

# 1. SÄCHSISCHER RADONTAG

## 3. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

5. JULI 2007

BLOCKHAUS DRESDEN

veranstaltet durch:

**SMUL - Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft**



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

unterstützt durch:

HTW Dresden (FH)  
Hochschule für  
Technik und Wirtschaft Dresden



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



## INHALT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Grußwort des Vorstandsvorsitzenden von KORA e.V. ....	5
Ministerialrat Dr. Hans-Henning Landfermann Aspekte des Schutzes vor Radon aus Sicht des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit.....	7
Ministerialrat Frank Leder Empfehlungen zum radongeschützten Bauen .....	9
Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden.....	19
Dr. rer. nat. Werner Preuße Baulicher Radonschutz in der 2. Landesmessstelle der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft.....	27
Regierungsdirektor Frank Wachnow Radonschutz und Bauplanungsrecht .....	33
Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Bauliche Grundlagen des radonsicheren Bauens und Sanierens.....	43
Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Leißring Erfahrungen beim Radonschutz in Gebäuden mit bergbaulicher Beeinflussung .....	57
Dipl.-Ing. Alfred Taube Radonberatung des Freistaates Sachsen .....	69
Dr. rer. nat. Jürgen Conrady Dr. rer. nat. Andreas Guhr Die Prognose der Radonkonzentration in Gebäuden bzw. ihrer Veränderung ist ein komplexes Optimierungsproblem .....	77
Dipl.-Ing. Hans-Georg Henjes Beispiele von Radonsanierungen bei Altbauten.....	87
Dr. Walfried Löbner Dr. rer. nat. habil. Hartmut Schulz Dipl.-Phys. Eiko Hermann Prof. Dr. rer. nat. habil. Bernd Leißring Radon in öffentlichen Gebäuden .....	95
Dr. rer. nat. Werner Preuße Radonmessprogramme in Sachsen .....	97
Dipl.-Ing. Bernd Liebscher Radonschutz beim Bau eines Sportkomplexes .....	109
Referentenverzeichnis.....	127





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

## Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich begrüße Sie sehr herzlich zum **ersten sächsischen Radontag – der dritten Tagung Radonsicheres Bauen**. Diese Dopplung im Tagungsnamen hat zwei Gründe: Zum einen verdeutlicht dies eine inzwischen kleine Tradition der durch KORA e.V. begründeten Tage des radonsicheren Bauens, welche in diesem Jahr hier in Dresden zum dritten Mal stattfinden. Zum anderen aber – und darüber freuen wir uns besonders – kommt dieses Jahr erstmalig mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft ein weiterer Veranstalter hinzu. Nicht zuletzt dadurch wird die große Bedeutung, die dem radonsicheren Bauen hier in Sachsen, aber auch darüber hinaus in vielen Gegenden Deutschlands, gewidmet wird, vielmehr gewidmet werden muss, verdeutlicht!

Gesundheitliche Gefährdungen durch erhöhte Radonbelastung sind in Gebieten mit hohem Radonpotential – so genannten Radonvorsorgegebieten - ein wichtiger Aspekt des Bauens. Umfassendes Wissen über die Ermittlung des konkreten Radonpotentials in einem Gebäude oder an einem Bauplatz, über bauliche Lösungen, aber auch über die richtige Nutzung der Gebäude ist erforderlich, um optimale Ergebnisse zu erreichen. Wobei in diesem Zusammenhang unter optimalen Ergebnissen zu verstehen ist, dass in den genutzten Räumen eines Gebäudes dauerhaft geringe Radonkonzentrationen erreicht werden und hierfür möglichst geringe bauliche und finanzielle Ressourcen eingesetzt werden müssen. Dieses Ziel im Kontext der verstärkten Bemühungen um energetisch hocheffektive Gebäude – einem wichtigen Aspekt heutigen Bauens - zu erreichen, stellt eine besondere Herausforderung dar!

Das Programm der heutigen Tagung schlägt einen weiten Bogen rund um das Thema Radon und radonsicheres Bauen. Es werden sowohl die Zielvorstellungen der Bundesregierung als auch des Freistaates Sachsen vorgestellt, aber auch, welche Unterstützungen seitens der öffentlichen Hand gewährleistet werden. Das wichtige Thema der bauplanungsrechtlichen Grundlagen des radonsicheren Bauens wird ebenso Inhalt der Tagung sein, wie die Vorstellung grundsätzlicher Fragen zur Radonbelastung und zum radonsicheren Bauen. Abgerundet wird das Themenfeld durch die Vorstellung einer Reihe konkreter Bauprojekte, sowohl von Neubau- als auch Sanierungsvorhaben.

Viele haben dazu beigetragen, dass diese Tagung am heutigen Tag stattfinden kann, haben alles dafür getan, dass ein hoffentlich reibungsloser Ablauf möglich wird. Bedanken möchte ich mich an erster Stelle bei den Vertretern des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft, die den heutigen Tagungsort ermöglichten und bei der konzeptionellen Vorbereitung wichtige Impulse einbrachten. Ein besonderer Dank sei der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH) sowie dem an diese angeschlossenen Forschungsinstitut, dem ZAFT e.V., ausgesprochen, ohne deren umfassende Unterstützung die Vorbereitung und Durchführung der Tagung nicht möglich geworden wäre!

Nun hoffe ich, dass die heutige Tagung Ihnen allen viele interessante und neue Erkenntnisse bringt, das Sie im Ergebnis beitragen kann, dem radonsicheren Bauen eine breite fachliche Lobby zu geben und somit hilft, die gesundheitlichen Gefährdungen aus erhöhter Radonbelastung in Gebäuden zu vermeiden oder zumindest deutlich zu reduzieren!

Ich wünsche der Tagung einen guten Verlauf und Ihnen viele neue Erkenntnisse!

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig  
Vorsitzender KORA e.V.

# ASPEKTE DES SCHUTZES VOR RADON AUS SICHT DES BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

## ASPECTS OF THE PROTECTION FROM RADON FROM VIEW OF THE FEDERAL MINISTRY FOR ENVIRONMENT, PROTECTION OF NATURE AND SAFETY OF REACTOR

Hans-Henning Landfermann

Bundesumweltministerium Bonn

### **Zusammenfassung**

*Es wird ein Bericht über die biologische Wirkung des Radons, die Problematik der Akzeptanz des Radonrisikos sowie zu Überlegungen zur Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung gegeben.*

### **Summary**

*A report is given over the biological effect of the radon, the problem of the acceptance of the radon risk and over decrease of the radon exposition of the population.*

## **1. Biologische Wirkung des Radons**

Das derzeitige Wissen über die biologische Wirkung des Radons beruht im Wesentlichen auf der Europäischen Studie die mit 7.000 Fällen und 14.000 Kontrollen die Wirkung des Radons bezüglich der Entstehung von Lungenkrebs untersucht hat. Das Ergebnis zeigt eine klare lineare Dosiswirkungsbeziehung zwischen dem Radon und dem Lungenkrebs. Das Risiko bestimmt sich zu 8 % pro 100 Bq/m<sup>3</sup>. Die biologische Wirkung lässt sich auch unterhalb von 200 Bq/m<sup>3</sup> statistisch signifikant nachweisen. Dies gilt auch für Nichtraucher. Die Ergebnisse dieser Europäischen Studie sind in Übereinstimmung mit der inzwischen vorliegenden Nordamerikanischen Studie. Diskutiert wird derzeit auch ein möglicher Zusammenhang zwischen Leukämie und Radon bei Kindern. Hierzu reichen aber die vorliegenden Daten im Hinblick auf eine sichere Aussage nicht.

## **2. Akzeptanz des Radonrisikos**

Da Radon mit unseren Sinnen nicht wahrgenommen werden kann, sondern allein messtechnisch nachgewiesen werden kann und obendrein ein natürliches Produkt ist, ist die Wahrnehmung und damit Akzeptanz in der Bevölkerung sehr gering. Selbst Fachleute zweifeln oft - aus einer gewissen Unkenntnis heraus - die schädlichen Wirkungen des Radons an. Inzwischen hat sich die WHO dem Problem Radon geöffnet und wird im Frühjahr 2008 ein entsprechendes Radonhandbuch herausgegeben. Diese vollständige Dokumentation zum Thema Radon wird auch die besondere Problematik von Wahrnehmungen und Akzeptanz des Radons berücksichtigen.

### **3. Maßnahmen zur Verringerung der Radonexposition der Bevölkerung**

Eine wesentliche Voraussetzung für die Mitarbeit der Bevölkerung zur Verbesserung der Radonsituation ist Aufklärung. Aufklärung kann über Pressekampagnen und andere öffentlichkeitswirksame Maßnahmen erfolgen. Diese kann auch durch konkrete Aktionen wie Messkampagnen z.B. in öffentlichen Gebäuden, aber auch in bestimmten Regionen, die stärker vom Radon betroffen sind, erfolgen. Ziel dieser Maßnahmen muss letztendlich die Sanierung höher belasteter Gebäude sein.

### **4. Weiterführende Literatur**

SSK-Stellungnahme attributives Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen  
Bundesanzeiger vom 28.04.2007 Nr. 81, S. 4472



# EMPFEHLUNGEN UND INFORMATIONEN ZUM RADONGESCHÜTZTEN BAUEN

## RECOMMENDATIONS TO AND INFORMATION ABOUT THE RADONPROTECTION IN BUILDINGS

Frank Leder

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL)

### **Zusammenfassung**

*Der Freistaat Sachsen ist eines der Bundesländer, das aufgrund geologischer Bedingungen flächendeckend die höchsten Konzentrationen an Bodenradon aufweist. Deshalb hat er sich schon frühzeitig diesem Radonproblem angenommen. Bereits 1992 wurde ein Handlungskonzept zu Radon in Gebäuden erarbeitet, das im Wesentlichen auch heute noch Bestand hat. Hauptschwerpunkt ist die Beratung und Information der Betroffenen durch die Radonberatungsstelle in Bad Schlema. Von 1994 bis 2005 wurden in einem bundesweit einmaligen Förderprogramm Sanierungsmaßnahmen unterstützt. Im Ergebnis der bisherigen Erfahrungen zeichnet sich ab, dass es mit einem Paket von vielen Einzelmaßnahmen, die von Information über Beratung, Ausbildung und bautechnischen Maßnahmen bis hin zu Normungen reichen, gelingen kann, die Radoninnenraumkonzentration in den Gebäuden künftig dauerhaft senken zu können.*

### **Summary**

*In some geological areas of the German Federal State of Saxony comparatively increased concentrations of soil radon can be observed. Knowledge about this problem caused Saxon authorities to enforce an early and extensive examination. Already in 1992 a concept of action for radon in buildings was developed which largely still is enduring. Main focus is the information and consultation of the concerned public by the well frequented Saxon Radon Information Point in Bad Schlema. From 1994 to 2005 a nationwide unique Saxon program supported remediation measures for buildings with high radon concentrations. As a result of present experience it becomes apparent that in future a package of different single measures as information and consulting, education, technical construction measures and standardisation may help to decrease radon concentrations in buildings permanently.*

## **1. Vorbemerkungen**

In Anbetracht der Untersuchungsergebnisse zum Lungenkrebsrisiko durch Radon, die zumindest für höhere Konzentrationen ein erhöhtes Risiko aufzeigen, der besonderen Betroffenheit sächsischer Regionen und der Tatsache, dass die meisten europäischen Länder Empfehlungen bzw. Regelungen zu Radon in Gebäuden haben, sind Maßnahmen zum Schutz vor erhöhten Radoninnenraumkonzentrationen angezeigt. Hierzu siehe auch Tabelle 1.

Weil große Gebiete Sachsens ein erhöhtes Radonpotential aufweisen, hat sich die sächsische Staatsregierung schon Anfang der 90iger Jahre diesem Problem gestellt. Im Folgenden soll über die Erfahrungen aus den bisherigen Tätigkeiten auf diesem Gebiet berichtet werden und darüber mit welchen Maßnahmen, mit welchen Empfehlungen dem Problem Radon in Aufenthaltsräumen künftig begegnet werden kann.

Land	Vorhandene Gebäude		Neue Gebäude	
	Empfehlung	Grenzwert	Empfehlung	Grenzwert
Belgien	400			
Dänemark	200/400		200	
Deutschland (2001)	400		200	
Deutschland (2004)	(100)		(100)	
Finnland	400			200
Frankreich	400			200
Griechenland	400		200	
Großbritannien	200			200
Irland	200		200	
Italien				
Luxemburg	150		150	
Niederlande				
Polen		400		200
Österreich	400/1.000		200	
Schweden	200 (Förderung)			200
Schweiz		1.000		400
Spanien				
Tschechien		400		200
Ungarn	600		600	

*Tabelle 1: Auswahl einiger Länder mit Empfehlungen und Grenzwerten in Europa*

## 2. Die Radonsituation im Freistaat Sachsen

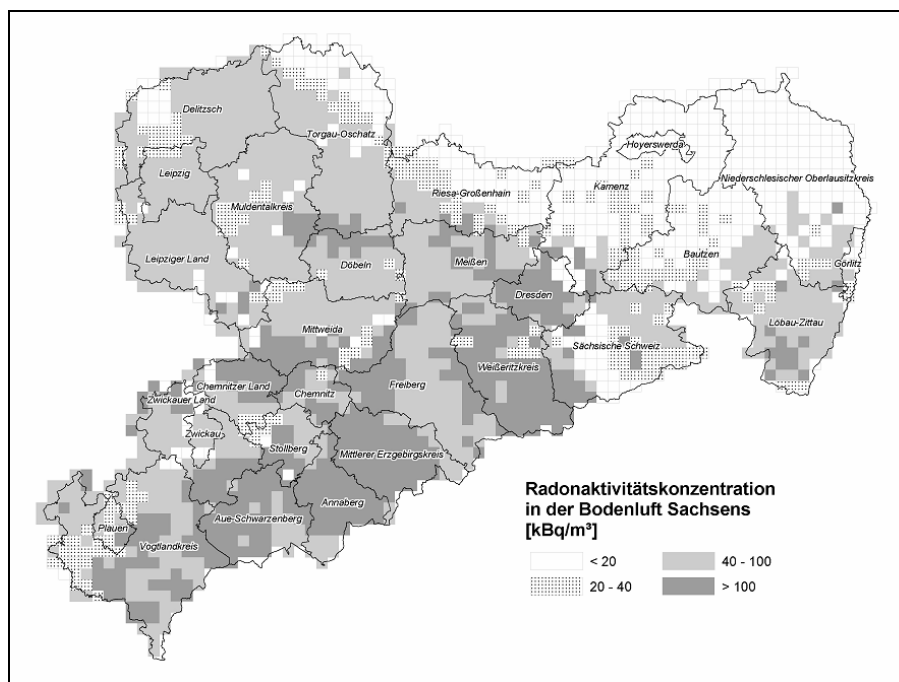
Sachsen ist auf Grund der besonderen geologisch-mineralogischen Situation eines von den Bundesländern, die von erhöhten Radonkonzentrationen am stärksten betroffenen sind. In den Grundgebirgsbereichen treten granitische Gesteine auf, bei deren Bildung sich in hydrothermalen Lagerstätten Schwermetalle – u.a. Uran – angereichert haben. Die Vorkommen an diesen abbauwürdigen Erzen führten zu dem Jahrhunderte langen, intensiven Bergbau im Erzgebirge. Der teilweise sehr oberflächennahe Bergbau, die Bergbaurückstände und die Verwendung von Bergematerial beim Hausbau verstärkten die aufgrund des Mutterisotops Uran bereits geologisch erhöhten Radonkonzentrationen in manchen Gebäuden.

Weil die geologische Struktur Sachsens sehr heterogen ist, können detaillierte weiträumige Aussagen zum Radonvorkommen nicht getroffen werden.

### 2.1 Das Radonpotential in Sachsen

Die Radonkarte für den Freistaat Sachsen (siehe Abb. 1) wurde auf Basis von 234 ausgewählten repräsentativen Messorten erstellt [1]. Im Mittel kommt damit ein Messort auf eine Fläche von 78 km<sup>2</sup>.

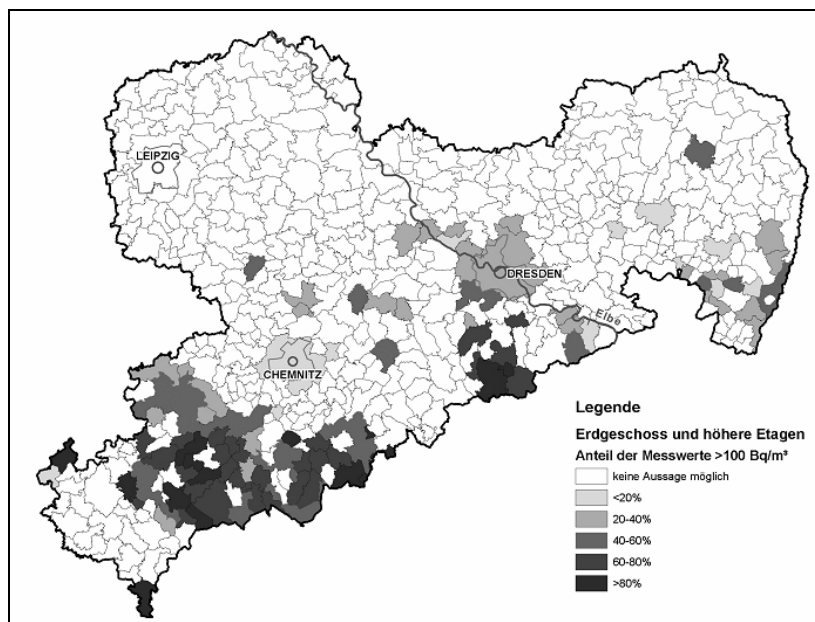
Die vorhandene Messortdichte reicht nicht aus, um mit gewisser Sicherheit Gebiete in Sachsen ausweisen zu können, in denen erhöhte Radonkonzentrationen im Boden vorkommen. Entsprechende Verdichtungsmessungen sind daher noch erforderlich.



**Abb. 1:** Die Radonkonzentration in der Bodenluft in Sachsen

## 2.2 Radon in Gebäuden

Zur Einschätzung der Radonsituation in den Gebäuden Sachsens stehen etwa 51.000 Messdaten zur Verfügung, die in mehr als 10 sehr unterschiedlichen Messprogrammen ermittelt worden sind. Insgesamt liegen aus 394 Gemeinden Daten vor, welche sich über alle Landkreise des Freistaat Sachsen verteilen. In den Landkreisen Zwickauer Land, Meißen und Döbeln gibt es für alle Gemeinden Messwerte. Für 152 Gemeinden liegen bisher keine Daten vor (siehe Abb. 2).



**Abb. 2:** Gemeinden, in denen Aussagen zu Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen möglich sind

Weil ca. 85 % der vorhandenen Daten aus Kurzzeitmessungen mit einer Messdauer von 1 bis 6 Tagen und nur ca. 10 % der Werte aus Langzeitmessungen mit einer Messdauer von mindestens 1

Jahr stammen, sind also weitere Verdichtungsmessungen erforderlich, um eine sichere Aussage über eine flächendeckende Bewertung der Radonsituation in Gebäuden treffen zu können.

Radon-Konzentration [Bq/m <sup>3</sup> ]		0...100	100...200	200...1.000	>1.000	Summe
Erzgebirge	Anzahl der Messwerte	10.600		5.700	2.000	18.300
	Anteil der betroffenen Häuser in Prozent	90 %		8 %	2 %	
Sachsen	Anzahl der Messwerte	21.000		8.100	2.500	31.600
	Anteil der betroffenen Häuser in Prozent	73 %	22 %	5 %	1 %	

**Tab. 2:** grobe Abschätzung zur Anzahl und dem Anteil betroffener Wohngebäude in Sachsen, bei denen die Aufenthaltsräumen im Erdgeschoss und höher betrachtet wurden

Eine erste grobe Abschätzung auf der bisherigen Datenlage ergibt, dass ca. 6 % der Wohngebäude Radonkonzentration oberhalb 200 Bq/m<sup>3</sup> in Erd- und Obergeschossen aufweisen, oberhalb 400 Bq/m<sup>3</sup> ca. 2 % und oberhalb 1.000 Bq/m<sup>3</sup> ca. 1 % (siehe Tab. 2). 1 % entspricht etwa 4.500 Wohngebäuden Sachsens.

### 3. Aufklärung und Information

Eine möglichst umfassende Information der Öffentlichkeit und der Betroffenen ist eine Grundsäule der Radonvorsorge. Deshalb wurden von den Behörden des Freistaates Sachsen eine Reihe Informationsmaterialien herausgegeben. Verschiedene Broschüren und Flyer mit den Titeln „Radongeschütztes Bauen“ [2], „Radon - Gesundheitsrisiko oder Heilmittel?“ [3] und „Radioaktivität und Strahlenschutz – Normalität oder Risiko?“ [4] geben Erläuterungen zum Thema und Hinweise zu Sanierungsfragen. Erweitert wird dieses Angebot durch eine interaktive Präsentation (CD-ROM) zu Radonfragen, die in Kürze erscheinen wird.

In speziellen Workshops werden die Betroffenen und die entsprechenden Fachleute informiert und zu weitergehenden Überlegungen angeregt. Die Zielgruppe für diese Informationen ist daher sehr weit gefächert. Sie reicht von Architekten, Bauingenieuren, Mitarbeitern von Bauämtern in den Kommunen und Landratsämtern, den speziellen Planungsbüros, den Kammern und Innungen bis hin zu den Betroffenen selbst. Dies ist auch eine wichtige Möglichkeit, mit Firmen und Vereinen, die sich mit der Radonthematik beschäftigen, Kontakt zu halten und Informationen auszutauschen. Auch dieser erste „Sächsische Radontag“ soll sich als regelmäßig wiederkehrende Plattform für den Austausch zu Fachaspekten, insbesondere zu Schutzmöglichkeiten und deren Minderungseffekten in dieses Spektrum einfügen und etablieren.

Zum Tag der offenen Tür der Sächsischen Staatsministerien und der Staatskanzlei, dem so genannten „Gläsernen Regierungsviertel“ stehen stets kompetente Mitarbeiter zur Auskunft bereit. Messebeteiligungen auf den Regionalmessen in Sachsen wie beispielsweise der Umweltmesse „Terratec“ und der Verbrauchermesse „Hausmesse“ gehören auch zur Öffentlichkeitsarbeit.

Auf den Internetseiten des SMUL ([www.smul.sachsen.de](http://www.smul.sachsen.de)), des Landesamtes für Umwelt und Geologie (LfUG) ([www.lfug.smul.sachsen.de](http://www.lfug.smul.sachsen.de)) und der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft (UBG) ([www.smul.sachsen.de/de/wu/organisation/ubg](http://www.smul.sachsen.de/de/wu/organisation/ubg)) sind umfangreiche Informationen zum Thema Radon und Hinweise auf entsprechende Ansprechpartner zu finden.

Auch die Medien nehmen sich der Thematik an. So konnten in verschiedenen Presseberichten und TV-Sendungen über Radonschutzmaßnahmen berichtet werden.

## 4. Unterstützung und Beratung

### 4.1 Die Radonberatung

Bereits 1994 wurde vom damaligen Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung eine Radonberatungsstelle in Bad Schlema eingerichtet, die bis 1999 vom LfUG betrieben wurde. Danach hat die UBG die Beratungsstelle übernommen und den Aufgabenbereich erweitert. An diese Beratungsstelle können sich alle Betroffenen (Privatpersonen, Kommunen, Vereine u.a.) wenden. Es werden Messungen zu Radonkonzentrationen in Gebäuden und in der Bodenluft durchgeführt und Informationen zu möglichen Schutz- bzw. Sanierungsmaßnahmen gegeben. Die Beratung erfolgt direkt oder telefonisch.

Im Zeitraum 2000 bis 2005 wurden ca. 500 Beratungen und über 270 Messeinsätze mit ca. 1.900 Einzelmessungen durchgeführt. Wie groß ein Interesse an einer Beratung und Unterstützung ist, zeigen die etwa 50 Anfragen von Bürgern und Kommunen aus anderen Bundesländern. Eine solche Einrichtung war lange Zeit einmalig in Deutschland. Die Radonberatungsstelle hat sich zu einer Institution entwickelt und sich auch bundesweit einen sehr guten Ruf erarbeitet.

### 4.2 Die Förderung von Sanierungsmaßnahmen

In den Jahren von 1993 bis 2005 wurden von der sächsischen Staatsregierung Maßnahmen zur Bestimmung der Radonkonzentration in Gebäuden und Sanierungsmaßnahmen gefördert. Ziel war es, die teilweise sehr erheblichen Radoninnenraumkonzentrationen zu minimieren, um das individuelle Lungenkrebsrisiko der Bewohner von Häusern drastisch zu senken. Eine breite Unterstützung von Sanierungsmaßnahmen, um die Radoninnenraumkonzentration in den Gebäuden von Sachsen im Durchschnitt zu minimieren, war nicht vorgesehen. Die Förderung war auch nicht auf Dauer ausgerichtet, weil die Eigenverantwortung der Betroffenen künftig stärker im Mittelpunkt stehen sollte.

Die Höhe der Förderung betrug im Regelfall 30 % der zuwendungsfähigen Ausgaben. Bei Gebietskörperschaften oder Sondervorhaben konnte die Förderung auf bis zu 80 % erhöht werden. Die ausgereichten Fördermittel sind in Tabelle 3 aufgeführt.

In Auswertung der mit Fördermitteln gestützten Maßnahmen kann festgehalten werden, dass es immer möglich ist, sehr hohe Radoninnenraumkonzentrationen auf annehmbare Werte zu mindern. Selbst bei extremen Ausgangswerten, wie beispielsweise von 76.000 Bq/m<sup>3</sup> im Wohnbereich, wurden in diesem Einzelfall mit Endwerten von unter 800 Bq/m<sup>3</sup> zufrieden stellende Ergebnisse erzielt.

Zeitraum	Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung der Radonkonzentration in Gebäuden	Sondervorhaben	Fördermittel gesamt
1993-2001	472 (923)	1.767 (3.456)	2.239 (4.379)
2002-2005	73	504	577
1993-2005	545	2.271	2.816

**Tab. 3:** Übersicht zu den ausgereichten Fördermittel in T€ (in Klammern DM)

In der Regel wurden Minderungen von durchschnittlich 95 % erzielt. Die erreichten Sanierungswerte lagen in einem Wertebereich von 150 Bq/m<sup>3</sup> bis 800 Bq/m<sup>3</sup>. Die Ausgangssituation und Sanierungsergebnisse ausgewählter Vorhaben sind in Tabelle 4 dargestellt.

Neben Einzelmaßnahmen zur Ermittlung und Minderung der Radonkonzentration in Gebäuden wurden auch Sondervorhaben, wie beispielsweise die Entwicklung und Anwendung von Techniken

zur Radonsanierung von Gebäuden sowie die großflächige Reduzierung der Radonkonzentration in bebauten Gebieten unterstützt.

Als wichtigstes Sondervorhaben sei das Projekt Schneeberg angeführt, bei dem durch eine natürliche Bewetterung des Grubengebäudes die Radonkonzentration in den darüber liegenden Gebäuden in der Stadt Schneeberg vermindert werden soll. Das Projekt läuft noch bis Ende 2007. Zwischenergebnisse, die im Rahmen spezieller Bewetterungsversuche unter Winter- und Sommerbedingungen gewonnen wurden, zeigen die Wirksamkeit des Systems und eine positive Beeinflussung einer Vielzahl von Gebäuden. Die Ergebnisse werden nach Abschluss der wesentlichsten bergbaulichen Maßnahmen Anfang 2008 vorliegen.

Nr.	Rn-Konzentration [Bq/m <sup>3</sup> ]				Minderung	
	Bodenluft	vor Sanierung		nach Sanierung		
		Keller	Wohnraum	Keller	Wohnraum	[%]
1	678.000	14.000	49.000	700	490	>96,5
2			28.100		576	98
3		126.000	76.000	3.060	<740	99
4			3.184	410	490	85
5			4.540		440	90
6	266.500		4.500	238	150	95
7	860.000	70.000	18.000		190	99
8		5.586	1.890		219	85
9	540.000	15.000	3.970		740	82
10		8.700	7.840		760	93

Tab. 4: Ausgewählte Beispiele geförderter Vorhaben

## 5. Instrumente des Baurechts

### 5.1 Bauplanerische Möglichkeiten

Bereits zu einem frühen Zeitpunkt wurde das LfUG als Strahlenschutzbehörde bei der Beteiligung von Trägern öffentlicher Belange einbezogen, insbesondere bei der Erstellung von Bauleitplanungen. Jährlich werden zwischen 300 und 400 Anfragen geprüft.

Als ein weiteres sehr wirksames Mittel haben sich konkrete Hinweise und Informationen zur Radonsituation in den entsprechenden Bauleitplänen, Bebauungsplänen, Flächennutzungsplänen oder Städtebaulichen Satzungen erwiesen. Empfehlungen zu Schutzmaßnahmen gegenüber dem Eindringen von Radon in Gebäuden für künftige Bauherren sind deshalb in eine Reihe von solchen Plänen eingeflossen.

Obwohl diese Hinweise nur empfehlenden Charakter haben, führen sie doch zu ernsthaften Überlegungen bei den potenziellen Bauherren bei ihrer Bauplanung.

## 5.2 Bautechnische Maßnahmen

Die Erfahrungen zeigen, dass bei einer qualitätsgerechten Bauausführung, die den modernen Baustandards entspricht, die Radoninnenraumkonzentrationen sehr niedrig gehalten werden kann. In der Regel ist dann schon ein hinreichender Radonschutz gegeben. In einer Untersuchung von Kemski & Partner im Auftrag des BMU ist ein solcher Trend möglicherweise zu erkennen (siehe Abb. 4). Radonprobleme in Innenräumen sind nämlich nur dann zu erwarten, wenn die Fundamentbodenplatte große Risse oder Spalten aufweist, eine DIN-gerechte Abdichtung der Gebäude gegen Bodenfeuchte nicht erfolgt oder Zu- und Abgänge der Medien in das Gebäude nicht entsprechend dicht in das Mauerwerk eingebunden sind. Radonschutzmaßnahmen müssen deshalb zu allgemeinen Regeln der Baukunst werden.

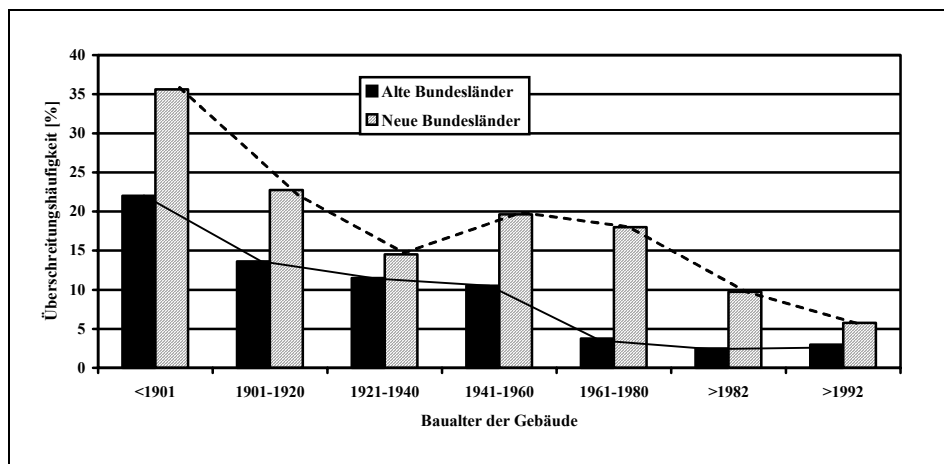


Abb. 4: Darstellung der Überschreitungshäufigkeit in Abhängigkeit vom Baualter (nach Kemski & Partner, 2004)

## 5.3 Ingenieurdienstleistungen

Ein fundamentaler Schwerpunkt liegt natürlich auf der Wirkung der auf dem Markt angebotenen Leistungen zum Radonschutz einschließlich der entsprechenden Messungen und Bewertungen von fachkundigen Ingenieurbüros und Baubetrieben, von denen sich eine Reihe in Sachsen mit Angeboten zu Beratungen und Sanierungen zur Minimierung der Radoninnenraumkonzentration sowie zu Messungen etabliert haben.

## 6. Instrument des öffentlichen Vergaberechts

Eine weitere Möglichkeit bietet sich insbesondere für die öffentliche Verwaltung an. In Ausschreibungen zu Bauvorhaben und Sanierungen von öffentlichen Gebäuden können die Belange des Radonschutzes in angemessener Form berücksichtigt werden. Zuschläge sollten nur demjenigen erteilt werden, der diese Belange entsprechend berücksichtigt hat und auch ausreichende Fachkenntnisse auf diesem Gebiet vorweisen kann.

Vom sächsischen Innenressort wurde den Gemeinden und Landkreisen empfohlen, bei der Vergabe von kommunalen Baumaßnahmen die Radonthematik zu berücksichtigen. Der Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement (SIB) beachtet auch die Radonthematik bei Neubaumaßnahmen sowie bei Baumaßnahmen an bestehenden Gebäuden. Dass hier schon eine gewisse Wirkung erzielt wird, zeigt sich in einer verstärkten Beratungsnachfrage bei der Radonberatungsstelle in Bad Schlema.

## **7. Ausbildung und Weiterbildung**

Die Radondichtheit eines Gebäudes hängt maßgeblich von der Qualität der Bauausführung ab. Risse, Spalten und schlecht ausgeführte Abdichtungen von Durchführungen durch Bodenplatten und Mauerwerk sind Radoneintrittspfade. Deshalb ist eine Sensibilisierung und Aufklärung im Baubereich von besonderer Bedeutung.

Erstrebenswert wäre es deshalb, wenn das Thema Radonschutz künftig in der Ausbildung von Architekten, Bauingenieuren und anderen Fachingenieuren des Bauwesens aufgenommen wird. Erfreulich ist, dass das Thema Radon an der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) seit dem Jahr 2005 in das Ausbildungsprogramm integriert werden konnte. Dies ist leider noch bundesweit einmalig.

Aber auch eine entsprechende Vermittlung der Kenntnisse zum Radon bei der Facharbeiterausbildung ist wichtig. Wie bekannt, liegt der Schwerpunkt bei der Wirksamkeit von vorbeugenden Baumaßnahmen auf deren qualitätsgerechter Ausführung. Kleinste Fehler in der Bauausführung machen viele Projektziele zunichte. Aber auch aus diesem Grunde ist der weiteren Qualifizierung der Baufachkräfte ein breiter Raum zu widmen.

Seit Ende 2006 ist auch eine Förderung für Weiterbildungsmaßnahmen zum Radonschutz im Rahmen des Programms des „Europäischen Sozialfonds“ (ESF) möglich. Ziel ist es, Mitarbeitern von Baufirmen und Planungsbüros, Architekten und Bauingenieuren, aber auch arbeitslosen Bauhandwerkern Kenntnisse zur Radonthematik zu vermitteln. Die erworbenen Kenntnisse sollen den Betroffenen am Markt von Vorteil sein.

Mittelfristig soll erreicht werden, dass die Radonthematik in die Meisterqualifizierungen oder anderweitige Weiterbildungen im Baubereich eingebunden wird.

Deshalb ist vorgesehen, den Kontakt mit den Hochschulen, die entsprechende Ausbildungen anbieten, zu verstärken, um die Radonthematik stärker in die Ausbildung einzubinden.

## **8. Forschung**

### **8.1 Wissenschaftliche Maßnahmen**

Forschungen zum Thema Radon beschränkten sich bisher im Wesentlichen auf epidemiologische Untersuchungen zur Wirkung von Radon auf den Menschen und auf Materialeigenschaften hinsichtlich der Radonexhalation und Sperrwirkung.

Voraussetzung für wirksame und effektive Vorbeuge- und Sanierungsmaßnahmen ist aber, dass die Radonverhältnisse in den jeweiligen Gebäuden und Räumen im Zusammenhang mit den unterschiedlichen Baugrund-, gebäudetechnischen, Lüftungs- und Klimabedingungen verstanden werden. Neben den grundlegenden theoretischen Überlegungen bedarf es nach hiesiger Ansicht hierzu auch noch einiger praktischer Untersuchungen an entsprechenden Gebäuden. Die Radonverhältnisse sind bei Einfamilienhäusern anders als bei Mehrfamilienhäusern und öffentlichen Gebäuden zu bewerten.

Eine gute Zusammenarbeit hat sich hierbei zwischen der HTW und der Radonberatungsstelle entwickelt. In Diplomarbeiten wurden die Radonverhältnisse bei Niedrigenergie- und Passivhäusern untersucht. Die Ergebnisse werden für Anfang 2007 erwartet. Interessierte werden auf die entsprechenden Internetseiten verwiesen.

Weitere wissenschaftliche Arbeiten wie beispielsweise zu Lüftungsverhältnissen oder zu Materialeigenschaften sind in Vorbereitung.



## 8.2 Fachkompetenzen

In Sachsen haben sich zwei wichtige Zentren gebildet, die sich dem Thema Radon intensiver widmen. Das ist zum einen das Radon Dokumentations- und Informationszentrum RADIZ e.V. in Bad Schlema und zum anderen das Kompetenzzentrum für radongeschütztes Bauen und Sanieren KORA e.V. an der HTW. Ebenfalls haben in Sachsen eine Reihe von Ingenieurbüros mit spezieller Ausrichtung zur Radonproblematik ihr Geschäftsfeld (Beratung, Messung, Sanierung und Planungen), bei denen ein sehr hoher Sachverstand vorhanden ist. Viele wissenschaftliche Anregungen und auch Untersuchungen kommen von ihnen.

## 9. Qualitätssicherung

### 9.1 Messtechnik und Messverfahren

Grundlage für eine exakte Bewertung der Radoninnenraumkonzentration ist zu allererst eine genaue und reproduzierbare Messung. Dafür sollten Messverfahren, -methoden und -geräte festgelegt werden. Außer der Loseblattsammlung „Übersicht über die Messung von Radon und Radonzerfallsprodukten“ [5], die von Arbeitskreis „natürliche Radioaktivität“ (AKNAT) des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V. erarbeitet wurde, und allgemeine Hinweise im Radonhandbuch des Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) [6] gibt es gegenwärtig keine verbindlichen Vorgaben. Die Erstellung einer zentralen Richtlinie oder eines Leitfadens zu Radon-Messtechnik und –Verfahren ist daher dringend geboten.

Hilfreich wären auch entsprechende DIN-Normen zur Messung der Radon-Konzentration in der Innenraumluft, im Boden und im Wasser, zur Messung der Radonfolgeproduktkonzentration in der Luft und zur Messung der Radonexhalation aus Baumaterialien. Diesbezügliche Normen auf europäischer Ebene zu erstellen, wäre möglicherweise sogar sinnvoller.

### 9.2 Laborpraxis

Im Rahmen einer „guten Laborpraxis“ sollen die betreffenden Ingenieurbüros und Einrichtungen regelmäßig Vergleichsmessungen zur Qualitätssicherung durchführen, wie das in anderen europäischen Ländern bereits schon üblich ist.

Die sächsische Landesmessstelle beteiligt sich regelmäßig an nationalen und internationalen Vergleichsmessungen. Sie wird voraussichtlich ab 2008/2009 Vergleichsmessungen zu Radon in der Bodenluft anbieten (Stichtagsbeprobung).

## 10. Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Verbesserung der Radonsituation ist ein wichtiges Ziel für eine Vorsorge gegenüber Lungenkrebs. Die Behandlung der Radonthematik muss jedoch so erfolgen, dass sie einerseits dem vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gerecht wird und andererseits die historisch gewachsenen Besonderheiten und geologischen Bedingungen sowie die wirtschaftlichen Verhältnisse der Regionen berücksichtigt.

In der Vereinbarung zwischen den Landesverbänden Sachsens der CDU und der SPD über die Bildung der Staatsregierung für die 4. Legislaturperiode des Sächsischen Landtages vom November 2004 (Koalitionsvertrag) werden Normen- und Standarderhöhungen gegenüber dem jeweils geltenden EU-Recht abgelehnt, sofern sie den Interessen Sachsens entgegenstehen. Als ein aktuelles Beispiel ist das zum damaligen Zeitpunkt vom BMU geplante Radonenschutzgesetz angeführt.

Weil die Deregulierung ein wichtiges politisches Anliegen ist, wurde auch in dem Koalitionsvertrag zwischen CDU, CSU und SPD vom 11.11.2005 zur Bildung der Bundesregierung vereinbart, dass die Entlastung von Bürgern, Wirtschaft und Behörden von einem Übermaß an Vorschriften und der damit

einhergehenden Belastung durch bürokratische Pflichten und Kosten ein wichtiges Anliegen der Koalition ist.

Der Sächsische Landtag hat in seiner 37. Sitzung am 08.12.2005 einem gemeinsamen Antrag der CDU- und SPD-Fraktion „Radonrichtlinie ablehnen – qualifizierte Beartung ausbauen“ zugestimmt. Danach wird die Staatsregierung ersucht, sich dafür einzusetzen, dass gesetzliche Regelungen zur Begrenzung der Radonkonzentration unterbleiben, und stattdessen in Anlehnung an die Vorschläge der Europäischen Kommission Zielwerte empfohlen werden. Weiterhin soll die fachgerechte Beratung zum radonsicheren Bauen und Sanieren verstetigt und die Verringerung der Radonkonzentration weiterhin befördert werden.

Für die Zustimmung der Menschen zu politischen Entscheidungen wird es entscheidend sein, wie es gelingt, unnötige Bürokratie abzubauen und die europäische Gesetzgebung auf das tatsächlich Notwendige zu beschränken.

Der Freistaat Sachsen sieht es auch künftig als eine wichtige Aufgabe an, die Radoninnenraumkonzentrationen in den Gebäuden zu minimieren. Dies soll ausschließlich durch eine intensive Aufklärung, Information und durch die Stärkung der Eigenverantwortung der Betroffenen erfolgen.

Die bisher bei der Radonsanierung und dem vorbeugenden Radonschutz bei Neubauten gewonnene Erfahrung ist, dass es fast immer gelingt, ein Gebäude auf annehmbare Radoninnenraumkonzentrationen einzustellen. Ob dies organisatorische, bautechnische oder lüftungstechnische Maßnahmen sind, soll dahin gestellt bleiben. Die Auswahl der Mittel soll in jedem Falle dem jeweiligen Eigentümer oder Nutzer überlassen sein. Um jedoch eine geeignete Auswahl der Mittel treffen zu können, ist profunde Kenntnis der Radonwegsamkeiten, der Wirkung von Radonbarrieren und des luftdynamischen Verhaltens in Gebäuden zwingend erforderlich.

Die Erfahrungen zeigen auch, dass es im Rahmen eines Paketes von vielen Einzelmaßnahmen möglich sein sollte, eine effektive und dauerhaft wirksame Minderung der durchschnittlichen Radoninnenraumkonzentrationen in Deutschland zu erreichen. Zu einem solchen Paket gehören an Hand einer ausreichenden Datengrundlage unter anderem eine fachgerechte Bewertung, eine umfassende Information und Aufklärung, eine hinreichende Ausbildung des Fachpersonals, Hinweise in den entsprechenden Bauplanungen, standardisierte Messgeräte und –verfahren einschließlich einer Qualitätssicherung sowie Qualitätssertifizierungen von Baumaterialien.

Jede einzelne Maßnahme für sich betrachtet hat möglicherweise noch keine ausschlaggebende Wirkung, aber im Komplex wirken diese sicherlich nachhaltig.

## 11. Literaturverzeichnis

- [1] Kemski & Partner; Untersuchungen zur Radonsituation und Bodenradonsituation in Deutschland im Auftrag des BMU; 2003
- [2] Radon - Gesundheitsrisiko oder Heilmittel? SMUL; November 2003
- [3] Radioaktivität und Strahlenschutz – Normalität oder Risiko?; SMUL November 2004
- [4] Radonberatung; UBG; 1998
- [5] Übersicht über die Messung von Radon und Radonzerfallsprodukten (Loseblattsammlung); Fachverband für Strahlenschutz e.V.; Januar 2000
- [6] Radon-Handbuch Deutschland; BMU; September 2001

# AKTUELLER KENNTNISSTAND ZU RADON IN GEBÄUDEN

## CURRENT LEVEL OF KNOWLEDGE TO RADON IN BUILDINGS

Hartmut Schulz

IAF - Radioökologie GmbH

### 1. Vorbemerkung

Generell ist für existierende und neu zu errichtende Gebäude zu beachten, dass die Radonkonzentration in den Gebäuden durch

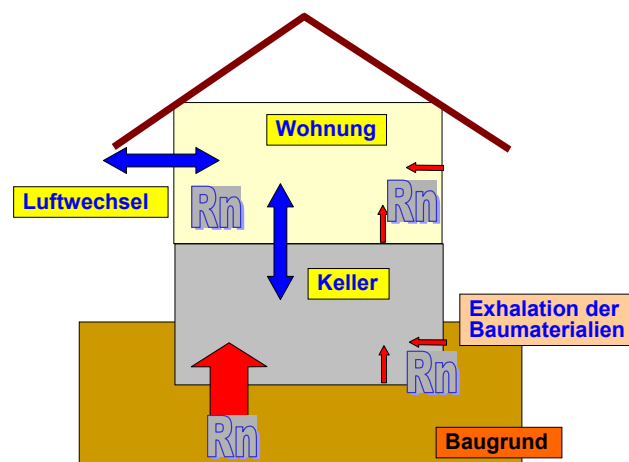
- die geologisch-lithologische Beschaffenheit des Baugrundes und
- die genutzten Baustoffe

bestimmt wird.

Für den Radontransport im Gebäude bzw. vom Baugrund in das Gebäude spielen die

- die Bauweise, insbesondere die fachgerechte Bauausführung, und
- die Art der Nutzung des Gebäudes

eine Schlüsselrolle. Einige Aspekte der Radongenerierung und des Radontransports in Häusern (s. Abbildung 1) werden in den folgenden Abschnitten kurz umrissen (s.a. [1], [2]).



**Abbildung 1:** Schematische Darstellung der Hauptkomponenten zur Entwicklung der Radonkonzentration in Häusern

## 2. Geologisch-lithologische Beschaffenheit des Baugrundes

Durch die geologische Beschaffenheit des Untergrundes bzw. durch die mineralogische Zusammensetzung des Bodens/Gesteins und damit auch durch die der Baustoffe wird entsprechend des Radiumgehaltes (spezifische Ra-226-Aktivität) Radon (Rn-222) generiert, das nur zu einem bestimmten Prozentsatz das Mineralgerüst des Gesteins oder Baustoffs verlassen kann. Der sogenannte Emanationskoeffizient  $E$  definiert das Verhältnis des abgegebenen zu dem im Gesteinskorn produzierten Radons. Er nimmt mit zunehmender Korngröße aufgrund des kleiner werdenden Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen ab. Stoffe mit großer innerer Oberfläche haben einen großen Emanationskoeffizienten. Aus diesem Grund variiert der Emanationskoeffizient in verschiedenen Boden- und Gesteinsarten. In Böden ist  $E$  tendenziell deutlich höher als in kompakten Gesteinen. Dies gilt auch für die unterschiedlichen Baustoffe.

### Fazit

Typischerweise variiert die Radonkonzentration in der Bodenluft in einem Bereich von 10.000 Bq/m<sup>3</sup> bis 100.000 Bq/m<sup>3</sup>, wobei Gebiete mit Radonkonzentrationen in der Bodenluft von > 20.000 Bq/m<sup>3</sup> bereits als erhöht eingestuft werden. Im Erzgebirge (z.B. Schneeberg, Schlema), in der Oberpfalz oder im Schwarzwald können jedoch, geologisch bedingt, Radonkonzentrationen in der Bodenluft von > 10<sup>6</sup> Bq/m<sup>3</sup> nachgewiesen werden.

## 3. Zur Radonfreisetzung aus Baumaterialien

Die Baustoffe generieren wie die natürlichen vorhandenen geologischen Materialien, aus denen sie hergestellt sind, Radon in unterschiedlicher Quantität. In der Tabelle 1 sind die Radonexhalationsraten von typischen Baumaterialien zusammengestellt [3].

Diese Tabelle enthält als einen wichtigen Anhaltspunkt eine Abschätzung der maximalen Radonkonzentration, die sich in einem fensterlosen Referenzraum, der ausschließlich mit den entsprechenden Baumaterialien errichtet worden ist, entwickeln würde. Die Ergebnisse zeigen, dass z.B. in mit Beton gebauten Kellern und bei völlig unterdrückter Lüftung Radonkonzentrationen von knapp 4.000 Bq/m<sup>3</sup> erreicht werden könnten. Diese maximal erreichbare Radonkonzentration reduziert sich jedoch bereits auf deutlich niedrigere Werte von 140 Bq/m<sup>3</sup>, wenn im Keller eine permanente Luftwechselrate von 0,2 h<sup>-1</sup> bestehen würde. Bei Gebäuden aus Ziegeln wären im vergleichbaren Fall Radonkonzentrationen bis zu 70 Bq/m<sup>3</sup> nicht auszuschließen.

**Tabelle 1:** Exhalationsraten  $J$  der Baumaterialien und berechnete Radonkonzentrationen ohne Lüftung bzw. mit Luftwechselrate 0,2 h<sup>-1</sup>

	Spannweite Radon- exhalationsrate $J$ [Bq/(m <sup>2</sup> h)]	$J_{\min, LW=0}$	$J_{\max, LW=0}$	$J_{\max, LW=0,2 h^{-1}}$
		Radonkonzentration $C_{Rn, \min}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	Radonkonzentration $C_{Rn, \max}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]	Radonkonzentration $C_{Rn, \max}$ mit Luftwechselrate [Bq/m <sup>3</sup> ]
<b>Beton</b>	2 - 20	380	3800	140
<b>Porenbeton</b>	1 - 3	190	570	21
<b>Ziegel, Klinker</b>	1 - 10	190	1900	70
<b>Natursandstein</b>	1	190	190	7
<b>Kalkstein</b>	0,9 - 11	171	2100	76
<b>Naturbims</b>	0,6 - 6	114	1140	42
<b>Hüttenschlacke</b>	0,4 - 0,7	76	133	5
<b>Naturgips</b>	0,2	38	38	1

### Fazit

Die hier durchgeführten Vergleiche, die durch entsprechende Messungen unterlegt werden können, zeigen, dass eine Mindestluftwechselrate in einem Raum garantiert sein muss, um den Einfluss der natürlich immer vorhandenen Radonfreisetzung aus Baumaterialien auf die Radonkonzentration in Innenräumen vernachlässigen zu können.

## **4. Einfluss der Bauweise auf die Radonkonzentration**

Einen großen Einfluss auf die Höhe der Radonkonzentration innerhalb eines Gebäudes besitzt die Bauweise. In großen Gebäuden kommt insbesondere der lufttechnischen Ankopplung einzelner Gebäudeeinheiten untereinander, wie z.B. Keller an die 1. Etage über ein Treppenhaus oder durch Medienverbindungen (Heizungsrohre, Sanitäranlagen, Elektroverbindungen, Kabelanschlüsse etc.), eine herausragende Bedeutung zu. Des Weiteren ist von Wichtigkeit, wie der Kellerbereich gegenüber dem Baugrund abgedichtet ist (z.B. weiße Wanne oder zusammengefügte Betonplatten etc.) und wie z.B. die Medienein- und -ausgänge (Heizungskanäle, Wasser-, Abwasser-, Elektroanschlüsse etc.) abgedichtet sind.

Eine nicht zu unterschätzende Rolle spielt die allgemeine Nutzung des Kellers (z.B. als Wohnung) und die Höhe seiner Innentemperatur. Keller mit typischen Temperaturen von 10 - 14 °C weisen nur in den Wintermonaten einen merklichen Unterdruck gegenüber dem umgebenden Baugrund auf, so dass radonhaltige Bodenluft verstärkt über Risse und andere Leckagen angesaugt werden kann. In Kellern, die bewohnt oder anderweitig genutzt werden und durch Innenraumtemperaturen von > 20 °C charakterisiert sind, besteht nahezu im gesamten Jahresverlauf ein Unterdruck gegenüber der umgebenden Bodenluft. Dies führt letztlich dazu, dass die Radonkonzentration in Kellerräumen nicht nur im Winter, sondern auch in den Sommermonaten deutlich erhöht sein kann.

Auch installierte Lüftungssysteme können einen großen Einfluss auf die Radonkonzentration innerhalb der Gebäude haben und dazu beitragen, dass das aus der Bodenluft oder den Baumaterialien stammende Radon über das gesamte Gebäude verteilt wird.

Es ist somit immer davon auszugehen, dass am Bauwerk (Bodenplatte, Kellerseitenwände) mindestens eine Radonkonzentration in der Bodenluft von 10.000 Bq/m<sup>3</sup> potentiell anliegt. Wieviel Radon aus diesem Radonreservoir letztlich in des Haus migriert, hängt von der Bauweise, insbesondere der fachgerechten Bauausführung, und der Art der Nutzung des Gebäudes ab. Auch in Gebieten mit verhältnismäßig niedrigen Radonkonzentrationen in der Bodenluft (< 15.000 Bq/m<sup>3</sup>) können erhöhte Radonkonzentrationen in einem Haus auftreten, wenn bauseitig nicht ausgeschlossen ist, dass das Haus an das Radonreservoir Bodenluft über Leckagen gekoppelt ist.

### Fazit

Es ist festzustellen, dass sich die Gebäudekonstruktion in sehr komplexer Weise auf die Radonkonzentration im Gebäude auswirkt. Daher sind bei der Ursachenforschung einer erhöhten Radonkonzentration immer Einzelfallbetrachtungen in den Vordergrund zu stellen. Patentrezepte sind eher nur in Ausnahmefällen zielführend.

In Bergbauregionen sind neben des erhöhten geogenen Radonpotentials zusätzlich lufttechnische Kopplungen eines Hauses an Grubenbaue bzw. die Einflüsse von Halden mit zu berücksichtigen. Der Grubenbau oder vergleichbare Hohlräume sind aufgrund ihrer Existenz als eine permanent existierende Störung zu betrachten, die konvektive Strömungen induzieren und so zu deutlich erhöhten Radonkonzentrationen in Innenräumen beitragen können [4], [5].

## **5. Nutzung des Gebäudes und Luftwechsel**

Eng verknüpft mit der Bauweise und ihren Auswirkungen auf die Entwicklung der Radonkonzentration innerhalb des Gebäudes ist die gesamte Nutzung des Hauses. Hierbei spielt insbesondere das Raumklima und das individuelle Verhalten der Nutzer (Bewohner) eine Schlüsselrolle. Ein kurzzeitiges Lüften der Zimmer am Morgen kann bereits ein probates und sehr nachhaltiges Mittel sein, die Radonkonzentration über den Tag zu senken. Falls eine solche einfache Maßnahme nicht ausreicht, die Radonkonzentration abzusenken ist eine aktive Belüftung der Zimmer eine mögliche Alternative. Ob dabei Frischluft in das Zimmer gedrückt oder angesaugt werden muss, hängt maßgeblich von der lufttechnischen Gebäudesituation ab und ist erst zu entscheiden, wenn die Gesamtradonsituation und das Systemverhalten in einem Gebäude weitestgehend verstanden sind.

Wichtig ist zu erkennen, dass in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz  $\Delta T$  zwischen Räumen oder zwischen der Innenraumluft und der Außenatmosphäre konvektive Luftströmungen induziert werden, die jahres- und tageszeitliche Charakteristika aufweisen und auch für das Verständnis der Migration von Radon aus dem Baugrund in ein Haus von signifikanter Bedeutung sind. Dabei ist immer zu beachten, dass das Haus selbst aufgrund seiner Innentemperatur von ca. 20 °C in den Wohnräumen, wobei insbesondere im Winter die Innentemperatur deutlich größer als die Außentemperatur ist, einen großen Einfluss auf das Radontransportverhalten in den das Haus umgebenden Baugrund ausüben kann. Wichtig ist jedoch zu konstatieren, dass letztlich die Höhe der Radonkonzentration in Innenräumen durch die Höhe des Luftwechsels entscheidend mitbestimmt wird.

Die Mindestlüftung verfolgt das Ziel der Abwehr von Risiken für Mensch und Bausubstanz. Es wird angenommen, dass damit sowohl gesundheitsschädigende Raumluftzustände als auch Tauwasserbeziehungsweise Schimmelpilzbildung verhindert werden können. Zur Bestimmung des notwendigen Mindestluftwechsels wurden im Auftrag des Bundesministeriums für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau von der TU Dresden Untersuchungen durchgeführt. Die errechneten und in der Tabelle 2 dargestellten Mindestluftwechselraten orientieren sich an dem Luftwechsel, welcher notwendig ist, um unter ungünstigen Bedingungen Schimmelbildung in einem Ein- (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH) zu vermeiden. Differenzierungen wurden hinsichtlich der Feuchtelasten (Raumnutzung) und des Wärmestandards (Neubau: Niedrigenergiehaus-Standard, Altbau: Sanierung nur durch Fensteraustausch und Mindestwärmeschutz) getroffen.

