

# 5. SÄCHSISCHER RADONTAG

## 7. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

20. SEPTEMBER 2011

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



**ZAFIT** 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

Herbert Wolff  
**Grußwort des Staatssekretärs des Sächsischen Staatsministeriums für  
 Umwelt und Landwirtschaft** ..... 9

### ***AUSWIRKUNGEN VON AKTUELLEN UND ZUKÜNFTIGEN REGELUNGEN ZUM RADONSICHEREN BAUEN AUF DEN NEUBAU UND DIE SANIERUNG VON GEBÄUDEN***

Frank Leder  
**Die sächsische Umsetzungsstrategie zu Radon in Gebäuden** ..... 11

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig  
**Umsetzung der neuen Radonschutzziele in der Baupraxis** ..... 23

### ***VORSTELLUNG VON REGELUNGEN UND UNTERSUCHUNGEN AUS SACHSENS NACHBARLÄNDERN***

Prof. Martin Jiranek  
**Radon protective and remedial measures according to the Czech building  
 standards** ..... 33

Dipl.-Ing. Michael Heidler  
**Die Auswirkung energetischer Sanierungen auf die Radonkonzentration in  
 öffentlichen Gebäuden in Bayern** ..... 45

Dipl.-Ing. Christian Grimm, Dipl.-Ing. (FH) Christoph Wilhelm  
**Natürliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Baden-Württemberg  
 durch Erdwärmenutzung** ..... 57

### ***PRAKTISCHE BEISPIELE***

Dr. Marcus Hoffmann  
**Radonsanierung im Kanton Tessin (CH)** ..... 63

Prof. Bernd Leißring  
**Praktische Aspekte und Erfahrungen bei der Realisierung und Überwachung  
 von Radonschutzmaßnahmen** ..... 75

---

Dr. Hartmut Schulz	
<b>Bauablauf und Radonmessungen / Empfehlungen für Bauherren .....</b>	<b>81</b>
<b>Referentenverzeichnis .....</b>	<b>91</b>



**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,

ich begrüße Sie ganz herzlich zum **fünften Sächsischen Radontag**. Die durch KORA e.V. im Jahre 2005 erstmalig als „Tagung Radonsicheres Bauen“ durchgeführte Veranstaltung wird seit 2007 gemeinsam mit dem SMUL veranstaltet und hat sich inzwischen als ein weit über Sachsen hinauswirkender Erfahrungsaustausch zu Fragen des radonsicheren Bauens und Sanierens etabliert.

Im Februar 2010 wurde durch die EURATOM der Entwurf für eine Neufassung der EU-Basic Safety Standards (EU-BSS) veröffentlicht, in denen erstmals Regelungen für die Begrenzung der Radonkonzentration in Gebäuden aufgenommen worden sind. Läuft alles nach Plan, werden diese Regelungen spätestens 2012 durch die EU-Gremien beschlossen und sind danach in nationales Recht zu überführen. Zwar ist zum heutigen Zeitpunkt noch nicht klar, in welcher Form und in welchem Zeitraum diese Übernahme in Deutschland realisiert wird, mit Sicherheit aber wird im Ergebnis der bauliche Radonschutz an Bedeutung gewinnen. Im ersten Schwerpunkt des diesjährigen Radontages möchten wir Sie deshalb über Inhalt sowie aktuellen Stand des hier kurz skizzierten Prozesses informieren und Überlegungen anstellen, welche Anforderungen auf das Bauwesen nach Einführung entsprechender nationaler Regelungen zum Radonschutz zukommen werden. In diesem Zusammenhang wird auch ganz sicher der Blick auf unser Nachbarland Tschechien interessant sein, da dort bereits seit vielen Jahren Regelungen im Radonschutz gesetzlich verankert sind.

In einem zweiten Schwerpunkt der Tagung werden Untersuchungen aus den benachbarten Bundesländern vorgestellt, die sich u.a. mit der Frage befassen, wie energetisches Bauen mit dem Radonschutz in Einklang gebracht werden kann. Damit führen wir das Schwerpunktthema des letztjährigen Radontages fort – auf Grund des zentralen Charakters dieser Fragestellung ganz sicher gerechtfertigt.

Dem Anliegen des Sächsischen Radontages folgend wird die Veranstaltung wiederum mit der Vorstellung unterschiedlichster Beispiele aus der Praxis des radonsicheren Bauens und Sanierens abgeschlossen werden.

Wir hoffen, Ihnen mit dem Programm des 5. Sächsischen Radontages auch in diesem Jahr wiederum ein interessantes Spektrum aus dem Themenkreis des radonsicheren Bauens offerieren zu können und wünschen der Tagung einen guten Verlauf und Ihnen viele neue Erkenntnisse!

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 5. SÄCHSISCHEN RADONTAG**

In diesem Jahr veranstaltet das Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren - KORA e.V. - bereits seine 7. Tagung „Radonsicheres Bauen“, die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als „Sächsischer Radontag“ durchgeführt wird. Der Sächsische Radontag hat sich inzwischen zu einem fachübergreifenden Forum für viele Experten des radonsicheren Bauens über Sachsen hinaus in ganz Deutschland sowie in den benachbarten Ländern entwickelt.

Ich freue mich sehr, alle Teilnehmer der Tagung hier 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 – neben der Gastgeberschaft für die alljährliche Tagung - in den letzten Jahren sehr fruchtbar entwickelt, insbesondere durch die studentische Ausbildung in diesem Fachgebiet.

Radonsicheres Bauen hat in Sachsen einen besonderen Stellenwert, da in unserem Bundesland einige der höchstbelasteten Regionen Deutschlands liegen und hier deshalb die Reduzierung der Radonkonzentration in der Raumluft von besonderer Bedeutung ist.

Durch den im Februar 2010 durch die EURATOM vorgelegten Entwurf für eine Neufassung der EU-Basic Safety Standards (EU-BSS), in denen erstmals Regelungen für die Begrenzung der Radonkonzentration in Gebäuden aufgenommen worden sind, werden sich die Anforderungen an das radonsichere Bauen und Sanieren deutlich erhöhen. Zwar ist noch nicht endgültig entschieden, in welcher Form die Regelungen dieser europäischen Strahlenschutzrichtlinie in nationales Recht überführt werden, mit Sicherheit wird sich aber die Verbindlichkeit für die Maßnahmen zur Begrenzung der Radonkonzentration in der Raumluft auch in Deutschland erhöhen und es werden sich erhöhte Anforderungen an das radonsichere Bauen und Sanieren ergeben.

Somit liegt ein Schwerpunkt der diesjährigen Tagung auf der Vorstellung der neuen Strahlenschutzrichtlinien der EURATOM und deren Auswirkungen auf das Bauen in Deutschland. Darüber hinaus wird in mehreren Beiträgen die Umsetzung der Radonziele in Deutschland und in den Europäischen Ländern vorgestellt. Insbesondere wird wiederum der Zusammenhang zum energetischen Bauen thematisiert. Verschiedene Praxisbeispiele des radonsicheren Bauens und Sanierens runden die Veranstaltung ab.

Mein Dank gilt den Organisatoren 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





**Herbert Wolff**  
Staatssekretär des Sächsischen  
Staatsministeriums für Umwelt  
und Landwirtschaft

## Begrüßung

Sehr geehrte Damen und Herren,

der nunmehr fünfte Sächsische Radontag befasst sich einerseits noch einmal mit der nach wie vor anstehenden EU-Regelung zu Radon in Gebäuden und den Umsetzungsmöglichkeiten dieser Regelung, andererseits mit beispielhaften Fällen aus der Mess- und Sanierungspraxis.

Über den Entwurf der EU-Richtlinie wird voraussichtlich erst im Jahr 2012 entschieden. Dennoch präsentieren sich Ihnen erste Vorstellungen von Seiten des Bundes, wie eine Umsetzung in Deutschland aussehen kann. Wir sind der Auffassung, dass mit den sehr vielfältigen Aktivitäten im Freistaat Sachsen die Zielsetzungen der Richtlinie bereits weitgehend erfüllt werden. Auch haben wir im Vergleich mit den Mess- und Informationsprogrammen sowie den Umsetzungsmaßnahmen der europäischen Länder, die bereits seit vielen Jahren Grenzwerte für Radon haben, einen sehr fortgeschrittenen Stand vorzuweisen.

Unsere Handlungen und Planungen zielen auf eine hohe Effizienz beim Einsatz der uns verfügbaren Mittel ab. Durch Netzwerkbildung soll einerseits das Bewusstsein für die Radonproblematik erhöht werden, andererseits sollen Synergien aufgezeigt und genutzt werden. Dies ist besonders gut durch eine enge Anbindung an den Baubereich möglich. Dort das Problembewusstsein stärker zu verankern, bleibt eine unserer wesentlichen Zielstellungen. Deshalb sind wir für die gute und fruchtbare Zusammenarbeit mit der HTW und KORA sehr dankbar.

Weitere wichtige Partner für uns sind berufliche Bildungsträger aus dem Baubereich sowie die sächsische Architektenkammer und die sächsischen Hauseigentümergeverbände. Durch diese Institutionen kann auch ein Schwerpunkt unserer Informationsstrategie, nämlich bei der energetischen Sanierung von Gebäuden die Radonproblemstellung zu berücksichtigen, am ehesten vermittelt werden. Hier haben wir auch Partner und Unterstützung aus dem Gesundheitsressort, welches sich mit Innenraumschadstoffen befasst. Die dortigen Zielsetzungen, die Luftwechselrate vor allem in Schulgebäuden zu erhöhen, sind auch für den Radonschutz hilfreich. Dies sollte auch bei der energetischen Sanierung von Schulgebäuden immer Berücksichtigung finden.

Um ein radonsicheres Bauen und Sanieren nicht nur qualitativ hochwertig und vergleichbar zu machen, sondern auch nachhaltig zu etablieren, ist eine Zertifizierung der Bauausführenden und der entsprechenden Baumaßnahmen unbedingt erforderlich. Wir begrüßen deshalb die Initiative von KORA e. V., eine Projektgruppe zur RAL-Zertifizierung zu gründen und wünschen für diese nicht einfache Aufgabe viel Durchhaltevermögen und Erfolg.

Dies wünsche ich auch für Ihre Tagung. Die Vorträge, Diskussionen und Gespräche werden einen weiteren wichtigen Beitrag zur Erweiterung unseres Kenntnisstandes zum Thema Radonschutz in Gebäuden leisten.

Herbert Wolff

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium  
für Umwelt und Landwirtschaft



# DIE SÄCHSISCHE UMSETZUNGSSTRATEGIE ZU RADON IN GE- BÄUDEN

## THE SAXONIAN STRATEGY ON RADON IN DWELLINGS

Frank Leder  
Stephanie Hurst

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden

### **Zusammenfassung**

*Schon seit vielen Jahren wird auf internationaler und nationaler Ebene versucht geeignete Regelungen zu finden, um die Radonkonzentration in Innenräumen flächendeckend zu minimieren. Es widmeten sich die nationale Strahlenschutzkommission (SSK) [1], [2], [3], [4], [5] diesem Thema und die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) [6], [7]. Auch die internationale Atomenergiebehörde (IAEA) [8] und die Weltgesundheitsorganisation (WHO) [9] positionierten sich zu diesem Problemkreis. Von der Europäischen Union (EU) liegt ein Entwurf zur Novelle der Europäischen Grundnorm (EU-GN) im Strahlenschutz [10] vor. In diesem Kontext sind künftig auch nationale Regelungen zu erwarten. Hier gilt es bereits jetzt, geeignete Strategien zu entwickeln, um auf nationale Regelungen vorbereitet zu sein und diese mit zu gestalten.*

*Im Folgenden soll dargestellt werden, wie eine Umsetzung der vorliegenden Empfehlungen und des Regelungsentwurfes der EU entsprechend den Vorstellungen des Freistaates Sachsen aussehen könnten und welche Aktivitäten zum Radonschutz in Sachsen aktuell durchgeführt werden.*

### **Summary**

*Since many years attempts have been made to find regulations for comprehensive minimization of indoor radon on a national and an international scale. The national Radiation Protection Commission (SSK) [1], [2], [3], [4], [5] was engaged in this topic as well as the International Commission on Radiological Protection (ICRP) [6], [7]. Additionally the International Atomic Energy Agency (IAEA) [8] and the World Health Organisation (WHO) [9] have positioned themselves in this issue. From the European Union (EU) a draft for an amendment of the basic safety standards for radiation protection [10] is on hand. In this context also future national regulations must be expected. It must be obliged already, to develop suitable strategies to be prepared for national regulations und to formulate them commonly.*

*In the following the perceptions of the State of Saxony for an implementation of the recommendations and the draft of the EU-directive are described. Additionally the activities on Radon protection in Saxony are presented.*

## 1 Einführung

In Sachsen gibt es im bundesweiten Vergleich schon seit vielen Jahren die vielfältigsten Aktivitäten zum Schutz vor Radon in Gebäuden. Dies ist auch dem Umstand geschuldet, dass mit dem ehemaligen Uranerz- und Altbergbau schon eine Sensibilisierung für das Edelgas Radon vorhanden war, die durch das Auftreten von Lungenkrebs der Bergleute, der so genannten „Schneeberger Krankheit“, begründet war.

Deshalb wurde bereits 1992 die Radonberatungsstelle in Bad Schlema eingerichtet und von 1994 bis 2000 wurden Radonsanierungsmaßnahmen finanziell unterstützt. Es gibt bei den seit zwei Jahrzehnten in diesem Bereich tätigen Behörden, Ingenieurbüros, Firmen und Hochschulen gute Erfahrungen, wie mit dem Thema Radon in Innenräumen umgegangen werden kann. All diese Institutionen gewährleisten bereits jetzt eine gute Information und Beratung der Betroffenen und bieten konkrete Unterstützungen bei den individuellen praktischen Problemen mit Radon in Innenräumen an. Vor diesem Hintergrund würde die Umsetzung der geplanten EU-Regelung nach gegenwärtiger Sicht keine grundsätzlich neuen Probleme im Freistaat Sachsen schaffen. Dennoch hängt es sehr stark von der konkreten Art der Umsetzung der Novelle der EU-GN in Deutschland ab, ob die vorgesehenen Regelungen gut angenommen werden oder ob größere Differenzen mit Verbänden und Interessensgruppen daraus entstehen können. Auch der behördliche Aufwand darf im Zusammenhang mit den Deregulierungsbestrebungen im Lande nicht unberücksichtigt bleiben.

## 2 Die Strategie

Die grundsätzlichen Leitmotive, welche die bisherige sächsische Strategie prägten und die auch für die Zeit nach Einführung einer EU-Regelung gelten könnten heißen:

- Information und Aufklärung vor Regelung und Kontrolle,
- Empfehlung vor Vorschrift,
- Kooperation vor Anweisung

Dieses Motiv ist auch Anliegen des Sächsischen Landtages, der sich bereits 2005 dieses Themas angenommen hatte und der Sächsischen Staatsregierung den Auftrag erteilt hat, keine stringenten Regelungen zuzulassen und stattdessen Informationen und Unterstützungen beim radongeschützten Bauen und Sanieren zu verstetigen [11].

Zielsetzung ist die Förderung und Entwicklung von Randbedingungen, die flächendeckenden Radon-schutz kostengünstig ermöglichen. Dazu wird der Bestand der vorhandenen Messdaten kontinuierlich erweitert und der technische Kenntnisstand laufend ergänzt.

Die Weiterentwicklung von entsprechenden Bauvorgaben gestaltet sich nicht leicht, da hier einheitliche bundesweite Vorgaben fehlen. Dafür sind das Wissen und die Erfahrungen der Baubranche unabdingbar, weshalb das Ziel, diese stärker in die Verantwortung zu nehmen, intensiv verfolgt wird.

Schließlich besteht eine weitere Zielsetzung in der nachhaltigen Erhöhung der Breitenwirkung unserer Aktivitäten.

Dieser Strategie bedient sich auch in weiten Teilen der aktuelle Regelungsentwurf der EU-GN durch seinen Empfehlungscharakter.

### **3 Die Bedeutung des EU-Regelungsentwurfs für den Freistaat Sachsen**

Im Folgenden sollen die wesentlichen Regelungen des Artikels 100 dieser Direktive diskutiert werden.

#### **3.1 Referenzwerte**

Es werden nationale Referenzwerte von

- 200 Bq/m<sup>3</sup> für neue Wohngebäude und öffentliche Gebäude
- 300 Bq/m<sup>3</sup> für bestehende Wohngebäude
- 300 Bq/m<sup>3</sup> für bestehende öffentliche Gebäude, wobei dieser Wert je nach Aufenthaltsdauer bis zu einem Maximalwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup> angehoben werden kann,

empfohlen.

Diese Referenzwerte sollen nach den Informationen von den zuständigen Mitarbeitern bei EURATOM mit Empfehlungswerten vergleichbar sein.

Die o. g. Werte sind zwar etwas niedriger als die bisher in Sachsen empfohlenen Werte, liegen aber auch in der Größenordnung der aktuellen Empfehlungswerte der ICRP, der IAEA und der WHO, deren Empfehlungen in Sachsen bisher bereits übernommen worden sind.

#### **3.2 Maßnahmen**

Innerhalb dieses Rahmens sollen die Mitgliedstaaten

(a) feststellen in welchen existierenden Gebäuden der Referenzwert überschritten wird und dort Radon-reduzierende Maßnahmen anregen und

(b) sicherstellen, dass in radongefährdeten Gebieten Radonmessungen in öffentlichen Gebäuden durchgeführt werden.

Über die in Sachsen schon im Rahmen verschiedener Messprogramme durchgeführten Untersuchungen wurde in den Veranstaltungen der vergangenen Sächsischen Radontage beispielhaft berichtet. Wesentlich ist bei diesem Regelungspunkt, dass er keine umfassende Verpflichtung der Erhebung für jedes Gebäude enthält, sondern den Umfang der Maßnahmen dem jeweiligen Mitgliedstaat überlässt.

#### **3.3 Aktionsplan**

Die Mitgliedstaaten sollen technische Regeln für Gebäude erstellen um den Zutritt von Radon aus dem Boden zu verhindern und wie im nationalen Aktionsplan spezifiziert für Baumaterialien die Einhaltung von solchen Regeln verlangen, besonders in radongefährdeten Gebieten, um zu vermeiden, dass die Radonkonzentrationen die Referenzwerte für neue Gebäude übersteigen.

Die Erstellung technischer Regeln wäre eine sehr anspruchsvolle Aufgabe, die auf Bundesebene zu lösen wäre. Hier stellt sich aber die grundsätzliche Frage nach dem Umfang des administrativen Eingriffs. Entscheidend wird sein, ob man hier auf stringente nationale Regelungen mit einem hohen Verwaltungsaufwand setzt, oder die eigene Verantwortung der Betroffenen fordert und fördert. Die

EU-Forderung lässt nach unserer Auffassung beide Varianten zu. Es gibt keine Verpflichtung jeden Einzelfall zu überprüfen.

Die ausdrückliche Ausweisung von radongefährdeten Gebieten über die bestehenden Radonkarten hinaus sehen wir nicht als sinnvoll an. Der Begriff einer „Gefahrenkarte“ würde zu einer Stigmatisierung und möglicherweise zu einer wirtschaftlichen und sozialen Benachteiligung der „Gefahren“-Regionen führen. Sie würde darüber hinaus ggf. in vielen Einzelfällen falsche Befürchtungen hervorrufen. Des Weiteren wäre eine solche Karte irreführend, da das Radonrisiko sich nicht nur aus der geogenen Belastung ergibt, sondern in weit höherem Maßstab aus der Bauweise der betreffenden Gebäude und deren Nutzung.

### **3.4 Informationen**

Die Mitgliedstaaten sollen auf regionaler und nationaler Ebene Informationen über die üblichen Radonkonzentrationen, über die Gesundheitsrisiken und über die verfügbaren technischen Mittel, um die bestehenden Konzentrationen zu verringern, zur Verfügung stellen. Dies wird im Freistaat Sachsen bereits seit vielen Jahren erfolgreich praktiziert. Damit ist diese Zielsetzung der bevorstehenden EU-Regelung im Grundsatz in Sachsen bereits umgesetzt. Deshalb wollen wir die bisherige Strategie fortsetzen und intensivieren.

Die Aktivitäten zum Radonschutz müssen im Falle der Umsetzung der EU Grundnorm aufgrund der niedrigeren Empfehlungswerte angepasst werden. Defizite für eine Verbesserung des Strahlenschutzes sehen wir noch in der Darstellung klarer bautechnischer Leitlinien, kostengünstiger Bautechnologien und in der qualitätsgerechten Ausführung der jeweiligen Baumaßnahmen zum Radonschutz sowie in einer sachgerechten Aus- und Weiterbildung der Bauausführenden. Hierbei wäre es äußerst sinnvoll, wenn hierzu einheitliche nationale Leitlinien, Bauvorschriften sowie Ausbildungspläne erarbeitet würden.

## **4 Aktuelle Aktivitäten zum Radonschutz in Gebäuden in Sachsen**

### **4.1 Information und Öffentlichkeitsarbeit**

#### **4.1.1 Radonberatungsstelle**

Die 1992 eingerichtete Radonberatungsstelle in Bad Schlema wird von der Staatlichen Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) betrieben. Sie dient vorrangig als Anlaufstelle für Betroffene aus dem Freistaat Sachsen, um Informationen zum Thema zu erhalten. Zunehmend melden sich aber auch Bürgerinnen und Bürger aus allen anderen Bundesländern. Die Radonberatungsstelle führt auch eigene Messprogramme durch.

Bei Veranstaltungen von Verbänden und Kammern werden im Rahmen von Vorträgen Wissen vermittelt. Auf den sächsischen Baumessen in Dresden, Chemnitz und Zwickau ist die Radonberatungsstelle jährlich mit Infoständen vertreten. Hier werden viele interessierte Bauherren und Hausbesitzer erreicht.

Daneben gibt es auch viele weitere kleinere Veranstaltungen, bei denen die kompetente Vermittlung von Fragen zum Radonschutz gefragt ist.

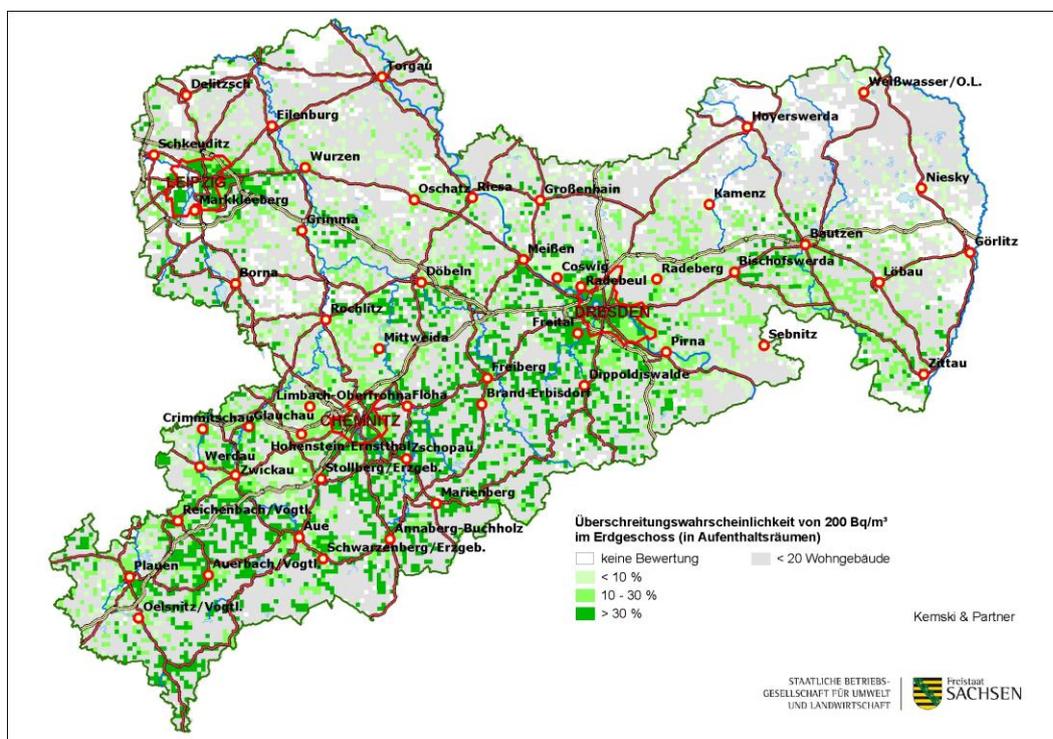
#### 4.1.2 Radonkarten zu Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Zur besseren Sensibilisierung der breiten Öffentlichkeit aber insbesondere für Kommunen und Planer wurde die sächsische Radonprognosekarte erstellt, welche auf dem Sächsischen Radontag 2010 vorgestellt worden ist. Darauf aufbauend wurden von der BfUL die zu erwartenden Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Referenzwerten für die Radonkonzentration in Gebäuden im Freistaat Sachsen im 1 x 1 km-Raster abgeschätzt und in Kartenform dargestellt. Diese Kartendarstellung soll zur Information der Bürger dienen und die Baubehörden in den Gemeinden und Landkreisen bei deren Entscheidungsfindung unterstützen.

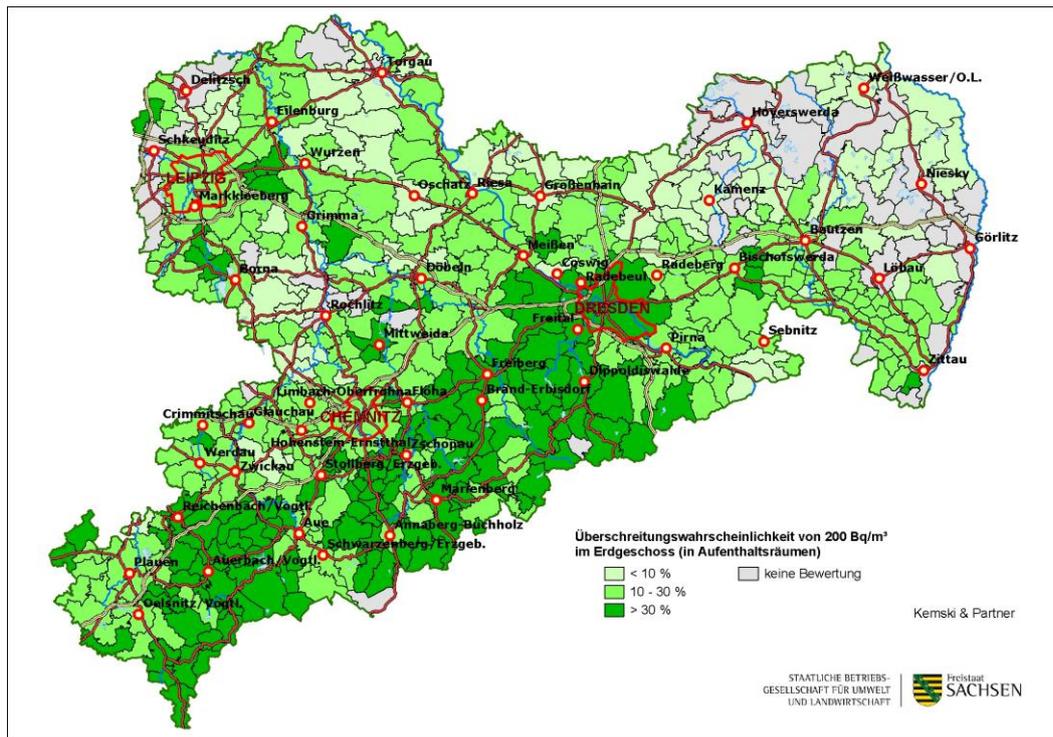
Eine weitere Darstellung gibt die zu erwartende Überschreitungswahrscheinlichkeit der Radonkonzentration von 200 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen im Erdgeschoß von Wohngebäuden an Hand der Gemeindegrenzen an (Abb. 2). Hier wurden die zur Verfügung stehenden Daten auf Gemeindeebene so zusammengefasst, dass sowohl die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für die Gebäudebestände der einzelnen Gemeinden als auch mit Hilfe der digitalen Liegenschaftskarten die absoluten Anzahlen der betroffenen Gebäude summarisch abgeschätzt werden konnten. Gemeinden, in denen sich die Prognose nur auf Flächen gestützt hätte, in denen weniger als 75 % der vorhandenen Wohngebäude stehen, wurden nicht bewertet. Rasterelemente ohne Bodenluftprognose sind mit "keine Bewertung" in der Karte gekennzeichnet. Rasterelemente (jeweils 1 km<sup>2</sup>) mit einer Bebauung von weniger als 20 Wohngebäuden werden ebenfalls ohne Prognose der Überschreitungswahrscheinlichkeit dargestellt.

Aus den Karten können keine Rückschlüsse auf einzelne Grundstücke und Wohnungen gezogen werden. Weil die Radonkonzentration in Gebäuden von den jeweiligen Bedingungen im Bauuntergrund, der Bauweise sowie den Gebäudeeigenschaften abhängt, kann sie kleinräumig variieren und selbst zu benachbarten Gebäuden erhebliche Unterschiede aufweisen. Deshalb kann es durchaus sinnvoll sein, auch in den Gebieten, die ein geringes Radonpotenzial aufweisen und auch die Überschreitungswahrscheinlichkeiten niedrig sind, Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft vorzunehmen, um eine spezifische Standortsituation konkret bewerten zu können.

Weiterführende Informationen sind auf der Internetseite des SMUL unter (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm>) zu erhalten.



**Abb. 1:** Überschreitungswahrscheinlichkeit der Radonkonzentration von 200 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen im Erdgeschoß von Wohngebäuden im 1 x 1 km-Raster



**Abb. 2:** Überschreitungswahrscheinlichkeit der Radonkonzentration von 200 Bq/m<sup>3</sup> in Aufenthaltsräumen im Erdgeschoß von Wohngebäuden nach Gemeindegebiet

#### 4.1.3 Veröffentlichungen und Medienarbeit

Ein sehr großer Schwerpunkt der gesamten Arbeit auf dem Gebiet des Radonschutzes ist der gesamte Bereich der Informationsarbeit. Dazu zählen sowohl die gedruckten als auch die elektronischen Veröffentlichungen. Im nachfolgenden sind die wichtigsten Veröffentlichungen aufgeführt.

- „Radon: Vorkommen – Wirkung – Schutz“, SMUL, 2009 (Broschüre)
- „RADON – Informationen über Eigenschaften, Vorkommen, Messverfahren, gesundheitliche Aspekte und bauliche Maßnahmen“, SMUL 2009 (interaktive CD)
- „Radioaktivität und Strahlenschutz, Normalität oder Risiko?“, SMUL 2005 (Broschüre)
- „Umweltradioaktivität – Messung und Überwachung“ SMUL, 2009

Zunehmend wird der Internetauftritt des SMUL genutzt, um wichtige Informationen rasch zu veröffentlichen. Unter der Internetseite (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/index.html>) sind umfangreiche weiterführende Informationen abrufbar. Sie wird ständig aktualisiert.

Neue Ergebnisse aus Untersuchungen zur Radonproblematik werden in der Regel durch Pressemitteilungen flankierend bekannt gegeben. Diese führen nicht selten zu Nachfragen interessierter oder besorgter Bürger.

Einige Beiträge konnten im digitalen Newsletter des Sächsischen Staatsministerium des Innern veröffentlicht werden. Dieser Newsletter wird im monatlichen bis zweimonatigen Abstand an alle Kommunen im Freistaat Sachsen versandt.

Neben den Anfragen aus der regionalen Medienlandschaft (Presse, Rundfunk und Fernsehen) ist zunehmend auch ein überregionales Interesse zu verzeichnen.

## 4.2 Messprogramme

Die Messprogramme des Freistaates Sachsen konnten trotz der vergleichsweise bescheidenen zur Verfügung stehenden Mittel fortgeführt werden. Sie dienen der kontinuierlichen Erweiterung und Unterersetzung des vorhandenen Kenntnisstandes. Dies betrifft z.B. ein bei der BfUL laufendes Messprogramm für Gebäude in Gebieten mit erhöhten Radonkonzentrationen. Des Weiteren wurden von der BfUL Messungen von Studenten der HTW unterstützt. Dazu soll im kommenden Jahr an dieser Stelle berichtet werden.

