewendet worden sind.

Tab. 5: *Auswertung der Messergebnisse*

Lfd Nr.	*Bezeich-nung*	*Maximal gemessener Wert der Bodenradon-konzentration*	*Radonkonzentration in den an das Erdreich grenzen-den Räumen*	*Einschätzung und Bewertung*	
		kBq/m³	Bq/m³		
1	EF-Haus Hänichen	**111**	**30 bis 84**	Die Messergebnisse weisen auf eine sehr dichte Gebäudehülle hin. Das trifft erfreulicher Weise auch auf den Hausanschlussraum zu, trotz insgesamt sechs Rohrdurchführung durch die Gebäudehülle	
2	EF Haus Pester-witz	**77**	**23 bis 82**	**Die Werte der Radonkonzentration in der Raumluft der Kellerräume liegen deutlich unter allen Referenz- und Empfehlungswerten.**	
3	EF-Haus Bad Elster	**121**	**32 bis 82**	Die gedämmte Gebäudehülle (Erd- und Obergeschoss) kann – schon auf Grund des Zertifikats als Passivhaus – als dicht eingeschätzt werden. **Die Werte der Radonkonzentration in der Raumluft der genutzten Räume im Erd- und Obergeschoss liegen deutlich unter allen Referenz- und Empfehlungs-werten.**	
4	EF Haus Müglitz, OT Maxen	**136**	**49**	Messung 2006	Beachtenswert ist, dass sich die Werte zwischen den Messungen 2006 und 2011/12 deutlich verschlechtert haben. Das deutet darauf hin, dass sich Veränderungen in der Gebäudehülle ausgeprägt haben. Es sollten deshalb weitere Beobachtungen und ggf. ergänzende Sniffing-Messungen durchgeführt werden.
			181 bis 230	Messung 2011/12	**Trotz der Verschlechterung der Ergebnisse zwischen den beiden Messungen sind – auch unter Berücksichtigung, dass die Messpunkte in nicht bewohnten Kellerräumen liegen – (noch) keine Gefährdungen gegeben. Der Referenzwert von 300 Bq/m³ wird nicht überschritten.**
6	EF-Haus Oederan	**139**	**436**	Messung 2006	Die Werte sind im Eingangsbereich, in dem gleichzeitig die Medieneinführung liegt, gemessen worden. In allen weiteren Räumen des Gebäudes sind deutlich niedrigere Werte gemessen worden (Passivhaus!).
			450 bis 1.100	Messung 2011/12	**Die Ergebnisse deuten auf eine sehr schlechte Abdichtung der Medieneinführungen hin. Bedenklich ist zudem, dass sich die Werte zwischen den beiden Messperioden noch einmal verschlechtert haben.**
3	EF-Haus Bad Elster	**121**	**2000**	Messung 2006	In diesem Haus ist offensichtlich der Neubau auf einen vorhandenen Keller gesetzt worden, der nicht mit abgedichtet worden ist.
			590 bis 720	Messung 2011/12	**Die hohen Werte sind für einen Keller an sich unproblematisch. Allerdings wird hier ein Keller als Gästezimmer genutzt, für den die gemessenen Werte zu hoch sind.**
5	EF-Haus Olbers-dorf	**37**	**2.225 bis 2.800**	Obwohl hier die niedrigsten Bodenradonwerte vorhanden sind, ergeben sich in den Kellerräumen die absolut höchsten Radonkonzentrationen! Hier liegt ein typisches Ergebnis für ein nichtgedämmtes und in alter Bautechnik errichtetes Gebäude vor! **Die Werte sind – auch unter Berücksichtigung, dass diese in einem Kellerraum gemessen wurden – deut-lich zu hoch. Die – in diesem Beitrag nicht veröffent-lichten - Messergebnisse in den bewohnten Räumen weisen ebenfalls deutlich zu hohe Messwerte auf (850 bis 1.200 Bq/m³). Das deutet darauf hin, dass die hohe Kellerbelastung auf das weitere Gebäude „ausstrahlt“**	

4.3 Schlussfolgerungen und das Prinzip „Gürtel und Hosenträger“

Die Ergebnisse der Messungen sowie viele weitere durchgeführte Untersuchungen zeigen zweierlei:

1. Unabhängig von der Radonkonzentration in der Bodenluft können mit den heutigen baulichen Sandartlösungen radondichte Gebäude errichtet werden, und zwar zumeist ohne Einbau sogenannter „Radonfolien“ oder weiterer spezieller Schutzmaßnahmen.
2. Das Problem liegt in der bekannten Tatsache, dass in vielen Fällen die Bauqualität zu wünschen übrig lässt. Vor allen Dingen werden Anschlüsse zwischen verschiedenen Bauteilen, z.B. zwischen Wand und Bodenplatte oder – noch kritischer - zwischen Wand/Bodenplatte und Durchführungen, nicht dauerhaft (!) luftdicht ausgeführt. Hinsichtlich der Radondichtheit kommt verschärfend hinzu, dass das Wissen um Radon unter den Bauingenieuren und Architekten immer noch nicht flächendeckend verbreitet ist. Und da man bekanntermaßen Radon nicht riecht und schmeckt und die gesundheitlichen Schäden erst nach vielen Jahren auftreten, wird auf die Radondichtheit häufig weder in der Planung noch der Bauausführung geachtet.

Es kann also geschlussfolgert werden, dass im Neubau der Radonschutz bei qualitätsgerechter Bauausführung erreicht wird.

Wozu dann noch Bodenradonmessungen? Sie sind schlicht und einfach überflüssig für Planungsentscheidungen!

Größere Aufmerksamkeit auf die Bauqualität gelegt und das Wissen, worauf es ankommt, um eine genügend luftdichte Gebäudehülle zu schaffen, allen Bauschaffenden vermittelt, sind ausreichend – und kosten keinen Cent mehr!

Und wenn es dann doch irgendeinmal schief gegangen ist und die Nachmessungen im Gebäude zeigen, dass radonhaltige Bodenluft in das Gebäude eindringt, demnach an irgendeiner Stelle die Dichtheit der Gebäudehülle nicht gewährleistet ist? Dann kommt das Prinzip „Gürtel und Hosenträger“ zur Anwendung, was nichts anderes heißt, das eine zweite Sicherheitsstufe während der Bauphase integriert wird, die erst dann aktiviert werden muss, wenn die Messung der Radonkonzentration in der Raumluft, die nach dem Bauabschluss unbedingt durchgeführt werden sollte, ein unbefriedigendes Ergebnis erbringt. Wie kann diese aussehen? Zum Beispiel, indem in die Sauberkeitsschicht unterhalb der Bodenplatte eine Flächendränage eingelegt wird, noch ohne Anschluss an eine Entlüftungsleitung, sozusagen wie eine Trockenleitung. Erst wenn die Raumluftmessungen eine Überschreitung der Richtwerte oder sonstiger vereinbarter Zielwerte ergeben, wird diese Flächendränage durch Anschluss an ein Entlüftungssystem aktiviert. Die Mehrkosten liegen für ein Einfamilienhaus nach vorsichtiger Schätzung deutlich unter 500 Euro und damit im Promillebereich! Statt einer Dränage können übrigens auch Hohlkörper, wie sie in einem weiteren Vortrag der heutigen Tagung vorgestellt werden, in die Bodenplatte eingebaut und mit der Außenluft verbunden werden.

5 Literaturverzeichnis

[1] Weißflog, Frank, Andreas Majewski, Rene Rother: Projektarbeit – Radonmessungen in sächsischen Einfamilienhäusern, HTW Dresden 2012 (nicht veröffentlicht)

[2] de.wikipedia.org/wiki/Radonmessung

[3] www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/bodenluft.html Radonausbreitung im Boden

[4] www.tlug-jena.de; Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft

[5] www.parlament.gv.at/PAKT/VHG/XXI/AB/AB.../daten_000000.doc

[6] http://www.kemski-bonn.de: Informationen zum Thema Radon- Baugrundberatung

[7] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern, Diplomarbeit HTW Dresden, 2006

[8] DIN EN 206-1/DIN 1045-2: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton; …(Die Kombination der beiden DIN-Normen weist darauf hin, dass die Bezeichnung der Betongüten nach DIN 1045-2 durch die DIN EN 206-1 ergänzt und erweitert worden ist.)

[9] DIN 18195: Bauwerksabdichtungen

[10] DIN 4095: Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung (1990-06)

[11] Uhlig, Walter-Reinhold: Umsetzung neuer Radonschutzziele in der Baupraxis; Tagungsband 5. Sächsischer Radontag, Dresden 2011

[12] Uhlig, Walter-Reinhold: Radon in Gebäuden – eine unterschätzte Gefahr!, Deutsches Ingenieurblatt 5/2013

DAS RADONPROGRAMM DER U.S. ARMY IN EUROPA

THE RADON PROGRAM OF THE U.S. ARMY IN EUROPE

Johannes Haid

United States Army Garrison (USAG) Rheinland-Pfalz, Kaiserslautern

Zusammenfassung

Die U.S. Army in Europa umfasst aktuell neun Militärgemeinden in Süddeutschland. Die jeweiligen Umweltabteilungen der örtlichen Liegenschaftsverwaltungen sind für die sichere und gesundheitsgerechte Gestaltung des Lebens- und Arbeitsumfeldes der Soldaten und die Einhaltung rechtsverbindlicher Umweltschutzstandards zuständig.

Ausgangspunkt und regulativer Rahmen des Radonprogramms der Army ist der Indoor Radon Abatement Act (IRAA) von 1988. Als nationaler Interventionswert wird seitens der U.S. Environmental Protection Agency (EPA) eine Radon-Raumluftkonzentration von 4 pCi/L (148 Bq/m^3) empfohlen. Entsprechend der Nutzungssensibilität sind die Gebäude der Army auf Radon zu untersuchen und Sanierungsdringlichkeiten anhand verschiedener Referenzwerte abzuleiten.

Radon-Raumluftmessungen am Standort Heidelberg ergaben teilweise signifikant erhöhte Konzentrationen, die die Installation von Sanierungsanlagen in zahlreichen Wohngebäuden nach sich zog. Der gewählte Untersuchungsstandort verdeutlicht, dass es keines besonders hohen geogenen Potenzials bedarf, um zum Teil deutlich erhöhte Raumluftbelastungen zu konstatieren.

Die Einflüsse unterschiedlicher energetischer Sanierungsmaßnahmen auf die Radon-Raumluftgehalte werden künftig verstärkt in den Fokus gelangen.

Summary

The United States Army in Europe includes currently seven military communities in South Germany. The mission of the Directorate of Public Works – Environmental Divisions is to provide a safe and healthy working and living environment for the soldiers and ensure compliance with environmental regulations.

Starting point and regulatory framework of the Army's radon reduction program is the Indoor Radon Abatement Act (IRAA) of 1988. The U.S. Environmental Protection Agency (EPA) recommends that indoor radon does not exceed the action value of 4 pCi/L (148 Bq/m3). Buildings on Army installations are prioritized for radon testing based on sensitivity of site use. Radon testing results trigger mitigation urgency in accordance with various action levels.

Indoor radon monitoring in the military community of Heidelberg showed partially significantly elevated concentrations followed by the installation of mitigation units in numerous buildings. The presented investigation site showed clearly that high radon concentrations in soil gas are definitely not necessarily required for elevated indoor concentrations.

Focus of future studies will be on correlation between energy saving measures and indoor radon contents.

1 Militär und Umweltschutz

1.1 United States Army in Europa

Nachdem am 30. März 1945 die ersten amerikanischen Truppen in Heidelberg einmarschierten und die Stadt kampflos übergeben wurde, erfolgte in der Folgezeit zügig eine Verlegung von U.S. Militärverbänden in die Stadt am Neckar.

Das Hauptquartier der U.S. Landstreitkräfte in Europa zog ab 1948 in die Campbell Barracks (vormals Großdeutschland-Kaserne) in Heidelberg um und wurde am 1. August 1952 offiziell in United States Army, Europe – USAREUR (U.S Armee in Europa) umbenannt [1].

USAREUR stellt das U.S. Heereskommando in Europa dar und gewährleistet zusammen mit dem übergeordneten European Command – EUCOM (Kommando aller U.S. Streitkräfte in Europa) die US-amerikanische Unterstützung der europäischen Verbündeten innerhalb der NATO. Seit knapp sieben Jahrzehnten werden von USAREUR US- und NATO-Operationen (z.B. im Irak und in Afghanistan) unterstützt.

Während die Militärpräsenz der U.S. Landstreitkräfte 1989 noch etwa 213.000 Soldaten, stationiert in 41 Garnisonen mit etwa 850 Liegenschaften vorallem in der BRD umfasste, stellte das Ende des Kalten Krieges mit dem Fall der Mauer und dem Zusammenbruch der Sowjetunion eine essenzielle Zäsur dar [2].

Der nachfolgende Transformationsprozess von USAREUR resultierte in einer grundsätzlichen geopolitisch-strategischen Neuausrichtung, verbunden mit zahlreichen Standortschließungen.

Derzeit bestehen U.S. Army Garnisonen (U.S. Army Garrisons – USAG) in Hessen (Wiesbaden), Rheinland-Pfalz (Kaiserslautern und Baumholder), Baden-Württemberg (Stuttgart und noch Heidelberg) sowie Bayern (u.a. Grafenwöhr und Ansbach).

Für den Zeithorizont 2015-2017 kann ein Restkontingent von etwa 30.000 Soldaten angenommen werden, die an sieben Standorten (davon fünf in der BRD) mit ca. 90 Liegenschaften stationiert sein werden. Das USAREUR Hauptquartier wird dann bereits seit 2013 nach Wiesbaden verlegt worden sein.

1.2 U.S. Umweltprogramm Vorbereitung

Eine U.S. Army Garrison stellt die örtliche Militärgemeinde dar, die Soldaten und Familienangehörige sowie unmittelbar bei der Militärverwaltung der Gaststreitkräfte Angestellte umfasst.

Die Verwaltung der Einrichtungen und Gebäude einer solchen Militärgemeinde obliegt der Liegenschaftsverwaltung. Teil dieser Administration ist die jeweilige lokale Umweltabteilung, die für Implementierung des Umweltprogramms und Überwachung von dessen Einhaltung innerhalb des Militärstandorts verantwortlich ist.

Prämisse ist hierbei die sichere und gesundheitsgerechte Gestaltung des Lebens- und Arbeitsumfeldes von Soldaten, deren Familienangehörigen sowie von bei den Streitkräften angestellten Zivilisten und die Einhaltung rechtsverbindlicher Umweltschutzstandards.

Die wichtigsten Themengebiete des U.S. Umweltprogrammes sind Boden- und Grundwasserschutz, Luftreinhaltung, Abfallwirtschaft/Recycling, Gefahrstoff-/Sonderabfall-Management, Lärmschutz, Gebäudeschadstoffe sowie Naturschutz. Im Kontext mit Gebäudeschadstoffen ist hier auch das Thema Radon zu diskutieren, wenngleich Radon kein Schadstoff im klassischen Sinne, sondern eine gesundheitsrelevante Substanz in der Raumluft darstellt. Das Radonprogramm ist somit Teil des U.S. Umweltprogramms.

Rechtsgrundlage für den Aufenthalt der Gaststreitkräfte ist das zwischen den NATO-Mitgliedstaaten geschlossene NATO Truppenstatut (NATO Status of Forces Agreement – NATO SOFA) und das Zusatzabkommen, in dem Rechte und Pflichten der Stationierungsstreitkräfte in der BRD im Detail geregelt werden [3]. Das Zusatzabkommen wurde als Folge der deutschen Einheit 1993 umfassend geändert.

In Hinblick auf Umweltstandards ist in diesem Kontext entscheidend, dass für zeitweise oder dauerhaft in der BRD stationierte Gaststreitkräfte dieselben rechtlichen Bestimmungen und Vorgaben gelten wie für die Bundeswehr und somit das gesamte geltende Umweltrecht Anwendung findet.

Darüber hinaus finden im Verantwortungsbereich der U.S. Garnisonen die sogenannten Final Governing Standards (FGS) Anwendung [4]. Hierbei handelt es sich um eine Zusammenstellung der wichtigsten U.S. amerikanischen, europäischen und deutschen Umweltschutzvorschriften. Grundlage und Zielsetzung ist der Vergleich und die Anwendung der jeweils stringenteren Standards.

2 Rechtlicher Rahmen des U.S. Radonprogrammes

2.1 Entwicklung des Programms

Ausgangspunkt des U.S. Radonprogramms ist der 1988 in Kraft getretene Indoor Radon Abatement Act (IRAA), der als Teil des übergeordneten Toxics Substances Control Act (TSCA) verabschiedet worden war [5].

Dieses Rahmengesetz formuliert das ehrgeizige langfristige Ziel, Radonkonzentrationen in der Raumluft zu erreichen, die denen der atmosphärischen Luft entsprechen (§ 2661).

Insgesamt wurden $ 45 Mio für Maßnahmen des Radonschutzes auf Bundesebene und auf Level der Bundesstaaten für die Finanzjahre 1989-1991 freigegeben. Diese Unterstützung umfasste auf Ebene der Bundesstaaten den Aufbau von Radonprogrammen, die Durchführung von Radonsurveys und Sanierungsprojekten inklusive der Entwicklung von Standards zum radonsicheren Bauen sowie die Etablierung von öffentlichen Informationskampagnen.

Weiterhin wurde der Aufbau von Schulungszentren (Regional Training Centers) und eines Qualifizierungsprogrammes für Fachunternehmen (Proficiency Program) in die Wege geleitet.

Darüber hinaus wurde die Durchführung einer landesweiten Radonuntersuchung sowohl von Schulen als auch Gebäuden der Bundesbehörden in Risikogebieten verbindlich vorgegeben.

Zudem wurde die nationale Bundes-Umweltbehörde (U.S. Environmental Protection Agency – U.S. EPA) damit betraut, die nationale Informationsschrift für die U.S. Bevölkerung, den EPA Citizen's Guide zu veröffentlichen und je nach Bedarf kontinuierlich zu aktualisieren [6]. Dieser Leitfaden stellt eine Informationsübersicht für die Bürger dar, enthält Informationen zu Gesundheitsgefahren, Eintrittswegen von Radon in Gebäude, Erkundungstechniken, Beurteilungsmethoden und Sanierungsoptionen.

Der nationale Referenzwert der U.S. EPA (action level) zur Beurteilung gemessener Radonkonzentrationen in der Raumluft beträgt 4 pCi/L (148 Bq/m^3). Die Unterschreitung dieses Wertes wird seitens U.S. EPA empfohlen; es handelt sich jedoch nicht um einen rechtsverbindlichen Grenzwert.

Die EPA sollte zudem landesweit auf Basis der über 3100 Counties Regionen identifizieren, in denen mit erhöhten Radonraumluftgehalten zu rechnen ist. Die Gliederung erfolgte in Zone 1 mit vorraussichtlichen Raumluftkonzentrationen von >4 pCi/L (148 Bq/m^3), Zone 2 mit 2-4 pCi/L (74-148 Bq/m^3) und Zone 3 mit <2 pCi/L (<74 Bq/m^3).

Das Ergebnis dieser landesweiten Kartierung aus dem Jahr 1993 ist in Abbildung 1 wiedergegeben [7].

Zu betonen ist in diesem Kontext, dass die Radonkarte einer allgemeinen ersten Orientierung und der weiteren Priorisierung von Untersuchungen und Sanierungen sowie damit verbundener zielgerichteter Resourcenplanung dient. Grundsätzlich können erhöhte Raumluftkonzentrationen in Gebäuden in allen Zonen auftreten. Gewissheit schaffen ausschließlich Raumluftmessungen in allen Gebäuden in allen drei Zonen.

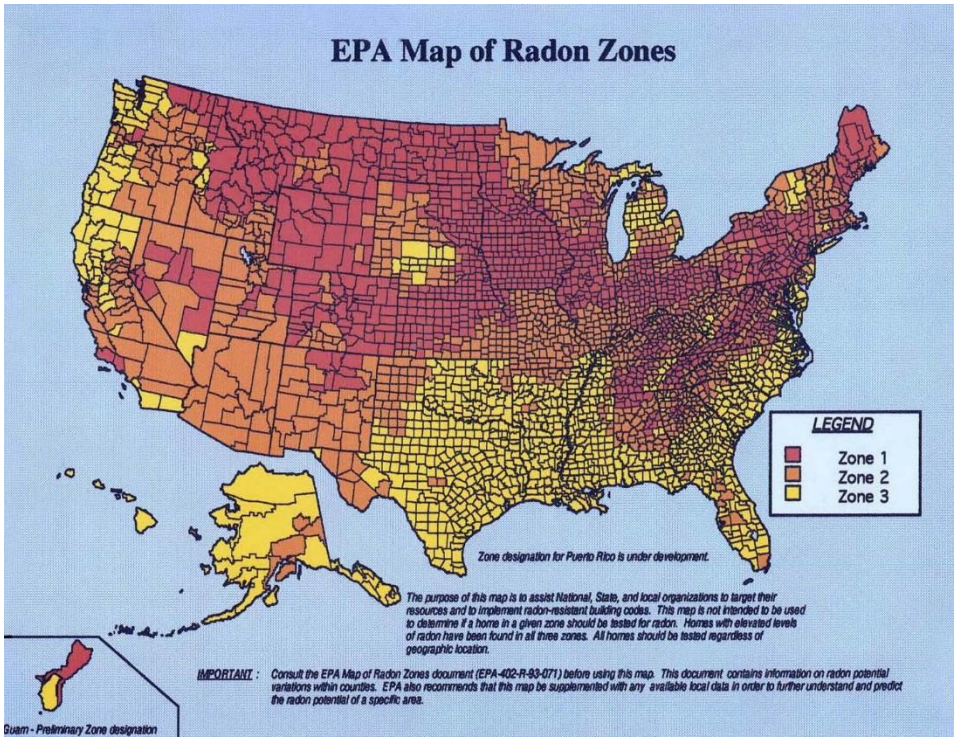


Abb. 1: *Karte der Radon-Zonen in den USA [7]*

Als durchschnittliche Radon-Raumluftbelastung werden landesweit 1.3 pCi/L (48 Bq/m^3), der mittlere Radongehalt der atmosphärischen Luft mit 0.4 pCi/L (15 Bq/m^3) angegeben. Da die nationale Zielsetzung des Gesetzgebers nicht in allen Fällen erreicht werden kann, ist eine Zielkonzentration von 2-4 pCi/L (74-148 Bq/m^3) anzustreben.

Kurze Zeit nach Verabschiedung des IRAA veröffentlichte das dem U.S. Verteidigungsministerium unterstellte Department of the Army (DA) den sogenannten HQDA (Headquarter of the Department of the Army) Letter 40-88-3, mit dem das Radon-Programm der U.S. Landstreitkräfte (Army Radon Program) initiiert wurde [8]. Diese Radon-Grundsätze und –Strategien (Radon Policy) der Armee wurden alsbald durch den USACHPPM (U.S. Army Center for Health Promotion and Preventive Medicine) Technical Guide (TG) No. 164 ersetzt, in dem nunmehr das Radonprogramm der U.S. Army im Detail beschrieben wurde und der den Standortkomandeuren helfen sollte, das Programm erfolgreich zu etablieren [9].

Dieser technische Leitfaden griff den Referenwert der U.S. EPA von 4 pCi/L auf, bei dessen Überschreitung Gegenmaßnahmen in die Wege zu leiten sind.

Der Gebäudebestand der Landstreitkräfte im In- und Ausland war auf Radon-Innenraumbelastungen zu untersuchen. Bei der Untersuchung etwaiger Radonbelastungen und gegebenenfalls notwendigen Sanierungsmaßnahmen ist dabei abgestuft nach 3 Prioritäten vorzugehen:

Zunächst sind besonders sensible Nutzungen wie Kindergärten, Krankenhäuser, Schulen, Wohngebäude und Truppenunterkünfte (Priorität 1), danach militärische Einrichtungen im 24-Stunden-Betrieb (Priorität 2) sowie nachgeschaltet alle übrigen regelmäßig benutzten Gebäude zu betrachten.

Messort innerhalb vorgenannter Gebäude ist dabei im Sinne eines Worst-Case-Scenarios die so genannte Lowest Living Area – LLA. Dieser tiefstgelegene Wohnbereich wird in einer U.S. Army-internen Richtlinie zur Durchführung von Radonmessungen näher definiert [10]:

Bei nicht unterkellerten Gebäuden ist die LLA das Erdgeschoss. Bei unterkellerten Bauwerken das Stockwerk, das über einen Bodenabschluss bzw. eine -versiegelung (z.B. Betonbodenplatte) verfügt und das als Wohnbereich genutzt wird oder genutzt werden könnte. Dies bedeutet, dass ein nicht ausgebautes Kellergeschoss, das eine Betonbodenplatte aufweist, sehr wohl als LLA zu betrachten ist, auch wenn der Gebäudenutzer diesen Raum (noch) nicht nutzt.

Bei Einfamilienhäusern ist ein Radonmonitor pro LLA in einer Raumecke, geschützt vor Sonneneinstrahlung, Hitze, Durchzug etc. zu platzieren. In Mehrfamilienhäusern, Kindergärten, Krankenhäuser, Schulen und Truppenunterkünften ist ein Monitor je ca. 200 qm in der LLA vorzusehen

In Gebäuden der Priorität 1 ist ein Screening über 90 Tage durchzuführen. Das Untersuchungsergebnis ist anhand der in Tabelle 1 dargestellten Referenzwerte zu beurteilen.

Tab 1: *Dringlichkeit von Radon-Sanierungen gemäß U.S. DA PAM 200-1 [11] (Eigene Darstellung)*

	Radon in pCi/L	**Radon in Bq/m³**	**Erforderliche Maßnahmen**
	<4	<148	Keine
	≥4 bis <8	≥148 bis <296	Sanierung innerhalb von 5 Jahren
	≥8 bis <20	≥296 bis <740	Sanierung innerhalb von 1-4 Jahren
	20 bis <200	≥740 bis <7400	Sanierung innerhalb von 6 Monaten
	≥200	≥7400	Sanierung innerhalb von 1 Monat oder Auszug Nutzer

Beträgt die Radon-Raumluftkonzentration ≥200 pC/L (≥7400 Bq/m³) bzw. ≥20 pC/L (≥740 Bq/m³) sind Sanierungsmaßnahmen innerhalb von 1 bzw. 6 Monat(en) zu veranlassen.

Bei Radonkonzentrationen ≥4 pC/L (≥148 Bq/m³) ist ein Langzeit-Monitoring über ein Jahr durchzuführen und dann eine Beurteilung der Radongehalte und etwaiger Sanierungsdringlichkeiten anhand der Richtwerte vorzunehmen.

2.2 Aktuelle Problematik

Im Jahr 1990 wurde die Army Regulation (AR) 200-1, Environmental Protection and Enhancement veröffentlicht [12]. Das Army Radon Reduction Program (ARRP) war nun zusammen mit anderen Umweltschutzthemen in einer U.S. Armee-internen Vorschrift verbindlich geregelt. Die Inhalte waren vergleichbar zu vorgenannten Richtlinien. Darüber hinaus gab es jetzt eine zusätzliche Verpflichtung, alle renovierten und neu errichteten Gebäude zu testen. Während das ARRP in der Überarbeitung der AR 200-1 aus dem Jahr 1997 [13] übernommen wurde, fand das Radon-Programm in der Novellierung 2007 fehlerhaft keine Berücksichtigung [14].

Im selben Jahr erfolgte eine Veröffentlichung von Armee-internen Facility Management Vorschriften [15], die das Thema Radonschutz streifen und ebenso fehlerhaft auf die nunmehr „radonfreie“ AR 200-1 verweisen. Der Fehler pauste sich in der Novellierung 2012 durch [16].