Es ist zu erkennen, dass die Anforderungen hinsichtlich eines Mindestluftwechsels geringer für Neubauten als für Altbauten sind. Eine mittlere Mindestluftwechselrate von 0,15 h<sup>-1</sup> ist jedoch kritisch in Hinblick auf die Radonsituation zu betrachten, da z.B. in einem Wohnzimmer aus Ziegelwänden bei einer Luftwechselrate von 0,15 h<sup>-1</sup> die Radonkonzentration in der Spannweite zwischen 9 Bq/m<sup>3</sup> und 90 Bq/m<sup>3</sup> variieren könnte.

**Tabelle 2:** Schimmelpilz vermeidender Mindestluftwechsel bei typischen Nutzungsbedingungen in Abhängigkeit von Gebäude- und Raumkonstellation

Raum	Schimmelpilz vermeidende Mindestlüftung					
	Neubau			Altbau		
	Luftwechsel [1/h] MFH *)	Luftwechsel [1/h] EFH **)	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]	Luftwechsel [1/h] MFH *)	Luftwechsel [1/h] EFH **)	Volumenstrom [m <sup>3</sup> /h]
Wohnzimmer	0,15	0,15	10 m <sup>3</sup> /h	0,25	0,20	18 m <sup>3</sup> /h
Schlafzimmer	0,30	0,20		0,60	0,40	
Kinderzimmer	0,35	0,25		0,70	0,45	
Küche	0,25	0,20	8 m <sup>3</sup> /h	0,40	0,35	12 m <sup>3</sup> /h
Bad	0,45	0,30		0,60	0,45	
<b>Gesamt</b>	0,20	0,15		0,40	0,30	

\*)  $\geq 17 \text{ m}^2$  Wohnfläche/Person    \*\*)  $\geq 30 \text{ m}^2$  Wohnfläche/Person

In der novellierten Energieeinsparverordnung (EnEV) [6] werden die quantitativen Gesamtanforderungen für das Gebäude als auch die Einzelanforderungen für Fenster und Außenluftdurchlässe festgelegt. Die Normen und Verordnungen fordern eine Luftwechselrate zwischen der Gebäudeinnen- und -außenseite von  $n_{50} \leq 3 \text{ h}^{-1}$  (ohne mechanische Lüftungsanlage) bzw.  $n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$  (mit mechanischer Lüftungsanlage) bei einer erzeugten Druckdifferenz von 50 [Pa] (Blower-Door-Messung).

Typische Ergebnisse der Gebäude-Dichtheitsmessung sind:

- Bei undichten Altbauten 4 bis 12 h<sup>-1</sup>,
- bei Neubauten ohne besondere Sorgfalt 3 bis 7 h<sup>-1</sup>;
- bei Niedrigenergiehäusern 1 bis 2 h<sup>-1</sup> sowie
- bei Passivhäusern 0,1 bis 0,6 h<sup>-1</sup>.

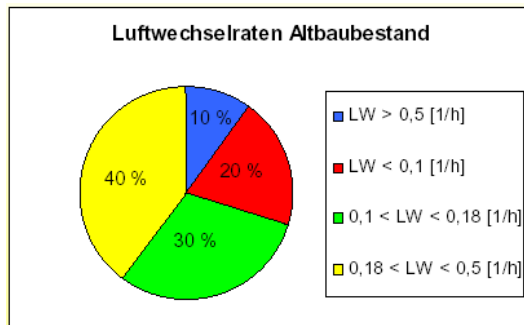
In Passivhäusern ist die Luftdichtheit besonders wichtig, da ein Grenzwert von 0,6 h<sup>-1</sup> vorgegeben ist. Geht man grob geschätzt davon aus, dass der tatsächliche Luftwechsel etwa um den Faktor 10

geringer ist, kann bei Niedrigenergiehäusern von einer Luftwechselrate  $<0,2 \text{ h}^{-1}$  und bei Passivhäusern von  $<0,1 \text{ h}^{-1}$  ausgegangen werden.

Eine Recherche des Altbaubestandes hat ergeben ([7], [8]), dass in

- 90 % des Bestandes die natürliche Luftwechselrate  $< 0,5 \text{ [1/h]}$ ,
- 50 % des Bestandes die natürliche Luftwechselrate  $< 0,18 \text{ [1/h]}$ ,
- 20 % des Bestandes die natürliche Luftwechselrate  $< 0,1 \text{ [1/h]}$ .

beträgt (s.a. Abbildung 2).



**Abbildung 2:** Über Luftwechselraten des Altbaubestandes

### Fazit

Aus den Recherchen folgt, 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. Dieser Tatbestand impliziert, dass sowohl der Radonfreisetzung aus den Baumaterialien als auch der Radondichtheit des Gebäudes zur Vermeidung einer Ankopplung an das Radonreservoir "Bodenluft" 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. Gegenwärtig scheint die Anwendung der Tracergas-Technologie die einzige Möglichkeit zu sein, sich einen Überblick über die tatsächlichen Lüftungsbedingungen in einem Raum zu verschaffen. Eine ausführliche Darstellung ist z.B. in [9] und [10] gegeben.

## **6. Zur Interpretation der Abschätzung der Radonexposition durch integrierende Langzeitmessungen**

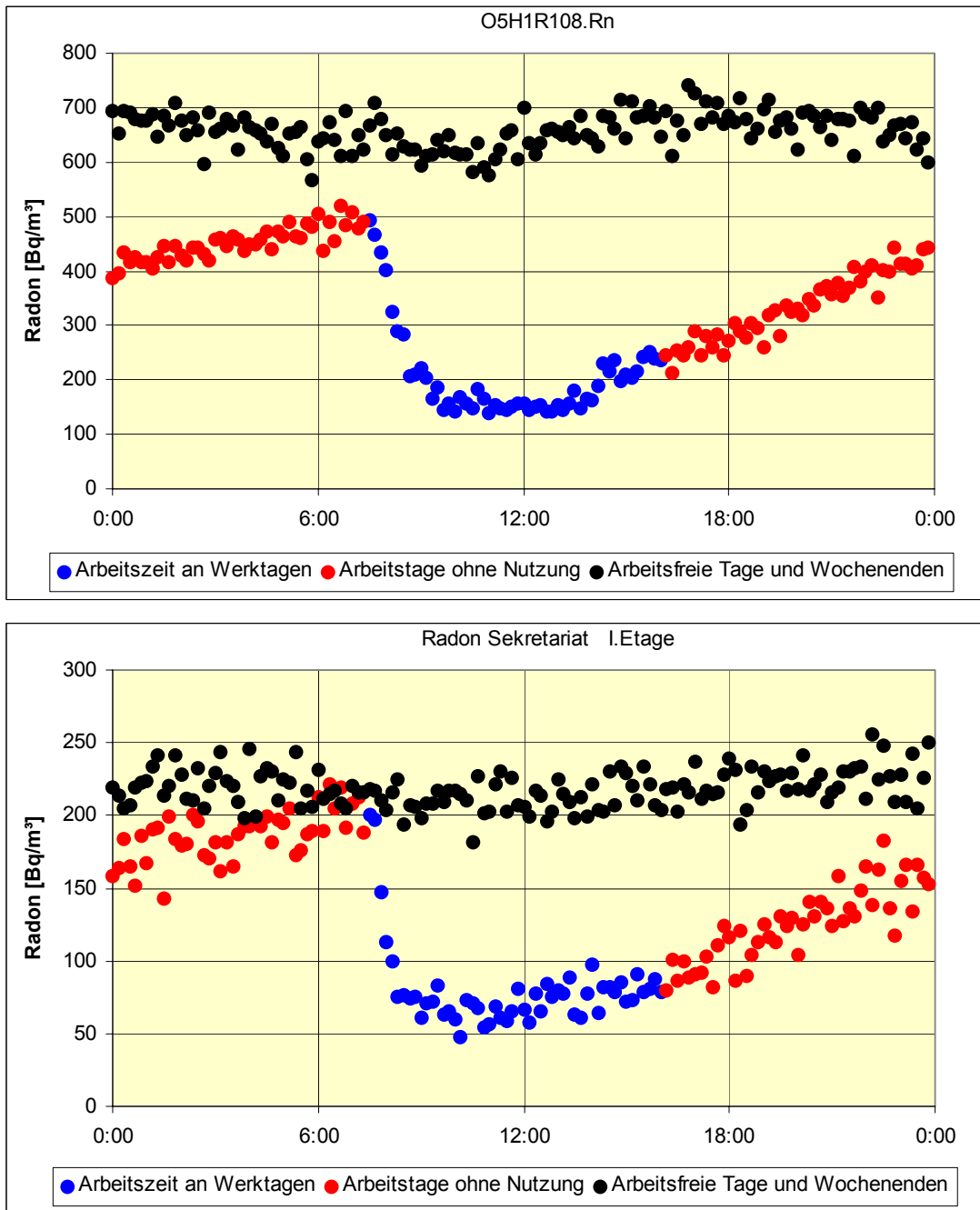
Es ist üblich, die Radonkonzentration in Wohn- und Arbeitsräumen durch integrierende Langzeitmessungen zu bestimmen. Dabei wird jedoch die Radonkonzentration in den Räumen unabhängig von der Nutzung ermittelt, so dass diese Mittelwerte nur bedingt Rückschlüsse auf die tatsächliche Exposition liefern können.

Für Arbeitsräume ist z.B. festzuhalten, dass durch den alleinigen Bezug auf die Ergebnisse der integrierenden Langzeitmessungen die Exposition während der Arbeitszeit stark überschätzt werden kann [11]. Der Grad der Überschätzung kann letztlich nur anhand von zeitauflösenden Messergebnissen dokumentiert werden. Dieser Sachverhalt ist in der Abbildung 3 (Küchenraum sowie Sekretariat eines Rathauses) beispielhaft untersetzt, wobei eine spezielle Darstellungsform gewählt wurde.

Die Messungen der in der Abbildung 3 dargestellten Radonkonzentrationen wurden von Mitte Dezember 2006 bis Anfang Januar 2007 durchgeführt. Es wurde zusätzlich zwischen Arbeitstagen und Wochenenden (keine Raumnutzung) unterschieden. Des weiteren wurden die arbeitsfreien Tage über Weihnachten und zum Jahreswechsel berücksichtigt. Diese Form der Darstellung in Abbildung 3 ermöglicht, die Besonderheiten der Radonkonzentrationsentwicklung in den Räumen zu erfassen und mit weiteren Parametern, wie z.B. die Innen- und Außentemperatur, zu korrelieren oder den Einfluss der Raumnutzung zu verdeutlichen.

Es ist zu erkennen, dass die Radonkonzentration an den Wochenenden annähernd konstant ist, während der Abfall der Radonkonzentration zu Arbeitsbeginn an den Arbeitstagen um 8 Uhr deutlich hervortritt.

In der Tabelle 3 sind zur Illustration des Sachverhalts die entsprechenden Ergebnisse für die unterschiedlichen Zeitmittlungsintervalle zusammengefasst. Die über die gesamte Messzeit gemittelte Radonkonzentration für den Küchenraum liegt etwa um den Faktor 2 höher als die während der Arbeitszeit zu veranschlagende Radonkonzentration von ca. 206 Bq/m<sup>3</sup>. Die Situation stellt sich ähnlich für das Sekretariat dar. Wegen der verkürzten Arbeitszeit über Weihnachten und zum Jahreswechsel ist der Unterschied in den Radonkonzentrationen während der Arbeitszeit und dem gesamten Zeitraum nicht so ausgeprägt. Durch die gute Lüftung liegt die mittlere Radonkonzentration im Sekretariat während der Arbeitszeit bei 80 Bq/m<sup>3</sup> und somit mehr als Faktor 2 unterhalb der der Langzeitmessung. Hieraus folgt die weitreichende Schlussfolgerung, dass bei einem ausschließlichen Bezug auf die Ergebnisse der Langzeitmessungen die tatsächliche Exposition mindestens um den Faktor 2 überschätzt wird.



**Abbildung 3:** Mittlerer Tagesgang der Radonkonzentration an Arbeitstagen und am Wochenende (oberes Bild Küchenraum, unteres Bild Sekretariat eines Rathauses)



**Tabelle 3: Mittlere Radonkonzentrationen an Arbeitstagen und am Wochenende im Küchenraum und Sekretariat**

	<b>Arbeitsfreie Tage und Wochenenden [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Arbeitstage ohne Nutzung [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>Arbeitszeit an Werktagen [Bq/m<sup>3</sup>]</b>	<b>gesamter Zeitraum [Bq/m<sup>3</sup>]</b>
Küche	657	391	206	475
Sekretariat	218	155	80	183

### Fazit

Generell kann man davon ausgehen, dass ein Büroraum oder auch ein Klassenzimmer einer Schule höchstens 40 Stunden pro Woche besetzt sind, während sich die Langzeitmessung über die volle Wochenzeit von 168 Stunden erstreckt. Dies bedeutet, die gemessene Langzeitradonkonzentration reflektiert nur zu ca. 20% den tatsächlich während der Arbeitszeit herrschenden Radonkonzentrationswert. In ca. 80% der Messzeit ist der betrachtete Raum in der Regel ungenutzt und wegen der damit verknüpften geringeren Lüftung durch eine deutlich höhere Radonkonzentration charakterisiert. Dass die ausgewählten Beispiele kein Einzelfall sind, sondern einen Trend verdeutlichen, der typisch für öffentliche Gebäude (Behördenräume, Schulen etc.) ist, wird z.B. in der Studie [11] ausführlich belegt.

Die Situation stellt sich anders für Wohnungen dar. Wenn man davon ausgeht, dass sich einige Personen über die gesamte Zeit in Wohnräumen aufhalten, stellen Langzeitmessungen der Radonkonzentration eine solide Basis dar, die tatsächliche Radonexposition abzuschätzen.

Das Beispiel der Büroräume zeigt jedoch, dass auch bei der Beurteilung der Radonsituation in einer Wohnung differenziert vorgegangen werden muss. Z.B. kann eine Langzeitmessung in einem Schlafzimmer nicht die tatsächliche Radonsituation widerspiegeln, wenn nachts die Fenster angekippt und tagsüber geschlossen sind. Des weiteren ist zu berücksichtigen, dass andere Zimmer tagsüber eher seltener oder gar nicht genutzt werden und dieser Umstand durch die Ergebnisse der Langzeitmessungen nicht reflektierbar ist. Folglich ist auch hier davon auszugehen, dass die ermittelte Langzeitradonkonzentration eine konservative Schätzung der tatsächlichen Situation darstellt. Der Grad der Konservativität der Messergebnisse kann nur durch zeitauflösende Messungen über einen Zeitraum von mindestens einer Woche und gleichzeitig durch das Verständnis des Systemverhaltens ergründet werden. Dies trifft auch im vollen Umfang auf die Bewertung der Radonsituation in öffentlichen Gebäuden oder Schulen zu.

## 7 Quellenverzeichnis

- [1] H. Schulz, Radon in Häusern - ein sehr komplexes dynamisches Problem, 29. Sitzung AKNAT, 28. - 29. April 2005, Saalfeld
- [2] H. Schulz, Eintritts- und Ausbreitungsprozesse von Radon in Gebäuden und relevante Einflüsse auf die Radonkonzentration - Wie und Warum gelangt Radon in Häuser?, Programmseminar "Radonsicheres Bauen" SMUL, 2006, Reinhardtsgrimma 2005,
- [3] 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
- [4] H. Schulz, Untersuchung zum Interface Untergrund / Gebäude, IAF - Radioökologie GmbH Dresden unter Mitwirkung des Bergtechnischen Ingenieurbüros GEOPRAX
- [5] B. Leißring, H. Schulz, Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen mit komplizierten Untergrundverhältnissen, 2. Tagung zum "Radonsicheren Bauen" KORA e.V. September 2006, Dresden

- [6] Energieeinsparverordnung (EnEV 2004) wurde am 07.12.2004 im Bundesgesetzblatt, Bundesanzeiger Verlag Köln, verkündet. Sie ist seit dem 8.12.2004 in Kraft.
- [7] Uwe Münzenberg, Tino Weithaas, Jörg Thumulla, anbus analytik GmbH, Gesellschaft für Umweltanalytik, Gebäuediagnostik und Umweltkommunikation, 2003
- [8] Claudia Funke, Beitrag zur Bestimmung der Radondichtheit von Baustoffen und Baukonstruktionen, Diplomarbeit, HTW Dresden 2007
- [9] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen, Vortrag SMUL Dresden, KORA Dresden, September 2006 und Referenzen in diesem Vortrag
- [10] 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
- [11] IAF, WISMUT, GEOPRAX, BPS: 1. Zwischenbericht zum Vorhaben "Radon in öffentlichen Gebäuden". - Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 25.11.2005.

# BAULICHER RADONSCHUTZ IN DER 2. LANDESMESSTELLE FÜR UMWELTRADIOAKTIVITÄT DER STAATLICHEN UMWELTBETRIEBSGESELLSCHAFT (UBG)

## CONSTRUCTIONAL PROTECTION AGAINST INDOOR RADON IN THE 2<sup>ND</sup> SAXON STATE LABORATORY FOR ENVIRONMENTAL RADIOACTIVITY OF THE UBG

Werner Preuße

Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität, Chemnitz

### Zusammenfassung

*Die Messung von Radionuklidkonzentrationen im Bereich der Umweltradioaktivität erfordert niedrige Nulleffektzählraten der Kernstrahlungsmessgeräte um die bei der gesetzlichen Überwachung der Umweltradioaktivität in Deutschland geforderten Nachweisgrenzen zu erreichen. Das Gebäude der 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität des Freistaates Sachsen (ehemalige Tierklinik) steht auf einem Boden, der ca. 100 Bq/kg U-238 und Ra-226 und in der Bodenluft ca. 150 kBq/m<sup>3</sup> Rn-222 enthält. Gemeinsam mit den Gebäudeeigenschaften verursachte dies vor der Rekonstruktion im Jahr 1999 eine Radonkonzentration von ca. 1500 Bq/m<sup>3</sup> in der Innenraumluft eines gut belüfteten Stallraumes. Um eine Radonkonzentration in diesem Raum (späterer Messraum) unterhalb 100 Bq/m<sup>3</sup> sicher zu erreichen, war es nötig eine Reihe von Sanierungsmaßnahmen durchzuführen (Abdichtungen, Radondrainage und aktive Lüftung), die auf der Grundlage einer Analyse der spezifischen Gegebenheiten des Gebäudes geplant und in den Ablauf der Rekonstruktion integriert wurden. Die abschließende Untersuchung der Radonsituation nach der Rekonstruktion des Gebäudes ergab das erfolgreiche, durch Messungen nachgewiesene Funktionieren der realisierten Radonschutzmaßnahmen. Der vorliegende Beitrag ist eine gekürzte Fassung einer Arbeit aus dem Jahr 2000 [1].*

### Summary

*Measuring radionuclide concentrations at environmental levels requires low background count rates in order to achieve the detection limits which have to be met in the legal monitoring programs in Germany. The building of the 2<sup>nd</sup> Saxon state laboratory for environmental radioactivity (a former veterinary clinic) is located on soil containing concentrations of about 100 Bq/kg of U-238 and Ra-226 and in soil gas of about 150 kBq/m<sup>3</sup> of Rn-222. This and the building properties caused an indoor radon concentration of about 1500 Bq/m<sup>3</sup> in a well ventilated barn room before the reconstruction in 1999. In order to reliably achieve radon concentrations below 100 Bq/m<sup>3</sup> in this room (the later counting room), it was necessary to realize a number of remedial measures (sealing, radon drainage and active ventilation) which were planned and integrated within the course of the reconstruction on the basis of an analysis of the specific circumstances of the building. The final investigation of the radon situation after the reconstruction showed the successful function of the remedial measures which was proven by measurements. The presented contribution is an abridged version of a paper which has already been published in 2000 [1].*

## 1. Einleitung

Bis zum Jahr 1999 verfügte der Freistaat Sachsen über nur eine Landesmessstelle zur Überwachung der Umweltradioaktivität in Radebeul. Zur Erfüllung der Aufgaben innerhalb des bundesweiten

Integrierten Mess- und Informationssystem (IMIS) und bei der Überwachung der ehemaligen Uranbergbaustandorte wurde die Errichtung einer zweiten sächsischen Landesmessstelle beschlossen. Eine ehemalige Tierklinik in Chemnitz war das einzige im Landesbesitz befindliche und verfügbare Gebäude in der Region, das alle Anforderungen an Größe, Lage und die funktionellen Aspekte erfüllte. Hierzu musste jedoch eine vollständige Rekonstruktion des alten Gebäudes zu erfolgen.

Die Messung von Radionukliden im Konzentrationsbereich der Umweltradioaktivität erfordert niedrige Nulleffektzählraten der Kernstrahlungsmessgeräte um die bei der gesetzlichen Überwachung der Umweltradioaktivität in Deutschland geforderten Nachweisgrenzen zu erreichen. Radon-222 (Rn-222) und seine Tochternuklide machen dabei häufig einen großen Teil der Nulleffektzählrate aus. Da sich das ausgewählte Gebäude in einem Gebiet mit hohen Radonkonzentrationen in der Bodenluft ( $\approx 150 \text{ kBq/m}^3$ ) befindet, wurde von Beginn der Rekonstruktion an eine möglichst niedrige Radonkonzentrationen in der Raumluft bei der Planung und Ausführung der baulichen Maßnahmen angestrebt, um auf diese Weise ungünstige Messbedingungen von vornherein zu vermeiden. Die entsprechenden Untersuchungen erfolgten mit Unterstützung der damaligen Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen des sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie [1].

## 2. Ausgangssituation

Das Gebäude der ehemaligen Tierklinik und jetzigen 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität befindet sich im Nordosten von Chemnitz in einer Gegend, die durch das Vorkommen von Porphyrtuff (mit einer Mächtigkeit von bis zu 40 bis 50 m und Gehalten von ca. 100 Bq/kg U-238 und Ra-226) mit Adern aus Rhyolit, Andesit und Basalt charakterisiert ist. In der Umgebung sind einige Steinbrüche vorhanden (Hilbersdorfer Porphyry), die nicht mehr abgebaut werden. Ein wichtiger Aspekt mit Auswirkungen auf das Radonangebot aus dem Untergrund ist die unterirdische Struktur (z.B. das Vorhandensein von Klüften, Störungen und Kontaktzonen), für die jedoch keine Daten in Bezug auf die genaue Lage des Gebäudes vorhanden sind.

Die Räume der ehemaligen Tierklinik, in denen die Tiere untergebracht wurden, hatten Abflüsse für Wasser und Exkremente, die über Röhren mit einem Abwasserschacht außerhalb des Gebäudes verbunden waren. Auf diese Weise bestand eine konvektive Verbindung zum Untergrund der Liegenschaft, die einen sehr effektiven Transport von Bodenluft in das Gebäude ermöglichte, zumal die alten Rohrverbindungen sicher nicht gasdicht gegenüber dem umgebenden Boden waren. Die Tab. 1 zeigt die bei der Analyse der Ausgangssituation ermittelten Messwerte.

**Tab. 1:** Radonkonzentrationen vor der Rekonstruktion des Gebäudes, gemessen im September 1998

Ort	Rn-222-Konzentration (kBq/m <sup>3</sup> )	Messverfahren
Bodenluft	160	Radonmonitor
Abwasserschacht (Hof)	43	Radonmonitor
Großer Stall, am Fußbodenabfluss	47	Kernspurexposimeter
Großer Stall, 1 m über dem Boden	1,5	Kernspurexposimeter
Tierbehandlungsraum	42	Radonmonitor
Keller unter dem Behandlungsraum	8,1	Radonmonitor

Auf der Grundlage der gemessenen Werte und der Analyse der baulichen Eigenschaften der ehemaligen Tierklinik lassen sich folgende, zusammenfassende Aussagen treffen:

- Die empirische Größenordnung von ca. 10% für das Verhältnis der Radonkonzentration in der Raumluft zur Radonkonzentration in der Bodenluft in Häusern ohne Bodenplatte wurde bestätigt.
- Die Bedingungen im großen Stallraum repräsentieren nicht die normalen Bedingungen in Innenräumen, da der Stall durchgehend nach außen geöffnet war. Deshalb ist davon auszugehen, dass sich unter normalen Lüftungsbedingungen im Mittel Radonkonzentrationen größer als 1,5 kBq/m<sup>3</sup> in der Raumluft ergeben hätten.
- Die Wirkung des Abflusssystems als Haupteintrittspfad für Radon wird durch die Werte im Behandlungsraum und im Keller, der unterhalb des Behandlungsraumes liegt, aber keinen Abfluss besitzt, belegt. In der Regel sind die Radonkonzentrationen in Kellern deutlich größer als in Erdgeschossräumen, hier ist dieses Verhältnis wegen der genannten Gegebenheiten umgekehrt.
- Die wichtigste Maßnahme zur Reduzierung des Radons im Gebäude muss daher die Unterbindung des konvektiven Transports über die alte Abwasserdrainage sein.

### 3. Sanierungsmaßnahmen zum Radonschutz

Das Ergebnis der Analyse der Ausgangssituation führte zu der Entscheidung die Rekonstruktion des Gebäudes mit einer mehrstufigen Radonsanierung zu verbinden. Da jeder Sanierungsfall eine eigene Spezifik besitzt, erscheint es fast unmöglich die genaue Wirkung einzelner Sanierungsmaßnahmen und von deren Kombination vorherzusagen. Dennoch stellen die Erfahrungen, die durch die Arbeit der sächsischen Radonberatungsstelle gesammelt wurden, eine Richtschnur dar, die genutzt werden konnte. Um das wichtigste Ziel, Radonkonzentrationen in der Raumluft unterhalb von 100 Bq/m<sup>3</sup> im Messraum sicher zu erreichen, waren Maßnahmen erforderlich, die über einfache Rekonstruktionsmaßnahmen hinausgehen. Folgende Schritte wurden geplant und realisiert, um das Erreichen des Sanierungsziels zu garantieren (Tab. 1, Abb. 1).

**Tab. 2:** Radonschutzmaßnahmen in der 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität in Chemnitz

Maßnahme	Angestrebter Effekt
A1) Gasdichte Versiegelung des alten Drainagesystems im Gebäude	- verhindert das Einströmen von Radon mit der Bodenluft aus dem Untergrund des Gebäudes.
A2) Vertikale Entlüftung des alten Drainagesystems an geeigneten Punkten	- leitet Radon, das sich im alten Drainagesystem nach der Exhalation aus dem geologischen Untergrund sammelt, in die Außenluft ab.
B1) Entlüftung der Bodenschicht unterhalb des Kellers	- reduziert das Radonangebot und somit den potentiellen Radontransport aus dem Boden.
B2) Einbau einer Luftdrainage im Fußbodenaufbau des Messraums (nicht unterkellert) mit vertikalem Auslass (15 m Höhendifferenz) und horizontalen Lufteinlässen	- leitet Radon durch die Nutzung des Kamineffektes (passiv erzeugter Unterdruck) unter permanenter Frischluftzufuhr (um das Ansaugen von Radon aus dem Untergrund zu verhindern) ab.
C) Auslegen von radondichter Folie im gesamten Fußbodenbereich	- verhindert die Diffusion von Radon aus dem Boden oder Keller in die Räume.
D) Belüftungsregime mit leichtem Überdruck (Überschuss an zugeführter Frischluft im Verhältnis zur Abluft)	- beugt undefiniertem Lufttransport in den Messraum vor und stellt radonarme Luft bereit.

Die einzelnen Sanierungsschritte wurden in den Ablauf der ohnehin stattfindenden Rekonstruktion eingebunden. Deshalb enthielten die mit der normalen Rekonstruktion des Gebäudes verbundenen Kosten (z.B. Beseitigung des durch Fäkalien kontaminierten Bodens, Reparaturen an der Gründung der statischen Struktur des Bauwerkes, Installation neuer Wasser- und Heizungssysteme) bereits einen großen Teil der Kosten, die auch bei einer reinen Radonsanierung angefallen wären. Der

Einbau eines aktiven Lüftungssystems war ebenfalls unabhängig von dem vorhandenen Radonproblem notwendig, da mehrere Laborräume mit Abzügen und Frischluftversorgung ausgestattet werden mussten. Da an einen Messraum für niedrige Aktivitätskonzentrationen besondere Anforderungen an die Sauberkeit zu stellen sind, profitiert man in dieser Hinsicht doppelt durch den permanenten Überdruck mit gefilterter Frischluft.

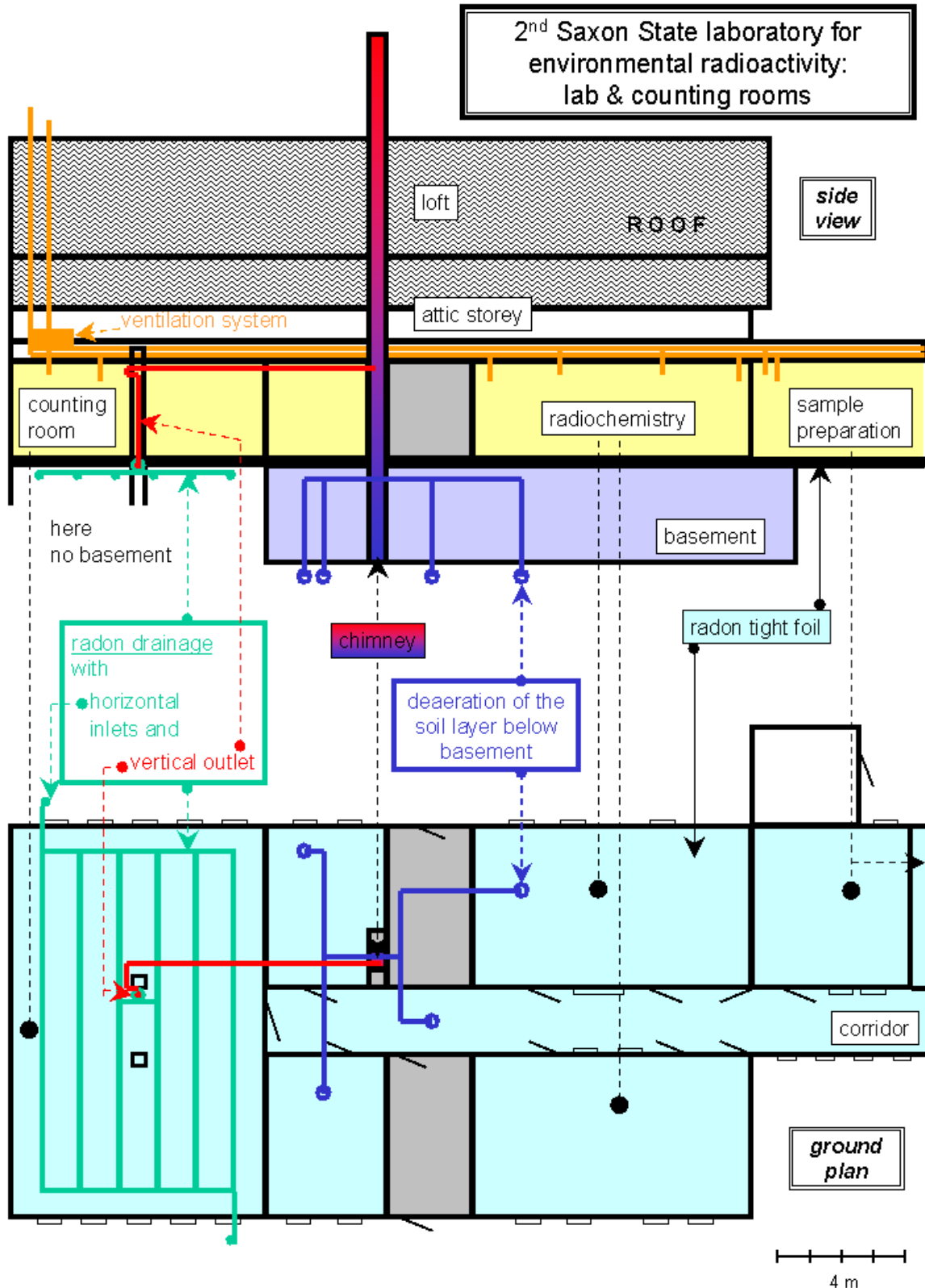


Abb. 1: Schematische Darstellung der Sanierungsmaßnahmen zum Schutz vor Radon in der Raumluft [1]

## 4. Ergebnisse der Sanierungsmaßnahmen zum Radonschutz

Während des Verlaufs der Rekonstruktion des Gebäudes wurden Radonmessungen durchgeführt, um die Qualität der Ausführung der einzelnen Sanierungsmaßnahmen zu überprüfen. So konnten existierende Fehler festgestellt und sofort nachgebessert werden. Dies betraf vor allem Undichtigkeiten an der Verbindung zwischen der radondichten Folie und den Wänden bzw. Rohrdurchführungen. Es ist hervorzuheben, dass solche begleitenden Inspektionen sehr wichtig sind, um später das Erreichen zufrieden stellender Sanierungsergebnisse zu garantieren, da Nachbesserungsmaßnahmen, die ggf. erst nach Beendigung der Rekonstruktion ergriffen werden, in der Regel deutlich höhere Kosten verursachen. Eine abschließende Charakterisierung der Radonsituation im Sommer 2000 nach der Realisierung der Maßnahmen und dem Abschluss der Rekonstruktion wurde mit Messungen mit Radonmonitoren durchgeführt (jeweils in Perioden über einige Tage). Hierbei wurden versucht die verschiedenen Komponenten des gesamten Radonschutzes soweit wie möglich einzeln zu betrachten. Die Tab. 3 zeigt die diesbezüglichen Ergebnisse.

**Tab. 3:** Messergebnisse der Radonkonzentration nach der Rekonstruktion und Radonsanierung

Ort	Rn-222-Konzentration (Bq/m <sup>3</sup> ) mit aktiver und passiver Lüftung			
	in Betrieb		außer Betrieb <sup>*)</sup>	
	Mittelwert	Maximum	Mittelwert	Maximum
Messraum (ehemaliger großer Stall)	20	70	240	460
Thermische Probenvorbereitung (ehemaliger Behandlungsraum)	60	130	150	230
Keller unter dem Behandlungsraum	550	1000	-	-
Vertikaler Abzug der Radondrainage (Schornstein)	12000	21000	-	-

<sup>\*)</sup> aktive Lüftungsanlage ausgeschaltet, horizontale Einlässe und vertikaler Auslass der Radondrainage geschlossen.

Aufgrund der Notwendigkeit der Aufrechterhaltung der aktiven Zu- und Abluft im Laborbetrieb konnten die Messungen mit ausgeschalteter Lüftungsanlage nur zeitlich begrenzt über wenige Tage durchgeführt werden. Die entsprechenden Werte sind deshalb nicht im gleichen Maße als repräsentativ für längere Zeiträume anzusehen wie die mit eingeschalteter Lüftungsanlage gemessenen Langzeitmittelwerte. Dennoch können aus den Ergebnissen einige Aussagen abgeleitet werden:

- Die durchschnittliche Radonaktivitätskonzentration im Messraum unter den normalen Betriebsbedingungen beträgt 20 Bq/m<sup>3</sup> und bestätigt den sehr guten Erfolg der realisierten Sanierungsmaßnahmen.
- Die mit ausgeschalteter Lüftungsanlage ermittelten Werte entsprechen dem Effekt, der durch das Unterbinden des konvektiven Radontransports (Abdichtungen und Verlegen einer radondichten Folie, Punkte A1 und C in Tab. 2) allein erreicht wird. Dieser Teil der Radonsanierung reicht somit aus, um einfache Anforderungen zu erfüllen. Für Messbedingungen im Bereich der Umweltradioaktivität sind jedoch Radonkonzentrationen erstrebenswert, die hier nur mit dem entsprechenden Lüftungssystem erzielt werden.
- Wie erwartet resultieren aus dem mit Frischluft erzeugten Überdruck im Messraum niedrigere Radonkonzentrationen als die unter Unterdruckbedingungen im ehemaligen Behandlungsraum festgestellten Werte (bei eingeschalteter Lüftungsanlage). Die mit ausgeschalteter Lüftungsanlage erreichten Radonkonzentrationen zeigen wahrscheinlich wegen des in das Freie führenden Abgasauslasses des im ehemaligen Behandlungsraum installierten Probenveraschungsofens einen entgegen gesetzten Trend.

- Das Radondrainagesystem funktioniert gut. Mehr als 10 kBq/m<sup>3</sup> Rn-222 werden kontinuierlich über die vertikale Entlüftung der Drainage abgeleitet.
- Die Radonkonzentrationen im Keller haben sich im Verhältnis zu denen im Erdgeschoss normalisiert und im Vergleich zu den Werten vor der Rekonstruktion um eine Größenordnung verringert. Wegen des im Keller vorhandenen Heizungsbrenners (erzeugt Unterdruck) und der nicht vollständigen Abdichtung der erdberührten Wände und des Fußbodens bleiben die Radonkonzentrationen im Keller jedoch relativ hoch.

## 5. Literaturverzeichnis

- [1] W. Preusse, W. Scholtz: Building the 2<sup>nd</sup> Saxon State Laboratory for Environmental Radioactivity – A Case for the Implementation of Remedial Measures Against High Indoor Radon Concentrations, Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Conference on High Levels of Natural Radiation and Radon Areas, München 4.-7.09.2000 (Hrsg. J. Peter, G. Schneider, A. Bayer), Vol. II, S. 179-182



# **RADONSCHUTZ UND BAUPLANUNGSRECHT**

## **RADON PROTECTION AND THE RIGHT OF BUILDING DESIGN**

Frank Wachno

Regierungspräsidium Chemnitz

### **Zusammenfassung**

*Das Bauplanungsrecht beinhaltet die rechtlichen Grundlagen zur Steuerung des Baugeschehens unter dem Blickwinkel der Sicherstellung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung. Da hierunter auch die Gewährleistung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse fällt, sollte dem ersten Anschein nach das Bauplanungsrecht einen relevanten Beitrag zur Abwehr von Gesundheitsgefährdungen leisten können, die auf dem Eindringen von Radon in Gebäude beruhen.*

*Die Detailanalyse zeigt jedoch, dass im Regelfall weder die einschlägigen gesetzlichen Vorschriften noch die Instrumente der kommunalen Bauleitplanung eine hinreichende Ermächtigungsgrundlage darstellen, die es erlauben würde, den am Bau beteiligten Personenkreis zwingend zu verpflichten, baulich-technische Vorkehrungen zum Schutz vor Radoneinwirkungen in Gebäuden zu treffen. Insbesondere den Gemeinden verbleibt im Wesentlichen nur die Möglichkeit, ihren Planungen letztlich unverbindliche Warnhinweise und Empfehlungen beizufügen.*

*Im Übrigen setzt eine wirksame rechtliche Einflussnahme auf das Baugeschehen zunächst die Ausbildung eines allgemein anerkannten naturwissenschaftlich-technischen Standards zum Themenfeld Radon voraus. Da es hier um im Wege bautechnischer Maßnahmen abzuwehrende gesundheitliche Gefahren geht, bietet sich zur Umsetzung entsprechender technischer Regeln schwerpunktmäßig auch eher das Bauordnungsrecht als das Bauplanungsrecht an.*

## 1. Einleitung

Jeder, der sich den Wunsch nach einem Eigenheim schon einmal im Wege des Neubaus erfüllt hat, musste dabei persönlich die Erfahrung machen, dass bei der Errichtung seines Gebäudes eine Vielzahl von bautechnischen und baurechtlichen Bestimmungen zu beachten war. Eine Gruppe der maßgeblichen baurechtlichen Vorschriften stellen hier die Normen des Bauplanungsrechtes dar, die im Folgenden unter dem Blickwinkel der Geeignetheit, den am Bau Beteiligten bindende rechtliche Vorgaben für eine radongeschützte Bauweise zu machen, näher beleuchtet werden sollen.

## 2. Die Gegenstände der bauplanungsrechtlichen Regelungen

Im Gegensatz zum Bauordnungsrecht, dessen Ausformung in unserem föderalen System den Ländern zugewiesen ist, liegt die Kompetenz für das Bauplanungsrecht beim Bund, der diese Materie insbesondere im Baugesetzbuch (BauGB) näher ausgestaltet hat. Dabei hat der Bundesgesetzgeber wiederum zu berücksichtigen, dass das Grundgesetz in Art. 28 den Städten und Gemeinden die kommunale Selbstverwaltung garantiert, wozu als essentialium die gemeindliche Planungshoheit zählt.

In Entsprechung hierzu lassen sich innerhalb des BauGB im Groben zwei Normbereiche unterscheiden, nämlich einmal diejenigen Vorschriften, welche das den Gemeinden zustehende bauleitplanerische Instrumentarium im Einzelnen regeln, sowie daneben die Bestimmungen, die im Falle des Fehlens kommunaler Bauleitpläne unmittelbar gelten und an denen dann die planungsrechtliche Zulässigkeit des einzelnen Bauvorhabens zu messen ist.

An bauplanungsrechtlichen Instrumenten stehen den Gemeinden zur Verfügung der Flächennutzungsplan (§ 5 BauGB), der „klassische“ Bebauungsplan (§§ 8, 9 BauGB), der vorhabenbezogene Bebauungsplan, auch als Vorhaben- und Erschließungsplan bezeichnet (§ 12 BauGB), die Innenbereichssatzungen nach § 34 Abs. 4 BauGB sowie die Außenbereichssatzung gemäß § 35 Abs. 6 BauGB. Hierbei handelt es sich um sog. Ortsrecht, wobei sich allerdings die einzelnen Pläne und Satzungen in ihren Bindungswirkungen unterscheiden.

Soweit eine Kommune keine bauleitplanerischen Maßnahmen mit Bindungswirkung für das einzelne Bauvorhaben ergriffen hat, bemessen sich die planungsrechtlichen Anforderungen an dieses unmittelbar aus den Regelungen des § 34 Abs. 1 – 3 BauGB (Vorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile) bzw. des § 35 Abs. 1 – 5 BauGB (Bauen im Außenbereich).

## 2.1 §§ 34, 35 BauGB

Ein Einfallstor für Forderungen zu einer radongeschützten Bauweise scheint zunächst § 34 Abs. 1 Satz 2 BauGB zu liefern. Nach dieser Vorschrift müssen bei Bauvorhaben innerhalb der im Zusammenhang bebauten Ortsteile (im sog. unbeplanten Innenbereich) die Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse gewahrt bleiben. Die konkrete Bedeutung dieses allgemeinen Grundsatzes des Städtebaurechtes darf im Zusammenhang mit der baurechtlichen Zulassung von Einzelvorhaben auf der Grundlage des § 34 BauGB allerdings nicht überbewertet werden.

Die Zulässigkeit von Bauvorhaben im Innenbereich richtet sich zunächst und vorrangig nach § 34 Abs. 1 Satz 1 BauGB. Danach ist ein Vorhaben zulässig, wenn es sich nach Maßgabe der dort genannten Kriterien, insbesondere nach Art und Maß der baulichen Nutzung, in die Eigenart der näheren Umgebung einfügt. Genügt ein Vorhaben dem Einfügensgebot, resultiert hieraus im Regelfall (auch unter Berücksichtigung der verfassungsrechtlichen Eigentumsgarantie) ein Anspruch auf dessen baurechtliche Zulassung.

Vor diesem Hintergrund messen Literatur und Rechtsprechung dem Zulässigkeitsmerkmal der gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse in § 34 BauGB nur begrenzte Bedeutung bei. Es wird verstanden als die Festschreibung eines untersten Mindeststandards, der gewahrt bleiben muss, um offenkundige Gesundheitsgefährdungen abzuwehren und städtebauliche Missstände zu verhindern [1]. Dabei führt die Überschreitung von Richtwerten, die bei städtebaulichen Planungen einzuhalten sind, noch nicht zu einer Verletzung gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse [2], denn ein Optimierungsgrundsatz ist diesem bauplanungsrechtlichen Zulässigkeitsmerkmal nicht immanent. Der Bundesgerichtshof hat die Schwelle, bis zu der ein Vorhaben den allgemeinen Anforderungen an gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse entspricht, „nicht allzu weit unterhalb der Grenze zur Polizeigefahr“ angesetzt [3]. Mit Blick auf die Radonproblematik bedeutet dies, dass erst eine solche Konzentration des Gases, die eine Gesundheitsschädigung als unmittelbar bevorstehend erscheinen lässt, auf das Baurecht gestützte Maßnahmen und Forderungen ermöglichen würde.

Angesichts des Standes der naturwissenschaftlichen Diskussion, der bisher keinen grundsätzlichen Konsens zu etwa gebotenen Richtwerten erkennen lässt, die in ein auch für Verwaltung und Gerichte handhabbares Regelwerk wie etwa die TA-Lärm einmünden könnten, erscheint eine vollzugsbehördliche Entscheidung, ab welchen Radonkonzentrationen gesunde Wohn- und Arbeitsverhältnisse nicht mehr gewahrt sind und als Grundlage für konkrete bautechnische Forderungen dienen können, von vielleicht denkbaren extremen Ausnahmefällen nicht möglich.

Nichts Anderes gilt im Ergebnis für Bauvorhaben, die der bauplanungsrechtlichen Einzelzulassung auf der Grundlage von § 35 BauGB bedürfen. Zulässigkeitsvoraussetzung dieser Außenbereichsvorhaben ist, dass ihnen öffentliche Belange nicht entgegenstehen (bei privilegierten Vorhaben nach § 35 Abs. 1 BauGB) bzw. durch sie öffentliche Belange nicht beeinträchtigt werden (bei sonstigen Vorhaben im Sinne von § 35 Abs. 2 BauGB). Zwar haben die gesunden Wohn- und Arbeitsverhältnisse keine explizite Aufnahme in den exemplarischen Katalog öffentlicher Belange in § 35 Abs. 3 BauGB erfahren. Doch selbst wenn man sie als sog. unbenannten öffentlichen Belang anerkennt, können ihre Schutzwirkungen innerhalb des § 35 BauGB keinen größeren Umfang entfalten, als dies im dargestellten Rahmen des § 34 BauGB der Fall ist.

Allerdings liegt eine Beeinträchtigung öffentlicher Belange auch dann vor, wenn das Bauvorhaben schädlichen Umwelteinwirkungen ausgesetzt ist (§ 35 Abs. 3 Nr. 3 BauGB). Die Frage, ob in diesem Zusammenhang Radonschutzvorkehrungen zur Ausschaltung eines etwaigen Zulässigkeitshindernisses verlangt werden dürfen, kann jedoch dahinstehen. Denn bei den von der Vorschrift erfassten schädlichen Umwelteinwirkungen handelt es sich um solche im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG). Radonbelastungen als Ergebnis eines Zerfallsprozesses des natürlich im Boden vorkommenden Radiums werden jedoch vom Regelungsbereich des BImSchG nicht erfasst (dazu näher unter 2.4 hinsichtlich der Parallelproblematik bei § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB).

So bleibt an dieser Stelle nur festzuhalten, dass die bauplanungsrechtlichen Zulässigkeitsvoraussetzungen von Einzelbauvorhaben gemäß §§ 34, 35 BauGB regelmäßig keine Verpflichtung zur Realisierung von Radonschutzvorkehrungen begründen.

## 2.3 Der Flächennutzungsplan

Erweisen sich die planungsrechtlichen Bestimmungen des BauGB für Vorhaben in unbeplanten Bereichen als kaum geeignet, eine rechtssichere Grundlage zu bilden für die Forderung nach einer radongeschützten Bauweise, stellt sich die Frage, inwieweit die Gemeinden über Bauleitpläne und sonstige städtebauliche Satzungen entsprechenden Einfluss nehmen können.

Gedacht werden mag hier zunächst an den Flächennutzungsplan gemäß § 5 BauGB. Nach dieser Bestimmung hat der Flächennutzungsplan die Aufgabe, die sich aus der beabsichtigten städtebaulichen Entwicklung ergebende Art der Bodennutzung für das gesamte Gemeindegebiet in den Grundzügen darzustellen. Seine Funktion besteht dabei insbesondere darin, die unterschiedlichen Arten der in der Kommune vorhandenen und zukünftig vorgesehenen Bodennutzung (z.B. Wohnbau, Gewerbe, Landwirtschaft) eher grobmaschig niederzulegen und im Grundsätzlichen einander so zuzuordnen, dass städtebauliche Konflikte (etwa lärmemittierende Industrie direkt neben einem Wohngebiet) vermieden und, wo bereits vorhanden, perspektivisch vermindert werden.

Als sog. vorbereitender Bauleitplan stellt der Flächennutzungsplan das planerische Grundkonzept der Gemeinde dar, welches allerdings der weiteren Ausdifferenzierung namentlich in Gestalt einzelner Bebauungspläne für bestimmte Teilflächen der Kommune bedarf. Rechtliche Bindungswirkungen entfaltet er dabei insoweit, als nach dem Postulat des § 8 Abs. 2 BauGB die Bebauungspläne aus dem Flächennutzungsplan zu entwickeln sind.

Auf der anderen Seite beschränkt sich seine Rechtswirkung im Wesentlichen auch auf diese Bindungsfunktion. Er verpflichtet die Gemeinde, seine Darstellungen ihren weiteren bauleitplanerischen Maßnahmen zu Grunde zu legen und die städtebauliche Entwicklung im Einklang mit seinen grundsätzlichen Vorgaben zu betreiben. Der Flächennutzungsplan stellt jedoch keine Rechtsnorm dar [4] und entfaltet von ganz wenigen, in unserem Zusammenhang nicht interessierenden Ausnahmen keine unmittelbare rechtliche Außenwirkung gegenüber dem Bürger.

Der Flächennutzungsplan ist daher aufgrund seiner inhaltlichen Ausrichtung auf die Darstellung der verschiedenen Bodennutzungsarten weder seiner Struktur nach noch aufgrund seines fehlenden Rechtssatzcharakters in formal-rechtlicher Hinsicht geeignet, einen Bauherrn zum Ergreifen bestimmter bautechnischer Schutzmaßnahmen zu verpflichten.

Losgelöst von einer unmittelbaren rechtlichen Bindung des Bauwilligen kann überlegt werden, einzelne in besonderer Weise von Radon-Ausgasungen betroffene Bodenflächen wenigstens gesondert zu kennzeichnen. Eine Kennzeichnung bestimmter Bodenflächen im Flächennutzungsplan wegen vorhandener Besonderheiten neben den Darstellungen zur Nutzungsart ist gesetzlich durchaus vorgesehen, wie die exemplarische Benennung einzelner Konstellationen in § 5 Abs. 3 BauGB belegt. So sollen etwa gekennzeichnet werden Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen und Sicherungsmaßnahmen gegen äußere Einwirkungen und Naturgewalten erforderlich werden (Abs. 3 Nr. 1) sowie für eine bauliche Nutzung vorgesehene Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (Abs. 3 Nr. 3).

Unter äußeren Einwirkungen und Naturgewalten sind allerdings nur solche Phänomene zu verstehen, die unmittelbar auf den Bestand der baulichen Substanz einwirken wie z.B. ein potentieller Bergbruch, Lawinen, Steinschlag oder Hochwasser [5], wozu natürliche Ausgasungsvorgänge des Bodens nicht zu zählen sind. Radonemittierende Flächen stellen auch keine erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belasteten Böden im Sinne von § 5 Abs. 3 Nr. 3 BauGB dar (dazu näher unter 2.4 zur Parallelvorschrift für den Bebauungsplan).

Der Flächennutzungsplan kann daher weder Radonschutzvorkehrungen verbindlich anordnen noch besteht für die planende Gemeinde eine Verpflichtung, in ihn Kennzeichnungen zu Radonemissionen bestimmter Flächen einzustellen. Sieht eine Kommune unabhängig hiervon Veranlassung, in informeller Weise auf bekannt gewordene spezifische Radonbelastungen hinzuweisen, kann sie dies aber in geeigneter Form etwa innerhalb der obligatorischen Planbegründung tun, ohne dass hiergegen Einwände bestünden.

## 2.4 Der „klassische“ Bebauungsplan

Der aus dem Flächennutzungsplan zu entwickelnde „klassische“ Bebauungsplan enthält gemäß § 8 Abs. 1 Satz 1 BauGB die rechtsverbindlichen Festsetzungen für die städtebauliche Ordnung. Die Gemeinde beschließt den Bebauungsplan als Satzung (§ 10 Abs. 1 BauGB) und erlässt damit Ortsrecht, das wie eine gesetzliche Regelung unmittelbare rechtliche Außenwirkungen für die von der Planung Betroffenen entfaltet.

Die Inhalte der Bestimmungen eines Bebauungsplanes sind allerdings nicht beliebig, sondern unterliegen der Formenstrenge. Was zulässige Festsetzungen in einem Bebauungsplan sein können, regelt § 9 BauGB und hier namentlich der 26 Punkte umfassende Katalog in § 9 Abs. 1 BauGB abschließend. Ein weitergehendes „Festsetzungsfindungsrecht“ steht der Kommune nicht zu [6].

Nach § 9 Abs. 1 Nr. 2 BauGB kann die Gemeinde festsetzen „die Bauweise“. Unter „Bauweise“ im Sinne dieser Regelung ist allerdings nicht eine bestimmte bautechnische Ausführungsform (etwa radongeschützte Bauweise) zu verstehen, der Gesetzgeber verwendet diese Formulierung vielmehr mit seinem spezifisch bauplanungsrechtlichen Inhalt, wie er auch Ausdruck in § 22 der Baunutzungsverordnung (BauNVO) gefunden hat. Nach § 22 Abs. 1 BauNVO kann im Bebauungsplan die Bauweise als offene oder geschlossene Bauweise festgesetzt werden, wobei offene Bauweise die Errichtung von Gebäuden mit seitlichem Grenzabstand und geschlossene Bauweise die Errichtung von Gebäuden ohne einen solchen meint (§ 22 Abs. 2 und 3 BauNVO).

Anknüpfungsmöglichkeiten für eine Behandlung der Radonproblematik bietet im Weiteren allein § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB. Nach dieser Vorschrift können aus städtebaulichen Gründen festgesetzt werden

*die von der Bebauung freizuhaltenden Schutzflächen und ihre Nutzung, die Flächen für besondere Anlagen und Vorkehrungen zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes sowie die zum Schutz vor solchen Einwirkungen oder zur Vermeidung oder Minderung solcher Einwirkungen zu treffenden baulichen und sonstigen technischen Vorkehrungen.*

Die recht verklausuliert daher kommende Bestimmung besitzt insoweit einen Ausnahmecharakter innerhalb des Kataloges zulässiger Festsetzungen, als sie sich nicht auf Vorgaben zur Art und zum Maß von baulichen und sonstigen Bodennutzungen beschränkt, sondern auch die verbindliche Anordnung erlaubt, dass bauliche und sonstige technische Vorkehrungen zu treffen sind.

Bei näherem Hinsehen hat eine solche Festsetzung allerdings eine zwingende Voraussetzung. Sie muss zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen und sonstigen Gefahren im Sinne des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) erfolgen.

Der Anwendungsbereich des BImSchG umfasst indessen nur Emissionen und Immissionen, die im weitesten Sinne auf technischen Vorgängen, sei es durch den Betrieb von Anlagen oder die Verwendung von Stoffen, beruhen [7]. Die Einwirkungen von Radon als Ergebnis eines natürlichen Ausgasungsvorganges der Erdoberfläche, der losgelöst von jeder technischen Einflussnahme durch den Menschen existent ist, unterfallen daher nicht dem Regelungsbereich des BImSchG. Insoweit ist es der Gemeinde auch in Ansehung ihrer kommunalen Planungshoheit verwehrt, gestützt auf § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB verbindliche Festsetzungen zur Errichtung von Gebäuden nur in radongeschützter Bauweise in einem Bebauungsplan zu treffen.

Unabhängig hiervon enthält § 9 BauGB in Abs. 4 eine Öffnungsklausel, gemäß welcher die Länder durch Rechtsvorschriften bestimmen können, dass auf Landesrecht beruhende Regelungen in den Bebauungsplan als Festsetzungen aufgenommen werden können. Einen Kernbereich landesrechtlicher Kompetenzen stellt das Bauordnungsrecht dar. Dieses ist von dem Grundsatz geprägt, dass bauliche Anlagen so anzuordnen, zu errichten, zu ändern und instand zu halten sind, dass die öffentliche Sicherheit und Ordnung, insbesondere Leben und Gesundheit, nicht gefährdet werden (vgl. § 3 Abs. 1 der Sächsischen Bauordnung –SächsBO–). Weiterhin sind bei der Bauausführung als Technische Baubestimmungen eingeführte technische Regeln zu beachten (§ 3 Abs. 3 SächsBO).