Geplant sind noch Messungen in zu sanierenden öffentlichen Gebäuden. Diese werden in den kommenden Monaten vorbereitet.

## 4.3 Baumaßnahmen

Bei der Entwicklung der sächsischen Radonschutzstrategie wurde auf weitere markante Eckpfeiler gesetzt, die sich im Baubereich ansiedeln.

### 4.3.1 Bauplanung

Den Kommunen ist es bereits jetzt schon möglich in ihren Planungsunterlagen gewisse Informationen zum radongeschützten Bauen als Information für potentielle Bauherren aufzunehmen. Die entsprechenden Flächennutzungs-, Bauleit- und Bebauungspläne dürften dafür geeignet sein. Beispielhaft wird dieses Instrument von der Landeshauptstadt Dresden genutzt. Flächendeckend wird jedoch noch zu wenig davon Gebrauch gemacht. Aber gerade diese Planungsunterlagen stellen eine erste Information an Bauwillige dar.

### 4.3.2 Bauausführung

Seit einigen Jahren bereits werden bei der Planung von neuen staatlichen Gebäuden bzw. bei der Rekonstruktion von solchen Radonschutzmaßnahmen vorgesehen. Das Sächsische Immobilien- und Baumanagement hat hierbei eine Vorreiterrolle übernommen. Beispielhaft sollen hier nur ein Schulneubau in Dresden-Loschwitz, einen Kindergartenneubau in Heidenau und der Laborneubau für die BfUL in Nossen erwähnt werden. Alle sind als Passivhaus ausgeführt und haben entsprechende Radonschutzmaßnahmen vorgesehen.

Bei dem gegenwärtigen Fördervorhaben „Schulhaussanierungen“ sollen Fördermittel zukünftig nur dann ausgereicht werden, wenn in den Antragsunterlagen ein ausreichender Radonschutz nachgewiesen wird.

Die Qualität der Bauausführung ist einer der wesentlichsten Einflussfaktoren auf die Radoninnenraumkonzentration bei Neubauten und Sanierungsvorhaben. Grundlegende Fehler, die hierbei gemacht werden, haben große Auswirkungen auf die spätere Radoninnenraumkonzentration und können – wenn überhaupt - später teilweise nur noch mit erheblichen Aufwendungen korrigiert werden können.

Die Zertifizierungsvorgaben der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) beinhalten bisher den Radonschutz nur als Option. Wir wollen hier zukünftig eine höhere Verbindlichkeit erreichen.

## **4.4 Aus- und Weiterbildung**

### **4.4.1 Fachkräfte im Bauwesen**

Effizienter Radonschutz kann nur erreicht werden, wenn die Gebäudeplanung und die Bauausführung nach den aktuellen Regeln der Baukunst erfolgen und bei allen daran Beteiligten ein Grundverständnis für das Radonproblem vorhanden ist. Deshalb müssen die Bemühungen darin liegen, den Radonschutz in die Ausbildung der künftigen Baufacharbeiter, der Bauingenieure und der Architekten entsprechend der jeweiligen Anforderungen zu integrieren. Weiterbildungsmaßnahmen müssen das Bildungsangebot dringend ergänzen. Beispielgebend sei hier die schon seit vielen Jahren durchgeführte spezielle Ausbildung der Bauingenieure an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) erwähnt.

Diesbezüglich arbeiten wir auch seit mehr als einem Jahr erfolgreich mit dem Berufsförderungswerk Bau Dresden und der sächsischen Bauakademie zusammen. Gemeinsame Zielsetzung ist die Erarbeitung von Ausbildungsgrundlagen für Radonsicheres Bauen und Sanieren. Aus dieser Zusammenarbeit ging im Wesentlichen die Initiative für die Gründung einer Projektgruppe für eine RAL Gütegemeinschaft zum radonsicheren Bauen und Sanieren hervor. Auch die Zusammenarbeit mit der sächsischen Architektenkammer hat im vergangenen Jahr Früchte getragen. Dort wird bei Weiterbildungsveranstaltungen nunmehr die Wechselwirkung zwischen energetischem Bauen und Sanieren und dem Radonschutz für Gebäude vermittelt.

Auch solche Tagungen wie beispielsweise dieser 5. Sächsische Radontag, der eine Plattform zum Wissens- und Gedankenaustausch sein soll, sind Bausteine zu Wissensvermittlung unter Fachleuten.

### **4.4.2 Schulischer Unterricht**

Eine frühzeitige Wissensvermittlung zur Radioaktivität an Schulen kann auch über das Thema Radon erfolgen, wobei hier auch gleichzeitig ein Baustein zum Radonverständnis gelegt werden kann. Zwei Beispiele sollen dies belegen.

Im Rahmen eines Pilotprojektes des LfULG, das bereits auf den vergangenen Radontagen vorgestellt worden ist, wurde in den Jahren 2008 bis 2010 an zwei sächsischen Schulen besondere Aufklärungsarbeit zum Thema Radon, zum Gesundheitsrisiko durch erhöhte Radonwerte und zu möglichen Schutzmaßnahmen geleistet. Dabei wurde in einem Gymnasium und an einer Mittelschule Unterricht erteilt. Die Schüler wurden angeleitet, eigenständig zu Hause die Radonkonzentration zu messen sowie den Einfluss von Lüftungsmaßnahmen auf die Radonwerte zu erfassen. Mittels Fragebögen wurde die Veränderung der Risikowahrnehmung im Verlauf des Projektes bei den Schülern, deren Eltern und Lehrern erfasst. Es wurden Empfehlungen für die Unterrichtsgestaltung an Gymnasien und Mittelschulen sowie zur Gestaltung von Projekttagen zum Thema Radon erarbeitet. Es ist vorgesehen, diese Empfehlungen auszubauen und komplette Unterrichtsmaterialien den daran interessierten Schulen bereit zu stellen. Weitergehende Informationen sind unter (<http://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/25144.htm>) erhältlich.

Seit 2009 kommen durch Unterstützung des SMUL 10 „Philion“ - Experimentierkoffer an ausgewählten Schulen zum Einsatz. Diese wurden von Herrn Prof. Henning von Philippsborn von der Universität Regensburg entwickelt und sollen der Grundlage von Radonexperimenten der Wissensvermittlung grundlegender Zusammenhänge der Kernphysik und der Radioaktivität dienen. Die radioaktiven Quellen in diesen Philion-Experimentier-Sets liegen weit unter der Freigrenze der Strahlenschutzverordnung. Sie sind daher anzeige- und genehmigungsfrei und können auch von Schülerinnen und Schülern ohne Gefahr in Versuchen benutzt werden. Die Betreuung dieses Einsatzes wird von der BfUL übernommen.

## **4.5 Persönliches Engagement und Förderung der eigenen Verantwortung**

Private Bauherren können sich schon in der Planungsphase ihrer Gebäude mit dem Thema Radon in Innenräumen auseinandersetzen und durch Bau- bzw. Dienstleistungsverträge mit den Architekten und Bauausführenden die Einhaltung von Radoninnenraumkonzentrationen fordern. Für Baubetriebe sollte dies als ein Marketingvorteil angeboten werden. Qualität am Bau einschließlich der entsprechenden Garantieleistungen ist immer ein Wettbewerbsvorteil, zumal, wenn mit einfachen wirksamen Mitteln ein dauernder Radonschutz gewährleistet werden kann.

Im Jahr 2009 wurden am Amtsgericht Aue zwei zivilrechtliche Verfahren durchgeführt, bei denen erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen beklagt und deshalb Mietzinsreduzierungen gefordert wurden. In einem Fall wies die Radonkonzentrationen durchschnittlich über 1300 Bq/m<sup>3</sup> auf. Dieser Klägerin wurde wegen dieser hohen Werte Recht gegeben. In einem zweiten Fall wurde aufgrund einer durchschnittlichen Radonkonzentration von weniger als 300 Bq/m<sup>3</sup> die Klage abgewiesen. Das Amtsgericht führte in seinen Entscheidungen aus, dass eine Belastung von weniger als 400 Bq/m<sup>3</sup> als zumutbar einzuschätzen sei. Es schloss sich damit der Auffassung des Gutachters in diesen Fällen an.

In einem weiteren Klagefall, für den Radonkonzentrationen oberhalb von 400 Bq/m<sup>3</sup> die Ursache waren, wurde daraufhin frühzeitig eine Einigung im Rahmen eines Vergleichs angestrebt.

Damit wurde erstmalig deutlich, dass die Notwendigkeit des Radonschutzes direkt zwischen Mieter und Vermieter geklärt werden kann. Dies hat weitreichende Folgen für die Nutzung von Wohnungen insbesondere in den von der Radonproblematik am stärksten betroffenen Regionen. Mit nationalen Empfehlungswerten wäre eine ausreichende Rechtsgrundlage geschaffen, um auch schwierige Einzelfälle hinreichend zwischen den einzelnen Parteien zu klären.

## **4.6 Klärung offener Fragen**

### **4.6.1 Bodenradonmessung**

Im Rahmen und am Rande des letzten Radontages 2010 wurde eine intensive Diskussion über die sachgerechte Durchführung von Bodenradonmessungen geführt. Die Notwendigkeit der Befassung mit dieser Fragestellung wurde nicht nur von uns gesehen, weshalb das BfS einige ausgewählte Experten zu Gesprächen mit der Zielsetzung der Klärung einlud. Möglicherweise können die Ergebnisse der Gespräche beim Radontag im kommenden Jahr vorgestellt werden.

### **4.6.2 Bau-Normen und Qualitätsmarken**

Da viele Technologien zum bautechnischen Radonschutz im Rahmen anderer Sachverhalte geregelt sind und die Einführung neuer Baunormen mit einem langwierigen Prozess verbunden ist, sollen anhand von vorliegenden Fallstudien die jeweiligen Radonschutzmaßnahmen betrachtet und bestehende Normen in Bezug auf ihre Übertragbarkeit auf den Radonschutz geprüft werden.

## 4.7 Netzwerke (Synergien) schaffen

Unter der Ägide von KORA soll gemeinsam mit dem Berufsförderungswerk Bau Dresden und der Bauakademie Sachsen eine Projektgruppe zur Gründung einer RAL-Gütegemeinschaft für radonsicheres Bauen und Sanieren entstehen (s.o.). Dies wird von uns ideell unterstützt.

Die bestehende Zusammenarbeit mit ČR und anderen Nachbarländern soll im Rahmen von konkreten gemeinsamen Projekten intensiviert und weiter ausgebaut werden.

Hilfreich ist auch die Zusammenarbeit mit anderen Ressorts (SMS - Innenraumhygiene, SMI - Baurecht, SMK – Unterrichtsmaterialien Radon, SMWA - Schulhausbau) sowie mit der sächsischen Architektenkammer und der Deutsche Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB).

## 5 Schlussfolgerungen

Die von den verschiedenen nationalen und internationalen Organisationen für einen Radonschutz vorgeschlagenen Empfehlungswerte differenzieren zwar, liegen aber in einer Größenordnung. Sie beruhen auf umfangreichen epidemiologisch-toxikologischen Studien und sind gut begründet. Im niedrigen Konzentrationsbereich kleiner 200 Bq/m<sup>3</sup> Radoninnenraumkonzentration bestehen nach wie vor noch große Unsicherheiten. Ein Empfehlungswert von 300 Bq/m<sup>3</sup> Radoninnenraumkonzentration für Maßnahmen könnte deshalb als allgemein konsensfähig angenommen werden. Die endgültige Vorlage der EU-Kommission zur Novelle der EU-GN, nachdem sich die Mitgliedstaaten hierzu geäußert haben, bleibt abzuwarten.

Der empfehlende Charakter dieser Radonempfehlungswerte kann nur unterstrichen werden. Es sollte möglich sein, dass Strahlen- und Gesundheitsschutz auch auf der Grundlage von Empfehlungswerten gewährleistet werden kann. Es ist wichtig, dass die öffentliche Hand hierbei vorbildhaft ihre Neubauten und Sanierungsvorhaben an den Anforderungen eines Radonschutzes ausrichtet. Dies sollte gerade vor dem Hintergrund der energetischen Sanierung der vorhandenen Bausubstanz ein Schwerpunkt sein. Bauen und Radonschutz sollte in der gesamten Baubranche stärker verankert werden. Während sich bestimmte energetische Bauweisen (Passivhaus mit Luftwärmetauscher) durchaus positiv auf den Radonschutz auswirken, können aber energetische Isolierungen von Außenwänden und Dächern ohne Fachkenntnisse zum Radonschutz gegenteilige Wirkung haben und die Radonkonzentrationen in Gebäuden stark erhöhen.

Im Freistaat Sachsen werden wir wie bisher weiterhin auf Kommunikation, Aufklärung und Transparenz setzen. Die Palette der zur Verfügung stehenden Möglichkeiten konnte sehr erweitert werden. Sie reicht von dem wesentlichen Standbein der Beratungen durch die sächsische Radonberatungsstelle über die Aus- und Weiterbildung bis zur Berücksichtigung des Radonschutzes bei Neu- und Sanierungsbauvorhaben der öffentlichen Hand.

## 6 Literaturverzeichnis

- [1] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden - Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Verabschiedet auf der 124. Sitzung der SSK am 21./22.04.1994; Veröffentlicht im BAnz Nr. 155 vom 18.08.1994
- [2] Epidemiologische Untersuchungen zum Lungenkrebsrisiko nach Exposition gegenüber Radon - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 169. Sitzung der SSK am 31.10.2000; Veröffentlicht im BAnz Nr. 35 vom 20.02.2001
- [3] Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 192. Sitzung der SSK am 24./25.06.2004; Veröffentlicht im BAnz Nr. 141 vom 30.07.2004
- [4] Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 208. Sitzung der SSK am 11./12.07.2006; Veröffentlicht im BAnz Nr. 81 vom 28.04.2007
- [5] Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen - Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 199. Sitzung der SSK am 21./22.04.2005
- [6] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4)
- [7] International Commission on Radiological Protection – Statement on Radon, ICRP Ref 00/902/09; 2009
- [8] IAEA Safety Standards, Draft 4.0 International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Draft Safety Requirements DS 379, 9 September 2010
- [9] WHO Handbook on Indoor Radon. A public health perspective. - Edited by Hajo Zeeb and Ferid Shannoun, World Health Organisation 2009
- [10] Draft EURATOM Basic Safety Standards Directive – Version 24 February 2010, Article 100, Radon in dwellings and buildings with public access)
- [11] Beschluss des Sächsischen Landtages vom 08.12.2005 (Drucksache 4/3546)



# UMSETZUNG DER NEUEN RADONSCHUTZZIELE IN DER BAUPRAXIS

## IMPLEMENTATION OF THE NEW RADON PROTECTION GOALS IN BUILDING PRACTICE

Walter-Reinhold Uhlig

HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur

### **Zusammenfassung**

*Die Anforderungen an den baulichen Radonschutz werden sich im Zusammenhang mit dem Beschluss der Europäischen Strahlenschutzverordnung (EU-Basic Safety Standards) auch in Deutschland deutlich erhöhen.*

*Der Beitrag fasst zusammen, welche Fragen im Vorfeld der Einführung zu klären sind und schlägt Schritte für einen Nationalen Maßnahmenplan vor.*

### **Summary**

*The demands for the architectural radon protection will clearly increase in connection with the decision of the European ray protection order (EU BASIC Safety standards) also in Germany.*

*The contribution summarises which questions are to be cleared in the approach of the introduction and suggests steps for a national action plan.*

## **1 Aktuelle Situation in Deutschland**

Bisher sind in Deutschland keine verbindlich anzuwendenden Regelungen für das radonsichere Bauen und Sanieren eingeführt worden. Lediglich (relativ unverbindliche) Empfehlungswerte für die Begrenzung der Radonkonzentration in der Raumluft sind durch das Bundesamt für Strahlenschutz im Radonhandbuch Deutschland [1] zusammengestellt worden (s. Tabelle 1). Aus diesen Empfehlungswerten können i.A. keine öffentlich-rechtlichen Verantwortlichkeiten abgeleitet werden, zivilrechtliche Haftungen sind nur in eng begrenzten Fällen denkbar bzw. bekannt. Für einige wenige besonders exponierte Arbeitsplätze – so im Bergbau oder in Wasserwerken - sind in der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) [2] Grenzwerte festgelegt worden. Ausführlich ist die aktuelle rechtliche Situation von L. Giesbert und G. Kleve auf dem 3. Sächsischen Radontag dargestellt worden [3].

Der planende und ausführende Architekt bzw. Bauingenieur legt seinem Handeln bauliche Verfahren und Lösungen sowie Mess- und Prüfverfahren zugrunde, die entweder in Vorschriften (zum Beispiel nach DIN) beschrieben oder aber als „allgemein anerkannten Regeln der Bautechnik“ bekannt sind. Für das radonsichere Bauen dagegen sind in Deutschland bisher weder klare Verfahrensregeln, eindeutige Prüf- und Messverfahren, noch genau beschriebene Ausführungsregeln festgelegt

worden. Heute übliche Ausführungslösungen des radonsicheren Bauens und Sanierens beruhen zu einem großen Teil auf Erfahrungswerten. Die nur sehr allgemeinen Beschreibungen baulicher Lösungen im Radon-Handbuch Deutschland können dem planenden und bauausführenden Architekten und Bauingenieur keine konkreten Hilfestellungen geben. Die Definition, welche Baustoffe und Konstruktionslösungen als radondicht gelten, ist willkürlich festgelegt und kann einer strengen wissenschaftlichen Begründung nicht standhalten.

Zusammenfassend ist zu konstatieren, dass fehlende rechtliche Verpflichtung für radonsicheres Bauen sowie nur in Ansätzen vorhandene standardisierte Prüf- und Ausführungsregeln dazu führen, dass die Fragen des radonsicheren Bauens und Sanierens zumeist unbeachtet bleiben, häufig den Baufachleuten überhaupt nicht bekannt sind.

## 2 Veränderungen des baulichen Radonschutzes im Ergebnis der Umsetzung der Europäischen Strahlenschutzverordnung

Die Euratom – die Europäische Atomgemeinschaft – hat in ihrem im Februar dieses Jahres vorgelegten Entwurf der neuen Europäischen Strahlenschutzverordnung (EU-Basic Safety Standards), erstmals im Article 100 Regelungen für Radon aufgenommen. Aktuell wird davon ausgegangen, dass dieses Papier 2012 bzw. 2013 beschlossen wird. Danach sind alle Mitgliedsstaaten der EU verpflichtet, die Festlegungen der Verordnung in nationales Recht zu überführen und somit Richtwerte für die Radonkonzentration in Wohn- und Arbeitsräumen einzuführen (sogenannter Aktionsplan). Hierfür werden den Ländern in der Regel Zeiträume von maximal 5 Jahren eingeräumt, sodass spätestens 2019 mit einer nationalen Regelung zu rechnen ist.

In welcher Form die nationale Umsetzung erfolgt, ist den Mitgliedsländern der EU überlassen.

Weitere internationale Gremien, wie z.B. die WHO haben sich ebenfalls mit der Frage der Begrenzung der Radonkonzentration in der Raumluft befasst. So ist u.a. das WHO-Radonhandbuch [4] entstanden.

In der folgenden Übersicht (Tabelle 1) sind die Änderungen, die sich aus der Europäischen Strahlenschutzverordnung ergeben, den Werten des Radonhandbuch Deutschland sowie des WHO-Radonhandbuches gegenübergestellt.

**Tabelle 1:** Überblick über die Änderungen im Radonschutz

	bisher	zukünftig	
<i>Quelle</i>	<b>Radonhandbuch Deutschland</b> (2000)	<b>EU-Basic Safety Standards</b> (Entwurf 2010)	<b>WHO-Radonhandbuch</b> (2009)
<i>Werte:</i>	Neubau: <b>200 Bq/m<sup>3</sup></b> Sanierung: <b>400 Bq/m<sup>3</sup></b>	Neubau: <b>200 Bq/m<sup>2</sup></b> besteh. Geb.: <b>300 Bq/m<sup>3</sup></b> bestimmte öffentl. Gebäude: <b>bis 1.000 Bq/m<sup>3</sup></b>	<b>100 Bq/m<sup>3</sup>:</b> Vorsorgewert  <b>≤ 300 Bq/m<sup>3</sup>:</b> Referenzwert
<i>Verbindlichkeit der Werte:</i>	<b>Richtwerte</b>	<b>Referenzwerte</b> (Grenzwerte?)	
<i>Weitere (verbindliche) Festlegungen</i>	<b>keine</b>	<b>Nationaler Aktionsplan</b> mit: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Identifizierung belasteter Gebäude</li> <li>• Radonmessungen in öffentlichen Gebäuden</li> <li>• Erlassen besonderer Bauvorschriften</li> <li>• Kontrolle der Maßnahmen</li> <li>• Information der Bevölkerung</li> </ul>	

Die Erfahrung zeigt, dass die Verbindlichkeit der unterschiedlichen Wertebezeichnungen häufig nicht eindeutig bekannt ist. Es ist deshalb im Folgenden eine Definition der Begriffe zusammengestellt worden:

#### Richtwert:

- ist ein Mess- oder Zahlenwert, den man einhalten und nach dem man sich richten **soll**, ohne dass ein Zwang dazu besteht oder Strafen drohen;
- er ist ein Empfehlungswert mit gewissem Nachdruck;
- die Einhaltung ist erwünscht.
- Wird ohne guten Grund oder grob fahrlässig gegen Richtwerte gehandelt, kann das zu **zivilrechtlichen** Klagen führen.
- Nach DIN 820-2 entspricht ein Richtwert dem Verb „sollen“

#### Referenzwert:

- *allgemein*: Bezugswert, auf den sich andere Werte (z.B. Messungen) beziehen
- *Im Zusammenhang mit der Radonkonzentration in der Raumluft*:
  - Referenzwert ist der **maximal akzeptierter Wert** für die Radonkonzentration in Wohnräumen (Quelle: Pressemitteilung des BfS vom 22. September 2009 zum Erscheinen des WHO-Radonhandbuches)
- Eine vergleichbare Verbindlichkeit haben z.B. die sich aus der EnEV ergebenden Anforderungen

#### Grenzwert:

- **Maximal zulässige Menge/Konzentration** eines Umwelt- oder gesundschädlichen Stoffes

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die zu erwartenden Veränderungen der Radon-Schutzziele vor allen Dingen aus der erhöhten Verbindlichkeit der Anforderungen ergeben. Die in den EU Basic Safety Standards aufgenommenen Referenzwerte der Radonkonzentration verändern dagegen nur unwesentlich die Höchstwerte der Radonkonzentration in den Räumen gegenüber dem Radon-Handbuch Deutschland. Inwieweit dem mit 100 Bq/m<sup>3</sup> deutlich höherem Zielwert des WHO-Radonhandbuches gefolgt werden sollte, soll hier nicht weiter diskutiert werden.

Somit konzentrieren sich die Auswirkungen auf das (radonsichere) Bauen und Sanieren dahingehend, dass Regelungen für die folgenden Aspekte geschaffen werden müssen:

- Eindeutige Festlegungen zur Definition und Ermittlung der Ausgangswerte,
- Schaffung von klaren Regelungen für Messungen
- Beschreibung mehr oder weniger exakter, eindeutiger baulicher Lösungen
- Eindeutige Definition von Baustoffeigenschaften sowie Festlegung von Regeln zum Baustoffeinsatz
- Ggf. Festlegung von Sonderregeln für Bestandsgebäude

Notwendig ist es zudem, im Vorfeld der Umsetzung der EU Safety Standards umfangreiche Schulungen der Architekten und Bauingenieure sowie weiterer am Bau Beteiligten und eine deutlich verbesserte Information der Öffentlichkeit zu initiieren und durchzuführen.

### 3 Schlussfolgerungen für das radonsichere Bauen und Sanieren

#### 3.1 Allgemeines

Aus dem in Abschnitt 1 und 2 gezogenen Vergleich zwischen den in Deutschland bestehenden (bzw. fehlenden) Regelungen und der durch die EU geplanten Zielstellung ergibt sich hinsichtlich des radonsicheren Bauens und Sanierens Handlungsbedarf in die folgenden Richtungen:

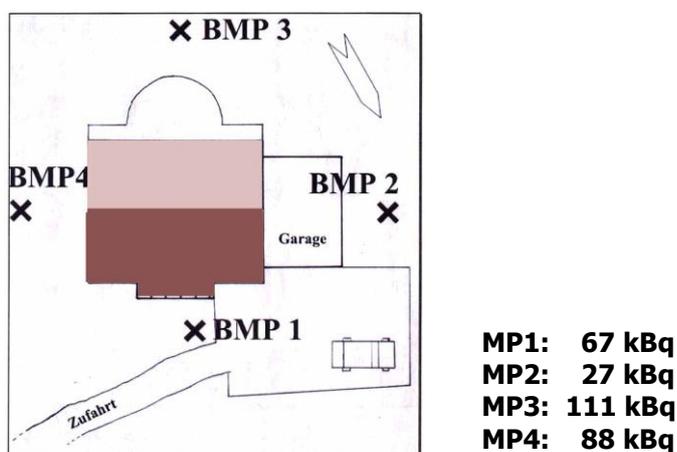
- Ermittlung der Ausgangswerte
- Definition von Referenzwerten und Festlegung zu deren Messung sowie Überwachung
- Entwicklung von bautechnischen Lösungen für Neubau und Sanierung
- Entwicklung standardisierter Prüfnormen für Baustoffe und Baukonstruktionen

#### 3.2 Ermittlung der Ausgangswerte für Neubauten

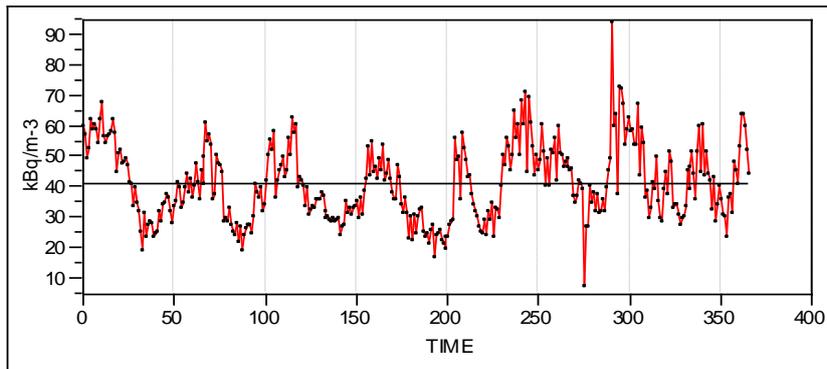
Für Neubauten ist die Bodenradonkonzentration der wesentlichste Ausgangswert zur Festlegung entsprechender baulicher Lösungen. Die Radonkarte Deutschland kann hierfür lediglich erste Anhaltswerte liefern. Selbst genauere, auf einer größeren Anzahl von Messungen basierende regionale Karten, wie sie z.B. für Sachsen vorliegen, sind als alleinige Entscheidungsgrundlage nicht ausreichend. Um ortskonkrete Werte zu erhalten, sind Bodenradonmessungen unumgänglich. Diese können im Zusammenhang mit einer geologischen Einschätzung des Baugrundes zu ausreichend genauen Ausgangswerten führen.

Aktuell gibt es in Deutschland weder ausgereifte Verfahrensregeln für die Messung der Bodenradonkonzentration, die geeignet wären, mit geringem finanziellen Aufwand eine sichere Vorhersage zu treffen, noch Verfahren zur Bestimmung der Bodenradonkonzentration, die sich aus den geologischen Gegebenheiten direkt ableiten lassen.

Bodenradonmessungen werden heutzutage zumeist als Einzelmessungen in ca. 1 m Tiefe durchgeführt. Dabei zeigt es sich, dass selbst relativ nah beieinander liegende Messungen zu außerordentlich verschiedenen Ergebnissen führen können (Abb. 1).



**Abb. 1:** Ergebnisse von Bodenradonmessungen an einem Einfamilienhaus [5] (Abstand der Messpunkte untereinander weniger als 20 m). Alle Messungen sind in einer Tiefe von ca. 1 m unter Geländeniveau durchgeführt worden.



**Abb. 2:** zeitliche Schwankungen der Bodenradon-konzentration an einem festen Messpunkt ( nach [6])

Alle Messungen des Beispiels in Abb. 1 sind an einem Tag ausgeführt worden, die Messungen erfolgten durchgehend in einer Tiefe von ca. 1 m unter Geländeniveau. Bedenkt man, dass als weitere wesentliche Varianzfaktoren noch die Abweichung der Gründungs- von der Messtiefe (i.a. liegt die Baugrubensohle deutlich tiefer als 1 m unter Geländeoberkante) sowie die starken jahreszeitlichen und wetterabhängigen Schwankungen (s. Bild 2) hinzukommen, können die summierten Messabweichungen durchaus den Faktor 10 erreichen! Eine solche Streuung der Messergebnisse kann als Grundlage für bauliche Entscheidungen nicht akzeptiert werden. Das Argument, dass mit aufwändigeren Messungen deutlich bessere Ergebnisse erreicht werden können, ist zwar richtig, aber für die baupraktische Umsetzung wenig hilfreich.

Um zum einen den Messaufwand zu begrenzen, zum anderen eine sichere Grundlage für das Bauen zu erhalten, ist eine stufenweise Herangehensweise sinnvoll:

### 1. Schritt: Risikoabschätzung

Über die Definition von Radonvorsorgegebieten werden große Bereiche Deutschlands als nur gering radonbelastet eingestuft. Für diese Gebiete kann bei Anwendung von baulichen Regelungen, wie sie für die Abdichtung gegen Feuchte in DIN 18 195 beschrieben sind, ein ausreichender Radonschutz gewährleistet werden. Messungen der Bodenradonkonzentration wären danach nicht erforderlich.

### 2. Schritt: Orientierungsphase

Für alle weiteren Gebiete sind Bodenradonmessungen durchzuführen, wobei hierzu standardisierte Verfahren zu entwickeln und einzuführen sind. Inwieweit hier geologische und bodenmechanische Gegebenheiten zur Bewertung des Bodens mit herangezogen werden, ist noch zu untersuchen und zu entscheiden.

### 3. Schritt: Detailphase

Festlegung konkreter Lösungen für die Bauausführung, die einen genügenden Radonschutz erbringen.

Eine solche Herangehensweise könnte den Aufwand für die Ermittlung der Bodenradonkonzentration auf ein vertretbares Maß reduzieren und gleichzeitig die Anforderungen an den baulichen Radonschutz erfüllen. Wichtig wäre es, das Bewusstsein hinsichtlich einer hohen Ausführungsqualität von Bauteilanschlüssen, Rohrdurchführungen usw. zu schärfen, um konvektive Lufteintrittswege in der erdberührten Hülle weitestgehend auszuschließen (s. auch Punkt 3.5).

## 3.3 Ermittlung der Ausgangswerte für bestehende Gebäude

Es ist bekannt, dass die Radonkonzentration in der Raumluft in bestehenden Gebäuden neben der Quelle Bodenradon maßgeblich durch die Ausführung der erdangrenzenden Baukonstruktionen und weitere Faktoren bestimmt ist. Die Messung der Bodenradonkonzentration im Vorfeld von Sanierungsmaßnahmen ist deshalb wenig zielführend. Vielmehr sind Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft erforderlich. Um den Aufwand auf ein verträgliches Maß zu begrenzen, wird auch hier wiederum ein stufenweises Herangehen vorgeschlagen:

### 1. Schritt: Risikoabschätzung

Die Einordnung in Radongebiete stellt auch hier den ersten Schritt dar, ist allerdings nicht ausreichend. Inwieweit für alle Gebäude zur Risikoabschätzung eine kurzzeitige Messung mittels Dosimeter vorgesehen wird, unabhängig davon, ob das Gebäude in einem Radonvorsorgegebiete liegt oder nicht, ist noch abzustimmen.