Dieses Dilemma spiegelt sich nun im Arbeitsalltag auf U.S. Liegenschaften wider. Die Radon-Problematik ist bekannt, die Notwendigkeiten eines Radonprogramms unbestritten. Dennoch sind die Finanzierungsmöglichkeiten von Untersuchungs- oder Sanierungsmaßnahmen limitiert, da aktuell keine rechtsverbindliche Grundlage als starkes Argument bzw. Projektrechtfertigung herangezogen werden kann.

Gegenwärtig wird aus diesem Grund an einem neuen Entwurf eines Army-internen Radonprogramms gearbeitet [17].

3 U.S. Radon Aktionsplan

Auf ziviler Ebene stellt sich die Problematik vergleichbar dar:

Der Indoor Radon Abatement Act (IRAA) von 1988 stellt lediglich einen rechtlichen Rahmen mit ambitionierter nationaler Zielsetzung dar, innerhalb dessen ein nationales Radonprogramm unter Federführung der U.S. EPA aufgebaut werden sollte.

Die EPA hat zahlreiche Aktivitäten in den vergangenen Jahren initiiert, die allesamt den Charakter von Richtlinien und Empfehlungen aufweisen, nicht jedoch rechtsverbindliche, einklagbare Bundesvorschriften (no enforceable Federal regulations) darstellen.

Verbindliche Grenzwerte existieren bislang lediglich im Arbeitsschutz [18]. Der aktuelle OSHA (Occupational Safety and Health Administration)-Grenzwert beträgt für eine Arbeitswoche von 40 Stunden 100 pC/L (3.700 Bq/m^3).

Rund zwei Jahrzehnte nach Inkrafttreten des IRAA wird durch das Office of Inspector General der U.S. EPA kritisch Bilanz gezogen [19]:

Jährlich lassen sich durchschnittlich 21.000 Lungekrebstodesfälle in den USA auf Radon zurückführen. Dies entspricht einem Anteil von 10-14% aller Lungenkrebstodesfälle. Weiterhin ist das langfristige Ziel von Radon-Raumluftkonzentrationen, die denen der Außenluft entsprechen, in weiter Ferne.

Gesetzte Ziele der EPA und Realitäten im Bauwesen differieren nach wie vor erheblich. So sind lediglich 7% aller zwischen 2001 und 2005 neu errichteten Einfamilienhäuser radonsicher ausgeführt (radon-resistant new construction – RRNC techniques). Im Gebäudebestand beträgt der Anteil sogar weniger als 3%.

Die Entwicklung im Bauwesen zeigt geradezu eine Verschärfung des Radonproblems auf, da sich die Schere zwischen der Gesamtzahl von Gebäuden und dem Anteil radonsicher ausgeführter Bauten weiter öffnet.

Vor diesem Hintergrund werden neue Strategien zur Erreichung des nationalen Ziels empfohlen. Der Prozess der Zielerreichung sollte dabei – entgegen der Position der EPA als ergebnisoffen angesehen werden.

Die Vertreter von insgesamt neun U.S. Bundesbehörden darunter u.a. das Innenministerium (Department of the Interior – DOI), das Ministerium für Wohnungswesen und Stadtentwicklung (Department of Housing and Urban Development – HUD), das Gesundheits- und Sozialministerium (Department of Health and Human Services – HHS) sowie auch das Verteidigungsministerium (Department of Defense - DOD) bündeln schließlich unter Führung der EPA ihre Kräfte zum Radonschutz. Im Jahr 2011 wird offiziell der bundesweite Radonaktionsplan (Federal Radon Action Plan) verabschiedet [20]:

Mit der nationalen Agenda „Healthy People 2020“ soll das ambitionierte Ziel erreicht werden, vermeidbare Radon-induzierte Krebstodesfälle zu eleminieren.

Innerhalb von zehn Jahren sollen in 30% der Wohngebäude mit erhöhten Radon-Raumluftkonzentrationen (3,1 Mio Gebäude) Sanierungsanlagen installiert werden. Neubauten in Gegenden mit hohem Radonrisiko sind grundsätzlich radonsicher auszuführen.

Das Bündnis sieht folgende Hauptprobleme, die strategisch bekämpft werden müssen:

Trotz der wissenschaftlich unbestrittenen Gesundheitsrelevanz von Radon (zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs, primäre Auslöser einer Lungenkrebserkrankung bei Nichtrauchern) [21] steht die Problemwahrnehmung in der U.S.-amerikanischen Bevölkerung nach wie vor in einem signifikanten Missverhältnis. Ferner ist weiten Teilen der Bevölkerungen unbekannt, dass erprobte

Problemlösungen am Markt verfügbar sind. Zudem sind die Sanierungs- bzw. zusätzlichen Baukosten den Wertsteigerungen bei einem möglichen Wiederverkauf gegenüber zu stellen.

Darüber hinaus deckt das Angebot an kompetenten und zertifizierten Dienstleistern im Radonschutz nicht den bundesweiten Bedarf.

Als Hauptstrategien zur Zielerreichnung werden die Ausübung der Vorbildfunktion bei Untersuchung und Sanierung, die Intensivierung der Sensibilisierung der Öffentlichkeit sowie finanzielle Unterstützungsinitiativen für einkommensschwächere Bürger identifiziert.

Ansatzpunkt ist hierbei, dass die Bundesbehörden direkt (Besitz, Verwaltung) oder indirekt (Finanzierung) Einfluss auf etwa 7,5 Mio Gebäude (Wohngebäude, Schulen, Kindertagesstätten etc.) üben und somit auch den Markt für Radonschutz-Dienstleistern positiv beeinflussen können.

Insgesamt haben sich die Bündnispartner auf 33 spezifische Selbstverpflichtungen verständigt, deren Einhaltung kontinuierlich überprüft und öffentlich kommuniziert wird. Die Bundesbehörden agieren somit als Katalysator für weitere Radonschutzmaßnahmen sowohl auf Ebene der Bundesstaaten und lokalem Level, als auch auf Industrieebene und im individuellen privaten Umfeld.

Grundsätzlich ist festzuhalten, dass bei allen nationalen Anstrengungen das Radonprogramm weiterhin durch Freiwilligkeit charakterisiert ist.

Die Selbstverpflichtungen des Verteidigungsministeriums sind die Einarbeitung von Radonschutz-Maßnahmen (Untersuchungen, Sanierungen, radonsicheres Bauen) in Streitkräfte-interne Baustandards (Unified Facility Criteria – UFC) [22, 23] und die Durchführung von Informationskampagnen für das gesamte Personal zur Kommunikation von möglichen Gesundheitsgefahren und etwaigen Schutzmaßnahmen.

Darüber hinaus sind - sofern bislang noch nicht umgesetzt - in all jenen Gegenden, in denen mit Raumluftkonzentrationen von ≥4 pC/L (≥148 Bq/m^3) Radon zu rechnen ist, entsprechende Messungen durchzuführen und gegebenenfalls Sanierungen in die Wege zu leiten.

4 Beispiel North Patrick Henry Village, Heidelberg

4.1 Standortcharakteristika

Der beispielhaft gewählte Standort stellt den nördlichen Teil des so genannten Patrick-Henry-Village (PHV) der Militärgemeinde Heidelberg dar.

In diesem Teil der Wohnsiedlung wurden in den 1950er und 1960er Jahren rund 90 freistehende, von großzügigen Grünflächen umgebene zweigeschossige Einfamilienhäuser für Soldaten höherer Ränge (Offiziersgebäude) errichtet. Der zentrale Gebäudebereich ist voll unterkellert, während die peripheren Bereiche Kriechkeller aufweisen, in denen Versorgungsleitungen verlaufen und die über Wandklappen aus Metall zu erreichen sind. Die voll ausgebauten Kellerräume werden als Waschküche und Lagerraum genutzt; zum Teil jedoch auch als Arbeitszimmer oder Freizeit- und Hobbyraum genutzt.

Aus geologischer Sicht befindet sich der Standort im nördlichen Oberrheingraben mit bis zu 4000 m mächtigen tertiären und quartären Sedimenten (Kiese, Sande, Tone, Mergel). Im Bereich der Altstadt Heidelbergs verlässt der Neckar den östlich angrenzenden Odenwald und tritt in den Oberrheingraben ein. Hier hat der Fluss einen mächtigen Schwemmkegel mit vielen ehemaligen Flussläufen ausgebildet.

PHV liegt im Bereich dieses Neckarschwemmkegels, der aus Geschiebematerial des Neckarschotters (Sande und Kiese bis zu Platten und Blöcken aus Muschelkalk und Buntsandstein) besteht und auf der teilweise eine Deckschicht aus Löss und Lehm lagert [24].

Aus großräumlicher Perspektive liegt PHV in einer Region, die im Allgemeinen Radonkonzentrationen in der Bodenluft im Bereich <20 kBq/m^3 aufweist [25].

4.2 Radonuntersuchungen und -sanierungen

Im Jahre 2012 ergaben Bodenluftuntersuchungen, die an 15 Messpunkten in North-PHV in einer Tiefe von einem Meter durchgeführt wurden, Radonaktivitätskonzentrationen zwischen 10 kBq/m³ (270 pCi/L) und 38 kBq/m³ (1027 pCi/L). In den Bohrungen aufgeschlossen wurden sandige Lehme und lehmige Sande. Ein bestimmtes spezifisches kleinräumiges Verteilungsmuster konnte dabei nicht festgestellt werden [26].

Erste Radon-Raumluftmessungen wurden in North-PHV 1989 bis 1992 durchgeführt. Es wurden in fast allen Gebäuden Kurzzeit- und Langzeitmessungen sowohl im Kellergeschoss, als auch im Erdgeschoss und vereinzelt im Obergeschoss durchgeführt.

Hier dargestellt werden nur die im Keller ermittelten Spitzenwerte der Langzeitmessungen über ein Jahr.

In fast allen Gebäuden wurde der auf U.S. Militärliegenschaften anzuwendende niedrigste Referenzwert von 4 pCi/L bzw. 148 Bq/m³ überschritten [27].

Die meisten Werte fallen dabei in die Klassen 8 bis <20 pCi/L (296 bis <740 Bq/m³) sowie 20 bis <200 pCi/L (740 bis <7400 Bq/m³) bei Spitzenwerten von knapp 40 pCi/L (1480 Bq/m³) (siehe Abb. 2). Hieraus wurden Sanierungsdringlichkeiten von 1-4 Jahren für 30 Gebäude und 6 Monaten für 26 Gebäude abgeleitet.

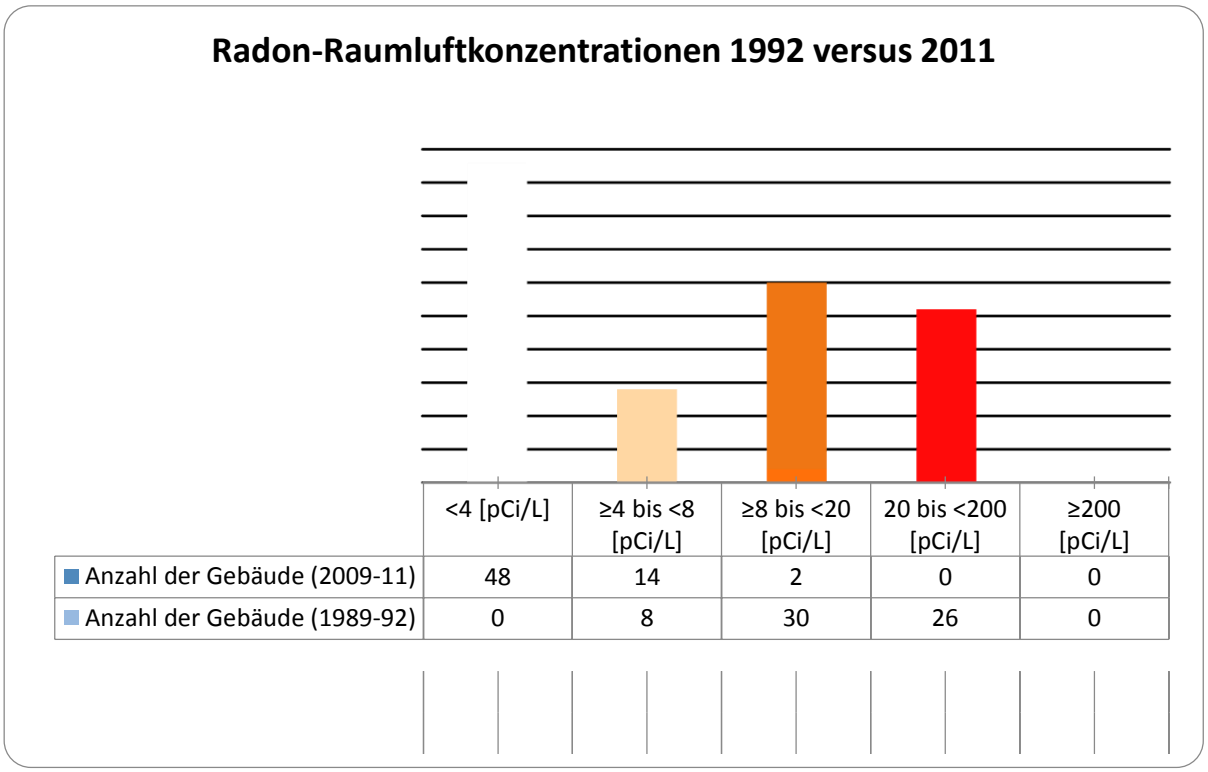


Abb. 2: *Radon-Raumluftkonzentrationen 1989-92 versus 2009-11 in North-PHV (Eigene Darstellung)*

In den Folgejahren wurden 80 Gebäude in North-PHV mit Sanierungsanlagen ausgestattet. Anfänglich waren dies Radonabsauganlagen (negative pressure); später wurden zunehmend Überdruckanlagen (positive pressure) installiert. Eine umfangreiche Messkampagne folgte zwischen 2009 und 2011.

In Abb. 2 sind nur 64 der 80 Gebäude mit Sanierungsanlagen aufgeführt, da aus Vergleichsgründen nur Gebäude aufgenommen wurden, die in beiden Zeitzyklen untersucht wurden.

Wurden im Zuge der Basismessungen Radongehalte von durchschnittlich 16,7 pCi/L (618 Bq/m³) ermittelt, zeigten die Messungen 2009-2011 im Durchschnitt Konzentrationen von 3,1 pCi/L (115 Bq/m³). Mit dem Betrieb der Sanierungsanlagen konnten somit die Radongehalte in der Raumluft im Mittel erfolgreich auf ein Niveau unterhalb des U.S. amerikanischen Interventionswertes von 4 pCi/L bzw. 148 Bq/m³ gebracht werden. Im Schnitt konnten die Radon-Raumluftgehalte um ca. 80% im Vergleich zur Ausgangslage reduziert werden.

Eine Abhängigkeit der durchschnittlichen Radonkonzentrationsverringering von der Art der Sanierung konnte nicht festgestellt werden.

Anfang der 1990er Jahre wurden in North-PHV insbesondere Absauganlagen installiert. Angesichts der laufenden Gebäudenutzung wurden Anlagen eingebaut, bei denen im zentralen Kellerbereich unterhalb der Bodenplatte punktuell Bodenluft abgesaugt und oberhalb der Traufe in die Atmosphäre abgeführt wird.

Ab 2000 wurden am Untersuchungsstandort zunehmend Überdruckanlagen installiert. Durch Anlegen eines konstanten Überdrucks wird verhindert, dass radonhaltige Bodenluft in das Bauwerk eindringt.

Dabei wird im Außenbereich ein Schacht ausgehoben, in dem die Lüftungstechnik installiert wird. Mittels Ventilator wird atmosphärische Luft über ein Ansaugrohr und einen Schmutzpartikelfilter in den zentralen Kellerbereich eingeblasen, wodurch dort ein leichter Überdruck entsteht.

Diese Sanierungsvariante wurde zunehmend bevorzugt, da die Störungen der Gebäudenutzer geringer ausfallen (kein Öffnen der Bodenplatte etc.) und auch aus psychologischer Sicht als „eleganter“ wahrgenommen wurde (kein Ansaugen von Radon aus der Umgebung).

Im Jahr 2010 wurde exemplarisch in einem Gebäude ein Blower-Door-Test durchgeführt, um ein exakteres Bild der Dichtheit der Gebäudehülle sowie möglicher Radon-Eintrittspfade und Migrationswege zu erhalten [28].

Nach Außerbetriebnahme der Sanierungsanlage und Anlegen eines konstanten Unterdrucks ergaben Messungen im Bereich von nicht dicht schließend ausgeführten Öffnungen der Gebäudehülle signifikant erhöhte Konzentrationen. Als Haupteintrittspfade konnten die Abdeckung des Revisionsschachtes in der Bodenplatte und Leitungsdurchführungen in erdberührten Kellerwänden identifiziert werden. Sekundärquellen stellen die nicht gasdicht schließenden Wandklappen zu den Kriechkellern dar. Weitere Wegsamkeiten innerhalb des Gebäudes bestehen z.B. im Bereich der Boden-Wand-Anschlüsse und Mediendurchführungen.

Als Konsequenz des Blower-Door-Tests wurde in der Folgezeit begonnen, die Gebäude bei wirtschaftlich vertretbarem Auswand abzudichten. Der Schwerpunkt lag auf Maßnahmen zur Abdichtung von Öffnungen von Bauteilen, die im Kontakt mit dem Erdreich stehen (Risse, Abdeckungen, Durchführungen von Leitungen für Wasser, Heizung, Strom, etc.) oder solchen, die den Anschluss zu Kriechkellern darstellen (Wandklappen).

Systematische Kontrollen sind notwendig, um den nachhaltigen Erfolg der Schutzmaßnahmen zu gewährleisten. Diese Erfolgskontrollen umfassen das Monitoring der im Dauerbetrieb laufenden Sanierungsanlagen (Betriebszustand, Überbrüfung der Filteranlagen etc.), die Kontrollen der Gebäudehülle-Dichtheit sowie periodische Messungen zur Verifizierung der Radon-Raumluftgehalte.

Darüber hinaus wurden begleitende Informationskampagnen innerhalb der Militärgemeinde initiiert, da der Erfolg des gesamten Radonprogramms auch von Transparenz und Akzeptanz bei den Gebäudenutzern abhängt.

5 Ausblick

In den USA generell sowie auf den Liegenschaften der U.S. Army in Europa wird Radon als gesundheitsrelevante Substanz wahrgenommen und thematisiert.

Ziel des U.S. Radonprogramms ist das Erreichen von Raumluftkonzentrationen von <4 pC/L (<148 Bq/m^3).

Wie dargelegt sind dabei erhöhte Raumluftkonzentrationen nicht zwangsläufig auf Regionen mit erhöhtem Radongehalten in der Bodenluft beschränkt. Die Untersuchungen am Standort North-PHV zeigen deutlich, dass es keines besonders hohen geogenen Potenzials bedarf, um signifikant erhöhte Raumluftkonzentrationen zu messen.

Bereits bei niedrigen Radonkonzentrationen in der Bodenluft (um 540 pCi/L bzw. 20 kBq/m^3 oder weniger) können in Abhängigkeit der Permeabilität des Untergrunds und abhängig von Alter und Qualität der Gebäudehülle Raumluftkonzentrationen von Radon oberhalb des Referenzwertes konstatiert werden. Aufschluss über mögliche Radonprobleme können nur Messungen auf lokaler Ebene geben.

Entscheidungsträger auf den unterschiedlichen internen Verwaltungsebenen als auch Gebäudenutzer sind diesbezüglich zu sensibilisieren.

Durch vergleichsweise einfache technische Maßnahmen im Gebäudebestand (z.B. Überdruckhaltung und Abdichtung erdberührter Bauteile) kann eine erhebliche Reduzierung der Radonkonzentrationen erreicht werden.

Im Widerspruch zur gesundheitlichen Relevanz, die sich nicht zuletzt im Federal Radon Action Plan wiederspiegelt, besteht auf der Managementebene der Liegenschaften der U.S. Army aktuell das Problem darin, dass das Army Radon Reduction Program in keiner rechtsverbindlichen Vorschrift mehr verankert ist. Somit bleibt das Beantragen von Haushaltsmitteln zur Durchführung von Radonschutzmaßnahmen bis zur erwarteten Wiedereinführung erheblich erschwert.

Ferner wird künftig näher zu untersuchen sein, wie sich die kontinuierlichen Anstrengungen zur Energieeinsparung auf Militärliegenschaften auf Aspekte des gesundheitsgerechten Wohnens niederschlagen. Die Auswirkungen von unterschiedlichen energetischen Sanierungsmaßnahmen auf die Radonkonzentrationen im Gebäudeinnern sind hierbei zu untersuchen.

6 Literaturverzeichnis

[1] History of the U.S. Army in Europe. Internet: http://www.eur.army.mil/organization/history.htm (zuletzt besucht am 22.08.2013).

[2] Lostumbo, M. J. et al.: Overseas Basing of U.S. Military Forces. An Assessment of Relative Costs and Strategic Benefits. Santa Monica, Arlington, Pittsburgh, 2013.

[3] Gesetz zum NATO-Truppenstatut und zu den Zusatzvereinbarungen in der im Bundesgesetzblatt Teil III, Gliederungsnummer 57-1, veröffentlichten bereinigten Fassung, das zuletzt durch Artikel 111 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407) geändert worden ist.

[4] United States Army Installation Management Command Europe Region: U.S. Department of Defense. Final Governing Standards Germany, 2012.

[5] United States Code (USC) Chapter 53, Subchapter III: Indoor Radon Abatement Act of 1988. Public Law 100-551, Sec. 301.

[6] U.S. Environmental Protection Agency – US EPA: A Citizen's Guide To Radon. The Guide To Protecting Yourself And Your Family From Radon, 2012. Internet: http://www.epa.gov/radon/pdfs/citizensguide.pdf (zuletzt besucht am 22.08.2013).

[7] U.S. Environmental Protection Agency: EPA Map of Radon Zones. Internet: http://www.epa.gov/radon/pdfs/zonemapcolor.pdf (zuletzt besucht am 22.09.2013).

[8] Department of the Army (DA): Headquarter of the Department of the Army (HQDA) Letter 40-88-3. Washington, 1988.

[9] United States Army Environmental Hygiene Agency (U.S. AEHA): Technical Guide (TG) No. 164, The DA Radon Program. Aberdeen Proving Ground, 1989.

[10] Department of the Army (DA), U.S. Army Center for Public Works: Army Radon Reduction Program. Instruction Manual for Field Personnel. Fort Belvoir, 1992.

[11] Headquarters Department of the Army (DA): Department of the Army Pamphlet (DA-PAM) 200-1. Environmental Quality. Environmental Protection and Enhancement. Washington, 2002.

[12] Headquarters Department of the Army (DA): Army Regulation (AR) 200-1. Environmental Quality. Environmental Protection and Enhancement. Washington, 1990.

[13] Headquarters Department of the Army (DA): Army Regulation (AR) 200-1. Environmental Quality. Environmental Protection and Enhancement. Washington, 1997.

[14] Headquarters Department of the Army (DA): Army Regulation (AR) 200-1. Environmental Quality. Environmental Protection and Enhancement. Washington, 2007.

[15] Headquarters Department of the Army (DA): Army Regulation (AR) 420-1, Facilities Engineering, Army Facilities Management. Washington, 2007.

[16] Headquarters Department of the Army (DA): Army Regulation (AR) 420-1, Facilities Engineering, Army Facilities Management. Washington, 2012.

[17] Department of the Army (DA), U.S. Army Corps of Engineers: Public Works Technical Bulletin 420-1-XX. 30 September 20XX. Facilities Engineering Environmental. Installation Toxics Planning. Final Working Draft R09-08-14 V1. Washington, 2013.

[18] Code of Federal Regulations (CFR) Title 29, Subtitle B, Chapter XVII, Part 1910 (Occupational Safety and Health Standards), Subpart Z (Toxic and Hazardous Substances), Section 1910.1096 (Ionizing Radiation). 29 CFR 1910.1096.

[19] U.S. Environmental Protection Agency Office of Inspector General: More Action Needed to Protect Public from Indoor Radon Risks. Evaluation Report. Report No. 08-P-0174, 2008. Internet: http://www.epa.gov/oig/reports/2008/20080603-08-P-0174.pdf (zuletzt besucht am 22.08.2013).

[20] U.S. Environmental Protection Agency: Protecting people and families from radon. A federal action plan for saving lives. Internet: http://www.epa.gov.radon/pdfs/federal_radon_action_plan.pdf (zuletzt besucht am 22.08.2013).

[21] World Health Organization (WHO): WHO handbook on indoor radon. A public health perspective. Genf, 2009.

[22] U.S. Department of Defense (DOD): Unified Facilities Criteria (UFC) 4-711-01. Family Housing, 2006.

[23] U.S. Department of Defense (DOD): Unified Facilities Criteria (UFC) 3-490-04A. Indoor Radon Preventation and Mitigation, 2003.

[24] Geologisches Landesamt Baden-Württemberg: Geologische Karte 1:25000 von Baden-Württemberg. Unveränderter Nachdruck der Erläuterungen zu Blatt 30 und 31 Schwetzingen-Altlussheim der Geologischen Specialkarte des Grossherzogtums Baden von 1881. Stuttgart, 1986.

[25] Weimer, S.: Radon in Baden-Württemberg. Vorkommen, Risiko, Empfehlungen. Umweltministerium Baden-Württemberg. Stuttgart, 2007.

[26] Kemski, J.: Dokumentation der Ergebnisse der Radonbodenluftuntersuchungen im Patrick-Henry-Village in Heidelberg. Untersuchung im Auftrag der USAG Baden-Württemberg. Bonn, 2012.

[27] Haid, J.: Radonuntersuchungsstrategien und Sanierungsoptionen zur sicheren und gesundheitsgerechten Gestaltung von Einfamilienhäusern (Bestand) auf U.S. Militärliegenschaften, dargestellt am Beispiel von Offiziershäusern des Patrick-Henry-Village (PHV), Heidelberg der U.S. Army Garrison Baden-Württemberg. Unveröffentlichte Diplomarbeit an der FH Kaiserslautern, 2012.

[28] Klingel, R.: Gutachterliche Stellungnahme zur Radonbelastung des Wohnhauses 4734 der Patrick-Henry-Village Housing Area Heidelberg Garrison, US Army. Bonn, 2010.

RADONSANIERUNG AN EINEM ALTBAU ALS ERGEBNIS EINER KOMPLEXEN URSACHENAUFKLÄRUNG

RADON REMEDIATION IN AN OLD RESIDENTIAL BUILDING AS A RESULT OF A COMPLEX CAUSE ANALYSIS

Kai Geringswald[1)], Walfried Löbner[1)], Christian Schramm[1)]

Michael Förster[2)], Horst Räder[2)], Evelin Sternkopf[2)]

[1)] Wismut GmbH, Chemnitz

[2)] Gebäude- und Wohnungsverwaltung GmbH, Bad Schlema

Zusammenfassung

In einem Wohngebäude in der Umgebung bergbaulicher Hinterlassenschaften wurden erhöhte Radonkonzentrationen festgestellt, obwohl in der Vergangenheit am Gebäude bereits Maßnahmen der Radonsanierung getroffen worden waren. Aus diesem Grund war es erforderlich, eine weiterführende komplexe Auf-klärung der Radonsituation im Gebäude und deren Ursachen zur Findung einer befriedigenden Problemlösung durchzuführen. Dabei wurde ein Untersuchungskonzept angewendet, dass auf zeitaufgelösten Radonmessungen in Kombination mit Tracergasuntersuchungen, der Infrarot-Thermographie und einem speziellen Blower-Door-Verfahren zur Quantifizierung des Luftaustausches und des Radoneintrittes im Gebäude beruht. Weiterhin wurden die Gebäudenutzung und die baulichen Gegebenheiten berücksichtigt. Es werden kostengünstige und relativ einfache Lösungen zur Verringerung der Strahlenexpositionen der Bewohner für den speziellen Fall vorgestellt.

