

4. SÄCHSISCHER RADONTAG

6. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

14. SEPTEMBER 2010

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
UND WIRTSCHAFT DRESDEN

veranstaltet durch:

Sächsisches Staatsministerium für
Umwelt und Landwirtschaft - SMUL



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

unterstützt durch:

HTW Dresden
Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden



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



INHALT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Grußwort des Vorstandsvorsitzenden von KORA e.V.	5
Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel Grußwort des Rektors der HTW Dresden	7
Herbert Wolff Grußwort des Staatssekretärs des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft	9

ZUSAMMENHANG ZWISCHEN LUFTWECHSEL UND SCHADSTOFFEXPOSITION IN DER RAUMLUFT

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig Einführung zum Thema: Radonexposition und energetisches Bauen – ein hoch aktuelles Thema!	11
Dipl.-Phys. Eiko Hermann CO₂ als Leitparameter für eine gute Luftqualität in Schulen auch in Hinblick auf Radon	17
Dipl.-Ing. Eberhard Paul Wie wirken sich verschiedene Lüftungstechniken auf die Radonbelastung aus? .	27
Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht Möglichkeiten und Grenzen rechnergestützter Mess- und Regelsysteme zur Raumluftoptimierung in Gebäuden bei feuchte- und schadstoffbelasteter Raumluft	39

RECHTLICHE FRAGEN SOWIE EINFLÜSSE U. MESSUNG DER RADONKONZENTRATION IN DER BODENLUFT

Frank Leder Radoninnenraumkonzentration - aktuelle Entwicklungen im Strahlenschutzrecht 47	47
Dr. Werner Preuß Die neue Radonkarte von Sachsen – Ergebnisse der Bodenluftkartierung	55
Dr. Jürgen Conrady Einfluss meteorologischer Parameter auf die Radonkonzentration in der Bodenluft	63

PRAKTISCHE BEISPIELE

Dr. Luigi Minach Radongegenmaßnahmen in Südtirol (Italien)	75
Dipl.-Ing. (FH) Markus Fischer Ergebnisse von Vergleichsmessungen der Radonexposition in Wohngebäuden ..	85
Steffen Wetzel Radonsichere Bauausführungen in der Ausbildungspraxis für Dachdecker	101
Dipl.-Ing. (FH) Marcus Joppich Der luftdurchströmte Schotterspeicher – Innovation in der Gebäudelüftung	109
Referentenverzeichnis	119



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

Begrüßung

Meine sehr geehrten Damen und Herren,

ich begrüße Sie sehr herzlich in den Räumen der HTW Dresden zum **vierten sächsischen Radontag – der 6. Tagung Radonsicheres Bauen**. Veranstaltet wird diese wie in den Vorjahren durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft gemeinsam mit dem „Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren – KORA e.V.“

Die Reduzierung des Energieverbrauchs in Gebäuden ist eine der großen aktuellen Bauaufgaben. Dabei stehen neben der Verbesserung der Wärmedämmung der Gebäudehülle die Reduzierung der Luftwechselraten sowie der Einsatz moderner Anlagentechnik für Heizung und Gebäudeklimatisierung immer stärker im Mittelpunkt der Überlegungen. Sowohl durch die Reduzierung der Luftwechselraten als auch durch falsch konzipierte gebäudetechnische Anlagen erhöht sich aber die Gefahr der Anreicherung von Schadstoffen in der Raumluft! In diesem Zusammenhang muss der Vermeidung einer erhöhten Radonexposition in der Raumluft auch deshalb besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden, da aktuell sowohl auf internationaler als auch auf nationaler Ebene die bisher empfohlenen Höchstwerte der Radonexposition in der Raumluft zum Teil deutlich reduziert werden.

Diese hier kurz dargestellten aktuellen Entwicklungen haben uns bewogen, den Zusammenhang von Radonexposition und den Anforderungen an das energetische Bauen mit mehreren Beiträgen als ein Schwerpunktthema des 4. Sächsischen Radontages aufzunehmen und dieses mit der Vorstellung aktueller Entwicklungen bei der rechtlichen Bewertung der Radonexposition in Verbindung zu setzen. Mit der Erhöhung der Anforderungen an das radonsichere Bauen gewinnen gleichzeitig die Ermittlung der standortkonkreten Bodenradonkonzentration sowie die Messung der Radonexposition in der Raumluft an Bedeutung. Auch diese Aspekte werden auf der Tagung in mehreren Beiträgen behandelt. Wie bereits gute Tradition des Sächsischen Radontages, wird das Programm durch die Vorstellung praxisnaher Untersuchungen sowie konkreter bauliche Objekte abgerundet.

Die Vorbereitung und Durchführung des Sächsischen Radontages ist ohne die tatkräftige Unterstützung vieler nicht möglich. Besonderer Dank gilt hier vor allen Dingen der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden, dem ihr angeschlossene Forschungszentrum ZAFT e.V. sowie den vielen Helfern aus der Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur der HTW Dresden!

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Vorsitzender KORA e.V.





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

Grußwort zum 4. SÄCHSISCHEN RADONTAG

Das Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren - KORA e.V. - veranstaltet in diesem Jahr bereits seine 6. Tagung „Radonsicheres Bauen“, die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft als „Sächsischer Radontag“ durchgeführt wird. Der Sächsische Radontag hat sich inzwischen über Sachsen hinaus in ganz Deutschland sowie in den benachbarten Ländern etabliert und ist zu einer festen Größe im Terminkalender vieler Experten des radonsicheren Bauens geworden.

Wie in den letzten Jahren wird auch 2010 diese Tagung von unserer Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden - der HTW - und dem Zentrum für angewandte Forschung und Technologie e.V., dem Forschungszentrum an der HTW Dresden, unterstützt.

Als Hausherr freue ich mich natürlich, alle Teilnehmer der Tagung hier an unserer Hochschule begrüßen zu können. Den wissenschaftlichen Erfahrungsaustausch zu pflegen und zu befördern ist eine wesentliche Aufgabe in unserem Hochschulleben, die ich gern unterstütze. Die enge Verbindung zwischen KORA e.V. und der HTW Dresden hat sich – neben der Gastgeberschaft für die alljährliche Tagung - in den letzten Jahren sehr fruchtbar entwickelt. So bietet die Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur seit nunmehr vier Jahren eine Vorlesung „Radonsicheres Bauen“ an, in der neben Mitarbeitern der Hochschule Experten aus verschiedenen Wissensgebieten Lehrveranstaltungen übernommen haben, die Mitstreiter in KORA e.V. sind. Inzwischen sind auch eine Reihe von Themen in Diplom- und Masterarbeiten behandelt worden, die sich mit dem radonsicheren Bauen befassen. Ein aktuelles Projekt, welches unter Betreuung von Prof. Uhlig durch Studenten des Masterstudienganges „Konstruktiver Ingenieurbau & Computing“ im Studiengang Bauingenieurwesen bearbeitet worden ist, wird heute in einem Beitrag vorgestellt. Damit werden wir unserer Verpflichtung gerecht, angewandte Forschung zu betreiben und damit gleichzeitig die Ausbildung von jungen Ingenieuren an den neuesten Stand von Wissenschaft und Technik anzupassen.

Das heutige Programm der Tagung geht auf einige außerordentlich aktuelle Entwicklungen ein. So wird mit dem Zusammenhang zwischen energetischen Bauen und der Radonbelastung ein hochaktuelles Thema aufgegriffen, wird auf aktuelle Entwicklungen in der rechtlichen Verankerung des Radonschutzes eingegangen und werden Aspekte der Radonmessung behandelt.

Mein Dank gilt den Organisatoren und den Referenten, die diese Tagung erfolgreich vorbereitet und mit gestaltet haben. Ich wünsche der Tagung einen interessanten Verlauf und ihnen einen persönlichen Erfahrungsaustausch, der bestimmt für weitere gemeinsame Projekte im Rahmen des sich gestaltenden Netzwerkes „Radonsicheres Bauen“ von großem Vorteil ist.

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

Rektor der Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden





Herbert Wolff
Staatssekretär des Sächsischen
Staatsministeriums für Umwelt
und Landwirtschaft

Begrüßung

Sehr geehrte Damen und Herren,

der vierte Radontag findet vor dem Hintergrund bedeutender internationaler Aktivitäten zur Themenstellung Radon in Innenräumen statt. Ziel ist die Einführung von rechtlich verbindlichen Referenzwerten für Radon in Gebäuden. Entsprechende Vorschläge der Weltgesundheitsorganisation WHO und der Internationalen Strahlenschutzkommission ICRP bildeten die Grundlage eines im Februar 2010 veröffentlichten Entwurfs der Europäischen Kommission für eine gesetzliche Regelung für Radon in Innenräumen. Dieser beinhaltet - neben allgemeinen Forderungen zur Information der Bürger zum Radonschutz in Gebäuden und nationalen Messprogrammen - konkrete Ziel- und Maßnahmewerte für Radon in Innenräumen. Er sieht einen Maßnahmewert von 300 Bq/m^3 für bestehende Gebäude und 200 Bq/m^3 für Neubauten vor.

Unsere bereits in den vergangenen Jahren ausführlich dargestellten Aktivitäten zum bestmöglichen Schutz der Bevölkerung Sachsens vor den schädlichen Wirkungen von Radon wurden im Verlauf des vergangenen Jahres erweitert und ergänzt. Wir gehen grundsätzlich davon aus, dass wir den Anforderungen der zukünftigen Richtlinie in Bezug auf die Information der Bürger und auch in Bezug auf die geforderten Messprogramme bereits heute entsprechen.

Dennoch wird uns die Aufnahme von Maßnahmewerten in die neue Richtlinie vor eine große Herausforderung stellen. Denn die bisher durchgeführten Schutzmaßnahmen, die vor allem bei hoch belasteten Gebäuden und bei Neubauten in Gebieten mit erhöhten Radonkonzentrationen in Böden umgesetzt wurden, sind zahlenmäßig nicht repräsentativ und auch erst wenige Jahre alt. Es existieren auch in anderen europäischen Ländern noch keine Erfahrungen für die Langzeitwirksamkeit und ökonomische Vertretbarkeit der jeweils angewandten Methoden.