### 2. Schritt: Orientierungsphase

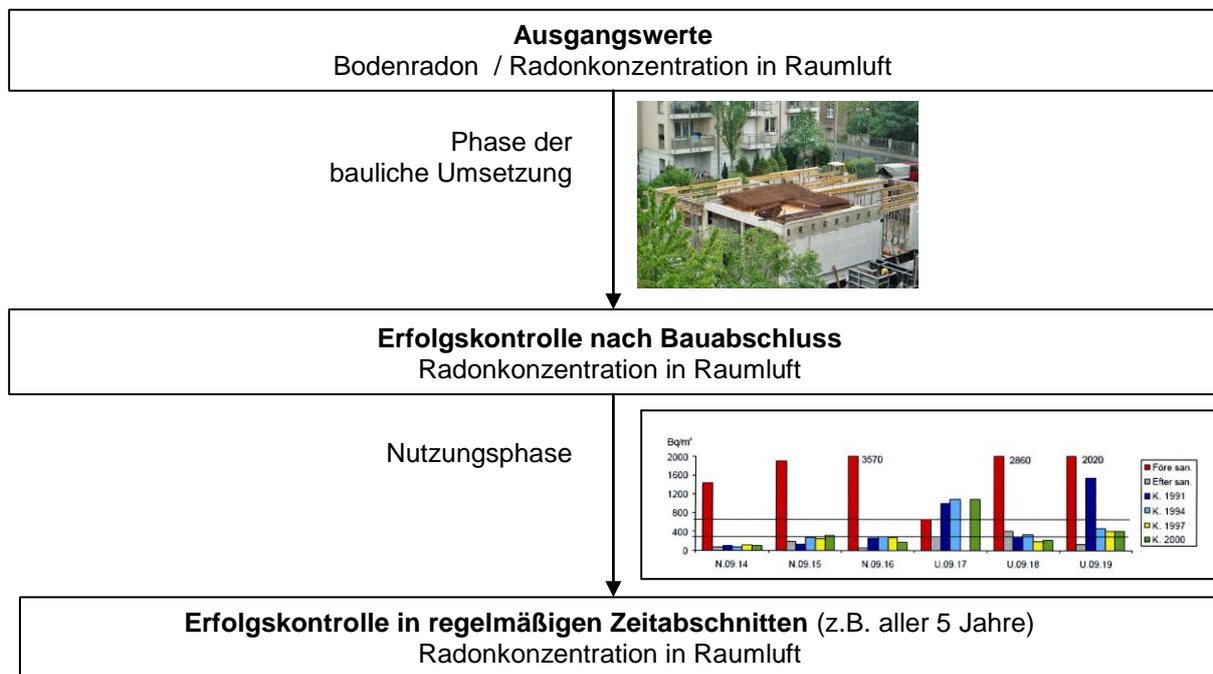
Für alle Gebäude, in denen mit der Risikoabschätzung ein gewisser, noch festzulegender Wert der Radonkonzentration in der Raumluft überschritten worden ist, sind detaillierte Messungen und ggf. weitere Untersuchungen (Ortung von Eintrittspfaden usw.) durchzuführen. Hierfür können entweder Langzeitmessungen mittels Dosimeter oder/und zeitaufgelöste Messungen zur Anwendung kommen. Für diesen Schritt sind noch standardisierte Messabläufe zu entwickeln und einzuführen. Zu berücksichtigen sind die starken Schwankungen der Radonkonzentration in der Raumluft in Abhängigkeit von der Jahreszeit sowie der Nutzung des Raumes.

### 3. Schritt: Detailphase

Sind die Radonkonzentrationen bestimmt und ggf. die Eintrittswege identifiziert, können bauliche und Lüftungstechnische Maßnahmen festgelegt und ausgeführt werden.

## 3.4 Schaffung eines Qualitätsmanagements für das radonsichere Bauen und Sanieren

Für den Erfolg radonbegrenzender bzw. –senkender Maßnahmen ist die Einführung einer Erfolgskontrolle zwingend erforderlich, die auch eine Nachkontrolle in regelmäßigen Zeitabständen einbezieht (Abb.3). Dabei kann in Analogie zu den Radonmessungen der Ausgangswerte (s. Punkt 3.2 und 3.3) ein gestuftes Vorgehen dahingehend sinnvoll sein, dass bei niedrigen Ausgangswerten auf die Erfolgskontrolle verzichtet werden kann oder diese in reduziertem Umfang durchgeführt wird. Für das Qualitätsmanagement sind standardisierte Abläufe zu entwickeln und in die Baupraxis einzuführen.



**Abb. 3:** Prinzipieller Aufbau eines Qualitätsmanagements für die Überwachung der Radonkonzentration in der Raumluft

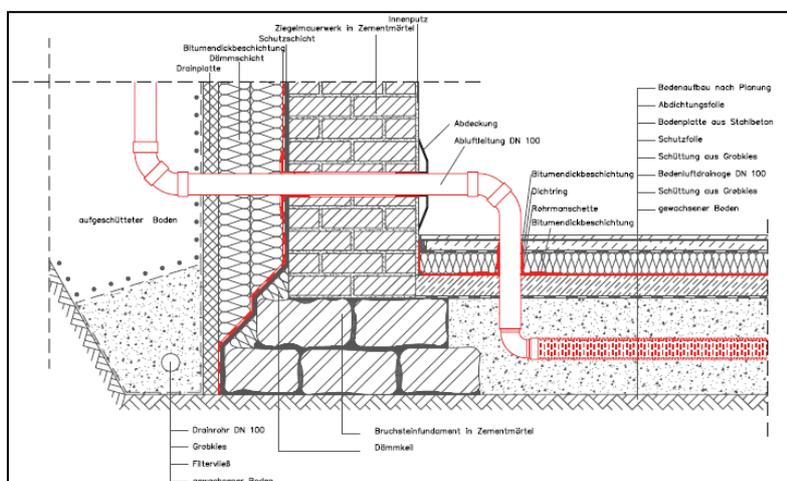
Während die Ermittlung der Ausgangswerte sowie die Erfolgskontrolle nach Bauabschluss relativ einfach realisierbar sind, da sie organisatorisch an den Bauprozess „angehängt“ werden können, ist die Durchsetzung regelmäßiger Erfolgskontrollen während der Nutzungsphase nur schwer durchsetzbar, da sie immer mit einem Eingriff in die Privatsphäre der Nutzer zusammenhängen. Sowohl rechtlich als auch praktisch wird zumindest für den privaten Nutzer der hier vorgeschlagene dritte Schritt nur auf freiwilliger Basis realisierbar sein.

### 3.5 Bauliche Regelungen

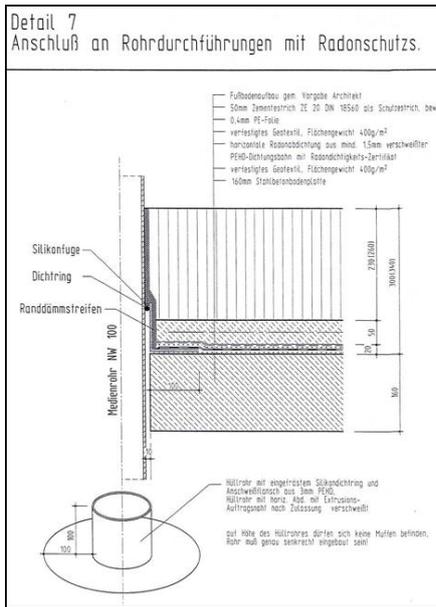
Die Erfahrung, die der planende und ausführende Architekt bzw. Bauingenieur heute macht, wenn er sich mit radonschützenden Maßnahmen befasst, ist die, dass er auf keinerlei standardisierte bzw. über Vorschriften geregelte Lösungen und Abläufe zurückgreifen kann. Zwar sind durchaus für nahezu alle Aufgaben des radonsicheren Bauens Lösungen bekannt und baupraktisch erprobt. Für die zu erwartende Einführung von Referenzwerten der Radonkonzentration in der Raumluft (mit entsprechend höherer Verbindlichkeit als die heute existierenden Richtwerte - s. Abschnitt 2) müssen aber sowohl für die Baustoffprüfung als auch Bauausführung eindeutige und nachprüfbare Regelungen entwickelt und eingeführt werden. Insbesondere betrifft das die folgenden Schwerpunkte:

- Verhinderung konvektiver Luftströme durch die erdberührte Gebäudehülle durch eine hohe Dichtheit der Gebäudehülle
- Begrenzung der Diffusion durch die Baukonstruktionen
- Regelungen für Lüftungstechnische Maßnahmen (Radonbrunnen, Flächendränagen) in der Sanierungspraxis
- Regelung zur Baustoffprüfung

Es ist zweifelsfrei nachgewiesen, dass Undichtheiten in der Gebäudehülle der maßgebliche Faktor für das Einströmen radonhaltiger Bodenluft ins Gebäude ist, die Diffusion durch die Baukonstruktion dagegen nur einen sehr geringen Einfluss hat (s. u.a. [7]). Insofern verwundert es, dass in der heutigen Baupraxis Baustoffe und –konstruktionen das Qualitätssiegel „radondicht“ in erster Linie von ihrem Diffusionswiderstand ableiten. Konstruktionslösungen, die sich mit der Radondichtheit befassen, sind bisher nur in wenigen Untersuchungen systematisch entwickelt und getestet worden. Beispiele zeigen die Abbildungen 4 und 5.



**Abb. 4:** Beispiel einer baulichen Detaillösung für eine Flächendränage in Altbauten (nach [8])



**Abb. 5:** Beispiel für eine bauliche Detaillösung für eine Rohrdurchführung im Holzbau (nach [9])

Wichtig ist es, mit der Entwicklung von Detaillösungen Vorgaben zur Qualität der eingesetzten Baumaterialien sowie der Baudurchführung zu verbinden.

Weiterhin sind zumindest in Deutschland Verbesserungen, die in der Altbausanierung durch lufttechnische Maßnahmen erzielt worden sind, bisher nicht systematisch erfasst und ausgewertet worden. Inwieweit hier belastbare Ergebnisse überhaupt möglich sind, ist im Rahmen weiterer Grundlagenuntersuchungen zu ermitteln.

Die Prüfung von Baustoffen erfolgt derzeit durch spezialisierte Einrichtungen nach mehr oder weniger individuell entwickelten Prüfverfahren (Abb. 6).



Abbildung 42: Links: interner Radonmonitor (Radon Scout)  
Rechts: externer Radonmonitor (Atmos 12 DPX)

**Abb. 6:** Beispiel für einen Prüfaufbau von Baustoffen (nach [10])

Hinsichtlich der Baustoffprüfung sind die folgenden Fragen zu klären:

- Welche Baumaterialien sind zu klassifizieren, für welche ist keine Prüfung und Klassifizierung erforderlich
- Schaffung von einheitlichen, reproduzierbaren Prüfvorschriften
- Einführung von Qualitätskriterien hinsichtlich der Radonexhalation aus Baustoffen (z.B. in Form eines CE-Prüfzeichens) bzw. der Eignung für die Anwendung in radondichten Konstruktionen.

### 3.6 Besondere Regelungen für den Gebäudebestand

Auf den Zusammenhang zwischen energetischem Bauen und der Radonkonzentration in der Raumluft soll hier nur kurz eingegangen werden. Die teilweise deutlich erhöhten Radonwerte nach energetischen Maßnahmen sind in erster Linie auf reduzierte Luftwechselraten zurück zu führen. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, dass durch reduzierte Luftwechselraten neben der Erhöhung der Radonkonzentration in der Raumluft weitere Parameter der Raumluft, wie Erhöhung der Raumluftfeuchte und Erhöhung der Schadstoffkonzentration einhergehen. In diesem Zusammenhang ist es anzustreben, dass eine übergreifende Lösung entwickelt und in die Vorschriften zum energetischen Bauen übernommen wird, mit der Mindestwerte des Luftwechsels definiert werden.

Mit der Einführung von Referenzwerten der Radonkonzentration in der Raumluft erhält die Frage, wie mit vorhandenen erhöhten Radonkonzentrationen im Gebäudebestand zu verfahren ist, besondere Bedeutung. Sind Referenzwerte eingeführt, wird dies zwangsläufig zu Forderungen zur Erfüllung dieser Werte führen, unabhängig davon, ob eine Sanierung geplant ist oder nicht. Aktuell wird in Deutschland ca. 1% des Gebäudebestandes/Jahr saniert. Die hier aufgeworfene Frage hat demnach eine hohe Bedeutung. Es ist somit zu klären, ob für Gebäude mit sehr hohen Radonkonzentrationen in der Raumluft gesetzliche Regelungen eingeführt werden sollen bzw. können, welche Hausbesitzer zur Durchführung baulicher und/oder Lüftungstechnischer Maßnahmen zur Reduzierung der Radonwerte verpflichten. Diese Fragestellung beinhaltet eine mögliche allgemeine Verpflichtung zur Radonmessung in Bestandsgebäuden und führt zur rechtlichen Fragestellung, inwieweit ein solcher Eingriff vor allen Dingen im privaten Bereich grundsätzlich durchsetzbar ist. Auf analoge Überlegungen zum Eingriff in den Gebäudebestand im Zusammenhang mit energetischen Maßnahmen (s. EnEV 2009) soll hier verwiesen werden.

Eine weitere Fragestellung ist mit der bekannten Tatsache verbunden, dass vor allen Dingen im Gebäudebestand zum Teil erhebliche bauliche und finanzielle Aufwendungen erforderlich werden, um die Referenzwerte zu erreichen. Hier ist – auch wiederum in Analogie zu den Festlegungen aus der EnEV – ein wirtschaftlicher Vorbehalt dahingehend erforderlich, dass ggf. durch einfache Maßnahmen zwar eine Reduzierung, aber nicht das Niveau der Referenzwerte erreicht werden kann.

Der hier aufgeworfene Fragenkomplex erfordert die Einführung von Aktionsprogrammen, welche die folgenden Schwerpunkte beinhalten:

- Durchführung von Messkampagnen zur Identifizierung besonders hoch belasteter Gebäude
- Auflegung von Programmen zur finanziellen Unterstützung von Maßnahmen des baulichen Radonschutzes
- Inwieweit ggf. Zwangsmaßnahmen zur Durchführung radonsenkender Maßnahmen einbezogen werden, bedarf einer gründlichen, vor allen Dingen rechtlichen, Bewertung.

## 4 Maßnahmeplan

Wurde im Abschnitt 2 ein Zeitplan bis zur Einführung von Referenzwerten und weiteren sich aus den EU-Basic Safety Standards ergebenden Festlegungen skizziert und erschien der mögliche Zeitraum bis maximal 2019 relativ weit liegend, zeigen die hier kurz erläuterten noch offenen Fragestellungen, dass bis zur Einführung noch viele, zum Teil komplizierte Klärungsprozesse anstehen.

Es ist deshalb dringend erforderlich, einen nationalen Maßnahmeplan aufzulegen, mit dem die folgenden Schritte bearbeitet werden:

1. Umfassende Schulung und Information für
  - Architekten, Bauingenieure, Bauausführende
  - Auftraggeber, Immobilienbesitzer, Wohnungswirtschaft

- Verwaltungen
  - Information einer breiten Öffentlichkeit
2. Regelungen zur Messung und Prüfung von
    - Bodenradon
    - Radonkonzentration in der Raumluft
    - Baustoffe
  3. Entwicklung und Prüfung baulicher und Lüftungstechnischer Lösungen
    - Entwicklung von Standards für das radonsicher Bauen und Sanieren einschl. der Einführung von Gütestandards
    - Entwicklung standardisierter Prüfverfahren für Baustoffe und Baukonstruktionen

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Radon-Handbuch Deutschland, Bonn 2001
- [2] Verordnung über den Schutz von Schäden durch ionisierende Strahlung vom 20.07. 2001, BGBl. I 1714 (2002, 1459).
- [3] Giesbert, Ludger und Guido Kleve: Öffentlich-rechtliche Verantwortung und zivilrechtliche Haftung für Radonbelastung; Tagungsband 3. Sächsischer Radontag; Dresden 2009
- [4] WHO handbook on indoor Radon; WHO 2009
- [5] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern, Diplomarbeit HTW Dresden, 2006
- [6] Conrady, Jürgen, Karel Turek, Andreas Guhr, Pavel Zarsky: Der Einfluss meteorologischer Parameter auf die Radonkonzentration in der Bodenluft; Tagungsband 4. Sächsischer Radontag, Dresden 2010
- [7] Uhlig, Walter-Reinhold: Bauliche Grundlagen des radonsicheren Bauens und Sanierens; Tagungsband 1. Sächsischer Radontag, Dresden 2007
- [8] Marz, Dominik: Beitrag zur Konzeption radondichter Baukonstruktionen; HTW Dresden, 2007
- [9] Liebscher, Bernd: Entwicklung von radondichten Holzbauteilen; Tagungsband 2. Sächsischer Radontag, Dresden 2008
- [10] Sell, Sebastian: Radonexhalation aus Wandbaustoffen, Diplomarbeit HTW Dresden, 2008

# MASSNAHMEN ZUM RADONSCHUTZ BEIM NEUBAU UND BEI DER SANIERUNG NACH TSCHECHISCHEN BAUNORMEN

## RADON PROTECTIVE AND REMEDIAL MEASURES ACCORDING TO THE CZECH BUILDING STANDARDS

Martin Jiránek

Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering, Praha (CZ)

### **Zusammenfassung**

*Die Grundsätze der konstruktiven Auslegung und der Ausführung von Maßnahmen des vorbeugenden Radonschutzes und bei Sanierungen nach den nationalen tschechischen Normen ČSN 730601 "Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden" und ČSN 730602 "Schutz von Gebäuden gegen Radon und Gammastrahlung aus Baumaterialien" werden beschrieben. Die Anforderungen an radondichte Membrane und andere Komponenten, die Teil von Systemen zur Radonreduktion sind, werden vorgestellt.*

### **Summary**

*Principles of designing and realization of radon preventive and remedial measures in accordance with the Czech national standards ČSN 730601 Protection of buildings against radon from the soil and ČSN 730602 Protection of buildings against radon and gamma radiation from building materials are described. Requirements for radon-proof membranes and other components that are part of radon reduction systems are presented.*

## **1 Einführung**

Die Planung und Ausführung von Maßnahmen gegen Radon wurden in der Tschechischen Republik im Jahr 1995 standardisiert. Seit dieser Zeit sollen alle Arten von Radonschutzmaßnahmen einschließlich solcher zur Sanierung in Übereinstimmung mit den tschechischen Normen ČSN 730601 "Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden" und ČSN 730602 "Schutz von Gebäuden gegen Radon und Gammastrahlung aus Baumaterialien" geplant und realisiert werden. Diese Normen geben die Konstruktions- und Anwendungsprinzipien verschiedener Methoden zur Radon-reduktion wieder. Die Anforderungen an Materialien und Systemkomponenten werden ebenfalls in den Normen vorgestellt.

## **1 Introduction**

Design and realization of radon countermeasures was standardised in the Czech Republic in 1995. Since that time all types of radon protective and remedial measures should be designed and installed in accordance with the Czech national standards ČSN 730601 Protection of buildings against radon from the soil and ČSN 730602 Protection of buildings against radon and gamma radiation from building materials. These standards present the principles of designing and application of various types of radon reduction techniques. Requirements for materials and components that are part of radon reduction systems are also introduced by these standards.

## 2 Radonschutz bei Neubauten

Laut tschechischer Gesetzgebung muss jedermann, der ein neues Haus mit Wohnräumen bauen will, den **Radonindex des Baugrunds** messen. Seine Bestimmung basiert auf der Erfassung der Gaspermeabilität des Bodens und der Radonkonzentration in der Bodenluft. Beide Parameter werden direkt auf dem zu bebauenden Grundstück in einer Tiefe von 0,8 m unter der Erdoberfläche gemessen [1]. Die Radonkonzentration unter dem realen Haus kann jedoch signifikant von derjenigen abweichen, die im Baugrund gemessen wurde. Daher hängt die Art und Weise der Ausführung des Schutzes von Neubauten gegen Radon aus dem Boden vom **Radonindex des Hauses** ab. Diese Größe wird durch den Radonindex des Baugrunds, den Typ des Gebäudes und seine Position im Bodenprofil in Bezug auf die Erdoberfläche sowie durch alle baulichen Beeinflussungen der Permeabilität des Baugrunds bestimmt.

### Schutzprinzipien

Wenn der Radonindex des Gebäudes niedrig ist, wird durch einen gewöhnlichen Feuchte-schutz ein ausreichender Schutz gegen Radon aus dem Boden erreicht. Im Falle eines mittleren Radonindex wird der grundlegende Schutz durch eine radondichte Folie, die über die gesamte Fläche der erdberührenden Gebäudeteile verlegt werden muss, hergestellt. Alle Fugen zwischen den Folienbahnen wie auch zu den Leitungsdurchführungen müssen dabei sorgfältig abgedichtet werden. Wenn der Radonindex des Gebäudes hoch ist, dann genügt eine radondichte Isolierung als Einzelmaßnahme nur, falls die abgeschätzte Radonkonzentration unter dem Haus kleiner ist als:

- 60 kBq/m<sup>3</sup> in hochpermeablen Böden,
- 140 kBq/m<sup>3</sup> in Böden mit mittlerer Permeabilität,
- 200 kBq/m<sup>3</sup> in Böden mit niedriger Permeabilität.

Wenn die oben genannten Grenzen überschritten werden oder sich eine hochpermeable Kiesschicht unter dem Haus befindet oder die direkt an die Bodenplatte grenzenden Räume beheizt sind, muss die radondichte Folie mit anderen Maßnahmen kombiniert werden, wie z.B.:

- Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte gegenüber dem Gebäudeinneren oder

## 2 Protection of new buildings

According to Czech legislation, anyone who wants to build a new house with habitable rooms must measure the radon index of the foundation soils. Its determination is based on the assessment of the soil permeability and soil gas radon concentration. Both parameters are measured directly on the particular building site at a depth of 0.8 m below the ground level [1]. However, radon concentrations under real houses can differ significantly from concentrations measured on the building site. Therefore the way in which protection of new buildings against radon from the soil is carried out depends on the **radon index of the building**. This quantity is determined by the radon index of the foundation soils, type of building and its position in the soil profile with respect to the ground level and by all building activities influencing the permeability of foundation soils.

### Principles of protection

If the radon index of the building is low, a common waterproofing creates a sufficient protection against radon from the soil. In case of a medium index the basic protection is provided by a radon-proof membrane, which has to be applied over the entire surface of the building substructure that is in contact with the soil. All joints between membranes and all pipe penetrations must be carefully sealed. If the radon index of the building is high, radon-proof insulation as a single measure is sufficient only, if the estimated radon concentration under the house is lower than:

- 60 kBq/m<sup>3</sup> in highly permeable soils,
- 140 kBq/m<sup>3</sup> in soils with a medium permeability,
- 200 kBq/m<sup>3</sup> in soils with a low permeability.

If the above-mentioned limits are exceeded or highly permeable gravel layer is placed under the house or the ground/basement floor is equipped with an underfloor heating, radon-proof membrane must be provided in combination with other measures, such as:

- sub-slab depressurization, or
- floor air gap depressurization.

- Entlüftung eines Hohlraums im Fußbodenaufbau

### Radondichte Folien

Es dürfen nur Materialien als radondichte Folien genutzt werden, die Barriereigenschaften aufweisen, welche durch die Messung des Radondiffusionskoeffizienten nachgewiesen wurden, und die eine erwiesene Haltbarkeit über die erwartete Lebensdauer des Gebäudes besitzen. Bitumenschichten mit Aluminiumfolien können wegen ihrer geringen Reißfestigkeit nicht als radondichte Folien dienen. Plastik-Noppenfolien sind ungeeignet, da es sich erwiesen hat, dass es nahezu unmöglich ist, mit ihnen gasdichte Fugen auszuführen. Die Anwendbarkeit einer Folie für die jeweilige Situation eines Wohnhauses wird aus der Berechnung der erforderliche Materialdicke abgeleitet. Die Berechnung berücksichtigt den Radon-Diffusionskoeffizienten des Isolationsmaterials, Bodenparameter (Radonkonzentration und Gaspermeabilität) und Hauscharakteristika (Kontaktfläche der erdberührenden Bodenplatte/Wände, Luftwechselrate, Raumluftvolumen) [4, 6, 7].

Die erforderliche minimale Dicke der Radon Schutzfolie wird für den konkreten Fall nach der tschechischen Norm ČSN 730601 [2] aus der folgenden Gleichung ermittelt:

$$d \geq l \cdot \operatorname{arcsinh} \frac{\alpha_1 \cdot l \cdot \lambda \cdot C_S}{E_{\lim}} \quad (\text{m}) \quad (1)$$

$$E_{\lim} = \frac{C_{\text{dif}} \cdot V \cdot n}{A_f + A_w} \quad (\text{Bq/m}^2\text{h}) \quad (2)$$

mit  $C_S$  ... Radonkonzentration in der Bodenluft unter dem Haus (in  $\text{Bq/m}^3$ )  
 $\lambda$  ... Radonzerfallskonstante ( $0,00756 \text{ h}^{-1}$ )  
 $d$  ... Materialdicke der Radonisolierung (in m)  
 $l$  ... Radondiffusionslänge im Folienmaterial,  $l = (D/\lambda)^{1/2}$  (in m),  
 $D$  ... Radondiffusionskoeffizient des Folienmaterials (in  $\text{m}^2/\text{h}$ )  
 $\alpha_1$  ... Sicherheitsfaktor (für hochpermeable Böden  $\alpha_1 = 7,0$ ; für Böden mit mittlerer Permeabilität  $\alpha_1 = 3,0$ ; für Böden mit niedriger Permeabilität  $\alpha_1 = 2,1$ )

### Radon-proof membrane

The only materials that may be used as radon-proof membranes are those with barrier properties that have been verified by measuring the radon diffusion coefficient, and that have proven durability corresponding to the expected lifetime of the building. Bitumen membranes with Al foil cannot serve as a radon-proof membrane due to their very low tear resistance, and plastic membranes with dimples are unsuitable due to evidence that it is almost impossible to form airtight joints with this material. Applicability of the particular membrane for a specific dwelling is derived from the calculation of its thickness. The calculation takes into account the radon diffusion coefficient in the insulation, soil parameters (radon concentration and permeability) and house characteristics (area in contact with the soil, air exchange rate, interior air volume) [4, 6, 7].

The required minimum thickness of the radon-proof membrane is in a particular case calculated according to the Czech Standard ČSN 730601 [2] from the following equations:

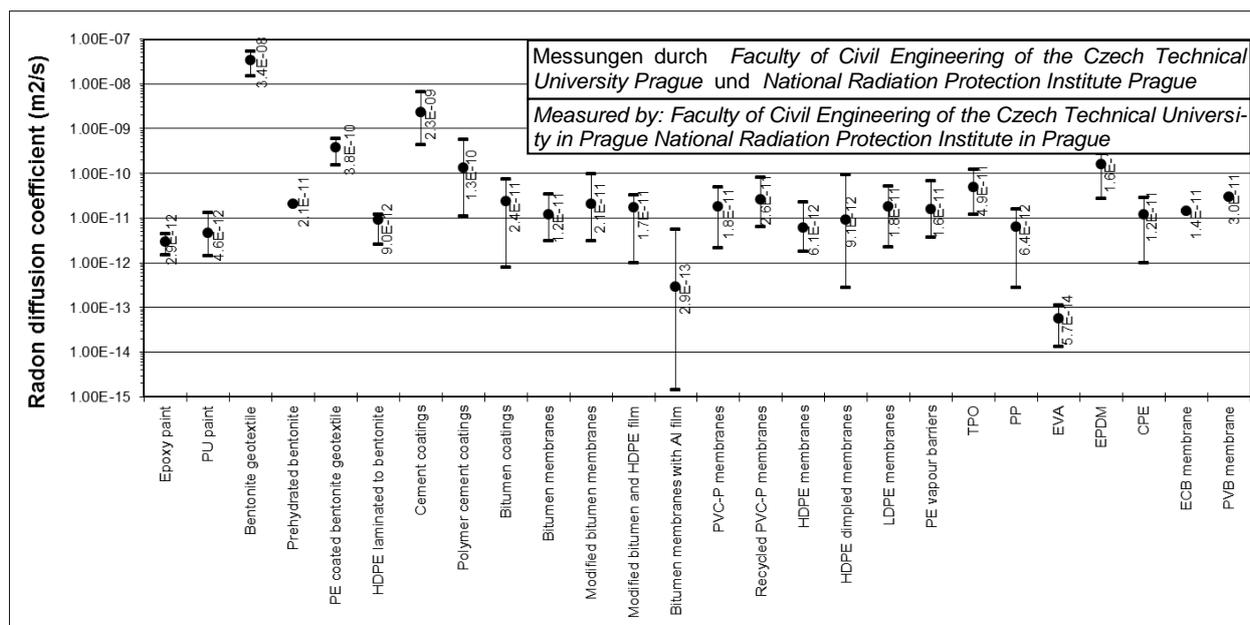
where  $C_S$  is the radon concentration in the soil gas under the house ( $\text{Bq/m}^3$ ),  $\lambda$  is the radon decay constant ( $0,00756 \text{ h}^{-1}$ ),  $d$  is the thickness of the radon-proof insulation (m),  $l$  is the radon diffusion length in the insulation  $l = (D/\lambda)^{1/2}$  (m),  $D$  is the radon diffusion coefficient in the insulation ( $\text{m}^2/\text{h}$ ),  $\alpha_1$  is the safety factor (for highly permeable soils  $\alpha_1 = 7,0$ , for soils with medium permeability  $\alpha_1 = 3,0$  and for low permeable soils  $\alpha_1 = 2,1$ ),  $V$  is the interior air volume ( $\text{m}^3$ ),  $n$  is the air exchange rate ( $\text{h}^{-1}$ ),  $A_f$  and  $A_w$  are the floor and the basement walls areas in direct contact with the soil ( $\text{m}^2$ ) and  $C_{\text{dif}}$  is a fraction of indoor concentration caused by diffusion, i.e.  $C_{\text{dif}}$  is estimated to be 10% of the action level for radon concentration indoors (in the Czech

- $V$  ... Raumluftvolumen (in  $m^3$ )  
 $n$  ... Luftwechselrate (in  $h^{-1}$ )  
 $A$  ... Kontaktflächen des Hauses zum Boden (Fußboden  $A_f$ , Wände  $A_w$ , in  $m^2$ )  
 $C_{dif}$  ... Anteil der Innenraum-Radonkonzentration, der durch Diffusion in das Haus gelangt, d.h.  $C_{dif}$  wird abgeschätzt als 10% des Eingreifwertes/Referenzwertes für die Innenraum-Radonkonzentration (in der Tschechischen Republik ist  $C_{dif}$  mit  $20 \text{ Bq/m}^3$  für Neubauten und  $40 \text{ Bq/m}^3$  für existierende Gebäude festgesetzt).
- $V$  ... Raumluftvolumen (in  $m^3$ )  
 $n$  ... Luftwechselrate (in  $h^{-1}$ )  
 $A$  ... Kontaktflächen des Hauses zum Boden (Fußboden  $A_f$ , Wände  $A_w$ , in  $m^2$ )

Republic  $C_{dif}$  is equalled to  $20 \text{ Bq/m}^3$  for new buildings and  $40 \text{ Bq/m}^3$  for existing buildings).

Values of the radon diffusion coefficient measured in various types of membranes by the Faculty of Civil Engineering of the Czech Technical University in cooperation with the National Radiation Protection Institute are summarized in Fig. 1 [9]. Detailed description of the measurement procedure can be found in [5, 8].

Die Werte für Radondiffusionskoeffizienten, die von der Fakultät für Bauwesen der Tschechischen Technischen Universität in Zusammenarbeit mit dem tschechischen Nationalen Strahlenschutzinstitut in verschiedenen Folienarten gemessen wurden, sind in Abb. 1 zusammengefasst [9]. Eine detaillierte Beschreibung des Messverfahrens befindet sich in [5, 8].