Summary

In a residential building adjacent to mining legacies elevated radon concentrations have been observed although the building was in the past already subject of radon-reducing remedial measures. That is why it was necessary to implement an additional, comprehensive study to identify the causes that trigger the elevated concentrations and to develop a satisfying problem solution. Thereby, an investigation ap-proach was applied which is based on time-resolved radon measurements in combination with tracer gas analysis, on infrared thermography and on a special blower door technique to quantify the air exchange rate and the radon entry in the building. Furthermore, the resident behavior and the construction-specific conditions of the building were taken into account. Cost-effective and relatively easily to implement solu-tions to reduce the radiation exposures of the residents are presented.

1 Problemstellung

In einem Wohngebäude mit mehreren Wohnungen eines großen kommunalen Vermieters an einem Standort mit Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus wurden nach einer aufwendigen Radonsanierung am Gebäude noch erhöhte Radonkonzentrationen festgestellt. Da die Ursachen für die erhöhten Radonkonzentrationen unklar waren, mussten zunächst die Radonsituation in den Wohnungen und im Keller des Gebäudes näher charakterisiert und die Herkunft des Radons geklärt werden. Dies erfolgte mit dem Ziel, eine wirksame und kostengünstige Lösung zur Verbesserung der Radonsituation zu entwickeln, mit der eine hinreichende Reduzierung der Strahlenexposition in den Wohnräumen des Gebäudes erreicht wird. Die bisherigen Erfahrungen im Freistaat Sachsen zeigen [1, 2], dass bei erhöhten Radonkonzentrationen in mehrgeschossigen Wohngebäuden einfache integrierende oder zeitaufgelöste Radonmessungen nicht mehr ausreichen, um geeignete Maßnahmen zur Verbesserung der Radonsituation identifizieren zu können. Es besteht somit der Bedarf an geeigneten komplexen Untersuchungsmethoden zur Problemcharakterisierung und Ursachenaufklärung, auf deren Basis objektspezifische Sanierungsmaßnahmen abgeleitet werden können. Da konvektive Transportprozesse und der Luftaustausch im Gebäude einen entscheidenden Einfluss auf die Radonsituation unter den konkreten Nutzungsbedingungen haben, wird eine verstärkte Nutzung des ingenieurtechnischen Wissens der Gebäudeklimatisierung und der experimentellen Verfahren zur Bestimmung des Luftaustausches in Gebäuden erforderlich. Anhand eines Fallbeispiels soll gezeigt werden, dass eine gezielte Kombination von zeitaufgelösten Radonmessungen in den Räumen, von Differenzdruckmessungen zwischen den relevanten Zonen eines Gebäudes und von Tracergasuntersuchungen zur Quantifizierung des Luftaustausches sowohl unter Normalbedingungen als auch unter künstlich erzeugten Druckverhältnissen die Basis für die Entwicklung einer wirksamen Problemlösung bilden kann.

2 Situationsbeschreibung

Das untersuchte Wohngebäude wurde in den 1950er Jahren in massiver Bauweise an einem neu geschaffenen Wohnstandort in Hanglage erbaut. Es besteht aus einem teilweise unterkellerten Erdgeschoss und einem Obergeschoss sowie einem Dachboden. Im Erdgeschoss und im Obergeschoss befinden sich jeweils 2 Wohnungen. Das Dach ist als Kaltdach ausgeführt, der Dachboden ist nicht ausgebaut und wird zur Wäschetrocknung und als Stauraum genutzt. Das Gebäude wird ausschließlich zu Wohnzwecken genutzt.

Bei vom Vermieter durchgeführten Radonmessungen wurden insbesondere im Winter stark erhöhte Radonkonzentrationen in den Wohnräumen und im Keller festgestellt. In Tabelle 1 sind die Radonkonzentrationen in ausgewählten Räumen des Wohngebäudes vor der Radonsanierung dargestellt.

Tab. 1: *Mittlere Radonkonzentration in ausgewählten Räumen während einer Messperiode im Februar 2008 vor der Radonsanierung des Gebäudes*

Raum/Gebäudebereich	**Radonkonzentration in Bq/m³**
Keller	16300
Treppenhaus	7900
Wohnzimmer im Erdgeschoss	1860
Küche im Erdgeschoss	9260
Bad im Erdgeschoss	21950

Wohnzimmer im Obergeschoss	5060
Küche im Obergeschoss	12920
Bad im Obergeschoss	24840

Wie die Messergebnisse zeigen, unterschieden sich die Radonkonzentrationen von Raum zu Raum deutlich. Sowohl im Erdgeschoss als auch im Obergeschoss gab es Räume mit hohen Radonkonzentrationen und Räume mit sehr hohen Radonkonzentrationen (vgl. Tabelle 1). Im Keller traten ebenfalls sehr hohe Radonkonzentrationen auf. Die Ursachen der erhöhten Radonkonzentrationen in den Wohnungen und im Keller waren unbekannt. Der Vermieter veranlasste daraufhin eine umfangreiche Radonsanierung am Gebäude unter Einsatz mehrerer üblicher Verfahren. Vorher wurde das Gebäude leer gezogen. Es wurden in den Erdgeschossfußboden eine radondichte Folie eingebaut und die Leitungskanäle von Trinkwasser und Abwasser im Keller abgedichtet. Zusätzlich wurde in den Wohnungen ein modernes Lüftungssystem mit Wärmerückgewinnung zur Verbesserung der Luftwechselrate in den Wohnungen installiert. Nach erfolgter Radonsanierung wurde die Radonkonzentration in den 4 Wohnungen und im Keller erneut gemessen. Die Ergebnisse dieser Messungen sind in der Tabelle 2 dargestellt.

Tab. 2: *zeitaufgelöste Radonkonzentration in ausgewählten Räumen während einer Messperiode im Januar 2012 nach der Radonsanierung des Gebäudes*

Raum/Gebäudebereich	**Radonkonzentration in Bq/m³**
Keller	14960
Wohnzimmer im Erdgeschoss	850
Küche im Erdgeschoss	2000
Bad im Erdgeschoss	750
Wohnzimmer im Obergeschoss	1740
Küche im Obergeschoss	5830
Bad im Obergeschoss	8520

In mehreren Wohnräumen sowohl im Erdgeschoss als auch im Obergeschoss sowie im Keller waren weiterhin hohe bis sehr hohe Radonkonzentrationen festzustellen. Zwar hatte sich die Radonsituation durch die Radonsanierung des Gebäudes in den meisten Räumen verbessert, die Radonsituation war jedoch noch nicht zufriedenstellend. Der von den durchgeführten Maßnahmen erwartete Erfolg hatte sich nicht eingestellt.

Wie die Tabelle 2 verdeutlicht, bestanden zwischen den Räumen einer Etage signifikante Unterschiede in der Radonkonzentration. Weiterhin war für dieses Gebäude charakteristisch, dass die Radonkonzentrationen im Obergeschoss tendenziell höher waren als im Erdgeschoss. Es zeigte sich weiterhin, dass die Raumnutzung (unterschiedlicher Luftwechsel) im engen Zusammenhang mit der Radonkonzentration steht. Angesichts dieser komplexen und schwer zu interpretierenden Verhältnisse wurde die Wismut GmbH um Unterstützung bei der Ursachenaufklärung und bei der Entwicklung einer wirksamen und kostengünstigen Lösung zur dauerhaften Verbesserung der Radonsituation in dem Gebäude gebeten.

3 Untersuchungskonzept und ausgewählte Ergebnisse der Ursachenaufklärung

Für die Aufklärung der Radonsituation im Gebäude wurde folgende bewährte Lösungsstrategie angewendet:

Datenauswertung bereits vorhandener Daten

↓

Durchführung spezieller Messungen am Gebäude

↓

Ursachenaufklärung der Radonsituation

↓

Identifikation des Radoneintritts in das Gebäude und

Quantifizierung des Radontransportes innerhalb des Gebäudes

↓

Problemlösung

↓

Erfolgskontrolle der Sanierungsmaßnahmen

3.1 Durchführung einer abgewandelten Blower-Door-Untersuchung im Keller des Gebäudes und zeitaufgelöster Radonmessungen in den Wohnungen:

Die Dynamik der gemessenen Radonkonzentrationen in den Räumen des Gebäudes ließ darauf schließen, dass die Radonsituation im Gebäude von konvektiven Radonzutritten bestimmt wird. Um die Gebäudebereiche mit erhöhten konvektiven Radonzutritten zu identifizieren, wurde mittels Blower-Door-Technik (saugender Ventilator) im Gebäudekeller bei verschlossenen Fenstern und Außentüren gezielt ein Unterdruck erzeugt und in bestimmten Stufen erhöht. Dabei wurde der erzeugte Differenzdruck zur Außenluft gemessen.

Durch zeitaufgelöste Messungen der Radonkonzentration im Keller und in den Wohnräumen konnte der Gebäudebereich mit erhöhten konvektiven Radonzutritten identifiziert werden, da sich trotz erhöhten Luftaustauschs infolge des Absaugens in den Räumen unterschiedliche Radonkonzentrationen einstellten. Durch Messung des Luftvolumenstromes des Blower-Door-Ventilators und der dazugehörigen Radonkonzentration im abgeleiteten Luftstrom konnte die Radoneintrittsrate in das Gebäude für die verschiedenen Druckstufen bestimmt werden. Es wurde dabei eine relativ starke Radonquelle identifiziert, die den Keller des Gebäudes durch konvektive Strömungsprozesse speist. Typisch war hierbei, dass der Radonzutritt zunächst mit wachsendem Unterdruck im Gebäude anstieg, um sich dann asymptotisch einem stationären Wert anzunähern. Gleichzeitig nahm die Radonkonzentration in den darüber liegenden Wohnungen ab. In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Radonkonzentration und der Raumtemperatur während der Blower-Door-Untersuchung im Wohnzimmer einer Obergeschosswohnung dargestellt. Mit dem Zuschalten des Blower-Door-Ventilators im Keller sinkt die Radonkonzentration im Wohnzimmer bereits bei geringem Unterdruck allmählich auf unter 200 Bq/m³ ab. Dieser Konzentrationsabfall kann aufgrund seines exponentiellen Verlaufs als Ergebnis des Luftwechsels zwischen dem Zimmer und der Außenluft nach einem durch die Differenzdrucksituation bedingten Versiegen des konvektiven Radonzutritts in die Wohnungen interpretiert werden.

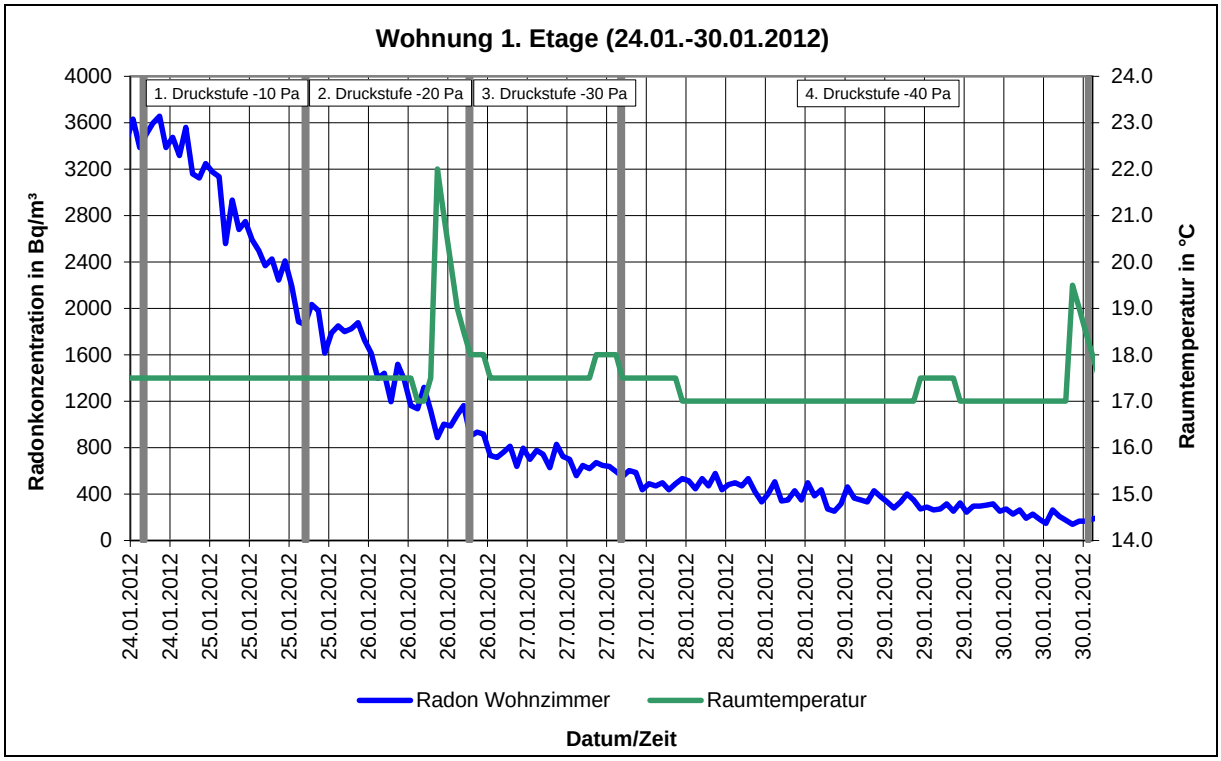


Abb. 1: *Zeitaufgelöste Darstellung der Radonkonzentration und der Raumtemperatur im Wohnzimmer einer Wohnung im Obergeschoss während des abgewandelten Blower-Door-Versuches*

Der bei den abgewandelten Blower-Door-Untersuchungen im Keller erzeugte Unterdruck ermöglichte es weiterhin, mit der Infrarot-Thermographie Bereiche eines erhöhten Bodenluftzutritts und damit potenzielle Radoneintrittspfade in das Gebäude zu suchen. Insbesondere Kabel- und Rohrdurchführungen sowie Fehlstellen im Mauerwerk zeigten sich als thermische Anomalien und konnten als Eintrittspfade für Bodenluft identifiziert werden.

3.2 Radonexhalationsmessungen und Messungen der α- und β- Oberflächenkontamination im Keller:

Um festzustellen, ob neben den identifizierten Eintrittspfaden für Bodenluft der Kellerfußboden und die Kellerwände an sich Radon exhalieren, wurden stichprobenartig Radonexhalationsmessungen nach der Boxmethode durchgeführt. Dabei zeigten nur die Kellerwände zum nicht unterkellerten Gebäudebereich etwas erhöhte Exhalationsraten. Die anderen Wandbereiche im Keller zeigten keine Auffälligkeiten. Die α- und β-Oberflächenkontaminationsmessungen kamen zu ähnlichen Ergebnissen wie die Radonexhalationsmessungen. An kleinen Rissen in den Kellerwänden zum nicht unterkellerten Gebäudebereich gab es lokal erhöhte Werte. Der restliche Kellerbereich zeigte keine Auffälligkeiten.

3.3 Tracergasuntersuchungen zur Quantifizierung des Lufttransportes vom Keller in die Wohnungen und Luftwechselmessungen in den Wohnungen:

Das in ein Gebäude eintretende Radon wird bekanntermaßen durch die stets vorhandenen Luftströmungen im Gebäude verteilt. Maßgeblich können hierbei undichte bzw. offene Türen, schlecht verschlossene Durchbrüche, Rohr- und Kabelkanäle, Schornsteine und Treppenhäuser sein. Mit Hilfe von systematischen Tracergasuntersuchungen kann der Luftaustausch im Gebäude (Luftaustausch zwischen den Räumen sowie Luftwechsel mit der Außenluft) und der damit verbundene Radontransport näher untersucht werden [3]. In dem untersuchten Wohngebäude wurde im Februar 2012 ein Tracergastest unter Verwendung des Tracergases SF_6 durchgeführt. Hierbei wurde das Tracergas impulsförmig im Gebäudekeller aufgegeben. In verschiedenen Räumen des Gebäudes wurde die zeitliche Entwicklung der Tracergaskonzentration gemessen. In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Tracergasmessungen in den untersuchten Räumen dargestellt. Der Abfall der Tracergaskonzentration ist auf den Luftwechsel mit der Außenluft zurückzuführen.

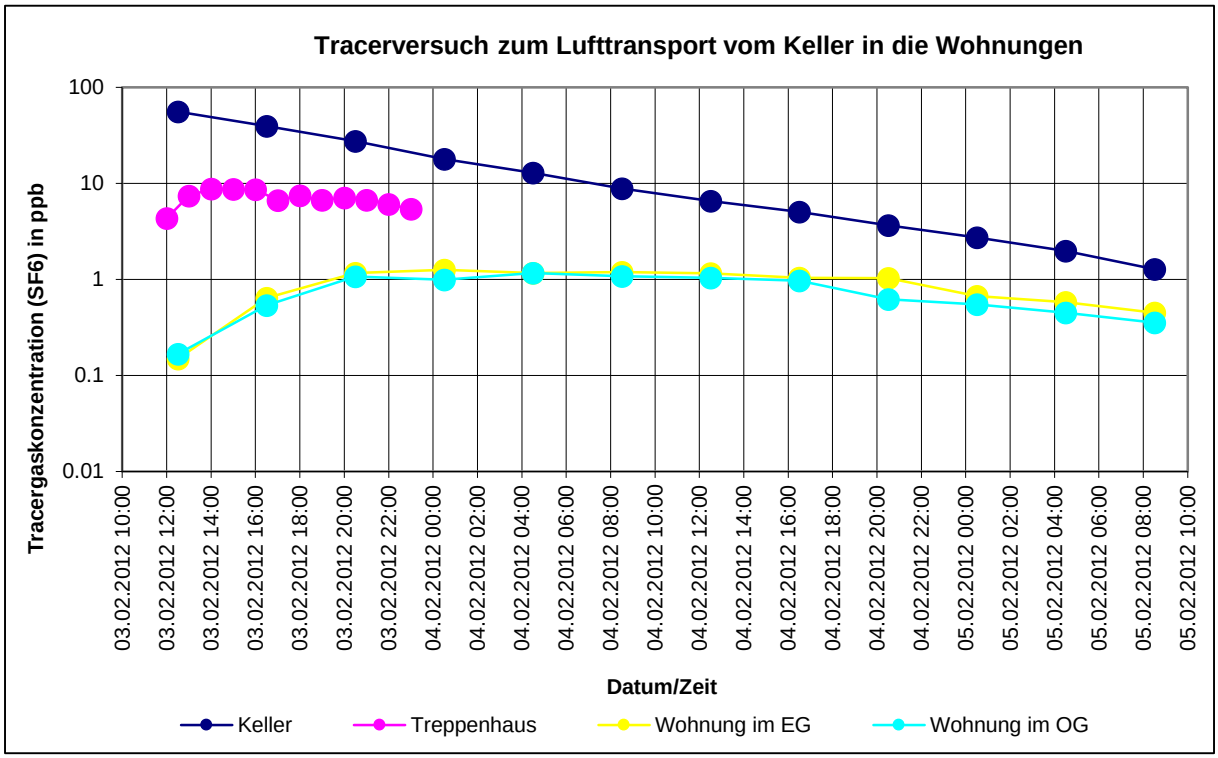


Abb. 2: *Entwicklung der Tracergaskonzentration in den untersuchten Räumen*

Mit dem Tracergastest konnte nachgewiesen werden, dass unter winterlichen Bedingungen eine Luftströmung vom Keller in die darüberliegenden Wohnungen stattfindet. Als Transportpfad spielte – wie die Tracergaskonzentrationen zeigen – das Treppenhaus eine Rolle. Allerdings wurde durch quantitative Auswertungen nachgewiesen, dass nur etwa 12 ... 15 % der in den Wohnräumen gemessenen Radonkonzentration Folge eines Luftzustromes aus dem Keller waren. 85 ... 88 % der Radonkonzentration in den Wohnräumen waren auf Strömungsprozesse zurückzuführen, die ihren Weg nicht über den Keller nahmen. Die Feststellung bei den speziellen Blower-Door-Untersuchungen, dass der konvektive Radontransport in die Wohnungen bei Unterdruck im Keller nahezu versiegte und gleichzeitig der Radonzutritt in den Keller zunahm, führte in Kombination mit diesem überraschenden Ergebnis des Tracergastests zu dem Schluss, dass sich die Radonquelle unter dem nicht unterkellerten Gebäudeteil befindet und dass von dort relevante Strömungsverbindungen in die Wohnungen bestehen.

3.4 Untersuchungen zur Beherrschung der Radonsituation durch gezielte Unterdruckerzeugung im nicht unterkellerten Bereich über einen Ventilator im ungenutzten Schornstein:

Aufgrund der Ergebnisse der Blower-Door-Untersuchungen, der Ergebnisse der Tracergasuntersuchungen und der Radonexhalationsmessungen im Keller erhärtete sich die Vermutung, dass der nicht unterkellerte Bereich unter dem Gebäude die dominierende Radonquelle darstellt. Daraufhin wurden zur Messung der Bodenradonkonzentration mehrere Bohrungen durch die Kellerwand in den nicht unterkellerten Bereich und eine Bohrung durch den Kellerboden in den Gebäudeuntergrund hineingebracht. Eine Skizze des Kellergrundrisses mit den Radonexhalations- und den Bodenradonmessstellen zeigt die Abbildung 3.

Die Radonmessungen an den Bohrungen durch die Kellerwand in den nichtunterkellerten Bereich erbrachten sehr hohe Radonkonzentrationen bis 320 kBq/m³. Dagegen ergaben die Radonmessungen an der Bohrung durch den Fußboden in den Baugrund nur Radonkonzentrationen bis 80 kBq/m³. Diese Ergebnisse bestätigten, dass sich die eigentliche Radonquelle im nicht unterkellerten Bereich des Gebäudes hinter den Kellerwänden befindet.

Aufgrund der überraschenden Ergebnisse der Tracergasuntersuchungen wurde nach Strömungspfaden gesucht, über die radonreiche Bodenluft aus dem nicht unterkellerten Bereich direkt in die Wohnungen gelangen kann. Als mögliche Strömungspfade wurden auch die im Gebäude vorhandenen Schornsteine geprüft. Sie befinden sich an der Grenze des unterkellerten zum nicht unterkellerten Gebäudebereich und reichen bis in den Gebäudebaugrund. Beide Schornsteinköpfe waren vor Jahren bis zum Fußboden des Dachbodens abgetragen und verschlossen worden, weil sie nicht mehr zu Heizzwecken genutzt wurden. Die beiden Schornsteine wurden angebohrt und es wurden Radonmessungen durchgeführt. Die Messungen ergaben sehr hohe Radonkonzentrationen (bis 250 kBq/m³) in den Schornsteinen. Durch Undichtigkeiten in dem durch die Abtragung aufgelockerten, porösen Schornsteinkopf konnte das Radon in den Fußboden des Daches bzw. in die Decke des Obergeschosses strömen und gelangte von dort in die Wohnungen und ins Treppenhaus. Der typische „Schornsteingeruch“ konnte besonders im Dachboden und im Treppenhaus wahrgenommen werden. Damit wurde auch die Erklärung für die gegenüber dem Erdgeschoss systematisch höheren Radonkonzentrationen im Obergeschoss gefunden.

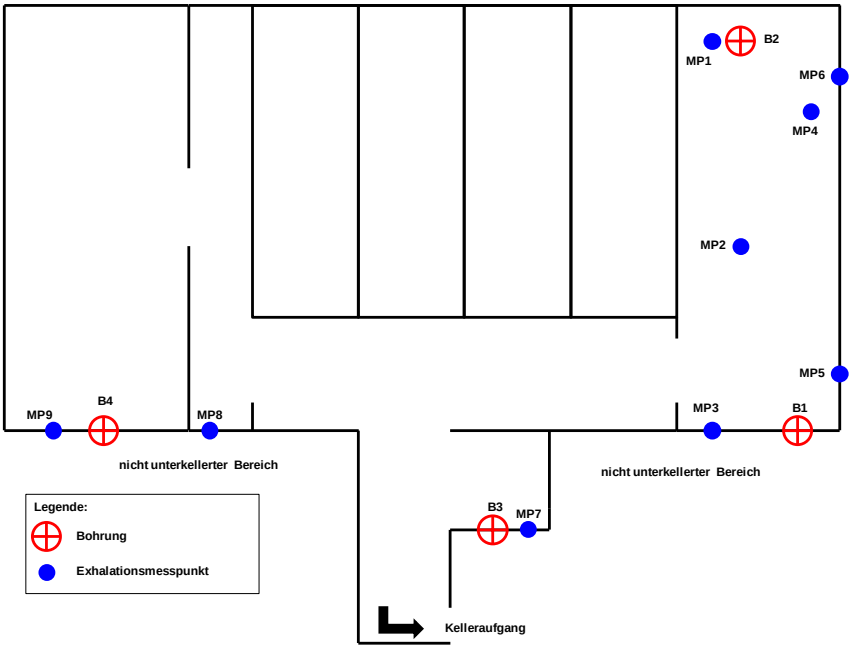


Abb. 3: *Skizze des Kellergrundrisses mit den Messstellen zur Radonexhalation und den Bohrungen mit den dazugehörigen Messstellen in den nicht unterkellerten Gebäudebereich.*

Um eine sinnvolle und kostengünstige lüftungstechnische Lösung für eine dauerhafte Senkung der Radonkonzentration im Keller und vor allem in den Wohnungen zu finden, wurde zunächst ein Schornsteinkopf geöffnet und für einen Ventilatorversuch vorbereitet. Ziel war es, experimentell zu bestimmen, ob die im Gebäude noch vorhandenen Schornsteine geeignet sind, das Radon aus dem nichtunterkellertem Bereich mit Hilfe eines Ventilators über den Dachfirst abzuleiten. An den so vorbereiteten Schornstein wurde mit einem im Keller verlegten Rohr auch der zweite Schornstein

angebunden. Vom Keller aus wurden durch beide Schornsteine jeweils 3 Kernbohrungen in den nicht unterkellerten Bereich vorgetrieben, so dass die Schornsteine strömungstechnisch an den nicht unterkellerten Teil des Gebäudes angebunden waren. Auf den geöffneten Schornsteinkopf wurde ein regelbarer Ventilator aufgebaut und saugend betrieben. Die abgesaugte Luft wurde über eine Lutte zunächst provisorisch zum Dachbodenfenster hinaus abgeleitet. Während der messtechnischen Untersuchungen wurden der Keller und die Wohnungen geschlossen gehalten. Mit dem Ventilator wurden nacheinander stufenweise verschiedene Unterdrücke angesteuert und in den Wohnungen sowie im Keller die zeitliche Änderung der Radonkonzentration gemessen. Durch diesen Ventilatorversuch konnte experimentell nachgewiesen werden, dass ein technisch entlüfteter Schornstein die Radonkonzentration in den Wohnräumen erheblich verbessern kann. In der Abbildung 4 ist exemplarisch die Entwicklung der Radonkonzentration in einem Wohnraum im Verlauf des Ventilatorversuches dargestellt. Nach Inbetriebnahme des Ventilators auf dem Schornsteinkopf sank die Radonkonzentration in der Wohnung der 1. Etage (Obergeschoss) deutlich ab. Der exponentielle Rückgang war hierbei Folge des Luftwechsels mit der Außenluft nach dem Versiegen des konvektiven Radonzutrittes. Nach dem Ausschalten des Ventilators stieg die Radonkonzentration in der Wohnung in der 1. Etage langsam wieder an.

Durch diese technische Lösung der Unterdruckerzeugung im Boden des nicht unterkellerten Bereiches sanken nicht nur in den Wohnungen, sondern auch im Keller die Radonkonzentrationen signifikant ab. Durch das Anlegen eines Unterdruckes im Schornstein bildete sich auch im Untergrund des nicht unterkellerten Gebäudeteils ein messbarer Unterdruck aus, der in die Wohnungen aufsteigende Luftströmungen verhinderte.