Um eine Grundlage für die generelle bautechnische Umsetzbarkeit der Richtlinie zu schaffen, sind entsprechende Untersuchungen zur Beseitigung dieses Defizits durchzuführen und möglichst vereinheitlichte europäische Leitlinien zu schaffen. Dazu benötigen wir die Unterstützung der Europäischen Kommission.

Auch die energetische Sanierung von Gebäuden, die sich negativ auf die Radonsituation in Gebäuden auswirken kann, bewegt uns weiterhin. Zukünftig sollten Technologien entwickelt werden, die bei der energetischen Sanierung auch den Radonschutz berücksichtigen.

Für Ihre Tagung wünsche ich Ihnen deshalb viele anregende Gespräche und Diskussionen, die dazu beitragen, die dargestellten Probleme fachkundig aufzugreifen und kompetent zu lösen, sowie einen angenehmen Aufenthalt in Dresden.

Herbert Wolff

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium
für Umwelt und Landwirtschaft



RADONEXPOSITION UND ENERGETISCHES BAUEN – EIN HOCHAKTUELLES THEMA

RADON EXPOSURE AND ENERGETIC BUILDING – A CURRENT TOPIC

Walter-Reinhold Uhlig

HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur

Zusammenfassung

Energetisches Bauen und Radonschutz bilden nur scheinbar einen Gegensatz. Bei frühzeitiger Einbindung des Radonschutzes in das Planungsgeschehen sowie die Bauausführung sind auch dann sehr gute Ergebnisse zu erwarten, wenn ein hoher Anspruch an das energetische Bauen realisiert wird.

Im Beitrag wird ein Überblick über die Entwicklung des energetischen Bauens und Sanierens gegeben und dieser mit den Möglichkeiten und Zielen des Radonschutzes in Verbindung gebracht.

Summary

Energetic construction and radon protection form only apparently a contrast. By early integration of the radon protection in the planning as well as the execution of construction very good results are also to be expected if a high requirement is realised to the energetic construction.

In the article an overview about the development of the energetic construction and redeveloping is given and associated this with the possibilities and aims of the radon protection.

1. Klimaziele der Bundesrepublik Deutschland

Es ist allgemein bekannt und akzeptiert, dass der Energieverbrauch weltweit begrenzt werden muss, um die globalen Umweltziele hinsichtlich Erderwärmung und CO₂-Reduzierung zu erreichen. Deutschland nimmt dabei für sich in Anspruch, beim Klimaschutz eine Vorreiterrolle einzunehmen. Entsprechend ehrgeizige Ziele sind angepeilt [1]:

- Reduzierung der Treibhausgasemission gegenüber dem Stand von 1990:
 - bis 2020 um 40% und
 - bis 2050 um 80%
- Reduzierung des Primärenergiebedarfs bis 2050 um 50%, wiederum gegenüber dem Stand von 1990

Um diese Ziele erreichen zu können, sind alle Bereiche der Volkswirtschaft einzubeziehen. Dabei kommt dem Bauwesen eine besondere Bedeutung zu, da vor allen Dingen im Bereich der Wärmeversorgung von Gebäuden ein großes Einsparpotential ausgemacht wird.

2. Ziele und Methoden der energetischen Gebäudesanierung

Es werden für den Gebäudebereich zwei miteinander verknüpfte Strategien verfolgt:

- Reduzierung des Primärenergieverbrauchs
- Einsatz erneuerbarer Energiequellen.

Das Ziel ist, in Deutschland Klimaneutralität im Gebäudesektor bis 2050 zu erreichen [2]. Unter Klimaneutralität wird dabei verstanden, dass das atmosphärische Gleichgewicht nicht verändert und es zu keinem Nettoausstoß von Treibhausgasen kommt. Das bedeutet eine weitere Verschärfung der Anforderungen an das klimatische Bauen und Sanieren, zugleich muss das Engagements in der Gebäudesanierung deutlich erhöht werden. So ist hinsichtlich der Gebäudesanierung durch die Bundesregierung das Ziel formuliert worden, die jährliche Sanierungsrate von derzeit unter 1% auf etwa 2% zu erhöhen [1]. Nach Schulze Darup [2] muss sich die Quote für den Zeitraum 2015 bis 2025 gar auf 3,2% vergrößern. Dagegen wird sich die Neubauquote für Wohngebäude von derzeit 0,6 auf 0,4 % im Jahr reduzieren. Die deutliche Verlagerung des Baugeschehens auf die Gebäudesanierung wird mit den wenigen hier genannten Zahlen eindrucksvoll belegt. Um die hier genannten Neubau- und Sanierungsleistungen erbringen zu können, ist ein jährliches Investitionsvolumen in Höhe von 50 bis 100 Mrd. Euro erforderlich!

Die Ziele der Klimaneutralität im Gebäudebestand können nur dann erreicht werden, wenn die energetischen Standards gegenüber dem heutigen Niveau, welches in der Energieeinsparverordnung gesetzlich verankert ist [3], deutlich gesteigert werden. Sie werden in Zukunft vermutlich weit über den heutigen Passivhausstandard hinausgehen (s. Tabelle 1).

Tab. 1: Entwicklung der Kennwerte für Gebäude

		Aktuelle Werte für Neubau	Passivhaus (aktuell) ***)	Wirtschaftlich herstellbare Konstruktionen und Anlagentechnik (nach [2])					
				Neubau			Modernisierung/Sanierung		
				2010	2020	2050	2010	2020	2050
Wand	U-Wert [W/m ² K]	0,28 *)	0,15	0,12	0,1	0,06	0,15	0,12	0,08
Dach	U-Wert [W/m ² K]	0,2 *)	0,15	0,14	0,08	0,05	0,12	0,1	0,06
Fenster	U _w -Wert [W/m ² K]	1,3 *)	0,8	0,6	0,5	0,4	0,7	0,7	0,55
Luftdichtheit	n ₅₀ [1/h]	3,0 (ohne LTA) 1,0 (mit LTA) **)	0,6	0,6	0,4	0,2	0,4	0,4	0,35
Lüftung	Wärmebereitstellung			85%	90%	95%	80%	85%	92%

*) Nach EnEV 09 [3], Anlage 1: Referenzwerte für Neubauten; für Sanierungen von Altbauten werden um 40% höhere Werte zugelassen. Für die EnEV 2012 ist eine weitere Verschärfung der Anforderungen um ca. 30% geplant.

***) nach [4]

***) nach [5]

Diese wenigen Zahlen veranschaulichen eindrucksvoll die zu erwartende Entwicklung des Bauens in den nächsten Jahren und Jahrzehnten, auch wenn die Prognosezahlen von Schulze Darup [2] lediglich die zu erwartenden technischen Möglichkeiten, nicht aber die gesetzliche Umsetzung wiedergeben. Trotzdem ist der Trend klar ersichtlich. So werden

- die heute als Passivhausstandard bekannten Anforderungen in wenigen Jahren die allgemein anzuwendende Grundlage für Neubauten bilden, wird das Anforderungsniveau bis zum Jahre 2050 den heutigen Passivhausstandard deutlich überschreiten,
- werden insbesondere die Anforderungen an die energetische Sanierung verschärft werden und nur noch einen geringen Unterschied zu den Anforderungen an Neubauten aufweisen,
- werden die Anforderungen an die Luftdichtheit und damit die Reduzierung der Luftwechselrate dramatische Veränderungen erfahren,
- sind diese Anforderungen nur unter Einbezug von raumluftechnischen Anlagen erfüllbar,
- werden vollkommen veränderte Lösungen für die Beheizung von Gebäuden eingesetzt werden und
- wird sich der Einsatz von Gebäuderegellechnik verstärken.

3. Radonsicheres Bauen und Sanieren im Kontext mit den Anforderungen zur Energieeinsparung in Gebäuden

Während im Neubaubereich die Verbindung von Radonschutz und Energieeinsparung relativ problemlos möglich ist – hier reicht es zumeist aus, in Planung und Bauausführung auf eine hohe Ausführungsqualität der Abdichtungen zum Erdreich zu achten und einige wenige Regeln, die sich für den radonsicheren Neubau ergeben, zu beachten – ist bekannt, dass sich die Radonkonzentration in Wohn- und Arbeitsräumen nach energetischen Sanierungsmaßnahmen zum Teil drastisch erhöht haben (Bild 1).

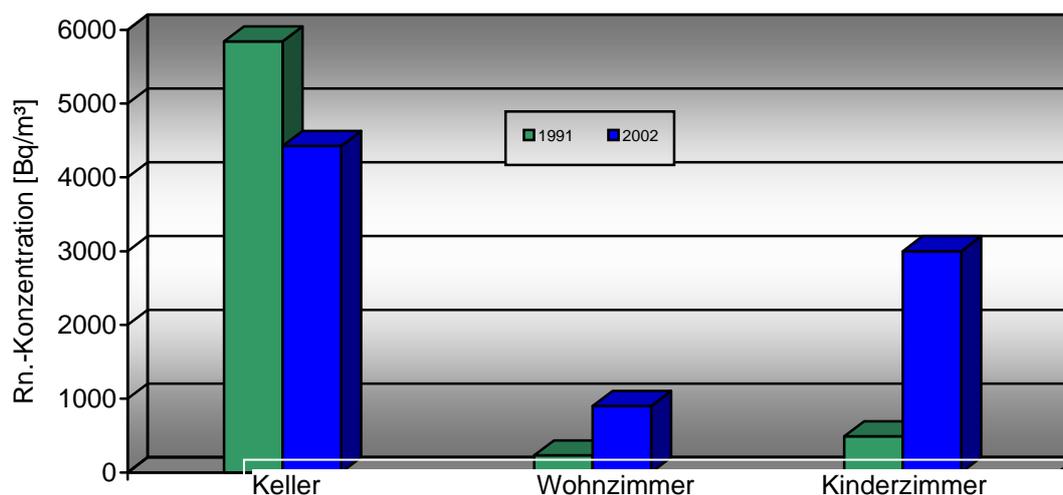


Abb. 1: Beispiel für die Veränderung der Radonkonzentration in einem Wohngebäude vor und nach dem Einbau neuer (dichtschließender) Fenster (nach [6]).