**Abb. 1: Übersicht über Radondiffusionskoeffizienten gemessen in 360 wasserdichten Materialien verschiedener chemischer Zusammensetzungen ("paint" - Anstrich; "coating" - Beschichtung; "Bentonite" - eine trockene Form von Natriumbentonit zwischen 2 Geotextilien oder Kraftpapierplatten; "modified bitumen membranes" - SBS: eine Mischung aus Asphalt**

und Styren-Butadien-Styren oder - APP: eine Mischung aus Asphalt und ataktischem Polypolypropylen PP; "modified bitumen and HDPE film" - Kombination aus SBS-modifiziertem Bitumen und HDPE-Trägerfilm; "TPO" - thermoplastisches Polyolefin; "ECB" - Ethylen-Mischpolymer-Bitumen; "PVB" - Polyvinylbutyral; "CPE" - chloriertes PE; "EVA" - Ethylenvinylacetat)

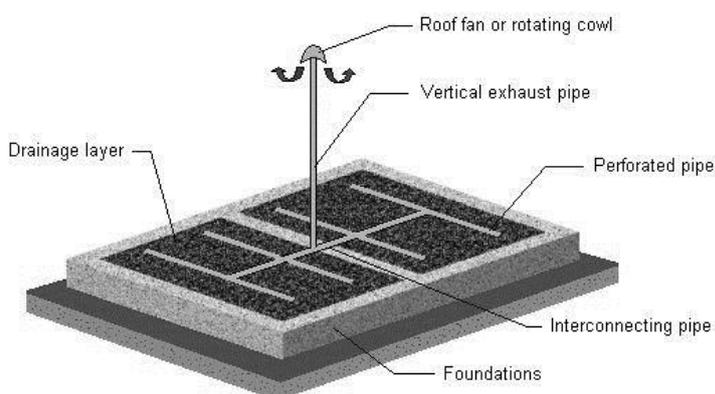
**Fig. 1:** Summary of radon diffusion coefficients measured in 360 waterproof materials of different chemical composition (Legend: Bentonite - a dry form of sodium bentonite placed between two geotextiles or kraft boards; modified bitumen membranes - SBS modification (a blend of asphalt and styrene-butadiene-styrene) or APP modification (a blend of asphalt and atactic polypropylene); modified bitumen and HDPE film - membranes combining SBS modified bitumen and HDPE carrier film; HDPE - high-density polyethylene; PE - polyethylene; recycled PVC - membranes made of recycled PVC; PP - polypropylene; TPO - thermoplastic polyolefin; PU - polyurethane; ECB - ethylene copolymer bitumen; PVB - polyvinyl butyral; CPE - chlorinated polyethylene; EVA - ethylene vinyl acetate)

### Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte

Systeme zur Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte bei Neubauten werden normalerweise durch mehrere, miteinander verbundene, perforierte Röhren realisiert, die in einer Schicht aus grobem Kies verlegt sind (Flächendrainage). Diese werden mit einem vertikalen Entlüftungrohr verbunden, das oberhalb des Gebäudedaches endet. Eine typische Anordnung eines Entlüftungssystems, das unterhalb der Bodenplatte eingesetzt wird, ist in Abb. 2 dargestellt. Die Abb. 3 zeigt einen Fußbodenaufbau mit Entlüftung der Kies-schicht. Die Bodenluft wird am oberen Ende des vertikalen Abluftrohres durch einen Ventilator oder eine rotierende Rohrhaube aus den perforierten Leitungen abgesaugt.

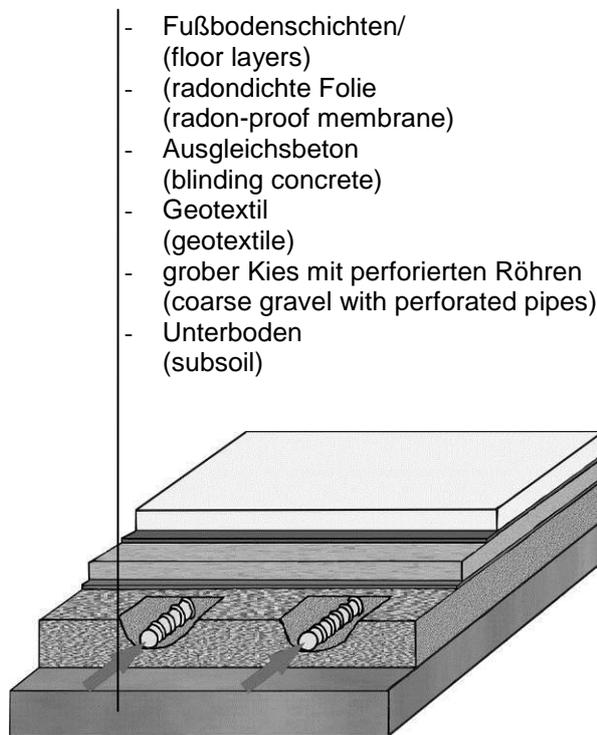
### Sub-slab depressurization

Sub-slab depressurization systems in new buildings are usually provided by a network of flexible perforated pipes placed in a sub-floor layer of coarse gravel. Perforated pipes are connected to a vertical exhaust pipe, which terminates above the roof. A typical arrangement of a sub-slab ventilation system is shown in Fig. 2, and a floor structure with soil ventilation is presented in Fig. 3. The soil air is sucked from the perforated pipes by a fan or rotating cowl that is installed at the top of the vertical exhaust pipe.

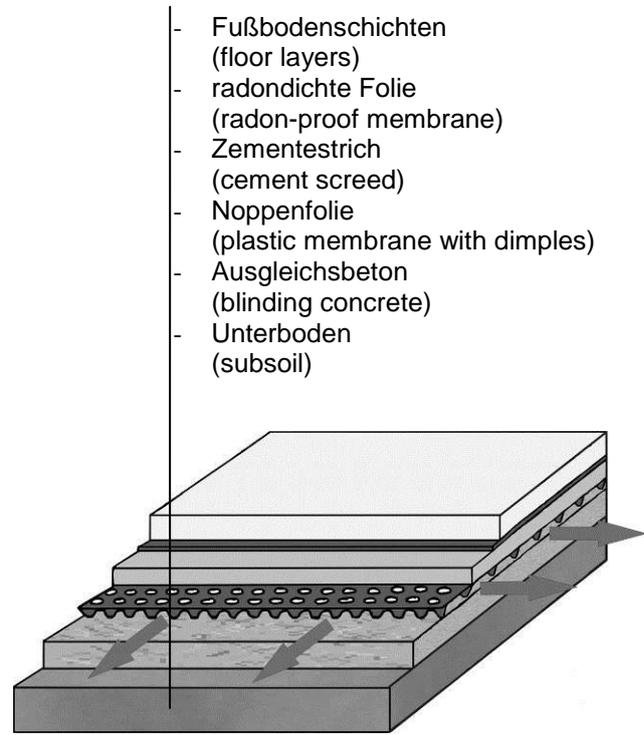


**Abb. 2:** System aus perforierten Röhren in der Drainageschicht bei Neubauten

**Fig. 2:** Network of perforated pipes convenient for new buildings



**Abb. 3:** Fußbodenaufbau mit Bodenentlüftung  
**Fig. 3:** Floor structure with the soil ventilation



**Abb. 4:** Fußbodenaufbau mit absichtlich geschaffenenem Hohlraum  
**Fig. 4:** Floor structure with an air gap

### Hohlraumentlüftung im Fußbodenaufbau

Absichtlich zu schaffende Hohlräume im Fußbodenaufbau werden normalerweise mit Noppenbahnen realisiert. In den meisten Fällen werden sie unterhalb einer radondichten Folie eingesetzt (Abb. 4). Die beste Lösung ist eine Entlüftung des Hohlraums über Dach. Dabei kann die natürliche oder eine technisch unterstützte Lüftung genutzt werden. Ein leichter Unterdruck in dem Zwischenraum ist zu empfehlen.

### Floor air gap ventilation

Air gaps in floor structures are usually formed by plastic membranes with dimples. In most cases, the floor air gap is implemented under a radon-proof membrane (Fig. 4). The best solution is to ventilate the air gap above the roof. Natural or forced ventilation can be used. A slight underpressure within the gap is recommended.

### 3 Sanierung existierender Gebäude

In bestehenden Gebäuden müssen verschiedene diagnostische Messungen durchgeführt werden, um die Radoneintrittspfade in das Gebäude und die Ausbreitungswege im Gebäude zu finden und die nötigen Informationen für die Planung wirksamer Sanierungsmaßnahmen bereitzustellen. Solche Messungen umfassen normalerweise die Radonkonzentration in allen Räumen, die Radonkonzentration in der Bodenluft und die Gaspermeabilität der Schichten im Unterboden sowie andere sinnvolle und hilfreiche Messungen gemäß tschechischer Norm ČSN 730601.

#### Prinzipien der Sanierung

Die Art und das Ausmaß der Sanierung hängen von der Höhe der Überschreitung des Eingreifwertes/Referenzwertes von  $400 \text{ Bq/m}^3$  für die Radonkonzentration, von der Art des Hauses und von der Anwendbarkeit von Maßnahmen in der existierenden Gebäudestruktur ab.

Gebäude, in denen der Wert von  $400 \text{ Bq/m}^3$  nicht deutlich überschritten wird (die Radonkonzentration bleibt kleiner als  $600 \text{ Bq/m}^3$ ), können in einfacher und kostengünstiger Weise durch die Abdichtung der Radoneintrittspfade, die Verbesserung der Kellerlüftung, das Unterbinden einer Luftströmung aus dem Keller in das Erdgeschoss, die Erhöhung der Luftwechselrate, die Erzeugung eines leichten Überdrucks innerhalb des Hauses saniert werden.

Gebäude mit Radonkonzentrationen oberhalb von  $600 \text{ Bq/m}^3$  sollten mit stärker wirksamen Methoden saniert werden. Die grundlegende und effektivste Lösung ist eine Unterdruck-erzeugung unterhalb der Bodenplatte. Hierbei ist solchen Systemen der Vorzug zu geben, die keine Rekonstruktion des Fußbodenaufbaus erfordern und nicht die Nutzung des Wohnraums behindern. Die Bodenluft kann aus perforierten Röhren abgesaugt werden, die in Bohrungen verlegt werden, die vom Keller (Abb. 5) oder von einem Graben an einer oder mehreren Seiten des Hauses (Abb. 6) in die Schicht unterhalb der Bodenplatte einzubringen sind. Eine andere Möglichkeit besteht darin, eine solche Installation von einer Vertiefung aus vorzunehmen, die in einem Raum des Hauses ausgehoben und danach

### 3 Remediation of existing buildings

In existing buildings a set of various diagnostic measurements must be performed in order to find radon entry routes into the building and radon pathways inside the building and to prepare information for the effective design of the remedial measure. The set usually comprises measurements of the radon concentration in all rooms, assessment of radon concentration and permeability of sub-floor layers and other reasonable and helpful measurements according to the standard ČSN 730601.

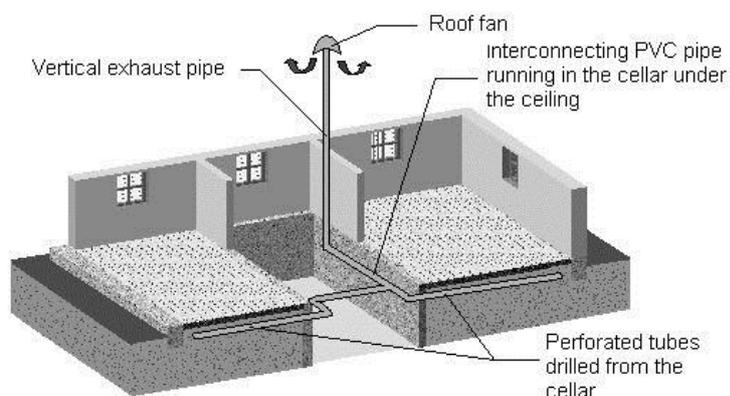
#### Principles of remediation

The type and the level of remediation depends on the degree of exceeding the action level  $400 \text{ Bq/m}^3$  for indoor radon concentration, type of the house and applicability of the measure into the existing structure.

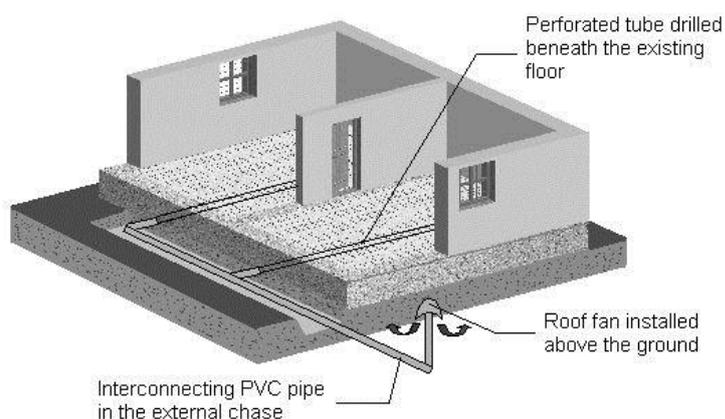
Buildings in which the level of  $400 \text{ Bq/m}^3$  is not so much exceeded (indoor radon concentration is below  $600 \text{ Bq/m}^3$ ) can be easily and inexpensively mitigated by sealing of radon entry routes, improving the cellar – outdoor ventilation, preventing the air movement from the cellar into the first floor, increasing the air exchange rate, creating a slight overpressure within the building.

Buildings with indoor radon concentration above  $600 \text{ Bq/m}^3$  should be remediated by more effective methods. The basic and the most effective solution is the installation of a sub-slab depressurization. The preference should be given to systems that can be installed without the reconstruction of floors and obstructions within the living space. The soil air can be sucked from perforated tubes drilled into the sub-floor layer from the cellar (Fig. 5) or from an external trench excavated in the ground along one or more sides of the house (Fig. 6). Other possibility is to install the perforated tubes from the floor pit excavated in one room, where afterwards a new floor with a radon-proof membrane had to be placed (Fig. 7). Beneath each habitable room at least one perforated pipe should be inserted.

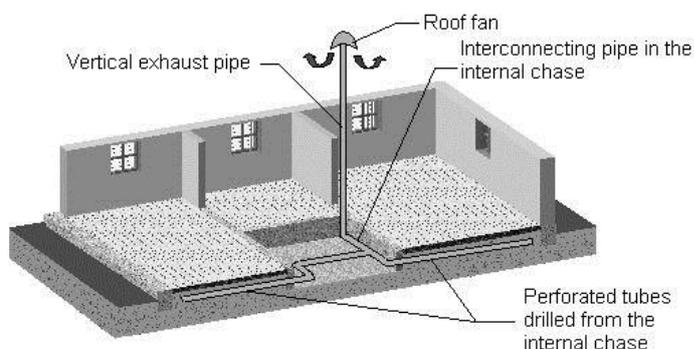
mit einem neuen Fußbodenaufbau einschließlich einer radondichten Folie versehen wird - am besten natürlich, wenn die Erneuerung des Fußbodens ohnehin geplant war (Fig. 7). Unter jedem bewohnten Raum sollte mindestens eine perforierte Röhre verlegt werden.



**Abb. 5:** Perforierte Röhren in Bohrungen vom Keller unter die Bodenplatte  
**Fig. 5:** Perforated tubes drilled into the sub-floor layer from the cellar



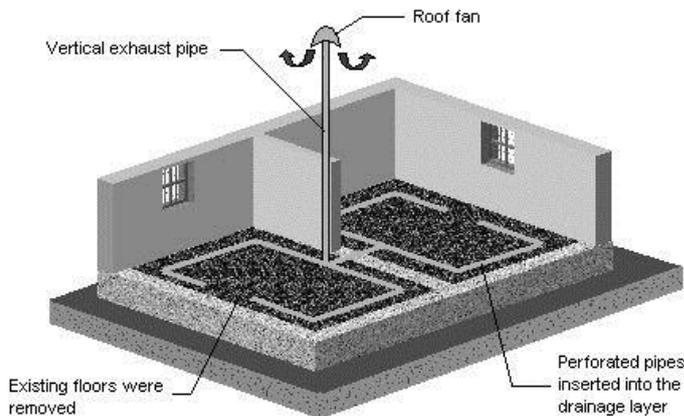
**Abb. 6:** Perforierte Röhren in Bohrungen von einem Graben außerhalb des Hauses unter die Bodenplatte  
**Fig. 6:** Perforated tubes drilled into the sub-floor layer from the external trench



**Abb. 7:** Perforierte Röhren in Bohrungen von einer Fußbodenvertiefung unter die Bodenplatte  
**Fig. 7:** Perforated tubes installed from the floor pit excavated in one room

In Häusern mit feuchten Wänden und Fußböden kann die mögliche beste Lösung die Entlüftung von (ggf. zu schaffenden) Hohlräumen im Fußbodenaufbau oder die Ersetzung des existierenden Fußbodenaufbaus durch einen neuen sein, der eine radondichte Isolierung und ein System zur Unterdruckerzeugung im Boden kombiniert. Perforierte, in eine Schicht aus grobem Kies unter dem Fußboden zu verlegende Schläuche (Abb. 8), werden zur Absaugung der Bodenluft verwendet. Entlang der Wände lassen sich Rohre einbauen, um das Eindringen von Radon in das Haus durch die Fuge zwischen den Wänden und dem Fußboden oder durch vertikale Löcher bzw. durch Risse in der Wand zu verhindern.

In houses with damp walls and floors the possible best solution could be the installation of ventilated floor air gaps or replacement of existing floors by new ones in which the radon-proof insulation and the soil depressurization system will be combined. Flexible perforated pipes placed in a sub-floor layer of coarse gravel (Fig. 8) are usually used for soil air suction. Pipes are laid along walls in order to stop radon from entering the dwelling through the wall-floor joint or through vertical holes and cracks within the wall.



**Abb. 8:** Anordnung von perforierten Röhren in der Drainageschicht als geeignete Sanierungsmaßnahme

**Fig. 8:** Network of perforated pipes in the drainage layer suitable for remediation

Die passive Entlüftung des Bodens oder eines Hohlraumes ist oft nicht ausreichend, weshalb eine technisch unterstützte Entlüftung zu empfehlen ist. Normalerweise wird hierzu ein Ventilator am oberen Ende des vertikalen Abluftrohres oder am Ende eines Abluftrohres, das bis zu einer geeigneten Stelle im Garten verlegt ist, eingesetzt. Passive Systeme müssen in einer Weise installiert werden, dass sie sehr einfach in ein technisch unterstütztes Entlüftungssystem umgebaut werden können.

In existierenden Häusern ist die radondichte Isolierung als Einzelmaßnahme nicht so wirksam, da sie normalerweise nicht unter den Wänden angewandt und somit Radon

Passive ventilation of soil or air gaps is usually not sufficient and therefore forced ventilation is recommended. The fan is usually installed at the top of a vertical exhaust pipe or in a suitable place in the garden. Passive systems must be installed in such a way that they can be very easily changed to forced systems.

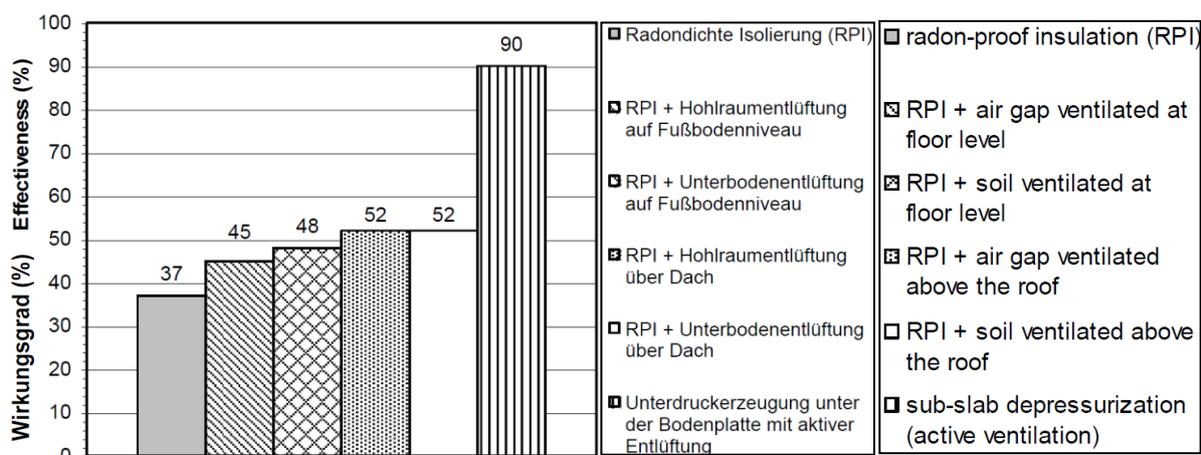
In existing houses radon-proof insulation, as a single measure is not so effective, because it usually cannot be applied under the walls and thus radon can be still transported through wall-floor joints. Therefore combination with a soil ventilation system is recommended.

Effectiveness of various remedial measures is presented on Fig. 9 demonstrating that the

weiterhin durch die Fuge am Anschluss der Wand an den Fußboden transportiert werden kann. Deshalb ist die Kombination mit einem Bodenentlüftungssystem zu empfehlen.

Der Wirkungsgrad verschiedener Sanierungsmaßnahmen ist in Abb. 9 dargestellt. Sie zeigt, dass die höchste Wirksamkeit für die Systeme bestätigt wurde, die eine aktive (d.h. technisch unterstützte) Unterdruckerzeugung unter der Bodenplatte anwenden.

highest effectiveness was confirmed for active sub-slab depressurization systems.



**Abb. 9:** Wirkungsgrad verschiedener Sanierungsmaßnahmen (als mittlere prozentuale Reduktion der Radonkonzentration)

**Fig. 9:** Effectiveness of remedial measures (as mean percentage reduction of radon concentration)

#### 4 Planung und Auslegung von Radonschutzmaßnahmen

#### 4 Design of radon reduction measures

Nach der Norm ČSN 73 0601 muss die Planung von Radonschutzmaßnahmen gründlich und unzweideutig die Lösung des Problems sowohl bezüglich des Materials als auch aus technologischer und bautechnischer Sicht bestimmen. Dazu ist es notwendig, jede der Komponenten zu beschreiben, die Parameter der einzusetzenden Materialien (Diffusionskoeffizient, Permeabilität, Dicke etc.), die Anzahl, Geometrie und Durchmesser der perforierten Röhren oder "Radonbrunnen" sowie die Leistung des Ventilators festzulegen. Charakteristische wie auch untypische Details sollten in Form von technischen Zeichnungen dargestellt werden.

According to ČSN 73 0601 the design of radon reduction measures must thoroughly and unambiguously determine the solution from material, technological and structural point of view. It is necessary to describe each component, to determine parameters of applied materials (diffusion coefficient, permeability, thickness, etc.), number, geometry and diameter of perforated pipes or sumps and sizing of a fan. Characteristic as well as atypical details should be plotted.

Die Auslegung sollte mit Bezug auf die Bauphysik und Anforderungen an die Zuverlässigkeit und Haltbarkeit erfolgen.

The design should be derived with respect to building physics and requirements on reliability and durability.

## 5 Danksagung

Diese Arbeit wurde durch das Forschungsprojekt MSM 6840770005 unterstützt.

## 5 Acknowledgement

This paper has been supported by the Research Project MSM 6840770005.

## 6 Literaturverzeichnis / References

- [1] Neznal M, Neznal M, Matolín M, Barnet I, Mikšová J.: The New Method for Assessing the Radon Risk of Building Sites. Czech Geological Survey Special Papers No. 16, Prague 2004
- [2] ČSN 73 0601 Protection of houses against radon from the soil. Czech Standards Institute, Praha 2006
- [3] ČSN 73 0602 Protection of houses against radon and gamma radiation from building materials. Czech Standards Institute, Praha 2006
- [4] Jiránek M.: Testing and Design of Radon Resisting Membranes Based on the Experience from the Czech Republic. In: Proceedings from the 4th European Conference on Protection against Radon at Home and at Work. Praha 28.6.-2.7.2004
- [5] Jiránek M, Fronka A.: New technique for the determination of radon diffusion coefficient in radon-proof membranes. Radiation Protection Dosimetry 2008; 130(1): 22-25.
- [6] Jiránek M, Hůlka J.: Applicability of Various Insulating Materials for Radon Barriers. In: The Science of the Total Environment 272 (2001), pp 79-84
- [7] Jiránek M, Hůlka J.: Radon Diffusion Coefficient in Radon-proof Membranes - Determination and Applicability for the Design of Radon Barriers. In: International Journal on Architectural Science, Vol 1, No. 4, pp 149-155, 2000
- [8] Jiránek M, Svoboda Z.: Transient radon diffusion through radon-proof membranes: A new technique for more precise determination of the radon diffusion coefficient, Building and Environment (2008), doi:10.1016/j.buildenv.2008.09.017
- [9] Jiránek M., Kotrbatá M.: Radon diffusion coefficients in 360 waterproof materials of different chemical composition. In: Radiation Protection Dosimetry (2011), doi:10.1093/rpd/ncr043



# **DIE AUSWIRKUNG ENERGETISCHER SANIERUNGEN AUF DIE RADONKONZENTRATION IN ÖFFENTLICHEN GEBÄUDEN IN BAYERN**

## **THE INFLUENCE OF ENERGY-CONSERVING RENOVATIONS ON RADON CONCENTRATIONS IN PUBLIC BUILDINGS IN BAVARIA**

Michael Heidler

Simone Körner

Bayerisches Landesamt für Umwelt

### **Zusammenfassung**

*Im Rahmen der Energieeinsparverordnung (EnEV 2009) werden in Bayern verstärkt Gebäudeabdichtungsmaßnahmen durchgeführt. In Häusern, die im Zuge von Energieeinsparmaßnahmen saniert werden, kann die Radonkonzentration der Innenraumluft steigen, da z.B. Bauwerksabdichtungen (Einbau dichter Fenster und Türen, luftundurchlässige Abdichtung der Außenfläche) zu einer Senkung des Luftaustausches im Gebäude führen können.*

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

### **Summary**

*Within the framework of the German Energy Saving Regulations (Energieeinsparverordnung - EnEV 2009), many buildings in Bavaria are undergoing energy-conserving renovations. In these cases, the radon concentration of the interior air may increase because new windows, doors and external insulations seal buildings and reduce the air exchange.*

*To make more precise statements about the effect of energy-conserving measures, the radon concentration inside a few chosen Bavarian public buildings is audited before and after the renovation. Target groups, such as construction specialists, architects, building planners, energy consultants and municipal and national building authorities should thereby become aware of radon as a subject and potential problem to be recognised in future renovations and constructions.*

## 1 Einführung

„Radon in Innenräumen - Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern“ ist ein Projekt des Bayerischen Landesamtes für Umwelt mit dem Ziel, durch Untersuchungen Aussagen über die Auswirkungen von Gebäudeabdichtungsmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Innenräumen zu erhalten.

Hintergrund zahlreicher momentaner energetischer Sanierungen öffentlicher Gebäude ist einerseits die Energieeinsparverordnung (EnEV 2009), andererseits die aus dem Konjunkturpaket II zur Verfügung stehenden Mittel des Bundes und der Länder.

Die Erkenntnis, dass der Einbau dichter Fenster und Türen, und eventuell die luftundurchlässige Abdichtung der Gebäudehülle einen Anstieg der Radonkonzentration in Innenräumen verursacht, sowie die derzeit verstärkten Gebäudeabdichtungsmaßnahmen, führte zur Initiierung des Projektes und zur Kontaktaufnahme des Bayerischen Landesamtes für Umwelt mit vielen Gemeinden, bei denen 30 öffentliche Gebäude (hauptsächlich Rathäuser) für eine Untersuchung ausgewählt wurden.

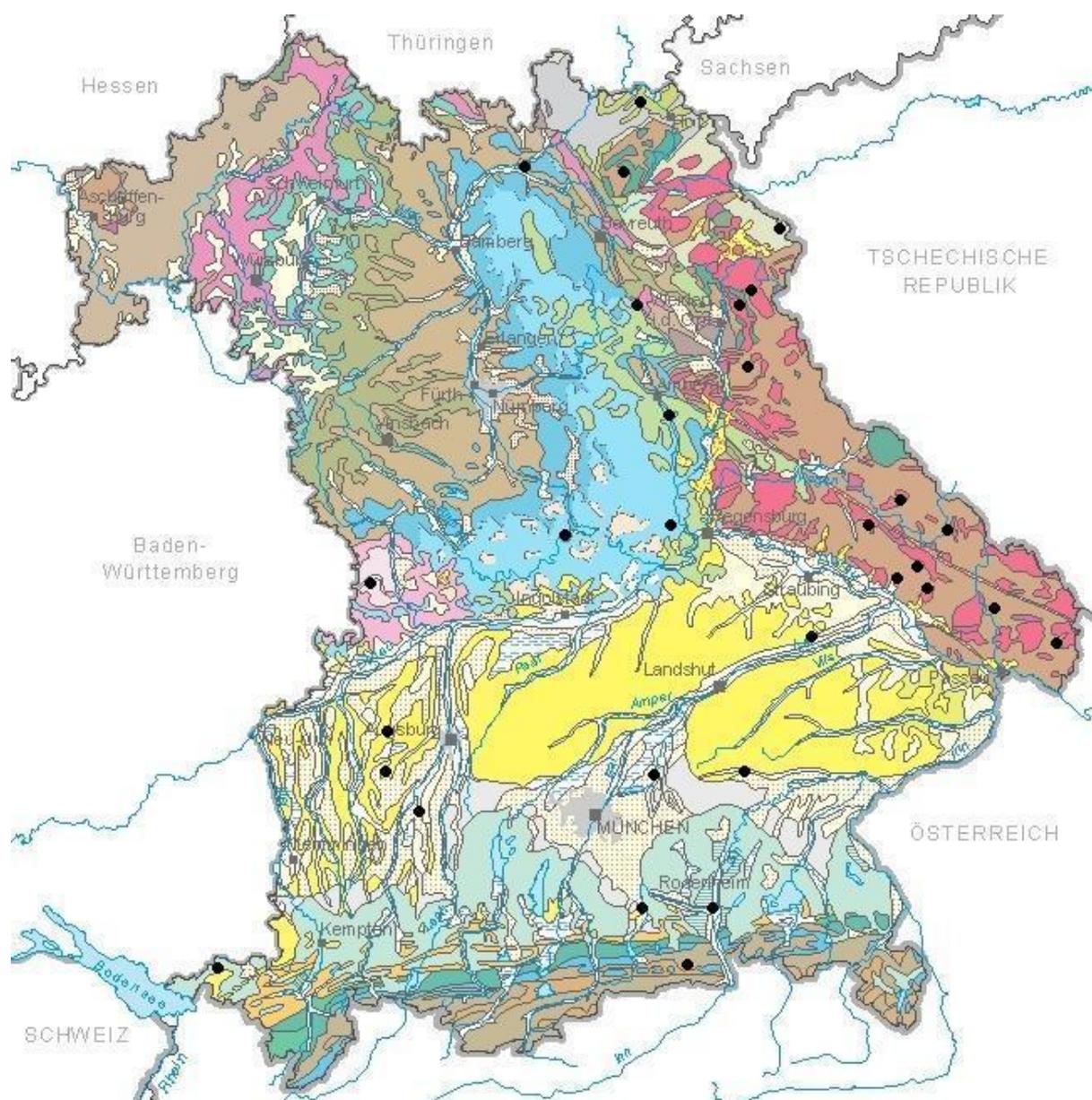
Ziel des Projektes sind die

- messtechnische Begleitung der energetischen Sanierung einiger ausgewählter öffentlicher Gebäude → Aussagen über die Wirkung energetischer Maßnahmen im Hinblick auf die Radonkonzentration in Innenräumen
- Sensibilisierung der Zielgruppe - Baufachleute, Architekten, Planer, Energieberater & Bauverwaltungen - für das Thema Radon
- Berücksichtigung von Radon bei energetischen Sanierungen!
- Initiierung von Weiterbildungsangeboten und Kommunikationsnetzwerken

## 2 Auswahl der Gebäude

Die Auswahl der Gebäude basiert auf folgenden Kriterien:

1. Die Auswahl der einzelnen zur Sanierung vorgesehenen Rathäuser war durch deren Teilnahme am Konjunkturpaket recht einfach.
2. Gebäude von gleicher Größe und Funktion wurden gesucht, um nicht noch mehr Variablen bei ohnehin nur 30 Gebäuden zu erzeugen.
3. Öffentliche Gebäude sollten relativ oft frequentiert werden und eine gewisse Prominenz im Leben der Gemeinde haben, um dem Thema mehr Gewicht zu geben.
4. Die Gemeinden mussten Interesse zeigen.
5. Schulen, Kindergärten und andere Heime sollten ausgeschlossen werden, da die Öffentlichkeit sehr sensibel mit der Gesundheitsgefährdung der Jugend ist.
6. Die Sanierung musste innerhalb des Jahres 2010 stattfinden, um im Rahmen der Projektlaufzeit Messungen vor der Sanierung Anfang 2010 und nach der Sanierung Anfang 2011 zu ermöglichen
7. Die Auswahl sollte flächendeckend und daher repräsentativ für Bayern sein, aber dennoch den Schwerpunkt auf Gebiete mit höheren Radonkonzentrationen in der Bodenluft setzen (siehe Graphik nächste Seite)



**Abb.1:** Die geologische Karte von Bayern des Bayerischen Landesamtes für Umwelt zeigt die Standorte der 30 öffentlichen Gebäude. Schwerpunkte sind das Bayerische Grundgebirge von Hof bis Passau aufgrund des Urangehalts im Gestein und das Voralpenland aufgrund örtlich hoher Radonkonzentrationen dank der vielfältigen hydrologischen Bedingungen.