Mit dem Absaugen von Bodenluft aus dem Untergrund des nicht unterkellerten Gebäudeteils ist eine Ableitung des dort in hohen Konzentrationen vorhandenen Radons über den Schornstein verbunden. Dies musste bei der Gestaltung einer Problemlösung beachtet werden.

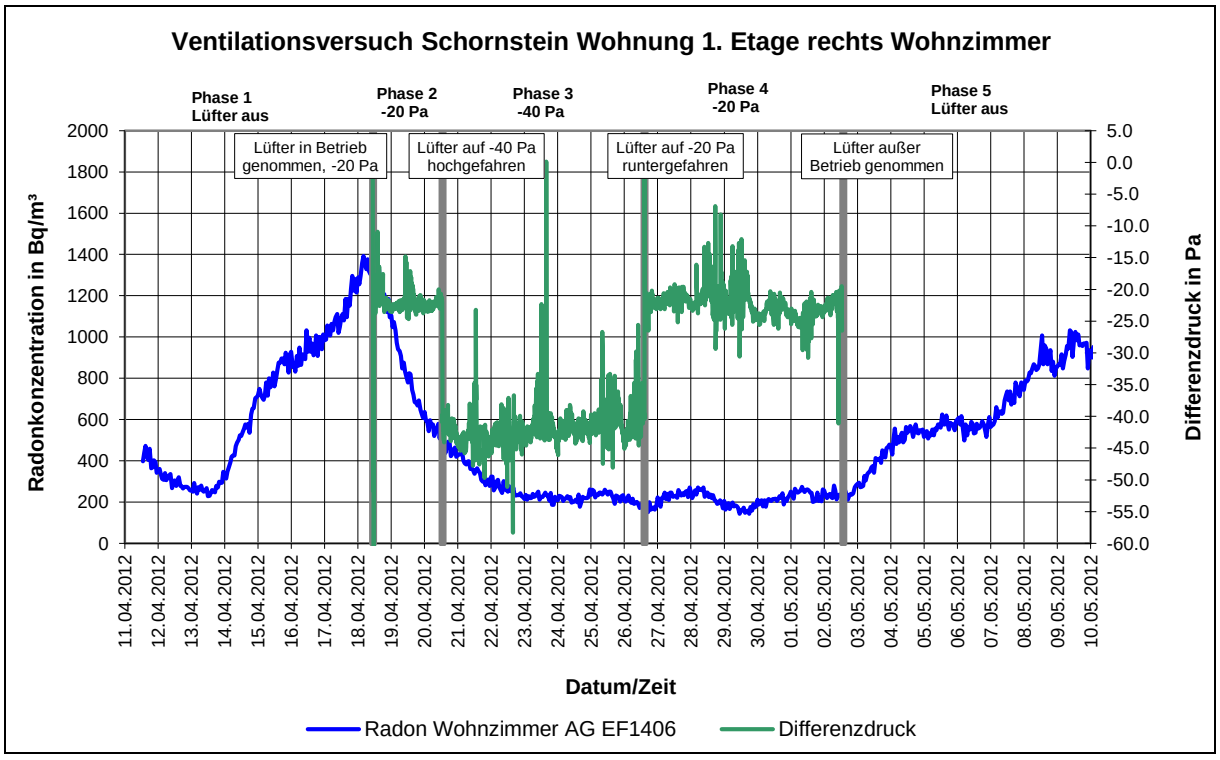


Abb. 4: *Radonsituation in der Wohnung der 1. Etage während des Ventilatorversuches im Schornstein*

3.5 Bestimmung von lüftungstechnischen Parametern zur Dimensionierung eines Unterdrucksystems im Gebäude:

Um für die praktische Umsetzung des Lösungsansatzes einen geeigneten Lüfter vom Markt auswählen zu können, der allen Anforderungen bei gleichzeitig energieeffizientem Betrieb erfüllt, war eine Lüfterdimensionierung auf der Basis der strömungstechnischen Parameter erforderlich. Die notwendigen Kenngrößen zur Lüfterauswahl sind die Druckerzeugung und der Volumenstrom sowie die physikalischen und chemischen Eigenschaften des Fördermediums (bei unserm Anwendungsfall: Luft). Weiterhin sollten Lüfter, die dauerhaft in bewohnten Gebäuden betrieben werden, einen niedrigen Schalldruckpegel haben, damit sich die Mieter in den Wohnungen nicht belästigt fühlen. Bei einem temporären Ventilatorversuch am Schornstein mit einem regelbaren Blower-Door-Ventilator wurden die erforderlichen strömungstechnischen Parameter an der konkreten Konfiguration experimentell bestimmt. Für die Dimensionierung des Lüfters wurden folgende Parameter ermittelt:

- Erforderliche Druckerzeugung (Δp): 70 Pa,
- Erforderlicher Volumenstrom ($\dot{V}$): 85 m³/h.

Auf der Basis dieser Parameter wurde ein geräuscharmer, drehzahlgesteuerter Lüfter mit einer elektrischen Nennleistung von 20 W mit der notwendigen Lüfterkennlinie ausgewählt.

3.6 Schlussfolgerungen aus den Untersuchungen und Sanierungsvorschlag:

Durch die komplexen Untersuchungen zur Ursachenaufklärung der hohen Radonkonzentrationen im Gebäude („nach einer Radon-Sanierung“) wurde der nicht unterkellerte Gebäudebereich als Radonquelle identifiziert. Durch konvektive Luftströmungen, bedingt durch den natürliche Auftrieb im Gebäude, gelangte radonhaltige Bodenluft durch Rohrkanäle, Risse und Fugen sowie durch die Schornsteine in den Keller, in die Wohnungen und in den Dachboden. Abdichtungsmaßnahmen zur Radondämmung im Gebäude und technische Lüftungsmaßnahmen in den Wohnungen waren im vorliegenden Fall nicht hinreichend. Es wurde deshalb eine technische Belüftung (insbesondere zur Unterdruckerzeugung im Baugrund des nicht unterkellerten Bereiches) unter Nutzung der stillgelegten Schornsteine favorisiert. Durch das Anlegen eines Unterdruckes im Schornstein wird der nicht unterkellerte Gebäudebereich abgesaugt und die stark radonhaltige Bodenluft aus dem Untergrund gelangt damit nicht mehr in die Wohnungen. Da das untersuchte Gebäude insgesamt 4 Wohnungen hat, wobei 2 Wohnungen in der linken Gebäudehälfte und 2 Wohnungen in der rechten Gebäudehälfte liegen, wurde in jeder Gebäudehälfte ein Schornstein mit einem Lüfter versehen. Durch die geringe elektrische Nennleistung der Lüfter sind die laufenden und dauerhaft anfallenden Betriebskosten relativ gering.

3.7 Erfolgskontrolle der Sanierungslösung:

Nach der fachgerechten Installation der beiden vorgeschlagenen Lüfter auf die Schornsteinköpfe im Dachboden und deren Inbetriebnahme erfolgten abschließende Radonmessungen in den Wohnungen. Die Radonsituation hat sich durch den Betrieb der beiden Lüfter in allen Wohnungen und im Keller signifikant verbessert. In der Abbildung 5 und 6 sind die Ergebnisse der Radonkonzentrationsmessungen in einer Wohnung im Erdgeschoss und in einer Wohnung der 1. Etage (Obergeschoss) bei einem Unterdruck von 40 Pa in beiden Schornsteinen dargestellt. Die Wohnungen befanden sich dabei im ungenutzten Zustand (geringer Luftwechsel). Es ist davon auszugehen, dass bei der bestimmungsgemäßen Wohnraumnutzung sich eine höhere Lüftwechselrate einstellt und damit die Radonkonzentrationen sich weiter verringern.

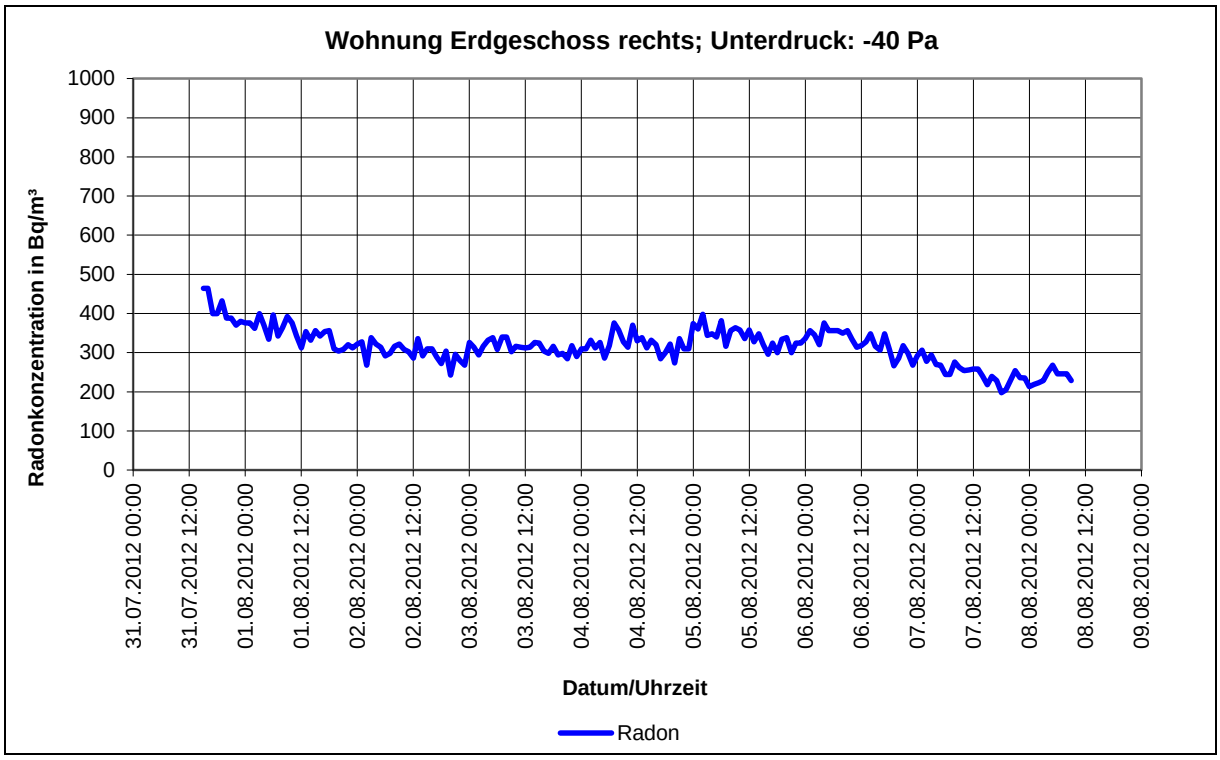


Abb. 5: *Darstellung der Radonkonzentration in der Wohnung im Erdgeschoss bei einem Unterdruck von 40 Pa im Schornstein*

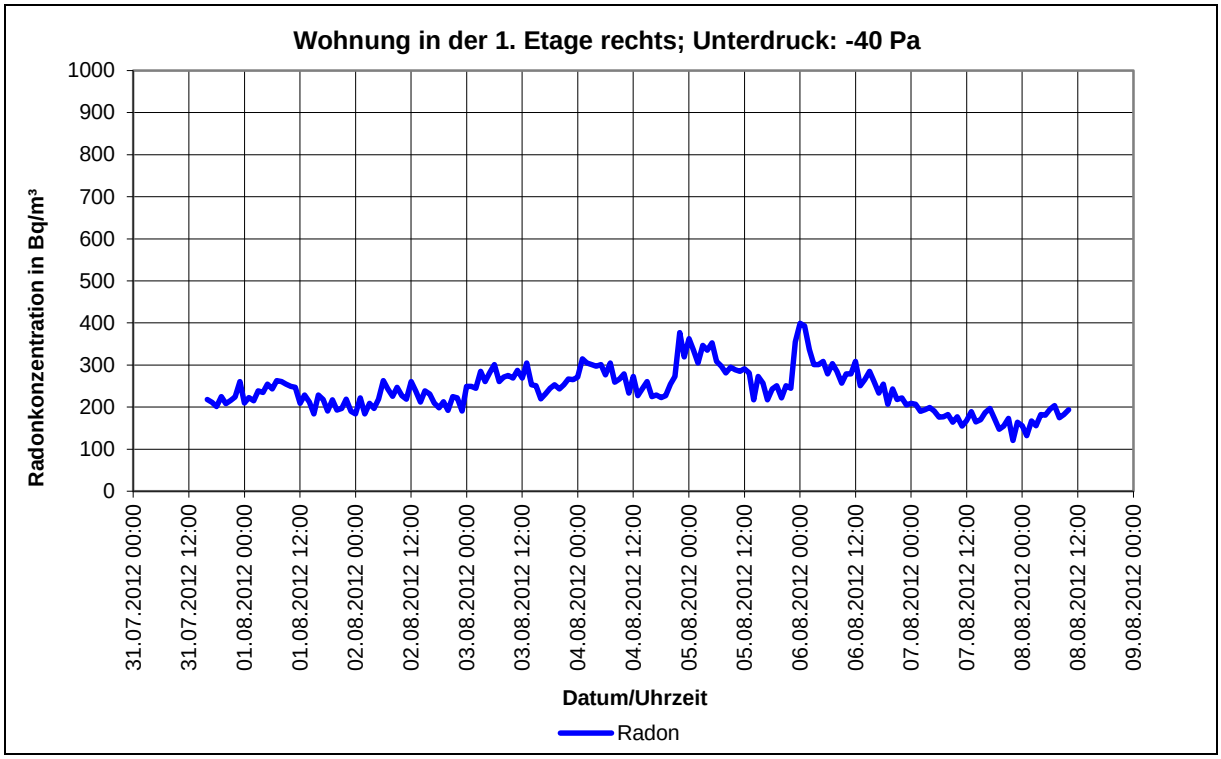


Abb. 6: *Darstellung der Radonkonzentration in der Wohnung in der 1. Etage bei einem Unterdruck von 40 Pa im Schornstein*

Zusammenfassend kann eingeschätzt werden, dass eine Verringerung der Radonkonzentration in Gebäuden zum Teil mit relativ einfachen technischen Maßnahmen erreicht werden kann. Aufwändig sind hingegen die Untersuchungen zu den Ursachen und den Wirkungsmechanismen, die zu den hohen

Radonkonzentrationen im Gebäude führen. Diese Untersuchungen zur Herstellung eines hinreichenden Systemverständnisses erfordern oftmals die Anwendung einer komplexen Untersuchungsstrategie in mehreren Schritten. Sie sind jedoch notwendig, wenn man den langfristigen Erfolg einer geeigneten, problemangepassten Sanierungslösung sichern möchte. Da selbst baugleiche Gebäude ausgeprägte individuelle Merkmale aufweisen, ist bei den Untersuchungen und bei der Entwicklung des Lösungskonzeptes stets eine individuelle Vorgehensweise, flankiert von experimentellen Tests, erforderlich. Die von Wismut gewählte Untersuchungsstrategie einer komplexen Ursachenaufklärung der Radonsituation im Vorfeld der Begründung einer technischen Sanierungslösung hat sich im vorgestellten Anwendungsfall bewährt und konnte mittlerweile auch in einem weiteren Gebäude gemeinsam mit der Wohnungsverwaltungsgesellschaft erfolgreich umgesetzt werden.

4 Literaturverzeichnis

[1] 1. bis 5. Tagung Radonsicheres Bauen, 1. bis 3. Sächsischer Radontag, Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden und KORA e.V. Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren; (Tagungsbände)

[2] IAF-Radioökologie Dresden, B.P.S. Zwickau, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX Chemnitz, WISMUT GmbH Chemnitz: Projekt Radon in öffentlichen Gebäuden, im Auftrag des Landesamtes für Umwelt und Geologie Dresden, 2008 (unveröffentl.)

[3] Löbner, W.: Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselrate in Räumen 2. Tagung Radonsicheres Bauen, HTW Dresden 27.09.2006.

ERFAHRUNGEN BEI DER SENKUNG DER RADONBELASTUNG IN EINEM BAYRISCHEN WASSERWERK

ERFAHRUNGEN BEI DER SENKUNG DER RADONBELASTUNG IN EINEM BAYRISCHEN WASSERWERK

Roland Baumann[1)]

Dieter Kreul[2)]

Bernd Leißring[3)], Guido Leißring[3)]

[1)] BG ETEM

[2)] Stadtwerke Kulmbach

[3)] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

Zusammenfassung

Entsprechend den Festlegungen der Strahlenschutzverordnung in der Bundesrepublik Deutschland sind für Arbeitsfelder, bei denen erheblich erhöhte Expositionen durch natürliche terrestrische Strahlenquellen auftreten können, wie zum Beispiel Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung, Grenzwerte verbindlich aufgeführt.

Für das zu untersuchende Wasserwerk ist die zulässige Belastung der Beschäftigten durch diese gesetzliche Grundlage gegeben. Es galt, die Belastungssituation für die Beschäftigten auf der Grundlage von radiologischen Messungen zu erfassen und durch technische Maßnahmen weiter zu senken.

Bei einer Einschätzung der in dem zu untersuchenden Objekt vorherrschenden Radonkonzentration und eines zumutbaren Risikos muss in dem vorliegenden Fall, die Frage nach dem den Ursachen für die festgestellten Radonkonzentrationen sicher ermittelt werden. Für das zu bearbeitende Objekt muss die Frage des Anteils der Radonmigration aus dem Untergrund in das Gebäude und des durch die Aufarbeitung des radonhaltigen Wassers anfallenden Anteils ermittelt werden. Zudem ist die Ausbreitungssituation von der oder den Quellen in die relevanten Aufenthaltsorte der Beschäftigten innerhalb des Gebäudes zu recherchieren und die Frage des Lüftungsverhaltens zu ermitteln.

Die Ergebnisse und die Sanierungsmaßnahmen werden dargestellt.

Summary

The prescriptions of the radiation protection of the Federal Republic of Germany are fixed for scopes of work with considerably more naturally terrestical expose of radiation like plants for water production, conditioning and distribution.

For the waterwork which was examined the authorized radioactive level for the employees is fixed by these prescriptions. The situation of the radioactive level for the employees had to be measured and lowered by technical steps.

In order to estimate the radioactive concentration and the reasonable risk the reasons for the discovered radon concentration had to be found out at the object which was examined. For this object the part of radon migration from the subsoil into the bilding and also the part which comes up at the processing of the radon-bearing water had to be found out.

Furthermore the situation of spreading from the only source or sources to the places of the employees inside of the building had to be investigated such as also the ventilation systems works.

The results and redevelopments are presented.

1 Einführung, Vorgehensweise und Zielvorstellungen

Im Gewinnungsgebiet Marktschorgast liefern 63 Quellen und 11 Hebebrunnen rund 1,8 bis 2,2 Millionen Kubikmeter im Jahr. Fast 13 Quadratkilometer Fläche sind als Wasserschutzgebiet ausgewiesen, das verästelte Rohwasser-Zubringernetz wird über 135 Revisionsschächte kontrolliert und in Stand gehalten. Das Wasser hat eine hervorragende Qualität und genügt nach der Aufbereitung im Wasserwerk Grundmühle selbstverständlich den strengen Vorschriften der Trinkwasserverordnung. Umfangreiche hydrogeologische Untersuchungen belegen die Nachhaltigkeit der Förderung des Grundwassers. Das heißt: Die Stadtwerke nutzen nur die natürliche Schüttung der Quellen.

Abb. 1: *Wasserwerk Marktschorgast*

Die Erfassung der radiologischen Situation des Wasserwerkes und die Erarbeitung von Möglichkeiten zur Senkung der Belastung für die im Betrieb Beschäftigten ist Ziel der Untersuchung.

Für das zu untersuchende Wasserwerk sind primär der Einfluss der Wasserbehandlung mit Freisetzung des Radons aus dem ins Wasserwerk zufließenden Quellwasser und die Ausbreitung im Gebäude zu beachten. Zudem ist die Radonmigration aus dem Untergrund in das Bauwerk zu untersuchen.

Entscheidend für die Einhaltung der Grenzwerte für die Beschäftigten im Wasserwerk ist die auftretende effektive jährliche Dosis an den einzelnen Aufenthaltsorten bei den jeweiligen Radonkonzentrationen [1].

Mit den vorzunehmenden Untersuchungen wurde eine radiologische Erfassung der vorliegenden Verhältnisse am Standort vorgenommen und Wege aufgeführt die Radonkonzentration an den relevanten Arbeitsorten weiter zu senken.

Die Erfassungen der radiologischen Situation wurde unter Auswertung vorhandener Unterlagen und eigener Messungen durch das Bergtechnische Ingenieurbüro GEOPRAX vorgenommen und die Realisierung durch technische Sanierungsmaßnahmen in enger Abstimmung mit dem Betreiber des Wasserwerkes und der Aufsichtsbehörde (BG ETEM) realisiert.

2 Abschätzung der Höhe der Radonkonzentration an einem Arbeitsplatz und Hinweise zur Feststellung der Belastungssituation

Es kann zur Abschätzung einer zumutbaren Belastung durch Radon, in Analogie zum Vorgehen beim strahlenexponierten Arbeiten folgendes Vorgehen herangezogen werden. Dabei wird nur der Expositionspfad „Inhalation von Radon-222 und dessen kurzlebigen Zerfallsprodukten“ berücksichtigt und ein Gleichgewichtsfaktor zwischen Radon und den Radonfolgeprodukten von 0,2 < F > 0,7 angenommen. Die Abschätzung gilt gesetzlich für strahlenexponierte Arbeiten und soll einen Überblick zu gemessenen Radonkonzentrationen ermöglichen.

Nach dem Leitfaden für die Umsetzung der Regelungen nach Teil 3 StrlSchV [3] sind folgende Maßnahmen in Abhängigkeit von der ermittelten Exposition empfohlen.

Tab. 1: *Maßnahmen für strahlenexponierte Arbeiten in Abhängigkeit von der Höhe der Exposition nach [3]*

	Effektive Dosis E im Kalenderjahr	**Empfohlene Maßnahmen**
I	E< 1 mSv	Es sind keine weiteren Maßnahmen erforderlich.
II	1 mSv < E< 3 mSv	Spezielle Strahlenschutzmaßnahmen sind nicht erforderlich; im Rahmen des allgemeinen Arbeitsschutzes sollten aber Maßnahmen besondere Beachtung finden, die zu einer weiteren Verringerung der effektiven Dosis beitragen können.
III	3 mSv < E< 6 mSv	Wie II, aber Wiederholung der Abschätzung innerhalb kürzerer Zeiten (z. B. alle 2 Jahre); für die Abschätzungen sollten generell Messungen durchgeführt werden
IV	6 mSv < E< 20 mSv	Unter Berücksichtigung der Umstände des Einzelfalles Durchführung von angemessenen organisatorischen, baulichen, technischen oder sonstigen Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexpositionen an den Arbeitsplätzen; Ermittlung der Strahlenexpositionen für die betroffenen Personen
V	20 mSv < E	Umgehende Einleitung von technischen oder organisatorischen Maßnahmen zur Reduzierung der individuellen Strahlenexpositionen

Generell gilt nach Strahlenschutzverordnung § 94 die Verpflichtung die Höhe der Strahlenschutzexposition unter Beachtung aller Umstände des Einzelfalls so gering wie möglich zu halten, unabhängig von der tatsächlich vorliegenden Strahlenexposition. Bei Arbeiten, die einem Arbeitsfeld nach Anlage XI StrlSchV zugeordnet werden, sind alle organisatorischen, baulichen, technischen oder sonstige Maßnahmen zu prüfen und gegebenenfalls zu ergreifen, um die Strahlenexposition für Mensch und Umwelt zu verringern. Bei Arbeiten bei denen eine Person eine effektive Dosis von mehr als 6 mSv im Kalenderjahr erreichen kann, sind nach StrlSchV zusätzliche Maßnahmen in Betracht zu ziehen.

Bei der Ausführung von Arbeiten nach Anlage XI StrlSchV muss der Verpflichtete eine Abschätzung der Strahlenexposition durchführen. Verpflichteter ist nach [3], wer in seiner eigenen Betriebstätte Arbeiten ausübt oder ausüben lässt oder wer in einer fremden Betriebstätte in eigener Verantwortung eine Arbeit ausübt oder diese von unter seiner Aufsicht stehenden Personen ausüben lässt. Ein Verpflichteter ist eine Person, die in eigener Verantwortung selbst Arbeiten durchführt oder ein Arbeitgeber, der Personen beschäftigt, die mit der Durchführung der Arbeiten beauftragt sind.

Bei Arbeiten nach Anlage XI StrlSchV ist unter Abschätzung die Bewertung der Radon-222-Exposition einer Einzelperson an ihrem Arbeitsplatz für ein Kalenderjahr zu verstehen. Dabei sollte die Abschätzung auf der Basis von Messungen erfolgen.

Zur Überwachung der Strahlenexposition bei Arbeiten nach Anlage XI Teil A können sowohl die Radon-222-Aktivitätskonzentration oder die potentielle Alphaenergie-Konzentration der kurzlebigen Radon-

222-Folgeprodukte[1] bestimmt werden. Die jeweiligen Expositionen berechnen sich aus dem Produkt der jeweiligen Konzentration und der Aufenthaltsdauer. Bei direkter Bestimmung der Strahlenexposition entfällt diese Berechnung.

In der Praxis ergeben sich zwei Möglichkeiten zur Bestimmung der Radon-222-Exposition. Mit passiven Messgeräten (Dosimeter) kann sowohl die personenbezogene Exposition (Dosimeter während der Arbeiten am Körper) als auch die mittlere Exposition an einem Arbeitsort (stationäres Messgerät) erfasst werden. Die Messdauer kann zwischen ca. einer Woche und drei Monaten variieren. Die Nachweisgrenze der Messverfahren liegt bei ca. 100 kBqh/m³, eine Zwischenauswertung und spätere Fortsetzung der Messung ist nicht möglich.

Eine weitere Bestimmung der Radon-222-Exposition ist mit Hilfe von Radonmonitoren möglich, diese Geräte messen den Momentanwert der Radon-222-Konzentration in der Luft und werden aufgrund ihrer technischen Eigenschaften hauptsächlich als stationäre Geräte eingesetzt. Zur Ermittlung der Exposition muss das Produkt aus Radon-222-Konzentration am Arbeitsplatz und der Aufenthaltszeit der Person gebildet werden.

In Abbildung 2 sind die gesetzlichen Vorgaben zum Thema Strahlenschutz bei Arbeiten schematisch dargestellt. Dieses Vorgehen ist auch für die Umsetzung des Strahlenschutzes bei Sanierungsarbeiten im Wasserwerk relevant, da sie in das Arbeitsfeld A nach Anlage XI eingeordnet werden können.