Sollte hier die wissenschaftlich-technische Diskussion einen Stand erreichen, der eine hinreichend konsensuale Bewertung der durch Radon hervorgerufenen Gesundheitsgefährdungen insbesondere einschließlich einer Verständigung auf allgemein anerkannte Grenzwerte und höchst zulässige Radonkonzentrationen innerhalb von Gebäuden ermöglicht, kann an eine normative Fixierung dessen im

Wege der Einführung einer entsprechenden Technischen Baubestimmung gedacht werden. Der Landesgesetzgeber hätte es dann in der Hand, den Gemeinden durch Rechtsvorschrift im Sinne des § 9 Abs. 4 BauGB zu gestatten, die sich aus einer solchen Technischen Baubestimmung ergebenden Anforderungen an die Bauausführung in den Bebauungsplan zu übernehmen.

Derzeit ist allerdings eine konsensfähige „Technische Baubestimmung Radon“ ebenso wenig erkennbar wie eine Absicht des sächsischen Landesgesetzgebers, bautechnische Anforderungen nach der SächsBO zum Gegenstand von Regelungen entsprechend § 9 Abs. 4 BauGB zu machen.

Sind mithin verbindliche Festsetzungen zu einer radongeschützten Bauweise, die den am Bau beteiligten Personenkreis und die Genehmigungsbehörden unmittelbar rechtlich binden, nicht möglich, ist wiederum zu erwägen, ob für die Gemeinde immerhin eine Pflicht besteht, radonbelastete Flächen im Bebauungsplan besonders zu kennzeichnen.

Entsprechend der Regelungen für den Flächennutzungsplan bestimmt § 9 Abs. 5 BauGB, dass im Bebauungsplan gekennzeichnet werden sollen einmal Flächen, bei deren Bebauung besondere bauliche Vorkehrungen gegen äußere Einwirkungen oder bei denen besondere bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Naturgewalten erforderlich sind (Abs. 5 Nr. 1), und weiterhin Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (Abs. 5 Nr. 3).

Hier gilt zunächst das bereits zum Flächennutzungsplan Ausgeführte. Die besonderen baulichen Vorkehrungen müssen geboten sein, um Einwirkungen zu begegnen, die den Bestand oder die Standsicherheit des Gebäudes berühren. Solche Einwirkungen, die keinerlei Gefährdungen für die bauliche Substanz mit sich bringen und sich lediglich auf die im Gebäude befindlichen Personen auswirken können, werden von der Kennzeichnungspflicht des § 9 Abs. 5 Nr. 1 BauGB nicht erfasst.

Mit der Kennzeichnungspflicht für Flächen, deren Böden erheblich mit umweltgefährdenden Stoffen belastet sind (§ 9 Abs. 5 Nr. 3 BauGB), hat die Altlastenproblematik Eingang in das BauGB gefunden. Erfasst werden von der Regelung Bodenbelastungen, zu deren näherer begrifflicher Konkretisierung auf Vorschriften des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodSchG) zurückgegriffen werden kann, das in § 2 Abs. 3 BBodSchG schädliche Bodenveränderungen und in § 2 Abs. 5 BBodSchG Altlasten gesetzlich definiert. Gemeinsam ist diesen Tatbeständen wiederum, dass sie anthropogene Eingriffe in die natürliche Bodenfunktion beschreiben. Radonkontingente, die beim radioaktiven Zerfall des natürlich im Boden vorkommenden Radiums entstehen, fallen hierunter nicht.

Eine Verpflichtung der Kommunen, radonbelastete Flächen im Bebauungsplan auf der Grundlage von § 9 Abs. 5 BauGB zu kennzeichnen, kann daher nicht angenommen werden.

Dessen ungeachtet bleibt der Befund, dass die Situationsbelastung durch austretendes Radon – in Abhängigkeit von ihrer Intensität – Einfluss auf vorgesehene Nutzungen der betroffenen Flächen haben kann und insbesondere gesundheitliche Belange des sich in diesem Einwirkungsbereich aufhaltenden Personenkreises berührt. Den Gemeinden ist es hier, auch wenn keine entsprechende Verpflichtung besteht, nicht verwehrt, in dem jeweiligen Bebauungsplan in geeigneter Weise auf die festgestellten Radonbelastungen hinzuweisen. Dies kann sowohl in der textlichen Begründung des Planes als auch durch Kennzeichnungen im zeichnerischen Teil des Planes geschehen. Die Hinweis- und Warnfunktion solcher Kennzeichnungen ermöglicht es dann den Planbetroffenen, in eigener Verantwortlichkeit zu reagieren und bei ihren Baumaßnahmen aus eigenem Antrieb sinnvolle bautechnische Maßnahmen zu ergreifen.

## **2.5 Der vorhabenbezogene Bebauungsplan**

Eine Modifizierung des „klassischen“ Bebauungsplanes hat der Gesetzgeber durch Zulassung des vorhabenbezogenen Bebauungsplanes in § 12 BauGB vorgenommen. Nach Abs. 1 dieser Vorschrift kann die Gemeinde durch einen vorhabenbezogenen Bebauungsplan die Zulässigkeit von Vorhaben bestimmen, wenn der Vorhabenträger auf der Grundlage eines mit der Gemeinde abgestimmten Plans zur Durchführung der Vorhaben und der Erschließungsmaßnahmen (Vorhaben- und Erschließungsplan) bereit und in der Lage ist und sich zur Durchführung innerhalb einer bestimmten Frist ... verpflichtet (Durchführungsvertrag).

Obwohl der Vorhaben- und Erschließungsplan (VEP) streng genommen lediglich einen Teil des als Satzung zu beschließenden vorhabenbezogenen Bebauungsplanes bildet, werden in der Praxis beide Begriffe oftmals in synonyme Weise verwendet.

Der VEP wurde erstmals in § 55 der Bauplanungs- und Zulassungsverordnung der DDR (BauZVO) geregelt und durch den Einigungsvertrag räumlich beschränkt auf das Beitrittsgebiet in das Recht der Bundesrepublik übernommen. 1993 wurde das Planungsinstrument im gesamten Bundesgebiet eingeführt und 1998 schließlich in das BauGB inkorporiert. Im Gegensatz zum „klassischen“ Bebauungsplan, der eine bloße Angebotsplanung darstellt (d.h., die Gemeinde bestimmt die zulässige Nutzung der Planflächen in abstrakter Weise, ein Grundstückseigentümer im Plangebiet ist aber allein aufgrund des Bebauungsplanes nicht verpflichtet, auch tatsächlich zu bauen), steht beim vorhabenbezogenen Bebauungsplan die tatsächliche Realisierung der städtebaulichen Planung im Vordergrund.

Der Einsatz dieses Planungsinstrumentes setzt also einen leistungsfähigen Vorhabenträger voraus, der sich im Durchführungsvertrag zur Verwirklichung eines konkret festgelegten städtebaulichen Vorhabens einschließlich der hierzu erforderlichen Erschließungsmaßnahmen verpflichtet. Diese besondere projektbezogene Zielrichtung hat den Gesetzgeber außerdem bewogen, der Gemeinde im Rahmen eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes weitergehende Regelungsmöglichkeiten einzuräumen, als sie aufgrund des für den „klassischen“ Bebauungsplan abschließenden Festsetzungskataloges des § 9 BauGB bestehen. So normiert § 12 Abs. 3 BauGB ausdrücklich, dass im Bereich des VEP die Gemeinde bei der Bestimmung der Zulässigkeit der Vorhaben nicht an die Festsetzungsmöglichkeiten des § 9 BauGB und der Vorschriften der BauNVO gebunden ist.

Damit steht es den Kommunen im uns interessierenden Zusammenhang frei, etwa bei der Neuausweisung eines Wohngebietes auf der Grundlage eines vorhabenbezogenen Bebauungsplanes im Zusammenspiel mit dem Vorhabenträger auch bauplanungsrechtlich eine Verpflichtung zu begründen, nur solche Gebäude zu errichten, die einen festzulegenden Standard hinsichtlich des Radonschutzes einhalten.

Die praktische Bedeutung dieser Möglichkeit sollte allerdings nicht überschätzt werden, da angesichts der hinlänglich bekannten Eckdaten der heutigen demographischen Entwicklung die Neuausweisung größerer Wohngebiete in unseren Städten und Gemeinden eher selten in Betracht kommen wird und es sich um kein Instrument handelt, das nachträgliche bautechnische Anforderungen an Bestandsgebäude erlauben würde.

## 2.6 Innenbereichssatzungen

Als weiteres städtebauliches Planungsinstrument eröffnet der Gesetzgeber den Kommunen die Möglichkeit, bestimmte bauplanungsrechtliche Zulässigkeitsvoraussetzungen für Bauvorhaben im Wege von Satzungen nach § 34 Abs. 4 BauGB, die als Innenbereichssatzungen bezeichnet werden, zu regeln. Die Vorschrift unterscheidet drei Fallkonstellationen. So kann die Gemeinde die Grenzen der im Zusammenhang bebauten Ortsteile festlegen (Nr. 1, „Klarstellungssatzung“), bebaute Bereiche im Außenbereich als im Zusammenhang bebaute Ortsteile festlegen, wenn die Flächen im Flächennutzungsplan als Baufläche dargestellt sind (Nr. 2, „Entwicklungssatzung“) und schließlich einzelne Außenbereichsflächen in die im Zusammenhang bebauten Ortsteile einbeziehen, wenn die einbezogenen Flächen durch die bauliche Nutzung des angrenzenden Bereichs entsprechend geprägt sind (Nr. 3, „Ergänzungssatzung“ oder „Einbeziehungssatzung“).

Die Bestimmungen solcher Satzungen regeln die bauplanungsrechtlichen Zulässigkeitsvoraussetzungen von Bauvorhaben in ihrem Geltungsbereich nicht umfassend (wie der qualifizierte Bebauungsplan), sondern klären lediglich in normativer Weise die für die Zulassung einzelner Bauvorhaben entscheidende Frage, ob das Baugrundstück als dem Innenbereich im Sinne des § 34 BauGB oder dem Außenbereich gemäß § 35 BauGB zugehörend zu behandeln ist.

Diese unter Radonschutzgesichtspunkten zunächst irrelevante bauplanungsrechtliche Gebietseinordnung wird zwar gemäß § 34 Abs. 5 Satz 2 BauGB dahingehend erweitert, dass in einer Entwicklungssatzung und in einer Ergänzungssatzung zusätzlich einzelne Festsetzungen aus dem für Bebauungspläne geltenden Festsetzungskatalog des § 9 BauGB getroffen werden können.

Da, wie bereits festgestellt, der Katalog des § 9 BauGB jedoch keine Möglichkeit enthält, Anforderungen an eine radongeschützte Bauweise verbindlich festzusetzen, kann dieses auch nicht im Rahmen einer Innenbereichssatzung geschehen.

Unbenommen bleibt es der planenden Gemeinde wiederum, in einer solchen städtebaulichen Satzung in geeigneter Weise auf bestehende Radonbelastungen der Bauflächen warnend hinzuweisen.

## 2.7 Die Außenbereichssatzung

Zum besseren Verständnis dieses Satzungsinstrumentes ist vorzuschicken, dass Wohnbauvorhaben, sofern sie nicht einem landwirtschaftlichen Betrieb dienen und an dessen Privilegierung teilhaben, im Außenbereich regelmäßig unzulässig sind, weil sie in § 35 Abs. 3 BauGB genannte öffentliche Belange beeinträchtigen. Hier erlaubt es § 35 Abs. 6 BauGB einer Gemeinde, für bebaute Bereiche im Außenbereich, die nicht überwiegend landwirtschaftlich geprägt sind und in denen eine Wohnbebauung von einigem Gewicht vorhanden ist, eine sog. Außenbereichssatzung aufzustellen. In ihr wird bestimmt, dass Wohnzwecken dienenden Vorhaben (anwendbar auch für kleinere Handwerks- und Gewerbebetriebe) die Beeinträchtigung bestimmter in § 35 Abs. 3 BauGB genannter öffentlicher Belange nicht entgegengehalten darf.

Ähnlich wie bei der Innenbereichssatzung wird auch dieser keine Bezugspunkte zur Radonproblematik aufweisende Regelungsgegenstand dahingehend erweitert, dass in der Satzung „nähere Bestimmungen über die Zulässigkeit getroffen“ werden können (§ 35 Abs. 6 Satz 3 BauGB), hier allerdings ohne explizite Beschränkung dieser „näheren Bestimmungen“ auf den für den Bebauungsplan geltenden Festsetzungskatalog.

Auch ohne diese Beschränkung werden hierdurch aber nur solche näheren Zulässigkeitsbestimmungen legitimiert, die dem spezifischen Zweck der Außenbereichssatzung entsprechen, für die genannten begünstigten Vorhaben das im Grundsatz bestehende Verbot, den Außenbereich baulich zu nutzen, partiell zu durchbrechen unter größtmöglicher Wahrung der Belange des Außenbereichs im Übrigen. Die ergänzenden Regelungen können sich daher nur auf Fragen beziehen, die mit der „Begünstigung“, die die Außenbereichssatzung in Bezug auf Wohnzwecken dienenden Vorhaben sowie gegebenenfalls auf Handwerks- und Gewerbebetriebe zur Folge hat, zusammenhängen, insbesondere auch, um unter dem Aspekt der geordneten städtebaulichen Entwicklung nähere Bestimmungen gerade im Hinblick auf die durch die begünstigte Ansiedlung der Vorhaben im Außenbereich ausgelösten Fragen zu treffen [8].

Hierbei wird es sich im Wesentlichen um Regelungen zur Art und vor allem zum im Außenbereich zulässigen Umfang der begünstigten Nutzungen handeln. Fragen des radongeschützten Bauens stellen sich jedoch vollkommen unabhängig von der planungsrechtlichen Situierung des Baugrundstücks und weisen keinerlei Bezug zu einer Verwirklichung des Bauvorhabens gerade im Außenbereich auf

Entsprechende bindende Vorgaben dürften daher auch in einer Außenbereichssatzung unzulässig sein, so dass wiederum nur die Aufnahme von Empfehlungen und Warnhinweisen verbleibt.

## 3. Resümee und Ausblick

Wie gezeigt, ist das derzeit geltende Bauplanungsrecht kaum in der Lage, einen relevanten Beitrag zur Verwirklichung radongeschützten Bauens zu liefern. Von Besonderheiten beim vorhabenbezogenen Bebauungsplan, der von einer spezifischen Kooperation zwischen Baurecht setzender Gemeinde und investierendem Vorhabenträger lebt, abgesehen, enthält und ermöglicht das Bauplanungsrecht regelmäßig keine bindenden Verpflichtungen für die am Bau Beteiligten, in Abhängigkeit von einer am Baustandort vorgefundenen Radonkonzentration dezidierte bauliche Schutzmaßnahmen zu ergreifen.

Der für das Bauplanungsrecht zuständigen Legislative des Bundes wäre es möglich, den derzeitigen Anwendungsbereich des § 9 Abs. 1 Nr. 24 BauGB im Wege der Gesetzesänderung zu erweitern und



das Spektrum zulässiger Festsetzungen in einem Bebauungsplan auch auf das Treffen von baulich-technischen Vorkehrungen gegenüber bisher nicht erfassten Einwirkungen von natürlichen Schadstoffen wie dem Radon zu erstrecken. Eine konkrete Gesetzesinitiative hierzu ist momentan nicht erkennbar.

Eine solche Maßnahme allein verspricht auch kaum Effizienz. Die Festsetzung in einem Bebauungsplan, dass in einem bestimmten Gebiet bauliche Vorkehrungen gegen Radoneinwirkungen zu treffen sind, verleiht einer solchen Anordnung noch keinen für Bauherren, Architekten und Genehmigungsbehörden vollziehbaren Inhalt. Hierzu bedarf es der Untersetzung mit weiteren Regelungen insbesondere zu maximal zulässigen Radonkonzentrationen in der Raumluft, gegebenenfalls differenziert nach Räumen, in denen sich Menschen ständig, unregelmäßig oder kaum aufhalten. Die Transformation eines solchen zunächst technischen Regelwerks in vollziehbares Baurecht fällt in die Zuständigkeit des Landesgesetzgebers, der eine entsprechende bautechnische Richtlinie als Technische Baubestimmung förmlich einführen müsste.

Dies wiederum setzt voraus, dass zunächst auf wissenschaftlich-technischer Seite ein Konsens oder zumindest eine deutlich mehrheitliche Auffassung namentlich darüber erzielt wird, welche maximal zulässigen Radonkonzentrationen nach dem Stand der wissenschaftlichen Erkenntnis mit Blick auf einen sachgerechten Gesundheitsschutz toleriert werden können.

Angesichts der erheblichen Bandbreite der derzeit bekannten wissenschaftlichen Erkenntnisse und Empfehlungen haben sich Gesetzgebung und insbesondere die für die Einführung Technischer Baubestimmungen zuständigen Verwaltungsbehörden mit der Schaffung verbindlicher, bei der Bauausführung zwingend zu beachtender Vorgaben zum Radonschutz bisher schwergetan. Dies umso mehr, als eine umfassende Problembewältigung ein deutlich differenzierendes Regelwerk erfordert.

So stellt sich einmal die Frage radonschützender baulicher Vorkehrungen nicht nur im Rahmen der Neuausweisung von Baugebieten auf der Grundlage kommunaler Bauleitplanungen, sondern auch für die Zulassung einzelner Bauvorhaben insbesondere nach § 34 BauGB und nicht zuletzt auch für Bestandsgebäude. Weiterhin liegt es nahe, im Rahmen von Bebauungsplänen, die der nachhaltigen Sicherung einer geordneten städtebaulichen Entwicklung dienen und die sich insoweit nicht allein am unter Gefahrenabwehrgesichtspunkten Unabdingbaren zu orientieren haben, sondern auch das städtebaulich Wünschenswerte aufgreifen dürfen, höhere Anforderungen zuzulassen als bei bereits vorhandenen Gebäuden, deren Bestandsschutz jedwede neue rechtliche Regelung zu beachten verpflichtet ist.

Vor dem Hintergrund der dargestellten Schwierigkeiten dürften die Aussichten auf eine umfassende und zeitnahe rechtliche „Durchnormierung“ des Problemfeldes Radon eher skeptisch zu beurteilen sein. Dazu muss aber auch die Frage erlaubt sein, ob gerade in Zeiten vielfachen Klagens über eine eingetretene Überbürokratisierung und eine unüberschaubar gewordene Gesetzesflut eine weitere Verrechtlichung unseres heutigen Themenfeldes wirklich geboten ist. Oder genügen nicht vielmehr eingehende und fundierte Aufklärungsmaßnahmen über Risiken und Gefahren der Radonexposition sowie den hierzu möglichen baulichen Abwehr- und Minimierungsmaßnahmen, auf deren Grundlage Bauherren wie Planer und Architekten letztlich eigenverantwortlich darüber befinden können, für welchen Grad an Radonschutz sie sich entscheiden ?

#### 4. Literaturverzeichnis

- [1] vgl. Schrödter, Baugesetzbuch, Kommentar, 6. Aufl., § 34 Rdnr. 48 m.w.N.
- [2] exemplarisch für die Vorgaben der Verkehrslärmschutzverordnung –16. BImSchV– BVerwG, Urt. v. 12.12.1990 –4 C 40.87–, NVwZ 1991, 879 (880)
- [3] BGH, Urt. v. 01.10.1981 – III ZR 109/80 –, BauR 1982, 354
- [4] Söfker, in Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, Kommentar, § 5 Rdnr. 7
- [5] Löhr, in Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, Kommentar, 10. Aufl., § 5 Rdnr. 38
- [6] Löhr, in Battis/Krautzberger/Löhr, BauGB, Kommentar, 10. Aufl., § 9 Rdnr. 5 m.w.N. zur Rechtsprechung
- [7] Dietlein, in Landmann/Rohmer, Umweltrecht, Kommentar, Bd. 1, BImSchG, § 2 Rdnr. 30
- [8] Söfker, in Ernst/Zinkahn/Bielenberg, BauGB, Kommentar, § 35 Rdnr. 173

# BAULICHE GRUNDLAGEN DES RADONSICHEREN BAUENS UND SANIERENS

## Constructional foundation of radon-safe construction and renovation

Walter-Reinhold Uhlig

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH), FB Bauingenieurwesen/Architektur

### Zusammenfassung

*Die Quellen der Radonbelastung in Gebäuden sind nahezu ausschließlich in der Radonkonzentration der Bodenluft sowie der Exhalation aus den Baustoffen zu sehen. Die Eintrittswege des Radons aus der Bodenluft sowie deren Verteilung im Gebäude sind zum allergrößten Teil Undichtheiten in der Gebäudehülle sowie funktionell erforderliche Öffnungen zwischen Räumen und Raumbereichen. Dagegen können diffusive Transportwege durch die Baukonstruktionen vernachlässigt werden. Zunehmende Bedeutung kommt dem Luftaustausch der Raumluft zu, hat doch die Luftwechselrate direkten Einfluss auf die Schadstoffbelastung der Raumluft und somit auch auf die Radonkonzentration.*

*Bauliche Lösungen müssen sich deshalb auf die dauerhafte Vermeidung konvektiver Luftströmungen aus dem Erdreich bzw. innerhalb des Gebäudes, auf die Optimierung lüftungstechnischer Lösungen sowie den Luftwechsel zwischen Innen- und Außenluft konzentrieren. Im Vortrag werden hierfür Lösungen für den Neubau sowie die Gebäudesanierung vorgestellt.*

### Summary

*Sources of radon load in buildings are almost exclusively caused by the radon concentration of soil gas and the exhalation of building materials. Entering of soil gas and its distribution in the building happens mostly through leakages in the building hull and through functionally required vents between rooms, while diffusive route of transports through the building construction itself can be neglected. The air exchange of compartment air gains increasing importance since the air exchange rate has a direct influence on the radon load in the compartment air and therefore also on radon concentration.*

*Constructional solutions thus have to concentrate on lasting avoidance of convective air flow from soil and inside the building, respectively, on optimisation of ventilation technology and on air exchange between internal and external air. The presentation will show solutions for new and renovated buildings.*

## 1 Planungsgrundlagen des radonsicheren Bauens in Deutschland

Mit dem Radonhandbuch Deutschland, herausgegeben vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit [1] liegt ein Planungsinstrument vor, welches u.a. einiges über die Quellen des Radons aussagt, besonders gefährdete Gebiete benennt und prinzipielle Lösungen radonsicheren Bauens vorstellt. Für den praktisch planenden Architekten und Bauingenieur stellen die dort aufgenommenen skizzenhaften Darstellungen allerdings keine große Hilfe dar, ist doch zum großen Teil der Erfolg hinsichtlich einer radonsicheren Bauweise durch die Beherrschung des baulichen Details und durch die Frage des Raumluftwechsels bestimmt. Zudem – der Veröffentlichungszeitpunkt des Radon-Handbuches liegt inzwischen sechs Jahre zurück – sind seitdem viele neue Erkenntnisse gewonnen worden, hat sich der Gedanke des energiesparenden Bauens und damit ein Aspekt, welcher auf die Radonbelastung in Gebäuden großen Einfluss ausübt, deutlich weiterentwickelt. Das Radon-Handbuch in der aktuell vorliegenden Fassung leistet also nicht das, was wünschenswert wäre: ein Kompendium für den planenden und bauausführenden Architekten und Bauingenieur zu sein.

Nun war durch die Autoren des Radonhandbuches auch sicher gar nicht angestrebt, einen solches Kompendium vorzulegen, meine Einschätzung zielt vielmehr dahin, dass eine solche Veröffentlichung, in welcher Form auch immer, wünschenswert wäre!

Eine weitere Frage stellt sich mit dem Vorliegen gesetzlicher Vorgaben oder aber Empfehlungen, welche Grenzwerte der Radonbelastung in Gebäuden einzuhalten sind. Wie im Beitrag von Leder [2] zusammengestellt, sind für Deutschland – wie auch für den Großteil der europäischen Länder – bisher lediglich Empfehlungswerte, keine gesetzlich verankerten Grenzwerte maßgebend. Die Frage, inwieweit dies ausreichend ist, wird in meinen Beitrag nur am Rande einfließen, da dies in der heutigen Tagung bereits in den Beiträgen von Landfermann, Leder und Wachnow aus unterschiedlicher Perspektive thematisiert worden ist.

## 2 Überblick über die Teilaspekte des radonsicheren Bauens

Wer sich mit dem radonsicheren Bauen beschäftigt, muss eine ganze Reihe von Aspekten berücksichtigen, die im Folgenden summarisch zusammengestellt sind:

- Ermittlung der Radonbelastung im Baufeld eines Gebäudes bzw. – bei bestehenden Gebäuden – in den genutzten oder für die Nutzung vorgesehenen Räumen;
- Definition von Zielwerten der Radonbelastung in den Räumen
- Planung und Realisierung der baulichen Radonschutzmaßnahmen sowie der Luftführung und des Luftwechsels
- Erfolgskontrolle über einen längeren Zeitraum hinweg.

Diese hier aufgeführten fünf Schwerpunkte umfassen ein weites Feld, welches über die klassische Planungstätigkeit weit hinausgeht. Sie erfordern zwingend eine Zusammenarbeit von Fachleuten aus unterschiedlichen Fachrichtungen!

Im Rahmen meines Vortrages werden die ersten beiden genannten Punkte weitestgehend ausgeklammert bleiben. Die Möglichkeiten der Radonmessung sind u.a. im Beitrag von Guhr während der „ersten Tagung radonsicheres Bauen“ [3] beschrieben worden.

## 3 Radonbelastung in der Bodenluft und in Gebäuden

Die Radonkonzentration in den bodennahen Schichten des Erdreiches ist maßgeblich dafür verantwortlich, welche baulichen und anlagentechnischen Maßnahmen zur Einhaltung der Zielwerte vorzusehen sind.

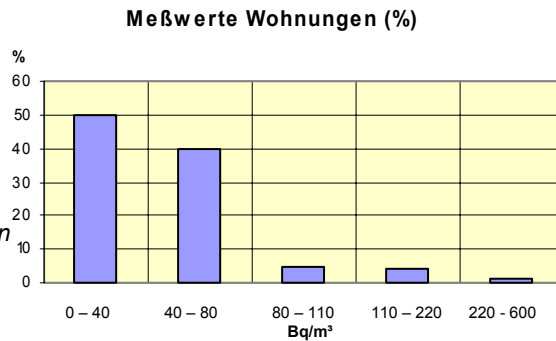
Die Radonkonzentration in den bodennahen Schichten ist starken Schwankungen ausgesetzt. Für Deutschland kann von der folgenden ungefähren Verteilung ausgegangen werden:

- Auf ca. 76 % der Fläche liegen die Bodenradonkonzentrationen unter 50 kBq/m<sup>3</sup>
- Auf ca. 16 % der Fläche liegen die Bodenradonkonzentrationen zwischen 50 und 100 kBq/m<sup>3</sup>
- Auf ca. 7 % der Fläche liegen die Bodenradonkonzentrationen zwischen 100 und 200 kBq/m<sup>3</sup>
- Auf ca. 1 % der Fläche liegen die Bodenradonkonzentrationen über 200 kBq/m<sup>3</sup>

Diese Aufstellung zeigt, dass in weiten Teilen Deutschlands nur geringe Radonbelastungen zu erwarten sind. Welche Gebiete Deutschlands besonders belastet sind, kann in einer ersten Näherung aus verschiedenen Radonkarten entnommen werden, Aufschluss über die an der Baustelle tatsächlich anzutreffende Radonbelastung kann aber nur über örtliche Messungen erreicht werden.

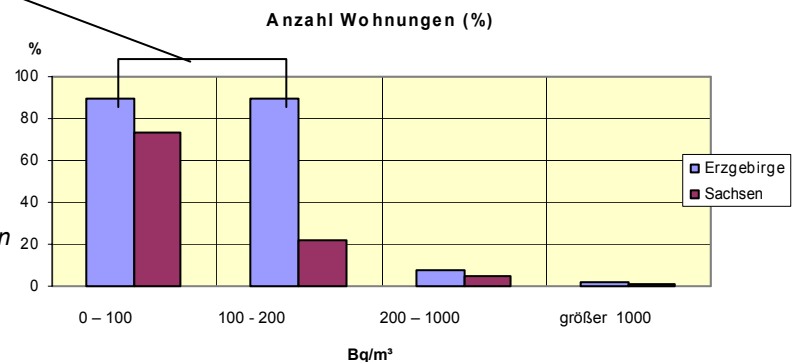
Eine vergleichsweise verteilte Radonbelastung ist in der Raumluft bestehende Gebäude zu beobachten. Die folgenden Zusammenstellungen zeigen typische Verteilungen der Radonbelastung in Gebäuden, wobei in Gebieten mit hohen Bodenradonwerten (Erzgebirge) auch deutlich höhere Belastungen in den Gebäuden zu beobachten sind (s. Vgl. Bild 1 und Bild 2).

**Bild 1:**  
Verteilung der Radonbelastung in Wohnungen (alter Bundesländer), nach [4]

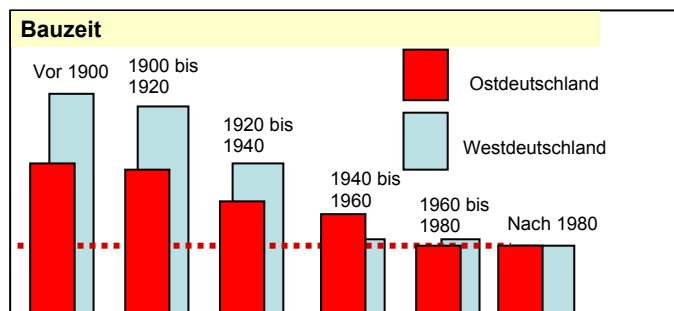


Summenwert für beide Gruppen

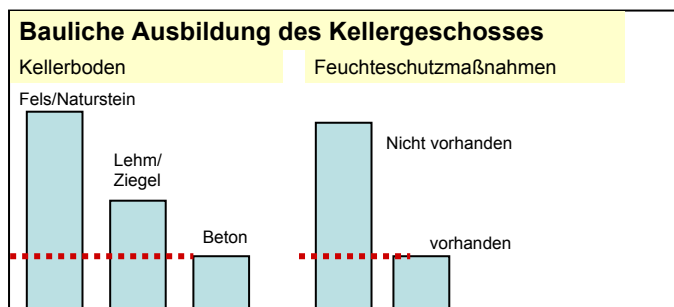
**Bild 2:**  
Verteilung der Radonbelastung in Wohnungen In Sachsen und dem Erzgebirge (nach [5])



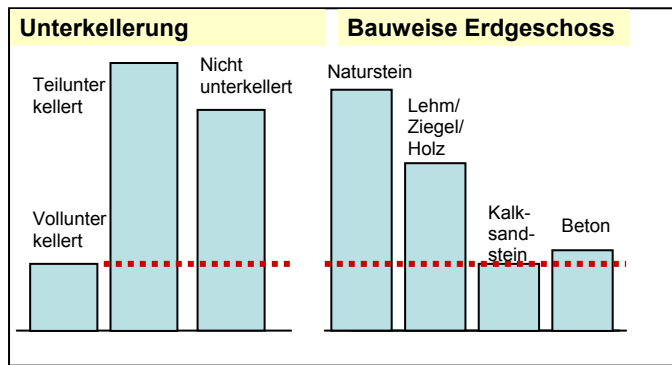
Von wesentlicher Bedeutung für die Radonbelastung in Gebäuden ist deren Bauart sowie – damit eng zusammenhängend – das Alter der Gebäude.



**Bild 3:**  
Zusammenhang zwischen Bauzeit eines Gebäudes und der Radonbelastung



**Bild 4:**  
Zusammenhang zwischen baulicher Ausbildung des Kellergeschosses und der Radonbelastung



**Bild 5:**  
Zusammenhang zwischen Radonbelastung und baulicher Lösung der Gebäude

Vor allen Dingen in Gebäuden, die vor Einführung der Abdichtungsvorschriften für Kellergeschosse mit einem System aus vertikal und horizontal abdichtenden Schichten errichtet worden sind, können bei weitem nicht die Anforderungen an ein radonsicheres Bauen erfüllt werden. Ebenso sind in Gebäuden mit Teilunterkellierungen oder ohne Kellergeschoss erhöhte Radonbelastungen zu erwarten.



**Bild 6:**  
Typischer Keller eines um 1930 errichteten Einfamilienhauses

## 4 Quellen der Radonbelastung in Gebäuden

Im Beitrag von Schulz [6] wird klar herausgearbeitet, dass die wesentlichsten Quellen der Radonbelastung in der Raumluft konvektive Ströme aus der Bodenluft sind. Erst bei sehr dicht ausgeführter Gebäudehülle wird die Exhalation aus den Baustoffen ein weiterer maßgeblicher Faktor für die Radonbelastung der Räume.

Konvektive Luftströme aus der Bodenluft entstehen dann, wenn Leckagen, also Undichtheiten vorhanden sind und durch Druckunterschiede zwischen Baugrund und Innenraum ein Strömungsgefälle von außen nach innen vorliegt. Der in Bild 6 abgebildete Keller dürfte Leckageflächen von mehreren dm<sup>2</sup> haben, wäre also – so eine hohe Bodenradonkonzentration vorliegen würde – prädestiniert für eine hohe Radonbelastung in der Raumluft! Aber auch in neu errichteten Gebäuden können Leckagen entstehen, z.B. an Rohrdurchführungen, Abwassereinläufen oder an schlecht ausgeführten Abdichtungsanschlüssen. C. Funke hat in ihrer Diplomarbeit [7] mit umfangreichen Simulationsrechnungen nachgewiesen, dass diffusive Ströme durch die Bauteile eine absolut untergeordnete Rolle spielen.

Druckunterschiede zwischen Erdreich und Gebäudinnerem entstehen dann, wenn Temperaturunterschiede zwischen Innen und Außen vorhanden sind. Diese schwanken naturgemäß jahreszeitlich, sind im Winterhalbjahr besonders groß, weswegen in dieser Zeit höhere Radonbelastungen in den an das Erdreich angrenzenden Räumen zu erwarten sind. Insbesondere dann, wenn die an das Erdreich angrenzenden Räume beheizt sind, also bei Gebäuden ohne Unterkellerung oder in beheizten Kellerräumen, sind diese Druckunterschiede ganzjährig vorhanden. (siehe hierzu [6], Abschnitt 1.4).

Für die Radonfreisetzung aus Baustoffen liegt eine große Anzahl von Untersuchungswerten vor. Im Beitrag von Schulz [6] sind die Zusammenhänge sowie typische Werte der Radonexhalationsrate  $J$  dargestellt.

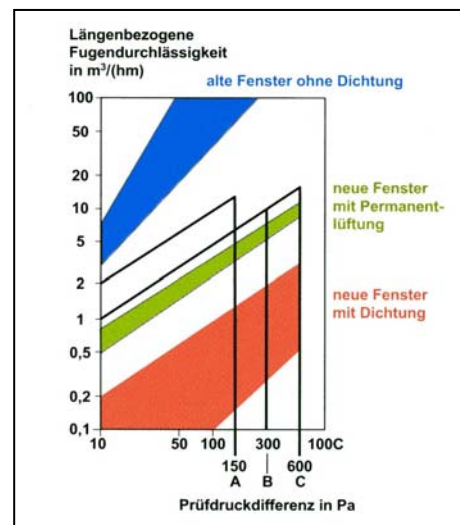
## 5 Luftwechsel in Gebäuden

Um ein akzeptables Raumklima zu gewährleisten, muss die Raumluft ständig ausgewechselt werden. Dies kann in unterschiedlicher Form erfolgen:

- Permanenter Luftaustausch durch Undichtheiten in der Gebäudehülle, z.B. im Fensterbereich
- Individuelle Lüftung durch Ankippen der Fenster, Stoßlüften, Öffnen von Türen usw.
- Mechanische Lüftung durch Einsatz von Raumklimaanlagen.

Bis weit in das 20. Jahrhundert hinein war der Luftwechsel durch Undichtheiten in den Fenstern so groß, dass dieser weitestgehend ausreichte, um eine gute Raumluftqualität zu gewährleisten. Mit der ersten Ölkrise im Jahre 1973 änderte sich das Bauen radikal: Die Dichtheit der Gebäudehülle stand seitdem – neben der Verbesserung der Wärmedämmung – im Zentrum der baulichen Anstrengungen, der vermeintliche Schwachpunkt, das Fenster, wurde grundsätzlich verändert: Die Einfachverglasung wurde durch doppelt angeordnete Scheiben ersetzt, die Fuge zwischen Fensterrahmen und Öffnungsflügel erhielt eine oder zwei Lippendichtungen, auch dem Anschluss zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk wurde hinsichtlich der Dichtheit verstärkte Aufmerksamkeit gewidmet. Bild 7 verdeutlicht die Veränderungen.

Die Reduzierung der Lüftungswärmeverluste und damit die Realisierung von Energieeinsparungen in Größenordnungen wurden erreicht, allerdings mussten negative Effekte dahingehend in Kauf genommen werden, dass sich die Luftqualität verschlechterte und die relative Raumluftfeuchte anstieg. Feuchteschäden und Schimmelpilzbefall waren und sind die sichtbaren Ergebnisse. Eine, allerdings fragwürdige, Lösung des Problems stellt die aus Bild 7 erkennbare Verringerung der Dichtheit der Fenster durch z.B. Unterbrechung der Lippendichtung dar (Fenster mit Permanentlüftung). Um diesen Widerspruch zu lösen, wurden umfangreiche Untersuchungen durchgeführt, die u.a. in der Festlegung von Mindestluftwechselraten in der EnEV [8] mündeten und zuletzt in einer Veröffentlichung des Fraunhofer IRB-Verlages [9] zusammengefasst worden sind.



**Bild 7:**  
Fugendurchlässigkeit von alten und neuen Fenstern (aus [9])

Konsens besteht weitestgehend darin, dass Mindestluftwechselraten in Abhängigkeit vom allgemeinen Dämmniveau sowie der Raumnutzung einzuhalten sind. Im Beitrag von Schulz [6] sind diese Werte in Tabelle 2 zusammengefasst. Danach liegen die Mindestluftwechselraten, die erreicht werden müssen, um Schimmelpilzbefall sicher zu vermeiden, zwischen  $0,15$  und  $0,45 \text{ h}^{-1}$  in Neubauten sowie zwischen  $0,20$  und  $0,70 \text{ h}^{-1}$  im Altbau. Die in der Baupraxis anzutreffenden Werte liegen zwischen  $4$  bis  $12 \text{ h}^{-1}$  in unsanierten Altbauten und  $0,1$  bis  $0,6 \text{ h}^{-1}$  in Passivhäusern. Zu Berücksichtigen ist, dass die hier genannten Werte nicht mit den Ergebnissen des Blower-door-Testes vergleichbar sind, da dieser Wert unter Erzeugung eines Über- bzw. Unterdruckes ermittelt werden.

Dass eine verminderte Luftwechselrate auch zur Erhöhung der Radonkonzentration führt, haben nicht zuletzt Guhr, Leißring, Conrady und Nagel mit ihrem Expertensystem SOARIS [10], [11] nachgewiesen. Vorgestellt wurde dieses u.a. auf der ersten Tagung radonsicheres Bauen [12]. Danach können sich

die Radonkonzentrationen nach energetischen Sanierungsmaßnahmen um den Faktor 2 bis 8 erhöhen!

Bild 8 zeigt dasselbe Haus, wie in Bild 6, allerdings einen Ausschnitt aus dem Erdgeschoss mit neuem (dichten) Fenster – ein typisches Beispiel für die heutige Sanierungspraxis – oben dicht, im Keller durchlässig!

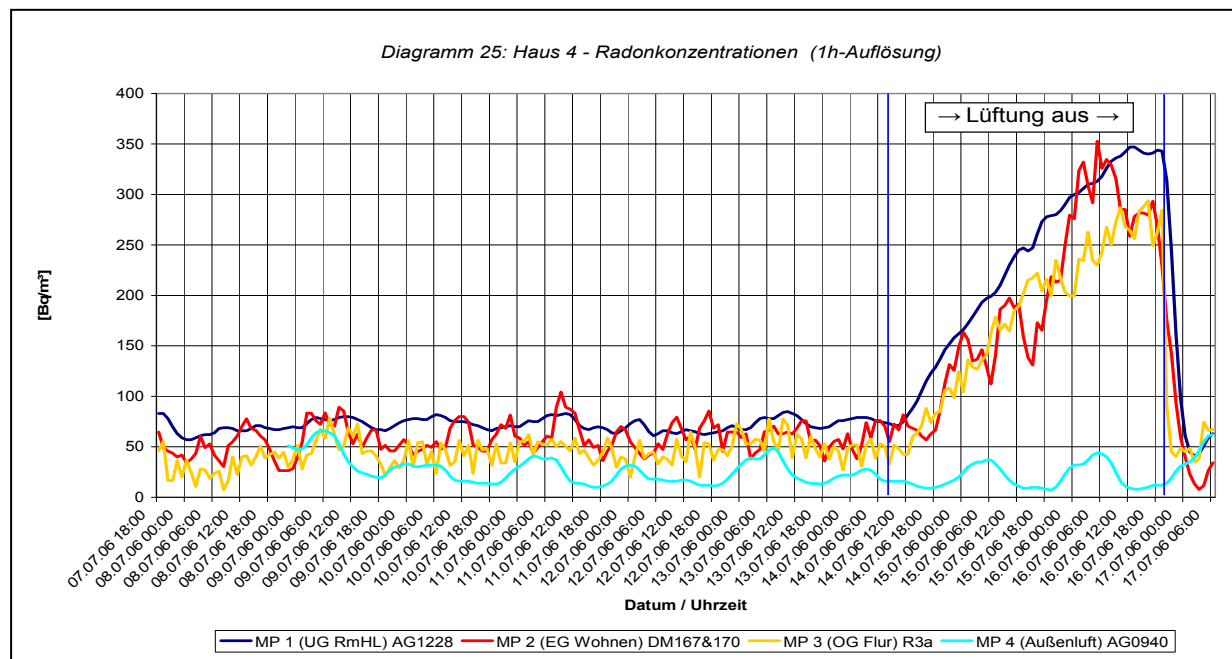


**Bild 8**  
Einbau dichter Fenster im Altbau

Um einen ausreichenden Luftwechsel zu gewährleisten, müssen für Gebäude mit modernen (dichten) Fenstern die Fensterlüftung oder aber der Einbau einer Lüftungsanlage betrachtet werden.

Die individuelle Fensterlüftung ist hinsichtlich der Schadstoffreduzierung unsicher, da von der Einsicht des Nutzers in nicht unerheblichem Maße abhängig. Dem nicht fachlich beschlagenen wird ständig vermittelt, die Energieeffizienz des Gebäudes zu verbessern. Das aber ein Mindestluftwechsel erforderlich ist, um die Schadstoffkonzentration in der Raumluft zu begrenzen, ist zumeist nicht Bestandteil der Empfehlungen!

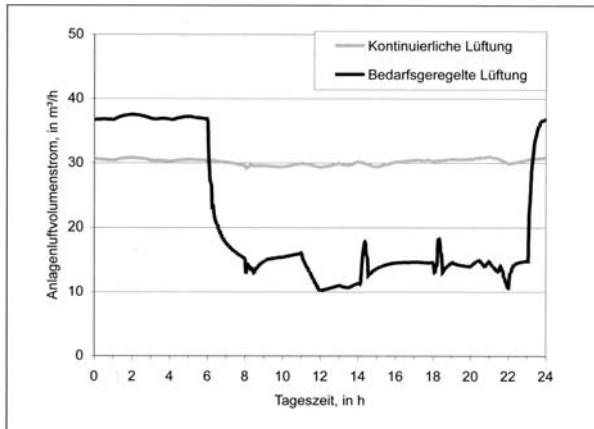
Verbleibt der Einsatz von technischen Anlagen zur Gewährleistung des erforderlichen Luftwechsels, im Passivhaus bekanntlich Standard. Diese Technik in Verbindung mit dem Einsatz einer Wärmerückgewinnungsanlage betrieben, kann sowohl zu einer hohen Energieeffizienz beitragen als auch die Schadstoffbelastung in der Raumluft begrenzen. Dass dies durchaus auch eine niedrige Radonbelastung der Raumluft gewährleisten kann, zeigen Untersuchungen, die im Rahmen der Diplomarbeit von Bergmann [13] durchgeführt worden sind. Voraussetzung für dieses gute Ergebnis ist, dass die Lüftungsanlage mit einem geringen Überdruck betrieben wird. Ausführlich wurden die Ergebnisse der Untersuchungen zur Radonbelastung in Passivhäusern in der zweiten Tagung radonsicheres Bauen vorgestellt [14]. Ein Ausschnitt aus den Untersuchungen zeigt, dass die mittlere Radonkonzentration im Regelbetrieb im Bereich von 50 Bq/m<sup>3</sup> liegt, erst bei fehlender Zwangslüftung sich erhöhte Werte einstellen.



**Bild 9:**  
Radonbelastung in einem Passivhaus bei Regelbetrieb (Lüftungsanlage in Betrieb) und abgeschalteter Lüftungsanlage [13]

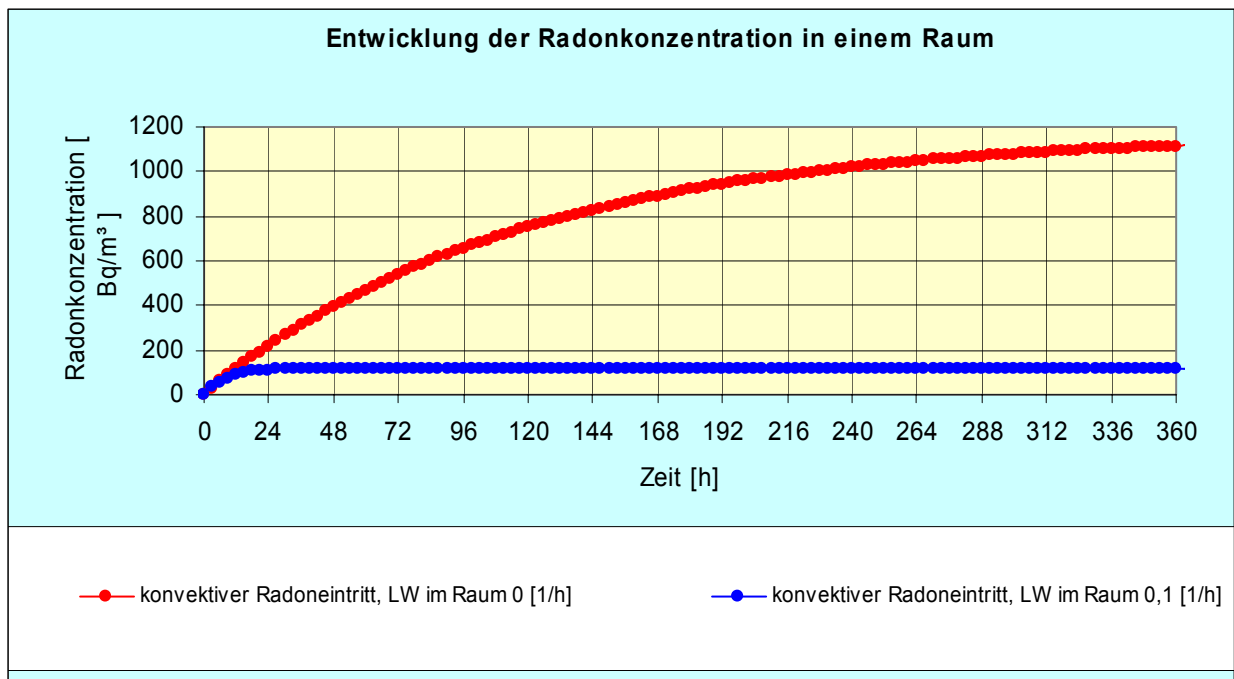


Räume werden diskontinuierlich genutzt, immer wieder gibt es Phasen, in denen sich in ihnen keine Personen aufhalten. In diesen Zeiträumen können die Anforderungen an die Raumluftqualität deutlich reduziert werden. H. Schulz zeigt das in seinem Tagungsbeitrag [6] deutlich am Beispiel eines Bürogebäudes. In diesem Sinne muss die bedarfsgerechte Steuerung des Luftwechsels, wie in [9] beschrieben, als sinnvolles Instrument auch zur Steuerung der Radonbelastung unterstützt werden.



**Bild 10:**  
Vergleich von kontinuierlicher und bedarfsgerechter Lüftung eines Schlafraumes (aus [9])

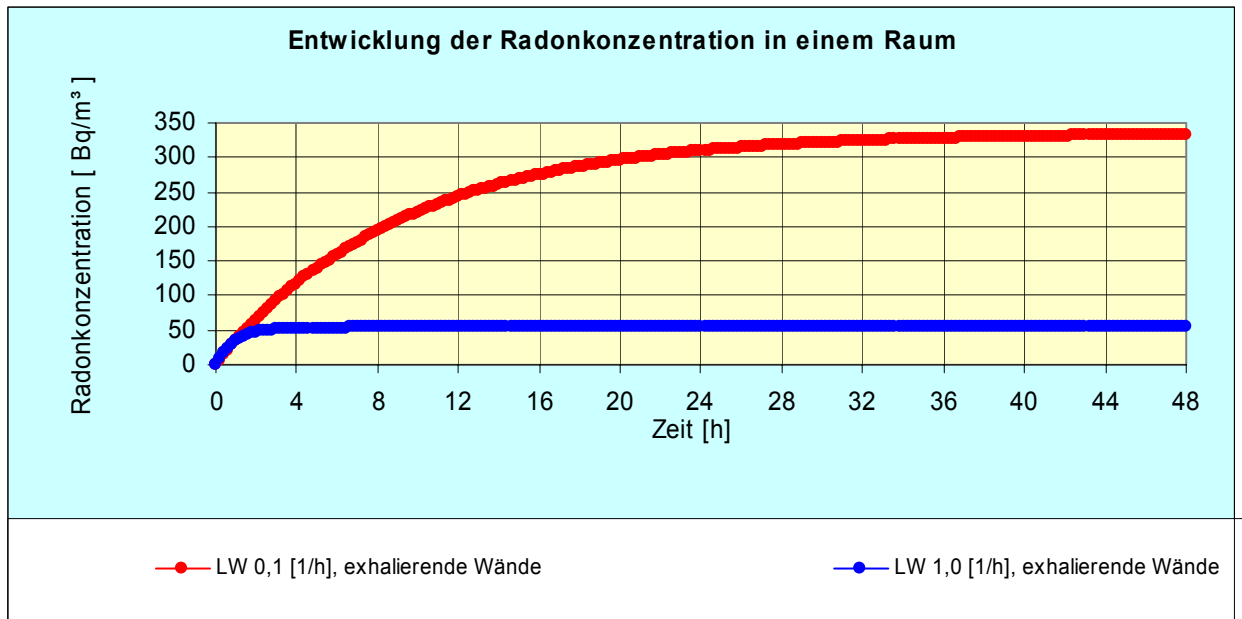
Welchen Einfluss der Luftwechsel auf die Radonkonzentration in Räume hat, soll die folgenden Simulationsdarstellungen für konvektiven Lufteintritt (Bild 10) und Exhalation aus den Baustoffen (Bild 11) für ein Einraummodell zeigen (beide nach [7]):



**Bild 10:**

Entwicklung der Radonkonzentration in Räumen bei konvektivem Eintritt in Abhängigkeit vom Luftwechsel bei folgenden Annahmen:

- Kellerraum, 50 m<sup>3</sup>
- Radonkonzentration in der Bodenluft 10.000 Bq/m<sup>3</sup>
- Volumenstrom von außen nach innen 0,05 m<sup>3</sup>/h, entspricht z.B.:
  - Temperaturdifferenz innen – außen 6 K
  - Leckage ca. 3,15 cm<sup>2</sup>



**Bild 11:**

Entwicklung der Radonkonzentration in einem Raum aus der Exhalation der Wandbaustoffe unter Berücksichtigung unterschiedlicher Luftwechselraten bei folgenden Randbedingungen:

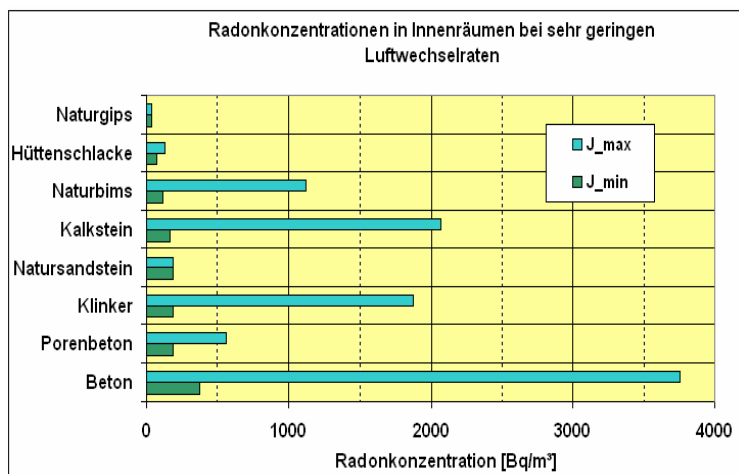
- Exhalationsrate der Raumbegrenzungen (Ziegelwand): 20 Bq/m<sup>2</sup>\*h
- Radonkonzentration der Außenluft 20 Bq/m<sup>3</sup>

Sowohl Bild 10 als auch Bild 11 verdeutlichen eindrucksvoll den Einfluss des Luftwechsels auf die Radonkonzentration in Innenräumen! Der Vergleich der Kurven in den Bildern 10 und 11 illustriert die bekannte Tatsache, dass die Belastung aus der Konvektion deutlich größer ist als durch Exhalation. Zu verweisen ist, dass für die Berechnung in Bild 10 eine vergleichsweise geringe Bodenradonkonzentration von 10.000 Bq/m<sup>3</sup> zugrunde gelegt worden ist. Trotzdem kann sich in dem betrachteten Raum bei fehlendem Luftwechsel eine Radonkonzentration von ca. 1.150 Bq/m<sup>3</sup> einstellen. Liegt bei ansonsten gleichen Randbedingungen eine Bodenradonkonzentration von 100.000 Bq/m<sup>3</sup> vor – also ein für radonbelastete Baugründe durchaus üblicher Wert (s. u.a. [14]) kann die Innenraumkonzentration bei fehlendem Luftwechsel auf nahezu 12.000 Bq/m<sup>3</sup> steigen!

Für die Radonexhalation aus den Baustoffen der raumabschließenden Konstruktionen hat C. Funke in ihren Simulationsrechnungen [7] nachgewiesen, dass diese erst bei sehr geringen Luftwechselraten unter 0,1 h<sup>-1</sup> einen nennenswerten Beitrag zur Radonkonzentration leisten kann, der aber, wie Bild 12 zeigt, bei ungünstiger Baustoffwahl durchaus relevante Größenordnungen annehmen kann. So lässt sich auch der deutliche Radonanstieg im Passivhaus begründen, wie er nach Abstellen der Lüftungsanlage gemessen wurde (s. Bild 9).