Eine vordergründige Fokussierung auf die Energieeinsparung kann zu erheblichen Feuchteschäden führen, aber auch die Schadstoffbelastung in der Raumluft erhöhen. Maßgeblich ist hierfür die Reduzierung der Luftwechselraten verantwortlich. Tabelle 1 verdeutlicht aber, dass die Anforderungen an die Dichtheit der Gebäude in den nächsten Jahren drastisch erhöht werden und dadurch die natürliche Lüftung über Fenster einen immer geringeren Beitrag für den erforderlichen Luftwechsel leisten kann. Während die Vermeidung von Feuchteschäden infolge erhöhter Raumluftfeuchte inzwischen zumindest allen in der Bauwerkserhaltung tätigen Architekten und Bauingenieuren geläufig sein dürfte (das bedeutet allerdings noch nicht, dass hier keine Fehler unterlaufen!), wird der Frage der Schadstoffbelastung in der Raumluft immer noch zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet, fehlt in vielen Fällen das entsprechende Fachwissen. In letzter Zeit konnte immerhin beobachtet werden, dass die Vermeidung einer erhöhten CO₂-Konzentrationen in Räumen verstärkte Beachtung erfährt. Das ist insofern nachzuvollziehen, da eine erhöhte CO₂-Konzentration in der Raumluft direkt und unmittelbar durch Absinken der Konzentration, Kopfschmerz und weitere Symptome gefühlt wird. Radon dagegen kann man nicht sehen und nicht riechen, die möglichen gesundheitlichen Auswirkungen zeigen sich erst nach einer langen Zeitspanne. Insofern ist es nicht verwunderlich, dass die Aufmerksamkeit für diesen gefährlichen Schadstoff nur sehr gering ist. Dabei gilt auch für die Sanierung, dass durch eine frühzeitige Beachtung und konsequente Realisierung des Radonschutzes solche Folgen, wie sie in Bild 1 dargestellt sind, vermieden werden können!

Das Wissen um das radonsichere Bauen und Sanieren ist in Kreisen der Bauwirtschaft auch deshalb bisher sehr wenig ausgeprägt, da es – im Gegensatz z.B. zur Einhaltung von Energieeinsparmaßnahmen – bisher in Deutschland keine allseits verbindlich anzuwendenden Regelungen zum Radonschutz gibt. Inwieweit sich hier Veränderungen anbahnen, wird Inhalt eines Beitrages dieser Tagung sein.

Die zu erwartende Reduzierung des natürlichen Luftwechsels wird dazu führen, dass in Gebäuden ohne installierte Lüftungstechnik keine ausreichend schadstoffarme Raumluft vorhanden ist. Es ist somit zu erwarten, dass in Zukunft ein deutlich größerer Anteil von Gebäuden mit derartiger Technik ausgerüstet wird. Hinsichtlich des Radonschutzes falsch konzipierte Anlagen – die z.B. im Gebäude einen Unterdruck erzeugen – können aber zu einer deutlich erhöhten Radonkonzentration in der Raumluft führen. Dagegen haben die Untersuchungen von F. Bergmann [7] gezeigt, dass im Sinne des Radonschutzes richtig konzipierte Lüftungsanlagen dazu beitragen, die Radonkonzentrationen in der Raumluft auf einem ständigen sehr niedrigen Niveau zu halten.

Ein zunehmender Einsatz von Gebäudetechnik wird den Einsatz von Steuerungs- und Regelungstechnik zur Überwachung und gezielten Steuerung des Luftaustausches ganz sicher verstärken. Während es mit den bereits heute eingesetzten Systemen vergleichsweise einfach ist, auf Veränderung von Raumtemperatur, Luftfeuchte und CO₂-Gehalt zu reagieren, fehlen derartige Möglichkeiten einer Überwachung und Steuerung der Radonkonzentration. Hier sollten Möglichkeiten untersucht werden, wie z.B. über die Messung und Regelung von CO₂-Gehalt und Raumluftfeuchte die Radonkonzentration in der Raumluft beeinflusst werden kann.

Zusammengefasst können folgende Thesen für den Zusammenhang von Radonschutz und Energieeffizienz formuliert werden:

- Die wichtigste Voraussetzung dafür, dass Radonschutz und energetisches Bauen gleichermaßen zum Erfolg führen und keinen – hin und wieder kolportierten - Gegensatz darstellen, ist ein hoher Wissenstand über die Regeln des radonsicheren Bauens und Sanierens bei allen mit dem Bau von Gebäuden Beschäftigten.
- Eine höhere Verbindlichkeit von Referenzwerten der Radonexposition würde zweifellos dazu führen, dass das radonsichere Bauen eine breitere Beachtung im Bausektor erhält.
- Beim Einsatz von Lüftungstechnik sind die Anforderungen des Radonschutzes immer zu beachten.
- Inwieweit der Einsatz von Steuerungs- und Regelungstechnik dazu beitragen kann, die Radonkonzentration in der Raumluft zu begrenzen, sollte in den nächsten Jahren Inhalt wissenschaftlicher Untersuchungen sein.

Die hier aufgeführten Thesen werden auf der heutigen Tagung in mehreren Beiträgen unter verschiedenen Aspekten betrachtet. Insofern ist zu hoffen, dass die Tagungsteilnahme für alle Teilnehmer mit einer Erweiterung des Wissensstandes verbunden ist!

4. Literaturverzeichnis

- [1] BMWi und BMU: Entwurf Energiekonzept – Neun Punkte für eine umweltschonende, zuverlässige und bezahlbare Energieversorgung, 7. September 2010
- [2] Schulze Darup, Burkhard: Klimaneutralität im Gebäudesektor bis 2050, Tagungsband 14. Internationale Passivhaustagung, Dresden 2010
- [3] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV 2009)
- [4] Ingenieurbüro n₅₀ (www.n50.de)
- [5] Was ist ein Passivhaus? (www.passiv.de)
- [6] Conrady, Jürgen, Andreas Guhr, Bernd Leißring, M. Nagel: Modelllösung für die Vermeidung erhöhter Werte von Wohnungsradon durch bauliche Energiesparmaßnahmen; Abschlussbericht Deutsche Bundesstiftung Umwelt, 2004
- [7] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern; Diplomarbeit HTW Dresden, 2006

CO₂ ALS LEITPARAMETER FÜR EINE GUTE LUFTQUALITÄT IN SCHULEN, AUCH IM HINBLICK AUF RADON

CO₂ AS A LEADING PARAMETER FOR A GOOD AIR QUALITY IN SCHOOLS, ALSO IN VIEW OF RADON

Eiko Hermann, Zwickau

B.P.S. Engineering GmbH

Zusammenfassung

Betrachtet man unter der Spezifik von Schulen und anderen Gebäuden mit hohen Personendichten die CO₂-Konzentration, so werden in der Realität Werte deutlich über dem für gutes Lernen und Arbeiten empfohlenen Bereich von ≤ 1.500 ppm vorgefunden. Unter den Bedingungen der fortschreitenden thermischen Sanierung und den dabei erreichten Luftwechselzahlen sind CO₂-Konzentrationen bis in den Bereich > 10.000 ppm zu erwarten. Der einzige Ausweg besteht in der Erhöhung der Luftwechselzahl zur Außenluft. Mit Simulationsrechnungen werden mehrere Szenarien mit Unterscheidung von Zeiträumen der Nichtnutzung, der Nutzung-Unterricht und der Nutzungspausen durchgeführt und diskutiert. Parallel zur Simulation der CO₂-Konzentration wird die Radonkonzentration bei konstanter Quellstärke und variablen Luftwechselzahlen berechnet. Für beide Parameter wird anhand des zeitlichen Verlaufes die Wirkung der unterschiedlichen Quellstärken gezeigt aber als Gemeinsamkeit deutlich die Rolle der Luftwechselzahl herausgearbeitet. Durch die Simulationsrechnungen werden das Potential und die Grenzen von manuellen Lüftungen aufgezeigt. Für Schulen sind Luftwechselzahlen im Bereich von > 4 h⁻¹ erforderlich. Sie können über den erforderlichen Zeitraum nur durch aktive Be- und Entlüftungsanlagen erreicht werden. Mit der Lösung des CO₂-Problems ist in nahezu 100 % der Fälle auch ein potentiell Radonproblem gelöst. CO₂ stellt für Schulen und Räume mit hoher Personendichte einen wichtigen Leitparameter für gute Luftqualität dar.

Summary

Taking a close look to the CO₂ concentration under the specificity of schools and other buildings with a high density of people, the values found in the reality clearly above good learning and working recommendations of $\leq 1,500$ ppm. Under the conditions of the progressive thermal refurbishments and the besides achieved air changes CO₂ concentrations are to be expected up to $> 10,000$ ppm. The only way out is the increasing of the air exchange rate to outside air. With simulations of several scenarios with time variations of disuse, disuse of lessons and the breaks of utilisation are carried out and discussed. Parallel to the simulation of the CO₂ concentration the radon concentration is calculated with constantly source strength and variable air change rate. For both parameters the effect of the different source strengths under time progress and in common the role of the air exchange rate is worked out. The potential and the limits of manual airings are indicated by the simulations. For schools air exchange rates of > 4 h⁻¹ are necessary. They can be reached for the necessary period only by active ventilation systems for aeration and de-aeration. Solving the CO₂ problem a potential radon problem is also solved in nearly 100% in all cases. CO₂ shows for schools and rooms with high density of people an important leading parameter for good air quality.