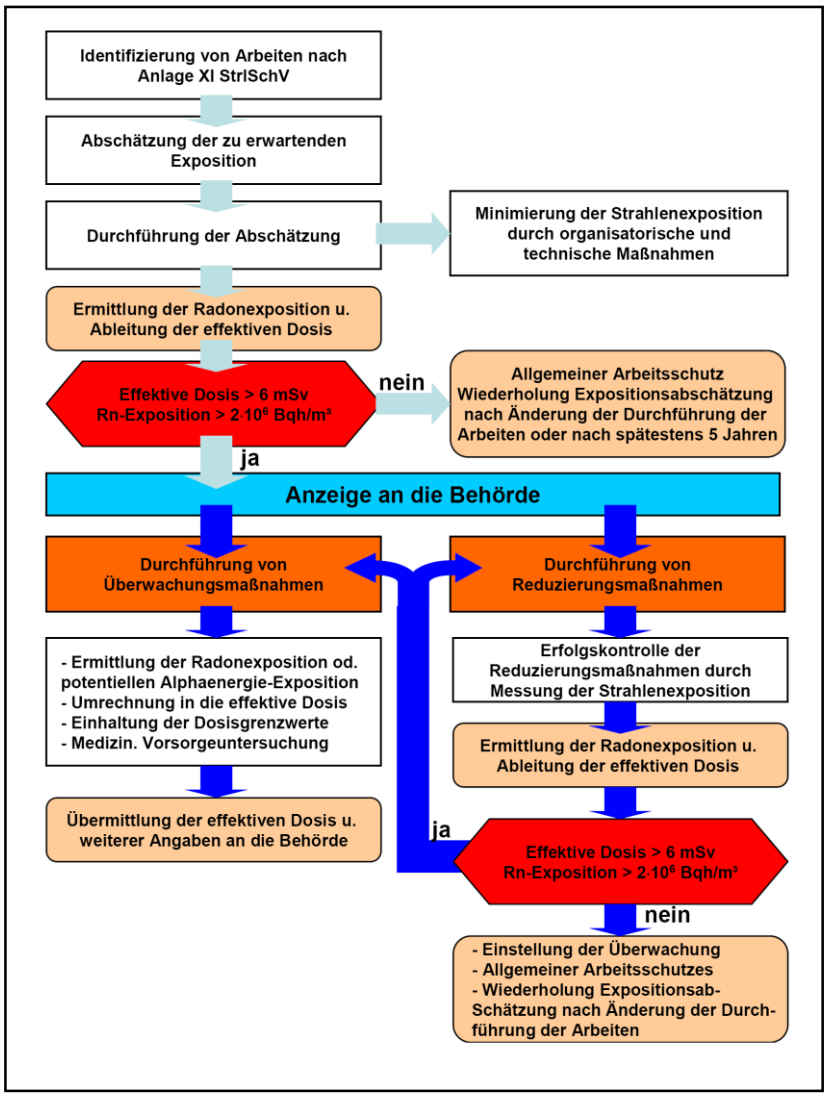


Abb. 2: *Bearbeitungsschema - Strahlenschutz bei Arbeiten*

[1] Kurzlebige Radon-222-Folgeprodukte: Polonium-218, Blei-214, Wismut-214 und Polonium-214

3 Ausgeführte Erfassungsmessungen

Entsprechend des Auftrages wurde die radiologische Untersuchung vorgenommen. Dazu wurden im vorhandenen Gebäude Erfassungsmessungen der Radon-222-Konzentration ausgeführt. Des Weiteren wurde das Radonpotential im Baugrund durch Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft bestimmt. Zudem wurden Messungen der Ortsdosisleistung im Gebäude und auf den Freiflächen ausgeführt. Zudem wurde der Gleichgewichtsfaktor bestimmt.

Bodenradonkonzentration

Es wurden auf den Freiflächen vor dem Objekt mehrere Bodenradonmessungen vorgenommen. Die Messungen der Bodenradonkonzentrationen erfolgten mit Messgeräten des Typs MARKUS 10 am 04.08.2010.

Die Bodenluft wurde mittels Schlauch aus den Sondier-Aufschlüssen abgesaugt. Die Entnahmetiefe lag bei 1,0 m unter Geländeunterkante. Die Zone der Absaugung lag in dem anstehenden, im Allgemeinen mittel permeablen Material.

Der Mittelwert über alle Messungen liegt bei 57 kBq/m³. Das Maximum wurde mit 182 kBq/m³ bestimmt.

Die gemessenen Werte der Bodenradonkonzentration im anstehenden Boden insbesondere das ermittelte Maximum zeigt das vorhandene Bodenradonpotential im Untergrund.

Das Maximum von 182 kBq/m³ liegt im Vergleich weit über dem durchschnittlichen Mittel der Bodenradonkonzentration im Untersuchungsgebiet.

Die Bodenradonmessungen zeigen, dass das durch den geologischen Untergrund bedingte Bodenradonpotential ursächlich für erhöhte Werte in der Raumluft sein kann, insbesondere dann wenn durch ungenügenden baulichen Radonschutz Migrationswege in das Gebäude gegeben sind.

Ortsdosisleistung

Zur Erfassung der Ortsdosisleistung wurden auf den Freiflächen und im Gebäude Messungen vorgenommen.

Die Messung wurde mit dem Messgerät SZINZTOMAT 6134 durchgeführt.

Freifläche:	**80 bis 140 nSv/h**
Gebäude:	**100 bis 160 nSv/h**

Die in den Feldmessungen auf den Freiflächen um das Objekt gewonnenen Werte der Ortsdosisleistung, die in 1 m Höhe über dem Erdboden ermittelt wurden, lagen im Mittelwert bei 100 nSv/h.

Die Gebäudemessungen lagen im Mittelwert bei 140 nSv/h.

Insgesamt liegen die Werte somit unter dem Empfehlungswert von 300 nSv/h [3] und auch unter 170 nSv/h.

Insgesamt lagen alle ermittelten ODL-Werte unter den relevanten Empfehlungswerten. Für die direkt oberflächennah anstehenden Bodenmassen und für die Bausubstanz des untersuchten Gebäudes liegen keine Anzeichen radioaktiver Kontaminierung vor.

Erfassung der Radonkonzentration in der Raumluft

Mit Monitormessungen in allen relevanten Räumen des Wasserwerkes wurde insbesondere die Charakteristik des Radonanstieges nach erfolgter Lüftung auf Freiluftverhältnisse bis zu sich einstellenden Maximum in den Räumen erfasst.

Zudem wurden mit Sniffing-Messungen Quellen des Radoneintritts in die einzelnen Räume untersucht.

Mit Dosimeter-Langzeitmessungen wurden die ermittelten Radonkonzentrationen in den Räumen des Wasserwerkes erfasst.

Die Erfassungsmessungen begannen 2010. Einige Ergebnisse sind nachfolgend dokumentiert.

Tab. 2: *Monitormessungen Ergebnisse*

Expositionsort	Messgerät	Beginn Expositions-zeitraum	Ende Expositions-zeitraum	Ø Radon-222-Konzentration [Bq/m³]
Büro 1. OG	AlphaGuard	22.07.2010 14:10 Uhr	23.07.2010 09:30 Uhr	715
Ultrafiltration	RTM 1688	22.07.2010 14:16 Uhr	23.07.2010 10:16 Uhr	6.495
Ultrafiltration	AlphaGuard	22.07.2010 14:10 Uhr	23.07.2010 09:30 Uhr	5.306
Keller	ATMOS	22.07.2010 13:50 Uhr	23.07.2010 09:10 Uhr	3.155
Ultrafiltration	ATMOS	04.08.2010 10:06 Uhr	05.08.2010 09:40 Uhr	6.013
Büro 1. OG	AlphaGuard	04.08.2010 10:20 Uhr	05.08.2010 09:40 Uhr	776
Neutralisationsbehälter	RnScout	04.08.2010 10:12 Uhr	05.08.2010 09:38 Uhr	7.712
Keller	RTM 1688	04.08.2010 10:15 Uhr	05.08.2010 09:35 Uhr	1.725
Keller Zwischenplattform	AlphaGuard	04.08.2010 14:10 Uhr	05.08.2010 09:32 Uhr	1.791
Neutralisationsbehälter	RnScout	27.09.2010 13:50:06 Uhr	28.09.2010 11:10 Uhr	7.499
Chloridanlage	RTM 1688	27.09.2010 13:50	28.09.2010 11:04	313
Keller Zwischenplattform	ATMOS	27.09.2010 13:56	28.09.2010 11:09	212
Keller	AlphaGuard	27.09.2010 14.08	28.09.2010 11:21	637
Ultrafiltration	AlphaGuard	27.09.2010 14:18	28.09.2010 11:25	4.608
Büro 1. OG	AlphaGuard	27.09.2010 13:00	28.09.2010 11:23	1.327

Dosimetermessungen

Für die Dosimetermessungen wurden Messgeräte der Firma ALTRAC verwendet. Mit den Dosimetermessungen der Radonkonzentration vom 23.07.2010 bis 05.08.2010 wurden folgende Ergebnisse erzielt (siehe auch Anlage 2).

Tab. 3: *Ergebnisse der Dosimetermessungen 23.07. bis 05.08.2010*

Dosimeter-Nummer	Expositionsort	Mittlere Radon-222-konzentration in Bq/m³
T72857	Büro OG	810
T72989	Filterraum OG (UF)	5.900
T73074	Keller Gang	2.300
T72660	Keller Grundablass	2.200
T72774	Chloridanlage EG	270
R19275	Freiluft	170
T72845	Treppenhaus	2.100

Der Mittelwert über die Dosimetermessungen lag bei 1.964 Bq/m³. Das Maximum wurde mit 5.900 Bq/m³ in der Ultrafiltration festgestellt.

Die Monitormessungen erfolgten jeweils nach erfolgter Lüftung auf Freiluftverhältnisse in den einzelnen Räumen und zeigen die unterschiedlichen Szenarien des Anstieges der Radonkonzentration an den insgesamt sieben Messorten.

Als Beispiel ist das Diagramm für den Messort 6 dargestellt.

Die gesamten Messungen einschließlich der ausgeführten Lüftungsversuche dienten zur Festlegung einer angepassten Strategie für technische Bewetterungsmaßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration in den Räumen des Gebäudes.

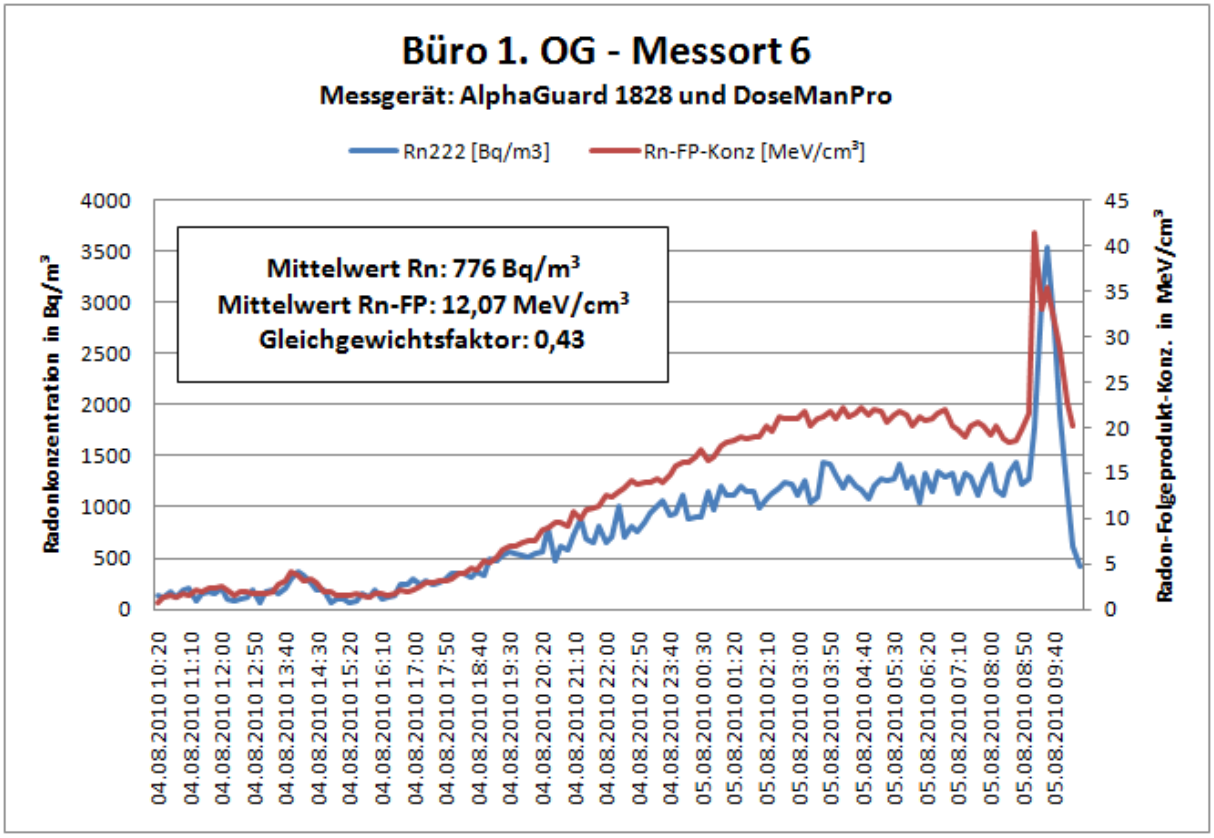


Abb. 3: *Darstellung der Radon-222-Konzentration (Bq/m³) und der Radonfolgeproduktkonzentration (MeV/cm³) am Messort 6*

Diese Messung im Büro 1. Obergeschoß diente durch die Bestimmung der Radonfolgeproduktkonzentration neben der Radonkonzentration zur Ermittlung des Gleichgewichtsfaktors. Er liegt mit rund 0,4 zwischen 0,2 und 0,7 im erwarteten Bereich.

Der Anstieg bei geschlossenen Fenstern im Büro entspricht den Messresultat vom 22./23.07.2010.

Der Anstieg am Ende der Messung ist auf die Öffnung der Tür zur Ultrafiltration und einen dadurch bedingten Radontransport erklärbar.

Als weiteres Beispiel sind die Verhältnisse in der Ultrafiltration (Rohwasserrinne) dargestellt. Die Senkung am Ende der Messkurve ist durch eine eingeleitete Querlüftung des Raumes bedingt.

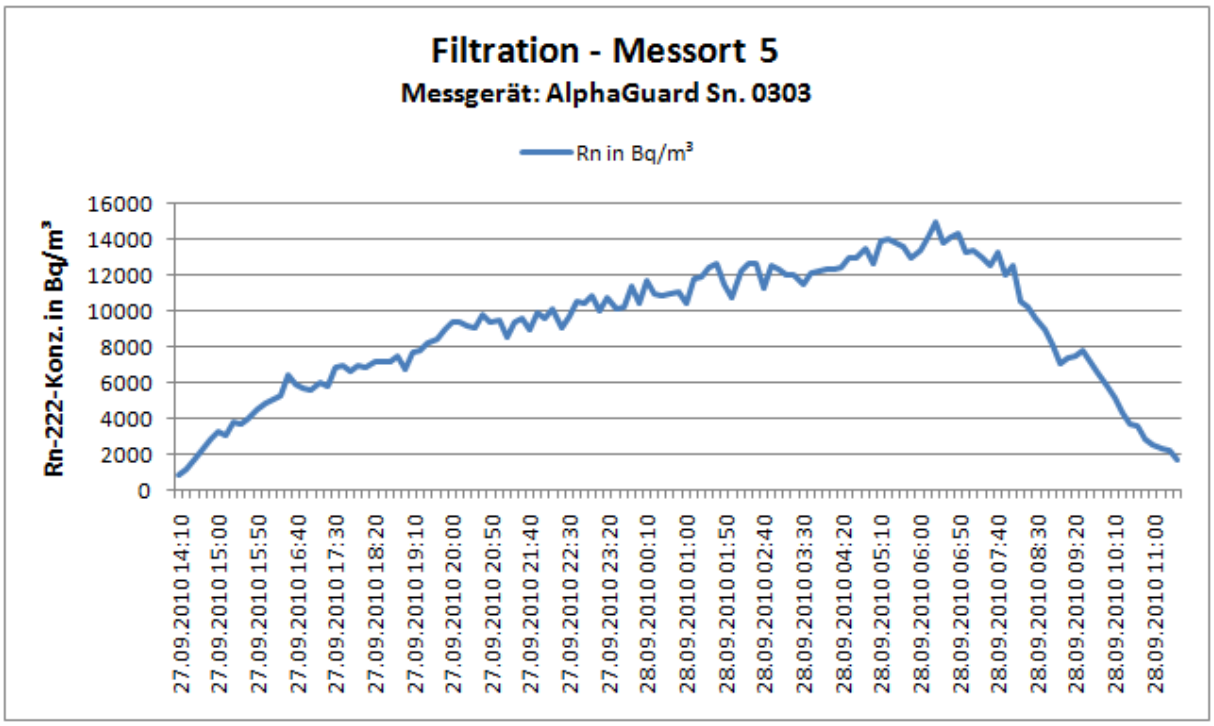


Abb. 4: *Darstellung der Radon-222-Konzentration am Messort 5*

4 Auswertungen der Radonmessungen einschließlich der Erkenntnisse aus den Belüftungsmaßnahmen für das Konzept für technische Maßnamen zur Senkung der Radonkonzentration

Für das Wasserwerk lassen sich zwei Quellen der Radonbelastung erkennen.

Radoneintritt in das Gebäude durch Migration der Bodenluft

Radonfreisetzung durch Wasserbehandlung

zu 1. Radoneintritt durch Migration der Bodenluft:

Mit dem vorhandenen Radonpotential des geologischen Untergrundes am Standort des Gebäudes, nachgewiesen durch die Bodenradonmessungen mit dem Maximum von 182.000 Bq/m³ und dem gebäudeseitig, nicht durchgängig vorhandenem Radonschutz, sind Migrationspfade der Bodenluft in das Gebäude gegeben.

Es ist dadurch eine Radonkonzentration im Gebäude (insbesondere im Keller) von 1.000 bis über 2.000 Bq/m³ zu erkennen.

Dieser Einfluss nimmt naturgemäß zu den oberen Stockwerken ab, wobei aber über das nicht zum Keller abschließbare Treppenhaus, im Zuge der Luftzirkulation, eine gewisse Grundbelastung mit sich bringt, wenn keine gerichtete Lüftung erfolgt.

Durch die Lüftungsversuche konnte nachgewiesen werden, dass sich der Einfluss der Bodenradonmigration minimieren lässt. Zudem ist diese Quelle gegenüber der Belastung durch das radonangereicherte Frischwasser von sekundärem Einfluss.

zu 2. Radonfreisetzung durch Wasserbehandlung:

Mit der Zuführung des Frischwassers mit einem hohen Radongehalt und der im Rahmen der Aufbereitung sich einstellenden Freisetzung des Radons aus dem Wasser, tritt in den relevanten Räumen des Gebäudes an allen Stellen, wo das freigesetzte Radon aus dem Frischwasser sich in die Raumluft ausbreiten kann, der primäre Effekt der Erhöhung der Radonkonzentration ein. Messtechnisch ist eine Radonkonzentration im Zulaufstolln im Bereich zwischen 10.000 bis 14.000 Bq/m³ nachweisbar. Dieses Wasser wird beim Eintritt in die Wasseraufbereitung (UF) weiter bewegt und dabei kommt es zur Freisetzung des Radons. Dies bewirkt in dem UF-Raum 1. OG eine Belastung der Raumluft von 6.000 bis über 12.000 Bq/m³. Durch die gebäudeseitig nicht vorhandene Abschottung dieses Raumes zu den Nebenräumen, insbesondere zum Büro kommt es zu einer, wenn auch geringen Belastung von bis zu 2.000 Bq/m³ im Hauptaufenthaltsraum der Beschäftigten, wenn keine intensive Belüftung erfolgt. Sinngemäß trifft dies auch für den Raum mit den Filtrationskammern im Erdgeschoss mit ca. 8.000 Bq/m³ zu. Der Chloridraum im Erdgeschoss ist bauseitig von dieser Beeinflussung abgeschottet. Hier treten nur Radonkonzentrationen von 300 Bq/m³ auf.

Die ausgeführten Bewetterungsversuche zeigen, dass sich die Radonbelastungen in den einzelnen Räumen senkend beeinflussen lassen. Folgende Möglichkeiten sind durch die Belüftungsversuche erprobt und somit anwendbar.

A) Zufuhr von Frischluft und definierter Luftwechsel in den hoch belasteten Räumen des Wasserwerkes.

Dazu sind mehrere Wege möglich

- Umbau der Fenster, das Querlüftungen insbesondere in der Ultrafiltration realisiert werden können.
- alternativ Schaffung von Bewetterungsöffnungen in der Giebelwand um Frischluft durch den natürlichen Wetterzug oder mit Hilfe von Lüftern zu realisieren.
- Lüftungsregime erarbeiten vom Keller (Öffnungen der Tür zum Schacht an der Giebelwand) bis zum Obergeschoss und Treppenhausfenster öffnen

Zu beachten ist, dass das Belüftungsregime nicht durchgehend notwendig ist, sondern auch stoßweise durch Querlüftungen ein maßgeblicher Effekt eintritt (siehe Belüftungsversuch).

Die Randbedingungen, wie Temperaturen unter 0°C im Winter, müssen dabei beachtet werden. Auch ist zu überprüfen, wie die Zeiten geschlossener Fenster (außerhalb der Arbeitszeiten) und der sich dabei einstellenden Konzentrationsanstieg durch die einzuleitenden Luftwechselzeiten zu kompensieren ist.

Die Maßnahmen zur Lüftung sollten durch Radonkonzentrationsmessungen begleitet werden, um die Effekte zu dokumentieren und die Belastungsmengen für die Beschäftigten ermitteln zu können.

B) Belüftung des abzudeckenden Rohwasserkanals, um die Radonzufuhr aus dieser Quelle in das Gebäude zu senken

5 Realisierte technische Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentration

Folgende technische Maßnahmen wurden schrittweise realisiert. Die Ergebnisse wurden durch Lang- und Kurzzeitmessungen analysiert.

Tab. 4: *Realisierte technische Maßnahmen*

Art der Veränderung	Foto
Abdichten der Rohwasserrinne	
Absaugen der Rohwasserrinne mittels Lüfter	
Belüftung des Treppenhauses mittels Lüfter	
Einbau Lüfter im Niederspannungsraum	

6 Ergebnisse der bisherigen Messungen und Empfehlungen

Mit den nachfolgenden Beispielen der Messungen der Radonkonzentration an den relevanten Betriebspunkten des Wasserwerkes wird die Wirkung der technischen Maßnahmen einschätzbar und ein Überblick über den erreichten Stand gegeben.

Tab. 5: *Dosimetermessungen vom 19.10.2012 bis 21.11.2012*

Messgerätenummer	Expositionszeit		Rn-Konz.	Messort
	Beginn	Ende		
	Datum	Datum	Bq/m³	
T09024	19.1012	21.11.12	**580**	Zwischenraum (Niederspannungsraum) OG
T09038	19.1012	21.11.12	**670**	Umkleide OG
T09037	19.1012	21.11.12	**350**	Büro OG
T09029	19.1012	21.11.12	**140**	Treppenhaus
T09073	19.1012	21.11.12	**240**	Keller
T09028	19.1012	21.11.12	**990**	Filtration EG
T09072	19.1012	21.11.12	**280**	Ultrafiltration OG

Beispielhaft wird eine Kontrollmessung mittels Monitoren vom 21.11.2012 aufgeführt:

Tab. 6: *Ergebnisse der Monitormessungen am 21.11.2012*

Expositionsort	Expositionszeit	mittlere Radon-222-Konzentration	Messgerät
Treppenhaus	10:27 – 13:09	**54 Bq/m³**	AG 1998
Filterraum EG	10:25 – 13:07	**706 Bq/m³**	RS 463
Keller	10:26 – 13:08	**272 Bq/m³**	RS 462
Zwischenraum OG	10:33 – 13:10	**485 Bq/m³**	AG 1049
Ultrafiltration OG	10:35 – 13:10	**495 Bq/m³**	RS 331
Büro	10:38 – 13:13	**229 Bq/m³**	AG 1828
OG Umkleide	11:35 – 14:40	**359 Bq/m³**	DM 138

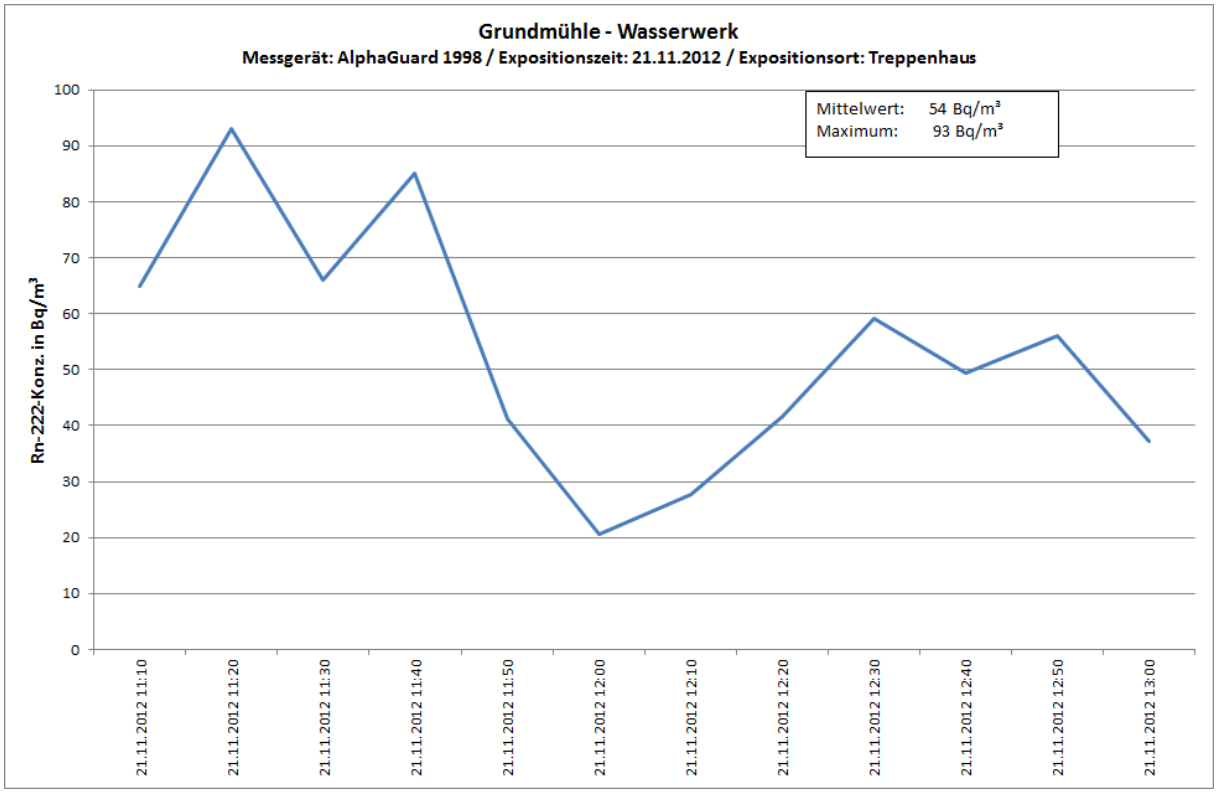


Abb. 5: *Messverlauf der Radonkonzentration im Treppenhaus bei laufendem Lüfter*

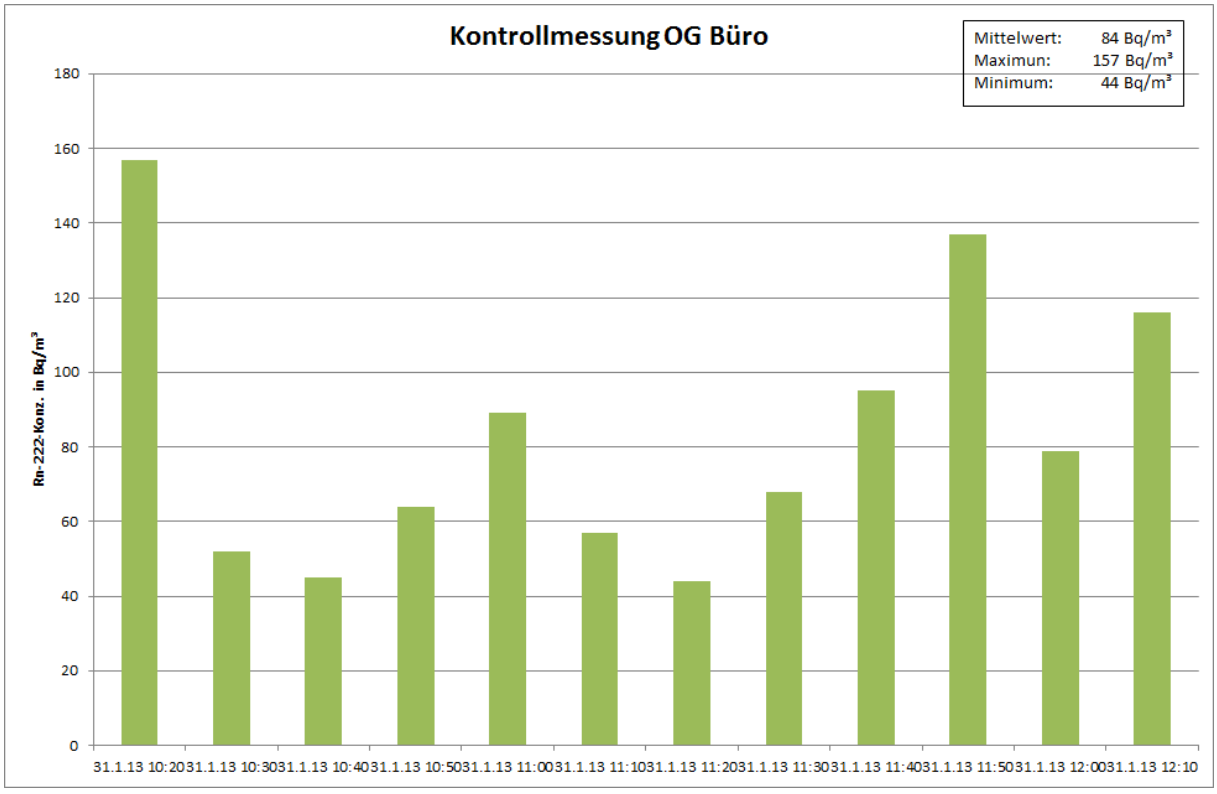


Abb. 6: *Kontrollmessung Büro 1. OG bei laufendem Lüfter*

Die Messungen zeigen die erfolgreichen Ergebnisse zur Senkung der Radonbelastung.