### 3 Projektablauf

Das Projekt umfasste im Wesentlichen vier Stufen:

1. Die Gebäudeauswahl erfolgte auf Grundlage von Standort, Sanierungszeitraum und Zustimmung der betroffenen Gemeinden.
2. Vor der Sanierung erfolgte eine Messung der Radonkonzentration im Gebäude (Exposimeter, ggf. Alpha-Guard oder Radon-Scout zur näheren Kontrolle).
3. Eine Ortseinsicht mit Protokollierung der Gebäudeeigenschaften und Sanierungsmaßnahmen
4. Messung der Radonkonzentrationen nach der Sanierung.



**Abb.2:** Während der Sanierung



**Abb.3:** Messung nach der Sanierung

Da die Sanierungsmaßnahmen unterschiedlich schnell vorangingen, erfolgte die Ortseinsicht während oder nach der Sanierung, manchmal sogar noch vor der Sanierung. Die bei den ausgewählten Gebäuden durchgeführten Sanierungsmaßnahmen setzen sich wie folgt zusammen (unvollständige Tabelle):

**Tab. 1:** Beispiele von Sanierungsmaßnahmen

Fensterwechsel zu Holzfenster	2
Fensterwechsel zu Holz-Alu	7
Fensterwechsel zu Holz	1
Fensterwechsel zu Kunststoff	10
Fensterwechsel zu Alu	1
Partieller Fensterwechsel	3
Reiner Scheibentausch (mit altem Rahmen)	1
Polystyrol (Außendämmung)	13
Polystyrol mit Graphit (Außendämmung)	1
Polyurethan (Außendämmung)	1
Ziegel mit Perlite gefüllt (als Außendämmung)	1
Mineralwolle (als Außendämmung)	2
Holzfasernplatten (Außendämmung)	1
Partielle Außendämmung	2
Wärmeputz	2
Innenwanddämmung	2
Innen neu abgedichtet und gestrichen	
Dämmung bis 14 cm	7
Dämmung bis 18 cm	8
Dämmung über 18 cm	1
Außentüren ausgetauscht (oder zugemauert)	15
Innentüren ausgetauscht	3
Neue Innenwände gezogen	1
Innenwände entfernt	2
Belüftungsanlage eingebaut	1
neue Leitungen gelegt	10
Dachdämmung	14
davon Aufdachdämmung	6
Dachbodensanierung	12
Ganze Kellerwand gedämmt	1
Kellerboden neu	1
Heizungsanlage getauscht	12

Die erste Radonmessung in den Gebäuden erfolgte durchgehend im Winter. Die zweite Messung erfolgte dagegen überwiegend im Frühling und im Frühsommer. Nach Umfragen wurde während der zweiten Messung viel mehr gelüftet. Jedoch mussten auch die wenigen Rathäuser, die im Winter ihre zweite Messung hatten, ebenfalls mehr lüften, da die Abdichtung der Gebäude im Sommer sowie im Winter „stehende“ Luft bewirkt. Damit wurde der vor der Sanierung bestehende Unterschied zwischen den Lüftungswohnheiten im Sommer und im Winter geringer.

Die unterschiedlichen Sanierungsmaßnahmen reichen vom einfachen Fenstertausch bis zum Heizungstausch. Bei manchen Gebäuden wurde die Innenstruktur geändert, die Nutzung der Räume geändert, Windfänge eingebaut, Treppenhäuser abgeschlossen oder geöffnet, bei anderen änderte sich im Innenbereich nichts. Damit sind 30 Gebäude bei so vielen Variablen, wie die Ergebnisse der Vor- und Nachmessungen zeigen, nicht repräsentativ genug. Letztendlich müssen die dreißig Gebäude im Einzelnen ausgewertet werden, um Aussagen treffen zu können.

## 4 Bisherige Ergebnisse, erste Ansatzpunkte

Bisher ist knapp die Hälfte der dreißig Messergebnisse vorhanden. Die weiteren Ergebnisse werden bis Anfang November vorliegen.

**Tab. 2:** *Ausgewählte sanierte Gebäude*

	Zimmer	Ergebnis alt (Bq/m <sup>3</sup> )	Ergebnis neu (Bq/m <sup>3</sup> )
Gebäude 1	EG Schulungsraum	15	15
Alpenvorland (Tertiär-Hügelland)	EG Foyer	23	15
	1. OG, Zi. 103	16	15
	1. OG, Zi. 104	15	23
Gebäude 2	R01-02 KG	98	69
Alpenvorland (Moosgebiet)	R01 EG	64	13
	R13 OG	71	34
	R02 (04)	66	13
Gebäude 3	BKR Aufenthaltsraum KG	121	14
Alpenvorland (Iller-Lech-Schotterplatten)	02 Bürgerbüro EG	16	39
	Sitzungssaal EG	40	35
	Ruheraum KG	40	15
	Aufenthaltsraum Bauhof KG	79	86
Gebäude 4	Keller	43	14
Fränkischer Wald	Kasse	23	28
	VZ Bürgermeister EG	16	46
	AZ Bürgermeister	9	42
	Sitzungssaal	18	41
Gebäude 5	EG Zi.1	690	980
Oberpfälzer Wald	OG Zi.1	660	660
	EG Zi.3	720	1000
	EG Zi.2	740	1000
	Keller Kassenarchiv	2500	2000
Gebäude 6	1 EG (nicht unterkellert)	190	120
Oberpfälzer Wald	3 EG (nicht unterkellert)	300	150
	01 Keller	250	1200
	101 1. EG	115	120
	202 2. OG	180	90
	104 1. OG		180
	Keller Heizungsraum		45
Gebäude 7	Kopierraum	48	42
Bayerischer Wald	Verkehrsamt	23	58
	Elektrozentrale Keller	250	540
	Archiv Keller	41	220
	Serverraum	31	86
Gebäude 8	Nr. 04 EG	153	48
Bayerischer Wald	Nr. 05 EG	147	52
	Nr. 07 EG	86	81

	OG Massage	69	13
	OG Fitness (Theke)	84	13
Gebäude 9	Büro EG	265	25
Bayerischer Wald	Bürgermeister Zi. 1.OG	30	40
	Keller/Technikraum	360	340
	Verkehrsamt EG	35	65
	Technik/Kopiererraum	20	90

Gebäude 5, 6 und 7 verzeichnen einen Anstieg der Radonkonzentration. Bei den restlichen Gebäuden ist ein geringer tendenzieller Anstieg in jenen Räumen zu bemerken, in denen die Belüftung aufgrund der Sanierung nicht geändert wurde.

Angaben über alleinstehende Variablen (z.B. Fenster) sind durch die vielen anderen Variablen bei den dreißig Gebäuden nicht sehr aussagekräftig, lassen jedoch Tendenzen erkennen.

**Tab. 3:** Vergleich Fensterwechsel

Holz (alt) zu Kunststoff		Holz/Alu (alt) zu Holz	
Bq/m <sup>3</sup> (alt)	Bq/m <sup>3</sup> (neu)	Bq/m <sup>3</sup> (alt)	Bq/m <sup>3</sup> (neu)
690	980	43	14
660	660	23	28
720	1000	16	46
740	1000	9	42
2500	2000	18	41
	460	15	15
	520	23	15
48	42	16	15
23	58	15	23
250	540	98	69
41	220	64	13
31	86	71	34
188	120	66	13
296	150	121	14
250	1200	16	39
113	120	40	35
181	91	40	15
	180	79	86
	46		
26	25		
29	42		
357	340		
36	62		
22	89		

Die Messwerte zeigen, dass Fenster mit Kunststoffrahmen luftdichter sind als Fenster mit Holzrahmen. Dieses Ergebnis ist grundsätzlich zu erwarten, da Kunststoffrahmen nicht diffusionsoffen sind, Holzrahmen dagegen schon. Dennoch beeinflussen zu viele Faktoren die wenigen Messungen um dies auch zu belegen. Auch bei modernen Holzfenstern ist der Luftaustausch eingeschränkt. Die Aufnahme und Abgabe von Feuchtigkeit verzieht jedoch mit der Zeit den Rahmen und schafft dadurch Eintrittspfade für Außenluft.

Die Messwerte bei verschiedenen Außendämmungen sind noch weniger aussagekräftig. Mineralwolle z. B. ist viel diffusionsoffener als Polystyrol (EPS). Dies ist durch die vorliegenden Messergebnisse noch nicht ansatzweise erkennbar. Letztendlich könnte die Aussage sein, dass die Stärke oder das Material der Außendämmung keine Auswirkungen haben auf die Radonkonzentration. Dagegen könnten die Außen- oder Innendämmung durch die zusätzliche Abdichtung der Fensterlaibungen und die Überdeckung feiner Risse im Gemäuer doch eine Rolle spielen. Möglicherweise ergeben sich dazu Anhaltspunkte bis zum Projektende.

Der allgemeine Rückgang der ohnehin niedrigen Radonkonzentration der Obergeschosse ist nur auf die Belüftung zurückzuführen. In den Obergeschossen überwiegen die Büroräume und die Temperaturen sind generell höher.

## 5 Auswertung der Messergebnisse ausgewählter Gebäude

Gebäude 1: Vollständige Außendämmung, Fensterwechsel, im Foyer Erhalt der alten Fenster durch Scheibenaustausch. Die extrem niedrige Radonkonzentration erklärt sich durch die sehr mächtige rissfreie Betonbodenplatte. Diese Platte steht auf Betonpfählen im nachgiebigen Untergrund. Die Luft ist seit der Sanierung am Morgen „verbrauchter“ und feuchter. Deswegen ist die Belüftung intensiver. Die Radonmesswerte sind gleich. Die intensivere Belüftung gleicht die Sanierungsmaßnahmen aus.

Gebäude 2: Die Fenster, das Dach und die Außenwand wurden saniert/gedämmt. Das Treppenhaus wurde im Zuge der Sanierung von den oberen Stockwerken getrennt. Nur der Keller ist offen an das Treppenhaus angeschlossen und erhält durch die dortigen Fenster einen Luftaustausch.

Die Radonkonzentrationen sind durchwegs gesunken. Die Luft war nach der Sanierung nicht verbraucher als zuvor, deswegen findet keine intensivere Lüftung statt. Die Messung nach der Sanierung fand im Frühling statt. Es wurde in zwei Räumen intensiver gelüftet als bei der ersten Messung. Trotzdem ist die Lüftung nicht der einzige Grund: Die luftdichte Schließung des Treppenhauses trägt maßgeblich zu den geringen Radonkonzentrationen bei.



**Abb.4:** Neues geschlossenes Treppenhaus

- Gebäude 3: Die Fenster, der Dachboden und die Außenwand wurden saniert/gedämmt. Die zweite Radonmessung erfolgte im Frühsommer. Zwei Radonwerte sind durch offene Fenster und Außentüren (Luftzug) auf Außenluftniveau abgefallen. Die Büroräume halten ihr Niveau durch intensivere Lüftung aufgrund der stehenden Luft.
- Gebäude 4: Das einzige Beispiel, bei dem nicht Fenster, sondern nur Fensterscheiben (und die Dichtungen) ausgetauscht wurden. Des Weiteren wurde der Dachboden mit Cellulose gedämmt. Die Radonkonzentrationen sind durchwegs angestiegen, trotz leicht intensiverer Lüftung während der zweiten Messung. Nur im Keller ist die Konzentration auf Außenluftniveau aufgrund von offenen Fenstern (grundsätzlich Mitte des Jahres wegen der Luftfeuchtigkeit nicht empfehlenswert). Das zeigt, dass allein ein Fensterscheibentausch und das Erneuern der Dichtungen einen Einfluss auf den Radongehalt der Innenräume haben.



**Abb. 4 und 5:** Dachbodendämmung mit Cellulose und dichte Stahlkellertür

- Gebäude 5: Das präziseste Beispiel einer Vor- und Nachmessung, die bei gleicher Außentemperatur und gleichen Belüftungseigenschaften stattfand. Die Luft „stand“ zwar geringfügig mehr nach der Sanierung, aber in der sehr kalten Zeit Ende 2010 wurde wenig gelüftet. Eine vollkommene Polystyrol-Außenwanddämmung, eine ziemlich gute Abdichtung des Dachbodens und neue Kunststoffenster lassen die Radonkonzentration in allen vier gemessenen Büroräumen um etwa 300 Bq/m<sup>3</sup> ansteigen. Die Konzentration im Keller ist von 2500 auf 2000 Bq/m<sup>3</sup> gesunken. Dies könnte an neu verlegten EDV-Kabeln im Keller liegen und wird noch untersucht.



**Abb. 5 und 6:** Undichte EDV-Kabel-Durchführung und luftdichte Dachdämmung

Gebäude 6: Die Radonkonzentration ist nach der Sanierung gesunken. In einen Kellerraum und den Raum darüber ist sie jedoch angestiegen bzw. gleichgeblieben. Im Rahmen der Sanierung wurden im Keller zwei Fluchtwegtüren eingebaut. Die Luft „steht“ dort und wird nicht mehr in andere Zimmer transportiert. Die Leitungen, die durch den Raum in obere Räume führen, wurden abgedichtet. Der Heizkeller hat eine niedrige Konzentration durch eine neue Pelletheizung, die ein durchgehend offenes Fenster voraussetzt. Im 2. Stock wurde während der zweiten Messung verstärkt gelüftet, da sich die Wärme oben staut. Im Erdgeschoss des nichtunterkellerten Bereichs wurde schlecht dämmende Wandfläche durch Fensterfläche ersetzt. Das Ergebnis ist eine häufigere Lüftung über das ganze Jahr.



**Abb. 7 und 8:** Abgedichtete Rohrleitungen (im Hintergrund nicht abgedichtet) und neue Außenwand

Gebäude 7: Kunststofffenster, Polystyrolämmung und eine dichte PU-Aufdachdämmung sind die wesentlichen Sanierungsmaßnahmen. Die Radonkonzentration ist durchgehend angestiegen. Nur das sehr gut gelüftete Durchgangszimmer (Kopierzimmer) ist gleichgeblieben. Der eher moderate Anstieg im Verkehrsamt erklärt sich durch den regen Parteiverkehr und die Stoßlüftung. Die restlichen Räume werden dagegen nicht täglich betreten.

Gebäude 8: Ein Beispiel eines Rathauses, in dem über den Sommer die Fenster sehr oft geöffnet waren, auch bis spät abends oder durch die Nacht (Fitness- und Massageraum). Die Konzentrationen sind gesunken. Die ohnehin niedrigen Konzentrationen resultieren aus einem ursprünglich ausgehobenen Keller, der dann mit Erdreich verfüllt wurde.

Gebäude 9: Die Sanierung war umfangreich: Dachbodendämmung mit Cellulose, Außendämmung mit Steinwolle und neue Kunststofffenster, die zusätzlich nach außen versetzt wurden zur Vermeidung der Dämmung um die Fensternische herum. Das Treppenhaus ist abgeschlossen und die Außentüren wurden erneuert. Verkehrsamt und Kopierzimmer hatten während der ersten und zweiten Messung die gleichen Nutzungs- und Lüftungseigenschaften. Die Radonkonzentration ist in beiden Räumen angestiegen.



**Abb. 9 und 10:** Neue, nach außen versetzte Kunststofffenster und bei der zweiten Messung öfters geöffnete Treppenhaus- und Eingangstüren



# NATÜRLICHE STRAHLENEXPOSITION DER BEVÖLKERUNG IN BADEN-WÜRTTEMBERG DURCH ERDWÄRMENUTZUNG

## EXPOSURE OF THE PUBLIC TO NATURAL RADIATION THROUGH THE USE OF GEOTHERMAL ENERGY IN BADEN-WÜRTTEMBERG

Danica Melzer<sup>1)</sup>, Christoph Wilhelm<sup>1)</sup>

Christian Grimm<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Sicherheitsmanagement, Karlsruher Institut für Technologie, Deutschland

<sup>2)</sup> Ministerium für Umwelt, Klima und Naturschutz Baden-Württemberg, Deutschland

### **Zusammenfassung**

*In Baden-Württemberg wurden zehn private Geothermie-Bohrvorhaben in geologisch interessanten Gebieten messtechnisch begleitet. Während den Bohrungen wurden Proben des Bohrlochaushubs entnommen, um den Gehalt der natürlichen Nuklide in den durchbohrten Gesteinschichten zu bestimmen. Vor und nach Beendigung der Baumaßnahmen wurde die Radonkonzentration in der Luft im Wohnhaus bestimmt. Basierend auf den gewonnenen Messdaten wurden die maximal zu erwartenden zusätzlichen effektiven Dosen für Einzelpersonen im Kalenderjahr infolge von Geothermiebohrungen ermittelt. Betrachtet wurden die Expositionspfade: Luft, Wasser, Boden-Pflanze-Mensch und Gamma-Bodenstrahlung. Trotz der jeweils konservativen Annahmen, die als Worst-Case-Betrachtung zu sehen sind, konnte keine relevante Erhöhung der Strahlenexposition ermittelt werden. Die Summen der sehr konservativ abgeschätzten Expositionen betragen 0,79 mSv/a für die Personengruppe kleiner 1 Jahr und 0,57 mSv/a für die Personengruppe größer 17 Jahre und sind verglichen mit der natürlichen Strahlenexposition in Deutschland von 2,1 mSv/a vernachlässigbar. Die tatsächliche Exposition durch geothermische Bohrungen ist wesentlich niedriger, als die hier sehr konservativ abgeschätzten Werte.*

### **Summary**

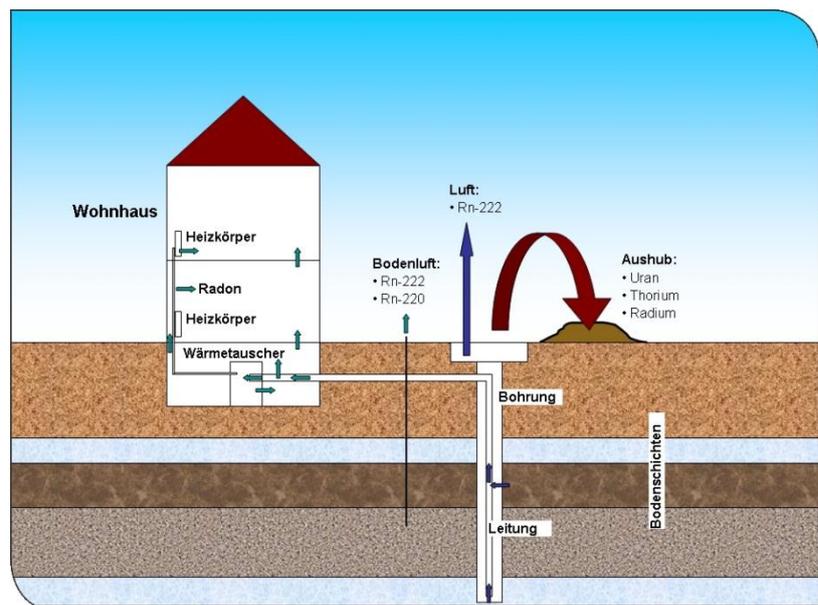
*In Baden-Württemberg ten private geothermal drilling projects in geologically interesting areas have been accompanied by measurements. During the drillings samples of the excavated earth were taken to determine the concentration of natural nuclides in the bored strata. Before and after finishing the geothermal construction works the airborne radon concentration of surrounding dwellings was measured. On the basis of the obtained measuring data the maximum expected additional effective annual doses received by individuals as a result of geothermal drilling were calculated. The exposure pathways were observed, i.e. air, water, soil-plant-human and terrestrial gamma radiation. In spite of conservative accounts in each case that should be considered as worst case scenario no relevant increase of radiation exposure could be detected. The summations of the highly conservatively estimated exposures amount to 0,79 mSv/a for persons under 1 year of age and 0,57 mSv/a for persons over 17 years of age which is insignificant compared to the exposure to natural radiation in Germany that is 2,1 mSv/a on average. The actual exposure through geothermal drilling is considerably lower than the extremely conservative data estimated here.*

## 1 Einleitung

Bei der Gewinnung geothermischer Energie für Wohnhäuser werden für das Einbringen eines Wärmetauschers in unmittelbarer Nähe oder direkt unter der Bodenplatte von Häusern Bohrungen in Tiefen bis zu 200 m niedergebracht. Da es in bestimmten Gebieten Baden-Württembergs auf Grund des geologischen Untergrunds erhöhte Konzentrationen an natürlich vorkommenden Radionukliden gibt, besteht die Möglichkeit, dass somit radioaktive Anteile von Uran, Thorium, Radium, Radon, Polonium und Blei aus „tieferen“ Schichten lokal eng begrenzt an die Oberfläche gebracht werden. Als eines der Folgeprodukte in den natürlichen Zerfallsreihen von Uran und Thorium gelangt dann auch vermehrt Radon an die Oberfläche, welches sich auf Grund seines gasförmigen Charakters leichter ausbreitet. Die Inhalation von kurzlebigen gasförmigen Radon und seiner Folgeprodukte gilt als wesentliche Quelle für die natürliche Strahlenexposition der Bevölkerung.

## 2 Bestimmung möglicher Expositionspfade

Basierend auf dem Verhalten der natürlichen Radionuklide im Erdboden und in Gesteinen sind in Abb. 1 Pfade der natürlichen Radionuklide dargestellt, die zu einer erhöhten Strahlenexposition für Mensch und Umwelt durch Geothermiebohrungen führen können. Über den Bohrlochaushub ist zum Einen eine Exposition über den Boden-Pflanze-Mensch-Pfad durch die natürlichen Isotope des Uran, Thorium, Radium und Blei, sowie über den Wasser-Pfad durch die Isotope des Uran, Radium und Radon nicht auszuschließen. Des Weiteren ist eine erhöhte Exposition durch Gamma-Bodenstrahlung beim Verbleib des Aushubs am Ort der Bohrung denkbar. Eine Exposition über den Luftpfad durch Radon ist über viele Wege vorstellbar. Radon könnte aus tieferen Schichten in die Erdwärmesonde diffundieren und über das Heizsystem im Haus verteilt werden. Alternativ wäre auch eine allgemeine Erhöhung der Radon-Aktivitätskonzentration in der oberflächennahen Bodenluft um das Bohrloch vorstellbar, die durch allgemein bekannte Diffusionswege ins Wohnhaus gelangt.



**Abb. 1:** Pfade von natürlichen Radionukliden die zu einer erhöhten Strahlenexposition für Mensch und Umwelt durch Geothermiebohrungen führen können

## 3 Standorte und Bohrvorhaben

Basierend auf geologischen Gesichtspunkten, den Radonkonzentrationen in Bodenluft, den Radionuklidkonzentrationen im Trinkwasser und der Ortsdosisleistung wurde die Auswahl von fünf für

das Forschungsvorhaben repräsentativen Gebieten in Baden-Württemberg getroffen. In diesen Gebieten wurden zehn Bohrvorhaben gefunden, messtechnisch begleitet und ausgewertet.

## **4 Probennahme und begleitende Messungen**

Die Probennahme wurde parallel der bei geothermischen Bohrungen stets durchgeführten Probenentnahmen zur Bestimmung der Schichtenfolge vorgenommen. Die Probenentnahme erfolgte am Einlauf des Auffangcontainers. Alle Proben wurden jeweils beim vollständigen Versenken jedes Zwei-Meter-Bohrgestänges entnommen. Aufgrund der Bohrtechnik handelt es sich bei allen entnommenen Proben um Mischproben über eine nicht ganz klar definierte Meterzahl. Innerhalb einer Gesteinschicht wurde mit einer weitestgehend konstanten Nuklidzusammensetzung gerechnet. Daher wurden die begleiteten Bohrvorhaben mittels ihrer Farbschichten nach Abgleich mit den geologischen Schichtverzeichnissen auf ihre deutlichen Schichtwechsel reduziert. Je Schichtwechsel sind dann jeweils mindestens zwei Proben messtechnisch analysiert worden. Insgesamt wurden 548 Proben genommen, davon 177 gammaspektrometrisch analysiert; an 86 wurde die Gesamt-Alphaaktivität im Bohrwasser bestimmt. Bei zwei Bohrwasserproben wurde ein Alphaspektrum mittels GIK-Spektrometrie aufgenommen.

## **5 Untersuchung des Bodenaushubs**

Für die Analyse des Bohrlochaushubs wurde das Verfahren zur „Bestimmung von Radionukliden mittels Gammaskpektrometrie“ gemäß der internen Methodenbeschreibung des Physikalischen Messlabors (KIT) MB ISF 001 [1], welches nach DIN EN ISO/IEC 17025:2005 akkreditiert ist, durchgeführt.

### **5.1 Grenzwerte für die Verwertung und Beseitigung des Bohrlochaushubs**

In Kapitel 3 der StrlSchV [2] „Schutz der Bevölkerung bei natürlich vorkommenden radioaktiven Stoffen“ wird in Anlage XII Teil A die Verwertung und Beseitigung überwachungsbedürftiger Rückstände geregelt und die zu berücksichtigenden Rückstände aufgelistet. Hierunter fallen laut §§97 bis 102 keine Rückstände aus geothermischen Bohrungen. Folglich unterliegt der Bohrlochaushub nicht dem Geltungsbereich der StrlSchV. Dennoch erschien es zweckmäßig den Aushub anhand dieser Grenzwerte zu bewerten.

### **5.2 Gammaskpektrometrische Analyse und deren Ergebnisse**

Die Proben wurden im getrockneten Zustand gammaspektrometrisch analysiert. Streng genommen hätte für jede beprobte Bodenschicht eine Bestimmung der elementaren Zusammensetzung durchgeführt werden müssen, um eine exakte Wirkungsgrad-Kalibrierung für diesen Boden erstellen zu können. Gewählt wurden Kalibrierungen aus einer Matrix, die ähnliche elementare Zusammensetzung und Prozentanteile an SiO<sub>2</sub> und Calciumcarbonat wie die Gesteinsarten der Proben hatten. Die dadurch entstandenen Abweichungen in den Wirkungsgraden sind in Tab. 1 wiedergegeben.

**Tab. 1:** Abweichungen der Wirkungsgrade für verschiedene Gesteine zur gewählten Matrix bei ausgewählten Energien. Ausschnitt aus [3]

	46,5 keV	59,5 keV	81,0 keV	105,3 keV	122,1 keV	136,5 keV	165,9 keV
Kalkstein	-4,4%	-2,7%	-1,2%	-0,5%	-0,2%	-0,1%	0,1%
Sandstein	15,7%	10,1%	5,1%	2,7%	1,9%	1,5%	0,9%
Granit	18,6%	12,1%	6,3%	3,4%	2,4%	1,9%	1,3%

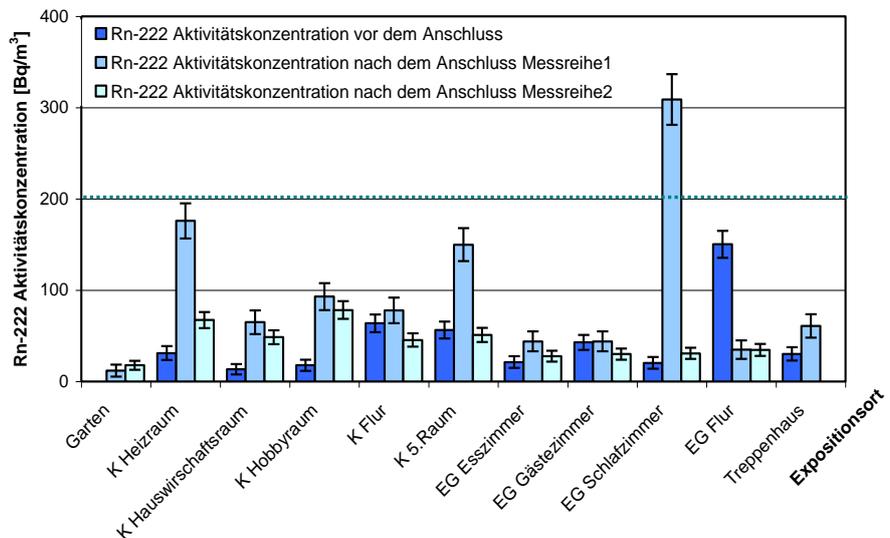
	238,6 keV	364,5 keV	583,2 keV	661,7 keV	911,1 keV	1173,2 keV	1460,8 keV
Kalkstein	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Sandstein	0,5%	0,3%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%	0,2%
Granit	0,7%	0,5%	0,4%	0,3%	0,3%	0,3%	0,3%

Insgesamt wurden nur wenige Schichten mit leicht erhöhten Radionuklidkonzentrationen gefunden. Die Höchstwerte der spezifischen Aktivitäten liegen bei 0,133 Bq/g Th-232, bei 0,096 Bq/g U-238 und bei 1,85 Bq/g K-40. Somit wurde gezeigt, dass für alle Proben unter Annahme radioaktiver Gleichgewichte für alle Nuklide der Zerfallsketten Th-232sec und U-238sec der in Anlage XII Teil A der StrlSchV [2] angegebene Wert von 0,2 Bq/g unterschritten wurde.

## 6 Betrachtung des Expositionspfades Luft

### 6.1 Messung mittels Kernspurdetektoren in Diffusionskammern

Um nachzuweisen ob der Anschluss einer Erdwärmesonde die Radon-Aktivitätskonzentration im Wohnhaus erhöhen kann, wurden insgesamt 250 Kernspurdetektoren eingesetzt. Die Auswertung erfolgte im „Radon Messlabor“ des KIT, welches als sachverständige Stelle zur Überwachung der Radonexposition nach §95 StrlSchV anerkannt ist. Drei bis vier Wochen vor dem geplanten Bohrbeginn wurde an den Standorten die erste Charge Kernspurdetektoren ausgelegt, um den Ist-Stand vor Anschluss der Erdwärmesonde an das Wohnhaus zu dokumentieren. Nach Abschluss der Anschlussarbeiten wurde die erste Charge Exposimeter durch eine zweite ersetzt.



**Abb. 2:** Rn-222 Aktivitätskonzentration vor und nach Anschluss der Erdwärmesonde

## 6.2 Ergebnisse der Radonmessungen

Es wurden nur bei einem Bohrvorhaben nach Abschluss der Arbeiten signifikante Erhöhungen der Radonkonzentration gemessen (Abb. 2). Bei diesem Bohrvorhaben wurde eine zweite Messreihe nach Abschluss der Arbeiten durchgeführt um nachzuprüfen ob diese Erhöhung längerfristig ist. Dies hat sich nicht bestätigt.

## 6.3 Strahlenexposition durch Rn-222 bei privater Erdwärmenutzung

Da nur bei einem Bohrvorhaben eine kurzfristige Erhöhung der Radonkonzentration im Wohnhaus gemessen wurde, ist dieses für die Berechnung der Strahlenexposition herangezogen worden. Die Ermittlung der effektiven Dosis erfolgte unter Anlehnung an die AVV Bergbau [4] mit einer Expositionszeit von 1167 Stunden, da die erhöhte Rn-222 Konzentration nach 2 Monaten nicht mehr nachweisbar war.

**Tab. 2:** Zusammenfassung der möglichen zusätzlichen effektiven Dosis für Kleinkinder und Erwachsene durch eine Geothermiebohrung, sowie die natürliche Strahlenexposition.