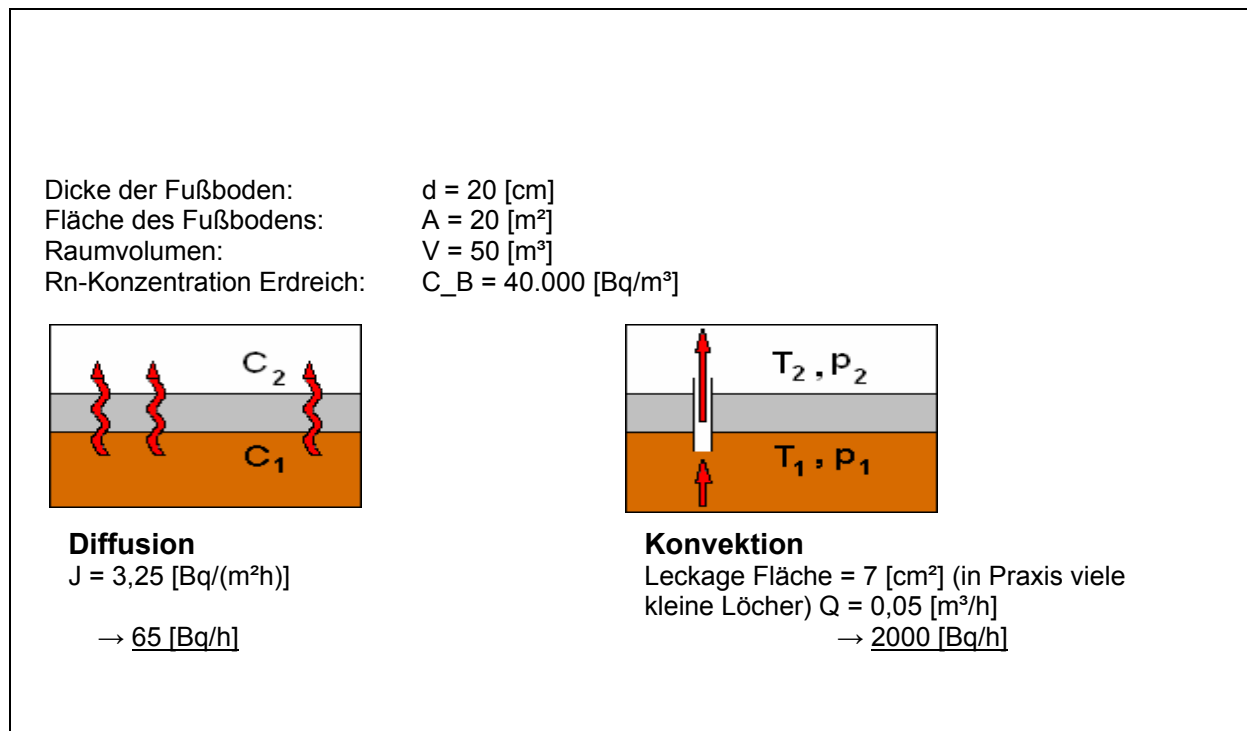
**Bild 11:**

Radonkonzentration in Innenräumen bei sehr geringem Luftwechsel (nach [7])



## 6 Konvektion und Diffusion

C. Funke hat in ihrer Diplomarbeit [7] in einer einfachen Modellrechnung nachgewiesen, dass der diffusive Luftstrom gegenüber einem konvektivem zu Radonkonzentrationen der Raumluft führt, die mindestens um eine Dimension, im berechneten Beispiel um den Faktor 30, niedriger liegt. Die durch Diffusion erreichte Radonkonzentration im Raum kann bei entsprechender, in Abschnitt 5 beschriebener Konstellation, sogar geringer sein, als die sich aus der Exhalation der raumumschließenden Konstruktionen ergebende!



**Bild 12:**

Vergleich der Radonkonzentration aus Konvektion und Diffusion

Das Beispiel zeigt, dass die Diffusion des Bodenradons in die Raumluft vernachlässigt werden kann. Das durch Keller/Hoffmann definierte Dichtheitskriterium (u.a. in [15] dargestellt, nachzulesen z.B. in [16]) hat in nahezu allen Anwendungsfällen keinen Einfluss auf die Radonbelastung der Raumluft und sollte als Planungsinstrument fallen gelassen werden.

Radonsicheres Bauen besteht zusammenfassend aus dem Dreiklang:

- Unterbindung konvektiver Luftströmungen aus dem erdberührten Bereich ins Gebäude
- Realisierung eines definierten Mindestluftwechsels zwischen Raum- und Außenluft
- Lüftungstechnische Maßnahmen zur Veränderung der Druckverhältnisse zwischen Erdreich und Gebäude

## 7 Bauliche und lüftungstechnische Lösungen

Der Überblick über mögliche bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen war Schwerpunktthema der ersten Tagung radonsicheres Bauen im Jahr 2005 und ist dort in [16] veröffentlicht worden.

Im Rahmen dieses Beitrages sollen die möglichen Lösungen lediglich summarisch genannt werden, allerdings ergänzt um die Erkenntnisse zur Fragen der Diffusion und Konvektion einerseits sowie zur Exhalation aus den Baustoffen und ohne Anspruch auf Vollständigkeit.

### **Bauliche Maßnahmen im Neubau:**

- In der Regel sind die abdichtenden Maßnahmen gegen eindringende Feuchte, wie sie nach DIN 18 195 gefordert sind, ausreichend, um eine genügend dichte Gebäudehülle zu erreichen.
- Verstärkte Aufmerksamkeit muss der sicheren Lösung für die unterschiedlichen Wand- und Bodendurchdringungen gewidmet werden. Hier liegen z. T. verwertbare Detaillösungen vor (siehe u. a. im Tagungsbeitrag von Liebscher [17] vorgestellt). Im Rahmen einer Diplomarbeit werden an der HTW Dresden derzeit solche Details entwickelt. Es ist geplant, diese in Datenblättersammlung zusammen zu stellen.
- Einbau von dichten Abschlüssen zwischen Keller und Erdgeschoss.

### **Bauliche Maßnahmen im Rahmen der Gebäudesanierung:**

- Diese sind naturgemäß begrenzt, da sich in den seltensten Fällen eine vollständige Abdichtung der erdberührten Bauteile gegen das Erdreich realisieren lässt. Schwachstellen sind dabei – neben den für Neubaumaßnahmen bereits genannten Durchdringungen - insbesondere die Anschlüsse zwischen Bodenplatte und aufgehenden Wänden und weiteren Anschlussbereichen zwischen bestehender Substanz und erforderlichen Ergänzungen.
- Wie bereits in [16] dargestellt, sind Innenabdichtungen abzulehnen, da diese zu einer stärkeren Durchfeuchtung der Wandkonstruktionen führt, die das Schadensrisiko vergrößert. Zudem muss immer mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass innen liegende Abdichtungen durch den Gebrauch des Gebäudes zumindest punktuell zerstört werden und sich damit Eintrittspfade für Wassere, aber auch radonhaltige Luft ergeben.

### **Schutz vor erhöhter Radonbelastung aus der Exhalation:**

- War dies, wie in Abschnitt 5 gezeigt, bisher im Bauen kein besonders wichtiges Thema, muss im Zuge der weiteren Reduzierung des Luftwechsels verstärkt darauf geachtet werden, dass Baumaterialien eingesetzt werden, die eine geringe Radonexhalationsrate aufweisen (s. [6]). Zurzeit existieren keine verbindlichen Prüfverfahren und keine Prüfpflicht für diesen baustofftypischen Kennwert.
- Der unmittelbare Austausch erfolgt über die Oberfläche der Wandbaustoffe. Insofern sind bauliche Lösungen zu entwickeln, die helfen, diesen Radontransportweg zu unterbinden. Beispielsweise kann der Auftrag eines Gipsputzes gegenüber unverputzten oder mit Kalkputz beschichteten Wänden auf Grund der geringen Exhalationsrate von Gips (siehe [6], Tabelle 1) zu einer deutlichen Verringerung der Radonbelastung der Raumluft beitragen. Eine systematische Erfassung und Zusammenstellung sinnvoller Lösungen steht noch aus.

### **Lüftungstechnische Maßnahmen:**

- Lüftungstechnische Maßnahmen kommen vor allen Dingen in der Altbausanierung zum Einsatz, können aber auch bei hohen Bodenradonwerten für den Neubau eingesetzt werden.
- Im folgenden werden die möglichen Maßnahmen genannt:
  - Intensive Durchlüftung der Kellerräume;
  - Eliminierung des Unterdruckes im Keller, durch
    - Schaffung oberirdischer Nachströmöffnungen,
    - Direkte Zuluffführung zu Öfen und Heizungsanlagen,
    - Einbau dichter Rauchrohrklappen
    - Aufbau eines Unterdruckes im Boden, u.a. durch
      - Entlüftung von Hohlräumen unter der untersten Geschossdecke

- Einbau einer Bodendränage
- Absaugen der Bodenluft über Einzelschächte
- Einsatz von Radonbrunnen.

Für den Erfolg der hier genannten Möglichkeiten zum Aufbau eines Unterdruckes im Erdreich sind die Permeabilität des Bodens sowie der Feuchtegehalt von entscheidender Bedeutung. Des Weiteren ist zu klären, ob die Luftabführung über den natürlichen Auftrieb ausreicht oder aber technisch unterstützt werden muss.






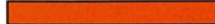

- Aufbau eines Überdruckes im Gebäude
  - Diese Strategie wird vor allen Dingen dann verfolgt, wenn Lüftungsanlagen eingebaut werden, da diese bei entsprechender Konzeption leicht mit einem geringen, aber für die Unterbindung des Radontransportes vom Erdreich ins Gebäude ausreichenden Überdruck betrieben werden können.

## 8 Erfolgskontrolle von Radonschutzmaßnahmen

Über die Frage, wie groß die Wahrscheinlichkeit ist, dass die erwartete Reduzierung der Radonbelastung tatsächlich erreicht wird, existieren nur sehr wenige belastbare Untersuchungen. Leider wird eine Langzeitüberwachung (d.h. über mehrere Jahre) nur in wenigen ausgewählten Objekten vorgenommen. Die in Tabelle 1 nach [1] zusammengestellten Werte stellen nur eine sehr allgemeine Zielrichtung dar. Zudem sagen sie nichts darüber aus, welcher Zeitraum diesen Werten zugrunde gelegt worden ist.

**Tabelle 1:**

*Einschätzung der Erfolgsaussichten von Radonschutzmaßnahmen (Anhaltswerte)*

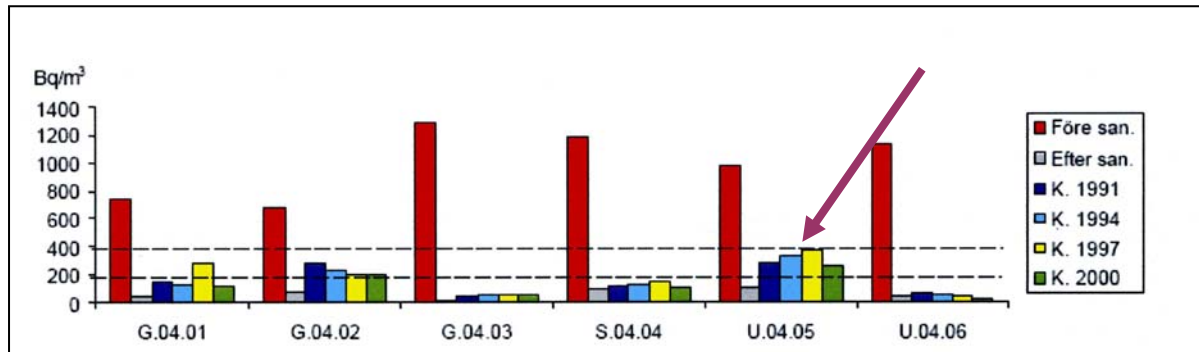
Sanierungsmaßnahme	Erreichbare Reduzierung der Radonkonzentration	Kostenrahmen	Bemerkungen
	0 %  100 %		
<b>Einfache Abdichtungsmaßnahmen</b>	0... 25 % 	<b>gering</b>	<b>bis max. 1000 Bq/m<sup>3</sup> anwendbar</b>
<b>Aufwändige Abdichtungsmaßnahmen im Fußboden</b>	30 ... 80 % 	<b>mittel</b>	
<b>Aufwändige Abdichtungsmaßnahmen im Fußboden und an Wänden</b>	50 ... 90 % 	<b>hoch</b>	
<b>Kellerentlüftung</b>	50...80% 	<b>gering</b>	
<b>Unterdruck unter Gebäude</b>	10...95% 	<b>hoch</b>	<b>Abh. von Bodenpermeabilität und Lage der Dränage</b>
<b>Aufwändige Isolierung und Unterdruck unter Gebäude</b>	bis 99 % 	<b>sehr hoch</b>	

Der umfangreichste Untersuchungsbericht zur Beständigkeit von Sanierungsmaßnahmen wurde 2002 in Schweden veröffentlicht [18]. In diesem über 10 Jahre laufenden Projekt wurden insgesamt 105 Wohnungen untersucht, die mit unterschiedlicher radonabwehrenden Maßnahmen ausgestattet worden sind. Aus dieser Studie werden in den Abbildungen 13 bis 16 einige interessante Ergebnisse

auszugsweise wiedergegeben, die u.a. verdeutlichen, dass eine Kontrolle über einen längeren Zeitraum erforderlich sein kann, um die Wirksamkeit der Radonschutzmaßnahme zu kontrollieren.

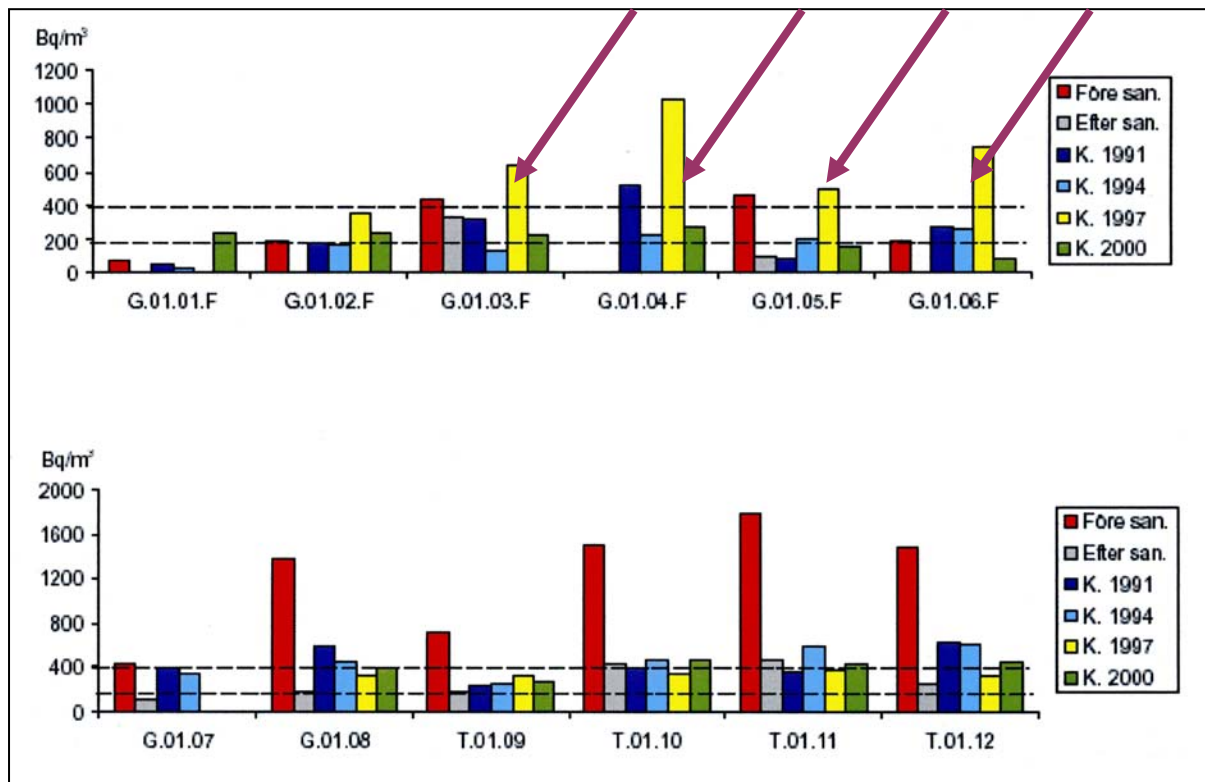
Dabei stellt der rote Balken jeweils den Ausgangswert dar, die Nachkontrollen erfolgten

- unmittelbar nach Fertigstellung des Bauvorhabens (grau),
- 1991 (dunkelblau)
- 1994 (hellblau)
- 1997 (gelb) und
- 2000 (grün)



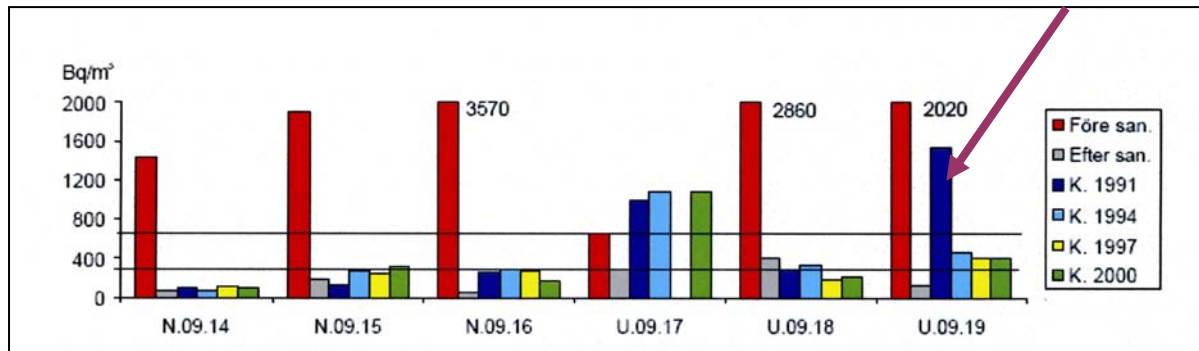
**Bild 13:**  
Abdichtung von Undichtigkeiten in der Bodenplatte

Die Erfolge der Bodenplattenabdichtung sind deutlich, können aber durchaus zu einem nachträglichen Anstieg führen (s. Pfeil). Zu vermuten ist in diesem Falle unsaubere Bauausführung und Entwicklung eines konvektiven Luftstromes (allerdings in geringerem Maße als im Ausgangszustand).



**Bild 14:**  
Umrüstung von natürlicher Belüftung auf ein Abluftsystem

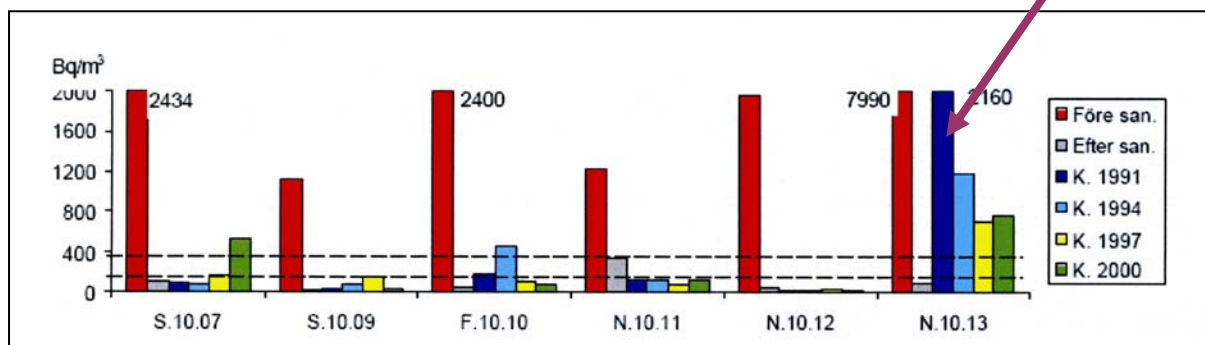
In dieser Gruppe wurde eine große Anzahl von Gebäuden untersucht. Während in der unteren Reihe der in Bild 14 dargestellten Messergebnisse weitestgehend von einem Erfolg gesprochen werden kann, zeigen einige der in der oberen Reihe abgebildeten Versuchsergebnisse zum Teil eine Erhöhung der Radonbelastung gegenüber dem Ursprungszustand (Pfeile)!



**Bild 15:**

*Schaffung eines Unterdruckes unter dem Gebäude durch Absaugen der radonhaltigen Bodenluft*

Auch in dieser Gruppe sind sowohl Beispiele mit gutem Erfolg aber auch mit einem plötzlichen Anstieg der Radonbelastung gemessen worden (Pfeil).



**Abb. 16:**

*Einsatz von Radonbrunnen*

Die Ergebnisse dieser Gruppe zeigen, dass der Einbau eines Radonbrunnens durchaus zu einer deutlichen Reduzierung der Radonbelastung führen kann. Aber auch hier ist zumindest in einem Fall eine Erhöhung auf das Ausgangsniveau der Radonbelastung gemessen worden (Pfeil). Verursacht war dieser deutliche Anstieg durch den Ausfall der Luftzuführung.

Alle hier wiedergegebenen Ergebnisse zeigen deutlich, dass eine über längere Zeiträume laufende Überwachung der Ergebnisse unabhängig davon, ob es sich um bauliche oder lüftungstechnische Maßnahmen handelt, dringend erforderlich ist.

## 9 Literatur

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Radon-Handbuch Deutschland, Bonn 2001
- [2] Leder, Frank: Empfehlungen und Informationen zum Radongeschützten Bauen; Tagungsband 1. Sächsischer Radontag, Dresden 2007
- [3] Guhr, Andreas: die Strahlenexposition der Bevölkerung beim Aufenthalt in Gebäuden; Messtechnische Erfassung der Radonkonzentration; Tagungsband 1. Tagung radonsicheres Bauen, Dresden 2005

- [4] Bundesministerium des Inneren (Hrsg.): Radon in Wohnungen und im Freien. Erhebungsmessungen in der Bundesrepublik Deutschland; Bonn 1985
- [5] Leder, Frank: Radonberatung und Radonsanierung im Freistaat Sachsen; Tagungsband 2. Tagung Radonsicheres Bauen, Dresden 2006
- [6] Schulz, Hartmut: Aktueller Kenntnisstand zu Radon in Gebäuden; Tagungsband 1. Sächsischer Radontag; Dresden 2007
- [7] Funke, Claudia: Beitrag zur Bestimmung der Radondichtheit von Baustoffen und Baukonstruktionen; HTW Dresden (FH), 2007
- [8] Energieeinsparverordnung EnEV 2004, Bundesgesetzblatt vom 7.12.2004
- [9] Künzel, Helmut (Hrsg.): Fensterlüftung und Raumklima; Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 2006
- [10] Conrady, Jürgen, Andreas Guhr, Bernd Leißring, M. Nagel: Modellösung für die Vermeidung erhöhter Werte von Wohnungsradon durch bauliche Energiesparmaßnahmen, Abschlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2004
- [11] [www.soaris.de](http://www.soaris.de)
- [12] Conrady, Jürgen: Gesundheitsgefahren infolge Radon im Ergebnis von Maßnahmen zur Energieeinsparung – Möglichkeiten der Prognose, Tagungsband 1. Tagung radonsicheres Bauen, Dresden 2005
- [13] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern; Diplomarbeit HTW Dresden (FH), 2006
- [14] Uhlig, Walter-Reinhold u.a.: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern; Tagungsband 2. Tagung Radonsicheres Bauen, 2006
- [15] Keller, G. und B. Hoffmann: Forschungen zum Problemkreis Radon; 14. Statusgespräch 2001
- [16] Uhlig, Walter-Reinhold: Baulicher Radonschutz im Neubau und Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden; Tagungsband 1. Tagung radonsicheres Bauen, Dresden 2005
- [17] Liebscher, Bernd: Radonschutz beim Bau eines Sportkomplexes; Tagungsband 1. Sächsischer Radontag, Dresden 2007
- [18] Statens stralskyddinstitut – Swedish Radiation Protection Authority: Radonatgärders beständighet – Long term performance of different radon remedial methods in Sweden, SSI-Papport 2001/10



# ERFAHRUNGEN BEIM RADONSCHUTZ IN GEBÄUDEN MIT BERG- BAULICHER BEEINFLUSSUNG

## EXPERIENCES WITH RADONPROTECTION IN BUILDINGS WITH MINING INFLUENCE

Bernd Leißring

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

### **Zusammenfassung**

*Der umgegangene Bergbau, insbesondere der Erzbergbau, in Gebieten mit Bebauung kann auf verschiedene Weise Einfluss auf die radiologischen Verhältnisse in den Innenräumen von betroffenen Gebäuden haben.*

*Folgende Aspekte werden auf der Basis von praktischen Erfahrungen an Sanierungsobjekten mit dem Ziel der Senkung der Radon-222-Belastung diskutiert:*

- 1. Verwendung von radioaktiv kontaminierten Material aus dem Bergbau als Baustoff*
- 2. Durch Bergbauumgang kontaminierter Baugrund oder durch Bergschäden beeinflusste Gebäude*
- 3. Auswirkung von radonbelasteten Grubenwettern auf die Radon-222-Konzentration in der Raumluft von Gebäuden*

### **Summary**

*The former mining especially the ore mining can influence the radiological proportions in the interior of buildings affected in different was.*

*The following aspects are discussed on the basis of practical experiences made on redeveloping of buildings with the aim to reduce the radon-222-contamination:*

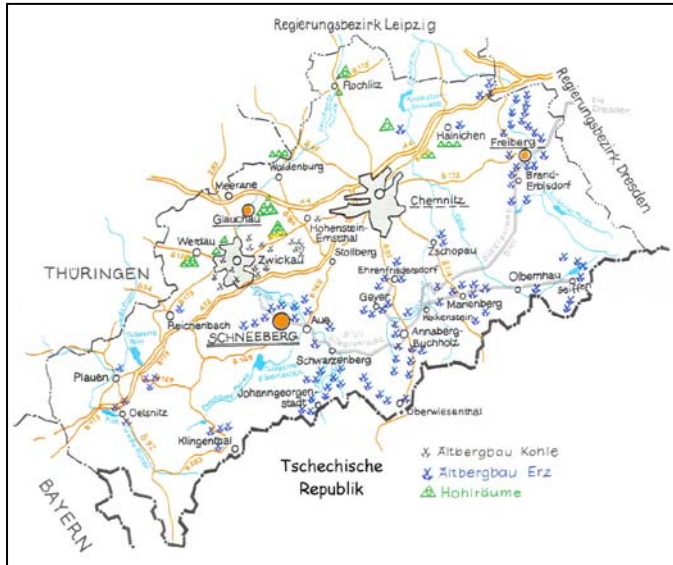
- 1. The use of radioactively contaminated material from the mining as building material.*
- 2. Contaminated development site by mining or buildings influenced by mountain damages.*
- 3. The effects of radon contaminated mining firedamps on the radon 222 concentration in the interior air of buildings*

## **1. Vorbemerkungen**

Die Vermeidung von Risiken durch zusätzliche natürliche Strahlenquellen mit ursächlichem Bezug zum Bergbau steht im Brennpunkt der dargestellten Ausführungen zum praktischen Radonschutz. Speziell an Beispielen aus dem Regierungsbezirk Chemnitz, das durch umfangreichen ehemaligen Bergbau geprägt ist (siehe Abbildung 1), werden gewonnene Erfahrungen aufgezeigt.

Die einschlägigen aktuellen Empfehlungen zum Radonschutz [1] sowohl auf nationaler als auch auf internationaler Ebene weisen auf zu planende oder durch Sanierung zu erreichende Zielwerte für den Radonschutz bei der Bauplanung hin, die vor Jahren noch eine Größenordnung höher lagen. Entsprechend werden die Aufgaben für den sachgerechten bautechnischen Strahlenschutz zunehmend

anspruchsvoller und auch die Berücksichtigung aller relevanten Einflussfaktoren auf die letztlich entscheidende Größe der Radon-222-Konzentration in der Raumluft unter Nutzungsbedingungen wird zwingend notwendig.



Eine letztlich, in ihrer Bedeutung den Bauherren noch nicht immer bewusste Einflussgröße auf die Werthaltigkeit seines Bauwerkes ist mit einer den Richt- und Zielwerten entsprechende Einhaltung der Radonhöchstkonzentration gegeben.

Dies sollte bei Neubau a priori beachtet werden. Ebenso wäre es effektiv, dies auch bei umfangreichen Sanierungen an Gebäuden zu berücksichtigen.

Leider sieht es in der Praxis oft anders aus und es werden Fehler in der Bauplanung zu kostenentscheidenden Faktoren bei sich ergebenden Sanierungsmaßnahmen oder es wird die radiologisch hygienisch „ungute“ Wohnraum- oder Arbeitsraumsituation bezüglich der Radonbelastung stillschweigend in Kauf genommen.

**Abb. 1:** Bergbaugebiete im Regierungsbezirk Chemnitz

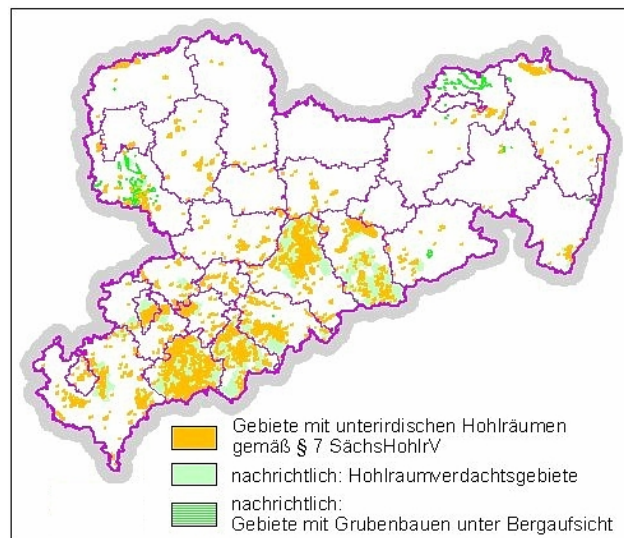
Aus über 15 jähriger Praxis soll an einigen Beispielen Aspekte zu diesem Problemkreis, insbesondere unter Berücksichtigung der sich aus dem ehemaligen Bergbaumgang ergebenden Zwangspunkte dargestellt werden.

## 2. Bergbauliche Hinterlassenschaft als Einflussfaktor auf Radonsanierungen oder den radongeschützten Neubau

Betrachtet man das Gebiet des Freistaates Sachsen, bezüglich der Gewinnung von mineralischen Rohstoffen, so kann man zumindest hier von einem klassischen Bergbaustandort sprechen. Stellt man die Frage nach den bergbaulichen Hinterlassenschaften mit erhöhter natürlicher Radioaktivität, so kristallisiert sich der umgegangene Erzbergbau – vom erzgebirgischen Silber – bis hin zum Uranbergbau heraus.

Von oberflächennahen bis hin zum Abbau in tieferen Stockwerken sind historisch bis in die jüngste Vergangenheit anthropogene Veränderungen ausgegangen und auch die Aufbereitung der Erze konnte zu radiologisch relevanten Hinterlassenschaften führen.

Abbildung 2 zeigt die Bergbauverhältnisse im Freistaat Sachsen und soll einen Eindruck von dem intensiven Bergbaumgang geben. Zugleich muss darauf hingewiesen werden, dass solche Bergbaugebiete natürlich weltweit mit ihren historischen oder aktuellen Problemen existieren.



**Abb. 2:** Hohlraumkarte Sachsen [<http://www.bergbehoerde.sachsen.de>]

Ein wichtiger, sich von fast allen anderen Gewinnungsgebieten unterscheidender Aspekt, ist hier allerdings in Sachsen gegeben.

Dies betrifft die relativ hohe Besiedlungsdichte und die damit verbundene Bebauung der ehemaligen Bergbaugebiete bis hin zu der Feststellung, dass auf vielen Flächen auch Grubenreviere unter bestehenden Ortschaften liegen.

Die Gemeindeterritorien, wo bergbauliche Stellungnahmen für einen Neubau relevant sind, können unter <http://www.bergbehoerde.sachsen.de> abgefragt werden. Hier wird deutlich, dass dies für eine Vielzahl von Standorten relevant ist.

Dies sollte Anhaltspunkt sein, um im Komplex mit den standörtlichen geologischen Gegebenheiten bei der Planung eines radongeschützten Hauses möglichst auch diese Einflussfaktoren zu klären.

Kommt man zu der Fragestellung, welche Aspekte aus den Hinterlassenschaften des Bergbaues hervorzuheben sind, so stehen für die Radonbelastung in Gebäuden folgende im Blickpunkt:

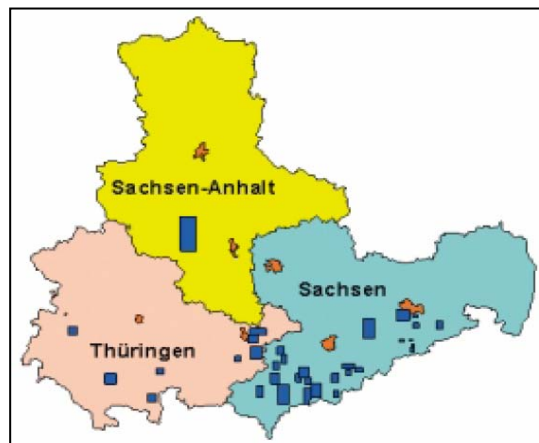
1. Verwendung von radioaktiv kontaminierten Material aus dem Bergbau als Rohstoff
2. Durch Bergbaumgang kontaminierten Baugrund oder durch Bergschäden beeinflusste Gebäude
3. Auswirkung von radonbelasteten Grubenwettern auf die Radon-222-Konzentration in der Raumluft von Gebäuden

## 2.1 Verwendung radioaktiv kontaminierter Materialien als Baustoff

Da Erzvorkommen häufig auch Uranbestandteile im Gangmaterial und Nebengestein aufweisen, können in dem beim Abbau anfallenden Bergematerial und besonders in Aufbereitungsrückständen Radionuklide der Uran-Radonzerfallsreihe in zum Teil erheblichen Konzentrationen vorkommen.

Damit werden solche Materialien für den Strahlenschutz relevant. Aus den sich daraus ergebenden verschiedenen Expositionspfaden der äußeren und inneren Strahlenexposition sollen hier die auftretenden Probleme bei der Verwendung als Baustoff betrachtet werden.

Abb. 3: Lage der Verdachtsflächen nach [8]



Um welche potentiellen Mengen es sich dabei handelt, wird als Beispiel für den Bereich der neuen Bundesländer aus nachfolgender Tabelle [2] ersichtlich.

Tab. 1: Bergbauliche radioaktive Rückstände in Deutschland sowie Material aus dem Rückbau von Anlagen der WISMUT.

Herkunft	betroffene Bundesländer	Bergbauliche Rückstände und Materialien			
		Schlacke	Halden	Tailings	Materialien
Uranbergbau (in Verantwortung der Wismut GmbH)	Sachsen, Thüringen		ca.311 Mio m <sup>3</sup>	ca.178 Mio m <sup>3</sup>	ca. 0,8 Mio t
Bergbauliche Altlasten (U-, Cu-, Ag-, Sn-Bergbau und -verarbeitung, Kohle)	Sachsen, Thüringen, Sachsen-Anhalt	bis 20 Mio m <sup>3</sup>	bis 130 Mio m <sup>3</sup>	bis 30 Mio m <sup>3</sup>	
Uranbergbau in Westdeutschland	Baden-Wtbg., Bayern	zusammen ca. 0,6 Mio. m <sup>3</sup>			

Für die Länder Sachsen, Thüringen und Sachsen-Anhalt liegen mit dem vom Bundesamt für Strahlenschutz von 1991 bis 1999 durchgeführten Projekt „Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster)“ für die Verdachtsflächen Ergebnisse vor [8]. Mit der Datenbank A.LAS.KA und dem Fachinformationssystem bergbaubedingter Umweltradioaktivität stehen in den, für den Vollzug des Strahlenschutzrechtes zuständigen Behörden die Informationen abrufbar bereit. Damit ist, in Vorbereitung einer Standorteinschätzung, ein effektives Mittel zur Prüfung der Gegebenheiten für die zu untersuchenden Verdachtsflächen vorhanden.

Die potentiell jetzt noch vorhandenen Hinterlassenschaften und auch die Kenntnis über historisch unbewusste Nutzung der Berghalden für das Baugeschehen deuten an, dass sich daraus insbesondere für vorhandene bauliche Anlagen strahlenschutzrelevante Probleme ableiten. Sinngemäß gilt dies aber auch bei der ungeprüften Verwendung von Norm-Materialien [3] und für ungeprüfte Baustoffe.

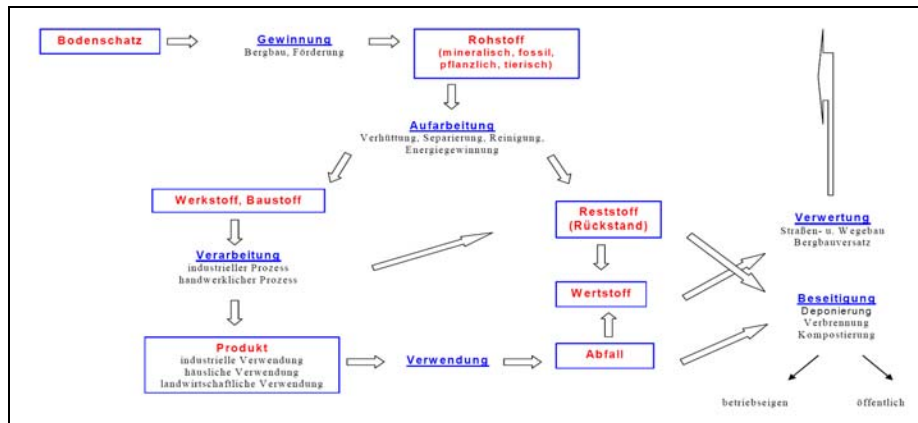


Abb. 4: Begriffliche Einordnung der bei den verschiedenen Prozessen entstehenden Stoffen und Materialien

Nachfolgend wird an einigen Beispielen die Problematik diskutiert.

**Beispiel 1: Gebäude im Westerzgebirge mit historischen Aufbereitungsrückständen**

Ein historisches Gebäude aus dem 18. Jahrhundert wurde 1996 saniert und eine Nutzungsänderung der Gebäudesubstanz vorgesehen.

Im Zuge der radiologischen Untersuchungen wurden Messungen der Radon-222-Konzentration vorgenommen und die verwendeten Baustoffe bezüglich der spezifischen Aktivität Ra-226 geprüft (siehe Abbildung 5).

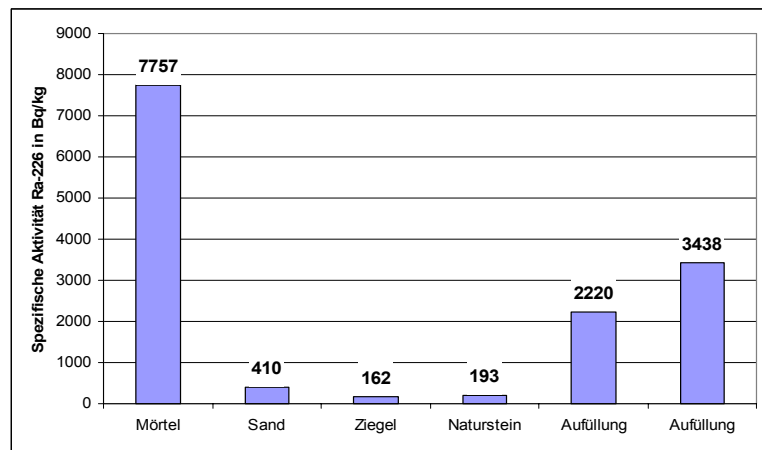


Abb. 5: Untersuchung der vorhandenen Bausubstanz

Die Ergebnisse der Gammaskopimetrie zeigten eine Kontamination infolge der verwendeten Aufbereitungssande.

Die kontaminierten Baumaterialien konnten im Rahmen der Sanierungsarbeiten teilweise entfernt werden (Auffüllung unter der Dielung). Die verbleibenden Materialien (Mörtel in den Innenwänden) wurden durch eine angepasste Vorschalung, mit integrierter Belüftung eingekapselt und somit eine Senkung der Radon-222-Konzentration erzielt.

## Verwendung von Crossener Haldenmaterial

Die Problematik der Verwendung von Crossener Haldenmaterial ist nach wie vor durch die Vielzahl der Verwendungen in der DDR erwähnenswert und an speziellen Standorten auch jetzt noch relevant.

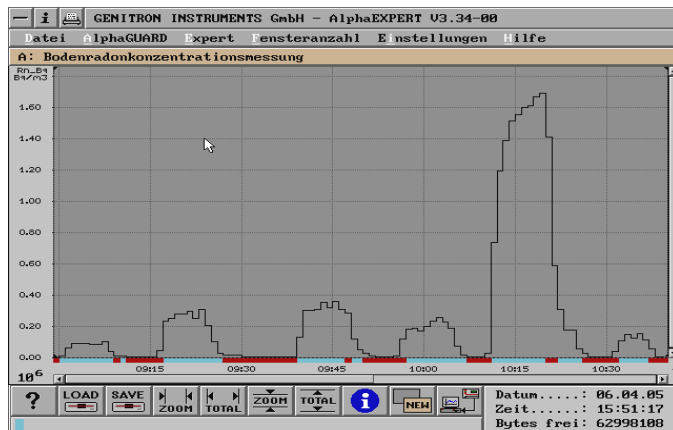
Die Problematik liegt

1. in der anfangs bekannten, später aber nicht mehr übermittelten und „vergessenen“ Einbaustellen.  
Damit verbunden sind die unbewusste Aufnahme dieser Massen bei nachfolgenden Baumaßnahmen und die teilweise weitere Streuung der kontaminierten Materialien.
2. in den niemals dokumentierten Einsatzstellen (hier ist der Einbau in den Gründungsbereich von Eigenheimen zu nennen oder andere „kleine“ Bauobjekte aufzuführen).

Die Wirkung auf die Strahlenbelastung der betroffenen Menschen wird mehr oder weniger durch zufällige Vorgänge bei Sanierungsmaßnahmen oder eingeordneten Messungen im Einzelfall bekannt.

Nach Angaben von [4] soll die Menge der bis 1990 abgefahrenen Crossener Haldenmassen bei ca. 12 Mio Tonnen liegen.

### Beispiel 2 Werkhalle im Vogtland



An diesem Objekt wurden auf Grund einer geforderten gutachterlichen Erfassung und Wertung der radiologischen Verhältnisse entsprechende Messungen vorgenommen.

Schon die hohen Bodenradonmesswerte (maximal 1.660.000 Bq/m<sup>3</sup>) sind ein Indiz für die Anwesenheit von radioaktiv kontaminierten Materialien im Untergrund, zumal die geologischen Bedingungen die festgestellten Extrem-Werte nicht begründen können.

**Abb. 6:** Ergebnisse der Radon-222-Konzentrationsbestimmung in der Bodenluft

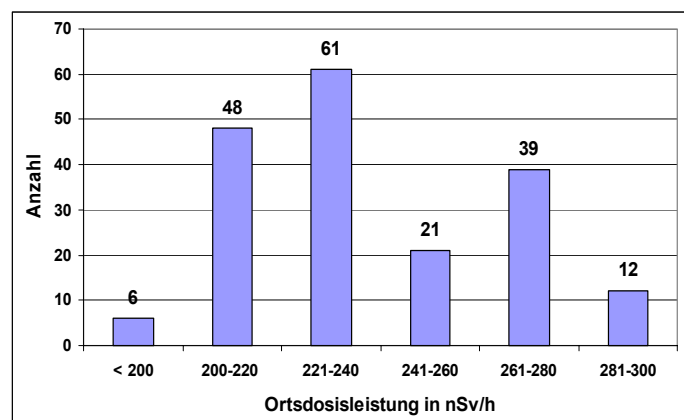
Die Messergebnisse der Ortsdosisleistungsbestimmung auf dem Betonfußboden des Erdgeschosses liegen insgesamt unter dem Empfehlungswert der Strahlenschutzkommission von 300 nSv/h. Zu beachten ist aber, dass die mittlere ODL mit 240 nSv/h für einen Innenraum relativ hoch ist.

Es wird davon ausgegangen, dass der direkte Fußboden (in der Halle Beton, in einigen Räumen Diele) aus inerten Material besteht.

Aus den vorliegenden Daten ist zu schließen, dass unter dem Fußboden radioaktiv belastetes Material beim Bau des Gebäudes eingebracht wurde und jetzt noch vorhanden ist.

Dieses Material (z.B. radioaktiv kontaminierter Schotter oder Auffüllmasse) in Verbindung mit den natürlich anstehenden Radonpotential im Boden ist Ursache für eine erhöhte Radon-222-Exposition.

**Abb. 7:** Ergebnisse der Ortsdosisleistungsmessungen



Das Radon migriert durch Risse und Spalten sowie durch den Fußbodenaufbau und sammelt sich in den Innenräumen (siehe Ergebnisse Dosimetermessung Abb. 8).

Mittels Monatsmessungen (März – April) wurden folgende Radonkonzentrationen in den Räumen des Gebäudes festgestellt. Die Messergebnisse zeigen die Wirkung des kontaminierten Materials unter dem Gebäude, die sich in den Radon-222-Konzentrationen widerspiegeln. Um akzeptable Verhältnisse für das Gebäude zu erreichen sind entsprechend den aktuellen Empfehlungswerten der Strahlenschutzkommission Maßnahmen einzuleiten.

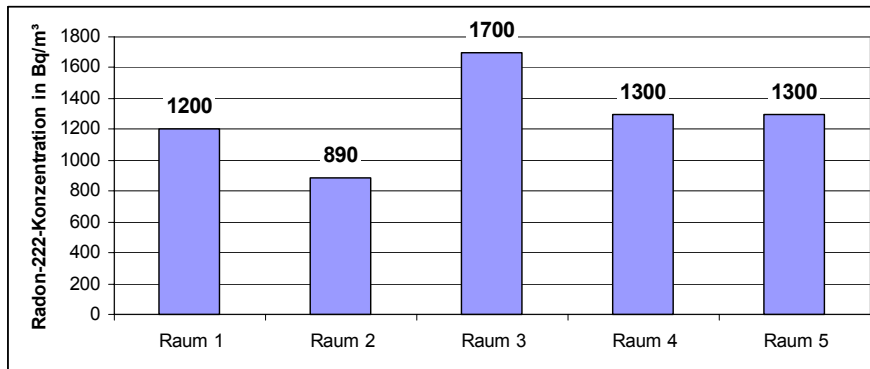


Abb. 8: Ergebnisse der Rn-222-Konzentrationsbestimmung mittels Dosimetermessung

### Beispiel 3 Kontaminiertes Baumaterial im Wegebau in Mittelsachsen

Betrachtet man Beispiele für Sanierungsmaßnahmen, bei denen der ehemalige Einbau von kontaminierten Haldenmaterial der Uranerzaufbereitung eine Rolle spielt, sieht man vor allem die Problematik der möglichen direkten und indirekten Wirkung (durch die Medienanbindung mögliche Radonbelastungserhöhung in angrenzenden Gebäuden) von unkontrolliert (und entgegen auch den ehemals vorliegenden Bestimmungen in innerstädtischen Bereichen) verwendeten Material.

Im Zuge der Erneuerung einer Trinkwasserleitung und der Hausanschlüsse in einer innerstädtischen Straße wurden radiologische Kontaminationen im Baugrund angetroffen. Der Ausgangszustand wurde durch Messungen analysiert.

- Flächenhaftes und punktuell auftretendes Auftreten von Bereichen mit Ortsdosisleistungswerten größer 300 nSv/h Maxima bei 500 nSv/h.
- Hohe spezifische Aktivitäten des Nuklids Radium-226 (bis 10.000 Bq/kg)

Mit den Messungen konnten zwei Kontaminationsquellen nachgewiesen werden.

- a) kontaminierte Sande im Bereich der alten Trinkwasserleitung
- b) oberflächlich anstehendes Wegbaumaterial

Die nachgewiesenen kontaminierten Baustoffe wurden im Zuge der Leitungserneuerung ausgekoffert und zur Deponierung verbracht. Die Teilebereiche mit oberflächennahen Kontaminationen wurden im Rahmen der Straßenbaumaßnahme eingeschlossen.

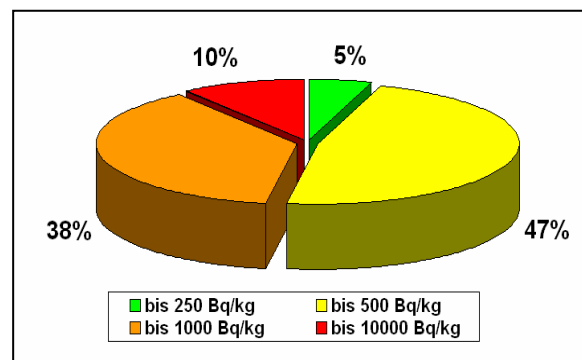
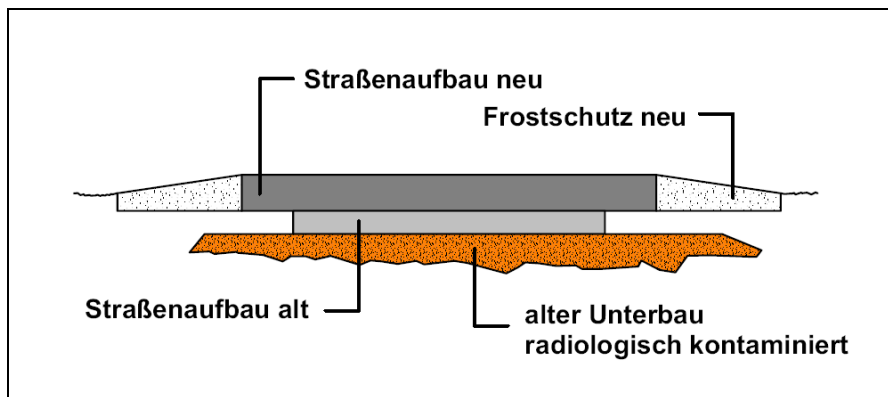


Abb. 9: Ergebnisse der Gammaskopie zur spezifischen Aktivität Ra-226



**Abb. 10:** Schematische Darstellung Abdeckung kontaminierter Massen im Straßenbau

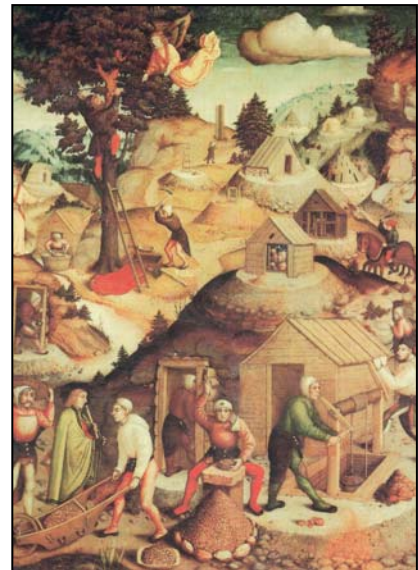
Mit den damals in Sachsen förderfähigen Sanierungsprogrammen konnte den vorliegenden standörtlichen Gegebenheiten entsprochen werden, der sachgemäße Umgang mit den radioaktiv kontaminierten Material in der Bauphase überwacht werden und eine weitere Verschleppung der kontaminierten Straßenbaumaterialien unterbunden werden und ein den Empfehlungen der SSK entsprechender Endzustand nach der Sanierung erreicht werden.

## 2.2 Bebaute Haldenstandorte

Nicht nur für die Bergstadt Annaberg ist auf Grund der Bergbauhistorie mit der Tatsache, dass die Grubenanlagen und die Halden direkt in den späteren Wohngebieten lagen und liegen typisch. Auf der Darstellung der Situation im zentralen Altstadtteil von Annaberg um 1520 wird die Vielzahl der vorhandenen Grubenanlagen mit einer großen Zahl von Haldenaufschüttungen deutlich. Solche Verhältnisse mit jetzt völlig überbauten Haldenstandorten sind auch in anderen Bergstädten (Schneeberg, Johanngeorgenstadt usw.) des Erzgebirges bekannt.

Für Halden des historischen Silberbergbaues, bei den nachfolgende Gewinnungsarbeiten auf Buntmetalle bis hin zum Uranbergbau erfolgten, ist die Tatsache von zum Teil erheblichen Beimengen an radioaktiven Materialien nachgewiesen.

Für die historischen, meist kleineren, Halden ist bekannt, dass sie als Baumaterial genutzt wurden und die Gebäudesubstanz sowie die darin eingebundenen kontaminierten Massen, später mannigfaltig überbaut und somit unkontrolliert verstreut wurden



**Abb. 11:** Ausschnitt Bergaltar St. Annenkirche in Annaberg-Buchholz

In den überbauten Halden sind kontaminierte Bergmassen bis hin zu Erzvorkommen (Pechblende), nachgewiesen worden. Die Bezeichnung Pechblende geht auf das Ausbleiben von Silbererzen und dem Antreffen von, dem damals nicht abbauwürdigen Uranerzen zurück. Dieser Unglücksfall wurde von altvorderen Bergleuten verbal als „Pech“ bezeichnet.

Die unter den jetzigen Gebäuden liegenden Haldenmassen wirken entsprechend ihrem Aufbau und ihrer Zusammensetzung auf die sich einstellenden Radon-222-Konzentration in den Innenräumen der Häuser. Zusätzlich können die Haldenstandorte durch Auffahrungen des Altbergbaus (Schächte und Stollen) beeinflusst werden (siehe Kapitel 2.3).

Dazu sollen nachfolgend einige Beispiele aufgeführt werden.

**Beispiel 4 Kontaminiertes Haldenmaterial und Bergbaueinfluss in einem öffentlichen Gebäude**

Die für diese Gebäude in Auftrag gegebene Radonsanierung zeigte eine komplexe Belastungssituation, die durch mehreren Quellen beeinflusst wurde.

- Kontaminiertes Haldenmaterial in der Gebäudeaufstandsfläche
- Bergbauliche Auffahrung unter dem Gebäude
- Kontaminierte Auffüllmassen zwischen Keller- und Erdgeschoss

Im Jahr 2001 wurden die, unter Förderung des sächsischen Ministeriums für Umwelt und Landwirtschaft durchgeführten, Sanierungsmaßnahmen abgeschlossen und eine, den Zielvorstellungen angemessene, Situation erreicht. Die hauptsächlichen Sanierungsschritte waren:

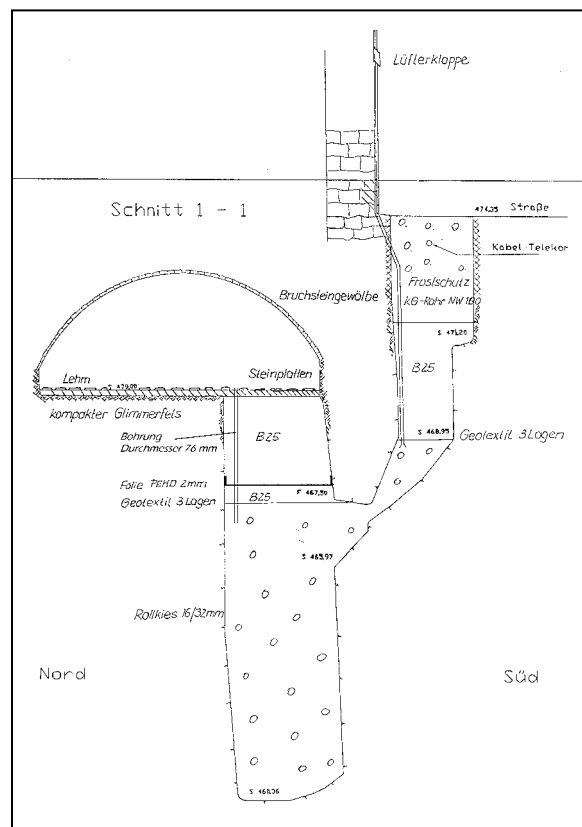
- Horizontale Wandabdichtung zur Minderung der Migrationsfähigkeit des Radons im Mauerwerk durch Injektionen im gesamten oberirdischen Außenbereich
- Bohrungen im gesamten oberirdischen Außenwandbereich zur Entlüftung des Mauerwerkes
- Einbau eines Drainagesystems im Kellerbereich inklusive Ableitungssystem mit Abluftschornstein
- Gasdichte Abdichtung der Bodenplatte
- Installation eines Abluftsystems zur Entlüftung des Mauerwerkes im zugänglichen Mauerwerk im Keller, Einbindung an Abluftsystem inklusive Einbau Lüfter

Eine Besonderheit des Gebäudes stellt das Antreffen eines direkten Zugangs zu Auffahrungen des Altbergbaus dar. Der angetroffene Schacht wurde durch die Ausbildung eines Radonbrunnens in das Sanierungskonzept integriert (siehe Abbildung 12).

Aufgrund der komplexen standörtlichen Bedingungen und den damit verbundenen finanziellen Aufwendungen konnten nicht alle Kontaminationsquellen im Gebäude behandelt werden. Für die Einhaltung der festgelegten Zielwerte wurde eine spezielle Nutzungskonzeption erarbeitet, die ein Lüftungsschema der Nutzer beinhaltet.