Ergebnisse der Personendosimetrie

Die Überprüfung der Belastung für die Beschäftigten wurde auch im Beschäftigungszeitraum durch Personendosimetrie dokumentiert.

Die dabei erzielten Ergebnisse belegen die Wirkung der erfolgten technischen Maßnahmen. Die vorliegenden Daten bis Ende 2012 belegen dies.

Tab. 7: *Ergebnisse der Personendosimetrie (hochgerechnete Jahresexposition Ej [MBqh/m³])*[2]

Messzeitraum	Beschäftigter 1	Beschäftigter 2
1. Quartal 2012	1,50	1,81
2. Quartal 2012	3,94	1,77
3. Quartal 2012	0,75	1,64
4. Quartal 2012	< 0,30	0,90

7 Fazit und Hinweise

Für die erreichte Situation im Wasserwerk lässt sich nach den bis Ende 2012 ausgeführten technischen Maßnahmen der insbesondere absaugenden Belüftung, dass sich die Gegebenheiten wesentlich verbessert werden konnten und damit den staatlichen Vorgaben entsprochen wird. Veränderungen an der Wasseraufbereitung, so zum Beispiel die Verrohrung des Frischwasserzuflusses können zu Einflüssen auf die Radonkonzentrationsverhältnisse an den einzelnen Betriebs- und Aufenthaltsorten der Beschäftigten führen, die entsprechend den gemessenen Konzentrationen durch die vorhandenen Lüfteranlagen optimiert werden können (Leistungssteigerung der Lüfter, Dauer der Belüftungszeiten).

Mit den interaktive ausgeführten Sanierungsmaßnahmen konnte insgesamt für die Beschäftigten eine erhebliche Senkung der Belastungssituation erreicht werden. Dabei hat sich die schrittweise technische Realisierung der Belüftungsanlagen und die jeweiligen Prüfungen durch Messungen als zielweisend erwiesen.

Für die erreichte Situation im Wasserwerk lässt sich nach den ausgeführten technischen Maßnahmen konstatieren, dass für die Arbeitsplätze der Beschäftigten insgesamt keine weiteren Maßnahmen, unter Beachtung des durchschnittlichen Aufenthalts der Beschäftigten an den Arbeitsorten, notwendig sind, soweit keine technischen Änderungen der Wasseraufbereitung erfolgen.

Die ausgeführten technischen Maßnahmen zeigen die angestrebte Verbesserung der Senkung der Radonkonzentration. Insbesondere die Belüftung der einzelnen Arbeitsorte in der Arbeitszeit wirken sich positiv aus.

Mit der Weiterführung der Dosimetermessungen kann zudem eine belastbare Langzeitmessung der einzelnen Arbeitsorte vorgelegt werden. Auch muss beachtet werden, dass in die Dosimetermessungen auch die Zeiten außerhalb der Arbeitszeit, in denen die Absuglüftungen nicht arbeiten eingehen, die dadurch im Allgemeinen höher als die Belastung während der Dienstzeit sind. Mit den Monitormessungen wird dies belegt

[2] Quelle: Ergebnisse der Radon-Personalmessung vom Helmholtz Zentrum München

8 Literaturverzeichnis

[1] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierte Strahlen (Strahlenschutzverordnung) Gesetzblatt vom 26. Juli 2001

[2] Strahlenschutzkommission: Leitfaden zur Messung von Radon, Thoron und ihren Zerfallsprodukten, Bd. 47, Bonn 2002

[3] Bundesamt für Strahlenschutz: Überwachung für die Umsetzung der Regelungen nach Teil 3, Kapitel 1 und 2 StrlSchV.- Salzgitter, März 2006

RADON IN BAYERN - RADONSANIERUNG IN EINEM ALTEN BAUERNHAUS IN ASCHAU IM CHIEMGAU

RADON IN BAVARIA - RADON RENOVATION IN AN OLD FARMHOUSE IN ASCHAU IM CHIEMGAU

Heinrich Rösl

Präsident Eigenheimerverband Bayern e. V.

Zusammenfassung

Die Radon-Sanierung eines sehr alten Bauernhauses in Oberbayern auf mehrfache Weise war durchaus ein „Pilotprojekt“ in Bayern. Ein nicht unterkellertes Haus wird nachträglich von unten mit Beton, Folie und Absaugung fast radonfrei. Die Erfahrung mit einem Radonbrunnen war so erfolgreich, dass inzwischen in Aschau ein weiterer Radonbrunnen gebaut wurde. Das Landesamt für Umwelt in Bayern baut zusammen mit dem Bauzentrum München inzwischen ein Radon-Netzwerk aus und bietet die Ausbildung zur Radon-Fachperson an. Der erste Kurs ist bereits erfolgreich abgeschlossen.

Summary

The radon renovation of a very old farmhouse in Upper Bavaria was absolutely a "pilot project" in Bavaria in multiple manner. A building without basement in addition of concrete, foil and extraction removal by suction underneath becomes almost free of radon. The experience with a radon well was so successful, that in the meantime in Aschau another radon well was built. The regional authorities for environment in Bavaria develop together with the construction centre Munich, in the meantime, a radon network and offer the education as radon-professional person. The first course is already concluded successfully.

1 Projektvorstellung

Der Eigenheimerverband folgte vor vielen Jahren dem bayerischen Umweltministerium in der Einschätzung, man braucht kein Gesetz zum Thema Radon. Die umfassende Information der Bevölkerung genügt!

Durch das Auftreten von Radon im Wohnhaus des Präsidenten des Eigenheimerverbandes e.V. wandelte sich diese Einstellung: Radon bedarf gesetzlicher Grundlagen, um die Menschen vor den Auswirkungen zu schützen.

Durch eine Messung mit mehreren Exposimetern stellte man fest, dass im alten Bauernhaus, das nur einen vertieften „Kellerraum“ hat, im Keller 2000-3000 bq und im Wohnzimmer im Erdgeschoss über 4000 bq gemessen wurden. Spätere Langzeit-Verlaufsmessungen bestätigten dieses Ergebnis.

Abb. 1: *Altes Bauernhause als Sanierungsobjekt*

Mit Hilfe des Landesamtes für Umwelt in Augsburg (LfU) wurde ein Sanierungsplan erarbeitet. Dabei betrat man auch im Landesamt Neuland, da wegen fehlender gesetzlicher Grundlagen keine Gelder für solche Dinge zur Verfügung standen. Trotzdem war die Beratung und Betreuung hervorragend, was auch an einzelnen sehr engagierten Mitarbeiter/innen lag.

2 Sanierung

1. Wohnzimmersanierung durch Abdichtung des Bodens und Luftdrainage
2. Kellersanierung
3. Radonbrunnen
4. kontrollierte Be-und Entlüftung

2.1 Wohnzimmersanierung durch Abdichtung des Bodens und Luftdrainage

Im Wohnzimmer gab es einen Holzboden, auf Balken aufgenagelt in Schlacke liegend. Darunter kam der gewachsene Boden.

Abb. 2: *Aushub auf ca. 50 cm Tiefe*

Abb. 3: *Einbringen von grobkörnigem Beton*

Abb. 4: *Verlegung einer Luftdrainage mit Abluft nach draußen durch einen Ventilator unterstützt*

Abb. 5: *Auffüllen von mittelkörnigem Kies ohne Sandpartikel (Rollkies)*

Abb. 6: *Folienaufbringung in zwei Laufrichtungen, zur Wand hin eingeputzt, verklebt und verschweißt*

Abb. 7: *Beton-Estrich*

Abb. 8: *Holzbodenverlegung*

Werte gingen auf durchschnittlich 350- 400 bq im Erdgeschoss zurück

Die einzelnen Stockwerke sind offen, d.h. alle Türen der Zimmer sind immer offen. Die Werte waren im 1. Stock um die 100 bq und im 2. Stock nur noch 40-60 bq.

2.2 Kellersanierung

Im Keller gab es immer schon einen Luftaustausch durch ein Rohr nach außen – weshalb dort die Radonkonzentration geringer war.

Abb. 9: *Kellerboden*

- Boden aus in Sand gelegte Ziegel, Untergrund der gewachsene Boden
- Auf diese Ziegel Grobbeton, dann Radonfolie wie im Wohnzimmer
- Betonestrich
- Die Seitenwände wurden nicht abgedichtet

Werte gingen nur auf 700-800 bq zurück

2.3 Radonbrunnen

Durch Literaturstudium, aber auch durch gezielte Hinweise von Fachleuten wurde ein Radonbrunnen gebaut.

- Eine alte aufgelassene Klärgrube wurde nach unten geöffnet und bis unter Hausfundament abgegraben
- Einsetzen eines Rohres mit Löchern (unten ca 1 m) Auffüllen mit sandfreien Rollkies
- Auf das Rohr wurde in ca. 1,50m Höhe ein Spezialventilator gesetzt, der die Luft herauszieht

Abb. 10: *Radonbrunnen*

Werte gingen im Haus auf unter 100 bq zurück, im Keller auf 300-400

Werte am Ausgang des Radonbrunnens um die 4000 bq

2.4 Kontrollierte Be-und Entlüftung

Auf eine kontrollierte Be-und Entlüftung wurde aufgrund der baulichen Gegebenheiten und der Problematik Unterdruck-Überdruck verzichtet.

Fazit: Unter Umständen hätte der Radonbrunnen alleine das Radonproblem gelöst!

BERÜCKSICHTIGUNG DER RADONTHEMATIK BEI DER NEUGESTALTUNG DES BEIBLATTES KELLERLÜFTUNG ZUR DIN 1946-6

CONSIDERATION OF RADON IN THE NEW STANDARD SUPPLEMENT FOR BASEMENT VENTILATION

Thomas Hartmann

Florian Eibisch

ITG Institut für technische Gebäudeausrüstung Dresden Forschung und Anwendung GmbH, Dresden

Gefördert durch den Verein zur Förderung des NHRS (VF NHRS) e.V.

Zusammenfassung

Die Lüftung von Kellerräumen ist derzeit normativ nicht erfasst, häufig werden in der Praxis die speziellen Anforderungen an die Lüftung solcher Räume nicht oder nur teilweise berücksichtigt. Mit dem neuen Beiblatt werden diese Anforderungen beschrieben und Lösungswege aufgezeigt. Aufgrund der Tatsache, dass Kellerräume erdreichberührte Flächen besitzen, kann die Thematik Radon bei einer vollständigen Beschreibung nicht außer Acht gelassen werden. Neben einer Auflistung der wesentlichen baulichen Radonschutzmaßnahmen sind lüftungstechnische Maßnahmen und deren Auslegung beschrieben.

Summary

The ventilation of basements is currently normative not covered in Germany, the special requirements for the ventilation of such spaces are not used in practice or only partially taken into account. With the new standard supplement, described these requirements and solution ways. Due to the fact that basements have contact to ground surfaces, radon cannot be left out in the description. In addition to a collection of essential structural radon control procedures, ventilating measures and their design are described.

1 Problemstellung

Häufig herrscht bei dem Anwender große Unsicherheit, wie Kellerräume richtig zu lüften sind. Aufgrund der Speicherfähigkeit des Erdreichs folgen die Erdreichtemperaturen zeitlich verzögert und gedämpft der Außenlufttemperatur (siehe Abb. 1). Da die meisten Kellerwände erdreichberührt sind, stellen sich zwangsläufig andere Anforderungen an die Lüftung von Kellerräumen als bei normalen Wohnräumen mit außenluftberührten Außenwänden. Hinzu kommt, dass in den meisten Fällen auch die Nutzung und somit die Feuchtefreisetzung in Kellerräumen nicht vergleichbar mit Wohnräumen ist. Diese Tatsachen führen zu anderen Randbedingungen bei der Entstehung von schimmelpilzkritischen Zuständen oder ggf. Tauwasserbildung.

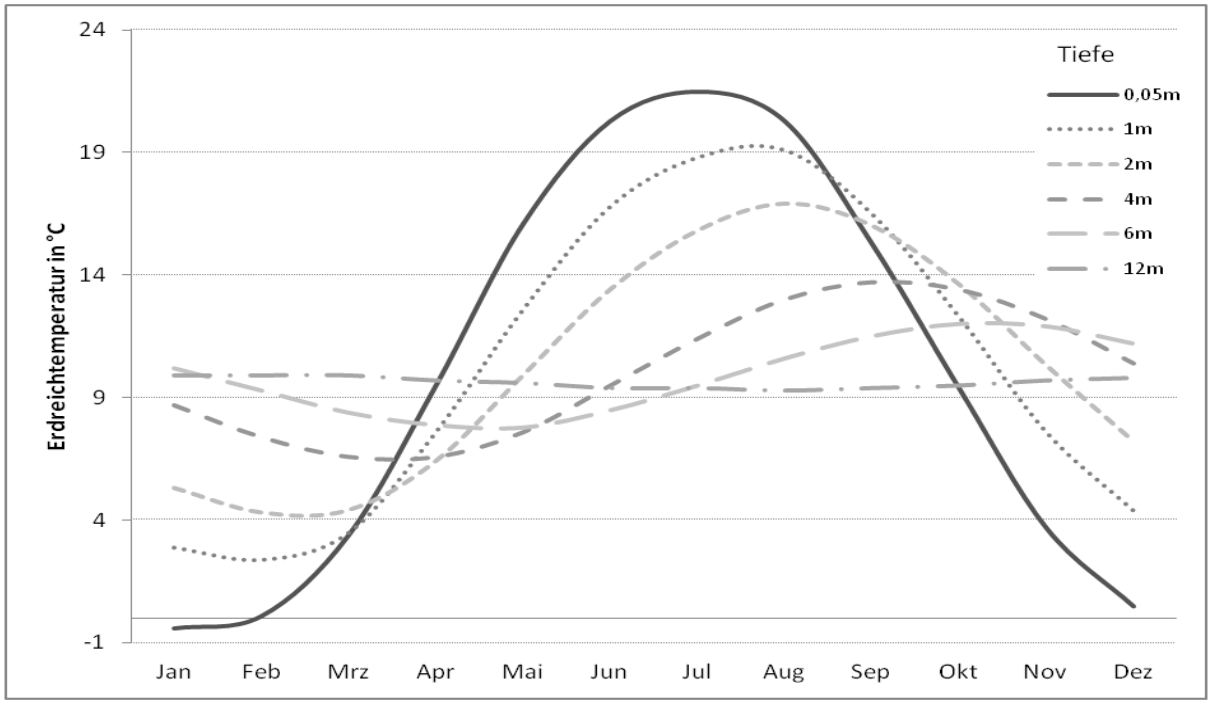


Abb. 1: Erdreichtemperaturen in verschiedenen Tiefen nach [1]

Neben der Feuchteproblematik stellt sich in Kellerräumen mitunter noch ein weiteres Problem ein: Radon. In der Regel sind konvektive Bodenluftvolumenströme ins Gebäude für erhöhte Radon-Innenraumkonzentrationen verantwortlich. Der ausgeprägte Kontakt zum Erdreich führt in diesen Räumen (bei vorhandenem geogenen Radonpotential) meist zu den höchsten Radonkonzentrationen im Gebäude. Soll die Radonkonzentration in Wohnräumen gesenkt werden, kann dies einerseits durch Lösungen in den betroffenen Räumen umgesetzt werden, andererseits kann das Problem aber auch direkt an der Quelle, also meist im Keller, bekämpft werden.

Neben reinen baulichen Maßnahmen sind lüftungstechnische Maßnahmen ein sehr probates und langfristig wirksames Mittel zur Senkung erhöhter Radon-Innenraumkonzentrationen.

Ziel des neu zu erstellenden Beiblattes Kellerlüftung zur DIN 1946-6 „Lüftung von Wohnungen“ ist die Darstellung umfassender Lösungsansätze für diese beiden Probleme, auch bei gemeinsamem Auftreten.

2 Lüftungslösungen bei Radonproblemen

2.1 Luftwechselerhöhung

Eine sehr häufig angewendete Möglichkeit zur Abfuhr von Schadstoffen aus der Raumluft ist die Luftwechselerhöhung. Die belastete Raumluft wird durch den erhöhten Luftaustausch verdünnt, im Ergebnis sinkt die Schadstoffkonzentration. Bei bekannter Radon-Innenraumkonzentration und bekanntem Luftwechsel in einem Raum kann indirekt auf die Quellstärke, also die Menge des eintretenden Radons zurückgeschlossen werden. Mit Kenntnis dieser Größe lässt sich dann ein neuer Luftwechsel berechnen, der zur Einstellung einer bestimmten Zielkonzentration notwendig ist. Für Radon lässt sich dieser Zusammenhang näherungsweise wie folgt beschreiben (Gl. 1). Eine mögliche graphische Darstellung des Effektes der Luftwechselerhöhung in Abhängigkeit von der Quellstärke zeigt Abb. 2.

$$n_{neu} = \frac{\lambda * (C_{alt} - C_{neu}) + n_{alt} * (C_{alt} - C_a)}{C_{neu} - C_a} \quad (1)$$

mit

n_{neu}	neuer Luftwechsel zur Einstellung der Konzentration C_{neu}, in 1/h
C_{neu}	Zielwert der Radonkonzentration, in Bq/m³
C_{alt}	gemessene Innenraumkonzentration, in Bq/m³
C_a	Radon-Außenluftkonzentration, in Bq/m³ (sind keine Messwerte vorhanden, kann C_a = 30 Bq/m³ angenommen werden)
n_{alt}	gemessener oder aus der Gebäudedichtheit abgeschätzter Luftwechsel, in 1/h
λ	Zerfallskonstante von ^{222}Rn, etwa 0,00756 * 1/h

Anmerkung:

Bei üblichen Luftwechseln n kann der Term $\lambda*(C_{alt} - C_{neu})$ aufgrund des geringen Einflusses vernachlässigt werden.

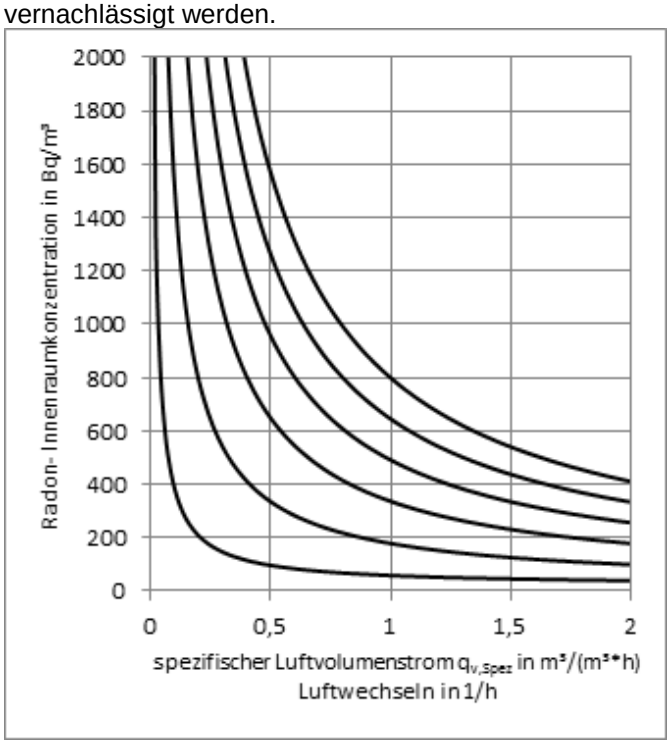


Abb. 2: *Radon-Innenraumkonzentration in Abhängigkeit des Luftwechsels bei verschiedenen Quellstärken*

Diese Methode kann bei nicht zu hohen Ausgangswerten der Radonkonzentration angewendet werden, zu beachteten ist das Verhältnis der Ausgangskonzentration zum bestehenden Luftwechsel. Unabhängig vom bestehenden Luftwechsel finden sich die Grenzen bei Radonkonzentrationen von etwa 1000 Bq/m³, in den meisten Fällen liegt dieser Wert allerdings deutlich niedriger.

Die Realisierung eines erhöhten Luftwechsels kann einerseits mittels freier Lüftung, angetrieben durch natürliche Druckdifferenzen, oder aber durch ventilatorgestützte Systeme erreicht werden.

2.2 Überdruckerzeugung

Der Haupteintrittsmechanismus von Radon in Gebäude ist die Konvektion durch Leckagen. Dieser wird durch Druckdifferenzen im Gebäude bzw. zwischen Gebäude und Erdreich angetrieben. Soll der Eintritt von Radon ins Gebäude gesenkt werden, kann die Erzeugung eines leichten Überdrucks von wenigen Pascal eine sehr wirkungsvolle Methode sein. Neben der reinen Senkung der Radoneintrittsrate findet auch hier ein Verdünnungseffekt durch erhöhten Luftaustausch statt.

Die Erzeugung eines Überdrucks kann durch einen Überschuss an Zuluft erfolgen. Hierfür eignen sich sowohl reine Zuluftsysteme, wie auch Zu-/Abluftsysteme, die in einem Zuluftüberschuss betrieben werden. Präferiert werden zentrale Anlagen und ein Überdruck von 1 bis maximal 5 Pascal, auch die dezentrale Installation in einzelnen Räumen ist möglich.

Die Dimensionierung des notwendigen Zuluftüberschusses kann beispielsweise anhand der Dichtheit der Gebäudehülle (n_{50}–Wert) geschehen.

2.3 Unterdruckerzeugung

Entgegen des in 2.2 beschriebenen Vorgehens mit der Erzeugung eines leichten Überdrucks im Gebäude kann auch die Erzeugung eines Unterdrucks zur Senkung der Radonkonzentration in Gebäuden führen. Sehr weit verbreitet und oft angewendet sind sogenannte Radonbrunnen und Radondrainagen, welche unter dem Gebäude oder unter einzelnen Räumen durch das Absaugen von Bodenluft einen Unterdruck erzeugen und somit den Eintritt radonhaltiger Bodenluft in das Gebäude verhindern.

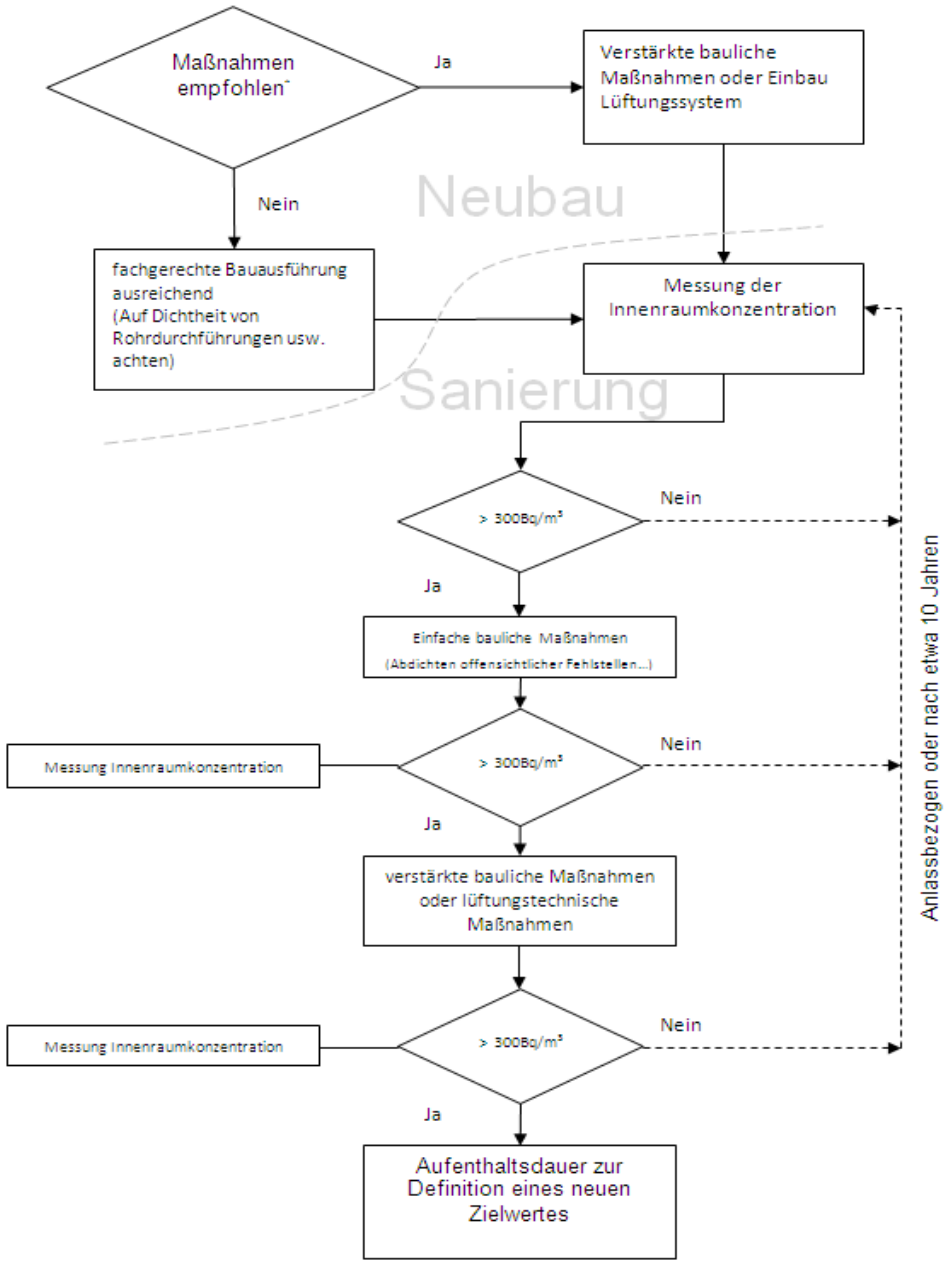
Aber auch in Gebäuden kann die Erzeugung eines Unterdrucks zur Senkung der Radonkonzentration führen. Wichtig für die Anwendung dieser Methode ist die lüftungstechnische Trennung der im Unterdruck befindlichen Räume vom Rest des Gebäudes. Durch den gezielten Unterdruck in einzelnen Räumen kann die Ausbreitung radonhaltiger Luft aus diesen in den Rest des Gebäudes verhindert werden. In den meisten Fällen hat diese Methode jedoch ein Ansteigen der Radonkonzentration in den im Unterdruck befindlichen Räumen zur Folge, weshalb diese nicht als Wohnräume genutzt werden können. Ungenutzte Kellerräume eignen sich für diese Lösung jedoch. Die Wirksamkeit solcher Systeme ist in der Regel sehr hoch. Für die Umsetzung kommen vor allem dezentrale Abluftanlagen in Frage.