Expositionspfad	$\Delta H$ [mSv/a]		Natürliche Strahlenexposition [5]	Getroffene Annahmen
	<1a	>17a		
Luft Hausbesitzer	0,34	0,34	1,1	Expositionszeit 1167 h/a Aufenthaltszeit in den Wohnräumen konservativ gewichtet bezogen auf die gefundenen Höchstwerte
Luft Bohrapersonal	--	(0,47)	--	Einzelner gemessener Radonhöchstwert aller Bohrungen bezogen auf 2000 h/a
Wasser	<<1*	<<1*	0,3	Maximal-Probe ist repräsentativ für das gesamte Bohrwasser; Keine Verdünnung in Kanalisation
Boden-Pflanze-Mensch	0,19	0,04		25% der verzehrten Lebensmittel stammen von der mit Bohrwasser lokal kontaminierten Fläche; Verzehrsgewohnheiten nach AVV zu §47; Oberflächenkontamination angenommen für 30 cm Bodentiefe
Gamma-Bodenstrahlung	0,26	0,19	0,4	Aufenthaltszeit im Freien 2000 h/a In allen Proben gefundene max. Werte für U-238, Th-232, K-40 in einer Probe angenommen. Diese bedeckt homogen eine unendliche Fläche bis in 30 cm Tiefe
Gesamtexposition	0,79	0,57	2,1**	Unter der Annahme, dass Hauseigentümer kein Bohrapersonal sind

\* nicht kalkulierbar

\*\* hinzugerechnet wurde auch die äußere Exposition durch kosmische Strahlung mit 0,3 mSv/a [5]

## 7 Ergebnisse

Neben den hier bereits aufgeführten Messungen, wurde das Bohrspülwasser auf alphastrahlende Radionuklide hin analysiert und die Dosisleistung sowie die Radonkonzentration während der Bohrung online gemessen. Die aus diesen Ergebnissen resultierenden möglichen effektiven Dosen sind in Tabelle 2 mit aufgeführt.

Für die Ermittlung der Werte wurden konservative Annahmen getroffen in Form von Worst-Case-Betrachtungen. Diese Vorgehensweise war notwendig, da bei einer so geringen Anzahl an Projekten nicht sichergestellt ist, dass evtl. auftretende Maximalwerte dem Forschungsvorhaben entgangen sind. Auch durch sehr konservative Annahmen ergaben die denkbaren Expositionspfade einen unerheblichen Beitrag, bezogen auf die mittlere natürliche Strahlenexposition der Bevölkerung von 2,1 mSv/a.

Weitere Ergebnisse dieses vom Land Baden-Württemberg geförderten Projektes sind im Abschlussbericht [6] und in [7], [8] zu finden.

## 8 Literaturverzeichnis

- [1] Methodenbeschreibung Physikalisches Messlabor MB ISF 001, Bestimmung von Radionukliden mittels Gammaskpektrometrie
- [2] Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (StrlSchV) vom 20. Juli 2001, BGBl. III 751-1-8
- [3] Annika Jakobi September 2009, Duale Hochschule Baden-Württemberg, Karlsruhe Bachelor Thesis: Estimation of Uncertainties with the Creation of Mathematical Efficiency Calibrations in Gamma-Ray Spectrometry
- [4] Bundesamt für Strahlenschutz: Berechnungsgrundlage Bergbau – Teil I Berechnungsgrundlage zur Ermittlung der Strahlenexposition infolge Bergbaubedingter Umweltradioaktivität (Berechnungsgrundlage Bergbau), Stand 30. Juli 1999
- [5] Parlamentsbericht: Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2007 <http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/parlamentsbericht07.pdf>, gelesen am 29. Juli 2009
- [6] Danica Melzer, Natürliche Strahlenexposition der Bevölkerung in Baden-Württemberg: Hat die Nutzung von Erdwärme für Wohnhäuser einen Einfluss auf diese Exposition?, Abschlussbericht, KIT Scientific Publishing, ISBN 978-3-86644-659-5, 2011
- [7] Danica Melzer, Bachelorarbeit 15. September 2009, Duale Hochschule Baden-Württemberg Karlsruhe, Natürliche Strahlenexposition durch Sondereinbringung für die private Erdwärmenutzung
- [8] Brigitte Hahn, Masterarbeit 03. August 2009, Universität Rostock, Betrachtung der Strahlenexposition von Mensch und Umwelt durch geothermische Energienutzung für Wohnhäuser in Baden Württemberg

## **RADONSANIERUNGEN IM KANTON TESSIN (SCHWEIZ)**

## **RADON REHABILITATION IN THE CANTON TICINO (SWITZERLAND)**

Marcus Hoffmann

Centro di Competenza Radon CCR, SUPSI, Canobbio-Lugano (CH)

### **Zusammenfassung**

*Der Kanton Tessin in der Südschweiz ist aufgrund seiner geologischen Situation besonders vom Radonproblem betroffen. Aus diesem Grund wurde, im Rahmen einer großangelegten Messkampagne zwischen 2005 und 2010, ein Grossteil der Einfamilienhäuser des gesamten Territoriums auf Radon untersucht (ca. 60.000 Gebäude). Im Fall einer Überschreitung des gesetzlich zulässigen Grenzwertes von 1000 Bq/m<sup>3</sup> ist der Hauseigentümer verpflichtet, geeignete Sanierungsmassnahmen durchzuführen. Das Radon-Kompetenzzentrum (CCR) der Fachhochschule des Kantons (SUPSI) führt im Auftrag des Eigentümers detaillierte Messungen im betreffenden Objekt durch und schlägt aufgrund der Ergebnisse dieser Messungen verschiedene Sanierungsmassnahmen vor. Einige Fallbeispiele dieser Massnahmen werden in diesem Artikel genauer beschrieben.*

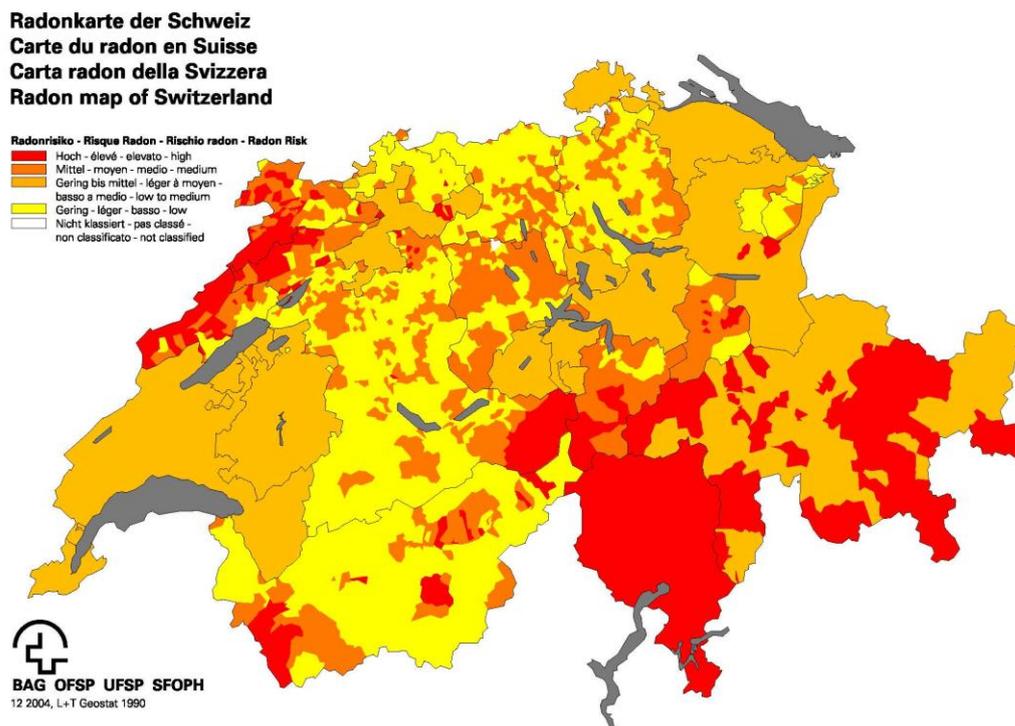
### **Summary**

*The canton Ticino in the South of Switzerland is concerned on account of his geologic situation particularly by the radon problem. That's why a large part of the single-family dwellings of the whole territory was examined, within the scope of a full-scale measuring campaign between 2005 and 2010, for radon (approx. 60,000 buildings). In the case of an excess of the legally allowed limit value of 1000 Bq/m<sup>3</sup> the house owner is obliged to carry out suitable redevelopment measures. The radon-competence centre (CCR) of the advanced technical college of the canton (SUPSI) carries out by order of the owner detailed measurements in the concerning object and suggests on account of the results of these measurements different redevelopment measures. Some case studies of these measures are more exactly described in this article.*

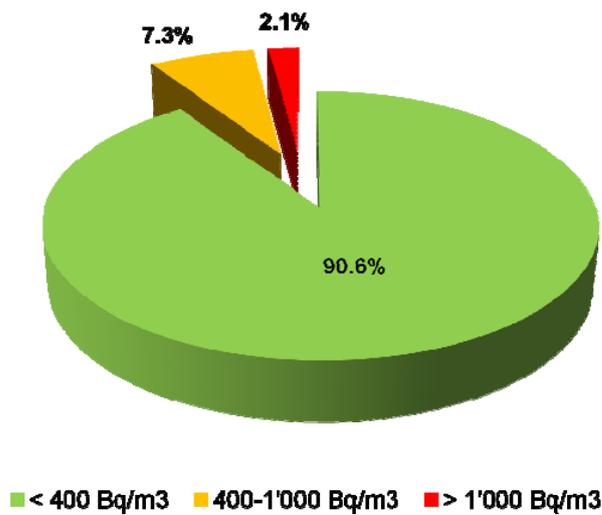
## 1 Einleitung

Das Gebiet südlich des Alpenhauptkamms ist aufgrund seiner geologischen Gegebenheiten besonders radonhaltig. Alle betroffenen Länder (Schweiz, Italien, Frankreich, Österreich) versuchen seit geraumer Zeit, dem Problem der radonkontaminierten Häuser Herr zu werden. Der Schweizer Kanton Tessin, ein besonders betroffenes Gebiet (Abb. 1), hat in den letzten 5 Jahren etwa 60.000 private Einfamilienhäuser auf eine Radonkontamination untersucht. Hierbei wurde ein passives Dosimeter während der Wintermonate (Heizperiode) für ca. 3 Monate an einem festen Ort innerhalb des Gebäudes platziert. Eine Verteilung der gemessenen Radonkonzentration ist in Abbildung 2 ersichtlich. Die relativ geringe Zahl von Gebäuden oberhalb des gesetzlich zulässigen Grenzwertes von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  hinterlässt auf den ersten Blick einen positiven Eindruck, welcher durch die Tatsache, dass die Weltgesundheitsorganisation WHO im Jahr 2010 einen Richtwert von nur  $300 \text{ Bq/m}^3$  empfohlen hat, relativiert wird.

Das Radon-Kompetenzzentrum CCR im Kanton Tessin, welches integrierter Bestandteil der Fachhochschule der italienischen Schweiz (SUPSI – Scuola Universitaria della Svizzera Italiana) ist, berät seit 2006 Hauseigentümer im Bereich Sanierung von radonbelasteten Gebäuden. Voraussetzung für eine effiziente Beratung und Erstellung eines Gutachtens ist eine genaue Analyse des betreffenden Objektes, insbesondere der Struktur des Hauses (insbesondere der Kelleretage bzw. an den Erdboden oder Felsen angelegene Räume), den vermutlichen Eintrittsort des Radons sowie die Bodenbeschaffenheit der unmittelbaren Umgebung. Zur Messung und Identifizierung des Eintrittsortes wird nach einem Standardprotokoll Orientierende Messungen OM, das von einem internationalen Konsortium von Radonexperten (DACH1 [1]) definiert worden ist, verfahren.



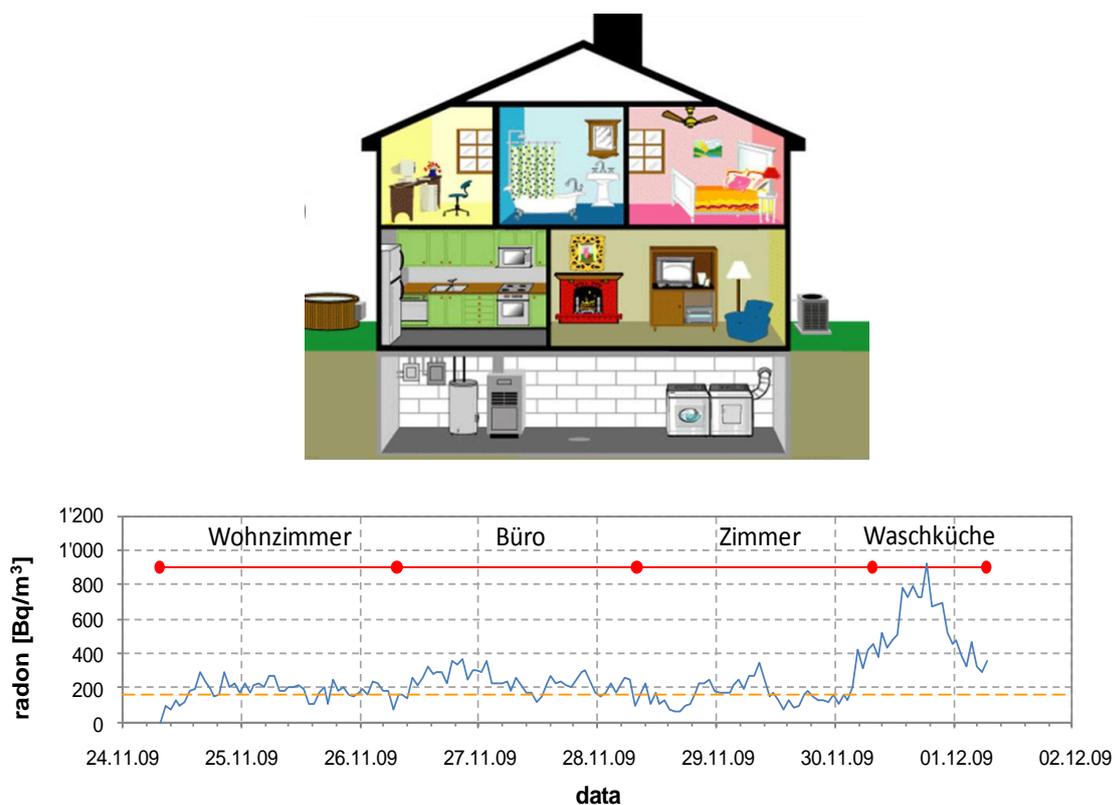
**Abb. 1:** geografische Radonverteilung der Schweiz



**Abb. 2:** Verteilung der gemessenen Radonkonzentration im Kanton Tessin (ca. 60.000 Häuser).

## 2 Fallbeispiele

In diesem Artikel werden diverse Fallbeispiele unter Verwendung von OM beschrieben. Als Messgeräte wurden Radon Scouts der Firma SARAD GmbH (Dresden) verwendet. Ein typisches Messergebnis ist in Abbildung 3 ersichtlich.



**Abb. 3:** typisches Messergebnis von OM mit Erhöhter Radonkonzentration in der Waschküche.

## 2.1 Fallbeispiel 1

Ergebnis der Passivmessung im **Wohnzimmer** (mit Dosimeter, Messzeit: 3 Monate im Winter):

**2527 Bq/m<sup>3</sup>**

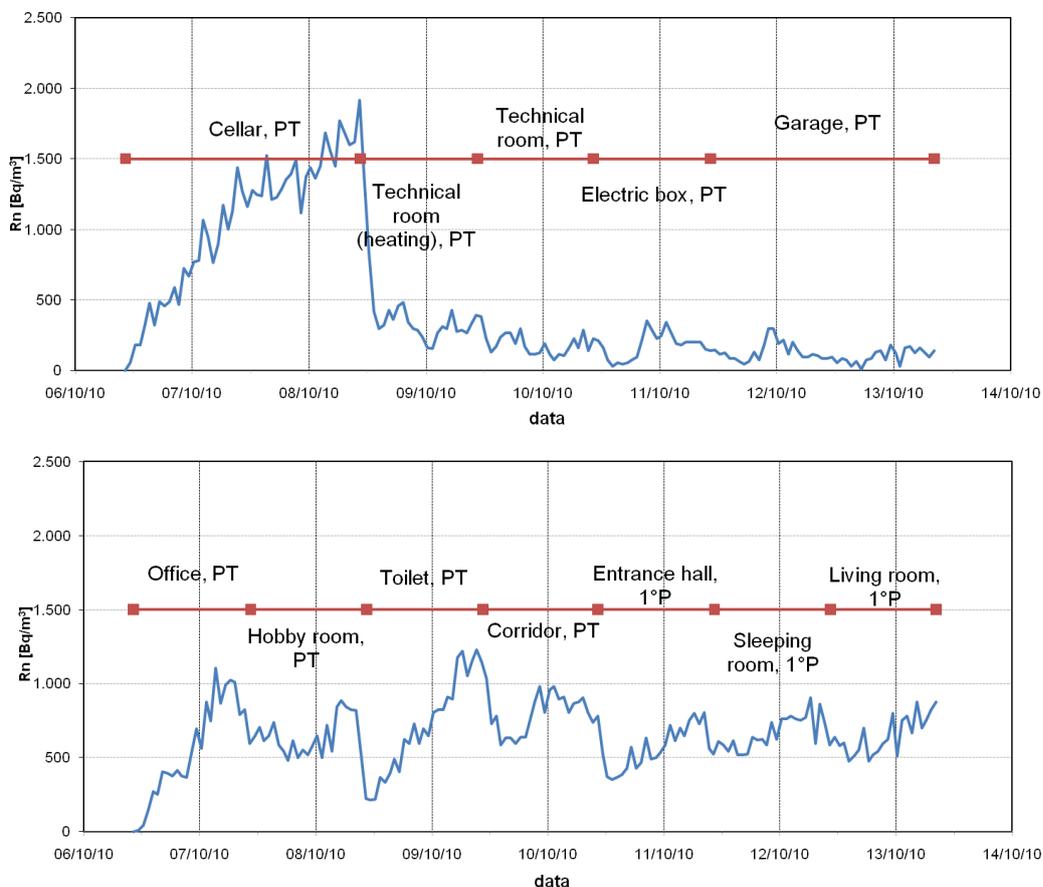
- Radonkonzentration im Wohnzimmer überschreitet gesetzlichen Grenzwert von 1000 Bq/m<sup>3</sup>
- Eigentümer ist gesetzlich verpflichtet zu sanieren

### Gebäudebeschreibung:

- Einfamilienhaus, in den 60er Jahren gebaut
- Keller (teilweise unterhalb des Bodenniveaus):
  - Bewohnte Räume: Büro, Hobbyraum, Bad
  - Unbewohnte Räume: Garage, Heizungsanlage, Kellerraum
- Erdgeschoss:
  - Bewohnte Räume Wohnzimmer, Küche, Bad, Schlafzimmer
  - Beide Etagen durch offene Treppe verbunden.

Der Kellerboden besteht teilweise nur aus losem Kies (wahrscheinliche Radonquelle).

### Ergebnisse der OM (mit 2 Radon Scouts):

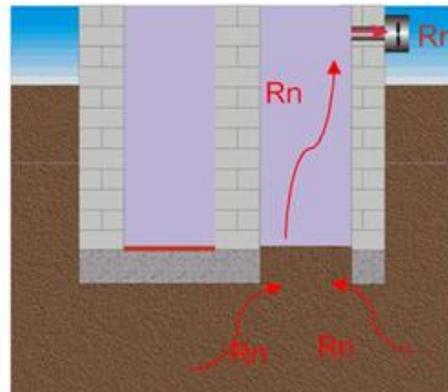


**Abb. 4:** Messergebnisse des Fallbeispiels, aufgrund der hohen Anzahl von Räumen wurden ausnahmsweise 2 Radon Scouts gleichzeitig verwendet (PT = Erdgeschoss, 1°P = erster Stock).

**Vorschläge für eine Sanierung:**

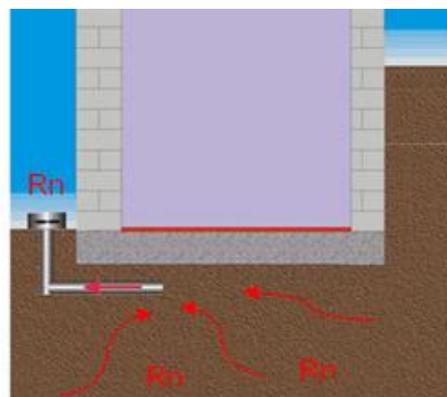
1)

Kellerventilation: Kiesboden ist wahrscheinlich der Eintrittspunkt des Radons. Die Installation eines Ventilators im Keller verursacht ein Druckgefälle unterhalb des Gebäudes und entzieht diesem das Radongas.



2)

Externen/Internen Radonbrunnen. Konstruktion eines Radonbrunnens mit gleichem Effekt (Unterdruck).



**Vorgeschlagener Ventilator:**



**Ventilator:**

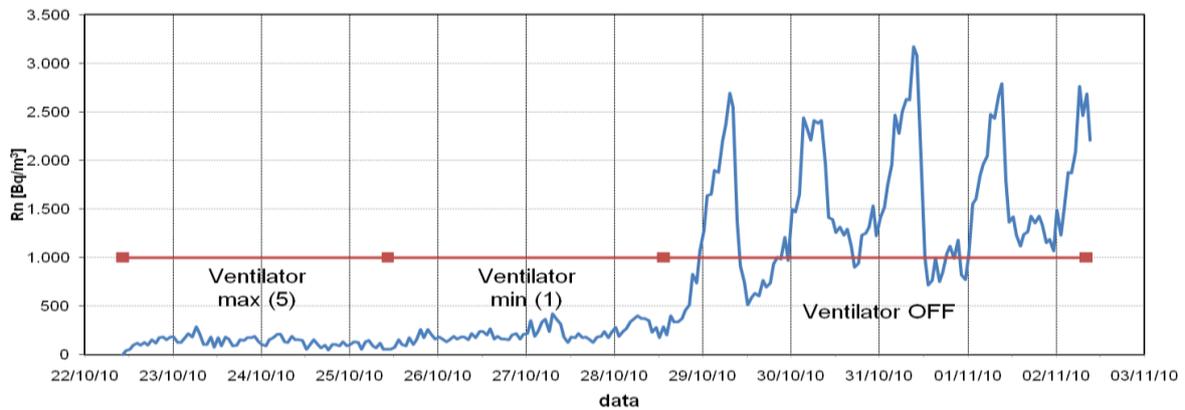
**Name:** Elicent Vitro 9/230 A

**Typ:** Axial Fan

**Leistung:** 24 Watt

**Luftfluss:** 200 m<sup>3</sup>/h

**Sanierung:** Kellerventilation, Kosten der Installation einer Testanlage zur Entlüftung: ca. 400 € (CCR Messungen und Gutachten nicht enthalten):



**Abb. 5:** Installation einer Testanlage zur Entlüftung des Kellerraumes und Messergebnisse (Office PT Abb.4) bei maximaler, minimaler Ventilatorleistung sowie im ausgeschalteten Zustand.

## 2.2 Fallbeispiel 2

Ergebnis der Passivmessung in der **Küche** (mit Dosimeter, Messzeit: 3 Monate im Winter):

**822 Bq/m<sup>3</sup>**

- Wert liegt unterhalb des gesetzlichen Grenzwertes (**1000 Bq/m<sup>3</sup>**), Bewohner jedoch besorgt.
- niedrige Konzentrationen in den Nachbarhäusern gemessen.

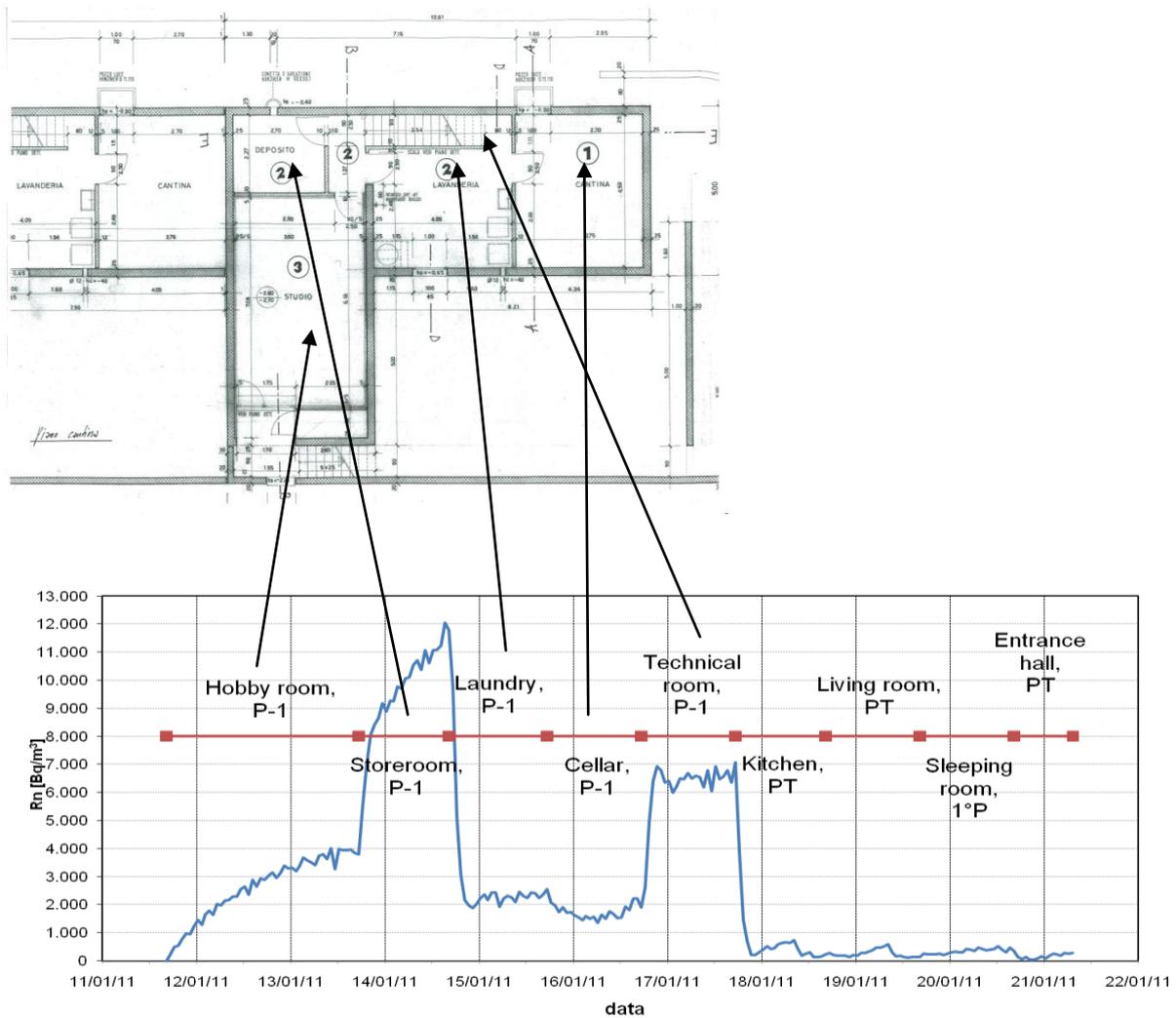
### Gebäudebeschreibung

- Haus mit Terrasse, gebaut in den 90ern.
- Kelleretage (teilweise unterhalb des Bodenniveaus):
  - Bewohnte Räume: Hobbyraum
  - Unbewohnte Räume : Speicher, Heizungsraum, Waschküche, Kellerraum
- Erdgeschoss:
  - Bewohnte Räume: Wohnzimmer, Küche(pass. dos), Bad
- Erste Etage:
  - Bewohnte Räume: 2 Schlafzimmer, Bad

Alle Etagen sind mittels einer Treppe miteinander verbunden. Zwischen Kelleretage und Erdgeschoss existiert eine Tür.

Der Kellerboden ist eine Betonplatte (8 cm) auf Kiesboden (keine Garantie auf Dichtigkeit !!!).

### Ergebnisse der OM



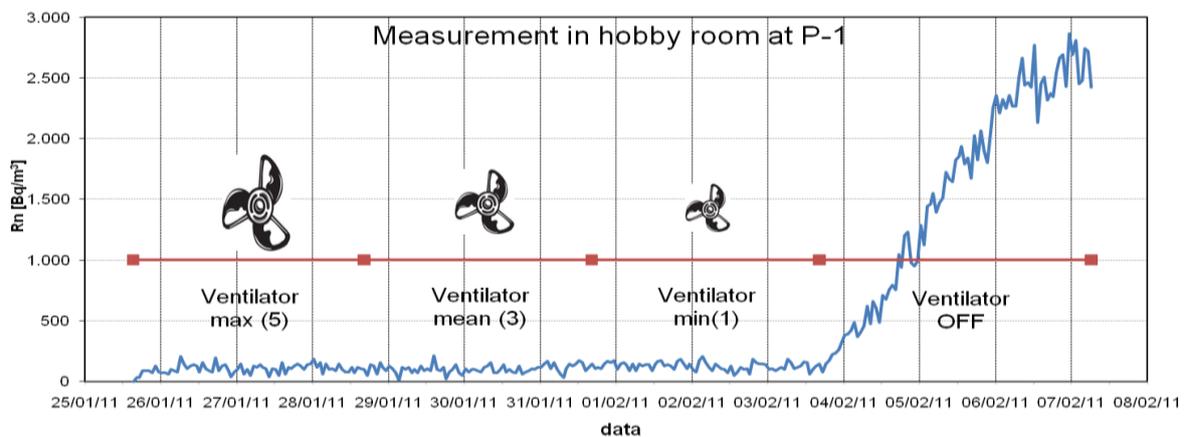
**Abb. 6:** Plan des Kellergeschosses und Messergebnisse, die Pfeile zeigen die Lage der Kellerräume

### Vorschläge für eine Sanierung:

Wahrscheinlich dringt das Radon durch undichte Stellen des Bodenbetons ein, eine genauere Lokalisierung ist jedoch **nicht** möglich. Aus diesem Grund schlagen wir folgende Sanierungsmassnahmen vor:

- **Interner Radonbrunnen:** Erzeugung eines Unterdrucks im Boden unterhalb des Hauses durch ein Ventilationssystem in der Abstellkammer (kleiner Raum mit Fenster)
- **Externer Radonbrunnen.** Das gleiche Ergebnis kann mittels eines externen Radonbrunnens erzeugt werden. Das Ventilationsrohr sollte relativ zentral enden.

Die Entscheidung fiel aus Kostengründen auf einen internen Radonbrunnen, die entstandenen Kosten wurden auf ca. 2300 Euro beziffert. Das Ergebnis der anschliessend erfolgten Messungen ist in folgender Abbildung ersichtlich.



**Abb. 7:** Messergebnisse nach Installation eines internen Radonbrunnens bei maximaler, minimaler Ventilatorleistung sowie im ausgeschalteten Zustand.