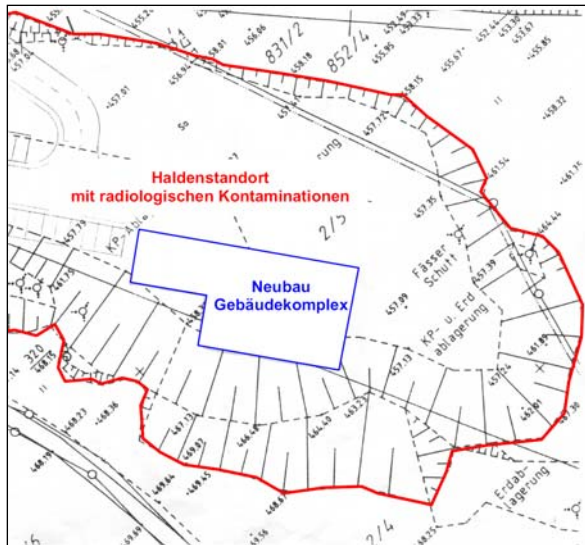
Neben der Einhaltung der Lüftungsregime durch den Betreiber ist die Kontrolle und Wartung der technischen Anlagen maßgebliche Voraussetzung für die angestrebte Reduzierung der Radonbelastung im Gebäude. Des Weiteren ist sicherzustellen, dass im Falle eines Besitzerwechsels die entsprechenden Hinweise zur Nutzung weitergeben (Hausakte) und eingehalten werden.

**Abb. 12:** Ausbildung Radonbrunnen

**Beispiel 5 Haldenbebauung mit konzipierten Radonschutz**

Für das nachfolgende Beispiel wurden im Vorfeld der Baumaßnahmen erste Untersuchungen des Baugrundes auf radiologische Kontaminationen vorgenommen und entsprechende Hinweise für den Radonschutz gegeben. Bei dem geplanten Standort handelte es sich um eine Halde des Uranbergbaues (siehe Abbildung 13).





**Abb. 13:** Neubau auf Haldenstandort

Die Ergebnisse zeigten Radon-222-Konzentrationen > 1.000 Bq/m<sup>3</sup>. Nachfolgende Sniffing-Messungen zur Eintrittspfadsuche erbrachten Werte > 40.000 Bq/m<sup>3</sup>. Durch die ausführende Baufirma wurden die festgestellten Eintrittspfade mit Abdichtungsmaterial verschlossen und durch GEOPRAX erneute Messungen durchgeführt. Auch eine weitere Nachbesserung erbrachte keine Erfolge, so dass eine intensive Ursachenforschung betrieben wurde. Im Ergebnis der Recherche eine mutwillig herbeigeführte Leckage in der Schutzfolie als Ursache für die erhöhten Werte identifiziert.



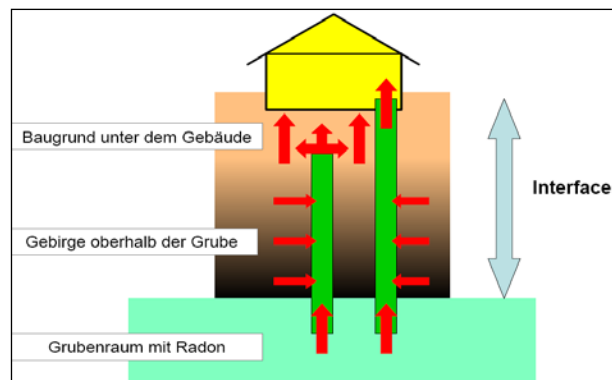
**Abb. 14:** Ausbildung Radonschutz

Dieser Eintrittspfad wurde durch einen Nachauftragnehmer abgedichtet und somit konnte das geplante Ziel bezüglich der einzuhaltenden Radon-222- Konzentrationen erreicht werden.

### 2.3 Direkte Beeinflussung durch kontaminierte Grubenwetter

Durch bergmännische Auffahrung in bebauten Gebieten besteht die Möglichkeit einer direkten Auswirkung der untertägigen Grubenwetter auf die bestehenden Gebäude. Über Risse und Spalten, aber auch durch Zugänge (bekannt oder unbekannt) kommt es zum Eindringen von radonbelasteter Grubenluft. Dieser Vorgang wird durch mehrere Einflussfaktoren bestimmt. Nachfolgende Abbildung zeigt schematisch die mögliche Ankopplung eines Gebäudes an den Grubenraum.

**Abb. 15:** Mögliche Ankopplung an das Grubengebäude aus [7]



Mit der gezielten Wetterführung im Grubenraum kann eine Senkung der Radonbelastung der Grubenwetter und somit in der Bebauung erzielt werden.

In der Bergstadt Schneeberg wurden mit der Umsetzung eines Pilotprojektes die Grundlagen für eine flächenhafte Entlastung untersucht. Grundlage des Projektes war die Ausnutzung des natürlichen Wetterstroms (siehe Abb.16) zwischen Tagesöffnungen in Hochlage (Schächte) und Tagesöffnungen in Tieflage (Stollenmundlöcher). Durch die sich einstellende Wetterführung werden die belasteten Grubenwetter an definierten Punkten abgeführt und ein Eindringen in die Gebäude verhindert.

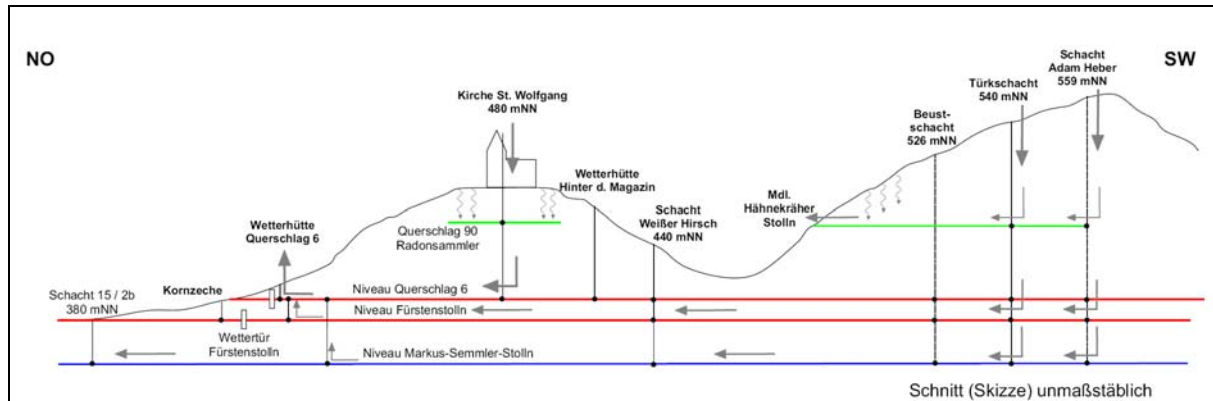


Abb. 16: Schematische Darstellung der Grubenwetterströme unter sommerlichen Bedingungen

Nachfolgende Abbildung zeigt die Verhältnisse in einem Gebäude mit und ohne Beeinflussung durch radonbelastete Grubenluft.

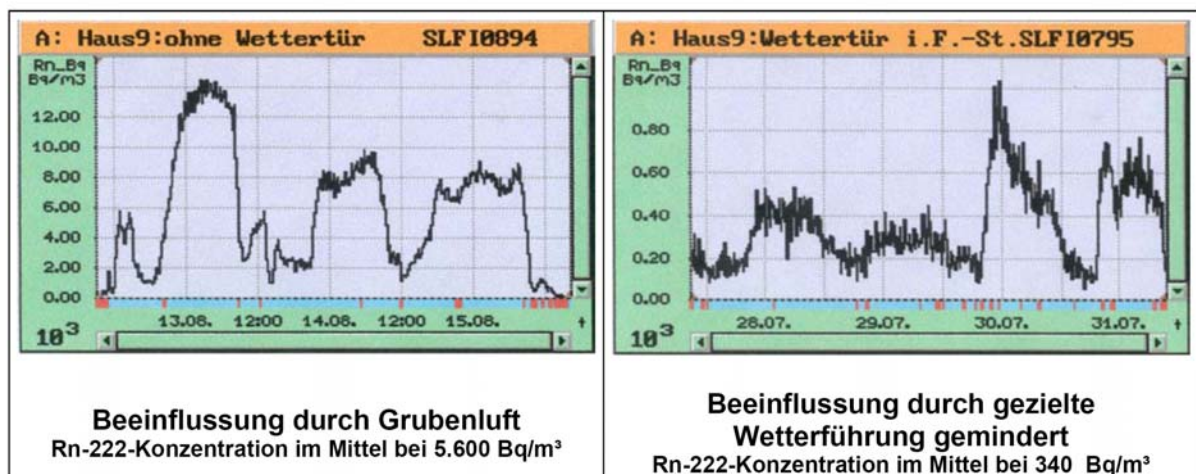


Abb. 17: Auswirkung radonbelasteter Grubenluft auf die Bebauung

Zur Vermeidung zusätzlicher Expositionen für die Bevölkerung sind die Austrittsöffnungen durch Messung der Radon-222-Konzentrationen in der Freiluft zu überwachen. Auf den Ergebnissen und Grundlagen dieses Pilotprojektes, sowie auf dessen Weiterführung wird im Detail verwiesen [9].

## 2.4 Beeinflussung durch umgehenden Bergbau

Neben vorhandenen Altbergbauauffahrungen kann auch der aktive Bergbau eine Ursache für erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden darstellen. Durch den umgehenden Bergbau kommt es im darüber liegenden Gebirge zu Zerrungen und Spannungen, die neue Migrationswege für das Radon aktivieren bzw. bestehende Migrationswege vergrößern können. Zusätzlich kann die bestehende Bausubstanz durch die Bergschäden den baulich gegebenen Radonschutz verlieren und durch Risse und Spalten Radon aus dem Untergrund in das Gebäude eindringen.

### 3. Zielwertdiskussion für Sanierungen, Ausblick und Hinweise

Aus den angeführten Beispielen wird deutlich, dass die Problematik der bergbaulichen Hinterlassenschaften in vielen Gebieten bei Bau- und Sanierungsplanung nicht zu vernachlässigen ist.

Die einzelnen Kontaminationen können separat auftreten aber auch im Komplex wirken.

Entscheidend für die Festlegung von Maßnahmen zum notwendigen Radonschutz bei Sanierungen ist der zu erzielende Wert der Radonkonzentration in der Raumluft unter Berücksichtigung der Nutzungsbedingungen des Gebäudes. Hier sind die Aussagen und Vorgaben des Eigentümers entscheidend.

Bei Vorgabe eines zu erzielenden (angenommenen) Zielwertes von  $< 250 \text{ Bq/m}^3$  oder  $< 100 \text{ Bq/m}^3$  entsprechend den Empfehlungen der Strahlenschutzkommission bzw. des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit oder anderen Zielwerten in den dauerhaft genutzten Innenräumen ist es notwendig, geeignete Maßnahmen für den Radonschutz vorzusehen. Im Anschluss an die Sanierungsmaßnahmen ist die Einhaltung des Zielwertes durch Kontrollmessungen zu prüfen.

Die nachfolgende Übersicht soll dies auch in Hinblick auf die sich daraus ableitenden Zwangspunkte bei der Sanierungsplanung verdeutlichen.

- Vor Beginn der Sanierung muss in Abstimmung mit dem Auftraggeber über den zu erreichenden Zielwert und die Machbarkeit im jeweiligen Objekt (Kostenaufwand) gesprochen werden.
- Bei komplizierten Ausgangsbedingungen hat sich eine iterative Abarbeitung der Sanierungsschritte auch zur Einhaltung von Kostenrahmen bewährt.
- Etwaige Bergschäden an einem Gebäude, die zusätzliche Migrationspfade für Radon hervorrufen, müssen sanierungstechnisch beachtet werden.
- Mit Langzeitmessungen muss der Sanierungsstand nach Abschluss der Baumaßnahmen dokumentiert werden.
- Meist sind die Sanierungsmassnahmen mit technischen Anlagen gekoppelt. Eine turnusgemäße Prüfung der technischen Anlagen ist Voraussetzung für eine dauerhafte Radonsenkung (Wartungspflicht).
- Die ausgeführten baulichen Maßnahmen müssen dokumentiert werden (Hausakte), bei Modernisierungsmaßnahmen, Umbauten u. ä. im Objekt müssen die vorhandenen Radon-schutzgegebenheiten unbedingt beachtet werden, damit es nicht durch Zerstörungen zu negativen Auswirkungen kommt.

Hervorzuheben ist, dass in der Vorbereitungsphase durch entsprechende Messungen der Istzustand für den Baustandort oder für das zu sanierende Gebäude zwingend erforderlich ist.

Für die Planung ist auf der Grundlage der zurzeit vorliegenden Richtlinien und Empfehlungen die durch den Bauherren festzulegende Zielvorstellung über die zu erreichende zulässige Radoninnenluftkonzentration ausschlaggebend. Daraus ist für jeden Einzelfall auch der Kostenaufwand abschätzbar.

### 4. Literaturverzeichnis

- [1] BMU: Radon-Ein Edelgas belastet das Wohnen.-  
<http://www.bmu.de/strahlenschutz/downloads/doc/6656.php>
- [2] Schmidt, P.: Bewertung und Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften aus der Sicht von Radioökologie und Strahlenschutz. Strahlenschutz-Aspekte bei natürlicher Radioaktivität, 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz e.V., Dresden 2006
- [3] BMU: Erfassung und radiologische Bewertung von Hinterlassenschaften mit NORM- Material aus früheren Tätigkeiten und Arbeiten einschließlich der modellhaften Untersuchung branchentypischer Rückstände.- Schriftreihe 695-2007

- [4] STEAG Kernenergie GmbH: Bestandsaufnahme und Konzeptfindung zur Sanierung der Altlasten am Standort Uranaufbereitungsanlage Crossen der SDAG Wismut.- Essen 1990
- [5] Baumann, L., Kuschka, E., Seifert, Th.: Lagerstätten des Erzgebirges.- Enke Verlag, Stuttgart 2000
- [6] Leißring, B.: Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen an öffentlichen Gebäuden.- Tagungsband SMUL-Seminar Radon in Gebäuden, Dresden 2006
- [7] Leißring, B., Schulz, H.: Erfahrungen aus Sanierungsmaßnahmen mit komplizierten Untergrundverhältnissen, 2. Tagung zum „Radonsicheren Bauen“ KORA e.V., Dresden 2005
- [8] Bundesamt für Strahlenschutz: Radiologische Erfassung, Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten (Altlastenkataster).- Salzgitter 2002
- [9] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX: Abschlussbericht zur Maßnahmen „Gezielte natürliche Bewetterung des Schneeberger Grubengebäude zur Senkung der Radonbelastung in den Häusern der Stadt.- Chemnitz, Dezember 2006
- [10] BMU: Methodische Weiterentwicklung des Leitfadens zur radiologischen Untersuchung und Bewertung bergbaulicher Altlasten und Erweiterung des Anwendungsbereichs.- Schriftenreihe R+S Nr. BMU - 2007 – 697, Bonn 2007

## Radonberatung des Freistaates Sachsen

### Radon information of the state of Saxony

Alfred Taube

Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen  
Bad Schlema/Chemnitz

#### **Zusammenfassung**

*Im Oktober 1993 eröffnete das Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung des Freistaates Sachsen (SMUL) die „Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen“ in Bad Schlema. Im vorliegenden Beitrag werden der Werdegang und die zwei Hauptbetätigungsfelder der Beratungsstelle vorgestellt. Zum einen erfolgen hierbei die Beantwortung individueller Fragen zur Radonproblematik und eine allgemeine Beratung zum Radonschutz einschließlich der Weitergabe von Informationsmaterialien. Für Ratsuchende aus dem Freistaat Sachsen besteht ein weiteres Leistungsangebot in der Möglichkeit der Überprüfung der Radonsituation vor Ort. Dabei können Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft an einem geplanten Neubaugrundstück, Orientierungsmessungen zur schnellen, abschätzenden Beurteilung der Radonsituation in Räumen von Alt- und Neubauten sowie Langzeitmessungen mit Exposimetern zur repräsentativen Einschätzung der Belastungssituation durchgeführt werden. In Auswertung derartiger Messeinsätze erfolgt grundsätzlich eine schriftliche Information des Bürgers über die Ergebnisse, ihre Bewertung an Hand der EU-Empfehlung 90/143 [1] und es werden ggf. Empfehlungen zu den in Betracht kommenden Maßnahmen der Selbsthilfe gegeben. Bei komplizierten Situationen wird generell empfohlen, die Hilfe gewerblich tätiger Fachfirmen in Anspruch zu nehmen. An Hand einiger Beispiele wird aufgezeigt, dass es oft möglich ist, mit einfachen Mitteln eine dauerhafte Senkung der Radonkonzentration in Gebäuden zu erreichen.*

#### **Summary**

*In October 1993 the Ministry of the environment and regional development of the German federal state of Saxony (SMUL) opened the "Information centre for radon protection practices" in Bad Schlema. This paper presents the development and the two main fields of activity of the information centre. Answering individual questions on radon problems and consultation on general aspects of radon protection including the distribution of informational material is the one. Additionally consultants coming from Saxony have the possibility to ask for checking up the radon situation on site. Measurements of radon concentration can be done in soil gas at a planned construction site. Indoor measurements for a fast orientating assessment of the radon situation in houses as well as those for the estimation of representative radon exposures by passive long-term dose meters are offered as well. In all cases written information on the results is sent to the consultant including an evaluation by means of the recommendation 90/143 of the EC [1]. If applicable, advice on possible self-help measures is given. For dealing with complicated situations the support of qualified commercial companies is recommended. By means of some examples it is shown that it is often possible to achieve a lasting reduction of the indoor radon concentration by simple methods.*

## 1. Grundlagen und Werdegang

Jeder Mensch auf der Erde ist auf natürliche Weise stets und überall "radioaktiver Strahlung" oder, richtiger gesagt, ionisierender Strahlung ausgesetzt. Natürliche Strahlenquellen existieren unabhängig vom Menschen seit Bestehen der Erde und verursachen die so genannte natürliche Strahlenexposition (durch Strahlung aus dem Weltraum, aus dem Erdboden, der Nahrung und der Atemluft), die das Leben einschließlich das des Menschen bei der Evolution begleitet hat. Unter Strahlenexposition wird also die Einwirkung ionisierender Strahlen auf den menschlichen Körper verstanden. Meistens ist sie ungefährlich, sonst könnten wir gar nicht überleben. Es gibt aber auch Ausnahmen.

Eine der uns umgebenden natürlichen Strahlenquellen ist das in der Luft vorhandene Radon-222. Es entsteht beim radioaktiven Zerfall des Radium-226, das wiederum zur Zerfallsreihe des Uran-238 gehört. Radon weist die typischen Eigenschaften eines Edelgases auf. Es ist auch in hohen Konzentrationen unsichtbar, geruchlos, frei von Geschmack, weder brennbar noch explosiv.

Wie man seit längerem weiß, ist der Freistaat Sachsen neben Thüringen und Bayern eines der am meisten betroffenen Bundesländer in Sachen Radon. In der breiten Öffentlichkeit war darüber jedoch nur sehr wenig bekannt, denn es gab keinerlei Informationen über die Belastungen der Umwelt im Allgemeinen und im Speziellen in den Wismutgebieten. Hier unterlag alles einer strikten Geheimhaltung. Berechtigte Fragen der Bevölkerung blieben unbeantwortet. Nach der politischen Wende in der damaligen DDR traten die zuvor neu gegründeten Bundesländer der Bundesrepublik Deutschland bei. Damit änderte sich die Situation fast schlagartig. Gemäß Einigungsvertrag wurde das Strahlenschutzvorsorgegesetz [2] um eine Bestimmung ergänzt, so dass das Bundesamt für Strahlenschutz der BRD (BfS) von 1990 an auch in Sachsen für die Ermittlung der bergbaubedingten Umweltradioaktivität verantwortlich war. Damit verbunden waren stichprobenartige Messungen der Radonkonzentrationen im Boden und in Häusern. So konnte u.a. die Bodenluft-radonkarte für Deutschland durch das Geologische Institut der Universität Bonn und die Fa. Kemski & Partner erstellt werden [letzter Stand s. [3]]. Durch die Untersuchungen des BfS wurden Gebiete und Häuser mit hohen, zum Teil sehr hohen Konzentrationen gefunden. Bei der Ausführung dieser Messprogramme war das BfS auf die Unterstützung und Mitarbeit der Bevölkerung angewiesen, denn die Teilnahme daran konnte nur auf freiwilliger Basis beruhen. Jedem Beteiligten wurde auf Anfrage eine Bewertung der Messergebnisse auf Grundlage der Empfehlungen der Deutschen Strahlenschutzkommission (SSK) ausgehändigt.

Die Begriffe „Radioaktivität“, „radiologische Beeinflussung“ oder „Radonbelastung der Bodenluft/ im Haus“ und „Radonrisiko“ erzeugten und erzeugen auch heute noch bei vielen Menschen Unbehagen. Die von radioaktiven Stoffen ausgesandte Strahlung wird oft als bedrohlich empfunden, unabhängig davon wie stark sie ist und woher sie stammt.

So ergaben sich immer mehr Fragen zur natürlichen Umweltradioaktivität im Allgemeinen und um Radon im Speziellen. Um diesem Informationsbedarf gerecht zu werden, eröffnete das zuständige Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung des Freistaates Sachsen am 1. August 1993 eine „Radon-Beratungsstelle“ in Schlema. Die Abb. 1 zeigt die dazu gehörige Pressemitteilung. Das Büro konnte im „Karl-Aurand-Haus“, der ehemaligen Außenstelle des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Biophysik in Frankfurt/Main, dem heutigen Sitz der Kurverwaltung von Bad Schlema eingerichtet werden.



**Abb. 1:** Pressemitteilung

Die Wahl dieses Hauses (Abb. 2) war kein Zufall, denn hier wurde ein knappes Jahr zuvor, am 16. November 1992, die Informationsstelle des BfS zur radiologischen Situation in Bergbaugengebieten eröffnet, die bis Ende 2002 Bestand hatte. Im Juni 1995 kam dann noch der Verwaltungssitz des „Radon-Dokumentations- und Informations-Zentrum Schlema e.V.“ dazu. Es war nur eine Frage der Zeit, dass sich zwischen den Mitarbeitern dieser Einrichtungen eine gute Zusammenarbeit im gegenseitigen Einvernehmen und zum allseitigen Nutzen entwickelte.



**Abb. 2:** Karl-Aurand-Haus

Seit ihrer Eröffnung bis zum Jahr 1999 war die Radon-Beratungsstelle dem Landesamt für Umwelt und Geologie unterstellt. Seit Mai 2000 ist die Beratung zum Problemkreis Radon der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft (UBG), einem Staatsbetrieb im Geschäftsbereich des SMUL, zugeordnet.

In der Zeit vom 1993 bis 2000 beschäftigte sich die Radon-Beratungsstelle in der Regel sehr intensiv und individuell mit einzelnen Problemfällen, unterbreitete u. a. Sanierungsvorschläge und unterstützte deren Realisierung. Als Beispiel für ein größeres Vorhaben sei hier die Errichtung der 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität in Chemnitz [4] genannt. Seit dem Mai 2000 wurden die Beratungsangebote schrittweise dem veränderten Bedarf angepasst, so dass jetzt die Information und Beratung, bei Bedarf mit Messungen zur Klärung der Radonsituation, von Privathaushalten, öffentlichen Einrichtungen des Landes und der Kommunen sowie ggf. eine Anleitung zur möglichen Selbsthilfe im Vordergrund steht. Diese Ausrichtung entspricht dem Beschluss des sächsischen Landtages, in dem u. a. der Ausbau der qualifizierten Beratung genannt ist [5].

## 2. Praktische Arbeit

Für die Radonberatung wurden feststehende Sprechtage und -zeiten eingerichtet, die denen der der BfS-Stelle entsprachen. Jeweils dienstags und donnerstags von 10<sup>00</sup> Uhr bis 16<sup>00</sup> Uhr können sich Bürger im privaten oder im öffentlichen Interesse an das Beratungsbüro in Bad Schlema wenden. Ob telefonisch, per Email oder persönlich beim Besuch im Büro, es wird immer versucht, die individuellen Fragen zu beantworten und über die Radonproblematik aufzuklären. Dazu können auch Informationsmaterialien ausgegeben bzw. verschickt werden. Aus Abb. 3 ist ersichtlich, wie man nach Bad Schlema gelangt.



**Abb. 3:** Lage und Erreichbarkeit von Bad Schlema

Ergibt sich im Gespräch der Bedarf an einer Überprüfung der Radonsituation vor Ort, was seitens der Beratungsstelle nur innerhalb Sachsens möglich ist, können entsprechende Messaufgaben und ein Termin vereinbart werden. Wichtigste Voraussetzung dafür ist, dass die entsprechende Person Eigentümer der jeweiligen Immobilie, d.h. des Grundstücks und/oder des Gebäudes, ist. Aus Datenschutzgründen stehen nur ihr die Ergebnisse der Überprüfung zu und nur sie hat das Recht, die Zustimmung zur Radonmessung zu erteilen. Da der Beratungs- und Messeinsatz für den Bürger kostenlos ist, soll er im öffentlichen Interesse für das Land jedoch nicht umsonst sein. Für die weiterführende Auswertung der Daten wird deshalb die Zustimmung des Auftraggebers der Messungen eingeholt (Formular s. Abb. 4).

Je nach den Anforderung können dann Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft auf einem geplanten Neubaulandort, erste orientierende Messungen zur schnellen, abschätzenden Beurteilung der Radonsituation und/oder das Aufspüren von Eintrittspfaden mit Aktivmessgeräten sowie Langzeitmessungen mit Exposimetern in Aufenthaltsräumen durchgeführt werden. Die Leistungen der Radonberatungsstelle können allerdings die Beratung durch Fachfirmen bei erforderlichen baulichen Sanierungsmaßnahmen nicht ersetzen.

**Staatliche Umweltbetriebgesellschaft**  
Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen

**Zustimmung zur Radonberatung/-messung**

Hiermit stimme ich zu, dass durch die Beratungsstelle für Radongeschütztes Bauen, Schlema/Chemnitz, der Staatlichen Umweltbetriebgesellschaft (UBG)<sup>1)</sup>

am ..... (Datum), ..... (Uhrzeit)

auf meinem Grundstück bzw. in meiner/em Wohnung/Haus<sup>2)</sup> ein Beratungsgespräch / Messungen<sup>2)</sup> zur Überprüfung der Radonkonzentration durchgeführt werden.

Ich bin damit einverstanden, dass die ermittelten Daten, Kontaktinformationen (Name, Tel.-Nr., Adresse des untersuchten Gebäudes bzw. Grundstücks) und die dazugehörigen Gauss-Krüger-Koordinaten zum Zwecke der Weiterverarbeitung gespeichert werden. Die Daten stehen den zuständigen sächsischen Landesbehörden im Weiteren nur für anonymisierte Auswertungen zur Verfügung. Eine Weitergabe personenbezogener Daten erfolgt in keinem Fall.

Vor der Durchführung von Bodenluftmessungen gebe ich als Grundstückseigentümer die Lage der nichtöffentlichen, erdverlegten Leitungen bekannt. Sollten dennoch Schäden an diesen Leitungen entstehen, weil deren Lage von mir nicht korrekt oder vollständig dargestellt wurde, ist die UBG von allen Schadensersatzansprüchen freigestellt.

Datum: \_\_\_\_\_

Name: \_\_\_\_\_ Unterschrift: \_\_\_\_\_

<sup>1)</sup> Der UBG-Mitarbeiter weist sich mit seinem gültigen Dienstaussweis aus.  
<sup>2)</sup> Nichtzutreffendes streichen.

**Abb. 4: Zustimmungformular**

Auf Grund des stetig steigenden Bekanntheitsgrades, viele Behörden und andere Institutionen verweisen auf die Radon-Informationsstelle in Bad Schlema, ist die Beratung immer häufiger gefragt. In der nachfolgenden Übersicht (Tab. 1) sind die seit Mai 2000 erbrachten Beratungsleistungen in Zahlen zusammengefasst.

**Tab. 1: Aktivitäten der Beratungsstelle - allgemeiner Überblick**

Jahr	Beratungstage in Schlema	Beratungen im Büro	ausführliche tel. Beratungen	Bemerkungen
<b>2000</b>	51	3	11	
<b>2001</b>	84	15	85	
<b>2002</b>	81	29	51	
<b>2003</b>	83	22	40	
<b>2004</b>	87	21	79	
<b>2005</b>	87	28	104	
<b>2006</b>	85	30	84	
<b>2007</b>	42	12	50	
<b>gesamt</b>	600	160	504	davon 58 mal außerhalb Sachsen, 42 Info- Pakete wurden versendet



An bis jetzt 600 Beratungstagen kamen 160 Bürger persönlich in das Beratungsbüro in Bad Schlema und über 500 Personen nutzten die Möglichkeit einer ausführlichen telefonischen Beratung. Bemerkenswert daran ist, dass der überwiegende Anteil der Anfragen (ca.  $\frac{2}{3}$ ) aus dem Großraum Dresden/Ostsachsen und aus anderen Bundesländern kam. Aus vielen Gesprächen ist herauszuhören, dass Radon häufig immer noch nur im Zusammenhang mit dem Uran-Bergbau der Wismut und der Region Schneeberg/Schlema gesehen wird. Noch zu Wenigen ist die Radonproblematik im Sinne von Alltagswissen (vgl. Rauchen, Kfz- Abgase u. a.) bekannt, um sie als etwas Natürliches und Allgegenwärtiges, jedoch auch Beherrschbares anzusehen. In dieser Hinsicht gibt es also noch Aufklärungsbedarf.

Oft wird die Frage nach Radonbelastungen in bestimmten Regionen Sachsens gestellt, weil auch heute noch Mancher die Ansiedelung in derartigen Gebieten scheut und lieber nach einer Gegend sucht, wo es „kein“ Radon gibt. Hier helfen die während der rund 350 Beratungs- und Messfahrten gewonnenen über 1500 Daten (Tab. 2) und die Daten aus den Messprogrammen des BfS und des Freistaates, um auf der Grundlage von Fakten qualifizierte Auskünfte zu geben.

**Tab. 2:** Aktivitäten der Beratungsstelle- gewonnene Messwerte für DURAS

Mess- und Beratungsfahrten		Summe der gewonnenen Messwerte <sup>*)</sup>					
		Raumluft inkl. ETP		Boden		Dosimeter	
gesamt	351	246 ES	671 MW	98 ES	473 MW	175 Wg	594 St
<b>2000</b>	16	11 ES	37 MW	6 ES	15 MW	7 Wg	19 St
<b>2001</b>	48	30 ES	87 MW	19 ES	72 MW	18 Wg	55 St
<b>2002</b>	48	35 ES	99 MW	11 ES	62 MW	31 Wg	79 St
<b>2003</b>	50	40 ES	90 MW	11 ES	61 MW	26 Wg	60 St
<b>2004</b>	43	34 ES	76 MW	10 ES	55 MW	20 Wg	74 St
<b>2005</b>	68	43 ES	113 MW	19 ES	100 MW	41 Wg	159 St
<b>2006</b>	46	33 ES	108 MW	13 ES	59 MW	18 Wg	87 St
<b>2007</b>	32	20 ES	61 MW	9 ES	49 MW	14 Wg	61 St

<sup>\*)</sup> ETP...Eintrittspfad, ES...Einsatz, MW...Messwert, Wg...Wohnung, St...Stück

### 3. Beispiele für erfolgreichen Radonschutz

Dass es oftmals gar nicht so kompliziert ist, sich vor Radon zu schützen, ist aus Tab. 3 ersichtlich. In diesen Fällen wurde durch die Beratungsstelle die Radonkonzentration in der Bodenluft bestimmt und entsprechend allgemeiner Empfehlungen mit durchgehender Bodenplatte gebaut. Je nach Oberflächen- und Grundwasseraufkommen kam WU-Beton zum Einsatz und der Feuchteschutz wurde gemäß DIN 18195 ausgeführt. Als Radonsperre kamen PEHD-Folie oder Bitumenschweißbahn (individuelle Entscheidung der Bauherren) zum Einsatz. Wie die Ergebnisse der nach dem Einzug der Bewohner durchgeführten Jahresmessungen zeigen, konnte in diesen Fällen selbst bei teilweise hohem Radonpotential im Untergrund ein wirksamer Schutz erreicht werden.

Wie sich kleine Fehler bzw. Mängel in der Bauausführung auswirken können, soll ein Beispiel verdeutlichen. Es handelt sich um eine Doppelhaushälfte ohne Unterkellerung in ebener Lage (Baujahr 1998). Die Bodenluftradonkonzentrationen lagen zwischen 40 kBq/m<sup>3</sup> und 100 kBq/m<sup>3</sup>. Der Grundriss mit den Stellen der später erfolgten Eintrittspfadsuche ist in Abb. 6 dargestellt. Nach

Nutzungsbeginn des Hauses ließ der Bauherr mit Unterstützung des BfS eine Jahresmessung durchführen und es wurde für den Wohnbereich im Erdgeschoss eine durchschnittliche Radonkonzentration von  $800 \text{ Bq/m}^3$  festgestellt. Bei der Suche nach Eintrittspfaden (ETP) durch die Beratungsstelle der UBG wurde die in Abb. 5 dargestellte Messreihe gewonnen. Am ETP „x1“, einer offenen Bohrung von sechs Zentimeter Durchmesser durch die Bodenplatte zur Durchführung des Hauptstromversorgungskabel, wurden Radonkonzentrationen von über  $40 \text{ kBq/m}^3$  festgestellt. Eine zeitgleich durchgeführte Orientierungsmessung in ca. zwei Meter Entfernung ergab Rn-222-Werte von fast  $2000 \text{ Bq/m}^3$ . Nach Abdichtungsarbeiten, der Hauseigentümer verwendete drei Tuben handelsübliches Sanitär silikon, das er in mehreren Schichten nach und nach einbrachte, erfolgte eine zweite Jahresmessung mit drei Dosimetern im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss. Die Messergebnisse zeigen den Erfolg der Maßnahme: alle drei Werte lagen deutlich unter  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

**Tab. 3:** Beispiele für Bodenluftmessungen mit Erfolgskontrolle

Ort	Eigen-tümer	Bodenluft radon- Messung			Erfolgskontrolle mit Dosimetern		Ergebnisse in Aufenthaltsräumen [ $\text{Bq/m}^3$ ]			
		Zeit	Unter-grund	Max-Wert [ $\text{kBq/m}^3$ ]	von	bis	Keller	EG	1. OG	2. OG
Schöneheide, ebene Lage, nicht unterkell.	Privat	Sept. 2000	grüne Wiese	664	22.11.01	21.11.02	ohne	< 50	ohne	ohne
Schneeberg hanglagig, voll unterkellert	Privat	Juli 2001	grüne Wiese	117	13.05.02	13.05.03	50	< 50	ohne	ohne
DD Gittersee, ebene Lage, voll unterkellert	Privat	Oktober 2001	Bau-grube	54	23.04.03	23.04.04	50	<100	< 50	<100
Lichtenberg, starke Hang-lage, voll unterkell	Privat	April 2002	grüne Wiese	110	30.04.03	20.05.04	50	50	50	ohne
Frankenberg, ebene Lage, nicht unterkell.	Kom-mune	März 2004	grüne Wiese	94	15.04.05	13.04.06	ohne	<100	ohne	ohne
DD Nickern, ebene Lage, voll unterkellert	Privat	April 2004	Bau-grube	10	15.01.06	15.01.07	<100	<100	<100	ohne
DD Rochwitz, ebene Lage, nicht unterkell.	Privat	März 2005	grüne Wiese	170	17.02.06	21.02.07	ohne	<100	<100	ohne
Freital Burgk, hanglagig, voll unterkellert	Privat	April 2005	Bau-grube	361	19.04.06	20.04.07	<100	<100	<100	ohne

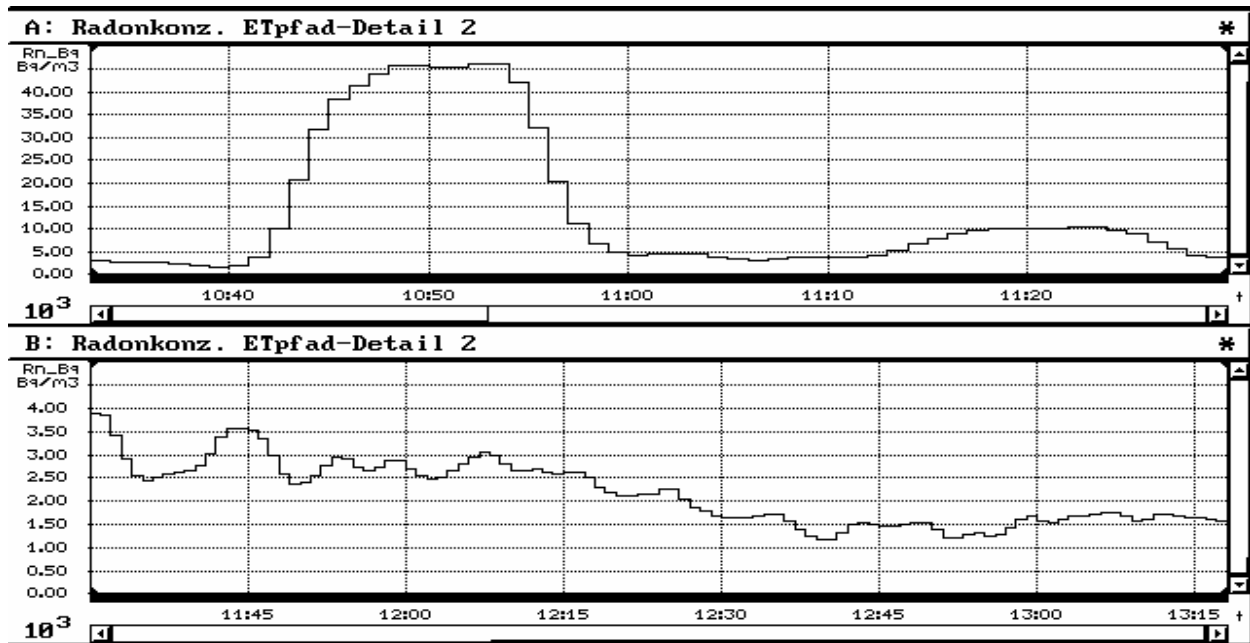


Abb. 5: Messkurve zu einer Eintrittspfadsuche

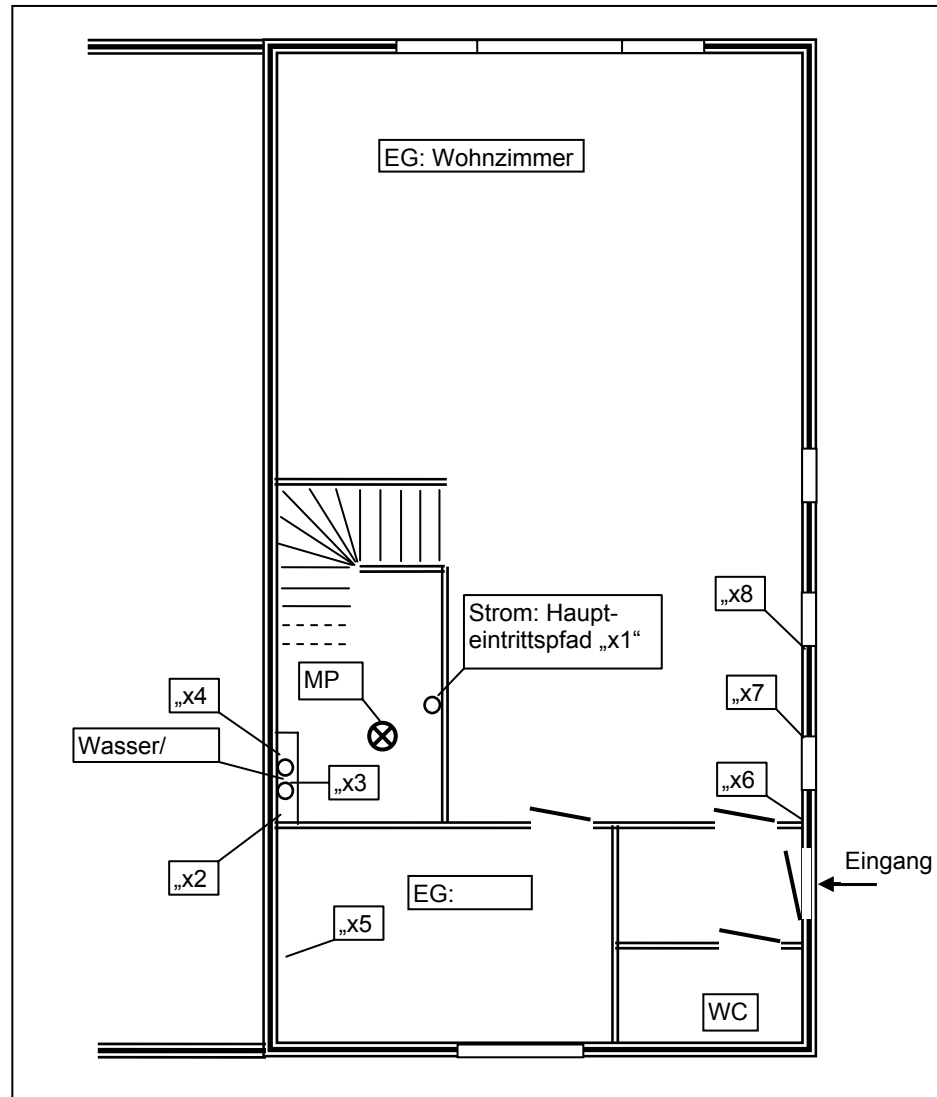


Abb. 6: Doppelhaushälfte ohne Keller

#### 4. Literaturverzeichnis

- [1] Empfehlungen der Kommission vom 21.02.1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden (90/143/EURATOM), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 27.03.1990, Nr. L 080, S. 26-28
- [2] Gesetz zum vorsorgenden Schutz der Bevölkerung gegen Strahlenbelastung (Strahlenschutzvorsorgegesetz – StrVG) vom 19. Dezember 1986 (BGBl. I S. 2610), zuletzt geändert durch Artikel 64 der Verordnung vom 31. Oktober 2006 (BGBl. I S. 2407)"
- [3] J. Kemski, R. Klingel, A. Siehl : Zusammenfassende Betrachtung von Bodenluft- und Raumluftdaten aus den Jahren 1989 - 2003, Vortragsmanuskripte des 17. Statusgesprächs zur "Forschung zum Problemkreis Radon", Berlin, 14./15.10.2004, Selbstverlag BMU 2005
- [4] W. Preuße, H. Busch: Baulicher Radonschutz in der 2. Landesmessstelle der Staatlichen Umweltbetriebesgesellschaft, 1. Sächsischer Radontag – 3. Tagung Radonsicheres Bauen, Beitrag in diesem Tagungsband
- [5] Beschluss des Sächsischen Landtages in der 37. Sitzung der 4. Wahlperiode am 08.12.2005, Drucksache 4/1391

# DIE PROGNOSE DER RADONKONZENTRATION IN GEBÄUDEN BZW. IHRER VERÄNDERUNG IST EIN KOMPLEXES OPTIMIERUNGSPROBLEM

## THE PROGNOSIS OF THE RADON CONCENTRATION IN BUILDINGS AND THEIR CHANGE IS A COMPLEX OPTIMIZATION PROBLEM

Conrady, Jürgen <sup>1)</sup>  
Guhr, Andreas <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> PreCura-Institut für Präventive Medizin e.V., Schneeberg

<sup>2)</sup> ALTRAC, Radon-Messtechnik, Berlin

### **Zusammenfassung**

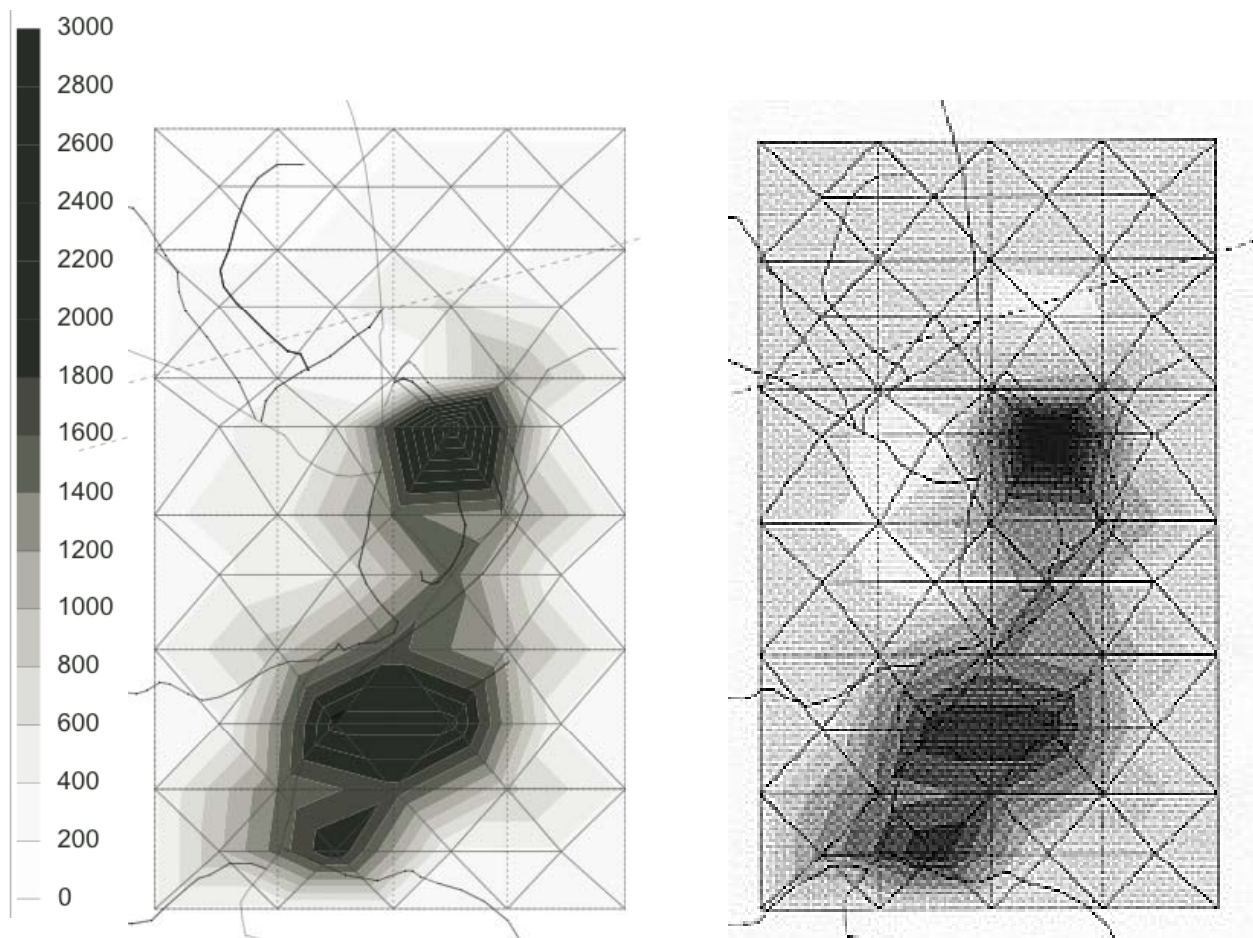
*Nach heutiger Mehrheitsmeinung ist die Radonexposition der Bevölkerung durch den Aufenthalt in Gebäuden nach dem Zigarettenrauchen die wichtigste Ursache für Lungenkrebs. Die berichteten Risikokoeffizienten bewegen sich in einem Bereich, wo insbesondere in den Regionen mit erhöhter Radonexposition der Bewohner, ein substantiell erhöhtes Erkrankungsrisiko bestehen müsste. Im Ergebnis baulicher Energiesparmaßnahmen und im Zuge der Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) ist mit einem weiteren Anstieg der Radonexposition, insbesondere in diesen Regionen, zu rechnen. Aus diesem Grund sind Maßnahmen zur Primärprävention erforderlich, die geeignet sind, dieser Entwicklung entgegenzuwirken. Dieser Artikel gibt einen kurzen Überblick über das Spektrum der einzelnen Maßnahmen, den erreichten Stand und die Probleme bei deren Realisierung. Die Ergebnisse eigener Untersuchungen zur Problematik steigender Radonkonzentrationen nach Energiesparmaßnahmen und eine mögliche Lösung dieser Problematik werden diskutiert. Die Notwendigkeit, einen Prozess der Risikokommunikation mit der Bevölkerung, Politik und Wirtschaft zu führen, wird begründet.*

### **Einführung**

Das radioaktive Edelgas Radon-222 entsteht überall im Erdreich und gelangt von dort sowohl in die freie Atmosphäre als auch in Gebäude. Wird diese Luft eingeatmet, kommt es zu einer Strahlenbelastung der Lunge. Aus Untersuchungen bei Radon exponierten Bergleuten und sowie aus Bevölkerungsstudien ist bekannt, dass dadurch Lungenkrebs ausgelöst werden kann. Weil praktisch jedes Bevölkerungsmitglied mehr oder weniger von dieser Exposition betroffen ist wird heute mehrheitlich eingeschätzt, dass die Radonexposition in Gebäuden nach dem Rauchen der wichtigste Risikofaktor für Lungenkrebs der Bevölkerung ist. Aus der Gesamtheit dieser Studien folgt, dass eine Verdopplung des spontanen Erkrankungsrisikos der Bevölkerung und damit eine wahrscheinliche Verursachung durch die Radonexposition im Expositionsbereich von 143-1000 Bq/m<sup>3</sup> erwartet werden kann. Expositionen im Bereich der Verdopplungsdosis sind in vielen Gebieten Deutschlands durchaus anzutreffen. Auch in Sachsen leben ca. 800 000 Menschen in Regionen, wo aufgrund natürlicher Ursachen bzw. auch durch den Bergbau bedingt, erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden nachweisbar sind. Diese Regionen verdienen daher besondere Aufmerksamkeit, zumal in den letzten Jahren durch Energiesparmaßnahmen an Gebäuden und zukünftig im Ergebnis der Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV 2002) mit weiter ansteigenden Expositionen gerechnet werden muss. Trotz dieser Sachlage wird das Problem der Radonexposition in Gebäuden in der Öffentlichkeit kaum wahrgenommen bzw. auch aus dem Bewusstsein verdrängt. Diese Entwicklung ist auch international bekannt und wird als „optimistic bias“ bezeichnet. Angesichts der Bedeutung der Radonexposition, auch für den Einzelnen, ist die Entwicklung eines angemessenen Problem- und Umweltbewusstseins im Rahmen einer effektiven Risikokommunikation erforderlich, um vorhandene Ängste abzubauen und zur Selbsthilfe zu motivieren.

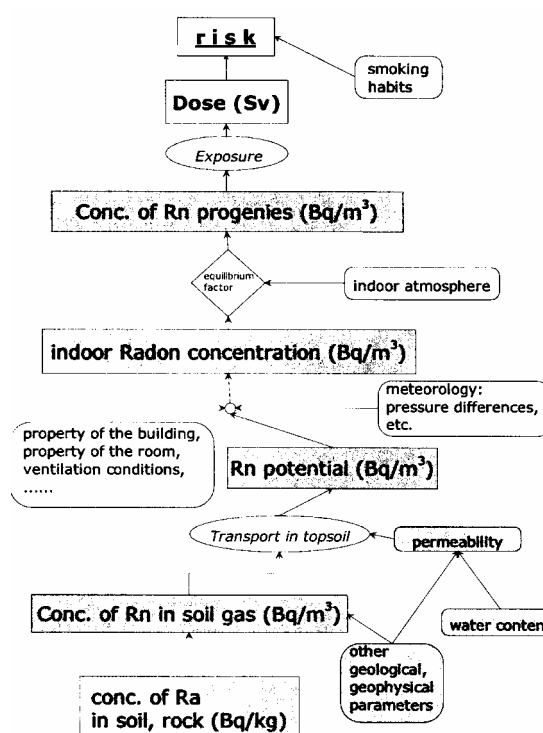
## Risikokartografie (risk-mapping) und Probleme

In den zurückliegenden Jahren wurden umfangreiche Anstrengungen unternommen, um Verfahren zur Primärprävention hoher Radonexpositionen der Bevölkerung zu entwickeln. Im Idealfall liegen direkte Messwerte der Radonkonzentration in Gebäuden möglichst engmaschig vor, mit deren Hilfe dann die räumliche Verteilung der Radonkonzentration mittels Interpolationsverfahren dargestellt werden kann. Liegen gleichzeitig die entsprechenden Gesundheitsdaten vor, können auch diese kartografisch auf der gleichen Bezugsebene dargestellt werden. Ein Beispiel für sehr engmaschige und dementsprechend kleinräumige Analysen bis hinunter zu einzelnen Straßen, Plätzen und ggf. auch Häusern zeigt die Abbildung 1. Dieser Abbildung liegen mehrer Tausend Messwerte der Radonkonzentration in Wohnungen und die im Verlauf von mehr als 40 Jahren in den Gebäuden aufgetretenen Lungenkrebserkrankungen zu Grunde.



**Abb.1:** Isopleth-Darstellung der kleinräumigen Radonverteilung (Links, 0 – 3000 Bq/m<sup>3</sup>) und des Lungenkrebsrisikos (rechts, SMR 0 - 5,5) von 1951-1990 innerhalb einer Kommune. Auffällig ist die offensichtliche räumliche Übereinstimmung zwischen der kleinräumigen (Ortsteile) erhöhten Radonexposition und dem Erkrankungsrisiko. Dargestellt als Standardmortalitätsrate (SMR). Die Standardmortalitätsraten liegen hier im Bereich von 0-5.

Aus diesen kartografischen Darstellungen folgt, dass innerhalb der betrachteten Kommune hohe Radonbelastungen nur innerhalb eng begrenzter Flächen auftreten. Nur innerhalb dieser Territorien ist auch ein moderat erhöhtes Lungenkrebsrisiko vorhanden, dass erst nach mehr als 40 Jahren Beobachtungszeit nachweisbar wird. In der Regel liegen aber derartig detaillierte Daten für große Flächen und die meisten Kommunen nicht vor. Hier werden anhand von Surrogatmessungen (Bodenradonkonzentration) das Bodenradonpotential und die mögliche Belastung in Häusern ermittelt und kartografisch dargestellt. Eine Korrelation zwischen der Bodenradonkonzentration und der Radonkonzentration in Gebäuden war auf höherer Aggregationsebene durchaus nachweisbar, war aber deutlich schwächer, wenn auf die einzelnen Häuser abgestellt wurde. Selbst zwischen unmittelbar benachbarten Häusern sind große Unterschiede durchaus nicht selten. Die wahrscheinliche Ursache dafür ist in der Vielzahl möglicher Einflussfaktoren und ihren Wechselwirkungen zu sehen, die den Prozess von der Entstehung des Radons im Boden und den Transport in das Gebäude, möglicherweise auch wechselseitig, beeinflussen und bisher nicht vollständig in den entsprechenden Modellen integriert sind (Abb. 2).

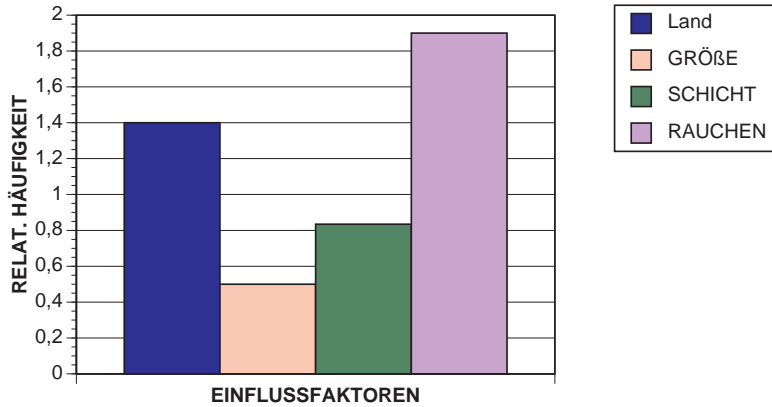


**Abb.2:** Lungenkrebsrisiko durch die Radonexposition in Gebäuden als Ergebnis der Wirkung verschiedener Faktoren auf die Bodenradonkonzentration, Gebäudeeigenschaften und meteorologischen Bedingungen auf den Transport in das Gebäude und indoor-Bedingungen auf den Gleichgewichtsfaktor, freier Anteil an potenzieller Alphaenergie und letztlich die effektive Dosis. (G.DUBOIS, P. BOSSEV, 2006)

## Radonexposition in Gebäuden und der Einfluss soziodemografischer und konstruktiver Merkmale

Geht man zunächst davon aus, dass die Bodenradonkonzentration für zwei benachbarte Häuser relativ konstant ist, ist, könnten die oft zu beobachtenden Unterschiede in der Radonkonzentration zwischen diesen Häusern auf die Hauseigenschaften und das Nutzungsverhalten der Bewohner zurückgeführt werden. In den nachfolgenden Abbildungen ist die Abhängigkeit der Radonkonzentration von einigen Faktoren dargestellt. Diesen Analysen liegen Zufallsstichproben von Wohnungen aus den neuen Bundesländern und Sachsen zu Grunde. Die nachfolgende Abbildung 3

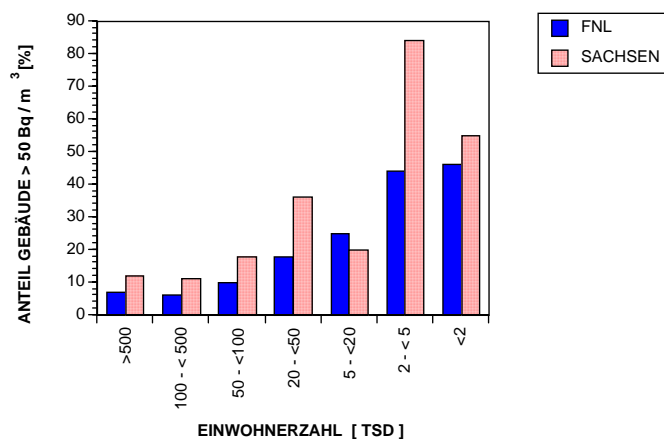
zeigt das Relative Risiko, in einer Wohnung mit höherer Radonexposition ( $> 50 \text{ Bq/m}^3$ ) zu leben in Abhängigkeit vom Bundesland, der Gemeindegrößenklasse, der Zugehörigkeit zu einer bestimmten sozialen Schicht und dem Rauchverhalten der Bewohner.