1. Vorbemerkungen

Die Situation bezüglich der Raumluftqualität in Räumen mit hoher Personendichte ist dadurch geprägt, dass die CO₂ Freisetzung durch die Atmung der anwesenden Personen eine besondere Rolle spielt und die damit verbundene Raumluftkonzentration sehr schnell Werte im Bereich von 1.500 ppm bis 10.000 ppm erreichen kann. Räume mit hohen Raumdichten sind beispielsweise zu finden in

- Krippen/Kindergärten
- Schulen, Schulungseinrichtungen, Universitäten
- Krankenhäuser
- Kinos, Säle für Großveranstaltungen
- usw.

Diese Quelle kann jedoch nicht, wie andere Schadstoffquellen, wie z. B. Radon einfach ausgeschaltet werden. Immer wenn Personen in einem Raum sind, ist diese Quelle präsent. Für die oben genannten Situationen bietet sich die CO₂ Konzentration in der Raumluft als wichtiger Leitparameter für eine gesunde Luftqualität an. Es wird in den folgenden Abschnitten aufgezeigt, dass die Lösung des CO₂ Problems in den meisten Fällen zu einem gesunden Raumklima bezogen auf alle Parameter und insbesondere auch auf Radon hinausläuft. Aus diesem Grund eignet sich CO₂ für diesen Anwendungsfall besonders gut als Leitparameter, zumal dieser auch gut messtechnisch erfassbar ist.

In den weiteren Kapiteln wird der Begriff Radon als Synonym für Rn-222 verwendet.

2. Gemeinsamkeiten und Unterschiede von Radon und CO₂ als Parameter der Raumluftqualität

Die Gemeinsamkeiten zwischen Radon und CO₂

- Die Konzentration in der Außenluft ist in der Regel geringer als in Räumen
 - CO₂ mit 300-600 ppm;
 - Rn-222 mit ca. 10 Bq/m³ bis 20 Bq/m³
- Es liegt eine starke Kopplung der Innenraumkonzentration beider Parameter mit der Luftwechselzahl vor.
- Rn-222 und CO₂ sind wichtige Parameter für die Raumluftqualität

Die Unterschiede zwischen beiden Parametern liegen in der Quelle begründet und werden bezugnehmend auf die nachfolgenden Ausführungen in der **Tab. 1** zusammengefasst.

Tab. 1: Unterschiede zwischen CO₂ und Rn-222 als Raumluftparameter

Parameter	CO ₂	Rn-222
Quelle	<ul style="list-style-type: none"> • Mensch 	<ul style="list-style-type: none"> • Baugrund, Baustoffe
Quellstärke	<ul style="list-style-type: none"> • An Aufenthalt im Raum gebunden • Anzahl der Personen • Im Klassenzimmer 0 bis 30 Personen • Relativ gut zu prognostizieren 	<ul style="list-style-type: none"> • Nicht an Aufenthalt gebunden • Abhängig von der Ankopplung an Quellen, Transportbedingungen usw. • Unterliegt zeitlichen Schwankungen • Nur messtechnisch erfassbar
Wirkung	<ul style="list-style-type: none"> • Sofortige Beeinträchtigung des allgemeinen Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit • Keine Dauerschäden bekannt 	<ul style="list-style-type: none"> • Keine sofortige Wirkung • Zusätzliche und signifikante Strahlenexposition

Korrelation Konzentration zur Anwesenheit	• Bei Raumnutzung steigend	• Bei Raumnutzung fallend
--	----------------------------	---------------------------

In den nächsten Abschnitten wird der Schwerpunkt auf CO₂ gelegt und im Rahmen der Modellierung wieder der Bezug zu Rn-222 aufgenommen.

3. CO₂ als Leitparameter der Raumlufqualität

In der Tab. 2 sind typische Konzentrationsbereiche für CO₂ angegeben.

Tab. 2: Übersicht zu typischen Konzentrationsbereichen von CO₂[1]

CO ₂ -Konzentration	Vorkommen bzw. Hygienerrelevanz
0,07 – 0,08 Vol % 300 bis 600 ppm	Schwankungsbereich in der Außenluft
0,07 – 0,08 Vol % 700 ppm bis 800 ppm	häufige Konzentrationen in Büro-, Versammlungsräumen und anderen Gemeinschaftseinrichtungen
0,1 – 0,15 Vol % 1.000 ppm bis 1.500 ppm	Bereich hygienischer Empfehlungswerte außerhalb von Gefahrstoffarbeitsplätzen, in Schulräumen während des Unterrichts häufig erreicht und überschritten
0,5 Vol % 5.000 ppm	maximal zulässige Konzentration an Gefahrstoffarbeitsplätzen (MAK-Wert), gelegentliche Überschreitungen in Schulräumen nachgewiesen
1 Vol % 10.000 ppm	selbst bei unzureichender Lüftung in Schulen eher selten, aber Maximalwerte in Schulräumen sogar noch geringfügig darüber
4 – 6 Vol % 40.000 ppm bis 60.000 ppm	an speziellen Arbeitsplätzen wie z.B. in Brunnenschächten, Abwassergruben, Gärkellern, Silos o. ä. möglich
4 Vol % 40.000 ppm	Konzentration der Ausatemluft
> 10 Vol % > 100.000 ppm	Lebensgefahr

Das Problem von CO₂ in der Raumlufqualität kann sehr eindrucksvoll an folgender groben Abschätzung veranschaulicht werden.

Die Einatemluft hat eine Konzentration von 400 ppm, wogegen die Ausatemluft eine Konzentration von 40.000 ppm besitzt. In der Atemluft erfolgt somit eine Anreicherung um den Faktor 100.

Die aktuelle Situation in Schulen kann wie folgt dargestellt werden.

- Deutliche Überschreitung der CO₂-Konzentration von 1.500 ppm in mehr als 90 % der Fälle (Untersuchungen in Niedersachsen)
- Spitzenwerte von mehr als 5.000 ppm vorgefunden (MAK-Wert)
- Weitere energetische Sanierung der Schulen mit Reduzierung der LWZ

- Förderung dieser Entwicklung durch Bewilligung von Fördergeldern ohne Berücksichtigung der Folgen bezüglich Raumluftqualität

Warum hat diese Problematik in Schulen einen besonders hohen Stellenwert?

In Schulen liegt eine sehr hohe Personendichte in einem Raum vor. Das Raumluftvolumen beträgt zwischen 5 m³ und 10 m³ pro Schüler. Vergleicht man die Situation in einem Kinderzimmer, so steht pro Kind ein Volumen von 20 m³ bis 40 m³ zur Verfügung. Die Schüler verbringen einen nicht unwesentlichen Anteil des Tages in den Klassenräumen, so dass für diese ungünstige Situation zusätzlich eine lange Expositionszeit vorliegt.

Während des Aufenthaltes in den Klassenräumen wird ein hohes Maß an geistiger Tätigkeit abverlangt. Hohe CO₂-Konzentrationen führen jedoch zu nachweisbar verminderter Leistungsfähigkeit, was dem Ziel der Schule kontraproduktiv gegenüber steht.

Alternativen zum Schulbesuch bestehen aufgrund der allgemeinen Schulpflicht nicht. Man kann davon ausgehen, dass ein überwiegender Anteil der Schulen dieses Problem bereits besitzen oder in naher Zukunft nach einer Sanierung haben werden.

Um die Tragweite zu veranschaulichen, soll nachfolgende Beispielrechnung durchgeführt werden:

Dazu werden lediglich nur folgende Parameter benötigt:

- Atemrate 0,7 m³/h
- CO₂ Konzentration in der Ausatemluft mit 40.000 ppm
- Zielwert in Schulen für ein gesundes Raumklima 1.500 ppm
- 400 ppm CO₂ in der Frischluft

In der Tab. 3 sind ein Soll-Beispiel und ein Ist-Beispiel ausgeführt.

Tab. 3: Einfache Beispielrechnungen im Soll- und Ist-Vergleich

Parameter	Soll	Ist	Einheit
Atemrate	0,7	0,7	m ³ /h
CO ₂ Ausatemluft	40.000	40.000	ppm Vol
CO ₂ in Frischluft	400	400	ppm Vol
Raumluftkonzentration (im Gleichgewichtszustand)	1.500	23.500	ppm Vol
Frischluftrate	24,5	0,5	m ³ /(h*Schüler)
Anzahl Schüler	25	25	
Mindestvolumen pro Schüler	5	5	m ³ /Schüler
Mindestraumvolumen	125	125	m ³
erforderliche LWZ	4,1	0,1	h ⁻¹

Aus der Tab. 3 ist ersichtlich, dass pro Schüler eine Frischluftrate von ca. 24,5 m³/h erforderlich ist, um das Qualitätsziel für CO₂ zu erreichen. In den letzten vier Zeilen der **Tab. 3** werden die dazugehörigen Luftwechsellzahlen abgeleitet. In der Beispielrechnung „Ist“ werden die gleichen Parameter benutzt, nur eine für thermisch sanierte Schulräume typische Luftwechsellzahl von 0,1 h⁻¹ herangezogen. Die berechneten Raumluftkonzentrationen stellen die Gleichgewichtskonzentrationen, bei denen die Quellstärke gleich der Senke ist, dar. Insbesondere die Raumluftkonzentration für den Ist-Zustand ist aufgrund der Berechnung im Gleichgewichtszustand eine Abschätzung nach oben und wird erst nach mehr als 15 Stunden erreicht.

4. Modellierung der CO₂ Konzentration

Die eben durchgeführte Beispielrechnung zeigt die Brisanz des Themas, zeigt aber auch, dass für weiterführende Aussagen, aus denen auch Entscheidungen abgeleitet werden können, eine detailliertere Betrachtung durchzuführen ist. Dabei sind Aspekte,

- dass die Raumnutzung zu veränderten Luftwechselzahlen führt,
- die Nutzung zusätzlich in Unterricht und Pausenzeiten zu unterteilen sind,
- möglicherweise eine zusätzliche Lüftung vor dem Unterrichtsbeginn und zu weiteren Zeiten vorliegt usw.

zu berücksichtigen. Daraus erwächst die Forderung, die CO₂-Konzentration als zeitabhängige Größe zu betrachten. B.P.S. hat für diese Aufgabenstellung ein Simulationswerkzeug entwickelt. Die nachfolgenden Modellierungen basieren auf diesem Programm, das eine beliebige zeitliche Variabilität aller Einflussgrößen ermöglicht. In diesem Zusammenhang wird die Radonkonzentration als weiterer Parameter betrachtet.