3 Radon-Aspekte im Beiblatt „Kellerlüftung“ zur DIN 1946-6

In der DIN 1946-6 „Lüftung von Wohnungen“ (Ausgabe 2009) [2] wird auf Basis eines Lüftungskonzeptes die Auswahl, Ausführung und Instandhaltung von lüftungstechnischen Maßnahmen für Wohnungen und Nutzungseinheiten mit wohnähnlicher Nutzung beschrieben. Mit dem Lüftungskonzept wird dabei festgelegt, ob in einer Wohnung bei bestimmten lüftungsrelevanten

Maßnahmen (z.B. Austausch der Fenster) zur Vermeidung von schimmelpilzkritischen Zuständen lüftungstechnische Maßnahmen erforderlich sind. Die Lüftung von Kellerräumen ist nicht explizit in dieser Norm behandelt.

Diese Lücke soll mit einem neuen Beiblatt „Kellerlüftung“ geschlossen werden. Neben der detaillierten Beschreibung lüftungstechnischer Lösungsmöglichkeiten und deren Auslegung werden in dem Beiblatt auch die wesentlichen verfügbaren baulichen Maßnahmen für den Radonschutz dargestellt. Eine kurze Beschreibung der gängigsten Messmethoden von Radon-Innenraumkonzentrationen ist enthalten.



* Zum Beispiel durch Risikoabschätzungen aus Radonkarten oder von ausgebildeten Fachpersonen

***Abb. 3**: möglicher Ablaufplan*

Die Grundstruktur basiert auf der Einteilung verschiedener Raumklassen in Abhängigkeit von der Nutzung eines Raumes. Hierfür wird die geschätzte Aufenthaltsdauer in einem bestimmten Raumtyp als Entscheidungskriterium verwendet. Weiterhin spielt der Gebäudetyp – Neubau oder Sanierung – eine Rolle bei der Auswahl der Lösungsansätze.

Auch wenn lüftungstechnische Maßnahmen in den meisten Fällen sehr gut zur Senkung hoher Radonkonzentrationen geeignet sind, werden diese keinesfalls als „Allheilmittel“ angesehen. Je nach dem vorliegenden Einzelfall muss eine Abschätzung erfolgen, welche Maßnahme am wahrscheinlichsten zielführend ist. So ist beispielsweise die Abdichtung offensichtlicher Radoneintrittspfade als erste Sofortmaßnahme meist dem Einsatz einer Anlage zur dezentralen Kellerentlüftung voranzustellen. Erst wenn diese Sofortmaßnahmen keine Wirkung zeigen, sollten umfangreichere Schritte eingeleitet werden.

Essentiell ist auch die Erfolgskontrolle nach der Realisierung einer Maßnahme, bei Radon kann hierfür nur eine Messung der Innenraumkonzentration durchgeführt werden. Ebenso wird zu Kontrollmessungen in regelmäßigen Abständen (z. B. nach zehn Jahren) geraten, da sich die Bausubstanz verändern kann und ggf. neue Eintrittspfade entstehen oder durchgeführte Radon-Sanierungsmaßnahmen nicht mehr wirksam sind. (Abb. 3)

Zwar beschäftigt sich das Beiblatt nur mit der Lüftung von Kellerräumen, die vorgestellten Methoden zur Senkung hoher Radonkonzentrationen sind aber auch für normale Wohnräume (z.B. auf der Bodenplatte in nicht unterkellerten Gebäuden) anwendbar.

4 Ausblick

Die vollständige Beschreibung eines interdisziplinären Themas wie Radon lässt sich nicht mit Hilfe einer Norm zum Thema Lüftung erreichen. Das geplante Beiblatt Kellerlüftung fokussiert auf den Zusammenhang zwischen Radonsituation und Lüftungslösungen und stellt damit einen ersten Schritt zur normativen Beschreibung der Radonthematik dar. Perspektivisch ist die Verankerung der Thematik in weiteren tangierenden (z.B. bauseitigen) Normen als sinnvoll zu erachten. Auch die Erstellung einer eigenständigen „Radon-Norm“ ist in der Diskussion.

Mit der voraussichtlich Ende 2013/Anfang 2014 in Kraft tretenden „BSS-Richtlinie“ (Proposal for a council directive laying down **b**asic **s**afety **s**tandards for protection against the dangers arising form exposure to ionising radiation.) wird das Thema Radon stärker in den öffentlichen Fokus rücken. Dies könnte Anlass für weitere Normen und Gesetze zu Thema Radon werden.

5 Literaturverzeichnis

[1] DIN 4710, Statistiken meteorologischer Daten zur Berechnung des Energiebedarfs für heiz- und raumlufttechnische Anlagen in Deutschland, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2003

[2] DIN 1946-6, Raumlufttechnik - Lüftung von Wohnungen Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, Berlin, Beuth Verlag GmbH, 2009

EINSATZ DES MODULO-SYSTEMS UNTER BODENPLATTEN ALS TEIL VON RADONSCHUTZMASSNAHMEN

USE OF MODULO-SYSTEMS UNDER GROUND SLAB AS PART OF A RADON PROTECTION ACTION

Leopoldo Mazzoleni

Geoplast S.p.A., Grantorto, Italien

Zusammenfassung

Die Begrenzung des Anstiegs der Radonkonzentration in der Raumluft infolge hoher Radonkonzentration im Boden sowie der Bau radondichter Gebäudehüllen sind keine leichten Aufgaben. Durch Baufehler sowie den Einsatz ungeeigneter Materialien erhöht sich die Gefahr erhöhter Radonkonzentrationen in der Raumluft.

Die Bedeutung von Hohlräumen unter einem Gebäude war bereits in der Zeit der römischen Hochkultur bekannt. So wurde durch die Anlage belüfteter Kriechkeller eine Trennung der Bodenplatte vom Erdboden erreicht und somit der Eintrag der Bodenfeuchte in das Gebäude verhindert. In den letzten Jahren wurde erkannt, dass diese technische Lösung zugleich das Eindringen der radonhaltigen Bodenluft deutlich reduzieren kann, wenn die Bodenluft aus den Hohlräumen direkt an die Außenluft abgeführt wird.

Im heutigen Bauen sind die Steinkonstruktionen für die Hohlraumbildung zuerst durch Betonkonstruktionen und in einer weiteren Entwicklungsstufe durch Kunststoff-Formelemente ersetzt worden: dem Modulo-System

Experimentelle Untersuchungen zeigen, dass der Bau eines belüfteten Kriechkeller mit dem Modulo-System das Eindringen von Radon in ein Gebäude um 95% reduzieren kann.

Summary

The limitation of the increase of the radon concentration in the ambient air as a result of high radon concentration in the ground as well as the construction of radon-thick building covers are no easy duties. By construction mistakes as well as the application of inexpedient materials the danger of raised radon concentrations increases in the ambient air.

The meaning of hollow cavities under a building was already known in the time of the Roman advanced civilisation. Thus a separation of the base plate of the surface of the earth was reached by the arrangement of ventilated crawl space and therefore the entry of the ground dampness was prevented in the building. During the last years it was recognised that this technical solution can clearly reduce the penetration of the radon-containing ground air at the same time if the ground air from the hollow cavities is led away directly to the outside air.

In the today's construction the stone constructions have been substituted for the hollow cavity education first with concrete constructions and in another stage of development by plastic-form elements: to the Modulo system

Experimental investigations show that the construction of a ventilated crawl space with the Modulo system can reduce the penetration of radon in a building about 95%.

1 Modulo-System und die belüftete Fundamente

Durch den Einbau des verlorenen Schalungs-System Modulo ergeben sich in Stahlbeton-Fundamenten bzw. Bodenplatten zusammenhängende belüftete Hohlräume. Statisch-konstruktiv kann die Lösung als *gerippte Bodenplatte* bezeichnet werden.

Der freie Raum, der unter der Bodenplatte entsteht, kann zum Beispiel für die Verlegung von Rohrleitungen verwendet werden. Weitere Nutzungen sind für jedes einzelne Projekt zu untersuchen.

Das Modulo System ermöglicht es, belüftete Hohlräume in einem einzelnen Betoniervorgang (monolithisch gegossen) oder in mehreren Betonierschritten zu erstellen:

Monolithische Hohlräume werden durch die heute übliche Gießtechnik für Platten und Streifenfundamente hergestellt. Diese Lösung ermöglicht es, einen Teil der Lasten des Bauwerks auf die Bodenplatte umzuleiten und dadurch die Spannungen in den Fundamentbalken zu reduzieren.

Das Modulo System kann auch unabhängig von den Fundamenten in die Bodenplatte integriert werden (Abb. 1). In diesem Fall werden in einer ersten Phase Streifenfundamente hergestellt, danach werden die Modulo-Elemente in Beton vergossen.

Die Palette der Schalung Modulo reicht von 3 cm bis 70 cm Höhe, wobei Elemente mit 20 bis 40 cm Höhe am häufigsten verwendet werden.

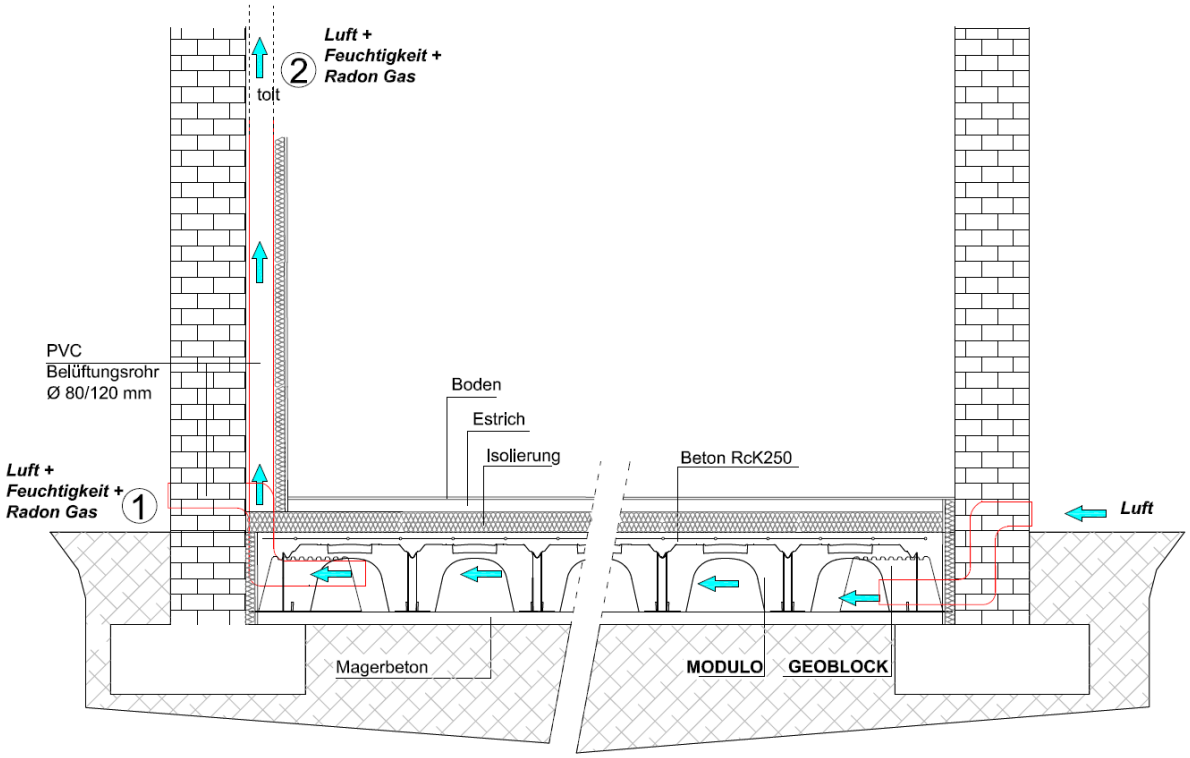


Abb. 1: *Prinzipschnitt belüftete Fundamentplatte*

2 Beschreibung der Umsetzung eines monolithischen Fundament mit dem Modulo-System

Ein belüftetes Fundament ist mit dem Modulo-System sehr einfach und schnell realisierbar. Günstig ist es, die Streifenfundamente gleichzeitig mit der Bodenplatte zu errichten, in die die Modulo-Elemente integriert sind.

Der Standard-Aufbau kann wie folgt beschrieben werden:

In einem ersten Arbeitsschritt wird die Baugrube ausgehoben und der Baugrund nivelliert. Als erste Schicht wird eine Sauberkeitsschicht aus Magerbeton mit einer Mindestdicke von 5 cm eingebaut. Damit ist eine gute Grundlage für die korrekte Kopplung der Modulo-Elemente geschaffen worden. Zudem unterstützt die Magerbetonschicht eine gleichmäßige Spannungsverteilung im Baugrund.

Die Modulo-System Elemente werden auf der Magerbetonoberfläche gelegt und miteinander gekoppelt, indem eine verlorene Schalungsoberfläche und gleichzeitig ein Hohlraum erzielt werden. In den geschaffenen Hohlräumen können Rohrleitungen angeordnet werden. Auf den Schalungselementen wird die Bewehrung verlegt. Diese ist in Abhängigkeit von den vorhandenen Lasten ausreichend zu dimensionieren.

Die letzte Phase beinhaltet das Gießen der Stahlbetonplatte über der Modulo-System Schalungsoberfläche. Die Dicke der Platte ergibt sich aus den Projektlasten.

Abb. 2: *Belüftete Bodenplatte in der Bauphase*

Abb. 3: *Streifenfundamente in der Bauphase*

3 Belüftung

Die Realisierung des Modulo-System schafft ein Belüftungskammersystem, das mit der Außenseite durch Kunststoffrohre in geeigneter Größe in einem Abstand von etwa 3-4m voneinander verbunden wird.

Die Anordnung der Kunststoffrohre sollte so erfolgen, dass diese in Nord-Süd-Richtung zueinander stehen. Dabei werden die Rohre im Norden (kalte Wand) in einer Höhe niedriger als die Rohre im Süden (wärmere Wand) angeordnet.

Damit soll, wo irgend möglich, der Kamineffekt, bei der durch Temperatur- und Druckunterschiede ein natürlicher Auftrieb entsteht, ausgenutzt werden. Wo dies nicht möglich ist, wird eine Zwangsbelüftung eingebaut.

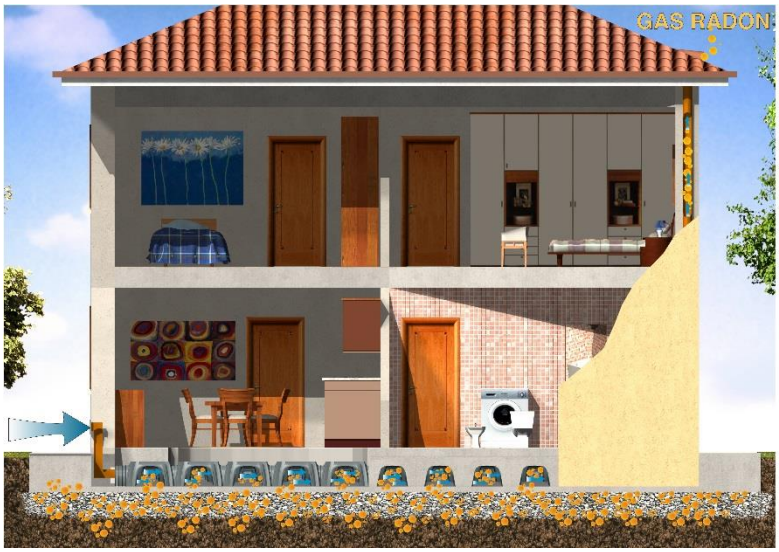


Abb. 4: *Haus mit belüfteter Fundamentplatte*

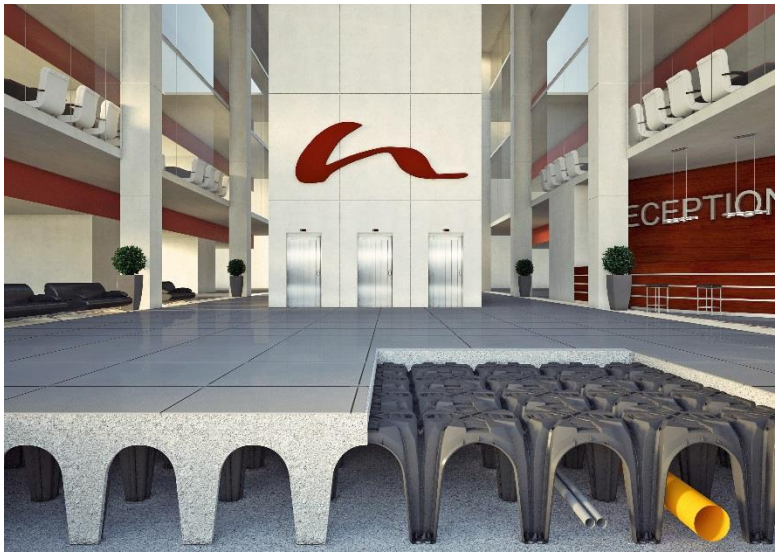


Abb. 5: *Prinzipdarstellung des Modulo-Systems*

4 Validierung des statisches Systems

Um die Spannungen in der Bodenplatte zu untersuchen, ist es notwendig das statische System zu vereinfachen, damit die Berechnungsmethoden nach Eurocode 2 angewendet werden können.

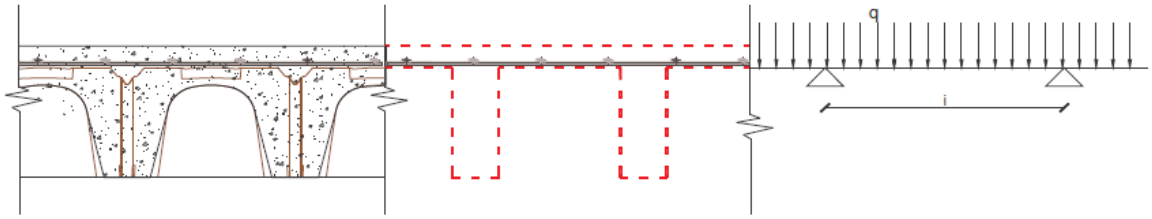


Abb. 6: *Strukturelle Darstellung der statisch-konstruktiven Vereinfachungen für die Berechnung*

Es ist möglich, die Struktur aufzugliedern in:

Stützen: Die Stützen müssen infolge der Auflast durch die Bodenplatte auf Druckbeanspruchung geprüft werden.

Platten: Das statische System wird als kontinuierlicher Träger auf einer Vielzahl von Stützen abstrahiert. Durch diese Vereinfachung werden die positiven Auswirkungen der Bogenwirkung und von Kuppeln sowie der breiteren Unterstützung um die Säulen vernachlässigt.

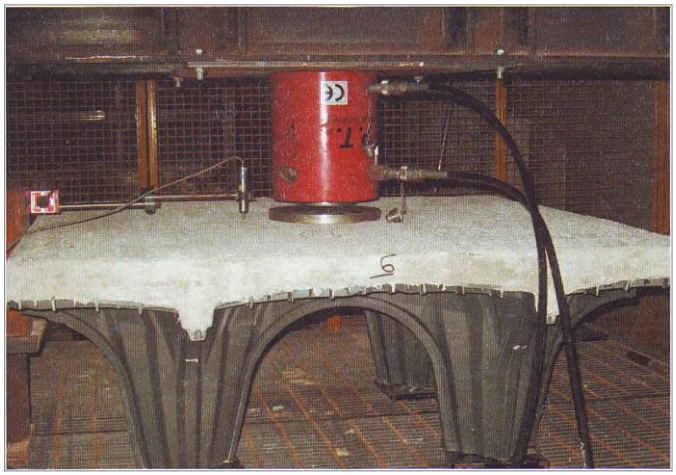


Abb. 7: *Belastungsversuch*

Durch den Vergleich der Laboruntersuchungen mit der vereinfachten Berechnungsmethode werden die Berechnungen validiert.

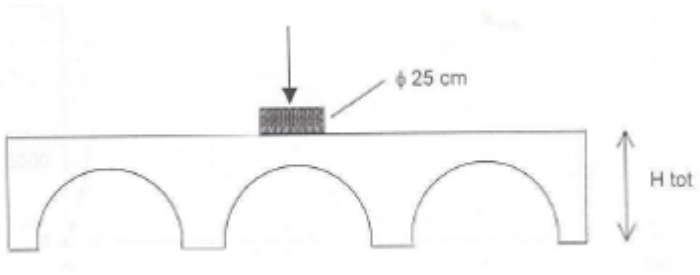
Der Test bestand in der Einwirkung einer konzentrierten Kraft auf eine Fläche von Ø 250 mm an einer Basiseinheit des RC System.

Der Vergleich zwischen den Testergebnissen und dem Ergebnis der Berechnung zeigt einen Sicherheitsfaktor von etwa 2 für die Berechnung.

Tab. 1: *Ergebnisse* der B*elastungsversuche*

Probe	Beschreibung	Boden Dimensionen cm	Htot cm	Maximale Belastung daN
A	Modulo H45 mit 10 cm Platte	119x119	55	12880
B	Modulo H45 mit 15 cm Platte	119x119	60	20000
C	Modulo H45 mit 5 cm Platte	119x119	50	6400
D	Modulo H45 mit 8 cm Platte	119x119	53	10400
E	Multi-modulo H25 mit 3 cm Platte	107x107	28	8340
F	Multi-modulo H25 mit 5 cm Platte	107x107	30	15770
G	Multi-modulo H25 mit 10 cm Platte	107x107	35	29300
H	Multi-modulo H25 mit 15 cm Platte	107x107	40	39550
I	Modulo H27 mit 3 cm Platte	100x100	30	4270
L	Modulo H9 mit 4 cm Platte	87x87	13	8740
M	Modulo H9 mit 7 cm Platte	87x87	16	17000
N	Modulo H9 mit 10 cm Platte	87x87	19	27000
O	Modulo H9 mit 15 cm Platte	87x87	24	33360

Test Prüfung



5 Radon-Messungen vor Ort

Um die Wirksamkeit der mit dem Modulo System belüfteten Fundamente zu bestätigen, wurde eine Fallstudie an einem Haus in Rocca Priora (Kreis Roma, Italien) durchgeführt.[1]

Es wurde ein Haus mit Modulo gebaut, aber ohne ein Belüftungssystem für Abführung der radonhaltigen Bodenluft einzubauen. Damit sollten analoge Verhältnisse zu einem traditionellen Fundament geschaffen werden.

Danach sind in die Wände Löcher gebohrt und in diese Abluftrohre eingesetzt worden, wodurch eine natürliche Belüftung aktiviert wurde.

[1] Arch. Alessandro Cornaggia – Protezione Radon S.r.l.

Der Graph in Abbildung 8 stellt die Messungen der Radonkonzentration im Inneren des Gebäudes vor der Belüftung dar (Daten entnommen alle 2 Stunden).

Der Graph in Abbildung 9 stellt die Messungen der Radonkonzentration im Inneren des Gebäudes nach der Öffnung der Löcher für die Belüftung dar (Daten entnommen alle 2 Stunden).

Im Diagramm der Abbildung 10 sind die beiden Graphen überlagert worden. Man kann die Unterschiede sehr gut erkennen. Die Verringerung der Radonkonzentration in der Raumluft beträgt für diese Fallstudie ca. 95%.