**Abb.3:** Risikofaktoren für eine erhöhte Radonkonzentration in Wohnungen. Ergebnisse einer konditionalen logistischen Regressionsanalyse ( $n = 1462$ ).

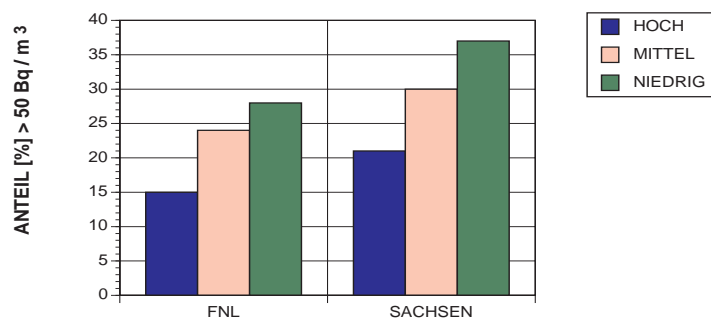
Wesentliche, signifikante Einflussfaktoren sind hier:

- die Lokalisation der Wohnung in einem bestimmten Bundesland mit Nord-Süd-Gradient und höheren Expositionen im Süden, beispielsweise Sachsen (Abb.4);
- die Gemeindegrößenklasse, hier mit höheren Expositionen in kleineren Gemeinden (Abb.4);
- die Zugehörigkeit zu einer bestimmten sozialen Schicht mit höheren Expositionen bei niedriger Schichtzugehörigkeit (Abb. 5);
- das Rauchverhalten, hier mit höherer Exposition in Wohnungen wo geraucht wird.



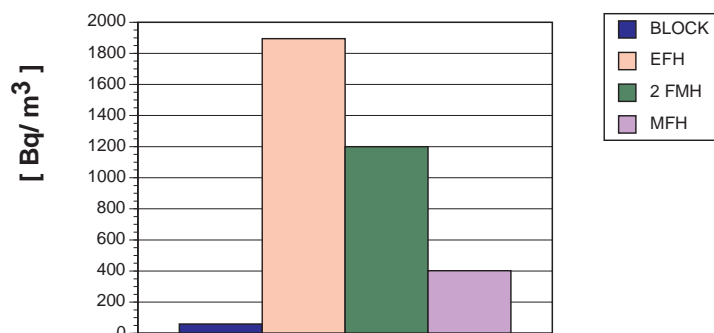
**Abb.4:** Anteil der Gebäude mit mehr als  $50 \text{ Bq/m}^3$  Radon in der Raumluft in Sachsen und den fünf Neuen Ländern. In kleineren Gemeinden und in Sachsen ist die mittlere Radonexposition höher



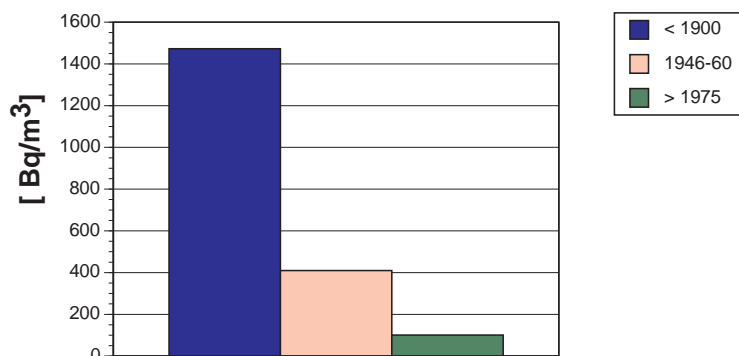


**Abb. 5:** Anteil höher exponierter Gebäude in Sachsen ( $n = 452$ ) und den Neuen Ländern ( $n = 1462$ ) in Abhängigkeit von der sozialen Schichtzugehörigkeit. Bei niedriger sozialer Schichtzugehörigkeit ist die Radonexposition am höchsten. Die Angehörigen aller sozialen Schichten in Sachsen sind im Vergleich zu den Neuen Ländern höher exponiert

Weitere Faktoren, die mit einer höheren Radonkonzentration in Wohnungen im Zusammenhang stehen sind der Haustyp und das Gebäudealter (Abb. 6 und Abb. 7).



**Abb. 6:** Durchschnittliche Radonkonzentration in Abhängigkeit vom Haustyp am Beispiel einer Wohngebäudestichprobe aus dem Landkreis Aue/Schwarzenberg.



**Abb. 7:** Darstellung der durchschnittlichen Radonkonzentration in Wohngebäuden einer Stichprobe aus dem Landkreis Aue/Schwarzenberg in Abhängigkeit vom Alter der Gebäude.

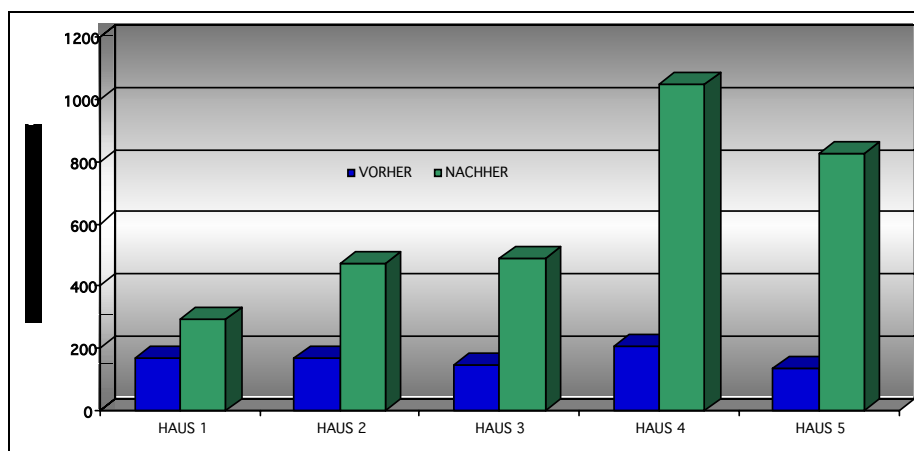
## Die Auswirkungen von konstruktiven Gebäudeeigenschaften und baulichen Energiesparmaßnahmen auf die Radonkonzentration in Gebäuden

Der Einfluss bestimmter Gebäudeeigenschaften auf die Radonkonzentration im Inneren von Gebäuden wurde in vielen Untersuchungen analysiert. Demnach werden erhöhte Innenraumkonzentrationen des Radons bei Vorliegen folgender Gebäudeeigenschaften begünstigt:

- Einfamilienhäuser im Vergleich zu Mehrfamilienhäusern;
- bei fehlender und insbesondere bei nur teilweiser Unterkellerung;
- bei nicht betonierten Kellerböden aus Naturstein oder Lehm;
- bei hoher Radonexhalation aus dem Baugrund (Bodenpermeabilität);
- Erdgeschossdecken mit schlechter Isolierung zum Keller bzw. Baugrund;
- Abdichtung und Einschränkung des Luftaustausches, z.B. durch Einbau neuer Fenster;
- Kellerzugang im Haus;
- Feuerstätten im Erdgeschoss;
- seltenes Lüften;
- energieeffiziente Bauweise.

Der Betrieb einer mit Öl oder Gas betriebenen Zentralheizung mit Außenluftzufuhr, eine Wärmerückgewinnungsanlage bzw. ein Gebäude mit Klimaanlage führen dagegen in den meisten Fällen zu einem Abfall der Radonkonzentration im betreffenden Gebäude. Die Betonierung des Kellerbodens wirkt einer durch Abdichtung des Gebäudes verursachten Zunahme der Radonexposition entgegen (B. Levesque et al. 1997; J.A. Gunby et al. 1993; L.J. Arnold 1990; B.L. Cohen 1991; E.L. Fisher 1998; K.Fujimoto et al. 1990; J.K.C. Leung et al. 1998; F. Marley 1999; I. Mäkeläinen et al. 2001; G.A. Swejdjemark et al. 1990; F. Wang et al. 1999; R. Buchli et al. 1989; Holub et al. 1985; S.P. Naismith et al. 1998).

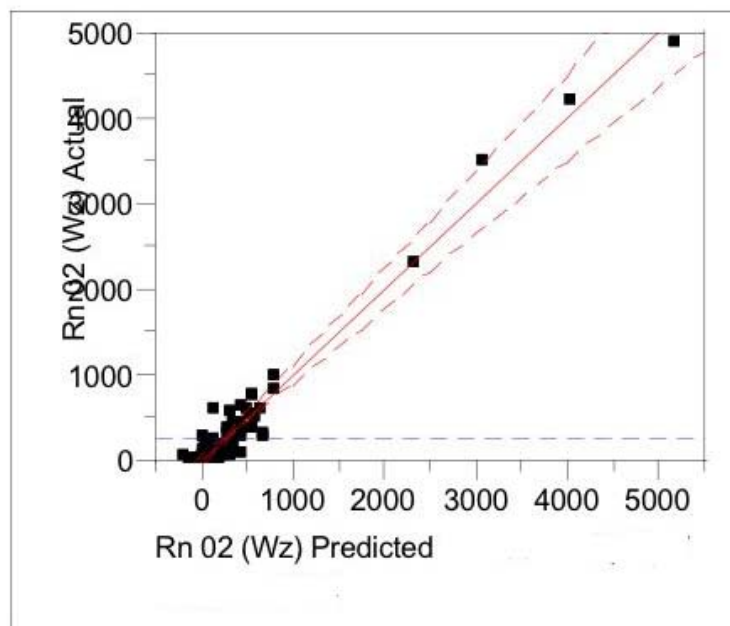
Bedingt durch steigende Energiekosten sowie Maßnahmen zur Minderung der CO<sub>2</sub>-Emission werden Gebäude in zunehmendem Maße abgedichtet. Die Folgen derartiger Maßnahmen können steigende Innenraumkonzentrationen von Radon sein. Studien aus den USA zeigen, dass die Radonkonzentration in energieeffizienten Häusern im Vergleich zu Häusern in konventioneller Bauweise 3 bis 10 Mal höher sein kann. Das Wohnen in energieeffizienten Häusern könnte somit ein erhebliches Gesundheitsrisiko darstellen (R.L. Fleischer et al. 1983; R.W. Field et al. 1993; R. Budnitz et al. 1979; A.V. Nero et al. 1983; C.T. Hess et al. 1985). In eigenen Untersuchungen wurde mehrere Jahre die Radonkonzentration in den gleichen Wohnungen wiederholt gemessen. In Gebäuden, die baulich nicht verändert wurden, ist die Radonkonzentration relativ konstant geblieben. Im Ergebnis von baulichen Veränderungen der Gebäude ist die Radonkonzentration dagegen von 1989 bis 1996 in vielen dieser Wohnungen deutlich angestiegen (Abb.8), während sie in anderen Wohnungen trotz Rekonstruktionsmaßnahmen unverändert geblieben ist oder sogar abgenommen hat.



**Abb.8:** Beispiele für einen Anstieg der Radonkonzentration in Wohnungen nach energetischer Gebäudesanierung

In ca. 50 % der Fälle war die Radonkonzentration im Bereich von 25 – 1.000 % angestiegen, mit dem Ergebnis, dass in einzelnen Fällen sehr hohe Radonkonzentrationen aufgrund der bereits hohen Ausgangswerte aufgetreten sind.

Diese Ergebnisse zeigen, dass die Radonkonzentration in einem Gebäude (vgl. Abb. 3) offensichtlich im bedeutenden Umfang auch von den Gebäudeeigenschaften selbst und deren Veränderung in komplexer Weise beeinflusst wird. Demzufolge waren Versuche, die Radonkonzentration in Gebäuden mit Hilfe einzelner Gebäudeparameter zu erklären bislang wenig erfolgreich. Verschiedene Autoren berichten über eine hohe Variabilität der Radonkonzentration zwischen einzelnen Gebäuden, die z.B. bei energieeffizienten Häusern bis zum Faktor 8 betragen kann und nicht mit Unterschieden in der Luftaustauschrate korreliert. Dieser Zusammenhang ist nur nachweisbar, wenn die Rate des Radoneintritts in die Gebäude vergleichbar ist (A.V. Nero et al. 1983; R.G. Mc Gregor et al. 1985). In einer komplexen und teilweise stratifizierten Analyse (multivariate Varianzanalyse) zur Kontrolle von Confoundereffekten unter Einbeziehung geologischer und verschiedener Hausparameter, wurden Ursachen für die Variabilität der Radonkonzentration in Gebäuden anhand des Ist-Zustandes dieser Gebäude analysiert. Im Ergebnis der Analyse wurde festgestellt, dass nur ca. 5% der o.g. Variabilität der Radonkonzentration durch geologische Faktoren zu erklären sind. Werden die Variablen, welche die Hauseigenschaften beschreiben, in diese Analyse einbezogen, steigt der Anteil der erklärten Variabilität auf ca. 15-18 % (B. Levesque et al. 1997). In vergleichbaren Studien wird dieser Anteil mit 22-40 % angegeben (Gunby et al. 1993, J. Kemski et.al. 2006)). In der Konsequenz bedeutet dies, dass die wesentlichsten Ursachen für die Variabilität der Radonkonzentrationen in Gebäuden nicht bekannt sind. Studien, die Ausgangs- und Endzustand der Radonkonzentration nach Umbauarbeiten an gleichen Gebäuden und den Beitrag einzelner Rekonstruktionsmaßnahmen zu möglichen Veränderungen beschreiben (gepaarte Stichprobe), sind dagegen bisher nicht bekannt geworden. Ausgehend von unseren eigenen Daten, wurden daher ca. 200 Gebäudevariable und ihre Veränderung im Zeitraum von 1989-2002 an einer mehrere hundert Häuser umfassenden Stichprobe mittels eines standardisierten Fragebogens und Interviews erhoben. Unter Beachtung der bisherigen Erfahrungen bei der Prognose der Radonkonzentration anhand einzelner Gebäudeparameter, wurde der Datensatz mit mehrdimensionalen statistischen Verfahren ausgewertet, um den Beitrag einzelner Rekonstruktionsmaßnahmen und Wechselwirkungen sowohl qualitativ als auch quantitativ zu der Veränderung der Radonkonzentration nach der Rekonstruktion zu beschreiben. Dabei wurde grundsätzlich der Ausgangs- und Endzustand des gleichen Gebäudes verglichen. In die Auswertung gingen zunächst alle Variablen ein, von denen die Wesentlichsten im Ergebnis der Analyse identifiziert wurden. So wurde gezeigt, dass Veränderungen der Radonkonzentration nach energetischen Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden in einem engen quantitativen und qualitativen Zusammenhang mit einzelnen Rekonstruktionsmaßnahmen stehen. Der durch das Modell erklärte Anteil der Varianz ist mit 95% sehr hoch (Abb.9).



**Abb. 9:** Vergleich der gemessenen Radonkonzentration in Wohnungen (y-Achse) zu der Radonkonzentration, die mit dem Prognosemodell für die gleiche Wohnung berechnet wurde (x-Achse-Predicted).

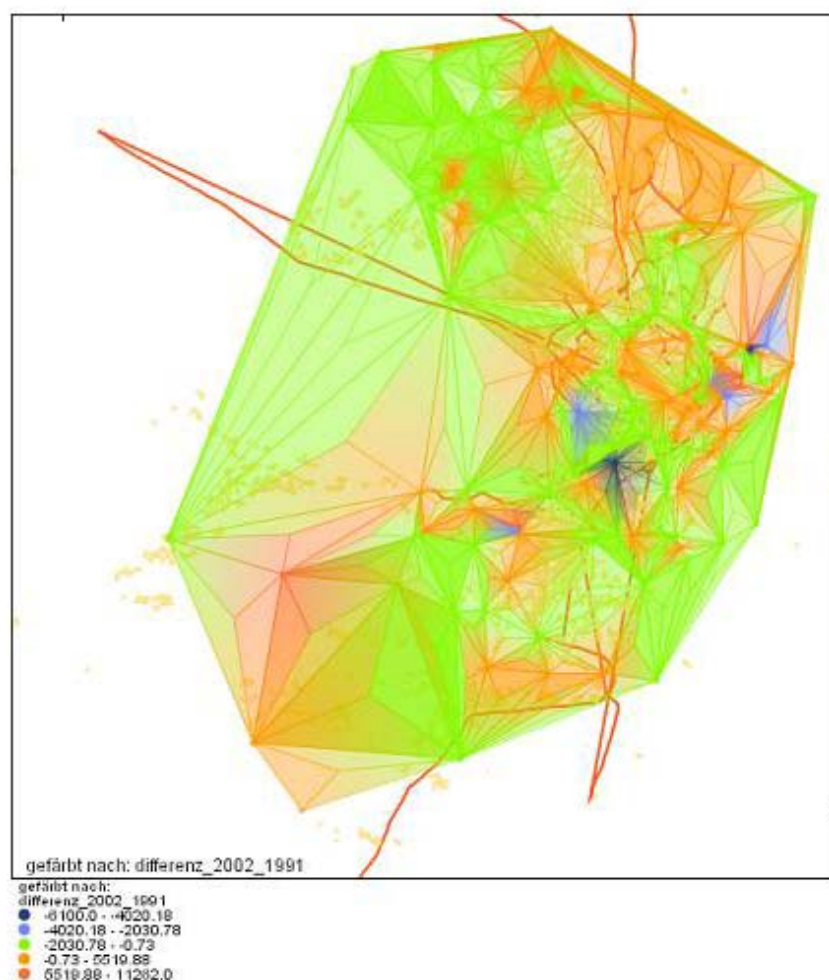
Die durch die Gebäuderekonstruktion bedingte absolute Veränderung der Radonkonzentration wird dabei durch die folgende Beziehung beschrieben:

$$[\text{RADON}_{\text{nachher}}] = \text{Intercept} + [ a \cdot (\text{RADON}_{\text{vorher}}) \pm \text{Faktoren} ]$$

Mit der gleichen Methode kann auch die relative Veränderung der Radonkonzentration zum Ausgangswert beschrieben werden. Die Faktoren stehen für die einzelnen Rekonstruktionsmaßnahmen z.B. Ersatz von Fenstern mit Einfachverglasung durch Isolierfenster (+), Ersatz der Ofenheizung durch Fernheizung (-). Diese Ergebnisse unterstreichen die Notwendigkeit, möglichst viele der Einflussfaktoren, von denen die Höhe der Radonkonzentration in einem Gebäude abhängt in die einzelnen Stufen der Risikoanalyse einzubeziehen. Mit diesem Verfahren kann ein hoher Anteil der Variabilität der Radon-Messwerte vor und nach der Sanierung erklärt werden. Prinzipiell können Rekonstruktionsmaßnahmen so geplant werden, dass deren potenziell negativen Auswirkungen auf die Radonkonzentration begrenzt werden können. Andererseits können durch gezielte Ergänzungen, könnten bereits eingetretene Erhöhungen der Radonkonzentration gesenkt werden. Dieses Modell bietet weitere Entwicklungsmöglichkeiten um individuelle Aussagen mit hoher Sicherheit zu ermöglichen. Bislang wurden aus der Vielzahl der Einflussgrößen zehn wesentliche isoliert. Die weitere Qualifizierung des Prognose-modells im Sinne der Aufgabenstellung wird für dringend erforderlich gehalten. Die im Ergebnis der Untersuchungen momentan vorliegende Version des Prognosemodells ist daher zum gegenwärtigen Zeitpunkt vorerst nur für Fachleute geeignet, die über die erforderlichen Kenntnisse hinsichtlich der Bewertung und Untersuchung von Gebäuden aus der Sicht der Bauphysik, Bauplanung, Energieeffizienz und Radonthematik verfügen.

## Risikokommunikation

Das eingangs erwähnte, an der Gesundheitsvorsorge orientierte Schutzkonzept zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung wird nur dann erfolgreich umgesetzt werden können, wenn eine breite Kommunikation mit der Bevölkerung erreicht wird und auf diese Weise deren Risikobewusstsein sensibilisiert wird. Das „Radonproblem“ wird momentan in der öffentlichen Wahrnehmung nicht adäquat wiedergespiegelt. Aus der internationalen Literatur ist dieses Problem als s.g. „optimistic bias“ bekannt. Die Menschen verdrängen ein für sie als potentielle Bedrohung empfundenen Problem u.a. auch deshalb, weil sie es für nicht lösbar halten und neigen daher auch zu dessen Bagatellisierung. Hier sollte der Kommunikationsprozess ansetzen, in dem nicht nur die Sensibilität für diese Problematik entwickelt wird, sondern auch gleichzeitig damit das Wissen, wie durch eigenes Handeln dieser potenziellen Bedrohung begegnet werden kann, vermittelt werden kann. Dieser Kommunikationsprozess sollte zunächst mit der Bevölkerung, Politik und Wirtschaft in den Regionen geführt werden, wo erhöhte Radonbelastungen auftreten und durch bauliche Energiesparmaßnahmen an Gebäuden ein erheblicher Expositionsanstieg erwartet werden kann. Ein Beispiel für eine derartige Entwicklung zeigt die Abbildung 10.



**Abb.10:** Veränderung der Radonkonzentration von 1991 zu 2002 im Gebäudebestand einer Kommune. Dargestellt sind die Differenzen der Radonkonzentration. In den blauen Bereichen ist die Radonkonzentration zurückgegangen, während sie von Grün nach Orange teilweise erheblich angestiegen ist. Diese Effekte sind hauptsächlich auf die im Beobachtungszeitraum durchgeführten baulichen Energiesparmaßnahmen an den Gebäuden zurückzuführen.

Die Kommunikation des Radonrisikos mit dem Ziel, bei den betroffenen Bürgern ein dementsprechendes Risikobewusstsein und eine Motivation zu gesundheitsfördernden Handlungsweisen zu erzeugen, ist, wie die Literaturberichte gezeigt haben, ein sehr komplexer Prozess. Dieser Prozess scheint um so aussichtsreicher zu sein, je mehr es gelingt, die Ebene der persönlichen Interessen (Hausan- und -verkäufe, Mietverhältnisse, Gefährdungen am Arbeitsplatz und Emotionen, Gefährdung der Kinder) anzusprechen und den Betroffenen Handlungsmöglichkeiten zu eröffnen, die ihnen ihre eigene Handlungskompetenz verdeutlichen.

Faktoren, die eine positive Wirkung auf die Entwicklung eines Risikobewusstseins und gerichtetes Handeln ausüben sind u.a.:

- ausgeprägtes Umweltbewusstsein;
- jüngeres Lebensalter;
- weibliches Geschlecht;
- höheres Risikobewusstsein;
- Qualität (Verständlichkeit des Info-Materials);
- Kleinkinder im Haushalt.

### **Schlussfolgerungen**

- Die Identifizierung und Qualifizierung von Territorien, wo mit erhöhten Radonbelastungen in Gebäuden zu rechnen ist, ist eine wirksame Maßnahme zur Primärprävention möglicher Gesundheitsrisiken.
- Die Identifizierung kleinräumiger Risikogebiete und dementsprechender einzelner Gebäude ist wahrscheinlich nur möglich, in dem der ganze Komplex der bekannten Einflussfaktoren einbezogen wird.
- Das „ökologische Paradoxon“ den Klimaschutz durch Energiesparmaßnahmen an Gebäuden mit einer Gesundheitsgefährdung durch erhöhte Radonexpositionen der Bevölkerung zu erreichen, bedarf einer Lösung.
- Angesichts dieser Problematik muss das Radonproblem stärker in den Focus der öffentlichen Wahrnehmung gestellt werden.
- Wichtigster Bestandteil dieser Aktivität ist die Kommunikation des Problems, indem die öffentliche Wahrnehmung und Handlungsbereitschaft gefördert und vor allem die Überzeugung bei den einzelnen betroffenen Bürgern entwickelt wird, sich selbst und andere schützen zu können.
- Schwerpunkt aller Aktivitäten sollten zunächst die Regionen sein, wo gegenwärtig und im Zuge der Umsetzung der Klimaschutzziele in Zukunft die höchsten Expositionen zu erwarten sind.

# BEISPIELE VON RADONSANIERUNGEN BEI ALTBAUTEN

## EXAMPLES OF RADON RENOVATION WITH OLD BUILDINGS

Hans-Georg Henjes

Bergsicherung Schneeberg GmbH

### **Zusammenfassung**

*Albauten sind durch ihre Bauweise nicht radondicht. An Beispielen wird gezeigt, wie durch Kombinationen von nachträglichen Abdichtungsmaßnahmen mit Luftdrainagen vorgefundene Radonkonzentrationen hinreichend gesenkt wurden. Die Luftdurchspülungen von Gründungsbauteilen bzw. des Baugrundes erfolgten dabei über elektrisch angetriebene Ventilatoren oder die Nutzung natürlicher Druckunterschiede - den Kamineffekt. Den komplexen Wirkungen von Radonmigration kann durch eine selektive, empirische Lösungsfindung begegnet werden.*

### **Summary**

*Old buildings are not radon-tight by the construction method. At examples it is show how found radon concentrations could be enough lowered by combination of later sealing measures with aerial drainages. The aerial drainages of foundation components or the development site were made by electrically powered fans or the use of natural pressure differences – the chimney effect. The complex effects of radon migration can be opposed by a selective, empiric solution.*

## **1. Einleitung**

Die Notwendigkeit des Schutzes von Bauwerken vor Migrationseinflüssen von mehr oder weniger mit Radon belasteter Bodenluft rückt in wachsendem Maße in das gesellschaftliche Interesse. Interdisziplinäre Untersuchungen weisen darauf hin, dass erkannte Gesundheitsgefährdungen durch die Einwirkung radonhaltiger Luft auch bauliche Gegenmaßnahmen erfordern. Bei Neubauten ist dies mittels Anwendung bekannter technischer Lösungen bereits Stand der Technik. Albauten hingegen erfordern Einzellösungen, die auf die anzutreffenden Bedingungen zugeschnitten sein müssen. Ohne detaillierten Nachweis ist sicher leicht nachvollziehbar, dass bei Albauten Problemstellungen der Beseitigung von Radonkonvektion fassettenreich zu lösen sind. In allen bisher sanierten Albauten waren zur Beseitigung bzw. Verminderung der Radonkonvektion Kombinationslösungen von nachträglichen Abdichtungs- mit belüftungstechnischen Maßnahmen erforderlich. Letztere dienten zur Erzeugung von Druckunterschieden für die Rückhaltung bzw. Verdünnung der eindringenden, radonhaltigen Bodenluft. Anhand von 3 Beispielen sollen entsprechende Kombinationslösungen dargestellt werden. Die Bergsicherung Schneeberg GmbH als bauausführender Betrieb für die Radonsanierung entwickelte in Zusammenarbeit mit den Firmen GEOPRAX Chemnitz [1] und Altrac Radonmesstechnik Berlin [2], die auch die messtechnischen Leistungen beisteuerten, gemeinsam die Sanierungslösungen.

## **2. Sanierungsfall 300 Jahre altes Wohngebäude in Schneeberg**

Das Gebäude liegt in einem Gebiet mit erhöhter Radonbelastung und wurde auf einer Altbergbauhalde errichtet. Unter dem Gebäude befinden sich oberflächennahe bergmännische Auffahrungen. Baugrund und teilweise das verwendete Baumaterial für Gründung und Keller,

bestehend aus Bruchsteinen, tragen Radon in das Bauwerk ein. Die Holzdielung im Erdgeschoss befindet sich direkt über einer Erdschüttung. Typisch für die Bauweise in dieser Zeit in Schneeberg wurde das Haus mit einem Bruchsteingewölbe teilunterkellert. Als maßgebliche Radoneintrittspfade wurden erkannt:

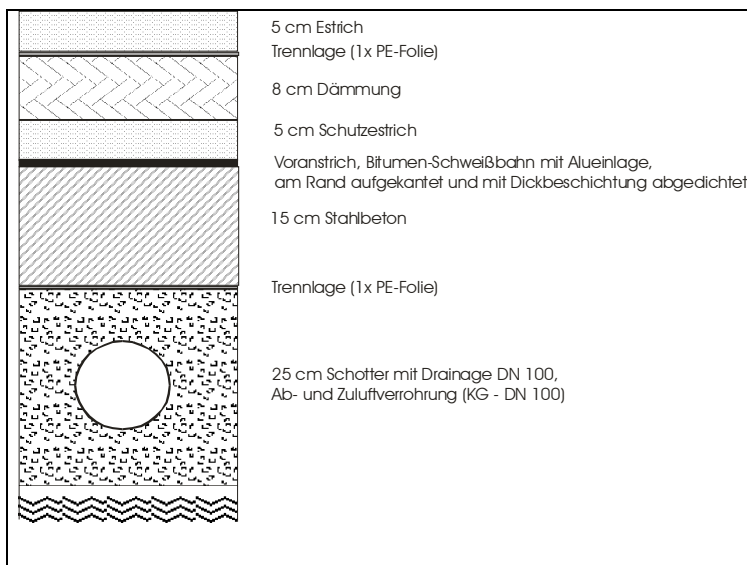
- undichte Fugen des Bruchsteinmauerwerkes im Keller
- Radonexhalation der Bruchsteine
- Bodenradonmigration aus Erdaufschüttung unter Holzdielung im EG  
Kellerzugang aus dem Wohnbereich

In Tabelle 1 sind die Mittelwerte der Langzeitmessungen der Radonkonzentrationen in den einzelnen Wohnräumen dargestellt.

**Tab. 1:** Gemessenen Radonkonzentrationen vor der Sanierung (Messzeit: 1Monat) [2]

Raum	Belastung
Sanierungsraum EG	2.700 Bq/m <sup>3</sup>
Mittelzimmer EG	3.650 Bq/m <sup>3</sup>
Wohnzimmer EG	3.500 Bq/m <sup>3</sup>
Küche EG	3.270 Bq/m <sup>3</sup>
Bad EG	1.800 Bq/m <sup>3</sup>
Zimmer 1 DG	1.100 Bq/m <sup>3</sup>
Bad DG	1.230 Bq/m <sup>3</sup>
Zimmer 2 DG: Standort 1	530 Bq/m <sup>3</sup>
Zimmer 2 DG: Standort 2	850 Bq/m <sup>3</sup>
Kellergewölbe	24.500 Bq/m <sup>3</sup>

Altgebäude ohne Unterkellerung erforderte Lösungen mit zwei Teilwirkungsansätzen. Die Bergsicherung Schneeberg GmbH empfiehlt eine bereits mehrfach erfolgreich erprobte Kombinationslösung von Belüftung des Gebäudeunterbaus mit einer Radonabdichtung des Erdgeschossfußbodens. Dazu musste der bestehende Holzfußboden abgebrochen und eine neue Betonbodenplatte eingebaut werden. Diesem Prinzip entspricht der nachfolgend skizzierte Fußbodenaufbau:



**Abb. 1:** Schematische Darstellung Fußbodenaufbau [2]





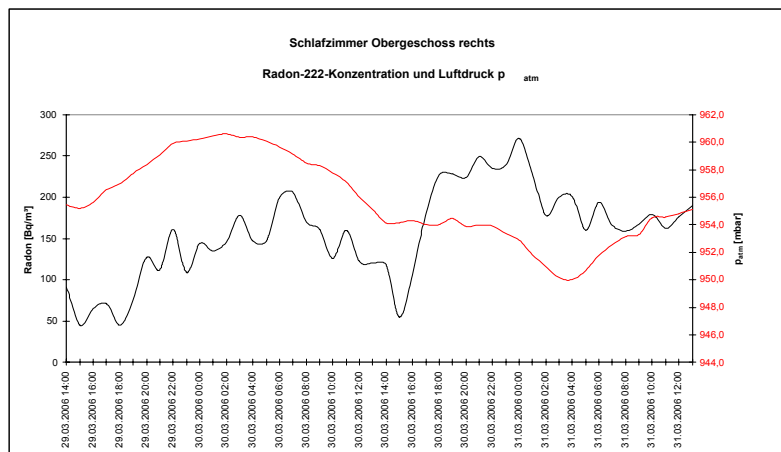
**Abb. 3:** Drainageröhre in der Schotterschüttung [2]



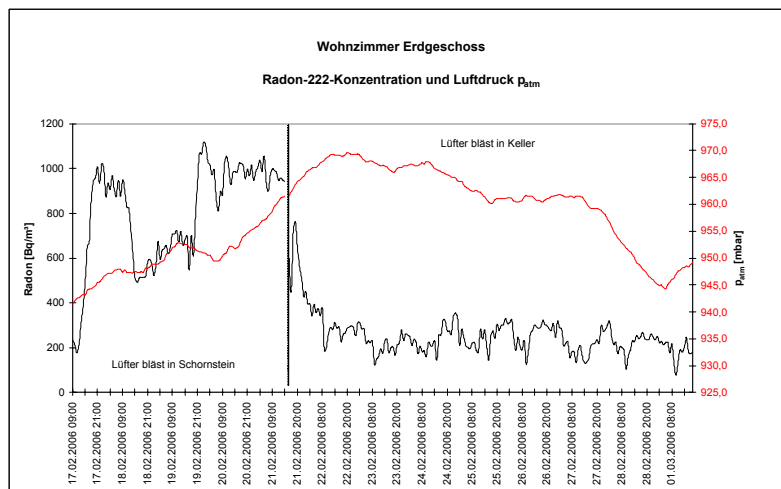
**Abb. 2:** radondichte Falltür [2]

Der Gewölbekeller wurde lediglich durch einen Rohrlüftereinbau am Schornsteinzug mit einer Leistungsaufnahme von 20 W belüftet. Der Zugang zum Keller konnte mit einer radondichten Falltür abgedichtet werden. Mit dem Lüfter, der in den Keller bläst, entsteht ein Überdruck, der die Radonkonvektion stark unterbindet. Die dichte Kellertür, siehe dazu Abb.3, minimiert den Radoneintritt in den Wohnbereich.

Messreihen zur Erfolgskontrolle ergaben, dass die Radonkonzentration in allen Räumen ohne die künstliche Belüftung des Gewölbekellers bereits auf mittlere Werte um 250 Bq/m<sup>3</sup> sanken. Siehe Abbildung 4.



**Abb. 4:** Radonkonzentration nach Sanierungsabschluss [2]



**Abb. 5:** Verlauf der Radonkonzentration bei verschiedenen Belüftungsvarianten [2]

Eine weitere Senkung der Radonkonzentration entsteht bei Inbetriebnahme des Lüfters im Keller. Abbildung 5 zeigt die Messwerte. Es stellt sich bei Erzeugung eines geringen Überdruckes bereits eine Senkung der Radonkonzentration auf einen Bereich um  $200 \text{ Bq/m}^3$  ein.

Die Anschaffungskosten für die Rohrlüfter und der Einbau belaufen sich auf ca. 450 €. Die entstehenden Energiekosten können durch ein an die Wohnungsnutzung angepasstes Belüftungszeit-Regime optimiert werden. Die Kosten für die Radondrainage unter und die Sperrmaßnahmen auf der Bodenplatte im nichtunterkellerten Hausbereich betragen ohne Erd- und Betonarbeiten ca. 4.000 €. Durch die Radonsanierung erhielt das Wohnhaus als Nebeneffekt eine trockene, wärmegeämmte und tragfähige Stahlbeton-Bodenplatte, die natürlich entsprechende Kosten verursachte.

### 3. Sanierungsfall Waldblickschule in Freital

Im Schulgebäude wurden bei Messungen im Bereich von einigen Klassenzimmern und anderen Räumen im Erdgeschoss erhöhte Radonkonzentrationen festgestellt. Kernbohrungen zur Erkundung des Baurundes ergaben, dass sich unter diesen Klassenzimmern ein mit Haldenmassen aufgefüllter und stark verdichteter Bereich befand, der für einen ursprünglich geplanten Keller zur Bauzeit bereits ausgehoben war. Entlang der Außenwand verläuft unter den Klassenzimmern ein Heizungskanal.

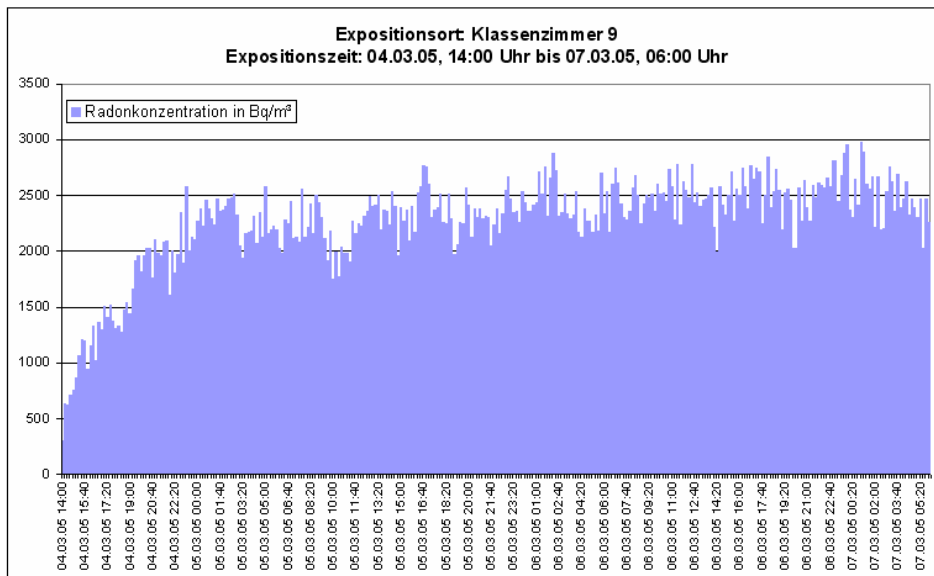


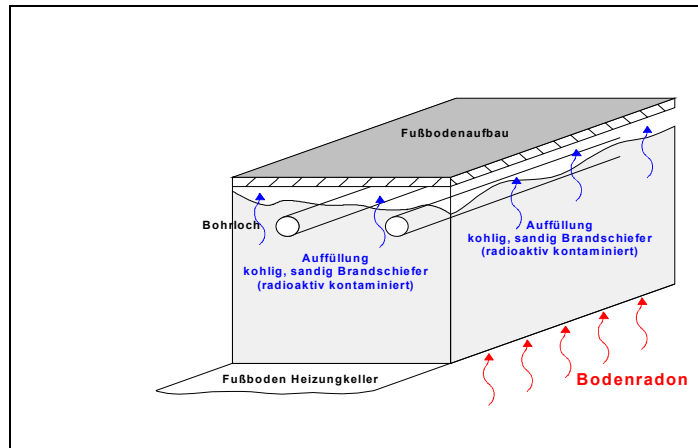
Abb. 6 : Beispiel einer Langzeitmessung der vorgefundenen Radonkonzentration [1]

Tab. 2: Bodenradonpotential im Außenbereich [1]

Messpunkt	Radonkonzentration in $\text{kBq/m}^3$	
	Mittelwert	Maximum
MP 1	40,6	49,9
MP 2	41,0	49,4
MP 3	3,2	6,6
MP 4	39,1	45,0
MP 5	28,0	29,8
MP 6	54,0	64,7

Die Planung für die Radonsanierung sah Durchörterungen unter der Bodenplatte zwecks Einbaus einer Radondrainage mittels Einpressen von Drainagerohren vom Heizkanal aus vor. Die nicht

erwartete Dichte des Unterbaus ließ jedoch einen Rohrvortrieb nicht zu. So blieb nur die Alternative, horizontale Bohrungen einzubringen.



**Abb. 8:** Sanierungsprinzip [1]

Raum für die Aufstellung der erforderlichen Bohrausrüstung bot nach operativer Entscheidung nur der Heizungskeller. Von dort aus erfolgten 5 Stück, 16 m tiefe Horizontalbohrungen mit Durchmesser bis 11,5 cm im Abstand von 90 cm in Längsrichtung des Gebäudes direkt unter der Bodenplatte. In die Bohrungen konnten anschließend stabile, und fest verschraubbare Brunnenfilterrohre als Drainagerohre eingelegt werden. Im Heizungskeller erfolgte eine dichte Verbindung der Drainagerohre mit HT-Rohleitungen DN 100, in der je Strang ein Rohrlüfter sitzt. Die einzelnen Stränge wurden anschließend verbunden und führen über einen Lichtschacht im Keller nach außen. Dort erfolgt die Frischluftansaugung. Zur Erzeugung eines Überdruckes blasen die Lüfter unter die Bodenplatte. Die belastete Bodenluft weicht dadurch in den Heizungskanal und andere luftdurchlässige Bereiche des Gebäudes aus. Diese Strömungswirkung wurde messtechnisch nachgewiesen. Zur definierten Führung der Abluft erfolgte die Abdichtung der Zugangsdeckel zum Heizungskanal und anderer gefundener Radoneintrittspfade in das Erdgeschoss. Mit der damit gesteuerten Luftströmung im Heizungskanal konnte die Abführung der Abluft durch ein Fallrohr der Dachentwässerung über Dach erfolgen. Zur zusätzlichen Erzeugung einer Saugwirkung im Heizungskanal wurden beide Öffnungen des Kanals im Heizungsraum hermetisch verschlossen.



**Abb. 9:** Verbundene Drainagerohrleitungen mit eingebauten Rohrlüftern

Ort	Rn-Konz.	Bemerkungen
Raum 8	135	Fensterseite, linke Ecke ,Abgang Heizungsrohr und Verteilerkasten im Kanal, Zugang im Fußbodenbereich
Raum Hausmeister	203	Kanalzugang Süd in der Ecke zur Außenwand
Keller 1.UG	105	Kanalzugang Nord Ecke Durchgangsbereich
Keller 1.UG	16	Versorgungszugang Gas an der Außenwand
Keller 1.UG	57	Versorgungszugang Wasser an der Außenwand
Keller 2.UG	39	hinterer Bereich, Schornsteinzug
Keller 2.UG	52	

**Abb. 10:** Radoneintrittspfade [1]

Für die Erzeugung der Luftströmung im Heizkanal wurde ein weiterer Rohlüfter, der mit der Frischluftsaugleitung verbunden war, vor den Heizkanal geschaltet. Durch den langen Strömungsweg der Luft im Heizungskanal musste der gegebenen Dämpfungswirkung durch den Einbau eines zweiten Luftstromerzeugers auf der gegenüberliegenden Gebäudeseite entgegen gewirkt werden. Hierzu bot sich ein weiterer Lichtschacht zur Frischluftansaugung und Einbindung in die Luftströmungsrichtung des Kanals an. Der Lichtschacht wurde dazu hermetisch verschlossen.

Nach Umlauf durch den Heizungskanal im Heizungsraum wieder angekommen, wird die Luft in ein Rohr DN 100 geleitet, über den Lichtschacht in eine im Erdreich verlegte Rohrleitung geführt und in das Fallrohr der Dachentwässerung eingespeist. Mit dieser Lüftungstechnischen Lösung sind die Durchspülung der Bereiche unter den belasteten Räumen und die gezielte Absaugung der radonhaltigen Luft, also die Wirksamkeit der Baumaßnahme erreicht.



**Abb. 10:** Ansaug- und Abluftrohr im Lichtschacht; an Abluftleitung angeschlossenes Fallrohr

**Tab. 3:** Monitormessung [1]

Expositionsort	Expositionszeit	Mittelwert	Maximum
	[h]	[Bq/m <sup>3</sup> ]	[Bq/m <sup>3</sup> ]
Zimmer 9	5	<b>258</b>	435
Büro Direktor	16	<b>199</b>	289
Zimmer 8	17	<b>199</b>	534
Sekretariat	7	<b>209</b>	331
Internetcafe	65	<b>316</b>	577
Büro stellvertr. Direktor	7	<b>258</b>	466
Speiseraum	17	<b>303</b>	456
Kunsterziehung	24	<b>152</b>	352
Küche	24	<b>117</b>	190
Hort Zimmer 0	24	<b>135</b>	267
Hort MRZ	57	<b>209</b>	483
Zimmer 21	15	<b>314</b>	481
Zimmer 34 Vorbereit.	7	<b>210</b>	326
Zimmer 36	17	<b>171</b>	363
Büro Hausmeister	312	<b>202</b>	544

**Tab 4: Dosimetermessung [1]**

Expositionsort	Messgerät Nr.	im Zeitraum		$c_{Rn}$ [Bq/m <sup>3</sup> ]
1. OG, Zi. 21	A C27915	11.04.06	- 18.04.06	130
EG, Internetcafe	A C27908	11.04.06	- 18.04.06	120
EG, Speiseraum	A C27909	11.04.06	- 18.04.06	120
EG, stellv. Direktor	A C27910	11.04.06	- 18.04.06	170
EG, Zi. 1	A C27911	11.04.06	- 18.04.06	130
EG, Zi. 8	A C27906	11.04.06	- 18.04.06	200
EG, Zi. 9	A C27907	11.04.06	- 18.04.06	170
Hort, UG, Mehrzweckraum	A C27912	11.04.06	- 18.04.06	150
Hort, Zi. 0	C27672	14.03.06	- 18.04.06	130
Turnhalle, UG, Kunst	A C27913	11.04.06	- 18.04.06	150
Turnhalle, UG, Schülerküche	A C27914	11.04.06	- 18.04.06	35

Die Ergebnisse zeigen eine Absenkung der Radonkonzentration von ca. 2500 Bq/m<sup>3</sup> auf unter 200 Bq/m<sup>3</sup> in der Langzeitmessung. Die Kosten der Radonsanierung der Waldblickschule in Freital betragen ca. 50.000 €.

#### 4. Sanierungsfall 2- geschossiges Wohnhaus Zechenplatz 2 in Schlema

Durch den Tod des Vaters als Folge eines Lungenkrebsleidens, sah der Eigentümer des Wohnhauses Zechplatz 2 in Schlema, Handlungsbedarf zur Radonsanierung. Das Wohnhaus befindet sich in unmittelbarer Nähe des „Roten Kamms“ – eine geologische Störung mit starker Radonexhalation und liegt an einem Hang an. Messungen der Radonkonzentration durch die Staatliche Umweltbetriebgesellschaft, Beratungsstelle für radongeschütztes Bauen in Schlema ergaben eine Wertestreuung von 2.000 bis zu 25.000 Bq/m<sup>3</sup> im Gebäude.

Auch in diesem Fall lag im Untergeschoss eine Holzdielung direkt über dem Gelände. Damit ergab sich ein ähnlicher Sanierungsansatz wie in Punkt 2 beschrieben. Abdichtungsmaßnahmen zum Baugrund, Abdichtung der Medieneinführungen und eine Luftdrainage des Baugrundes waren geboten. Zusätzlich wurde gemeinsam mit dem Bauherren entschieden, eine Belüftung der am Hang liegenden Räume des Untergeschosses vorzunehmen. Die Abdichtung des aufgehenden Mauerwerkes am Hang auf der Innenseite wäre bautechnisch nicht unproblematisch und finanziell sehr aufwendig geworden. Da es sich außerdem nur um Kellerräume für Lagerungszwecke mit geringer Frequentierung handelte, lag Belüftungslösung zur Konzentrationsverminderung der durch Konvektion durch das Mauerwerk der hangseitigen Außenwand entstehenden Radonmigration nahe.



**Abb. 11: Luftdrainage im Erdgeschoss und Frischluft-Ansaugöffnung**

Da zur Abluftabführung der Drainagesysteme kein geeigneter Schornstein zur Verfügung stand, entschied der Bauherr, die Abluftrohre an den Giebelaußenwänden hoch zu führen. Durch die



**Abb. 12:** Giebelwand mit Kaminrohren



**Abb. 13:** Kellerabsaugung und Abluftrohre von Bodendrainagen

zweigeschossige Bauweise ergab die Bauhöhe des Giebels einen ausreichenden Kamin-Effekt. Dadurch kann die Mehrkreis-Luftdrainage ohne Energiezufuhr betrieben werden. Jeder Drainagekreis, meistens 1 Zimmer, arbeitet bezüglich Frischluftansaugung und Abluftabführung autark. Die Systeme wurden nicht verbunden. Damit ist gesichert, dass alle Bereiche des Untergrundes gleich stark durchspült werden. Die bei Verbindung der Systeme entstehenden Aufteilungen der Luftströme entsprechend der entstehenden Luftwiderstände bargen die Gefahr von gering durchspülten Bereichen. Die angewandten einfachen Wirkprinzipien gestalteten sich jedoch sehr aufwendig. Damit der Bauherr die Sanierungskosten auch tragen konnte, wurde er an fachunspezifischen Bauarbeiten, wie zum Beispiel Abbruch- und Erdarbeiten, beteiligt. Von den ca. 30.000 € umfassenden Sanierungskosten, sind am Ende lediglich ca. 13.000 € als Zahlung zu leisten. Die Sanierungsmaßnahme läuft aufgrund der nur zeitweise möglichen Abarbeitung der Eigenleistungsanteile des Bauherrn derzeit noch und wird voraussichtlich im August 2007 abgeschlossen. Auch hier entsteht neben der Radonsanierung eine Gebrauchswerterhöhung des Gebäudes durch den Einbau von Bodenplatten mit Feuchtigkeitssperren und Wärmedämmung.

## Literaturverzeichnis

- [1] B. Leißring, Vortrag im Rahmen des SMUL-Seminars Radon in Gebäuden am 06.07.2006 in Dresden
- [2] A. Guhr, H.-G. Henjes, T. Kloepzig, Vortrag Radonsanierung eines historischen Gebäudes aus dem Gebiet des Altbergbaus, 2.Tagung Radonsicheres Bauen am 27.09.2006 in Dresden

# RADON IN ÖFFENTLICHEN GEBÄUDEN

## RADON IN PUBLIC BUILDINGS

Walfried Löbner <sup>1)</sup>  
Hartmut Schulz <sup>2)</sup>  
Eiko Hermann <sup>3)</sup>  
Bernd Leißring <sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> WISMUT GmbH, Chemnitz

<sup>2)</sup> IAF-Radioökologie GmbH, Dresden

<sup>3)</sup> B.P.S. Engineering GmbH, Zwickau

<sup>4)</sup> Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

In den letzten Jahren wurden auch in Sachsen verschiedene Projekte zur Erfassung der Radonsituation in Wohngebäuden durchgeführt. Bislang gibt es jedoch noch keine verallgemeinerbaren Untersuchungen zur Bewertung der Radonsituation in öffentlichen Gebäuden (Schulen, Kindergärten, Rathäuser, Verwaltungsgebäude), die sich hinsichtlich der Radonsituation wegen der besonderen Nutzungsbedingungen signifikant von Wohngebäuden unterscheiden können. Während in Wohngebäuden für die Bewertung der Radonsituation von einem ständigen Aufenthalt der Bewohner auszugehen ist, werden öffentliche Gebäude in der Regel nur während der Arbeitszeit an Werktagen genutzt. Die Nutzung der Räume in einem öffentlichen Gebäude ist mit einem verstärkten Luftaustausch durch Öffnen von Türen und Fenstern verbunden, was die Radonverteilung im Gebäude signifikant beeinflussen kann. Außerhalb von Arbeitszeiten (nachts und am Wochenende) liegen hingegen in den meisten Fällen eher statische Verhältnisse mit geschlossenen Fenstern und Türen vor. Die sich unter diesen Randbedingungen einstellende Radonsituation, wo keine Nutzung der Räume stattfindet, führt somit nicht unmittelbar zu Strahlenexpositionen.

Im Rahmen eines vom Freistaat Sachsen geförderten Forschungsprojektes wird von der Bietergemeinschaft das Systemverhalten von öffentlichen Gebäuden hinsichtlich der Radonsituation unter realen Nutzungsbedingungen an ausgewählten Objekten in Sachsen untersucht [1].

Wesentliche Zielstellungen des Forschungsvorhabens bestehen darin,

- das Systemverhalten öffentlicher Gebäude hinsichtlich der Radonsituation unter Beachtung der objektspezifischen Randbedingungen zu erfassen und
- die Bedeutung von Radon in öffentlichen Gebäuden bezüglich der Prognose von Strahlenexpositionen näher aufzuklären.

Es wird an der Erstellung von speziellen Handlungsanweisungen für die Bewertung der Radonsituation öffentlicher Gebäude im Freistaat Sachsen gearbeitet.

Das bisher absolvierte Untersuchungsprogramm beinhaltet drei wesentliche Arbeitsschritte:

1. die Analyse der Gebäudesituation ausgewählter Objekte (Bestimmung der wesentlichen Gebäude- und Raumparameter),
2. integrierende Langzeitmessungen mittels Kernspurdetektoren in ausgewählten Räumen mit typischen Raumnutzungen und
3. zeitaufgelöste Messungen der Radonkonzentrationen für einen begrenzten Untersuchungszeitraum in ausgewählten Räumen unter typischen Nutzungsbedingungen teilweise in Kombination mit Luftwechselfmessungen unter Verwendung eines Tracergases.

Die bisher vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass zeitaufgelöste Radonmessungen, ergänzt durch Messungen von Luftwechselraten und eine zeitaufgelöste Ermittlung meteorologischer Einflussparameter über relativ kurze Untersuchungszeiträume die wesentlichen Informationen zum Systemverhalten liefern (s. z.B. [2] [3]).

Sie können die Grundlage für Prognosen zur Radonsituation bei veränderten bautechnischen oder Nutzungsbedingungen und für realistische Expositionsabschätzungen für spezifische Nutzungsbedingungen in öffentlichen Gebäuden bilden.

Es werden Untersuchungsergebnisse für eine Schule vorgestellt, die unter realen Nutzungsbedingungen ermittelt wurden. Unter winterlichen Bedingungen wurden höhere Rn-Konzentrationen im Schulgebäude festgestellt als unter sommerlichen Bedingungen. Im Schulgebäude war auch der Fall zu verzeichnen, dass die Radonkonzentration im Kellergeschoss geringer als im Erdgeschoss ist. Das Radon wird in einem größeren Gebäude durch Konvektionsströmungen verteilt, die sensibel von der Gebäudestruktur und dem Nutzungsverhalten abhängig sind. Die Nutzung der Schulräume bestimmt die Radonsituation und den Luftaustausch wesentlich. Die Radonsituation ist im Zusammenhang mit der Innenraumluftqualität zur Gewährleistung von normalen Arbeitsbedingungen zu betrachten.

Bei der Auswertung der zeitaufgelösten Radonmessungen hat sich die Unterscheidung der Zeiträume mit bestimmungsgemäßer Raumnutzung von denen ohne Nutzung (Abendstunden, Wochenenden) als wesentlich erwiesen. Es konnte eindrucksvoll gezeigt werden, dass die Raumnutzung in öffentlichen Gebäuden einen grundlegenden Einfluss auf die Radonsituation und den Luftwechsel ausübt. Während der Nutzung sind die Radonkonzentrationen in der Regel signifikant geringer als außerhalb der Nutzungszeit des Gebäudes. Bei integrierenden Messungen mit Festkörperspurdetektoren über längere Zeiträume wurde dieser Umstand bisher ungenügend berücksichtigt und kann eine Fehleinschätzung der Expositionssituation in öffentlichen Gebäuden zur Folge haben. Ein intelligentes Lüften/Klimatisieren hat ein hohes Erfolgspotential zur Beherrschung der Radonsituation und der Innenraumluftqualität in öffentlichen Gebäuden.