Der Schulbetrieb kann durch folgende Parameter beschrieben werden:

- Montag bis Freitag zwischen 7:00 Uhr bis 14:00 Uhr ist Unterrichtszeit.
- Der Unterricht erfolgt über 45 Minuten, anschließend folgt eine Pause von 10 Minuten.
- In Pausen ist die LWZ (LWZ-Pause) höher als in den Stunden oder außerhalb des Unterrichts (LWZ-Ruhe).
- Die Klassenstärke beträgt 25 Personen (incl. Lehrer).
- Das Raumvolumen des Klassenzimmers beträgt 125 m³. Das entspricht einem spezifischen Raumvolumen von 5 m³/Person, das als Minimum für die Bemessung von Klassenräumen gefordert wird.
- Messungen zur Luftwechselzahl in Klassenräumen ergaben einen Bereich von 0,1 h⁻¹ bis 0,3 h⁻¹ bei geschlossenen Fenstern
- Bei geöffneten Fenstern liegt die LWZ zwischen 0,5 h⁻¹ bis 4 h⁻¹
- Für Radon wird eine fiktive konstante Quellstärke angenommen, die bei einer LWZ zwischen dem Raum und der Außenluft von 0,1 h⁻¹ zu einer Gleichgewichtskonzentration von 1.000 Bq/m³ führt.

Im ersten Schritt soll gezeigt werden, welchen Einfluss eine aktive und bewusste Lüftung während der Pausenzeiten auf die CO₂- und Radonkonzentration nimmt. Es wird dabei angenommen, dass die Lüftung nur durch das Öffnen der Fenster und Türen erfolgt. Für den Vergleich des Energieverbrauchs wird eine Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenluft von 20 K angenommen. Die Simulation erfolgt über den Zeitraum einer Woche, d.h. 7 Tage. Der Unterschied in den verschiedenen Simulationsläufen besteht in der Annahme von unterschiedlichen LWZ während der Pausenzeit. Die Annahmen sind in der Tab. 4 als Szenarien S1 bis S5 dargestellt.

Tab. 4: Parameter für die Szenarien der Simulation

	Szenario				
	S1	S2	S3	S4	S5
LWZ-Ruhe	0,1 h ⁻¹				
LWZ-Pause	0,1 h ⁻¹	0,5 h ⁻¹	1 h ⁻¹	1,5 h ⁻¹	2 h ⁻¹

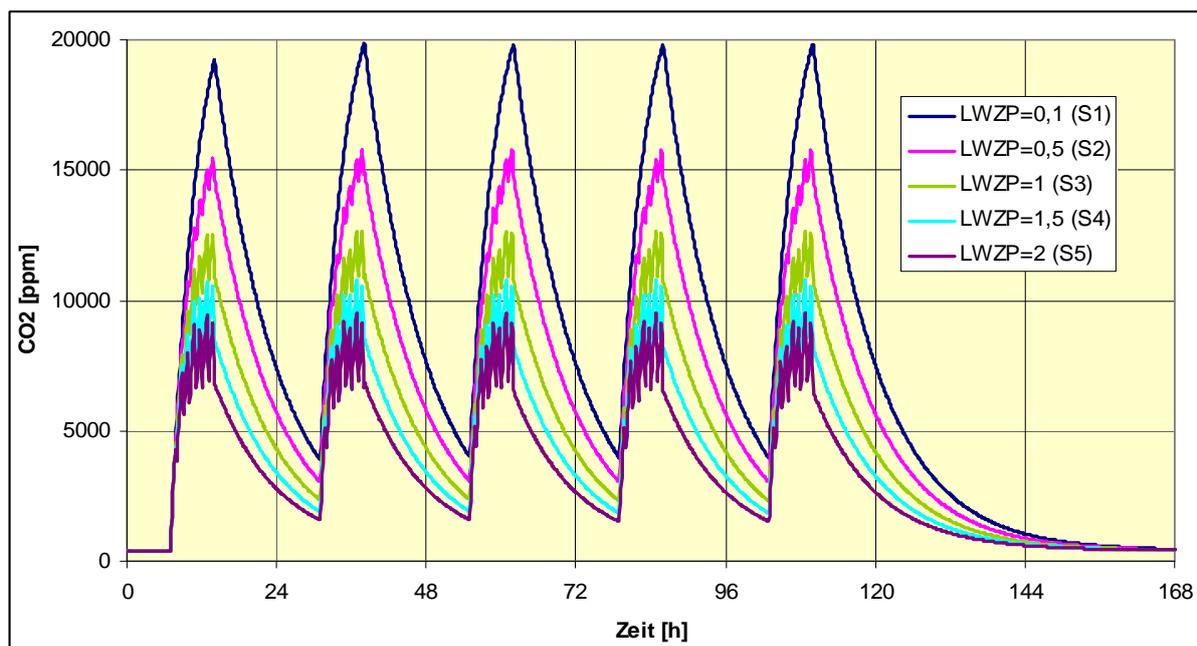


Abb. 1 Darstellung der CO₂-Konzentration in ppm für die Szenarien S1 bis S5 (LWZP=LWZ-Pause in h⁻¹)

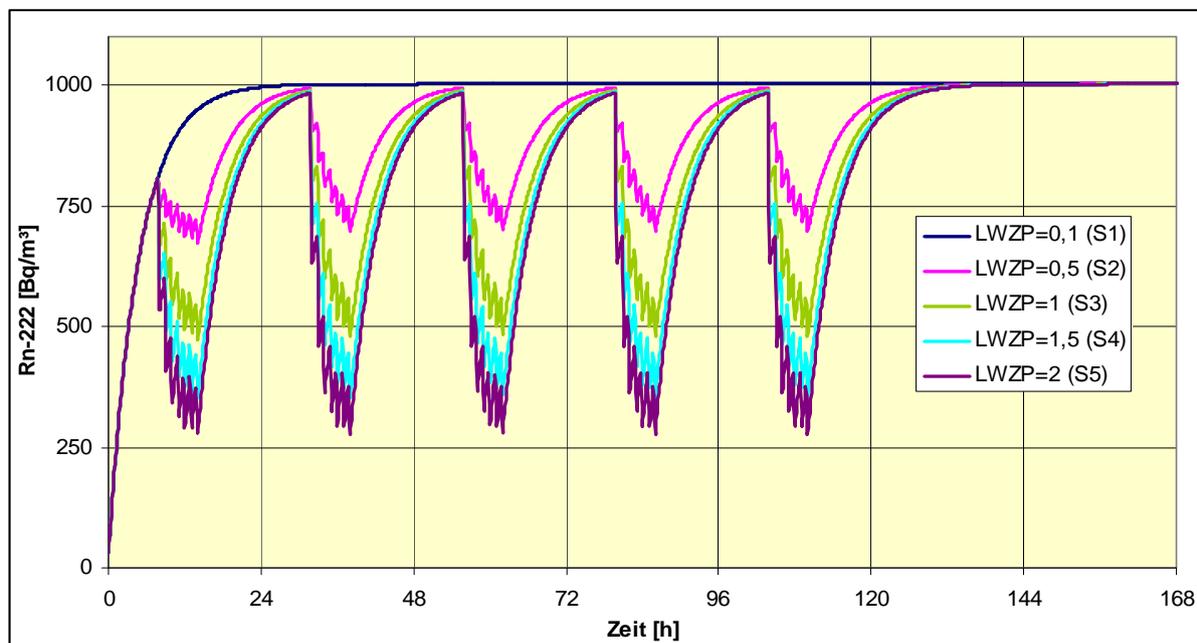


Abb. 2 Darstellung der Radon-Konzentration in Bq/m³ für die Szenarien S1 bis S5 (LWZP=LWZ-Pause in h⁻¹)

In der Abb. 1 sind die zeitlichen Verläufe für die CO₂-Konzentration und in der Abb. 2 die zeitlichen Verläufe für Radon dargestellt.

Das Szenario 1 (LWZ=0,1 h⁻¹) zeigt den zeitlichen Verlauf beider Parameter für den Fall, dass während der gesamten Wochen die LWZ=0,1 h⁻¹ beträgt.

- Für CO₂ steigt die Konzentration bei Unterrichtsbeginn, d.h. wenn Personen anwesend sind, von Werten im Bereich 400 ppm auf Maximalwerte von ca. 20.000 ppm. Ist der Unterricht beendet, verlassen die Personen den Raum, die Quelle entfällt und die CO₂-Konzentration sinkt aufgrund des Luftwechsels mit der Außenluft ab.

- Der Verlauf für Radon unterscheidet sich vom Verlauf von CO₂. In der Simulation wurde angenommen, dass zu Wochenbeginn die Radonkonzentration im Raum gleich der Außenluft ist. Man sieht, dass die Radonkonzentration mit Anwesenheit der Quelle, also sofort nach Beginn der Woche ansteigt und nach ca. 1 Tag die Gleichgewichtskonzentration von 1.000 Bq/m³ erreicht. Die Radonquelle ist unabhängig von der Anwesenheit der Personen. Ein typisches Absinken der Radonkonzentration infolge der Nutzung kann in Kurve 1 noch nicht vorliegen, das die LWZ laut Tab. 4 auch bei der Nutzung 0,1 h⁻¹ beträgt.

Die Szenarien 2 bis 5 zeigen den zeitlichen Verlauf beider Parameter für die Situation, in der während der Pausenzeiten die LWZ höher ist als in den Ruhezeiten und diese von 0,5 h⁻¹ bis 2 h⁻¹ ansteigt.