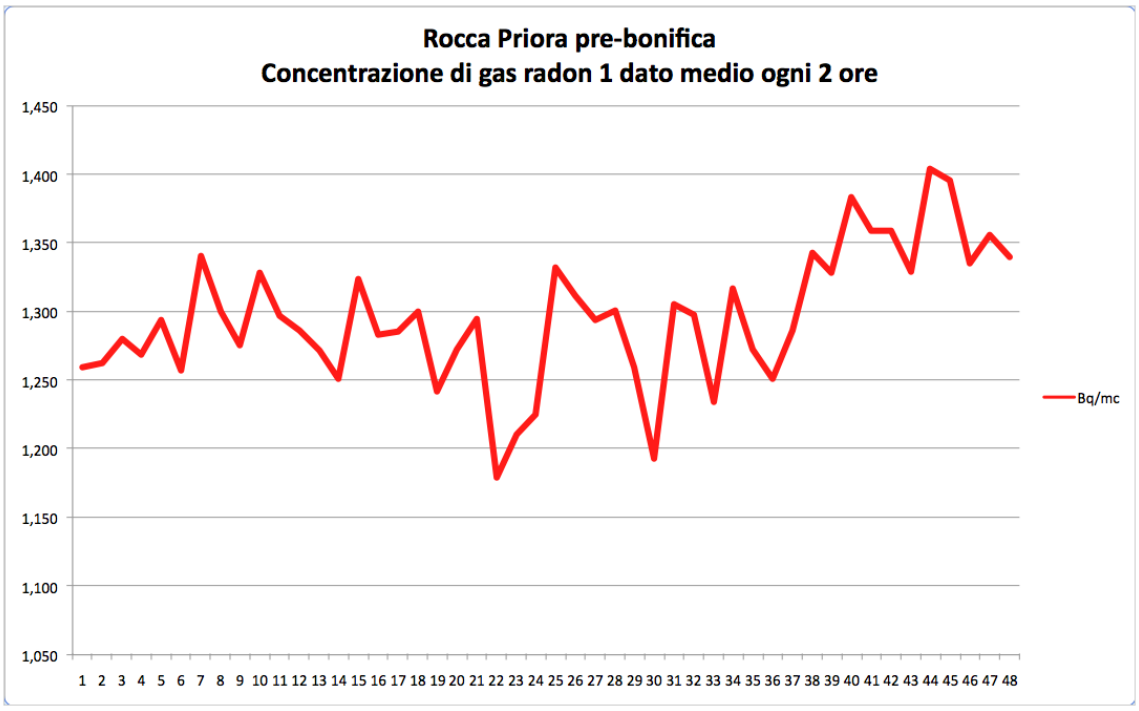


Abb. 8: *Radonkonzentration in der Raumluft bei unbelüfteter Bodenplatte*

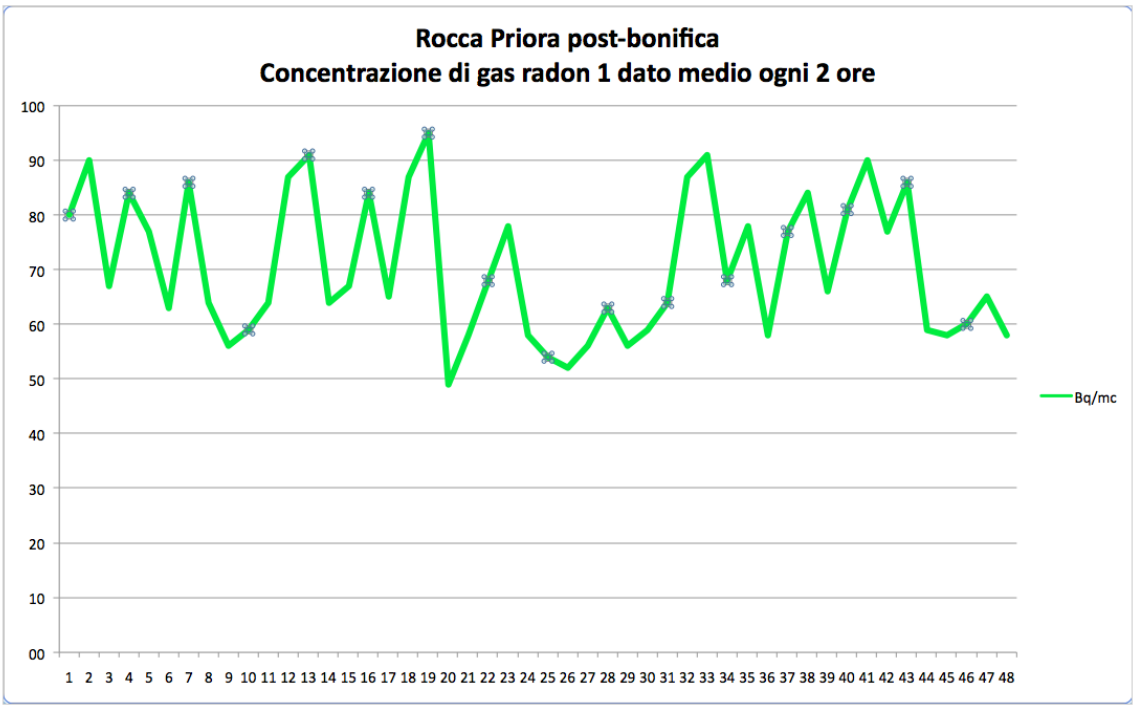


Abb. 9: *Radonkonzentration in der Raumluft bei belüfteter Bodenplatte*

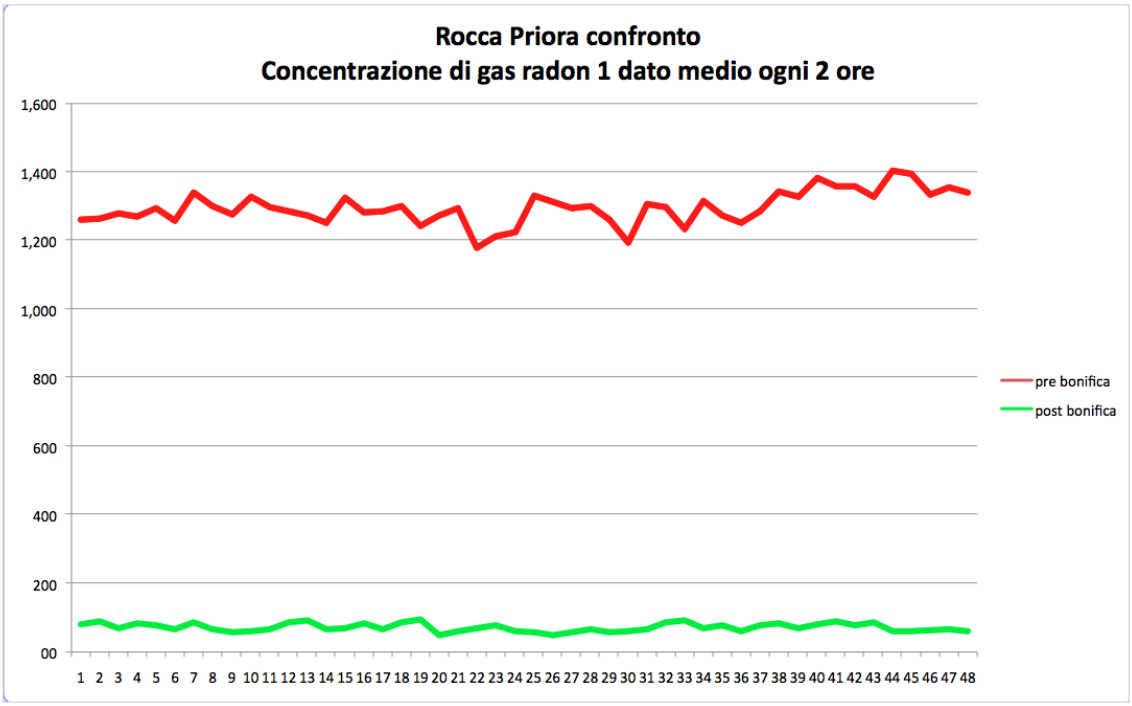


Abb. 10: *Vergleich der Messergebnisse für Radonkonzentration in der Raumluft mit bzw. ohne Belüftung der Bodenplatte*

RADONSCHUTZ IN WOHNUNGEN DURCH MINERALISCHE DICHTSCHLÄMME

PROTECTING HOUSING AGAINST RADON WITH MINERAL SEALING SLURRY

Frank Halm

maxit Baustoffwerke GmbH

Zusammenfassung

Mineralische Dichtungsschlämmen bieten neben den bekannten Abdichtungssystemen einen sicheren Schutz gegen Feuchtigkeit. Durch eine möglichst flächige Applikation auch unter Mauerwerk kann eine übergangsfreie Abdichtung hergestellt werden. Neben der geprüften Dichtigkeit gegen Feuchteeintrag ergibt sich auch ein geprüfter Radonschutz.

Summary

In addition to conventional sealing systems, mineral sealing slurry offers reliable protection against moisture. Even underneath masonry, an areal application enables seamless sealing. As well as the proven impermeability of moisture, a proven radon protection results.

1 Einsatz von Abdichtungen im Wohnungsbau

Wenn nicht baukompetente Bauherren nach Abdichtung gefragt werden, verweisen diese als erstes auf ein dichtes Dach. Weiterhin sollten Wände und Fenster einen guten Feuchtigkeitsschutz bieten. Erst durch die technische Auseinandersetzung mit Feuchtigkeitsschutz und deren Auswirkungen, erfolgt eine Sensibilisierung für erdberührende Kellerwände. Für „zusätzliche“ Maßnahmen für den erdberührenden Kellerfußboden kann es auch ablehnende Haltung geben. Bei Einsparung des Kellers ist wiederum klar, dass die Bodenplatte auf dem Erdreich liegt. Eine Abdichtung gegen Feuchtigkeit ist normativ in der DIN 18195 geregelt. Warum eine Abdichtung gegen Feuchtigkeit notwendig ist, sollte nicht erst durch aufgewölbte Parkettflächen erkannt werden. Viele im Bodenbereich eingesetzte Baustoffe sind auf einen ausreichenden Feuchtigkeitsschutz ausgelegt. So werden feuchtigkeitsempfindliche Dämmstoffe und Estriche verwendet. Rohrleitungen und Heizungssysteme sind für „trockene“ Räume vorgesehen und verfügen nicht über zusätzliche Korrosionsschutzanstriche.

Eine frühere Einteilung von Kellerräumen in untergeordneten Nutzungen kann bei den heutigen Immobilienaufwendungen nicht mehr hingenommen werden. Viele Kellerräume werden zu Wohnzwecken, als Büros oder Praxen geplant und genutzt. Ein normgerechter Feuchtigkeitsschutz hat neben den bauphysikalischen Notwendigkeiten auch einen gesundheitsrelevanten Aspekt zu erfüllen. Im Neubau ist eine detailbedachte Planung sehr wichtig. Dabei sollten auch hydrologische Verhältnisse berücksichtigt werden. Für Mitteldeutschland sind durch die Vielzahl der stillgelegten Tagebaugruben nach Braunkohleabbau Veränderungen in den hydrologischen Verhältnissen einzurechnen. Steigende Grund- und Schichtenwasserschichten ergeben oft nach Jahren veränderte Feuchtigkeitsbeanspruchungen für Kellerwände und Kellerfußböden. Bei nachträglichen Abdichtungsmaßnahmen im Altbau im Zuge von Renovierungsarbeiten sind die vorhandenen Konstruktionen, Baustoffe und Zugänglichkeiten signifikant für Auswahl des Abdichtungssystems.

Als Systeme für flächige Abdichtungen werden Schweißbahnen, selbstklebende Bitumendichtungsbahnen, kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen oder mineralische Dichtschlämmen verwendet. Bei Auswahl eines Systems ist die Eignung für die gesamte Konstruktion, die Applikation und Dauerhaftigkeit zu beachten.

2 Feuchtigkeitsschutz auch als Radonschutz

Bei der Auswahl des abdichtenden Systems für den flächigen Schutz der Bodenplatte ist eine differenzierte Planung notwendig. Eine oftmals nur auf Erfahrung basierende immer wieder eingesetzte Abdichtungsform kann bei veränderten Verhältnissen negative Auswirkungen nach sich ziehen. Dabei wird die Flächenabdichtung gern nach Gewerken wie Rohbau und Schweißbahnverlegung geteilt. Die sich daraus ergebenen Probleme in der praktischen Umsetzung sind bekannt. Diese Trennung des Feuchtigkeitsschutzes unter Mauerwerk und restlichem Fußboden ist der nicht vorhandenen Druckbelastbarkeit der Abdichtungssysteme Schweißbahn, Bitumendichtungsbahn und kunststoffmodifizierte Bitumendickbeschichtungen geschuldet. Eine mineralische Dichtungsschlämme kann auch unter der Aufstandsfläche des Mauerwerkes eingesetzt werden. Weiterhin verfügt eine zementöse Abdichtung über hohe Haftscherfestigkeit, wodurch eine flächige Applikation über die gesamte Bodenplatte möglich wird. Durch diese positiven Unterschiede zu herkömmlichen Dichtungssystemen ist ein nahtloser Auftrag, ohne Anschlüsse erreichbar. Ein nicht zu unterschätzendes Problem sind die baustellentypischen Gegebenheiten. Bei der Trennung der Abdichtung unter Mauerwerk und restlicher Bodenfläche wird als Argument häufig die schnelle Überarbeitbarkeit genannt. Häufig verzögern sich Anschlussgewerke und Wassereinträge durch Regen können zu feuchtem Mauerwerk führen, bis hin zur Problematik der nicht vorhandenen Beständigkeit von KMB-Abdichtungen gegen rückwärtige Feuchtebelastung. Mineralische Beschichtungen mit Aufkantung an den Innenwänden ausgeführt, können hier einen besseren Schutz bieten.

Die Bedeutung des Radonschutzes zeigen Prüfungen der Abdichtungssysteme zur Radondichtigkeit. Entsprechend den örtlichen Gegebenheiten der Errichtung eines Gebäudes kann u.U. der Radonschutz vor dem Feuchtigkeitsschutz stehen. Welche Auswirkungen Undichtigkeiten gegenüber eindringendem

Radongas aus der Bodenluft haben, ist häufig schon publiziert wurden. Auch die Problematik zwischen Undichtigkeit und einer noch geringen Konzentration von Radon in der Bodenluft wurde mehrfach erklärt [1].

3 Mineralische Dichtschlämme als universeller Schutz gegen Feuchtigkeit und als Radonschutz

Aus den vorher genannten Gründen wird die mineralische Dichtungsschlämme noch einmal als guter Schutz gegen Feuchtigkeit und gegen Radon mit seinen Eigenschaften und Vorteilen erklärt. Wie schon erörtert, sind Undichtigkeiten nicht nur für den Feuchtigkeitsschutz sondern auch für die Radondichtigkeit signifikant. Ob Undichtigkeiten durch falsche Planung oder unzureichende Ausführung sich ergeben haben ist für den Schaden nicht relevant. Die Nutzung der Räume wird eingeschränkt oder es hat u.U. eine Sanierung mit hohem Kostenaufwand zur Folge.

Ein wenig berücksichtigter Aspekt ist der Feuchtigkeitsschutz bei Hochwassergefährdeten Gebieten. Hier sind Fußbodenaufbauten für den Fall eines Hochwassers zu wählen. Auch bei dieser besonderen Form der nachfolgenden Beanspruchung bieten mineralische Dichtschlämmen mit den entsprechenden geprüften Eigenschaften einen sicheren dauerhaften Schutz.

Welche Eigenschaften muss eine mineralische Dichtungsschlämme erfüllen, um als Flächenabdichtung und für den prophylaktischen Radonschutz eingesetzt zu werden? Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl ist eine sehr schnelle Durchtrocknung und damit schnelle Überarbeitbarkeit. Moderne Systeme sind 2-komponentig und können im Streich- oder Spritzverfahren aufgetragen werden. Die Abdichtungen werden auch als reaktive Bauwerksabdichtungen beschrieben. Ein Auftrag ist ohne Anschlüsse und Übergänge realisierbar. Weiterhin kann als Eigenschaft und Vorteil der sehr hohe Haftverbund zum Untergrund hervorgehoben werden. Eine Scherkraftübertragung ist damit sehr gut erreichbar. Neben der Scherfestigkeit ist die hohe Druckbelastung zu nennen, die es ermöglicht auch die Abdichtung unter Mauerwerk herzustellen. Die Radondichtigkeit ist mit entsprechendem Prüfzeugnis nachzuweisen [2], [3], [4].

4 Literaturverzeichnis

[1] H. Schulz, R. Baumert, Praktische Vorgehensweise bei der Sanierung von Alt- und Neubauten, 6. Sächsischer Radontag 11.9.2013

[2] maxit SDS 16 , Technisches Merkblatt, maxit Baustoffwerke GmbH

[3] maxit SDS 16 , Die sichere Bauwerksabdichtung mit geprüfter Radondichtigkeit, maxit Baustoffwerke GmbH

[4] maxit SDS 16 , Prüfbericht zur Überprüfung der Radondichtigkeit mittels Bestimmung des Radondiffusionskoeffizienten an maxit SDS 16, Universität des Saarlandes

HAUFF-TECHNIK – DER SPEZIALIST IN SACHEN GEBÄUDEABDICHTUNG

HAUFF-TECHNIK - THE SPECIALIST FOR THE PROFESSIONAL SEALING OF BUILDINGS

Aicke Donant

Hauff-Technik GmbH & Co. KG

Zusammenfassung

Kompromisslose Abdichtung ist bei jeder Gebäudeart – vom Einfamilienhaus bis hin zu Großprojekten wie etwa Offshore-Umspannwerken oder Flughafenterminals – unabdingbar. Um Durchführungen für Gebäude absolut dicht zu bekommen, braucht man vor allem einen Werkstoff: Intelligenz. Kabel- und Rohrdurchführungen von Hauff-Technik sind so durchdacht, dass ihre Präzision, ihre Qualität und ihre Sicherheit den höchsten Anforderungen genügen. Mit innovativen Lösungen sichert Hauff-Technik die Kosteneffizienz, Funktionsfähigkeit und Langlebigkeit des Bauvorhabens.

Summary

Uncompromising sealing is indispensable in every type of building – from single-family homes to major projects such as offshore transformer substations or airport terminals. In order to achieve perfectly tight seals at building entries, one material is absolutely essential: intelligence. Cable and pipe entries from Hauff-Technik are so well conceived that their precision, their quality and their reliability satisfy the most demanding requirements. With innovative solutions, Hauff-Technik guarantees the cost-effectiveness, functionality and long service life of the construction project.

1 Themenfelder

Gemäß dem Motto „Immer. Sicher. Dicht“ steht Hauff-Technik seit über fünfzig Jahren europaweit für Innovationen im Bereich der Kabel- und Rohrdurchführungssysteme. Dabei schützen die Produkte von Hauff-Technik Gebäude und Gehäuse jeglicher Art vor Gas, eindringendem Wasser, Schmutz und Ungeziefer. Ob es sich dabei um das klassische Ein- oder Mehrfamilienhaus im privaten Bereich oder auch um industriell genutzte Gebäudekomplexe, wie Flughafenterminals oder Fabriken handelt – Hauff-Technik sorgt für Sicherheit. Ein Gebäude hat viele Verbindungen nach außen. Die Schnittstelle – also die Hausmauer – muss um die Versorgungsstränge herum perfekt abgedichtet sein, damit nichts durchkommt, was nicht durchkommen soll. Die Systemlösungen bestehen entweder aus Mehrspartenhauseinführungen für Strom, Gas, Wasser und Telekommunikation oder aus Einzelhauseinführungen – ganz nach Bedarf und Anforderung. Eine spannende Innovation ist dabei der grabenlose Hausanschluss durch die Vortriebstechnik „Zappo“. Sichere Abdichtung nach innen und außen – ganz ohne Beschädigung und teure Wiederherstellung der jeweilig betroffenen Außenanlage.

Neben den großen klassischen Themenfeldern Energie und Kommunikation wird das Unternehmen zukünftig auch in den Anwendungsbereichen der erneuerbaren Energie, wie Wind oder auch Biogas, seine Lösungen anbieten. Hier steht vor allem die begleitende planerische Beratung bis hin zur finalen Realisierung im Mittelpunkt der Kundenorientierung.

2 Kundenorientierte Lösungsfindung

Im Fokus von Hauff-Technik steht immer der Kunde mit seiner jeweiligen Herausforderung. Für ihn eine schnelle, aber auch höchst effiziente Lösung zu finden, die an der jeweiligen Stelle Sicherheit garantiert, ist der Antrieb für die wachsende Zahl der Hauff-Technik Mitarbeiter weltweit. Hauff-Technik gehört mit Platz 2 im Ranking der Unternehmen bis 250 Mitarbeiter und zum vierten Mal in Folge zu den „Top 100“ der innovativsten Mittelständler. Die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter von Hauff-Technik entwickeln und verbessern kontinuierlich und mit hohem Engagement die Produkte und Herstellungsprozesse. Daneben geben immer wieder spezifische Kundenanforderungen den Impuls zur Entwicklung neuer Abdichtlösungen. Kunden werden mittels „Open Innovation“ und „Rapid Prototyping“ in den Entwicklungsprozess mit einbezogen. Die Prototypen werden im Beisein des Kunden auf Testbaustellen vor Ort getestet. Mit diesem unmittelbaren Feedback auf die Neuerungen werden gegebenenfalls weitere Optimierungen vorgenommen. Diese Vorgehensweise sowie eine kunden- und bedarfsgerechte Entwicklung oftmals patentierter Hauff-Produkte ermöglicht die erfolgreiche Platzierung am Markt und trägt wesentlich zum nachhaltigen Erfolg des Unternehmens bei.

Zu den Kunden von Hauff-Technik zählen Energieversorger, Stadtwerke, Bauunternehmer, Installationsbetriebe und die Industrie, die mit der herausragenden Qualität und einem guten Preis-Leistungsverhältnis von Hauff-Technik-Produkten, engineered und made in Germany, stets auf der sicheren Seite sind.

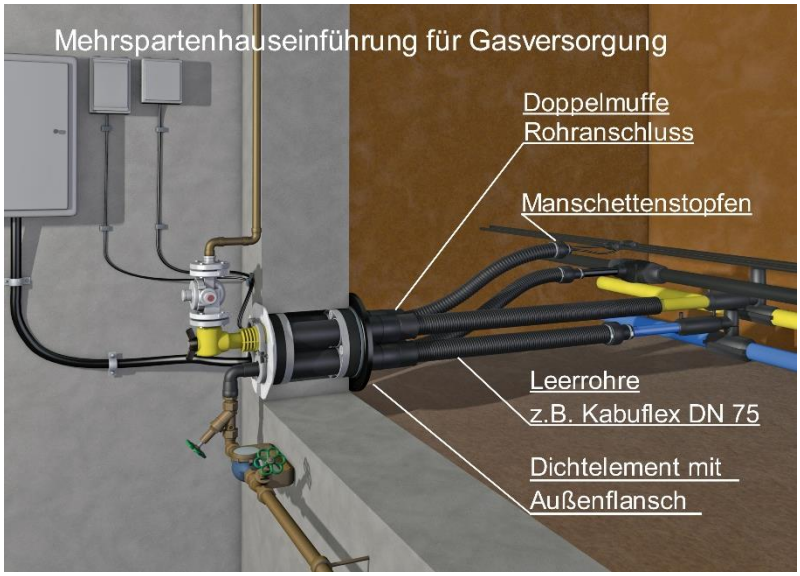


Abb. 1: *In die Wand eingebaute Mehrspartenhauseinführung und Verbindung zu den Versorgungsleitungen*

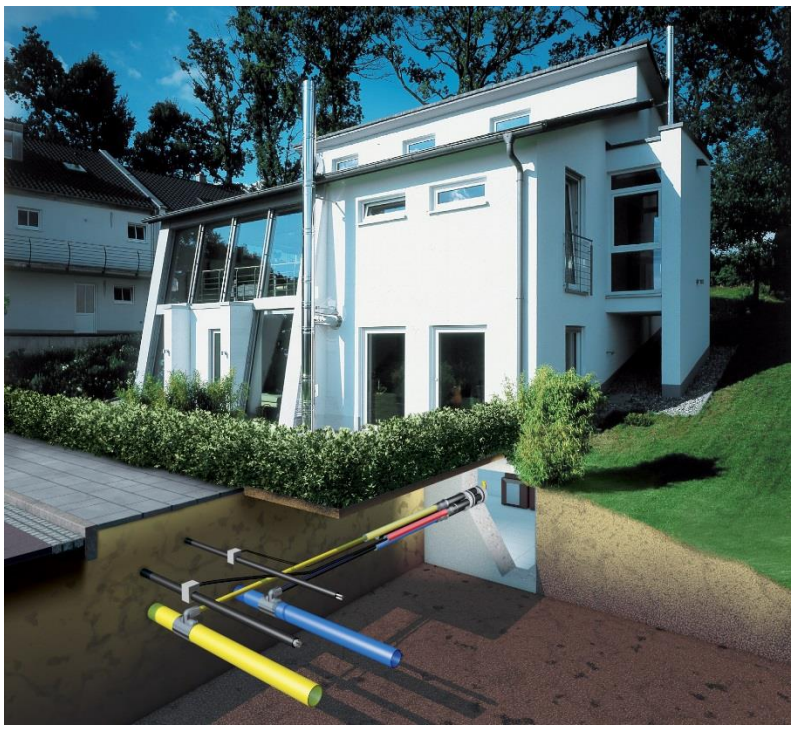


Abb. 2: *Mehrspartenhauseinführung und Verbindung zu den im Gehwegsbereich verlegten Versorgungsleitungen*

Referentenverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
und Vorstandsvorsitzender KORA e.V.
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1
Telefon: 0351 / 462 – 2440 Telefax: 0351 / 462 - 2172
www.bau.htw-dresden.de email: dresden@koraev.de

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1
Telefon: 0351 / 462 – 3101 Telefax: 0351 / 462 - 2185
www.htw-dresden.de email: stenzel@htw-dresden.de

Dr. Hartmut Schwarze
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft
D-01097 Dresden, Archivstraße 1
www.smul.sachsen.de email: poststelle@smul.sachsen.de

Dr. rer. nat. Andreas Guhr
Leiter der Staatlich Anerkannten Messstelle ALTRAC
ALTRAC Radon-Messtechnik
D-12524 Berlin, Dorothea-Viehmann-Straße 28
Telefon: 030 / 679 897 – 37 Telefax: 030 / 678 018 - 86
www.altrac.de email: info@altrac.de

Dr. rer. nat. Jürgen Conrady
PreCura Institut für Präventive Medizin e.V. (Vorsitzender)
D-12623 Berlin, Kastanienallee 6a
Telefon: 030 / 927 996 – 34 Telefax: 03772 / 329 - 539
www.precura.de email: precura-conrady@online.de

PD Dr.rer.nat.habil. Bert Rein
Firmeninhaber GCR GeoConsult Rein
D-55276 Oppenheim, Gartenstraße 26-28
Telefon: 06133 / 9242 – 41 Telefax: 06133 / 9242 - 43
www.geoanalysis.eu email: geoconsult@geoanalysis.eu

Dr. Werner Preuße
Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
D-09131 Chemnitz, Dresdner Straße 183
Telefon: 0371 / 46124 – 20 Telefax: 0351 / 46124 - 22
www.smul.sachsen.de/bful email: werner.preusse@smul.sachsen.de

Johannes Haid
Diplom-Geograf, Diplom-Sicherheitsingenieur (FH)
United States Army Garrison (USAG) Rheinland-Pfalz
Directorate of Public Works - Environmental Management Division
D-67619 Kaiserslautern, Postfach 3106
www.kaiserslautern.army.mil/directorates/DPW/home.html email: johannes.haid.ln@mail.mil

Kai Geringswald
Wismut GmbH
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29
Telefon: 0371 / 8120 - 0 Tefefax: 0371 / 8120 - 584
www.wismut.de email: info@wismut.de

Dr. rer. nat. Walfried Löbner
WISMUT GmbH
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29
Telefon: 0371 / 8120 – 127 Telefax: 0371 / 8120 - 107
www.wismut.de email: w.loebner@wismut.de

Christian Schramm
Wismut GmbH
Abteilung Umwelt Überwachung Strahlenschutz
D-09117 Chemnitz, Jagdschänkenstraße 29
Telefon: 0371 / 8120 - 0 Tefefax: 0371 / 8120 - 584
www.wismut.de email: info@wismut.de

Roland Baumann
Berufsgenossenschaft Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse (BG ETEM)
D-50968 Köln, Gustav-Heinemann-Ufer 130
Telefon: 0221 / 3778 - 0 Tefefax: 0221 / 3778 - 1199

Dieter Kreul
Stadtwerke Kulmbach, Versorgung - Wassermeister
D-95326 Kulmbach, Hofer Straße 14
Telefon: 09221 / 9042 - 31 Tefefax: 09221 / 9062 - 031
hwww.stadtwerke-kulmbach.de email: kreul.dieter@stadtwerke-kulmbach.de

Prof. h.c. Dr. rer.nat. habil Bernd Leißring
Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX
D-09114 Chemnitz, Max-Planck-Str. 18
Telefon: 0371 / 336 - 2788 Telefax: 0371 / 336 - 2789
www.geoprax-leissring.de email: bernd@leissring.de

Heinrich Rösl
Präsident Eigenheimerverband Bayern e.V.
D-80807 München, Schleißheimer Straße 205 a
Telefon: 089 / 3073660 Telefax: 089 / 305970
www.eigenheimerverband.de email: roesl@eigenheimerverband.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Hartmann
Geschäftsführer am ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden GmbH
D-01187 Dresden, Bayreuther Str. 29
Telefon: 0351 / 41 75 69 - 3 Telefax: 0351 / 41 75 69 - 9
www.itg-dresden.de email: hartmann@itg-dresden.de

Ing. Leopoldo Mazzoleni
Export Area Manager, Geoplast S.p.A.
I-35010 Grantorto (PD), Via Martiri della Libertà, 6/8
Telefon: +39 / 049 / 9490289 Telefax: +39 / 049 / 9494028
www.geoplast.it email: leopoldo.mazzoleni@geoplast.it

Roberto Cecchinato
Export Sales Manager, Geoplast S.p.A.
I-35010 Grantorto (PD), Via Martiri della Libertà, 6/8
Telefon: +39 / 049 / 9490289 Telefax: +39 / 049 / 9494028
www.geoplast.it email: roberto.cecchinato@geoplast.it

Dipl.-Ing. Frank Halm
Verkaufsleiter Renoment, maxit Baustoffwerke GmbH
D-07387 Krölpa, Brandensteiner Weg 1
Telefon: 034205 / 83830 Telefax: 034205 / 99440
www.maxit-kroelpa.de email: frank.halm@maxit-kroelpa.de

Aicke Donant
Technischer Vertrieb, Regionalleitung Ost, Hauff-Technik GmbH & Co. KG
D-04435 Schkeuditz, Westringstraße 29
Telefon: 0171 / 6363211 Telefax: 034205 / 4247 - 20
www.hauff-technik.de email: aicke.donant@hauff-technik.de

Herausgeber KORA e.V.
Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren
c/o HTW Dresden, Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden
Telefon: 0351/4622400, Telefax: 0351/4622172
www.koraev.de, email: dresden@koraev.de

Dresden 2013

Redaktionelle Bearbeitung: M.Sc. Ronny Sachse

Alle Rechte, auch das der Übersetzung, vorbehalten.
Ohne ausdrückliche Genehmigung von KORA e.V. ist es nicht gestattet, dieses Werk
oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen
sowie die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen vorzunehmen.
Angaben ohne Gewähr.

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.

Druck und Bindung:
Lichtpaus- und Kopierstudio Dresden