- 
- [1] IAF, WISMUT, GEOPRAX, BPS: 1. Zwischenbericht zum Vorhaben "Radon in öffentlichen Gebäuden". - Auftraggeber: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 25.11.2005.
  - [2] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden – Bestimmung der Luftwechselraten in Räumen, Vortrag SMUL Dresden, KORA Dresden, September 2006 und Referenzen in diesem Vortrag
  - [3] 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



# Radonmessprogramme in Sachsen

## Radon measurement programs in Saxony

Werner Preuße

Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, 2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität, Chemnitz

### Zusammenfassung

*Seit 1990 wurde auf dem Gebiet des Freistaates Sachsen eine Reihe von Messprogrammen durchgeführt, die jeweils verschiedene Aspekte der Radonproblematik beleuchten. Erste Messungen der Radonkonzentration in Gebäuden dienten der Expositionsabschätzung in Bergbauregionen mit erwarteten erhöhten Belastungen. Die Schaffung eines repräsentativen (jedoch groben) Gesamtüberblicks über die Radonsituation in Gemeinden und Städten, die Feststellung von Expositionen für epidemiologische Studien zum Lungenkrebsrisiko und die Identifizierung höher belasteter Häuser (dies wiederum in bergbaulich beeinflussten Regionen) waren die Zielstellungen weiterer Radonmessprogramme in Gebäuden. Messungen der Radonkonzentration in der Bodenluft folgen aus der Erkenntnis, dass diese natürliche Einflussgröße neben der Bauweise und dem Bauzustand eines Gebäudes die Radonkonzentration in der Atemluft innerhalb von Häusern bestimmt. Ihre Kartierung liefert somit ein Instrument zur Klassifizierung von Gebieten hinsichtlich des Radonrisikos.*

### Summary

*In order to investigate the different aspects of the radon problem, a number of measurement programs have been performed on the territory of the state of Saxony since 1990. Firstly measurements of indoor radon were done to estimate exposures in mining regions where high contaminations were expected. Getting a representative (but rough) overview of the radon situation in villages and towns, determining the radon exposures for epidemiological studies of lung cancer risk and identifying higher exposed houses (again in mining regions) were goals of other indoor radon measurement campaigns. Measurements of the radon concentration in soil gas follow from the finding that this natural influence quantity is determining the indoor radon concentration besides the factors of construction type and condition of a building. Hence mapping soil gas radon provides a tool for classifying areas regarding the radon risk.*

## 1. Einleitung

Sachsen ist eines der am stärksten vom Auftreten des natürlichen radioaktiven Edelgases Radon, welches mit seinen kurzlebigen Folgeprodukten bei erhöhten Konzentrationen in der Atemluft Lungenkrebs verursachen kann, betroffenen deutschen Bundesländer. Vor diesem Hintergrund sind im Freistaat Sachsen eine Reihe von Messprogrammen durchgeführt worden, um die verschiedenen Aspekte des Radonproblems zu untersuchen und eine Daten- und Wissensgrundlage für Entscheidungen bzw. Empfehlungen zum Radonschutz bereitzustellen. Radonmessungen wie Radonmessprogramme unterschieden sich hierbei hinsichtlich ihrer genauen Zielstellung und somit auch hinsichtlich der Messgrößen, Messstrategien und Datenerfassung.

Der vorliegende Beitrag soll einen Überblick über die Messprogramme im Freistaat Sachsen seit 1990 geben. Untersuchungen zum Radon an Arbeitsplätzen als Ursache möglicher beruflicher Strahlenexpositionen und Monitoringprogramme im Zusammenhang mit bergbaulichen Hinterlassenschaften bleiben hierbei ausgespart.

## 2. Zielstellungen und Methodisches

Die Untersuchungen zum Problemkreis Radon in Deutschland [1] verfolgten folgende grundlegende Zielstellungen:

- Ermittlung der Höhe der Radonexposition der deutsche Bevölkerung in einem für Entscheidungen des Gesetzgebers ausreichenden Detaillierungsgrad,
- Aufklärung der Wirkungen von Radonexpositionen auf den Menschen (Radon und angelagerte sowie unangelagerte kurzlebige Radonfolgeprodukte, Dosiskonversionsfaktoren),
- Ermittlung des quantitativen Zusammenhangs zwischen Radonexposition und Lungenkrebsrisiko (epidemiologische Studien),
- geographische Kartierung des geogenen Radonpotentials als Grundlage für die Ausweisung von Gebieten mit unterschiedlichem Radonrisiko,
- Ermittlung des Beitrags des Radongehaltes im Trinkwasser zur Strahlenexposition,
- Charakterisierung von Bau- und Isolierstoffen hinsichtlich ihrer Radondichtigkeit (Radondiffusion),
- Ermittlung der Auswirkungen des Bergbaus auf die Radonsituation in Gebäuden.

Dem entsprechend wurden unterschiedliche Messverfahren angewandt, um Radon zu messen, aber auch Zusatzinformationen unterschiedlicher Art und Menge erfasst, um die Messergebnisse für die speziellen Fragestellung aussagekräftig auswerten zu können.

Während wegen der bereits früher erkannten prinzipiellen Wirkungsmechanismen zunächst die Exposition der Lunge durch die kurzlebigen Radonfolgeprodukte als relevante Größe zu betrachten ist, setzte sich als Messgröße in größeren Messprogrammen die Aktivitätskonzentration von Radon-222 (Rn-222) in der Luft durch. Dies hat wegen der einfacheren Messbarkeit vor allem praktische Gründe. Für Expositionsabschätzungen aus den gemessenen Radonkonzentrationen muss dann auf Annahmen für typische Gleichgewichtsfaktoren zwischen Rn-222 und seinen kurzlebigen Folgeprodukten und auf aufgezeichnete oder abgeschätzte Aufenthaltszeiten in den betreffenden Räumen zurückgegriffen werden. Tab. 1 verdeutlicht, dass auch bei Verwendung der Messgröße "Radonkonzentration" je nach Fragestellung verschiedene Messverfahren anzuwenden sind.

**Tab. 1:** Einsatzzwecke und Verfahren für Radonmessungen (Fortsetzung auf folgender Seite)

Messgröße	Einsatzzweck	typische Messzeit	Messverfahren
Aktivitätskonzentration von Rn-222 in der	Orientierungsmessungen oder Lokalisierung von Radoneintrittspfaden im Gebäude	Minuten / Stunden	kontinuierliche Messung mit Radonmonitor oder elektronischem Dosimeter,
	Orientierungsmessungen (Screening), Erfassung kurzzeitiger Schwankungen bzw. des Tagesganges (Ermittlung der Dynamik, Systemverständnis der Quellen und Einflussgrößen)	einige Tage	für Screeningmessungen auch passive Kurzzeitexposimeter oder Radonsammler (Aktivkohle) und Labormessung
Innenraumluft	Erfassung der tatsächlichen Belastungssituation zum Vergleich mit Referenzwerten als Entscheidungsgrundlage für die Notwendigkeit von Maßnahmen	einige Monate bis 1 Jahr	integrierende Messung mit Exposimeter (Kernspur- oder Elektretverfahren), ggf. mit Erfassung von Aufenthaltszeiten
		einige Tage bis Wochen	mehrmalige zeitaufgelöste Messungen mit Radonmonitor, mit dem Verständnis der Dynamik Ableitung der effektiven Radonbelastung

Tab. 1: Einsatzzwecke und Verfahren für Radonmessungen (Fortsetzung)

Messgröße	Einsatzzweck	typische Messzeit	Messverfahren
Aktivitätskonzentration von Rn-222	Charakterisierung von Bauplätzen hinsichtlich des Radonangebotes aus dem Untergrund zur Festlegung baulicher Anforderungen für den Radonschutz beim Neubau	bei nicht zu schwieriger Probenahme ca. 30 min (Probenahme und Messung)	Beprobung der Bodenluft in ca. 1 m Tiefe unter der Sohle des Baugrundes, Messung vor Ort (Radonmonitor oder Szintillationsmessung) oder Probenmessung im Labor
in der Bodenluft	Charakterisierung geologischer Einheiten hinsichtlich des Radonpotentials des Untergrundes zur geographischen Kartierung des Radonrisikos		Beprobung der Bodenluft in ca. 1 m Tiefe unter der ungestörten Erdoberfläche, Messung vor Ort (Radonmonitor oder Szintillationsmessung) oder Probenmessung im Labor

### 3. Messprogramme in Gebäuden bis zum Jahr 2000

Entsprechend der in Kap. 2. genannten Zielstellungen wurden in den 1990er Jahren eine Reihe von Messprogrammen zur Ermittlung der Radonkonzentration in Gebäuden realisiert, die vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und in je einem Fall vom Staatlichen Amt für Atomsicherheit und Strahlenschutz (SAAS, die dem BfS entsprechende Fachbehörde der DDR) und vom Sächsischen Landesamt für Umwelt und Geologie (LfUG) durchgeführt bzw. beauftragt wurden. Die Tab. 2 gibt einen Überblick über die Messprogramme bis zum Jahr 2000 und den wichtigen Aspekt der Erfassung begleitender Informationen.

Nach ersten Messungen mit passiven Exosimeter durch das SAAS fand Anfang der 1990iger Jahre zunächst eine sehr große Anzahl so genannter Screeningmessungen statt, die besonders in Bergbauregionen durchgeführt wurden, um die "mittelbaren und unmittelbaren Auswirkungen des Bergbaus im Vergleich zu anderen, z.B. geologischen Beeinflussungen der Radonkonzentration in Häusern" [2] bewerten zu können. Als Teil einer "Umweltinventur" Ostdeutschlands nach der politischen Wende sollten in möglichst kurzer Zeit möglichst viele Messungen durchgeführt werden, weshalb die Messungen mit Aktivkohle-Radonsammler mit 24-stündiger Exposition bei geschlossenen Fenstern und Türen und anschließender Auswertung im Labor erfolgten. Hierbei lagen z.B. 45% der in Erdgeschossräumen ermittelten Radonkonzentrationen oberhalb 200 Bq/m<sup>3</sup> und 12% oberhalb 1000 Bq/m<sup>3</sup>. Auf Grund der Messbedingungen liegen die Messwerte in der Regel über den vergleichbaren Jahresmittelwerten (im Mittel Faktor 2 bis 3), was durch vergleichende Langzeitmessungen an gleichen Untersuchungsorten nachgewiesen wurde.

Im Rahmen des nationalen Gesundheitssurveys (Deutsche Herz-Kreislauf-Präventionsstudie [3]) für Ostdeutschland wurden ebenfalls Anfang der 1990er Jahre durch Institutionen des Bundesministeriums für Gesundheit und das Umweltbundesamt (UBA) in Zusammenarbeit mit dem BfS über repräsentative Stichproben ein Überblick über die Radonsituation in Wohnräumen geschaffen, der auch die sonst kaum vertretenen Großstädte umfasst. Hierbei wurden in Sachsen in 9% der Erdgeschossräume Radonkonzentrationen oberhalb 200 Bq/m<sup>3</sup> und in ca. 1% oberhalb 1000 Bq/m<sup>3</sup> festgestellt. Der Unterschied gegenüber den Ergebnissen der Screeningmessungen erklärt sich, da jene die oben benannten Überschätzungen enthalten und dort außerdem als Untersuchungsschwerpunkte so genannten Verdachtsgebiete ausgewählt worden waren.

**Tab. 2:** Radonmessprogramme mit Zusatzinformationen (unter "Gebäudedaten" sind Angaben zu Baujahr, Bauweise - z.B. Unterkellerung, Hausart - z.B. Einfamilienhaus und Zustand des Hauses - z.B. modernisiert/saniert, Dichtheit der Fenster zu verstehen) und Anzahlen der Messungen in Keller- sowie Erdgeschoss(EG)- und Obergeschoss(OG)-Räumen.

Messprogramm	Zeitraum	Messdauer	Territorium	Detailinformationen	Anzahl Mess.	
					Keller	EG & OG
SAAS	bis 1990	keine Angabe	Sachsen	Etage, Raumnutzung	0	312
Screeningmessungen (BfS)	1990 - 93	1 bis 6 Tage	vorwiegend Südwestsachsen (Bergbauregionen)	Etage, Raumnutzung	17340	25555
Gebiet Dippoldiswalde (BfS)	1991 - 96	2 - 24 Monate	Raum Dippoldiswalde/Freital mit 10 Gemeinden	Etage, Raumnutzung	108	312
private Anforderungen (BfS)	1991 - 99	2 - 10 Monate	Sachsen	Etage, Raumnutzung	131	318
Gesundheitssurvey (UBA, BfS)	1992 - 93	12 - 18 Monate	Sachsen, auch Großstädte	Etage, Raumnutzung	0	511
Deutschland-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon (BfS, GSF, Uni's)	1995 - 97	ca. 12 Monate	Sachsen	Raumnutzung, Schlaf-/Hauptwohnraum	0	2979
Gebiet Zittau (BfS)	1995	2,5 - 4 Monate	Raum Zittau mit 9 Gemeinden	Etage, Raumnutzung	51	58
Fa. Stoller (LfUG)	1996	1 - 4 Monate	Erzgebirge, Vogtland, Raum Freital/Dresden	Adressen (teilw.), Etage, Raumnutzung, Gebäudedaten	323	398
Gebiet Bautzen (BfS)	2000	2 - 3 Monate	Raum Bautzen mit 3 Gemeinden	Etage, Raumnutzung	15	27
Summen:					17968	30470

Die Deutschland-Studie zum Lungenkrebsrisiko durch Radon wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) und des BfS vom GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit in Zusammenarbeit mit mehreren Universitäten durchgeführt. Sie ermittelte die Radonkonzentrationen in Wohnräumen um auf dieser Grundlage die Expositionen zu quantifizieren, die in einer Fall-Kontroll-Studie benötigt werden, um für die Gruppe der an Lungenkrebs erkrankten Personen gegenüber der Gruppe der nicht erkrankten Kontrollpersonen den Einfluss der Radonexposition auf das Lungenkrebsrisiko abschätzen zu können. Daher stand in diesem Messprogramm nicht die Identifizierung radonbelasteter Häuser, was sich am besten mit Messungen in Keller- bzw. Erdgeschossräumen realisieren lässt, im Vordergrund. Die Festlegung der zu messenden Wohnungen war durch die nach anderen Kriterien ausgewählten Probanden gegeben, woraus ein Datenbestand an Radonkonzentrationen resultiert, die überwiegend in Räumen höherer Etagen gemessen wurden.

Weitere Messprogramme des BfS mit jeweils kleinerem Umfang erfolgten auf der Grundlage von Anfragen sächsischer Landkreise bzw. privater Personen, die aus eigenem Interesse die Messleistungen des BfS in Anspruch nahmen.

Auf der Grundlage der vorliegenden BfS-Daten verfolgte das LfUG mit einem durch die Fa. Stoller durchgeführten Messprogramm das Ziel in Gemeinden der wahrscheinlich besonders betroffenen Regionen Häuser mit erheblich erhöhten Radonkonzentrationen zu identifizieren und deren Eigentümer bei der Auswahl sinnvoller Sanierungsmaßnahmen zu unterstützen [4]. 65% der untersuchten Häuser wiesen hier Radonkonzentrationen oberhalb von  $250 \text{ Bq/m}^3$  und 20% der Häuser Werte oberhalb von  $1000 \text{ Bq/m}^3$  auf. Diese Werte liegen naturgemäß höher als die sächsischen Mittelwerte und auch als die Mittelwerte aus dem BfS-Screening, da das Messprogramm vorrangig in Häusern stattfand, die in bereits als höher radonexponiert identifizierten Gemeinden bzw. Ortsteilen liegen.

#### 4. Kartierung des geogenen Radon-Potentials bis 2004

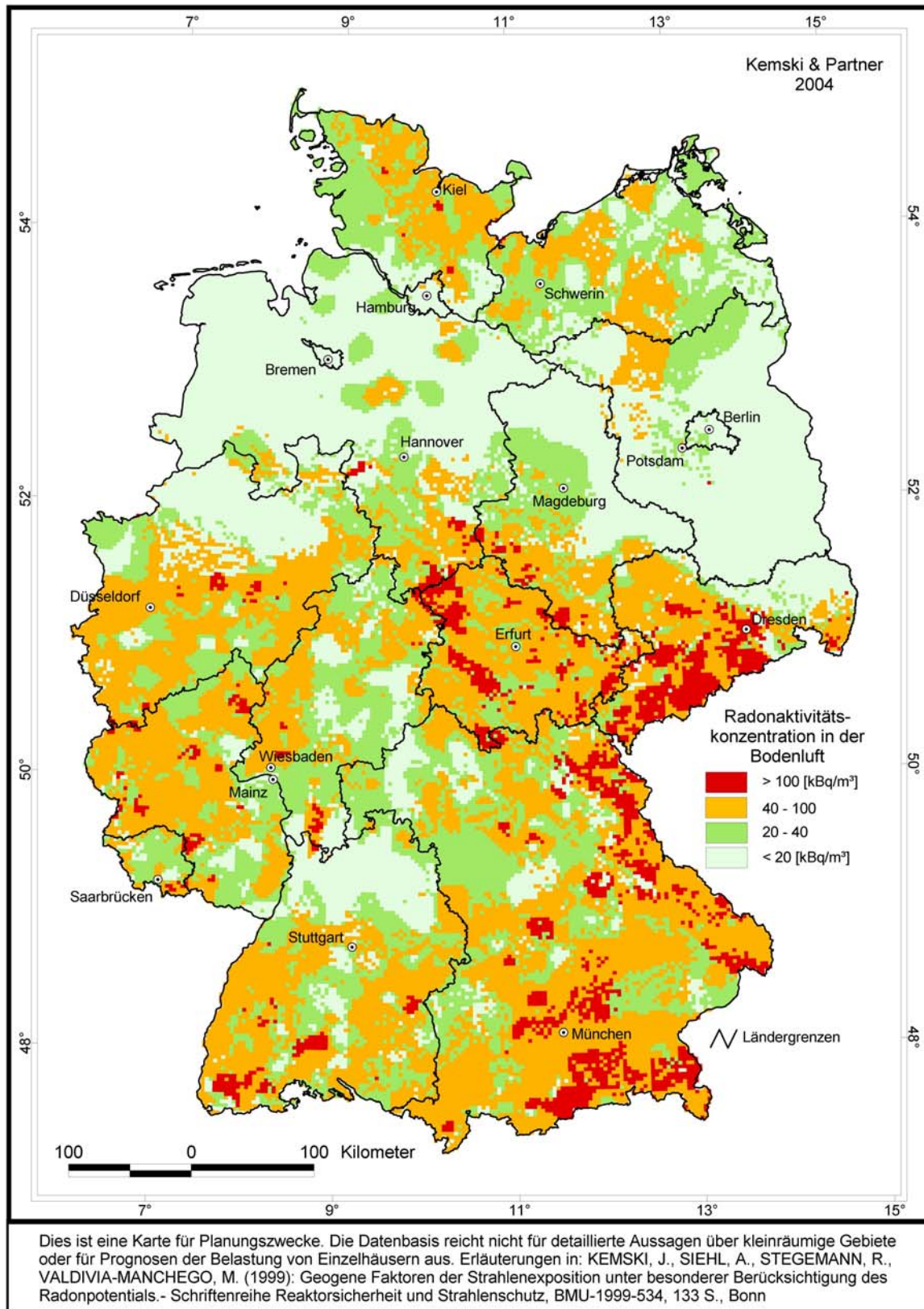
Sowohl die Erfahrungen aus den deutschen Messprogrammen in den 1990er Jahren als auch die Empfehlungen internationaler und nationaler Gremien (EURATOM 1990 [5], ICRP 1994 [6], SSK 1994 [7]) legten es nahe die Ausweisung von Gebieten mit erhöhtem Radonvorkommen zum Gegenstand spezieller Untersuchungen zu machen, um die Gebiete (so genannte Radonvorsorgegebiete, s.a. Kap. 7.) einzugrenzen, in denen radongeschützt gebaut werden sollte und in denen Sanierungen zum Radonschutz bei einem großen Anteil der Häuser anzuraten ist. Hierfür gibt es prinzipiell zwei mögliche Wege, die einander in Tab. 3 gegenübergestellt sind.

**Tab. 3:** Gegenüberstellung von Herangehensweisen zur Identifizierung von Radonvorsorgegebieten

	<b>Identifizierung von Radonvorsorgegebieten durch die</b>	
	<b>Untersuchung von Häusern</b>	<b>Untersuchung der geogenen Radonquelle</b>
<b>Grundlage</b>	- Eine repräsentative Auswahl der Häuser in einer Bezugseinheit (z.B. Gemeinde) spiegelt die gesuchte, aus Sicht des Strahlenschutzes interessierende Verteilung unter Einbeziehung des Einflusses der vorhandenen Bausubstanz direkt wider.	- Das geogene Radonpotential <sup>*)</sup> ist neben Bauweise und Bauzustand eines Hauses der dominierende Faktor für das Zustandekommen erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden und repräsentiert die zugrunde liegende natürliche Größe.
<b>Anforderungen</b>	- gleiche Systematik (z.B. Messungen in EG-Räumen über saisonal vergleichbare Zeiträume oder 12 Monate) in allen Untersuchungsregionen, - vergleichbare statistische Aussagekraft (Mindestanzahl von zufällig ausgewählten Häusern pro Gemeinde in Abhängigkeit von der Gemeindegröße).	- Festlegung radonrelevanter, generalisierter geologischer Einheiten als Extrapolationshintergrund für eine Kartierung, - gleiche Systematik bei der Entnahme von Bodenluftproben (Entnahmetiefe, mehrere Entnahmestellen zu einem Messpunkt – Absicherung durch Redundanz), - Mindestanzahl von Messpunkten in den geologischen Einheiten.
<b>Ergebnis</b>	- Klassifikation der Bezugseinheit (z.B. Gemeinde) hinsichtlich des zu einem bestimmten Erhebungszeitpunkt vorhandenen tatsächlichen Radonrisikos (Überschreitungshäufigkeiten von Referenzwerten: z.B. 100 / 200 / 400 / 1000 Bq/m <sup>3</sup> in der Innenraumluft).	- Klassifikation einer Bezugseinheit (z.B. Rasterquadrat) hinsichtlich des potentiellen Radonrisikos, durch "Kalibration" mit der regionalspezifischen Transferfunktion (Bodenluft radon → Raumluft radon) Bestimmung des tatsächlichen Radonrisikos zu einem bestimmten Erhebungszeitpunkt.
<b>Vorteile</b>	- zusätzlicher Nutzen: direkte Einschätzung der konkret untersuchten Häuser hinsichtlich eines eventuellen Sanierungsbedarfs, - kaum methodische Probleme bei den Messverfahren.	- primäres Ergebnis unabhängig von der vorhandenen Bausubstanz in einer Region und bei nach Jahren eventuell veränderter Bausubstanz weiter verwendbar, - angemessener Messaufwand: für Sachsen z.B. ca. 1000 Messpunkte ausreichend, - Abstimmungen lediglich mit kommunalen Verwaltungen und Netzbetreibern (Energie-, Erdgas-, Telekommunikation-, Wasserversorger etc. → Schachtscheine).
<b>Nachteile</b>	- bei fehlender gesetzlicher Grundlage keine Zufallsauswahl der zu untersuchenden Häuser möglich, freiwillige Teilnehmer sind schwer zu gewinnen und nicht repräsentativ für Gebäudebestand, - hoher Aufwand zur Charakterisierung der sächsischen Gemeinden: je 2-3 Messungen in mindestens 20000 Häusern.	- zusätzlicher Aufwand für die Bestimmung der Transferfunktion (s.o.) aus vorhandenen oder nachzuholenden Innenraumlufmessungen und für die Aufbereitung des geologischen Extrapolationshintergrundes, - kein genormtes Probenahmeverfahren, schwierige Qualitätssicherung.

<sup>\*)</sup> Das geogene Radonpotential bezeichnet die Eigenschaft eines Bodens Radon in die Bodenluft freizusetzen und mit dieser in Richtung Erdoberfläche zu transportieren. Es wird von der Radonaktivitätskonzentration im Boden und dessen Gasdurchlässigkeit, die vor allem von seiner Porosität und Feuchte abhängt, bestimmt.

Die in Deutschland gegebenen Randbedingungen favorisieren die Kartierung des geogenen Radonpotentials, die auch durch das BFS verfolgt wird. Die hierzu von der Fa. Kemski & Partner und dem Geologischen Institut der Universität Bonn durchgeführten Arbeiten und Messkampagnen lieferten im Ergebnis die Deutschlandkarte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft (Abb. 1) [8], [9].



**Abb. 1:** Deutschlandkarte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft [8]

Die Deutschlandkarte weist den Freistaat Sachsen als ein Bundesland aus, das sowohl hinsichtlich der Höhe der Radonkonzentrationen als auch hinsichtlich des Flächenanteils der Gebiete mit erhöhtem Radonpotential eines der am stärksten betroffenen Bundesländer ist. Erklärtermaßen kann diese Karte wegen ihrer örtlichen Auflösung (Raster 3 km x 3 km) und wegen der teilweise geringen Dichte der Stützstellen (Punkte mit gemessenen Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft) kein geeignetes Prognoseinstrument auf lokaler Ebene darstellen und erreicht somit noch nicht das Ziel einer lokal differenzierten und möglichst eng umrissenen Ausweisung von Radonvorsorgegebieten (s.a. Kap. 7.). Auf dem Territorium des Freistaates Sachsen waren 319 Bodenluftmesspunkte die Grundlage der Kartierung, wobei auch Messpunkte in vergleichbaren geologischen Einheiten anderer Bundesländer in die Extrapolation auf sächsischem Gebiet eingehen.

## 5. Messprogramme in Gebäuden seit 2001

Wie in Kap. 4. erwähnt, erfordert die Nutzung der Bodenluftkartierung zur Angabe von Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Referenzwerten in der Innenraumluft die Bestimmung der Transferfunktion zwischen Bodenluft- und Raumluft- radon aus vorhandenen oder ggf. nachzuholenden Innenraumluftmessungen. Zu diesem Zweck wurden von 2001 bis 2003 nochmals Langzeitmessungen mit Kernspurexposimetern in verschiedenen Testregionen durchgeführt. Hierbei kooperierte das BfS mit der sächsischen Landesmessstelle (Staatliche Umweltbetriebgesellschaft UBG) in der Pilotregion Zittau-Löbau und beauftragte die Fa. Kemski & Partner mit den Untersuchungen in weiteren Regionen (deutschlandweit ca. 7500 Keller und ca. 8500 Erdgeschossräume) [9]. Durch die Erfassung umfangreicher Zusatzinformationen per Fragebogen (Details zu Bauweise und Gebäudezustand) ist mit diesem Datenbestand auch die Untersuchung von Zusammenhängen zwischen den Gebäudeeigenschaften und der Radonkonzentration in der Innenraumluft möglich. Die Tab. 4 gibt einen Überblick über die diesbezüglichen Messkampagnen in Sachsen.

**Tab. 4:** Radonmessungen mit Zusatzinformationen und Anzahlen in Keller- sowie Erdgeschoss(EG)-Räumen zur Bestimmung von Überschreitungshäufigkeiten von Referenzwerten in der Innenraumluft

Messprogramm	Messdauer	Territorium	Detail- informationen	Anzahl Messungen	
				Keller	EG
Zittau-Löbau (BfS/UBG)	10 - 15 Monate	Landkreis Löbau-Zittau	Adressen/ Koordinaten, Etage, Raum- nutzung, umfangreiche Gebäudedaten	265	638
Raumluft- messkampagne Deutschland (BMU/BfS, Kemski & Partner)	10 - 13 Monate	Landkreis Zwickauer Land		297	351
	10 - 13 Monate	Landkreis Meißen		237	250
	10 - 13 Monate	Landkreis Mittweida		141	179
	10 - 13 Monate	Landkreis Döbeln		89	101
			Summe:	1029	1519

Durch die Radonberatungsstelle des Freistaates Sachsen bei der UBG werden fortlaufend Anfragen bearbeitet, die teilweise auch Messungen in Häusern und auf Bauplätzen in der Bodenluft umfassen. Hierbei wurde bisher ein Datenbestand von Radonkonzentrationen in der Raumluft von ca. 370 Langzeitmessungen und ca. 620 Kurzzeitmessungen (Orientierungsmessungen und Eintrittspfad-suche) sowie in der Bodenluft von ca. 400 Messungen gewonnen, die jeweils mit umfassenden, begleitenden Detailinformationen dokumentiert sind.

Seit 2006 untersucht im Auftrag des LfUG eine Gruppe sächsischer Firmen (IAF-Radioökologie Dresden, Wismut GmbH, B.P.S. Engineering GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX) Radon in öffentlichen Gebäuden. Hintergrund ist, dass die während der tatsächlichen Nutzung öffentlicher Gebäude auf dort Tätige und Besucher wirkende Radonexposition durch die übliche

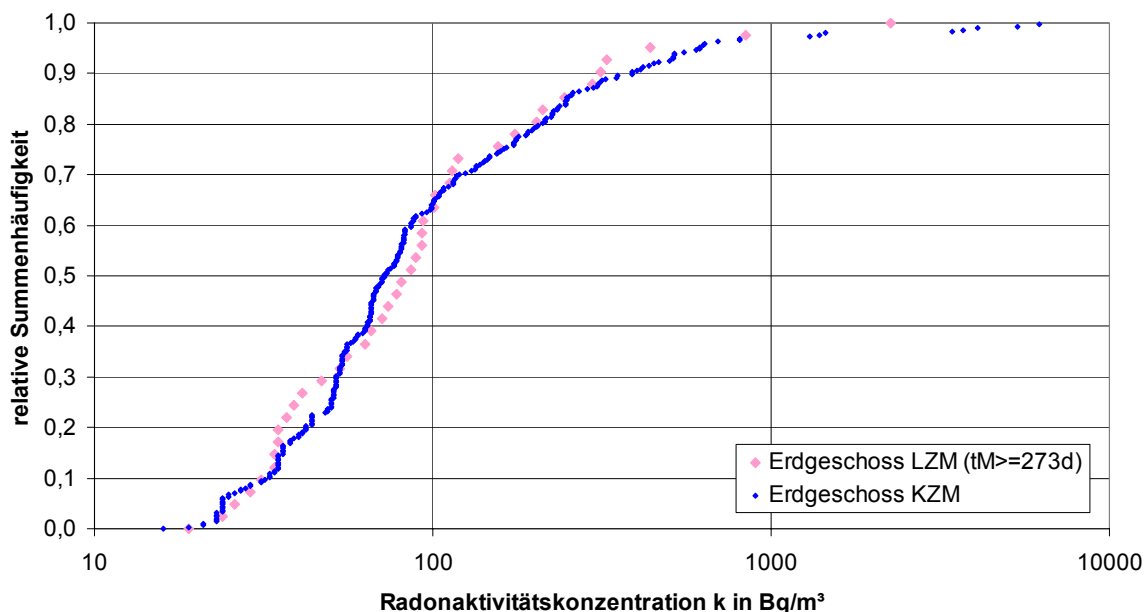
passive Langzeitmessung der Radonkonzentration in der Raumluft in vielen Fällen nicht adäquat zu erfassen ist, da außerhalb der Dienstzeiten durch geringen Luftaustausch oft deutlich höhere Radonkonzentrationen herrschen als während der Nutzungszeiten (Details, Ergebnisse s. [10]).

## 6. Verwendbarkeit von Kurzzeitmessungen für prognostische Zwecke

Wie sich aus den Darlegungen in Kap. 3. ergibt, ist die gemeinsame Verwendung des großen Datenbestandes der bisher durchgeführten Radonmessungen in Gebäuden für zusammenfassende Auswertungen zur Bestimmung repräsentativer Überschreitungshäufigkeiten von Referenzwerten problematisch, ganz gleich ob dies auf Landes-, Kreis- oder Gemeindeebene erfolgen soll. Dies liegt vor allem daran, dass die jeweils untersuchten Häuser in der Regel nicht einmal annähernd repräsentativ ausgewählt werden konnten.

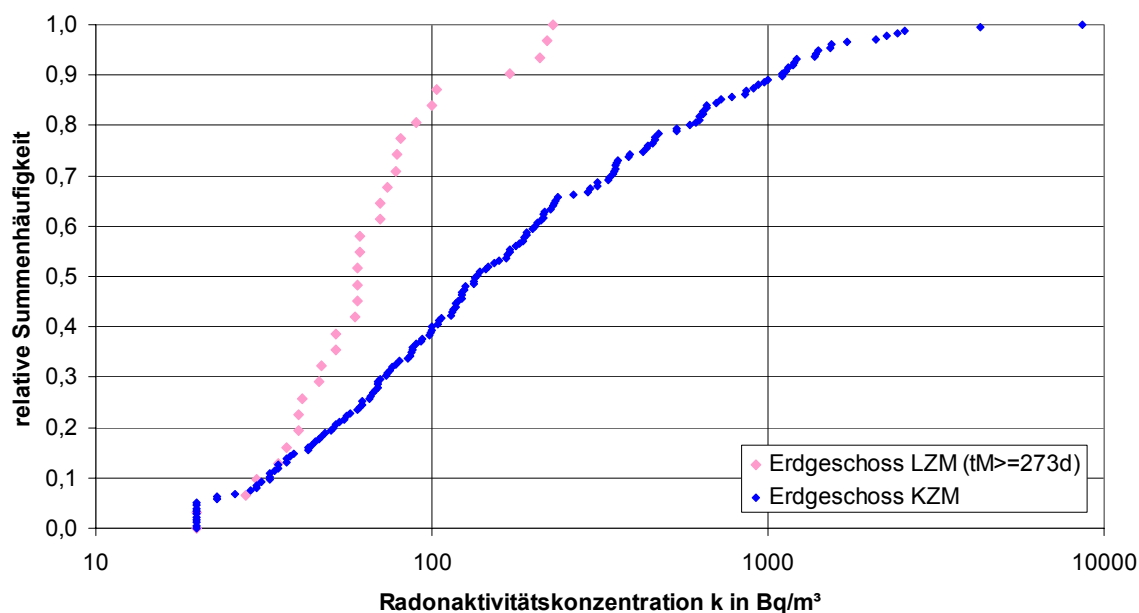
Dennoch ist es von Interesse zu überprüfen, wie weit der sehr große Datenbestand der Kurzzeitmessungen aus dem Screening-Messprogramm des BfS prinzipiell in zusammenfassende Auswertungen mit Langzeitmessungen einbezogen werden kann. Angesichts der geringen Aussagekraft der einzelnen Kurzzeitmessung (= "Momentaufnahme", die bei Wiederholungen zu anderen Zeiten völlig anders ausfallen kann) im Vergleich mit einer Jahresmessung erscheint das zunächst zweifelhaft.

Im Rahmen einer durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) betreuten studentischen Arbeit wurde diese Fragestellung näher untersucht [11]. Für prognostische Zwecke interessieren hierbei nicht der direkte Vergleich von Einzelwerten sondern relevante Größen wie Überschreitungshäufigkeiten von Referenzwerten, die eine Aussage über die Radonsituation z.B. auf Gemeindeebene liefern. In den Abbildungen 2 und 3 sind hierzu die relativen Summenhäufigkeitsverteilungen von Kurzzeitmessungen (KZM) und Langzeitmessungen (LZM) für zwei sächsische Kleinstädte dargestellt, in denen ausreichende Anzahlen dieser Messungen vorliegen. Für die Stadt Radebeul ergibt sich eine sehr gute Übereinstimmung während für die Stadt Werdau die Überschreitungshäufigkeiten aus den Kurzzeitmessungen diejenigen aus den Langzeitmessungen deutlich übertreffen. Aus diesen, wie auch Vergleichen für weitere Orte ergibt sich dennoch der positive Befund, dass bei der Verwendung von Kurzzeitmessungen zwar Überschätzungen um ca. einen Faktor 2 möglich sind, was im Sinne der Konservativität im Strahlenschutz jedoch eher akzeptabel ist als Unterschätzungen, in den meisten Fällen jedoch die für Prognosen benötigten Überschreitungshäufigkeiten von Referenzwerten (z.B.  $100 \text{ Bq/m}^3$ ) annähernd richtig wiedergegeben werden.



**Abb. 2:** Relative Summenhäufigkeitsverteilungen der gemessenen Radonkonzentrationen in Gebäuden der Stadt Radebeul, LZM = Langzeitmessungen, KZM = Kurzzeitmessungen [11]





**Abb. 3:** Relative Summenhäufigkeitsverteilungen der gemessenen Radonkonzentrationen in Gebäuden der Stadt Werdau, LZM = Langzeitmessungen, KZM = Kurzzeitmessungen [11]

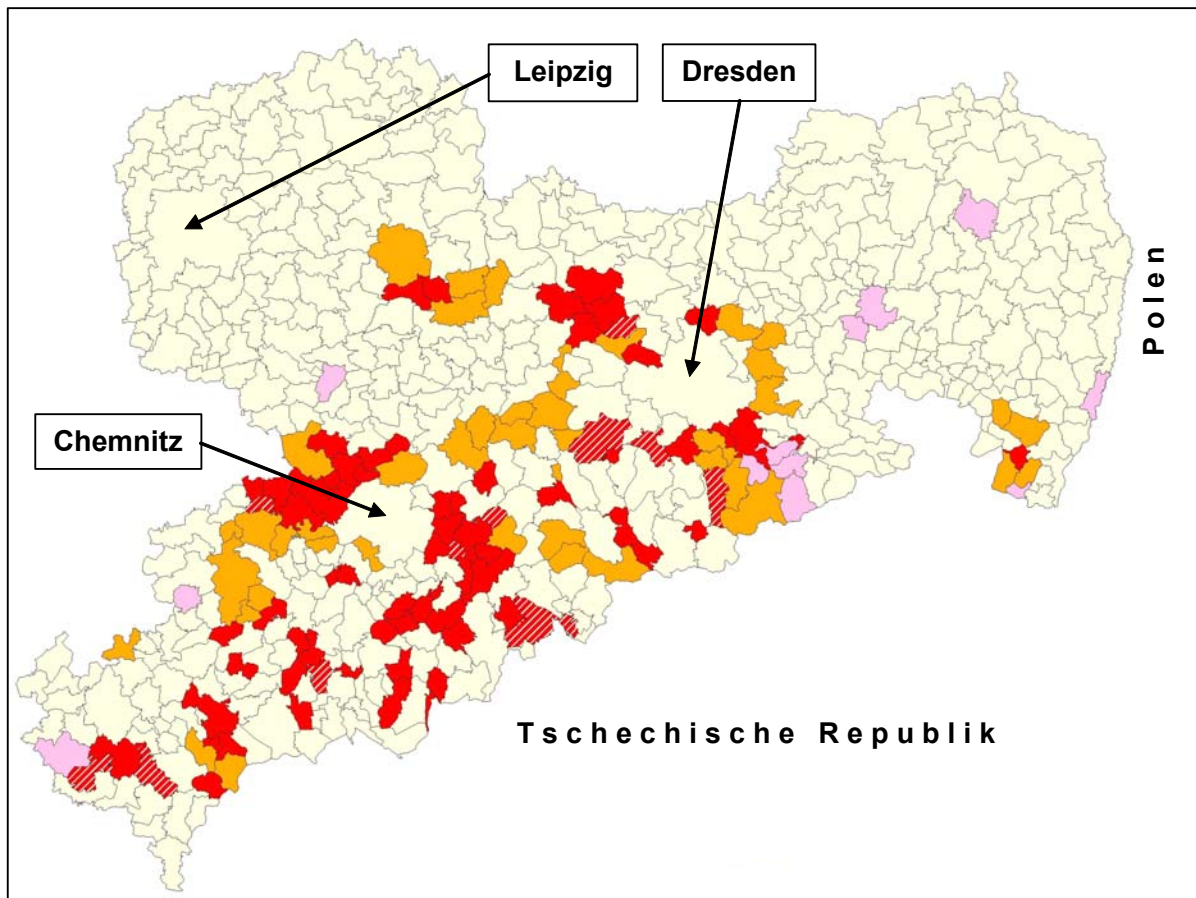
## 7. Bodenluftmessprogramm des Freistaates Sachsen

Mit der deutschlandweiten Kartierung des geogenen Radonpotentials (s. Kap. 4.) wurde eine methodische und inhaltliche Grundlage geschaffen und mit den Entwürfen für ein Radonenschutzgesetz und eine Radonchutzverordnung durch den BMU als Instrument für die Ausweisung von Radonvorsorgegebieten eingeführt. Danach wird ein Radonvorsorgegebiet über eine Klassifikation der lokal zu erwartenden Aktivitätskonzentration von Rn-222 in der Bodenluft definiert (s. Tab. 5).

**Tab. 5:** Klassifikation von Radonvorsorgegebieten nach der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft

Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft (kBq/m <sup>3</sup> )	< 20	20 - 40	40 - 100	> 100
Radonvorsorgegebiet (VK)	kein (0)	VK I	VK II	VK III

Wegen der erklärtermaßen noch begrenzten Aussagekraft der vorliegenden Deutschlandkarte für lokale Prognosen (s. Kap. 4.), wurde vom SMUL entschieden die Karte der Radonkonzentration in der Bodenluft für das Territorium des Freistaates Sachsen zu verdichten. Hierzu wird von der UBG seit 2005 ein Messprogramm durchgeführt, das durch Messungen die bisher weniger gut abgesicherten Regionen Sachsens gezielt untersucht. Das Messprogramm wurde bereits bei anderen Gelegenheiten vorgestellt und näher erläutert (s. z.B. [12]). Die Abb. 4 zeigt die Lage der für das Messprogramm ausgewählten Gemeinden in Sachsen und Tab. 6 die Kriterien für die Auswahl der Gemeinden mit neuen Messpunkten.



**Abb. 4:** Lage der für das Bodenluftmessprogramm ausgewählten Gemeinden in Sachsen (zur Farblegende s. Tab. 6, schraffierte dunkle Flächen: VK III mit bisher einem Bodenluftmesswert)

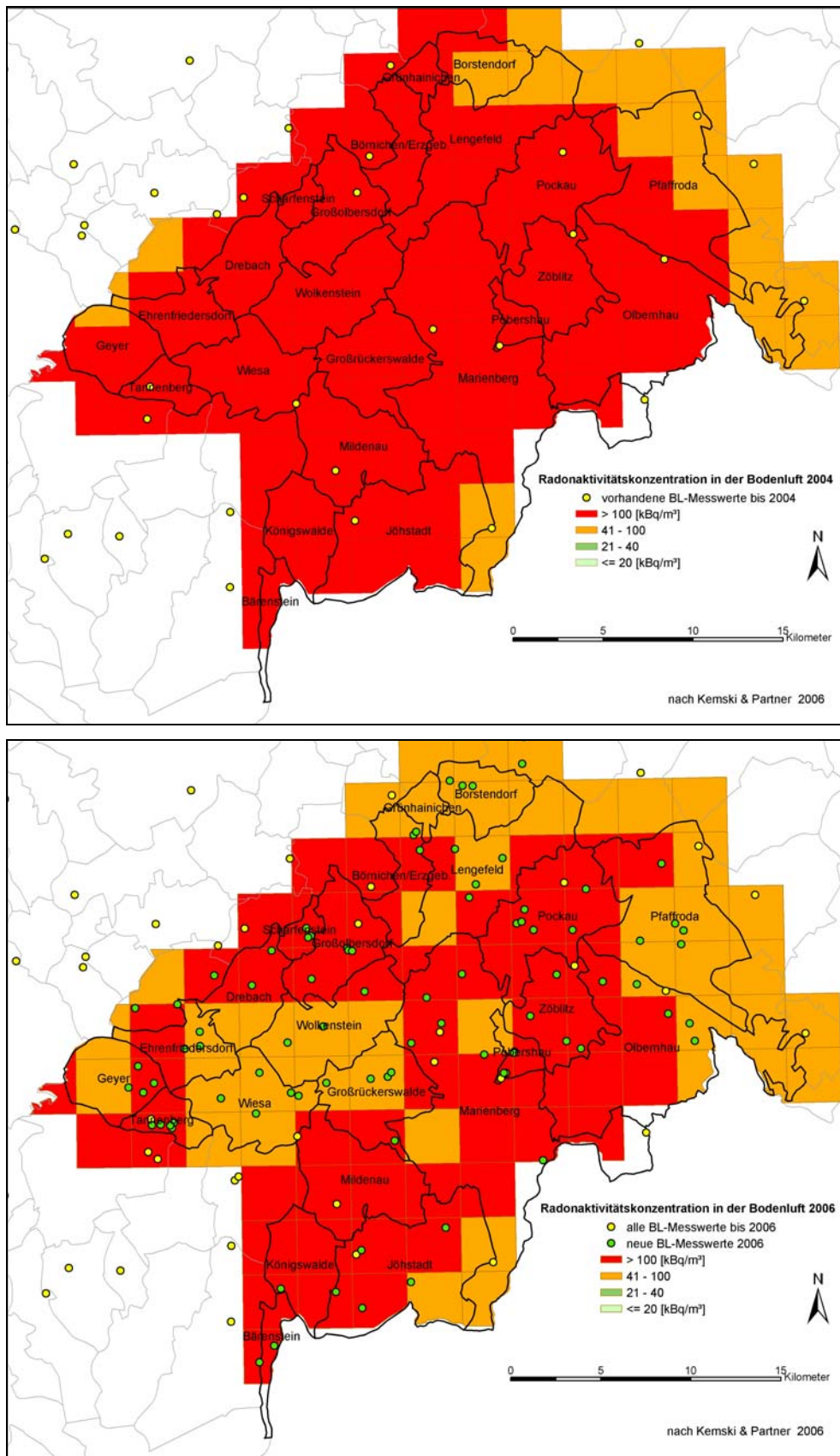
**Tab. 6:** Auswahlkriterien für Gemeinden zur Einbeziehung in das sächsische Bodenluftmessprogramm

für Bodenluftmessungen ausgewählte Gemeinden	ausgewählt, da ... <i>(tritt insgesamt ...mal auf)</i>	Vorsorgegebietskategorie VK (laut Abb. 1 und Tab. 5)	
67 von 141	bisher kein Bodenluftmesswert (67 x)	<b>VK III</b>	
11 <sup>1)</sup> von 141	bisher nur ein Bodenluftmesswert (38 x)		
43 <sup>2)</sup> von 233	kein Bodenluftmesswert (147 x)	<b>VK II</b>	
12 von 153	trotz VK erhöhte Raumluftwerte (> 200 Bq/m <sup>3</sup> )	<b>VK I</b>	<b>VK 0</b>

<sup>1)</sup> Der vorhandene Messwert ist < 40 kBq/m<sup>3</sup> und widerspricht somit VK III.

<sup>2)</sup> Nach den geologischen Gegebenheiten ist eventuell VK III zu erwarten.

Im Gebiet des mittleren Erzgebirges als erster Teilregion konnten die Messungen im Jahr 2006 abgeschlossen werden. Die Abb. 5 verdeutlicht den Unterschied zwischen der neu berechneten regionalen Karte und dem betreffenden Kartenausschnitt aus der Deutschlandkarte des Jahres 2004. Die Vervielfachung der Datenbasis (30 → 120 Punkte) für die Berechnung der Karte führte hierbei zu einer deutlich differenzierteren Darstellung des Radonpotentials in dieser Region. Die Messungen in den anderen Untersuchungsregionen Sachsens dauern noch an.



**Abb. 5:** Kartierung der Radonkonzentration in der Bodenluft in der Untersuchungsregion Mittleres Erzgebirge, oben: Ausschnitt aus der Deutschlandkarte von 2004, unten: neu berechnete Karte von 2006.

## 8. Danksagung

Wir danken den Herren J. Kemski und R. Klingel (Kemski & Partner - Beratende Geologen, Bonn) für ihre Hilfsbereitschaft und die Unterstützung in allen fachlichen und technischen Fragen im Zusammenhang mit der Durchführung des sächsischen Bodenluftmessprogramms und Herrn M. Valdivia-Manchego (Geologisches Institut der Universität Bonn) für die Neuberechnung der Bodenluft radonkarte im Untersuchungsgebiet Mittleres Erzgebirge.

## 9. Literaturverzeichnis

- [1] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Vortragsmanuskripte der 17 bis 2004 jährlich stattgefundenen Statusgespräche zur "Forschung zum Problemkreis Radon", Selbstverlag BMU
- [2] R. Lehmann, R. Czarwinski, M. Beyermann : Radon-Screeningmessungen in Ostdeutschland, Vortragsmanuskripte des 7. Statusgesprächs zur "Forschung zum Problemkreis Radon", Berlin, 25./26.10.1994, Selbstverlag BMU 1995
- [3] Forschungsverbund DHP (Hrsg.): Die deutsche Herz-Kreislauf-Präventionsstudie - Design und Ergebnisse, Verlag Hans Huber, Bern 1998
- [4] F. Philipps, L. Schneider, F. Haufe : Konzeption zur Umsetzung/Realisierung von Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung von Radonkonzentrationen in Gebäuden, Abschlussbericht an das Sächsische Landesamt für Umwelt und Geologie, Dresden 1997
- [5] Empfehlungen der Kommission vom 21.02.1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden (90/143/EURATOM), Amtsblatt der Europäischen Gemeinschaften vom 27.03.1990, Nr. L 080, S. 26-28
- [6] Protection against Rn-222 at home and at work, ICRP publication 65, Annals of ICRP 23/2 (1993)
- [7] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden, Empfehlung der Strahlenschutzkommission (SSK), verabschiedet in der 124. Sitzung der SSK am 21.04.1994, Bundesanzeiger Nr. 155 vom 18.08.1994
- [8] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2004, Parlamentsbericht des BMU, <http://www.bmu.de/files/strahlenschutz/downloads/application/pdf/parlamentsbericht04.pdf>
- [9] J. Kemski, R. Klingel, A. Siehl : Zusammenfassende Betrachtung von Bodenluft- und Raumluftdaten aus den Jahren 1989 - 2003, Vortragsmanuskripte des 17. Statusgesprächs zur "Forschung zum Problemkreis Radon", Berlin, 14./15.10.2004, Selbstverlag BMU 2005
- [10] W. Löbner, H. Schulz, E. Hermann, B. Leißring: Radon in öffentlichen Gebäuden, 1. Sächsischer Radontag – 3. Tagung Radonsicheres Bauen, Beitrag in diesem Tagungsband
- [11] F. Tillner: Nutzung von Kurzzeitmessergebnissen der Radonaktivitätskonzentrationen in Gebäuden zur Einschätzung der Radonsituation in Sachsen, Abschlussbericht an das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, 2004
- [12] W. Preuße, H. Busch, S. Seidel, M. Hempel: Messprogramm zur Verdichtung der Karte zur Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in Sachsen, 38. Jahrestagung des Fachverbandes für Strahlenschutz, Dresden 18.-22.09.2006, Tagungsband - E. Ettenhuber, R. Giessing, E. Beier, A. Bayer (Hrsg.), TÜV Media GmbH, Köln 2006

# RADONSCHUTZ BEIM BAU EINES SPORTKOMPLEXES

Bernd Liebscher

Bauplanung und Betreuungs-GmbH

## 1. Aufgabenstellung



**Abb. 1:** Innenansicht

Am 21.06.2001 erhielt mein Büro den Auftrag zur Erarbeitung der Baugenehmigung für einen Sportkomplex mit Dreifachturnhalle und Außenanlage mit 1000 m Laufbahn, Sportfläche, Weitsprung und Kugelstoßanlage.

Grundlage für die Beauftragung war der 1. Preis für den Wettbewerb

**„Holzkompetenzzentrum mit Dreifeldsporthalle am Standort der ehemaligen Gottschalk-Fabrik“.**

Die Aufgabenstellung enthielt neben der Funktionsbaubeschreibung entsprechend der Schulbaurichtlinie auch folgende Formulierung:

*„Der Architekt hat die zu erbringende Leistung dem allgemeinen Stand der einschlägigen Wissenschaft, den allgemein anerkannten Regeln der Technik, den Grundsatz der Wirtschaftlichkeit und den öffentlich rechtlichen Bestimmungen zu entsprechen ...“*

Gleichzeitig ist in der Aufgabenstellung der Kostenrahmen festgelegt.

Für uns als Architekturbüro war der Teil der Aufgabenstellung wichtig und interessant, welcher besagt, dass die Halle aus dem Baustoff Holz zu errichten ist. Als Gebäudestatiker wurde Prof. Dr. Natterer aus Luzern/Schweiz gewonnen.

## 2. zeitlicher Ablauf

Mitte 2001	Erteilung des Planungsauftrages
Ende 2001	Einreichung der Baugenehmigung einschließlich Kostenberechnung als Grundlage für den Fördermittelbescheid
Ende 2004	Genehmigung der Fördermittel
Mitte 2005	Baubeginn
06.09.2006	Einweihung der Halle

## 3. Wertung der Standortbedingungen

Gemeinsam mit dem Bauherren, Statiker und Architekten wurde ein vereinbartes Baugrundgutachten in Auftrag gegeben, um Messungen zur Bodenbelastung, Bodenzusammensetzung und Grundwasser treffen zu können.

Das zu planende Grundstück war bis 1991 Standort einer Holzverarbeitenden Firma und wurde im Jahr 2000 abgerissen.

Am Rand des Baufeldes verläuft ein Altbergbaustollen, der privat für die Wasserversorgung genutzt wird.

Das gesamte Gebiet ist durch einen B-Plan überplant und regelt alle Belange ab Oberkante Gelände.

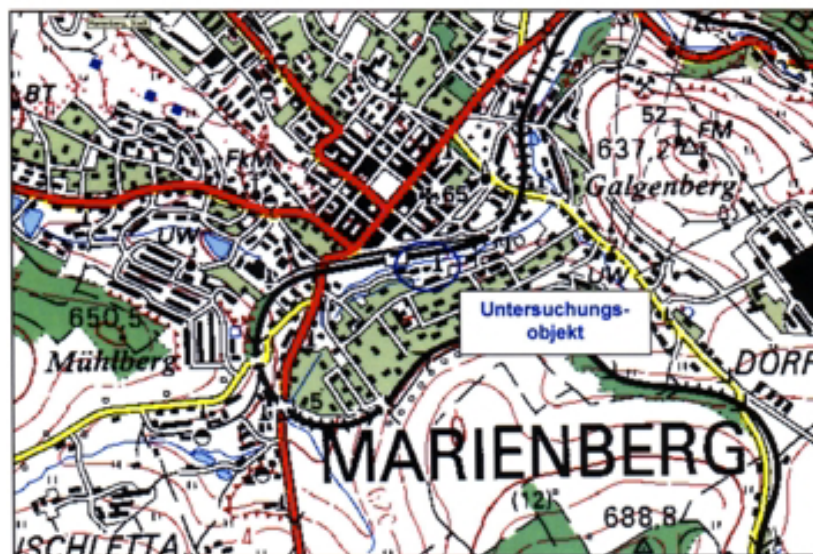


Abb. 2: Schematische Lage des Untersuchungsobjektes

Im Wissen, dass das Baufeld vorher durch Produktionsgebäude bekannt war, hatte das Baugrundgutachten wesentlich engmaschiger erstellt werden müssen.

Teilweise waren die Altgründungen nicht abgerissen, sondern nur verfüllt worden und Straßenbeläge sowie Kesselabfälle nur eingegraben.

Die Altlastenbelastung war punktuell deshalb extrem hoch.



**Abb. 3:** Blick auf die Untersuchungsfläche östliche Richtung



**Abb. 4:** Blick auf die Untersuchungsfläche westliche Richtung

Die Radonbelastung wurde im Rahmen der Genehmigungsplanung nur kurz geprüft, da 2001 die Sensibilisierung zur Radonbelastung noch sehr gering war.

Durch die Diskussion um die Richt- und Grenzwerte für die Radonbelastung in öffentlichen Gebäuden entstand die Notwendigkeit einer gutachterlichen Prüfung der Bedingungen am Standort. Besonders relevant war dann die Stellungnahme der Strahlenschutzkommission zur Wirkung des Radons von 2004.

Im Rahmen einer vom Bauherren gewollten Arbeitsteilung wurde die Ausführungsplanung von einem anderen Büro weitergeführt.

Von unserer Seite aus wurde dann verstärkt darauf gedrungen, ein Gutachten zur Radonbelastung zu erstellen, um im Nachgang nicht haftbar zu werden. Gleichzeitig war mein Büro weiter mit der Sicherheits- und Gesundheitsplanung vertraut. Dies bezieht sich hauptsächlich auf die Baudurchführung aber auch auf die nachfolgende Nutzung des Gebäudes.