- Für CO₂ steigt die Konzentration ebenfalls bei Unterrichtsbeginn von Werten im Bereich 400 ppm auf Maximalwerte, die von der LWZ in den Pausen abhängig sind und zwischen 10.000 ppm und 15.000 ppm liegen. Ist der Unterricht beendet, verlassen die Personen den Raum, die Quelle entfällt und die CO₂-Konzentration sinkt aufgrund des Luftwechsels mit der Außenluft ab.
- Der Verlauf für Radon unterscheidet sich auch in den Kurven 2 bis 5 vom Verlauf von CO₂. Es ist ersichtlich, dass die Radonkonzentration im Gegensatz zur CO₂-Konzentration bei Anwesenheit der Personen sinkt, wogegen die CO₂-Konzentration bei Anwesenheit steigt. Die Ursache dafür liegt in den unterschiedlichen Quellen. Bereits in der Tab. 1 wurde darauf verwiesen, dass für CO₂ der Mensch die Quelle darstellt, wogegen für Radon der Bauuntergrund, das Gebäude usw. die Ursache ist. Als Gemeinsamkeit beider Verläufe kann jedoch festgestellt werden, dass je höher die LWZ in den Pausen ist, beide Konzentrationen während der Nutzung umso stärker sinken.

In Abb. 3 sind die zeitlichen Verläufe der CO₂- und der Radonkonzentration für den Simulationslauf Szenario 5 gegenübergestellt. In diesem Vergleich können die Auswirkungen der unterschiedlichen Quellen nochmals veranschaulicht werden.

In der Abb. 4 sind die kumulierten Energieverbräuche für die 5 Szenarien gegenübergestellt. Zwischen Szenario 1 und 5 verdoppelt sich der Energieverbrauch von ca. 15 kWh auf 30 kWh infolge des Luftwechsels bei einem Temperaturunterschied von 20 K zwischen der Außen- und der Raumluft.

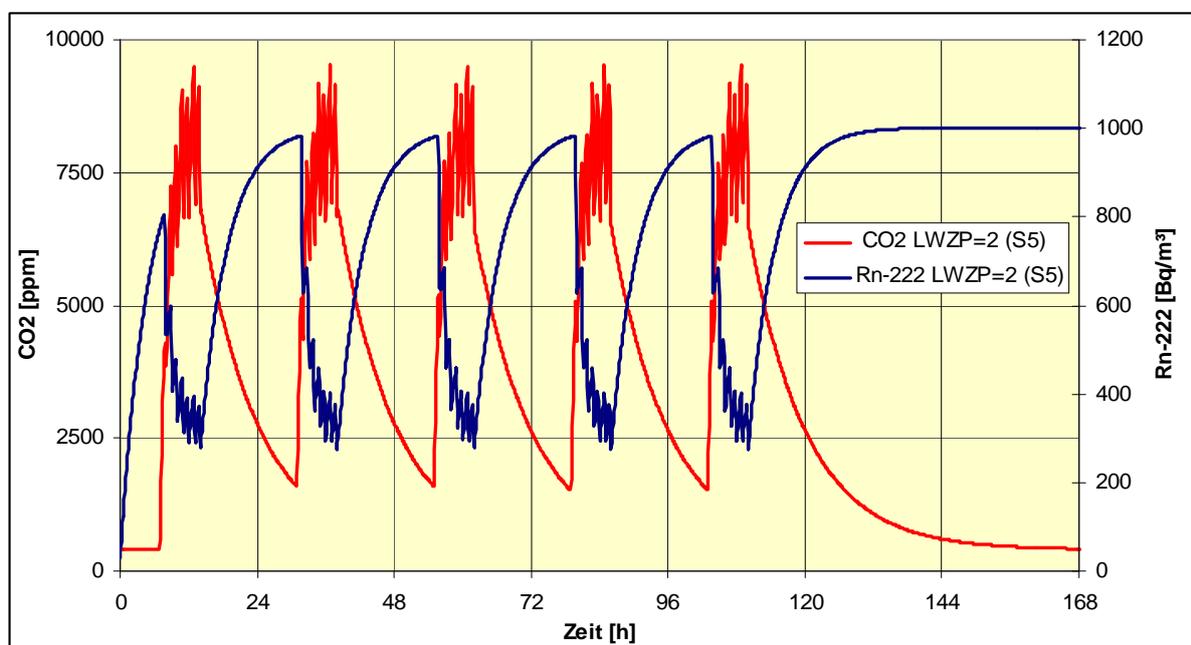


Abb. 3 Gegenüberstellung des Verlaufes der CO₂ und der Radon-Konzentration für das Szenario 5 (LWZP=LWZ-Pause in h⁻¹)

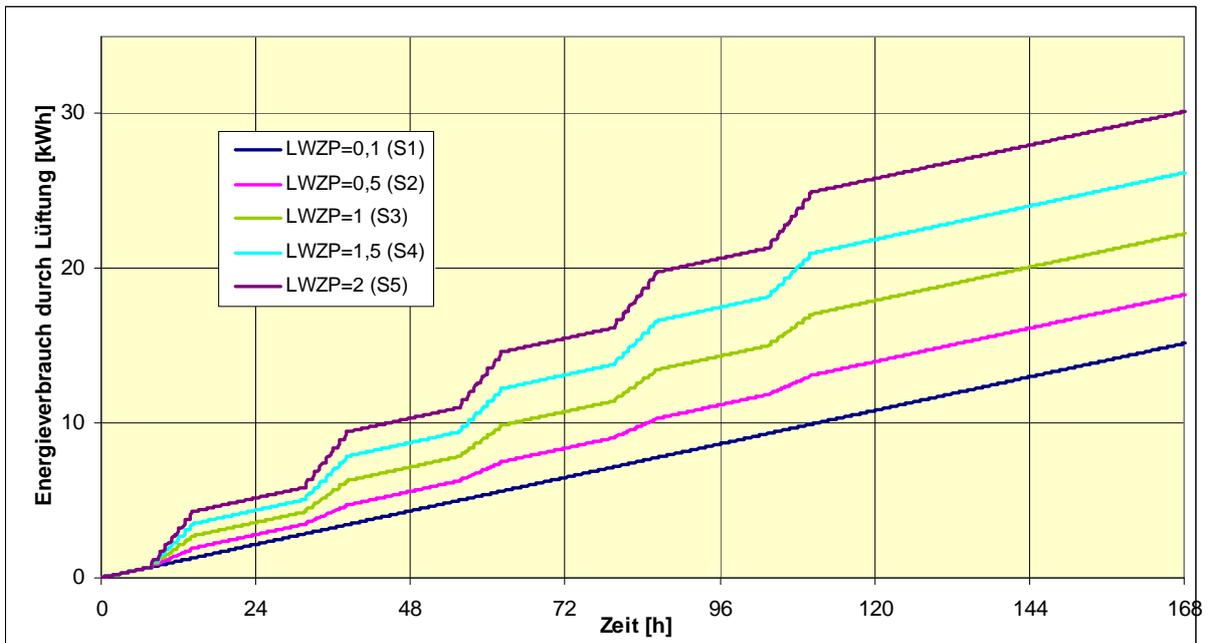


Abb. 4 Gegenüberstellung des Energieverbrauchs für die 5 unterschiedlichen Simulationsläufe in kWh (LWZP=LWZ-Pause in h⁻¹)

Man kann natürlich eine weitere Verbesserung der Situation für beide Parameter durch die Erhöhung der LWZ-Ruhe erreichen. Aus energetischer Sicht wurde zunächst die LWZ nur während des Unterrichts und der Pausenzeiten auf einen Wert von 4 h⁻¹ erhöht. Während der Zeit außerhalb des Unterrichts wurde wiederum eine LWZ von 0,1 h⁻¹ angenommen (Szenario 6). Die Erhöhung der Luftwechselzahl kann jedoch nur durch eine aktive Be-/Entlüftung erfolgen.

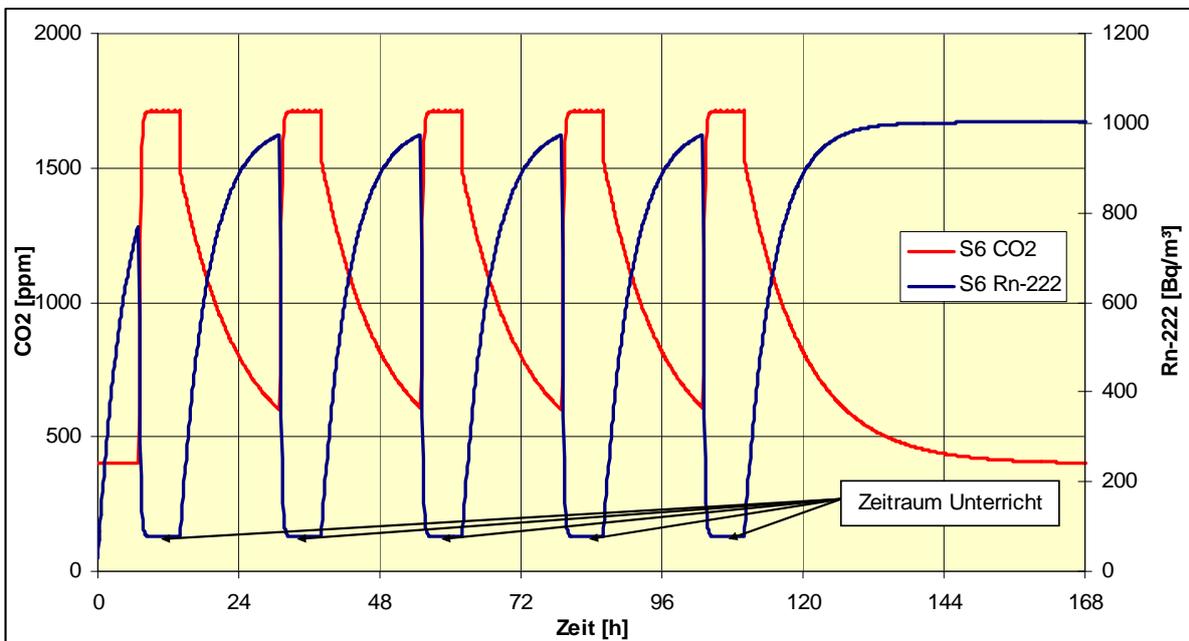


Abb. 5 Gegenüberstellung des Verlaufes der CO₂ und der Radon-Konzentration für das Szenario 6