## 2.3 Fallbeispiel 3

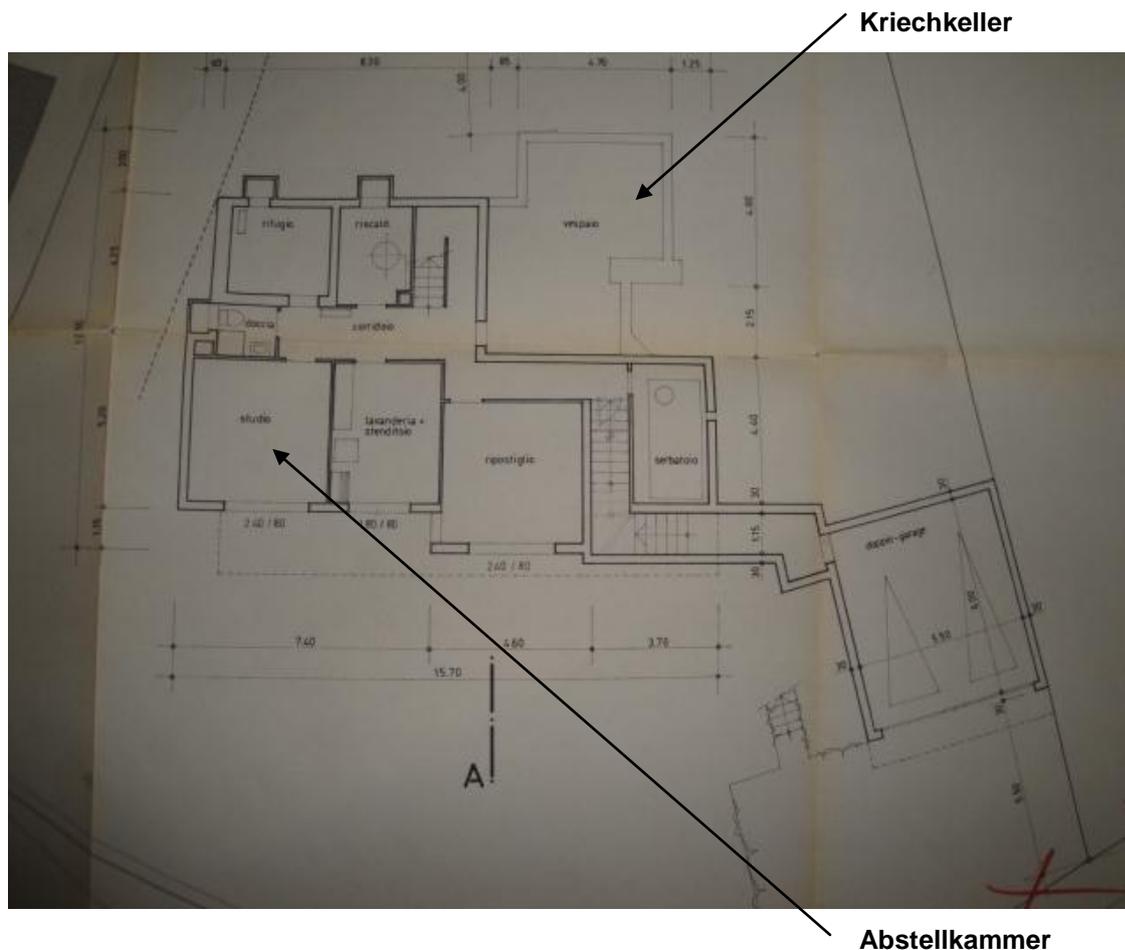
Ergebniss der Passivmessung im **Schlafzimmer** (mit Dosimeter, Messzeit: 3 Monate im Winter):  
**983 Bq/m<sup>3</sup>**.

### Gebäudebeschreibung:

- Einfamilienhaus, gebaut in den 60ern.
- Kelleretage (teilweise unterhalb des Bodenniveaus):
  - bewohnte Räume: Hobbraum, Bad
  - unbewohnte Räume Heizungsraum, Kellerraum, Waschküche
- Erdgeschoss:
  - bewohnte Räume : Wohnzimmer, Küche, Bad, Schlafzimmer
  - Alle Etagen sind mittels einer Treppe miteinander verbunden

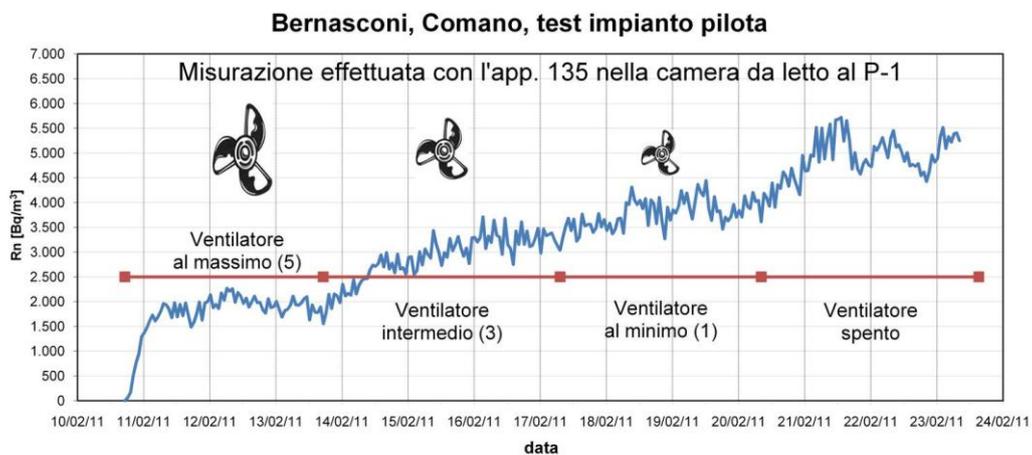
### Vorschläge für eine Sanierung:

Abbildung 8 zeigt den Grundriss des Kellergeschosses mit dem Hinweis auf den Kriechkeller, der für den ersten Sanierungsvorschlag von Bedeutung ist.



**Abb. 8:** Grundriss des Kellergeschosses

**Erster Versuch:** Kellerventilation; ein Ventilator wurde im Kriechkeller installiert um in diesem ein Unterdruck zu erzeugen.



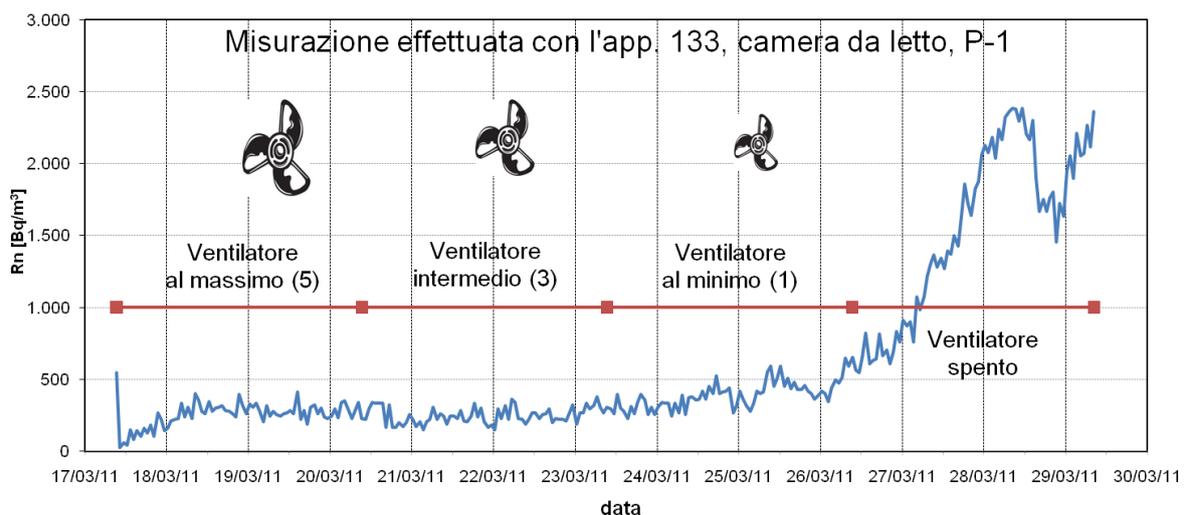
**Abb. 9:** Installation eines Ventilators zur Evakuierung des Kriechkellers und Messergebnis

Wie aus Abbildung 9 ersichtlich, ist ein positiver Effekt der Evakuierung durch den Ventilators, insbesondere bei maximaler Leistung zu beobachten. Die Radonkonzentration überschreitet jedoch bei weitem noch die Toleranzschwelle. Wahrscheinlich wird ein Teil der abgesaugten Luft durch undichte Stellen der Rohrleitungen kompensiert.

Demzufolge wurde ein zweiter Sanierungsversuch unternommen: ein interner Radonbrunnen in einer Abstellkammer (s. Abb. 8), dessen Fussboden relativ zum Gesamtniveau des Kellers um ca. 15 cm abgesenkt ist (Grund unbekannt). Mit relativ geringen Kosten wurde ein Loch möglichst zentral relativ zum Hausgrundriss in den Betonboden gebohrt und ein provisorisches Absaugsystem mit einem Helios Ventilator installiert (s. Abb.10). Die anschliessend vorgenommene Messreihe zeigt eine erhebliche Reduktion der Radonkonzentration im Korridor.



### Bernasconi, Comano, test impianto pilota



**Abb. 10:** Testinstallation eines Radonbrunnens in der Abstellkammer und Messergebnisse bei maximaler(5), mittlerer(3), minimaler(1) Ventilatorleistung und im ausgeschalteten Zustand

### 3 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Sanierung von radonverseuchten Gebäuden ist äußerst komplex und beinhaltet viele Parameter die oft schwierig einzuschätzen sind, wie z.B. die Bodendichte unterhalb des betreffenden Objektes, Eintrittsort des Radons etc. Oft wird die Bestimmung der Parameter durch den Ordnungszustand des Hauses (meist Keller) zusätzlich erschwert.

Jeder Sanierungsvorschlag sollte mit einer provisorischen Installation getestet werden, es gibt keine Garantie auf eine erfolgreiche Sanierung aufgrund von Beobachtungen.

Im Folgenden werden die wichtigsten Schlussfolgerungen der 5-jährigen Erfahrungen des CCRs zusammengefasst:

- Die Art der Radonsanierung muss speziell auf die Geometrie des betreffenden Gebäudes, dessen Lage und dessen Umgebung angepasst werden
- Eine Einschätzung der Lage des Eindringpunktes ist von entscheidendem Vorteil
- Eine Einschätzung der Bodendichte ist wichtig (Rundgang um das Objekt)
- Das CCR installiert lediglich Pilotanlagen zum testen deren Effizienz
- CCR benutzt Systeme die mit Unterdruck arbeiten, Kollegen in der Deutschschweiz arbeiten auch mit Überdruckanlagen (schwer zu kontrollieren)
- Eine luftdichte Isolierung der Eindringzone wird als Sanierungsmassnahme vom CCR grundsätzlich abgelehnt (teuer und schwer zu realisieren)
- Die Installation von Flächendränagen werden ebenfalls aus Kostengründen nicht in Betracht gezogen

### 4 Literaturverzeichnis

Impressum: Gemeinsame Veröffentlichung von Radon-Fachstellen aus Österreich, Schweiz, Süddeutschland, Südtirol. Bearbeitung:

- [1] Gräser Joachim (AGES, Österreich), Grimm Christian (Ministerium für Umwelt, Naturschutz und Verkehr, Baden-Württemberg),
- [2] Kaineder Heribert (Amt der Oö. Landesregierung), Körner Simone und Loch Michael (beide Bayerisches Landesamt für Umwelt),
- [3] Minach Luigi (Landesagentur für Umwelt, Südtirol), Ringer Wolfgang (AGES, Österreich),
- [4] Roserens Georges-André (Bundesamt für Gesundheit, Schweiz),
- [5] Valsangiacomo Claudio (SUPSI, Schweiz) E. Frenk, R. Panizzon, Stellungnahme zum Thema künstliche UV-Quellen/Solarien, Schweizerische Ärztezeitung, 76(40), p. 1619, 1995

## **PRAKTISCHE ASPEKTE UND ERFAHRUNGEN BEI DER REALISIERUNG UND ÜBERWACHUNG VON RADONSCHUTZMAßNAHMEN.**

## **PRACTICAL ASPECTS AND EXPERIENCES DURING THE REALISATION AND SUPERVISING OF RADON PROTECTION MEASURES.**

Bernd Leißring

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

### **Zusammenfassung**

*An Beispielen werden auftretende Fragen der Realisierung von Radonschutzmaßnahmen und der Überwachung von baulichen Leistungen zur Senkung der Radonbelastung erörtert.*

*Ausgangspunkt ist die Festlegung des zu erreichenden Zielwertes, der nach Beendigung der Bauleistungen vorliegen soll, der zwischen Bauherrn und dem Bauausführenden abgestimmt werden muss.*

*Fragen einer effektiven Bauüberwachung zur Sicherung des Radonschutzes und praktische Beispiele von Fehlern im Bauablauf werden diskutiert. Es wird vorgeschlagen, in einem speziellen Hausbuch die nach dem Bauabschluss notwendigen Kontroll- und Überwachungsnotwendigkeiten festzulegen, damit ein perspektivisch sicherer Radonschutz gesichert werden kann.*

### **Summary**

*Present problems of the realization of radon protection measures and the supervision of construction outputs for the lowering of the radon pollution will be shown by examples.*

*Starting point is the fixing of the target measurement which must be reached after the end of the constructing outputs and which must be agreed between the building owner and the constructor.*

*Problems of effective construction supervision for the safeguarding of the radon protection and practical examples of mistakes during the construction are discussed.*

*It is suggested to fix the required control and supervision necessities in a special house book in order to ensure a prospectively safe radon protection.*

## 1 Einführung

Unabhängig von der Problematik der Festlegung des Zielwertes für die Radonkonzentration ist die Notwendigkeit des radonsicheren Bauens oder einer zielgeführten Sanierung an vielen Standorten unumstritten.

Die eigenen Erfahrungen auf diesem Gebiet sind seit über 20 Jahren vorhanden.

Nach wie vor gibt es in der BRD keinen gesetzlichen Grenzwert für Radon in Gebäuden.

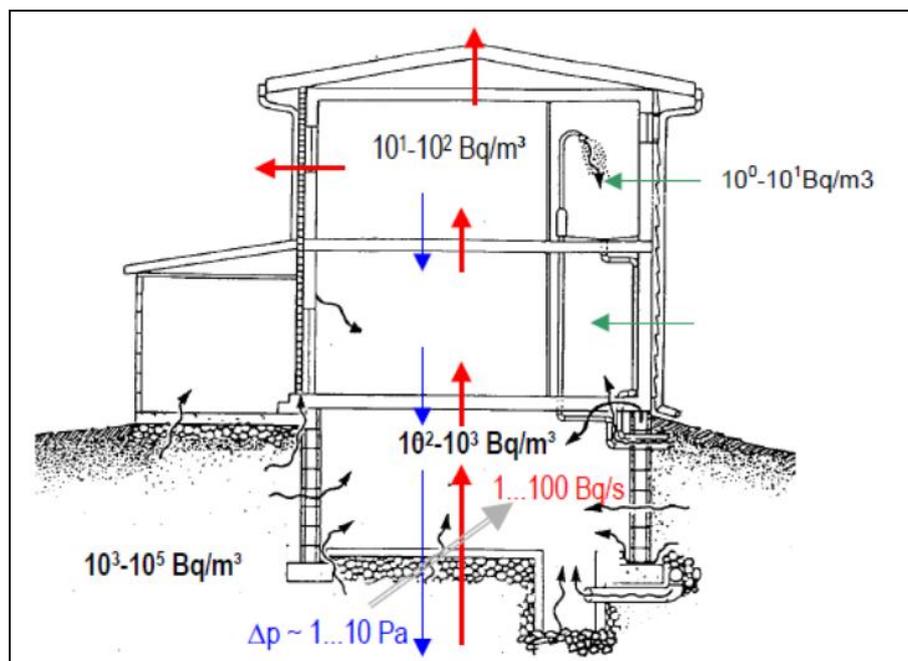
Nur für bestimmte Beschäftigtengruppen liegen mit der geltenden Strahlenschutzverordnung gesetzliche Bestimmungen vor.

Betrachte man die Entwicklung der Zielvorgaben auf der Basis der Empfehlungswerte verschiedenster Institutionen sowohl national als auch international ist eine eindeutige Tendenz zur Herabsetzung der Konzentrationsobergrenze festzustellen. Waren zum Beispiel in Sachsen Radonsanierungen auf Werte  $< 1.000 \text{ Bq/m}^3$  lange Zeit Sanierungsziel, stellt man fest, dass gegenwärtig die Zielwerte auf  $< 400 \text{ Bq/m}^3$  relevant sind. Bei Neubauten wird auf Radonkonzentrationen kleiner gleich  $100 \text{ Bq/m}^3$  orientiert.

Aus diesen Ausgangsbedingungen leiten sich zusätzliche Notwendigkeiten ab, die bei der baulichen Realisierung, Kontrolle und Überwachung zu neuen, anspruchsvollen Aufgabenstellungen führen [1], die nach wie vor von grundlegendem Interesse für Besitzer und Nutzer von Gebäuden sind.

## 2 Wege für die Radonsanierung und den Neubau von radonsicheren Gebäuden

Die Wege zur Radonsanierung eines Hauses sind in Abbildung eins und zwei prinzipiell dargestellt [2].



**Abb. 1:** Prinzipdarstellung Radonbelastung

<b>Wege zur Senkung der Radonkonzentration in Gebäuden</b>
erhöhte natürliche Belüftung des Gebäudes
erhöhte mechanische Belüftung des Gebäudes
Unterbindung des konvektiven Luftstromes zwischen einem Keller und den darüber liegenden Räumen
Verfugung von Öffnungen, Rissen und Spalten bzw. Versiegelung von Flächen durch Anstriche oder Beschichtungen
erhöhte mechanische Bodenluftabsaugung unterhalb der Bodenplatte
erhöhte natürliche Bodenluftabsaugung unterhalb der Bodenplatte
Reduktion des (infolge des Kamineffektes) herrschenden Unterdrucks im Gebäude
Erzeugung von Überdruck im Gebäude

**Abb. 2:** Wege zur Senkung der Radonkonzentration in Gebäuden

Man kann also zwei Hauptwege der Sanierung erkennen.

- 1.) bauliche Maßnahmen zur Abdichtung des Gebäudes gegenüber den Radoneintritt aus den vorhandenen Baugrund
- 2.) technische Einrichtungen zur Senkung der Radonkonzentration in Innenräumen zum Beispiel durch Belüftung oder zur Verringerung des potentiellen Radondargebotes im Bereich des Gebäudes, wie zum Beispiel das Anlegen von Radonbrunnen oder Absaugung.

Bei Neubauten ist grundsätzlich ein kostengünstiger Radonschutz möglich, wenn dies schon in der Planungsphase beachtet wird und die Realisierung sorgfältig überwacht wird.

Hier spielen die Prüfung der verwendeten Baumaterialien insgesamt und insbesondere die verwendeten Folien mit dem „kritischen“ Bereich der Durchdringung der Folie, zum Beispiel durch Medienzuführungen, wichtig. Bei Lüftungslösungen muss die langfristige Funktionstüchtigkeit gesichert sein.

### 3 Zielwertdiskussion

Im Brennpunkt der Planung zum Radonschutz stehen die Beratung zum radonsicheren und Bauen und die Festlegung des Zielwertes. Da dazu keine letztlich relevante Vorgabe existiert, gibt es dadurch einen Freiraum und mögliche Ansätze für Rechtsstreitfälle bei den vertraglichen Vereinbarungen, in Abbildung drei ist dies schematisch dargestellt.

In der Praxis kann man feststellen, dass nur in Einzelfällen entsprechende Festlegungen zum Zielwert und zum Prozedere der Überprüfung vorliegen.

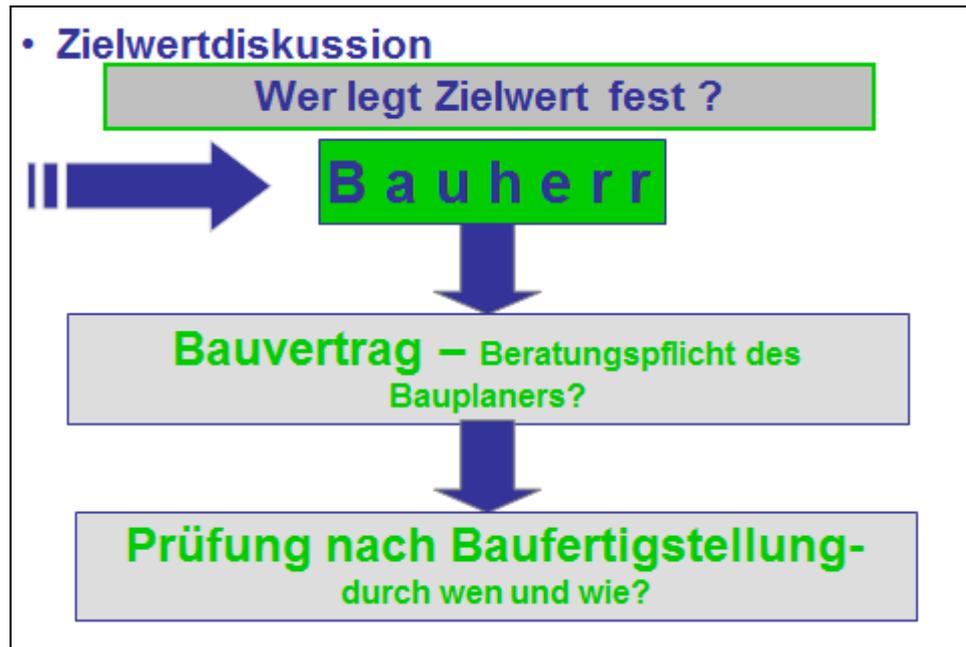


Abb. 3: Schema Zielwertdiskussion

Nach wie vor gibt es bei vielen Neubauprojekten, wo aus den Standortbedingungen ein Radonschutz notwendig und sinnvoll ist, keine geplanten Lösungen für den Radonschutz. Hier ist ein Wertverlust vorprogrammiert. Diese Objekte sind spätestens bei zukünftig verbindlich gesetzlichen Vorgaben perspektivisch Sanierungsobjekte.

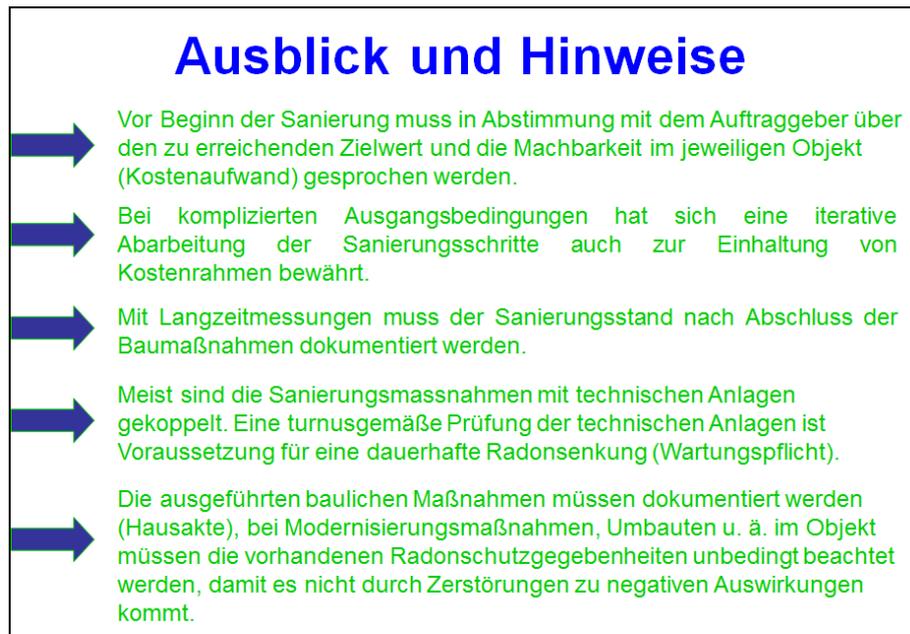
#### 4 Probleme bei der baulichen Realisierung des Radonschutzes und der Überwachung erreichter Verhältnisse und Schlussfolgerungen

An Beispielen wird auf Ausführungsfehler beginnend von profanen Eingriffen auf den Radonschutz bis hin zum Ausfall technischer Lösungen hingewiesen.

Folgende Schwerpunkte werden diskutiert.

- 1.) Zerstörung des Radonschutzes durch Eingriffe auf die Radonschutzfolie
- 2.) bauliche Veränderung an Gebäuden mit Wirkung auf die vorhandenen Radonschutzmaßnahmen
- 3.) Erhöhung der Innenraumkonzentration durch Unterlassung der Wartung technischer Anlagen
- 4.) Verbesserung des Radonschutzes durch Veränderung der vorhandenen Absaugung
- 5.) Langzeitkontrolle vorhandener Radonschutzlösungen

Die Schlussfolgerungen aus den Erfahrungen sind in nachfolgender Abbildung zusammengestellt.



**Abb. 4:** Notwendigkeiten für dauerhaften Radonschutz

Die Problematik einer geeigneten Abschlussmessung nach Realisierung der Radonchutzmaßnahmen ist auch zwischen dem Bauherrn und den mit der Messung beauftragten Institution abzustimmen. Sinngemäß trifft dies auch auf Problemfälle bei Nutzungsüberlassung von „nicht befriedigten“ Radonkonzentrationsverhältnissen in Gebäuden zu [6].

Hier sollte darauf geachtet werden, von der wirklichen Verweilzeit der Bewohner oder Beschäftigten in dem jeweiligen Gebäude auszugehen.

Ein praktischer Ansatz ist bei [5] vorgeschlagen worden, da somit die tatsächlichen Belastungen auf Personen als Kriterium der Zielwertfestlegung dienen kann und nicht eine meistens erhöhte Radonkonzentration in den Zeiträumen der Nichtnutzung, einen Einfluss auf das Erreichen des, eventuell auch gerichtlich relevanten Tatbestand ausübt.

Der tendenzielle Anstieg von Gerichtsverfahren zu diesen Streitfällen ist vom Autor bei seiner Tätigkeit als öffentlich bestellter Sachverständiger zu beobachten.

## 5 Literaturverzeichnis

- [1] Leißring, B.: Erfahrungen beim Radonschutz in Gebäuden mit bergbaulicher Beeinflussung.- 1. Sächsischer Radontag, Tagungsband, 2007
- [2] Baudocu Österreich: [www.bau-docu.at](http://www.bau-docu.at), 2011
- [3] Grundmann, G., Leißring, B.: Langzeitkontrolle der Radonkonzentration im Einkaufszentrum Schlema.- 3. Sächsischer Radontag, Tagungsband, 2009
- [4] Leißring, B.: Erfahrungen bei der Sanierung einer Schule.- 2. Sächsischer Radontag, Tagungsband, 2008
- [5] Flesch, Hermann, Jobski, Leißring, Löbner, Schulz: Neue Aspekte der Radonmessung in Gebäuden.- 2. Sächsischer Radontag, Tagungsband, 2008
- [6] Leißring, B.: Radonsanierung im Blickfeld der Öffentlichkeit und der Rechtsprechung.- 35. Sitzung des Arbeitskreises Natürliche Radioaktivität, Bremerhaven, 2008



## **BAUABLAUF UND RADONMESSUNGEN / EMPFEHLUNGEN FÜR BAUHERRN**

## **CONSTRUCTION EXPIRY AND RADON MEASUREMENTS / RECOMMENDATIONS FOR CONSTRUCTORS**

Hartmut Schulz

René Baumert

IAF - Radioökologie GmbH, Radeberg

### **Zusammenfassung**

*Für eine belastbare Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundstücks ist neben der Bestimmung der Radonkonzentration in der Bodenluft, die Messung der Gaspermeabilität des Bodens zwingend notwendig. Auch bei einem niedrigen Radonkonzentrationsniveau im Baugrund kann bei einer entsprechend hohen Gaspermeabilität des Bodens ein erhöhtes Radonrisiko auf dem Grundstück bestehen, das erweiterte bauliche Radonschutzmaßnahmen bedingen kann, um das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Gebäude zu unterminieren. Letztlich legt aber die Qualität der baulichen Ausführung, insbesondere die Dichtheit der Mediendurchführungen und die der Schnittflächen von Bausegmenten fest, wie viel Radon in ein Gebäude eindringen kann. Das bedeutet im Umkehrschluss, dass neben der Beurteilung der Baugrundsituation, die Überprüfung der Qualität der Bauausführung durch Dichtheitsmessungen eine wichtige Voraussetzung für einen umfassenden Radonschutz darstellt.*

### **Summary**

*For a loadable assessment of the radon risk of a building plot is beside the regulation of the radon concentration in the ground air, the measurement of the gas-permeability of the ground compelling inevitably. Also with a low radon concentration level in the development site a raised radon risk on the property can exist with an accordingly high gas-permeability of the ground, the enlarged architectural radon preventive measures can cause to undermine the penetration of radon-containing ground air in the building. However, in the end, fixes the quality of the architectural implementation, in particular the density of the media-bushing and those of the cut surfaces of construction segments how much radon can penetrate into a building. This means in the reverse that beside the judgement of the development site situation, the examination of the quality of the execution of construction with density measurements shows an important condition for a comprehensive radon protection.*

## 1 Vorbemerkung zum Sach- und Kenntnisstand

Die "Bauqualität" eines neu errichteten Hauses übt den größten Einfluss darauf aus, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht. Ist das Haus praktisch radondicht gebaut, spielt die Radonverfügbarkeit des Baugrunds keine Rolle. Baumängel begünstigen im starken Maße das Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Wohngebäude und können zu nicht tolerierbaren Radonbelastungen führen, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte erreichen müssen [1], [2].

Wichtig ist auch festzustellen, dass vor allem in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen einzelnen Hausräumen oder zwischen der Innenraumluft und der Außenatmosphäre konvektive Luftströmungen induziert werden, die jahres- und tageszeitliche Charakteristika aufweisen und auch für das Verständnis der Infiltration von radonhaltiger Bodenluft aus dem Baugrund in ein Haus von signifikanter Bedeutung sind. Das Haus selbst übt aufgrund seiner vergleichsweise hohen mittleren Innentemperatur von  $\geq 20^\circ\text{C}$  den größten Einfluss auf das Radontransportverhalten zwischen dem Haus und den umgebenden Baugrund aus.

In Wohngebäuden, die in den letzten 20 - 30 Jahren gebauten wurden, werden oft die Keller auch als Wohn- oder Arbeitsräume genutzt bzw. beim Bau als solche konzipiert, so dass aufgrund der bestehenden Temperaturdifferenzen praktisch in jeder Jahreszeit das Haus auf die umgebende Bodenluft des Baugrunds einen permanenten Unterdruck ausübt. Beim Vorhandensein von Leckagen leistet der damit verknüpfte Saugeffekt dem Eindringen von radonhaltiger Bodenluft in das Haus Vorschub. Die Situation ist völlig analog bei Häusern ohne Keller, da immer ein starkes Temperaturgefälle zwischen dem Hausinnenraum und der Bodenluft unterhalb der Bodenplatte besteht.

Vor allem bei öffentlichen Gebäuden, wie z.B. Schulen und Kindergärten, ist das Nutzen von Kellerräumen als Werkräume, Klassenräume, Speiseräumen üblich, so dass in vielen Fällen wegen des Saugeffekts die nicht radondichten Medieneinbindungen die Hauptursache für erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen sind [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**].

Die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen wird durch die Höhe des Luftwechsels entscheidend mitbestimmt. Eine Mindestlüftung verfolgt das Ziel der Abwehr von Risiken für Mensch und Bausubstanz, so dass sowohl gesundheitsschädigende Raumluftzustände als auch Tauwasserbeziehungsweise Schimmelpilzbildung verhindert werden können. Aus den Recherchen folgte, dass von einer verhältnismäßig geringen Luftwechselrate von etwa  $0,2\text{ h}^{-1}$  für ca. 50% des Altbaubestandes sowie von noch geringeren Luftwechselzahlen für Niedrigenergiehäuser und Passivhäuser auszugehen ist [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**]. Dieser Tatbestand impliziert, dass sowohl der Radonfreisetzung aus den Baumaterialien als auch der Radondichtheit des Gebäudes zur Vermeidung einer Ankopplung an das "Radonreservoir" Bodenluft im Baugrund besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Der Kenntnis über den in einem Gebäude herrschenden Luftwechsel kommt somit eine herausragende Bedeutung zu, um die mögliche Radonkonzentrationserhöhung bei Verringerung des Luftwechsels im Zuge von Energiesparmaßnahmen eingrenzen zu können (s. z.B. [3], [4], [5]).

## 2 Zu den Kenngrößen radiologischer Untersuchungen des Baugrunds

Bevor ein Haus geplant wird, steht oftmals erst die Auswahl des Grundstücks und die anschließende Bewertung der Baugrundsituation im Vordergrund. Bei den Baugrunduntersuchungen hinsichtlich der Beurteilung eines möglichen Radonrisikos muss generell berücksichtigt werden, ob das Haus mit oder ohne Keller errichtet wird. Im Vorschlag der Landeshauptstadt Dresden wird deshalb empfohlen, entsprechende radiologische Messungen für Häuser mit Keller nur nach Errichtung der Baugrube durchzuführen.