## 4. Radongutachten

Entsprechend unserer Forderung wurde das Bergtechnische Ingenieurbüro GEOPRAX vom Landratsamt Marienberg mit der Erstellung eines Gutachten beauftragt. Inhalt des Gutachten waren 2 Schwerpunkte:

- a. Prüfung des gesamten Baufeldes auf radioaktiv kontaminierte Bereiche und Klärung von Zwangspunkten für die Nutzung und den Zugang mit den aufnehmenden Aushubmassen
- b. Prüfung des Radonpotenzials des Untergrundes

Im Ergebnis des Gutachtens wurde festgestellt:

- a. Die Konzentration des Bodenradons mittels Bodenluftproben aus 1 m tiefen Bodenlöchern liegt bei 33,6 kBq/m<sup>3</sup>. Im Maximum bei 99,3 kBq/m<sup>3</sup>. Als Richtwert für den Handlungsbedarf wurde ein Wert von 15 kBq/m<sup>3</sup> angenommen.
- b. Entsprechend den durchgeführten Ort Dosis/Leistungsmessungen lagen keine Hinweise auf eine erhöhte radiologische Belastung der abstehenden Bodenmassen vor.

**Das Gutachten schließt mit der Empfehlung  
RADONSICHER ZU BAUEN.**

Dies wurde von uns auch dem Bauherren so empfohlen, da immer noch die endgültige Entscheidung über einen möglichen Grenzwert von 100 Bq/m<sup>2</sup> in den Innenräumen offen ist.

Die Entscheidung zum radonsicheren Bauen wurde vom Landrat in Kenntnis getroffen, dass die Hauptnutzer der Schulturnhalle Kinder sind, die den höchstmöglichen Schutz erhalten sollen. Im Rahmen der Entscheidung wurde zwischen zeitweiser Nutzung und genereller Verminderung der Bodenbelastung zu Gunsten des radondichten Bauens getroffen.

## **5. Baudurchführung**

Auf Grund des Planungsfortschrittes und der verbindlichen Fertigstellungstermine konnte der Radonschutz nur auf der Bodenplatte realisiert werden.

Die Radonsperre musste in Etappen eingebaut werden, da durch die Vorfertigung der großen Montageteile aus Holz die Hallenfläche in einem 2. Abschnitt mit einer Radonsperre ausgelegt werden konnte.

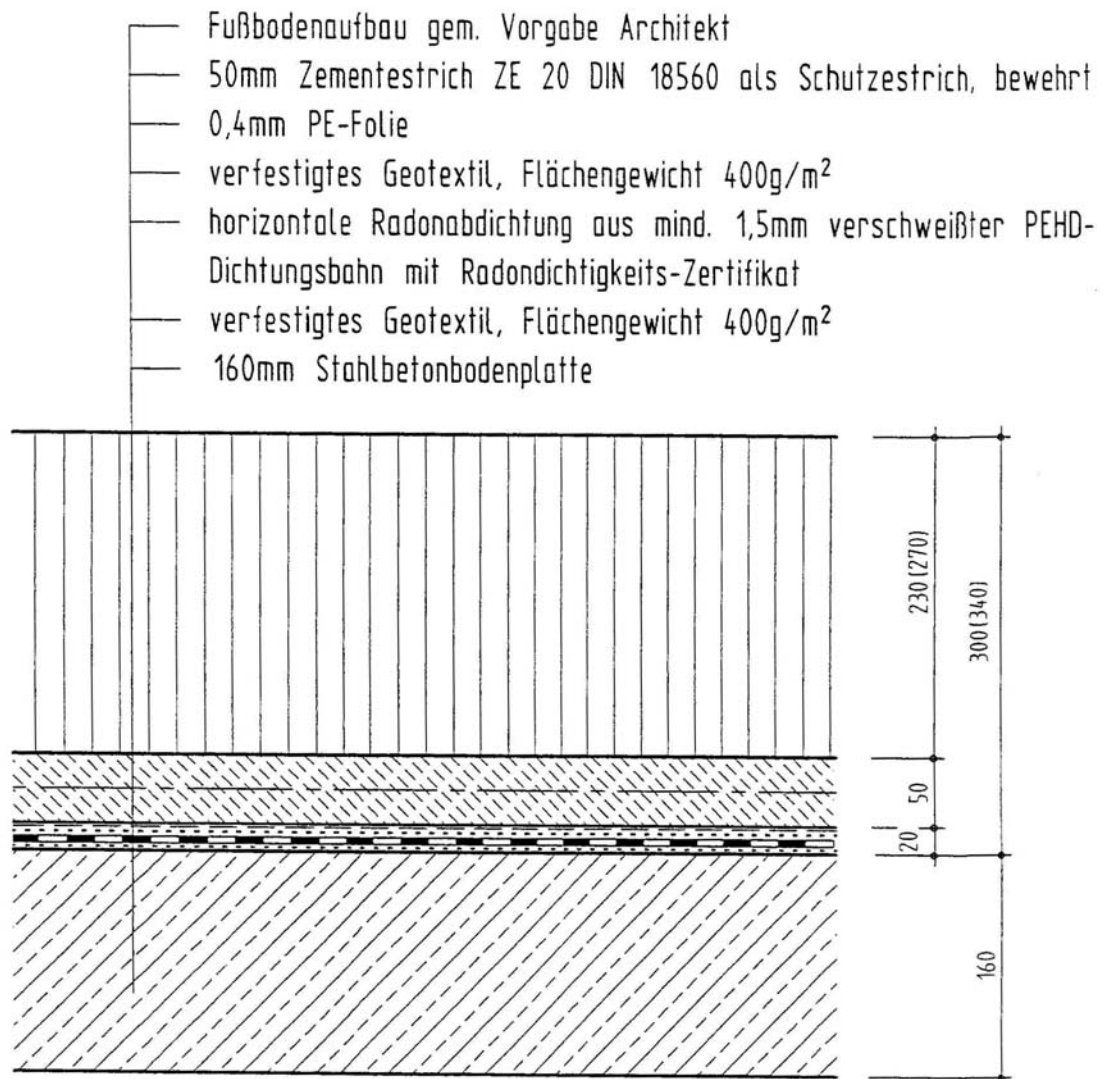
Neben den üblichen Fußbodendurchführungen für Abwasser, Wasser und Gas sind im Sporthallenboden viele Einbauhülsen, die die Bodenplatte durchdringen.

Viele Lösungen sind neu entwickelt worden, ohne dass es dafür geprüfte und zugelassene Lösungen gibt.



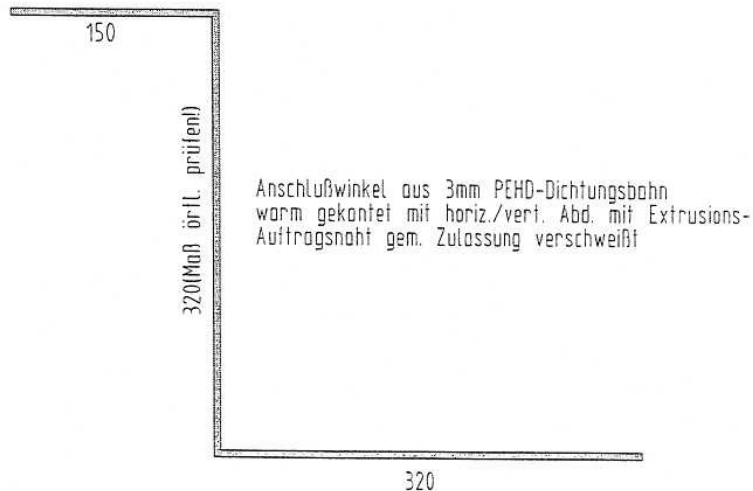
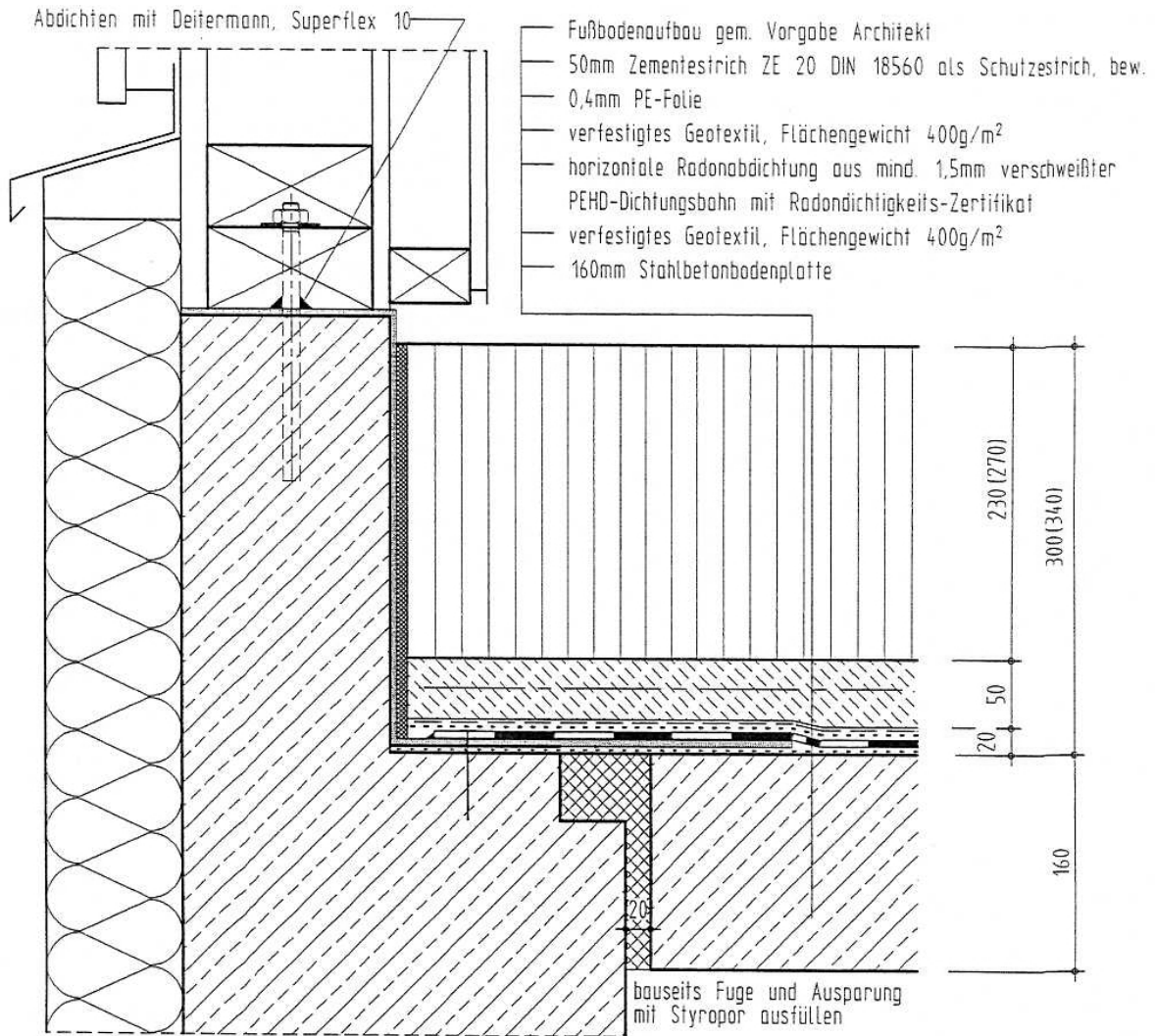
# Detail 1

## Prinziplösung Fußbodenaufbau mit Radonschutzsystem

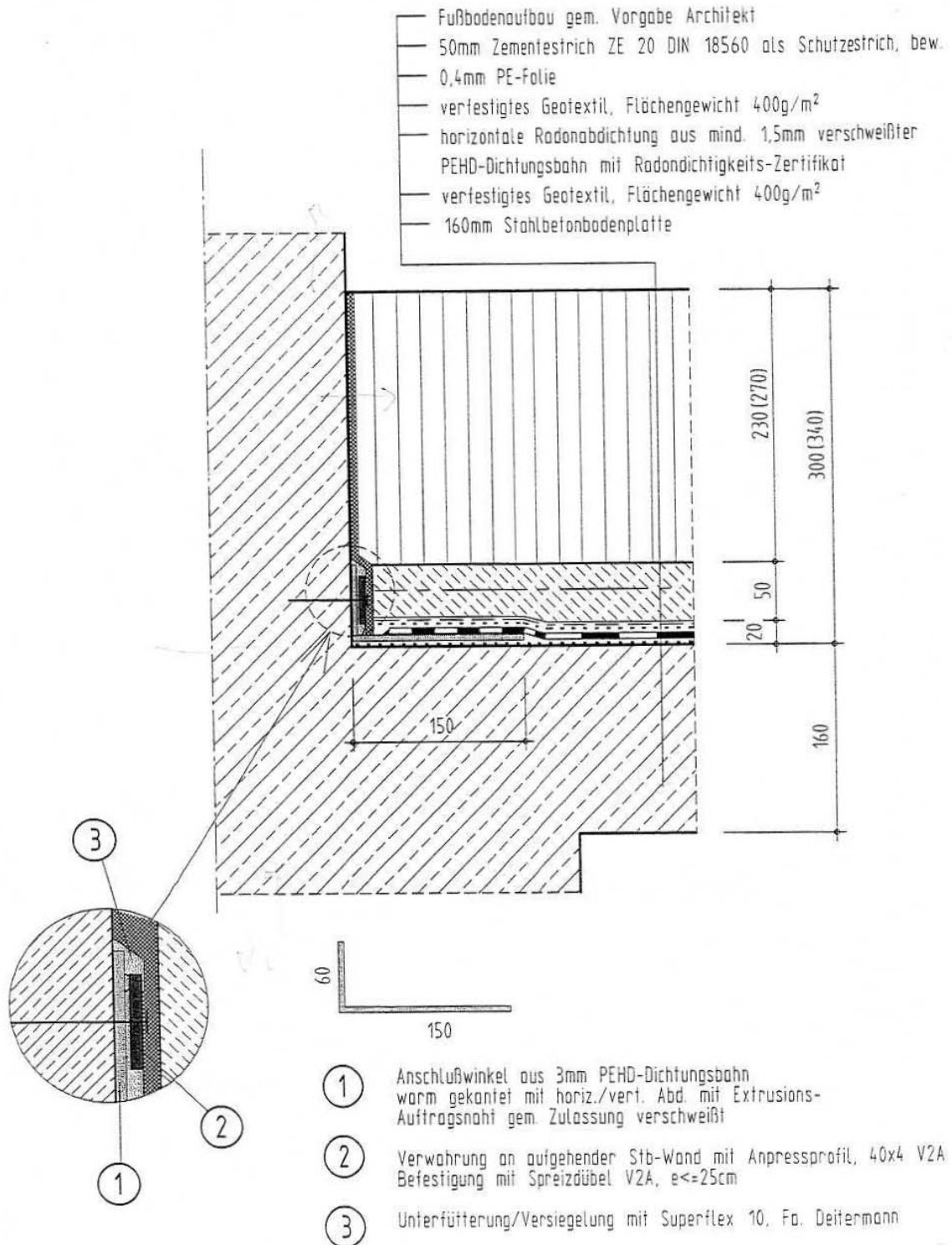


# Detail 2 Sockelanschluß mit Radonschutzsystem

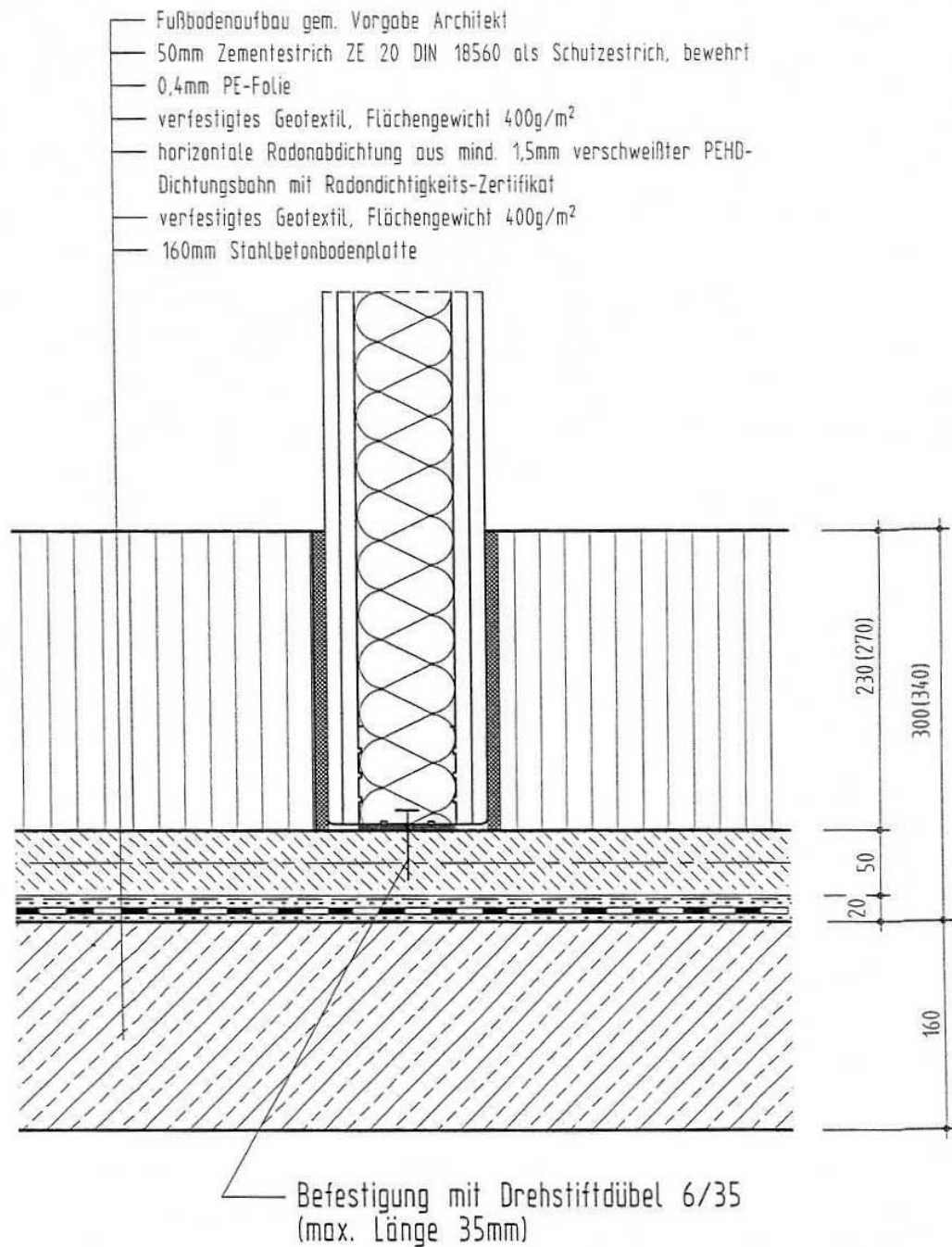
(Beachte auch Sockeldetail Architekt D01+D02 und Detail 14 IEZ Natterer!)



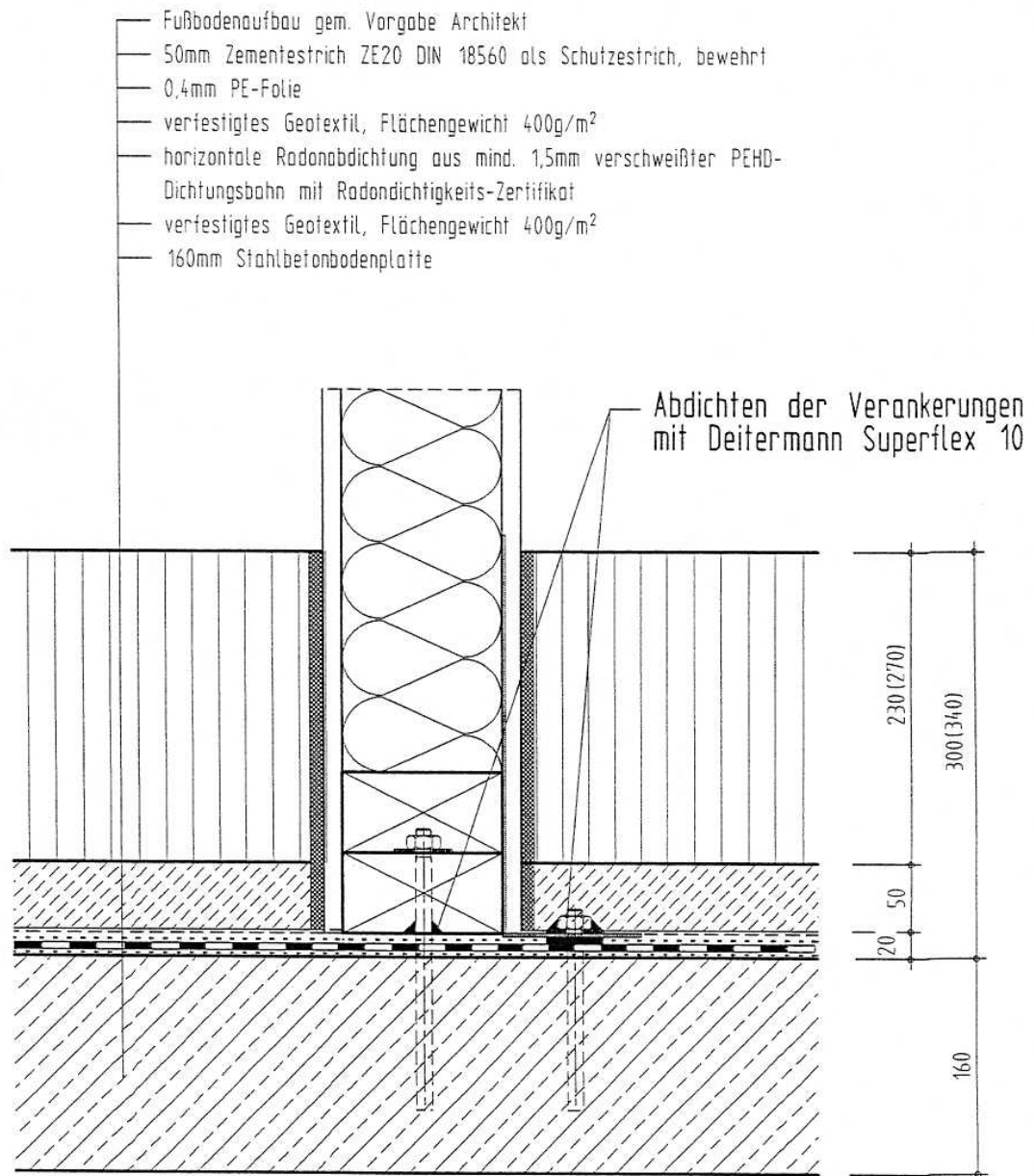
# Detail 3 Anschluß an Stb-Wände mit Radonschutzsystem



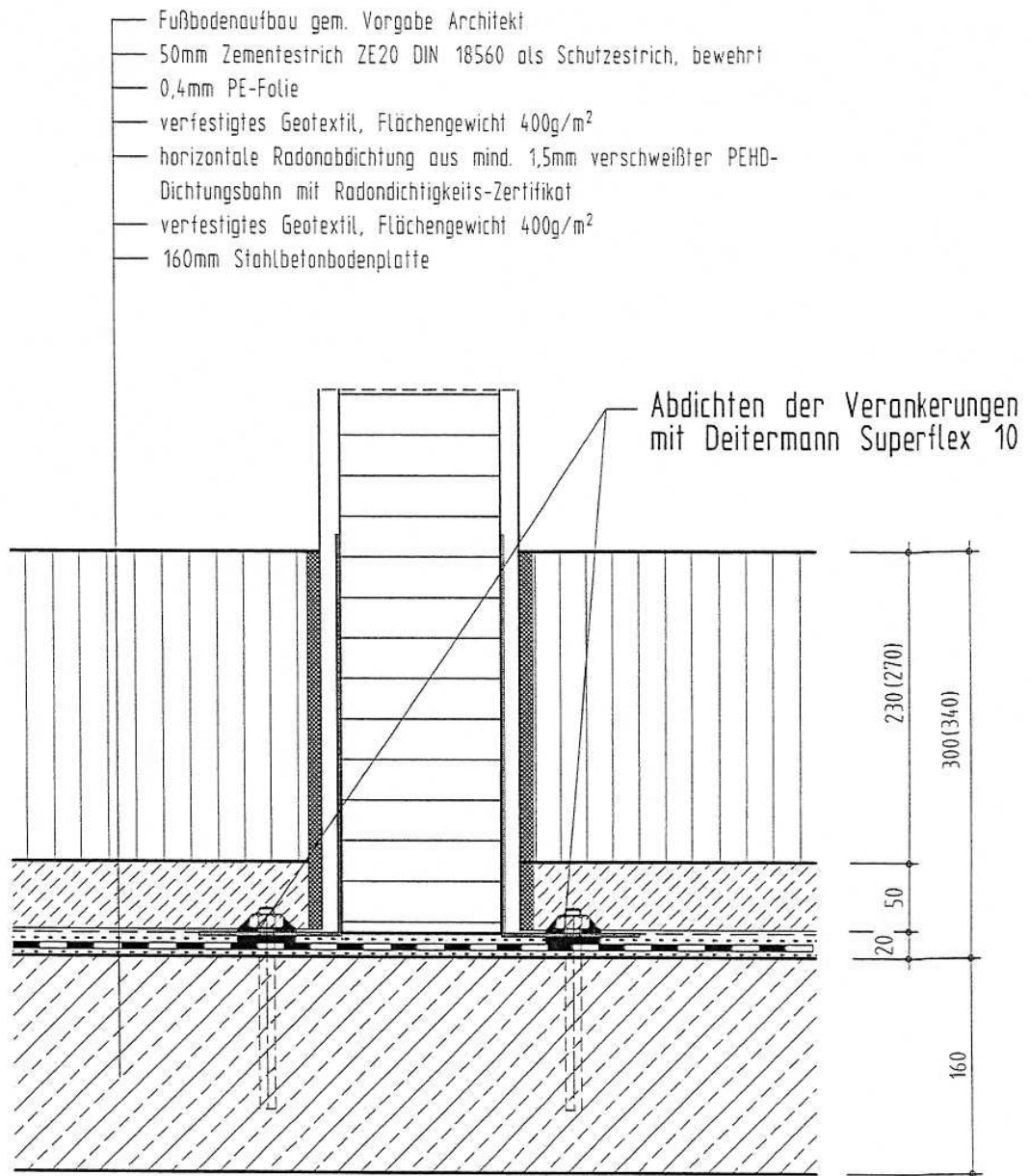
## Detail 4 Anschluß an Trockenbauwände mit Radonschutzsys.



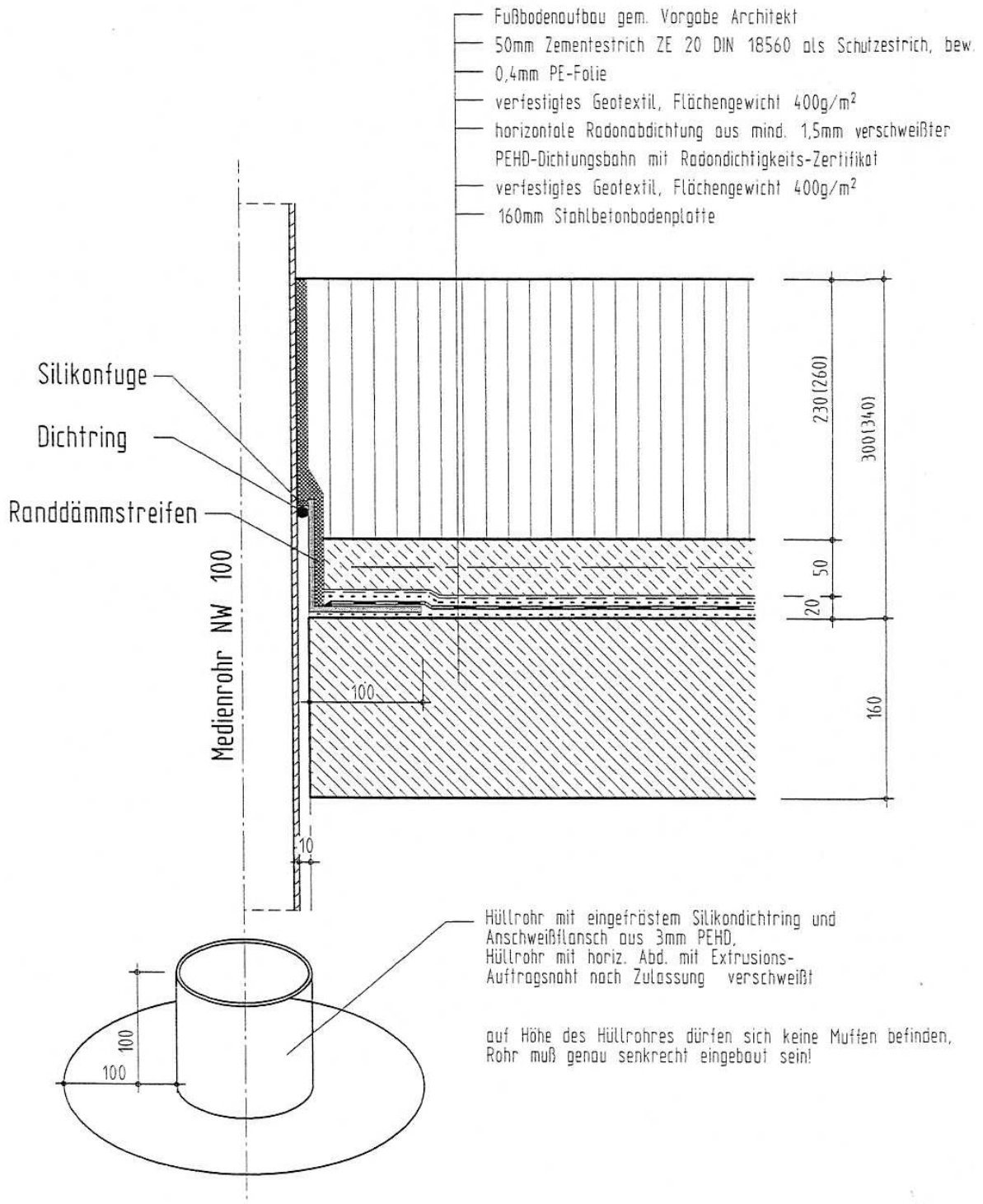
# Detail 5 Anschluß an Holzrahmenwände mit Radonschutzsys.



## Detail 6 Anschluß an Brettstapelwände mit Radonschutzsys.

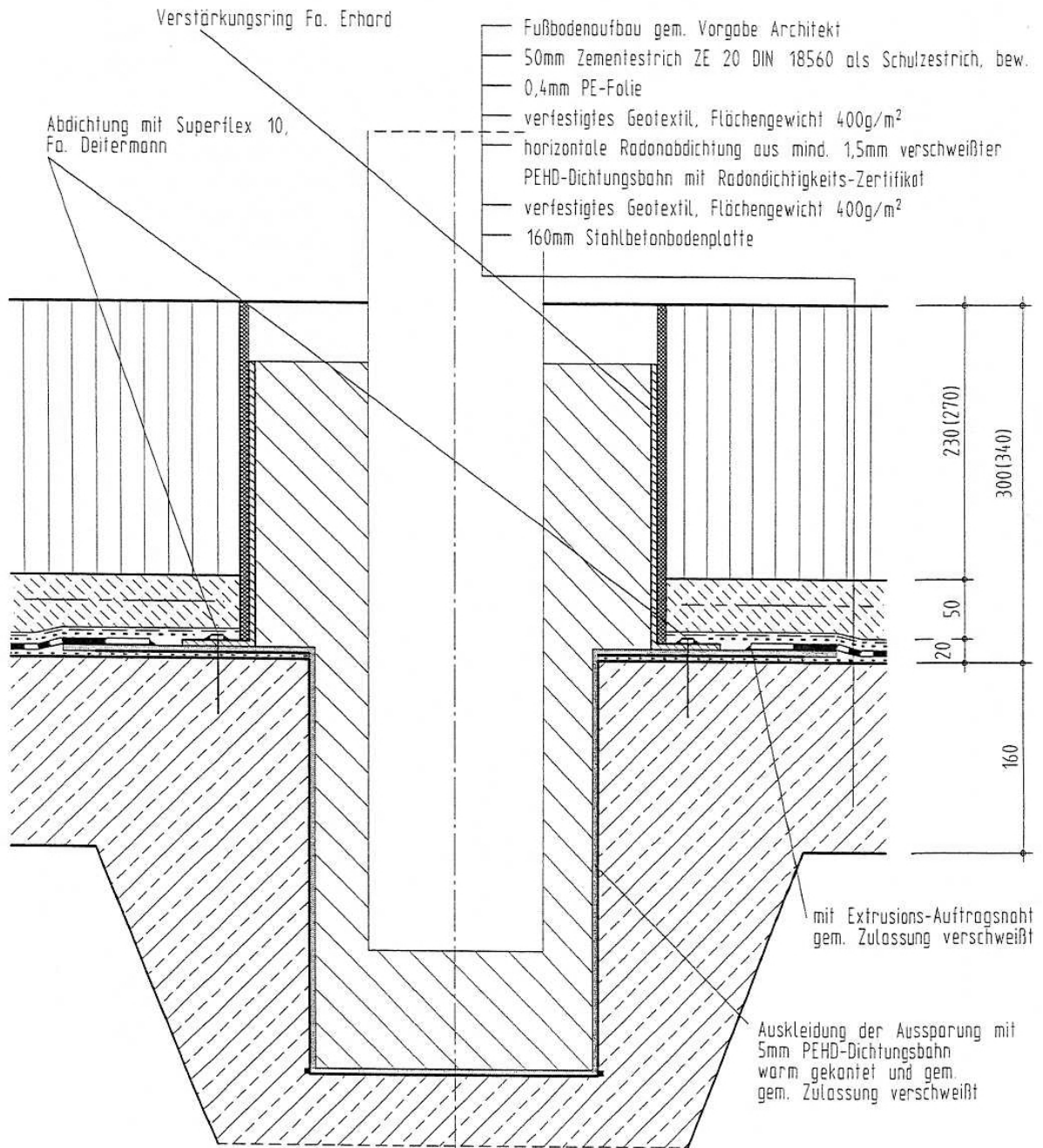


# Detail 7 Anschluß an Rohrdurchführungen mit Radonschutzs.



# Detail 8 Anschluß an Hülse Sportgeräte mit Radonschutzs.

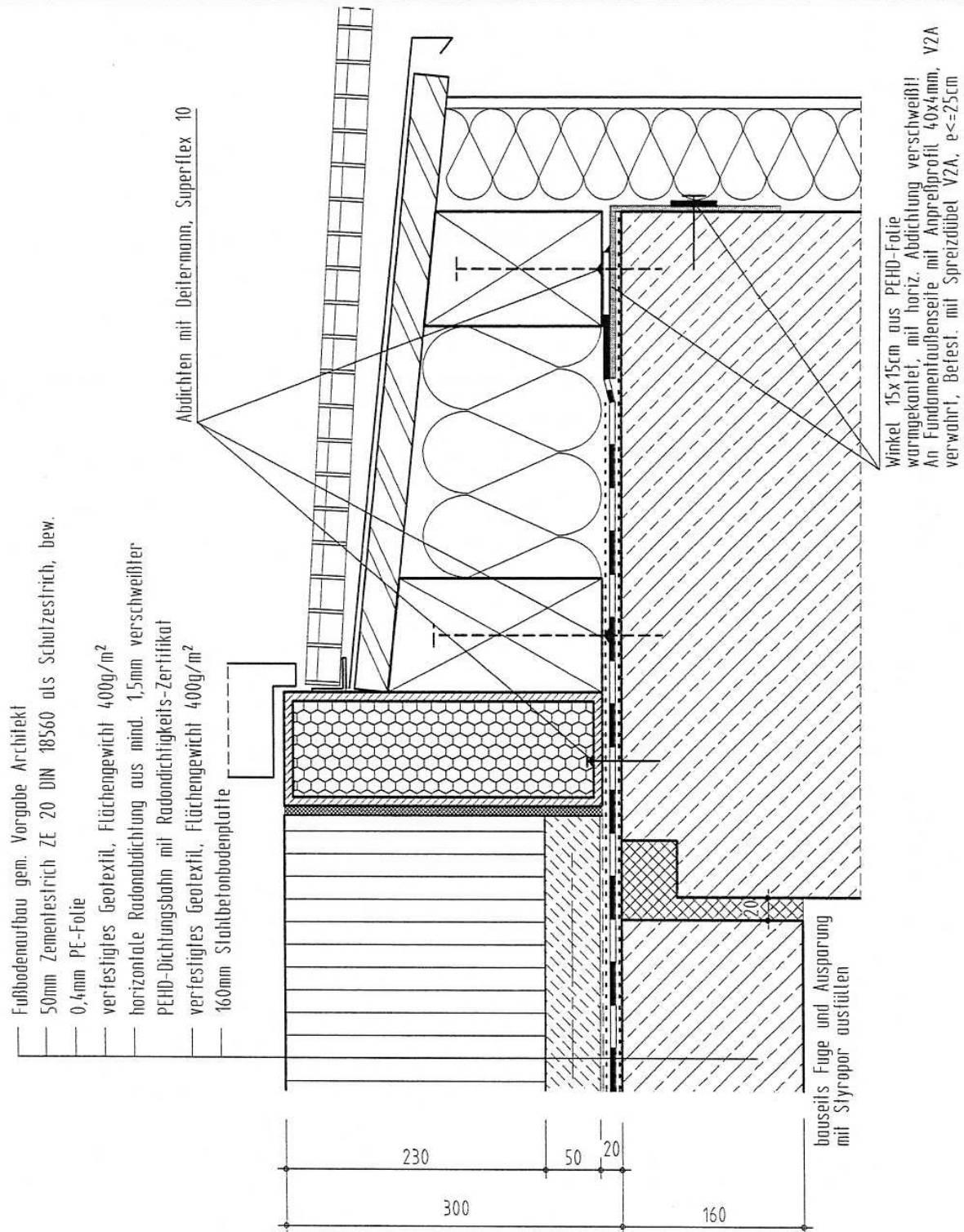
Beachte Plan "Sportgeräte-Einbauplan" Fa. Erhard





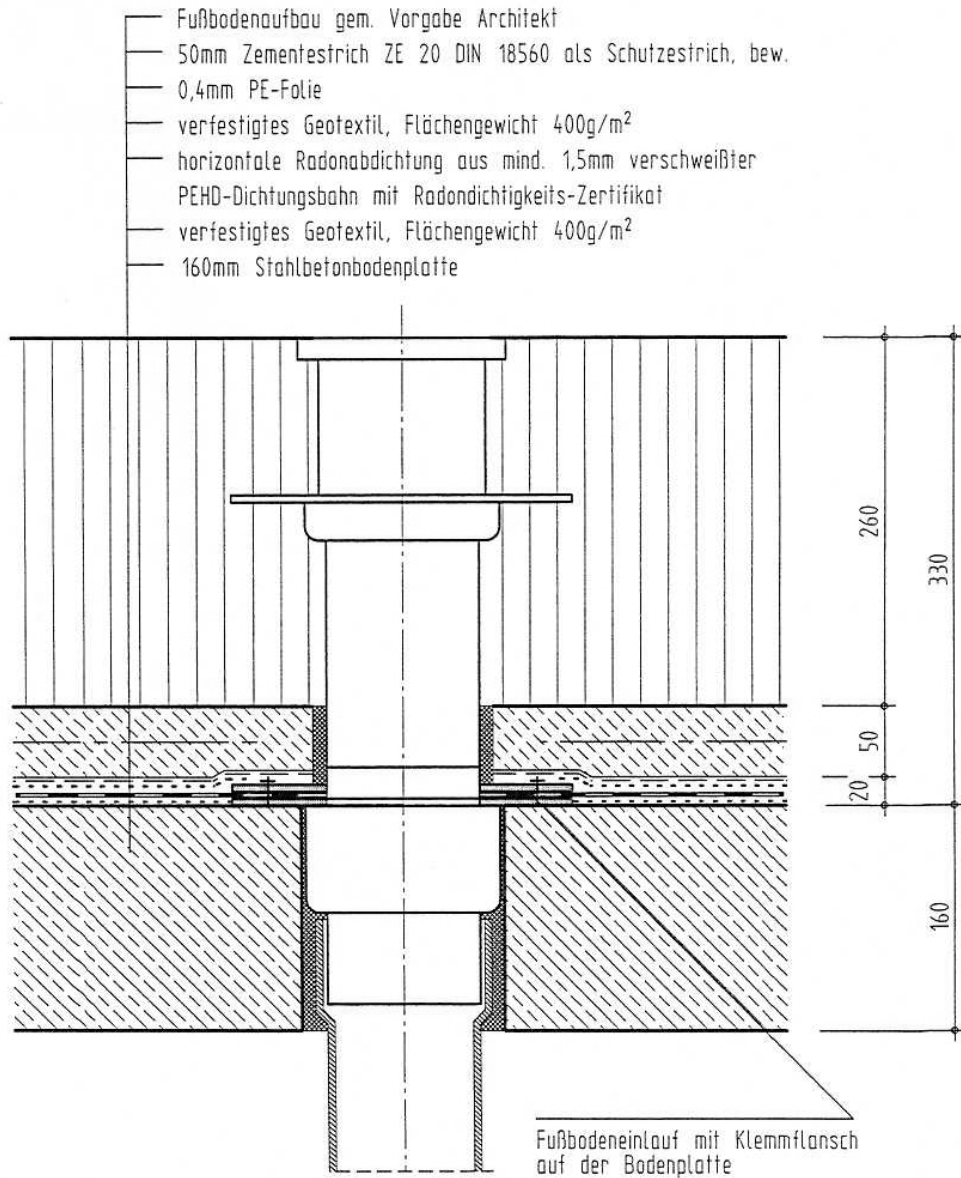
# Detail 9 Anschluß im Türbereich mit Radonschutzsystem

Gilt nur in Verbindung mit Detail Arch.-büro Gogolin D 003



# Detail 10

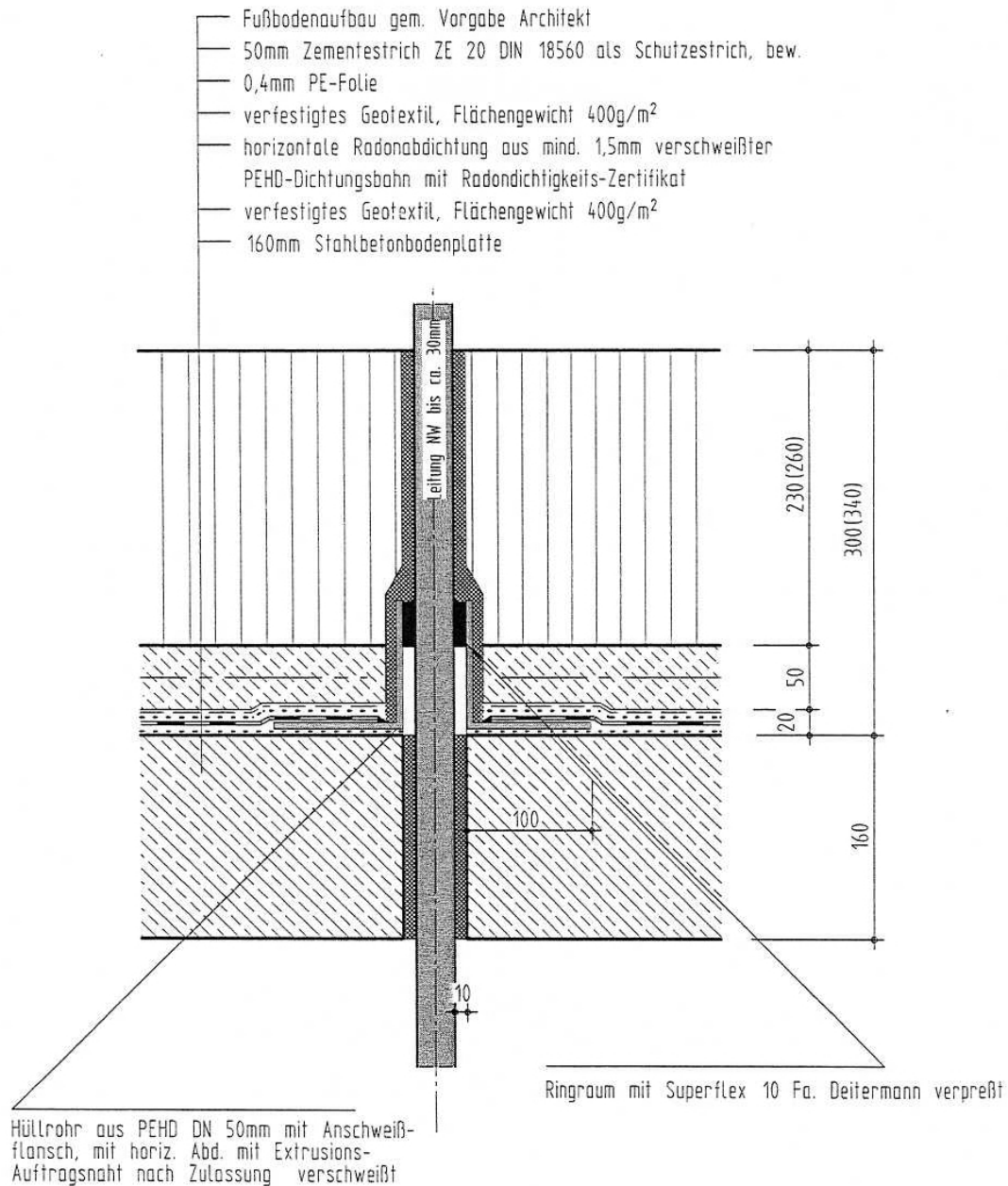
## Anschluß an Fußbodeneinläufe mit Radonschutzsys.



# Detail 11

## Anschluß an Durchführung mit geringem Durchmesser

(Elektrifg., Blitzschutz etc.)





**Abb. 5:** Horizontale Abdichtung

Auf Grund der öffentlichen Fördermittel mussten diese Leistungen öffentlich ausgeschrieben werden. Planung und Ausführung müssen anstreben, den Zielwert von  $100 \text{ Bq/m}^3$  einzuhalten.

Am 25.10.2006 erfolgte die erste Prüfung (Kurzzeitmessung) mittels Radonmonitoren mit folgenden Werten:

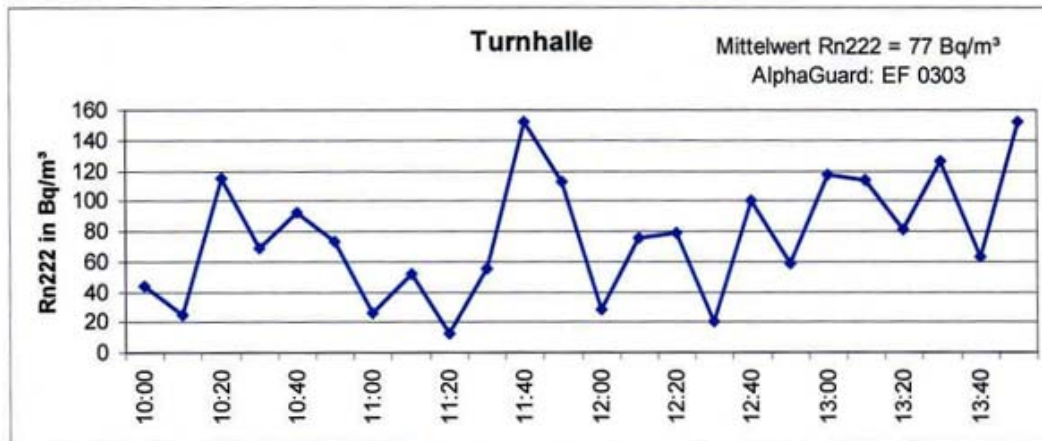


Abb. 6: Radonkonzentration Turnhalle (Kurzzeitmessung 25.10.2006)

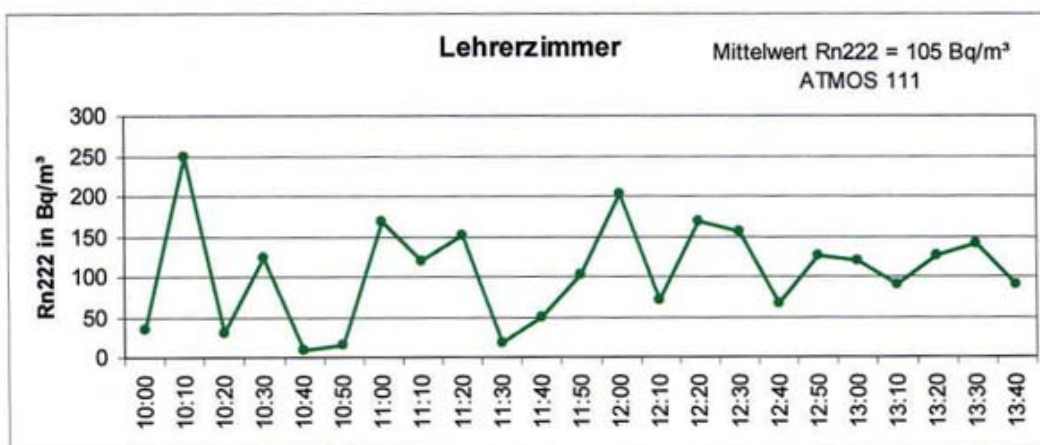


Abb. 7: Radonkonzentration Lehrerzimmer (Kurzzeitmessung 25.10.2006)

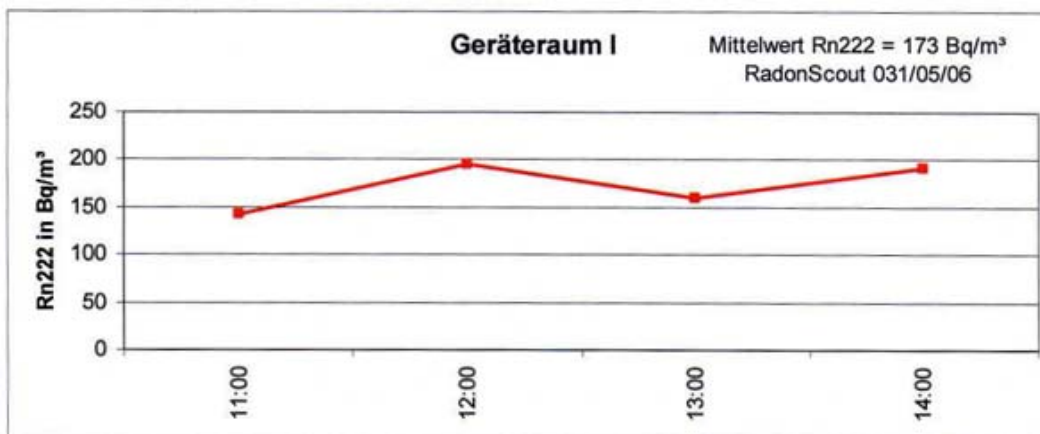


Abb. 8: Radonkonzentration Geräteraum I (Kurzzeitmessung 25.10.2006)

**Erklärungen zu den Kurzzeitmessungen:**

Turnhalle: zeitweise Überschreitung bis max. 50 Bq/m<sup>3</sup> über dem geplanten Grenzwert durch Intervalllüftung. Obwohl die Halle als Holzkonstruktion materialbedingt keine Radonbelastung aufweist, wurden auf der Radondichtung ca. 10 cm Betonstrich aufgebracht.

→ bei zukünftigen Bauvorhaben sind neben der Qualität der Sperre auch die nach der Sperre eingebauten Materialien auf Radonbelastung zu prüfen

Lehrerzimmer: zeitweise Überschreitung des Grenzwertes bis zu 150 Bq/m<sup>2</sup> über den geplanten Grenzwert.

Lüftungstechnisch liegt der Lehrerbereich zwischen Sportlerflur und Umkleidebereich Lehrer und wird deshalb nur schlecht entlüftet.

Geräteraum: Diese Räume haben keine direkte Lüftung ins Freie. Der Luftaustausch erfolgt nur mit der Halle.

Da in diesen Räumen keine Fußbodenheizung eingebaut wurde, ist parziell hier die Estrichdicke besonders groß.

Die Langzeitradonkonzentrationsmessung erfolgte vom 25.10.06 – 10.05.2007 mit passiven Diffusionskammern der Firma ALTRAC.

Sie brachte für diesen Zeitraum (der die Winterzeit mit zu erwartenden höheren Belastungen einschließt) folgende Resultate:

- Turnhalle 69 Bq/m<sup>3</sup>
- Lehrerzimmer 51 Bq/m<sup>3</sup>
- Sportgeräteraum 84 Bq/m<sup>3</sup>

Damit konnte eine Radonkonzentration von unter 100 Bq/m<sup>3</sup> für die Gesamthalle bescheinigt werden, da zu dem die Zeiten ohne Nutzung des Sportkomplexes in die Messung eingehen.

## Referentenverzeichnis

**Dr. rer. nat. Jürgen Conrady**

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

**Dr. rer. nat. Andreas Guhr**

ALTRAC Radon-Messtechnik  
D-12524 Berlin, Dorothea-Viehmann-Straße 28  
Telefon: 030 / 679 897 37, Telefax: 030 / 678 018 86  
www.altrac.de email: Guhr.ALTRAC@t-online.de

**Dipl.-Ing. Hans-Georg Henjes**

Bergsicherung Schneeberg GmbH  
D-08289 Schneeberg, Kobaltstraße 42  
Telefon: 03772 / 29150  
Telefax: 03772 / 29299  
www.bergsicherung.net email: henjes@bergsicherung.net

**Dipl.-Phys. Eiko Hermann**

B.P.S. Engineering GmbH  
D-08066 Zwickau, Reinsdorfer Str. 29  
Telefon: 0375 / 440688-10, Telefax: 0375 / 440688-12  
www.bps-zwickau.de, email: hermann@bps-zwickau.de

**Dr.-Ing. Hans-Henning Landfermann**

Referatsleiter Grundsatzangelegenheiten des Strahlenschutzes  
Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit  
D-53175 Bonn, Robert-Schumann-Platz 2  
Telefon: 01 888 / 305 - 2921  
Telefax: 01 888 / 305 - 3967  
www.bmu.bund.de email: hans.landfermann@bmu.bund.de

**Ministerialrat Frank Leder**

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft  
Referatsleiter Kerntechnik und Strahlenschutz  
D-01097 Dresden, Archivstraße 1  
Telefon: 0351 / 564 - 2301, Telefax: 0351 / 564 - 2209  
www.smulsachsen.de email: Poststelle@smul.sachsen.de

**Prof. h.c. Dr. rer.nat. habil Bernd Leißring**

Bergtechnisches Ingenieurbüro Geoprax  
D-09114 Chemnitz, Max-Planck-Str. 18  
Telefon: 0371 / 336 – 2788, Telefax: 0371 / 336 - 2789  
www.geoprax-leissring.de email: chemnitz@geoprax-leissring.de

**Dipl.-Ing. Bernd Liebscher**

Bauplanung und Betreuungs-GmbH  
D-09496 Marienberg, Amtsstraße 13  
Telefon: 03735 / 90802, Telefax: 03735 / 22331  
www.architekturbuero-Liebscher.de email: design@architekturbuero-Liebscher.de

**Dr. rer. nat. Walfried Löbner**

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

**Dr. rer. nat. Werner Preuße**

Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft  
2. Landesmessstelle für Umweltradioaktivität  
D-09131 Chemnitz, Dresdner Straße 183  
Telefon: 0371 461 2420. Telefax: 0371 / 461 2422  
www.smul.sachsen.de/de/wu/organisation/ubg email: werner.preusse@smul.sachsen.de

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

IAF Radioökologie GmbH (Geschäftsführer)  
D-01326 Dresden, Karpatenstraße 20  
Telefon: 0351 / 263 30 – 12, Telefax: 0351 / 263 30 - 22  
www.iaf-dresden.de email: info@iaf-dresden.de

**Dipl.-Ing. (FH) Alfred Taube**

Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft  
Beratungsstelle für radongeschütztes Bauen  
D-08301 Bad Schlema, Prof.-Rajewski-Str. 4  
Telefon: 03772 / 24214, Telefax: 03772 / 24214  
www.smul.sachsen.de/de/wu/orginsation/ubg/ email: alfred.taube@smul.sachsen.de

**Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig**

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (FH)  
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/index.htm?bcm email: dresden@koraev.de

**Regierungsdirektor Frank Wachno**

Regierungspräsidium Chemnitz  
amtierender Abteilungsleiter der Abteilung Raumordnung, Bau- und Wohnungswesen  
Referatsleiter Bauordnungs- und Bauplanungsrecht  
D-09120 Chemnitz, Altchemnitzer Straße 41  
Telefon: 0371 / 532 1510, Telefax: 0371 / 532 27 1510  
email: Frank.Wachno@rpc.sachsen.de







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

Dresden 2007

Redaktionelle Bearbeitung: Dipl.-Ing. Ralf Groh

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:  
HTW Dresden (FH), Bereich Druck und Foto