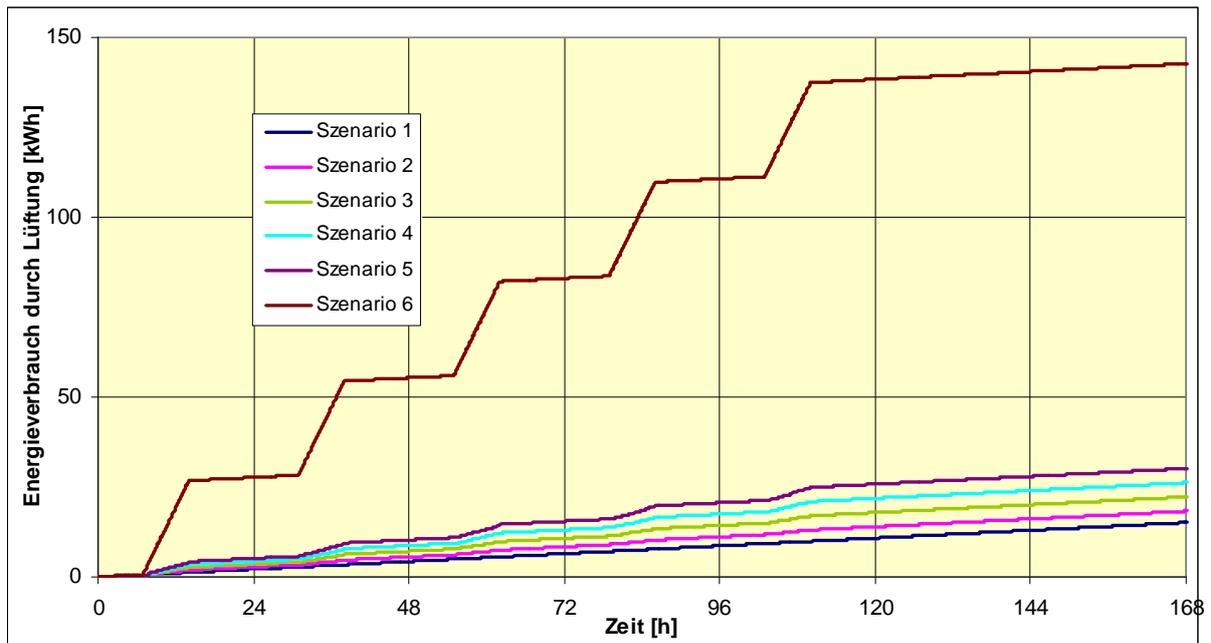


Abb. 6 Energieverbrauch in kWh im Vergleich für alle Szenarien

In der Abb. 5 sieht man deutlich, dass die Zielstellung für CO₂ mit ca. 1.700 ppm schon fast erreicht ist. Gleichzeitig liegen die Radonkonzentrationen während des Unterrichts bei < 100 Bq/m³. Betrachtet man dagegen den damit verbundenen Energieverbrauch (siehe Abb. 6), so liegt man für dieses Szenario bei ca. 140 kWh. Dieser enorme Energieverbrauch widerspricht den Zielen einer energetischen Sanierung. Wenn man jedoch ein gesundes Raumluftklima in Schulen erreichen will und gleichzeitig einen zufrieden stellenden energetischen Zustand anstrebt, geht kein Weg an einer aktiven Be- und Entlüftungsanlagen in Verbindung mit Wärmerückgewinnung vorbei. Auch für diese Aufgabenstellung stellt die Simulation ein wichtiges Werkzeug zur Optimierung dar.

5. Schlussfolgerungen

1. Das CO₂-Problem liegt an jeder Schule bzw. in Räumen mit hoher Personendichte mehr oder weniger vor.
2. Die Quelle kann nicht beseitigt werden, es sind die Personen, die sich in den Räumen aufhalten.
3. Man kann durch manuelle zusätzliche Lüftungen einen Schritt in Richtung der gewünschten Zielkonzentration von 1.500 ppm gelangen. Zur Darstellung des Potentials und der Grenzen dieser Maßnahmen sind Simulationsrechnungen sehr nützlich.
4. Zur tatsächlichen Lösung des Problems sind Luftwechselzahlen im Bereich von $> 4 \text{ h}^{-1}$ erforderlich. Diese können über den erforderlichen Zeitraum nur durch aktive Be- und Entlüftungsanlagen erreicht werden.
5. Um den damit verbundenen Mehraufwand an Energie drastisch zu senken, sind zusätzlich Wärmerückgewinnungsanlagen erforderlich.
6. Die Realisierung der erforderlichen Luftwechselzahlen in Verbindung mit der Wärmerückgewinnung sind Maßnahmen, die zwingend erforderlich sind und dem Stand der Technik entsprechen.
7. Mit der Lösung des CO₂-Problems ist in nahezu 100 % der Fälle auch ein potentielles Radonproblem gelöst.
8. CO₂ stellt für Schulen und Räume mit hoher Personendichte einen wichtigen Leitparameter für gute Luftqualität dar. Man kann somit in diesen Bereichen auch das oft ungewünschte Thema Radon in den Hintergrund stellen.

6. Quellen und weiterführende Literatur

- [1] „Lüftung und lufthygienische Aspekte in Schulen“, Juni 2006, Dr. M. Hopf LUA Chemnitz, http://www.lua.sachsen.de/hm/hyg_ummed/Docs/Lueftung_in_Schulen.pdf
- [2] „Leitfaden für die Innenraumhygiene in Schulgebäuden“, Broschüre August 2008, Download unter <http://www.umweltbundesamt.de>
- [3] „Schulen – besser Lernen in gesunder Luft“, Faltblatt August 2009, Download unter <http://www.umweltbundesamt.de>

WIE WIRKEN SICH VERSCHIEDENE LÜFTUNGSTECHNIKEN AUF DIE RADONBELASTUNG AUS?

WHAT EFFECTS HAVE VARIOUS VENTILATION TECHNIQUES ON THE RADON EXPOSURE?

Eberhard Paul

Paul Wärmerückgewinnung GmbH, Reinsdorf

Zusammenfassung

Durch Luftaustausch kann die Radonkonzentration in Wohnräumen reduziert werden. Durch die Fensterlüftung wird im Winter erfahrungsgemäß nur ungenügend gelüftet (Zugerscheinung, hohe Wärmeverluste). Eine signifikante Radonkonzentration wird in der Praxis nicht erreicht – auch nicht durch eine Abluftanlage, die durch den erzeugten Unterdruck eher noch das Eindringen von Radon durch Konvektion erhöht. Eine merkliche Radonminimierung kann durch eine Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung erreicht werden, zumal hier durch die Wärmerückgewinnung in hocheffizienten Wärmetauschern (Wirkungsgrad $\eta > 90\%$) die Lüftungswärmeverluste eines Hauses deutlich minimiert werden können! Bei Einsatz von innovativen Feuchte-Wärmetauscher wird eine zu trockene Raumluft vermieden.

Summary

The radon concentration can be reduced by aerial exchange in living rooms. According to experience the window airing which is ventilated in winter is insufficient (light air appearance, high heat losses). A significant radon concentration is not reached in practice – also not by an exhaust-air plant which raises rather still the penetration of radon by convection by the generated underpressure. A noticeable radon minimisation can be reached by one supply-air and exhaust-air plant with warm recovery, particularly as here by the warm recovery in highly efficient heat exchangers (efficiency $\eta > 90\%$) the airing warmth losses of a house can be clearly minimised! By application of innovative moist heat exchanger a too dry room air is avoided.

1. Radon – Gesundheitsrisiken und Ursachen

Die mit dem Thema Radon im Zusammenhang stehenden Gesundheitsrisiken sind allgemein bekannt:

- Lungenkrebs
- Blutkrebs (Leukämie)

Entscheidend für ein signifikantes Lungenkrebsrisiko ist die Radonkonzentration in der Raumluft.

- ein statistisch signifikantes Lungenkrebsrisiko ist nachweisbar bei einer Radonkonzentration von
 $R_n = 150 \text{ Bq/m}^3$ [1]
 $R_n = 140 \text{ Bq/m}^3$ [2]
- Radon ist gefährlich bei $R_n = 50 \text{ Bq/m}^3$
- Zielwert: $R_n \leq 100 \text{ Bq/m}^3 \rightarrow$ lt. Entwurf zum deutschen Radonschutzgesetz (für Neubau und Sanierung)

Um die Radonkonzentration niedrig zu halten, sind 3 Methoden bekannt:

- ① die Vermeidung von Radon emittierenden Baustoffen
- ② die Reduzierung des Eindringens von Radon an erdberührten Bauteilen (siehe Abb. 1)
- ③ das Ablüften von radonhaltiger Abluft und das Belüften mit Frischluft durch ein Lüftungssystem (mit Wärmerückgewinnung) (siehe Abb. 2)

Radonkonzentration in Innenräumen:

Bei den in Deutschland überprüften Innenräumen liegen die Werte
bei 36 % $> 100 \text{ Bq/m}^3$
bei 18 % $> 200 \text{ Bq/m}^3$

Porenluft enthält meist $\geq 20 \text{ kBq/m}^3$ Radon (siehe Abb. 3)

- siehe: Landkarte
- betrifft 75 % der Fläche Deutschlands
- d. h. erhöhte Radonkonzentration in der Raumluft!!