Die Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft allein genügt nicht, um das Gefährdungspotential eines Baugrundstücks hinsichtlich der durch Radon und seine Folgeprodukte bedingten Strahlenexposition der Bewohner abschätzen zu können. Wichtiger ist die Kenntnis der Eigenschaften des Baugrunds bezüglich des Radontransports bzw. der Radonverfügbarkeit. Neben den Lüftungsbedingungen sind die zeitlichen Variationen der Radonkonzentrationen in Bauwerken auf den am Interface Gründungsschicht-Bauwerk herrschenden Unterdruck zurückzuführen [6], [7]. Bei solchen konvektiven Prozessen spielt die Darcy-Geschwindigkeit des Bodengases

$$v = -\frac{k}{\eta} \Delta p, \quad (1)$$

die dem Produkt von Gaspermeabilität des Bodens  $k$  [ $m^2$ ] und Druckgradienten  $\Delta p$  am Interface Gründungsschicht-Bauwerk direkt proportional ist, die entscheidende Rolle für den Radontransport. Der Proportionalitätsfaktor in (1) ist durch die dynamische Viskosität der Luft  $\eta=1,8 \cdot 10^{-5}$  Pa·s gegeben. Die Radoninfiltrationsrate in das Gebäude ist durch

$$Q = v C_{Rn}, \quad (2)$$

bestimmt, wobei  $C_{Rn}$  die Radonkonzentration in der Bodenluft bezeichnet.

In der Tab. 1 sind für ausgewählte Bodenarten die Gaspermeabilitäten zusammengestellt. Sie vermitteln, dass die Variationsbreite von  $k$  mindestens je nach Baugrund 2 - 3 Größenordnungen überstreichen kann.

**Tab. 1:** Gaspermeabilität einiger wichtiger Bodentypen [8]

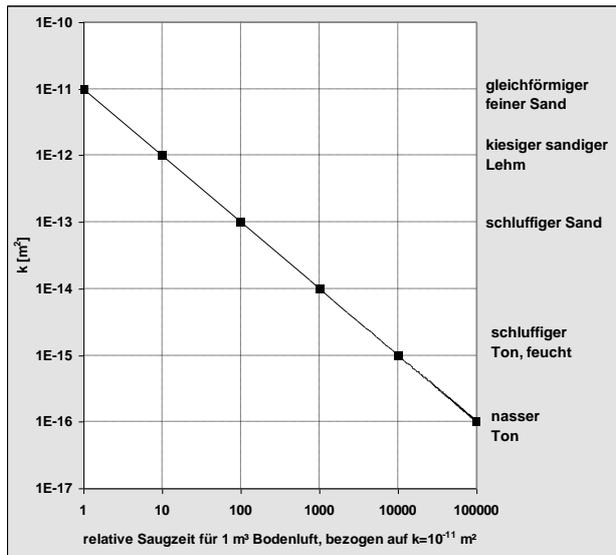
Bodentyp	Gaspermeabilität $k$ [ $m^2$ ]
Ton, nass	$10^{-16}$
schluffiger Ton, feucht	$10^{-15}$
schluffiger Sand	$10^{-13}$
Schluff	$2 \cdot 10^{-13}$
kiesiger, sandiger Lehm, Gew. Proz. Wasser	4 $10^{-12}$
gleichförmiger feiner Sand, Gew.-proz. Wasser	17 $10^{-11}$
gleichförmiger, mittlerer Sand	$2 \cdot 10^{-9}$
reiner Kies	$10^{-9} - 10^{-7}$

Die effektive Gaspermeabilität  $k$  hängt im starken Maße von der Porosität und der Wassersättigung des Bodens ab. Aus diesem Grund ist eine Parametrisierung des Gefährdungspotentials, das durch die Migration von Radon in die Häuser bedingt ist, hauptsächlich in Abhängigkeit von

- der Gaspermeabilität  $k$ ,
- der Radonkonzentration in der Bodenluft  $C_{Rn}$ ,
- des durch das Haus verursachten Unterdrucks  $\Delta p$  und der
- Luftwechselrate  $L_w$

zu erfassen.

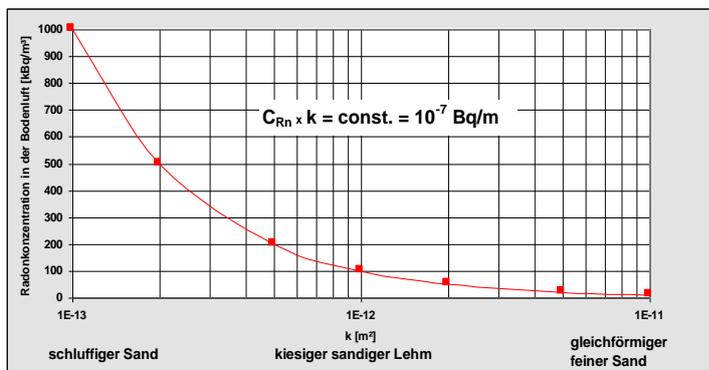
Die Abb. 1 illustriert dies für die am häufigsten vorkommenden Bodenarten. Die Zeit für das Ansaugen von  $1 m^3$  Bodenluft vergrößert sich jeweils um eine Größenordnung bei entsprechender Verringerung der Gaspermeabilität. Somit wird bei konvektiven Transportprozessen, induziert durch das Druckgefälle am Übergang Haus-Baugrund, die Größe  $k$  selbst zum bestimmenden Element für die Höhe der konvektiven Radoninfiltrationsrate in das Haus.



**Abb. 1:** Relative Saugzeit für 1 m³ Bodenluft, normiert auf die für gleichförmigen feinen Sand mit einer Gaspermeabilität von  $k=10^{-11}$  m²

Aus der gleichzeitigen Messung von Gaspermeabilität  $k$  und der Radonkonzentration in der Bodenluft  $C_{Rn}$  wird die Radonverfügbarkeit bzw. der Radonverfügbarkeitsindex (RVI) [9] des Baugrunds durch das Produkt von  $k \cdot C_{Rn}$  bestimmt. Die Radoneintrittsrate in ein Haus wird dann nachhaltig vom Druckgefälle  $\Delta p$  zwischen Haus und Bodenluft im Baugrund beeinflusst und kann sehr genau durch entsprechende Messungen im Keller direkt erfasst werden [Fehler! Textmarke nicht definiert.], [Fehler! Textmarke nicht definiert.], [Fehler! Textmarke nicht definiert.].

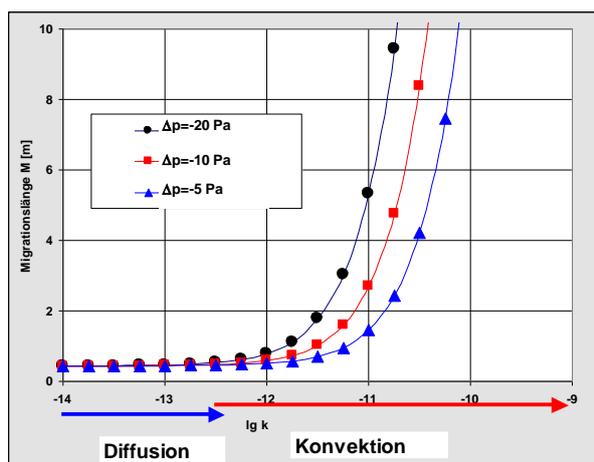
In der Abb. 2 ist dieser Sachverhalt anhand eines vereinfachten Beispiels untersetzt. Es illustriert, dass ein Baugrund aus gleichförmig feinem Sand ( $k=10^{-11}$  m²) und einer Radonbodenluftkonzentration von nur 10 kBq/m³ aufgrund seiner vergleichsweise hohen Gaspermeabilität ebenso viel Radonaktivität in ein Haus liefern könnte wie ein Baugrund, bestehend aus einem kiesigen sandigen Lehm ( $k=10^{-12}$  m²) mit einer deutlich höheren Radonbodenluftkonzentration von 100 kBq/m³. Dieses Beispiel veranschaulicht, dass nicht die Radonkonzentration in der Bodenluft, sondern die Radoneintrittsrate in das Haus die entscheidende Größe ist, um das Radonrisiko belastbar abzuschätzen.



**Abb. 2:** Radonkonzentration in der Bodenluft in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität  $k$  bei konstanter Radonverfügbarkeit  $k \cdot C_{Rn}$

Würde eine Bodenluft radonkonzentration von  $C_{Rn} = 100 \text{ kBq/m}^3$  allein ins Kalkül gezogen, um das Radonrisiko abzuschätzen, könnte im Sinne einer konservativen Bewertung ein hohes Radonrisiko abgeleitet werden. Die Berücksichtigung der Gaspermeabilität relativiert jedoch solche Pauschalaussagen und führt zu einer realistischeren Beschreibung, die auch letztlich zu einer Reproduktion der komplexen und zeitlich variierenden Innenraumradonkonzentrationen eines Hauses führt [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**], [10].

Unterdrücke von ca. -5 bis -20 Pa am Interface Gründungsschicht-Bauwerk sind dabei als eine realistische Größenordnung anzusehen. Die Ergebnisse in der **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** veranschaulichen den Einfluss des Unterdrucks am Interface Gründungsschicht-Bauwerk auf die mittlere Radonmigrationslänge im Baugrund (s.a. [11], [12]).



**Abb. 3:** Infiltrationsraten  $Q$  in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität bei Berücksichtigung verschiedener Unterdrücke am Interface Gründungsschicht-Bauwerk

Es ist offensichtlich, dass bei Böden, charakterisiert durch Gaspermeabilitäten von  $k \geq 10^{-12} \text{ m}^2$ , die Gaspermeabilität der entscheidende Zustandsparameter ist, der die Radontransporteigenschaften des Mediums Boden bestimmt. Bei weniger gaspermeablen Böden im Bereich von  $10^{-13} \text{ m}^2 < k < 10^{-12} \text{ m}^2$  bestimmt ein Zusammenwirken von diffusiven und konvektiven Radontransportprozessen die Radoneintrittsrate in ein Gebäude. Bei gering gaspermeablen Böden mit  $k < 10^{-13} \text{ m}^2$  ist die Radoneintrittsrate  $Q$  proportional zu  $\sqrt{D} \cdot C_{Rn}$  und wird durch diffusive Transportprozesse bestimmt, wobei neben der Radonkonzentration in der Bodenluft die Größe der Diffusionskonstante  $D$  eine entscheidende Rolle spielt. Sehr gering gaspermeable Böden sind durch sehr kleine Radonmigrationslängen ( $< 10 \text{ cm}$ ) charakterisiert und stellen somit einen guten Radonschutz dar.

### 3 Auswahl eines Grundstücks bzw. Abschätzung des Radonrisikos bei einem Hausbau

Bei der Auswahl eines Grundstücks bzw. bei der Abschätzung des Radonrisikos für die Bewohner eines zu errichtenden Hauses ohne Keller sind gemäß den oben dargestellten Ergebnissen die nachfolgend aufgelisteten radiologischen Messungen von Bedeutung:

- (1) Messung der Radonkonzentration  $C_{Rn}$  in der Bodenluft in ca. 1 m Tiefe (ca. 5 Messpunkte auf der Hausaufstandsfläche)
- (2) Messung der Gaspermeabilität  $k$  in ca. 1 m Tiefe (an den gleichen Messpunkten wie (1))
- (3) Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung in ca. 1 m Höhe über der Baufäche (im Raster 3 m x 3 m)
- (4) Entnahme von Bodenproben und Bestimmung der Aktivität relevanter Radionuklide (Ra-226, Rn-222, Pb-210) (an 1 - 2 Messpunkten in unterschiedlichen Tiefen, z.B. 0,1 - 0,3 cm, 0,7 - 1,0 m)

#### (5) Messung der Radonexhalation an der Oberfläche der Baugrubensohle (optionale Messung)

Die Messungen der Radonkonzentrationen in der Bodenluft und der Gaspermeabilität des Bodens dienen der Bestimmung der Radonverfügbarkeit des Bodens und erlauben, das Radonrisiko belastbar abzuschätzen. Ein Bewertungsschema ist z.B. in [13] und [14] gegeben, wobei das Radonrisiko für den Baugrund bei bindigen Böden mit Permeabilitätswerten von  $k < 10^{-12} \text{ m}^2$  über die Radonaktivitätszahl  $R_{na}$  nach [15] und bei Böden mit Permeabilitätswerten von  $k > 10^{-12} \text{ m}^2$  über den Radonverfügbarkeitsindex RVI nach [Fehler! Textmarke nicht definiert.] bewertet werden kann.

Zusätzliche Informationen über die radiologische Situation werden über die Messung der Ortsdosisleistung der Gammastrahlung in ca. 1 m Höhe über der Baufläche und die Radionuklidanalyse von Bodenproben gewonnen. Die Messung der Gammastrahlung dient hauptsächlich der Feststellung und Konturierung von Arealen erhöhter Aktivität und Lokalisierung von Aufschüttungen mit unterschiedlichem Aktivitätsniveau. Anhand der Ergebnisse der Radionuklidanalyse von Bodenproben kann über die Bestimmung der Ra-226-Aktivität und des Emanationskoeffizienten die gemessene Radonkonzentration in der Bodenluft validiert und über das Aktivitätsverhältnis von Pb-210/Ra-226 die potenzielle Langzeitradonfreisetzung im Baugrund prognostiziert werden [16], [17].

Die direkte Messung der Radonexhalation an der Oberfläche kann auch optional durchgeführt werden und liefert zusätzliche Information darüber, ob erhöhte Radonfreisetzungen zu besorgen sind. Insbesondere ist diese Methode zu favorisieren, wenn z.B. bei Gebäuden mit Keller die Gründungsschicht so beschaffen ist, dass z.B. wegen des anstehenden Felsgesteins eine Bodenluftnahme nur eingeschränkt möglich ist. Besonders wichtig ist auch, die Radonverfügbarkeit der senkrechten Wände der Baugrube zu bestimmen, da deren Gesamtfläche die der Baugrubensohle deutlich übertreffen kann. Die bei IAF - Radioökologie GmbH vorliegenden Erfahrungen belegen, dass oftmals nicht Leckagen in der Bodenplatte, sondern Baumängel und/oder nicht radondichte Medieneinbindungen in den Kellerwänden die Ursachen für erhöhte Radonkonzentrationen in den Kellerräumen sind.

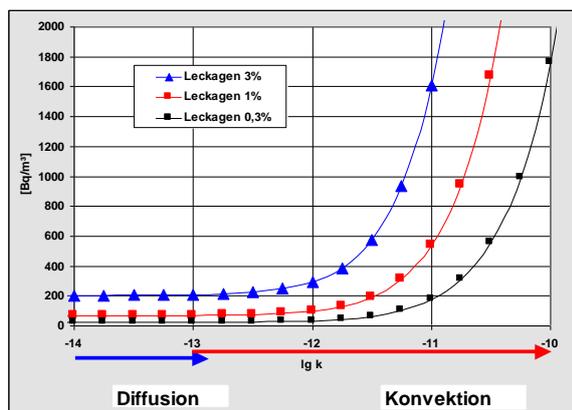
## 4 Verifizierung der Radonschutzmaßnahmen

### 4.1 Häufig auftretende Baumängel

Radonschutzmaßnahmen sind z.B. im Radonhandbuch [18] beschrieben und werden nicht näher erläutert. Im Vordergrund steht hier die Verifizierung des Erfolgs von Radonschutzmaßnahmen. Es ist eingangs bemerkt worden, dass die Bauqualität eines neu errichteten Hauses den größten Einfluss darauf ausübt, ob letztlich ein erhöhtes Radonrisiko für die Hausbewohner zu besorgen ist oder nicht.

Die etwa in 20-jähriger Tätigkeit gesammelten Erfahrungen der Firma IAF - Radioökologie GmbH auf diesem Gebiet zeigen, dass nicht eine unzutreffende Einschätzung der Radonsituation vor Baubeginn, sondern vor allem Baumängel und zu geringe Luftwechselraten die Ursachen von hohen Radonbelastungen in einem neu errichteten Haus sind. Das gilt insbesondere auch für Häuser in Gebieten mit einem vernachlässigbaren Radonrisiko. Bei gravierenden Baumängeln können nicht tolerierbare Radonkonzentrationen in jedem Haus auftreten, ohne dass dabei die Radonkonzentrationen in der Bodenluft besonders hohe Werte annehmen müssen.

In der Abb 4 ist dies anhand eines Beispiels untersetzt, wobei die maximal erreichbare Radonkonzentrationen in einem Kellerraum von  $100 \text{ m}^3$  Luftvolumen in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität und verschiedenen großer Leckageflächen, bezogen auf die Gesamtfläche von Grundplatte und der der Kellereitenflächen, dargestellt sind. Für den Unterdruck am Interface Baugrund-Keller und die Radonkonzentration in der Bodenluft sind  $-10 \text{ Pa}$  bzw.  $20 \text{ kBq/m}^3$  gewählt worden. Die Ergebnisse verdeutlichen, dass bei Permeabilitäten  $k > 10^{-12} \text{ m}^2$  je nach Leckagegröße die Radonkonzentrationen stark ansteigen, so dass der wichtigste Radonschutz in der Unterminierung von Leckagen besteht, die ein Eindringen von Bodenluft begünstigen.



**Abb 4:** Maximal erreichbare Radonkonzentrationen in einem Keller ohne Luftwechsel in Abhängigkeit von der Gaspermeabilität und der Größe der Leckageflächen, bezogen auf die Gesamtfläche in %. Der Unterdruck am Interface Gründungsschicht-Bauwerk ist -10 Pa/m, die Radonkonzentration in der Bodenluft beträgt 20 kBq/m<sup>3</sup>.

Die nachfolgend aufgelisteten Feststellungen beziehen sich ausschließlich auf neugebaute oder grunderneuerte Häuser und beruhen auf den Erfahrungen, die bei der IAF - Radioökologie GmbH in den letzten 20 Jahren im Bereich des Radonschutzes gesammelt wurden.

- Als eine Hauptursache für erhöhte Radoninnenraumradonkonzentrationen erwiesen sich:
  - "radonundichte" Durchörterungen für Abwasser (Toiletten, Bad, Küche, etc.) der Grundplatte bei Häusern ohne Keller und
  - bei Häusern mit Keller zusätzlich diese Art von funktionalen Durchörterungen in senkrechten Kellerwänden.
- Ein weiteres Problem stellen Leerrohre für Zuführungen von Telekommunikations-, Elektro-, Gas- und Stromleitungen dar, wenn diese nicht radondicht durchgeführt und die in den Leerrohren verbleibenden teils großen Zwischenräume nicht abgedichtet bzw. verfüllt werden.
- Auch trockene Siphons (Geruchsverschlüsse) können als zusätzliche Radoneintrittspfade fungieren, da z.B. in Abwasserkanälen je nach geologischer Situation und der Ankopplung an das Radonreservoir zum teils beträchtliche Radonkonzentrationen bilden können. Dies gilt auch für andere Medienkanäle.
- Die Grundplatten sind nach Erfahrung der IAF - Radioökologie GmbH als ausreichend radondicht zu bezeichnen, zumal die oft zusätzlich als Feuchtigkeitsschutz aufgetragenen Bitumenbahnen mit Radondichtheitszertifikat das Restrisiko durch das Auftreten von kleinsten Rissen bzw. Luftwegsamkeiten weiter reduziert und überdies zu keinen nennenswerten Mehrkosten im Vergleich zu Dichtungsbahnen ohne Radonzertifikat führen.
- Probleme hinsichtlich des wirksamen Radonschutzes können jedoch im Gegensatz zu den gegossenen Grundplatten nicht fachgerecht errichtete senkrechte Kellerwände bereiten. Hier sind z.B. die Übergänge zur Grundplatte und die Fugen zwischen vorgefertigten Wandsegmenten zu nennen.
- Werden Häuser mit weißer Wanne gebaut, so ist dies nach Erfahrungen der IAF - Radioökologie GmbH ein ausreichender Radonschutz, wenn, wie oben beschrieben, die Medieneinbindungen etc. radondicht ausgeführt worden sind.
- Ein Keller, der dauerhaft von Boden mit hohen Wassergehalten umgeben ist, ist zumindest für den Bereich der gesättigten Bodenzone als total radondicht zu bezeichnen, da die Radondiffusionskonstante im Wasser etwa 4 - 5 Größenordnungen niedriger als die für den Bodenlufttransport ist. Auch hier ist für die Medieneinbindungen oberhalb der Grundwasserlinie die Radondichtheit nachzuweisen und die Funktionstüchtigkeit der Siphons zu garantieren. Anderenfalls kann, wie Beispiele gezeigt haben, auch ein Haus mit Keller als

weiße Wanne, umgeben von Bodenwasser, erhöhte Innenraumradonkonzentrationen aufweisen.

## 4.2 Kontrollmessungen während der Bauphase

Die radiologischen Messungen zum Nachweis der Radondichtheit der Gebäudehülle sollten schrittweise während der Bauphase und nicht erst nach Fertigstellung des Hauses erfolgen. Die Lokalisierung und Beseitigung von Leckagen ist nach Beendigung des Hausbaus oder nach Bezug des neuen Hauses immer mit teils unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden.

Es hat sich als günstig erwiesen, zunächst in einem 1. Schritt die Radondichtheit von allen Durchörterungen und diversen anderen Durchführungen zu prüfen, bevor der weitere Aufbau des Fußbodens, d.h. das Verkleben der Bitumenschweißbahnen zum Feuchtigkeitsschutz, des Einbaus der Fußbodendämmung und Aufbringung der Estrichböden realisiert wird. Bereits aufgetragener Estrich und Feuchtigkeitsschutz erweisen sich als sehr hinderlich und kostentreibend, wenn erhöhte Radoninnenraumkonzentrationen bestimmt wurden und Leckagen zu lokalisieren sind. Als Erfahrungswert liegt bei IAF - Radioökologie GmbH vor, dass ca. 3 von 10 Durchörterungen nachgearbeitet werden müssen. Die Radondichtheitsprüfung von fertiggestellten Durchörterungen kann während des weiteren Bauablaufs erfolgen. Werden so viele Radonmonitore eingesetzt, wie Durchörterungen in einem Einfamilienhaus vorhanden sind, entstehen praktisch nur geringe Mehrkosten.

Ist die Radondichtheit nachgewiesen, sollte in einem 2. Schritt durch entsprechende Messungen geprüft werden, ob Radon durch noch nicht identifizierte Leckagen in das Haus bzw. in den Keller eindringt. Zweckmäßig und kostengünstig ist auch hier so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Einfamilienhaus Räume hat [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**]. Letztere Messungen sind idealerweise über ein Wochenende durchzuführen, um einen durch Begehung und Bauarbeiten induzierten Luftwechsel möglichst völlig auszuschließen. Sind keine Leckagen zu besorgen, quantifizieren die charakteristischen zeitlichen Anstiege der Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen die Radonfreisetzung der Baumaterialien und liefern somit den wichtigsten Hinweis darauf, wie hoch ein Luftwechsel in dem neuen Haus sein muss, damit die Radoninnenraumkonzentration den vorgegebenen Zielwert nicht übersteigt [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**], [19].

Da Radon nicht nur vorrangig von unterhalb der Bodenplatte, sondern ebenso von der "Seite" in den Keller eindringen kann, ist dies ist unbedingt bei den Dichtigkeitsprüfungen zu beachten. Das gilt insbesondere, wenn wie oben ausgeführt, senkrechte Kellerwände aus Fertigelementen aufgebaut und auf die Grundplatte aufgesetzt werden und überdies kein besonderer Feuchtigkeitsschutz aufgebracht wird.

Es ist auch günstig, nach der Installation der Heizung bei hohen Innenraumtemperaturen die Messungen über mindestens 2 Tage zu wiederholen. Damit kann überprüft werden, ob durch den durch Temperaturerhöhung induzierten Unterdruck die Radondichtheit gegeben ist (s. Abb 4). Auch bei dieser einfachen Überprüfung ist vorteilhaft und kostengünstig, so viele Radonmonitore einzusetzen, wie das Einfamilienhaus Räume hat [**Fehler! Textmarke nicht definiert.**].

Ist die Radondichtheit der Gebäudehülle nachgewiesen, kann der weitere lagenweise Aufbau der Fußböden erfolgen. Je nach Baufortschritt können die vorgenannten Radonmessungen auch in Etappen für einzelne Räume durchgeführt werden.

## 4.3 Messungen nach Fertigstellung des Hauses

Ob Kurzzeitmessungen der Radoninnenraumkonzentrationen nach der Fertigstellung eines Hauses im Zuge der Übergabe des Hauses durchgeführt werden sollen, hängt von den Vereinbarungen zwischen Baufirma und Bauherrn ab. Sollte dies gefordert werden, so sind die Messungen bestenfalls in allen Räumen über ca. 1 Woche auszudehnen. Dabei ist jedoch unbedingt darauf hinzuweisen, dass wegen der möglicherweise stark eingeschränkten Nutzung des Hauses und des damit

verknüpften niedrigen Luftwechsels höhere Radonkonzentrationen gemessen werden als bei normaler Hausnutzung.

Zur Überprüfung der Radonkonzentrationen in einem bewohnten Haus ist es üblich, die Radonkonzentrationen durch integrierende Langzeitmessungen zu bestimmen. Dabei wird jedoch die Radonkonzentration in den Räumen unabhängig von der Nutzung ermittelt, so dass diese Mittelwerte nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächliche Exposition liefern können. Man kann deshalb Lang- und zeitaufgelöste Kurzzeitmessungen miteinander kombinieren. Im Ergebnis der Untersuchungen in **[Fehler! Textmarke nicht definiert.]** wurde nachgewiesen, dass die zeitaufgelösten Messungen den entscheidenden Vorteil besitzen, Informationen über das Systemverhalten des gesamten Hauses und die Ursachen von erhöhten Radonkonzentrationen zu gewinnen.

Abschließend sollte bemerkt werden, dass über die Luftwechselzahlen in neu gebauten Häusern in Zusammenhang mit Innenraumradonkonzentrationen praktisch keine Informationen vorliegen. Es sollte deshalb in Zusammenhang von Überprüfungsmessungen diesem Problem besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden, d.h. entweder durch direkte Luftwechselfmessungen oder indirekt durch Modellierung von Ergebnissen zeitaufgelöster Kurzzeitmessungen. In jedem Fall ist es wichtig zu ergründen, ob eventuell erhöhte Radonkonzentrationen nur eine Folge einer zu geringen Lüftung sind.

## 5 Quellenverzeichnis

- [1] "Radon in öffentlichen Gebäuden", IAF, WISMUT, GEOPRAX, BPS im Auftrag des Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie, 2005/2006.
- [2] Erarbeitung fachlicher Grundlagen für die Entwicklung zeit- und kosteneffektiver Verfahren zur Bestimmung von Strahlenexpositionen durch Radon in Wohnungen (StSch 4534), IAF - Radioökologie GmbH und B.P.S. Engineering GmbH im Auftrag des BfS, Januar 2010
- [3] H. Schulz, "Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden", Sächsischer Radontag 2007
- [4] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen, Vortrag SMUL Dresden, KORA Dresden, September 2006 und Referenzen in diesem Vortrag
- [5] W. Löbner, H. Schulz, Ermittlung des Quellterms durch Kombination von Messungen der Rn-Konzentration und Tracergasmessungen, Radon Workshop des BfS, November 2006, Berlin und Referenzen darin
- [6] H. Schulz, Untersuchung zum Interface Untergrund / Gebäude, IAF - Radioökologie GmbH Dresden unter Mitwirkung des Bergtechnischen Ingenieurbüros GEOPRAX
- [7] B. Leißring, H. Schulz, Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen mit komplizierten Untergrundverhältnissen, 2. Tagung zum "Radonsicheren Bauen" KORA e.V. September 2006, Dresden
- [8] W. Roßbander, F. Ohlendorf, B. Ullrich, Grundlagen zur Radonrisikobewertung im Stadtgebiet von Dresden mit Kartierung der Verdachtsflächen für Radonklassen VERNACHLÄSSIGBAR bis SEHR HOCH und Handlungsempfehlungen (im Auftrag des Amtes für Umweltschutz der Stadt Dresden), BAUGRUND DRESDEN, Ing. mbH, Dresden 1993
- [9] H. Surbeck, Überlegungen zum Radonrisiko eines Baugrundes, 1993
- [10] H. Schulz, Modellierung der Radonkonzentrationsentwicklung in einem Haus als Multi-Kompartiment-Problem, IAF - Radioökologie GmbH, Interne Berichte
- [11] A. B. Tanner, The Role of Diffusion in Radon Entry into Houses, Proc. of the International Symposium on Radon and Radon Reduction, Atlanta, Georgia 19 - 23 February 1990
- [12] G. M. Reimer, A. B. Tanner, in Nierenberg, W.A. ed., Encyclopedia of Science, Vol 3, San Diego, California, Academic Press, Inc. 705 - 712

- [13] W. Roßbänder, F. Ohlendorf, B. Ullrich, L. Fuhrmann: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bauingenieur 70 (1995) 41
- [14] H. Schulz, W. Horn, F. Ohlendorf, W. Roßbänder, K. Schönefeld: Bewertung des Radonrisikos eines Baugrundes, Bericht auf der 18. Sitzung des Arbeitskreises "Uranbergbau und radioaktive Altlasten" (AKURA), Johannegeorgenstadt, Oktober 1999
- [15] E. Slunga: Radon Classification of Building Ground. Radiation Protection Dosimetry 24 (1988) 39
- [16] Förderprojekt des BfS "Methode zur parameterfreien Bestimmung der Radonexhalation und Dimensionierung von Abdeckschichten bei der Sanierung bergbaulicher Altlasten", IAF - Radioökologie GmbH, September 1999 - Oktober 2000; Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, Der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit BMU-2002-597
- [17] H. Schulz, L. Funke, A. Schellenberger, Study of Long Term Radon Transport by Measuring the Difference of the  $^{210}\text{Pb}$  and  $^{226}\text{Ra}$  Activity in Soil as a Function of the Depth, Health Physics. Vol. 84,2003, 236
- [18] R. Lehmann & H. Landfermann & A. Junkers & U. Schöppler (September 2001) Radonhandbuch Deutschland, Braunschweigdruck GmbH Druck Verlag Medien 38112 Braunschweig
- [19] R. Gellermann, H. Schulz, "Erhöhte natürliche Radioaktivität in Baugrund und Baustoffen - neue Anforderungen an die Ingenieurplanung Planen und Bauen", Beratende Ingenieure, September 2004, Springer-VDI-Verlag, 26 - 31

## Referentenverzeichnis

### **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

### **Herbert Wolff**

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

### **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

### **Frank Leder**

Ministerialrat  
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft  
D-01097 Dresden, Archivstraße 1  
Telefon: 0351 / 56465 - 40, Telefax: 0351 / 56465 - 49  
www.smul.sachsen.de email: poststelle@smul.sachsen.de

### **Martin Jiránek**

Czech Technical University, Faculty of Civil Engineering  
CZ-16629 Praha 6, Thákurova 7  
Telefon: +42 / 22435 - 4806  
www.fsv.cvut.cz email: jiranek@fsv.cvut.cz

### **Dipl.-Ing. Michael Heidler**

Bayerisches Landesamt für Umwelt  
Referat 41 - Radioökologie  
D-86179 Augsburg, Bürgermeister-Ulrich-str. 160  
Telefon: 0821 / 9071 - 5333  
www.lfu.bayern.de email: michael.heidler@lfu.bayern.de

### **Dipl.-Ing. (BA) Isabella Lösching**

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
Telefon: 0721 / 608 – 22092  
www.kit.edu email: Isabella.Loeschinger@kit.edu

### **Dipl.-Ing. (FH) Christoph Wilhelm**

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
Telefon: 0721 / 608 – 22784, Telefax: 0721 / 608 - 922784  
www.ksm.kit.edu email: christoph.wilhelm@kit.edu

### **B.SC. Danica Melzer**

Karlsruher Institut für Technologie KIT  
D-76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
www.ksm.kit.edu email: danika.melzer@kit.edu

**Dipl.-Ing. Christian Grimm**

Ministerium für Umwelt, Klima und Energiewirtschaft Baden-Württemberg (UM)  
D-70182 Stuttgart, Kernerplatz 9  
Telefon: 0711 / 126 – 0, Telefax: 0711 / 126 - 2881  
www.um.baden-wuerttemberg.de email: christian.grimm@um.bwl.de

**Dr. rer. nat. Marcus Hoffmann**

Scuola universitaria professionale della Svizzera italiana  
Dipartimento ambiente costruzioni e design  
Centro competenza radon  
CH-6952 Canobbio, Campus Trevano  
www.radon.supsi.ch email: marcus.hoffmann@supsi.ch

**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

**Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz**

IAF - Radioökologie GmbH  
D-01454 Radeberg Wilhelm-Rönsch-Straße 9  
Telefon: 03528 / 48730 - 20, Telefax: 03528 / 48730 - 22  
www.iaf-dresden.de email: schulz@iaf-dresden.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 2011

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