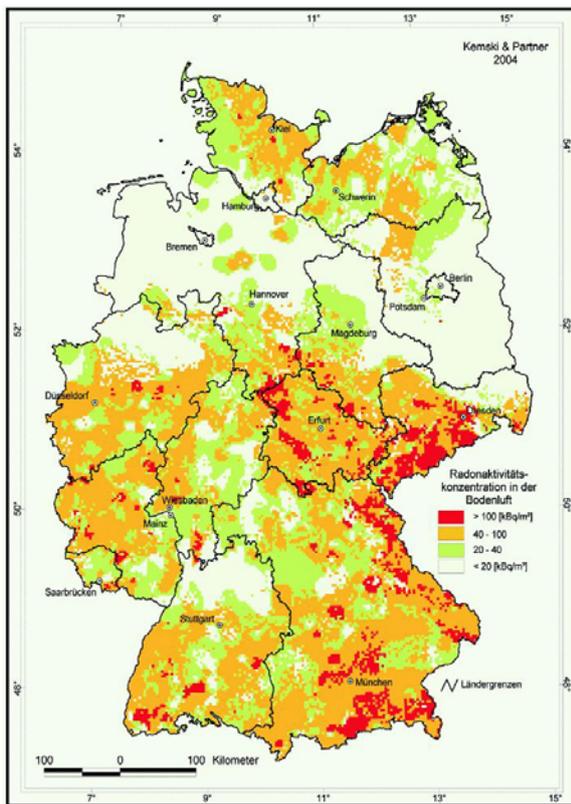


Abb. 1: Landkarte zur Radonbelastung in der Bodenluft, Übersicht über die Radonkonzentration in der Bodenluft in 1 m Tiefe auf der Datenbasis von September 2003

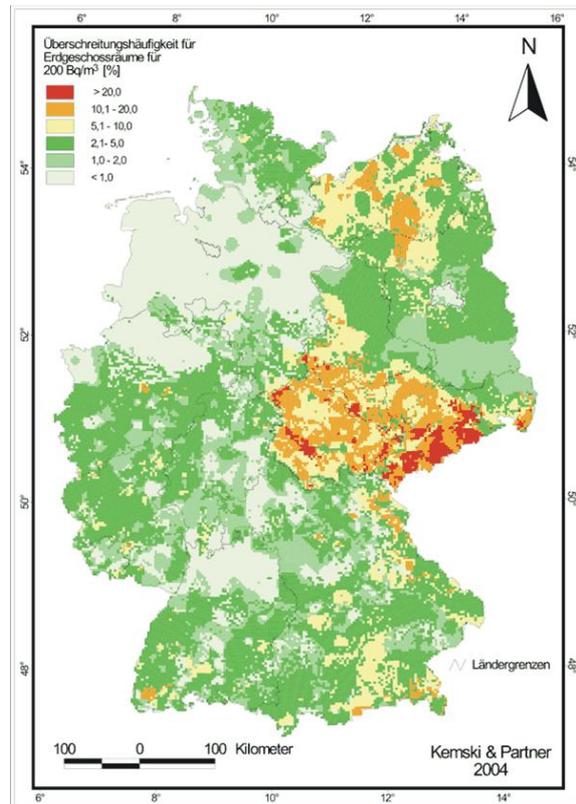
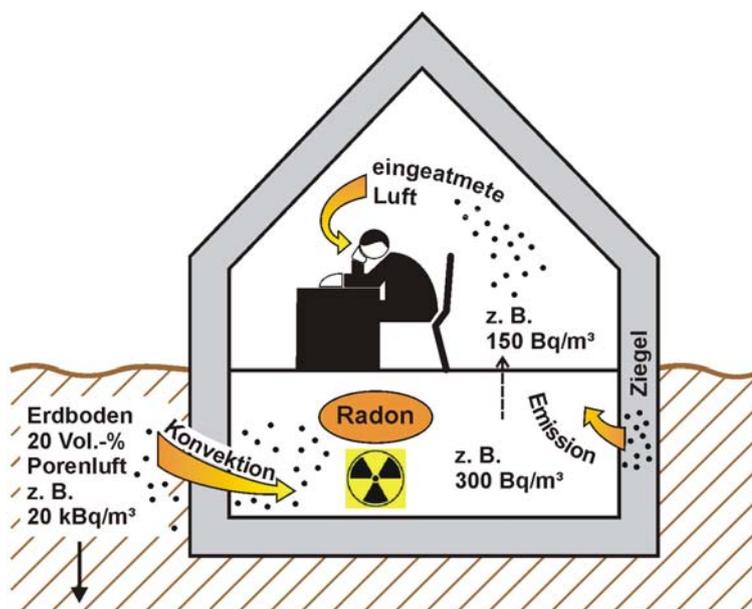


Abb. 2: Landkarte zur Radonbelastung in der Raumluft, Überschreitungshäufigkeit > 200 Bq/m³ [%]



Porenluft enthält meist $\geq 20 \text{ kBq/m}^3$ Radon → siehe Bild 2: Landkarte
 → betrifft ~ 75 % der Fläche Deutschlands
 → d. h. erhöhte Radonkonzentration in der Raumluft!!

Abb. 3: Radon in der Raumluft durch Konvektion und Emission

2. Verschiedene Lüftungstechniken und deren Einfluss auf die Radonkonzentration

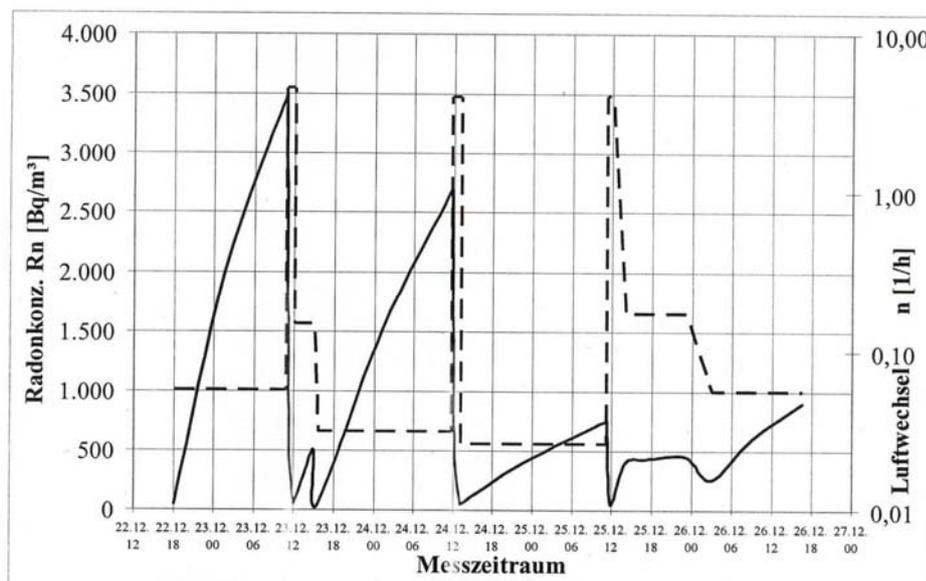
2.1 Fensterlüftung

Die Fensterlüftung kann im Winter nur in einem beschränkt kleinen Zeitraum die Radonkonzentration senken.

Hintergrund:

Die richtig durchgeführte Fensterlüftung (Querlüftung) verursacht im Winter Zugerscheinungen und hohe Wärmeverluste. Die Praxis zeigt: es wird in viel zu geringem Maße gelüftet. Das nachfolgende Beispiel zeigt, dass sich sehr hohe Radonkonzentrationen einstellen (2700...3500 Bq/m³) trotz relativ guter Lüftungszeiten:

Lüftungszeit	Lüftungsart	Luftwechselrate
1 h/d	Querlüftung	$n = 4,5 \text{ h}^{-1}$
3 h/d	Kippfenster	$n = 0,2 \text{ h}^{-1}$



— Radonkonzentration R_n
 - - - Luftwechselrate n

Radonkonzentration [Bq/m³]: min 50; max. 3.000
 Luftwechselrate [h⁻¹]: \varnothing 0,44; min. 0,026; max. 4,5; Fensterlüftung
 Die sehr hohen schädlichen Radonkonzentrationen (bis 3.000 Bq/m³) könnte man durch eine kontinuierlich laufende Lüftungsanlage (z. B. $n = 1,5 \text{ h}^{-1}$) auf Werte von $R_n = 100 \text{ Bq/m}^3$ minimieren.

Abb 4: Messung in einem sehr dichten neuen Einfamilienhaus im Raum Dresden mit Fensterlüftung
 Quelle: [3]

2.2 Abluftanlage

Abluftanlagen saugen über einen Ventilator lediglich Abluft aus dem Wohngebäude (Bad, WC, Küche) ab – (kalte) Außenluft strömt durch den erzeugten Unterdruck und in Abhängigkeit von Windrichtung und Windstärke in den Wohnraum (Wohn-, Schlaf- und Kinderzimmer) über Außenwand-Luftdurchlässe (ALD). Der Unterdruck begünstigt allerdings auch das Eindringen von Radon (Abb. 5).

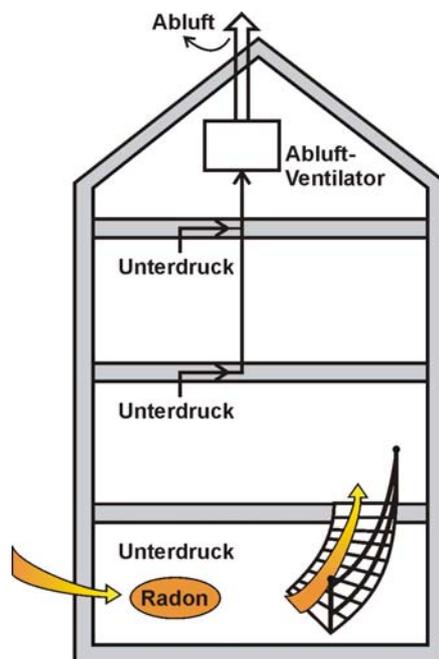


Abb. 5: Unterdruck von reinen Abluftanlagen begünstigt Einsaugen von Radon

Daher ist diese Abluftanlage nicht für die Reduzierung der Radonkonzentration geeignet. Die gleiche Bewertung gilt für Abluftwärmepumpen.

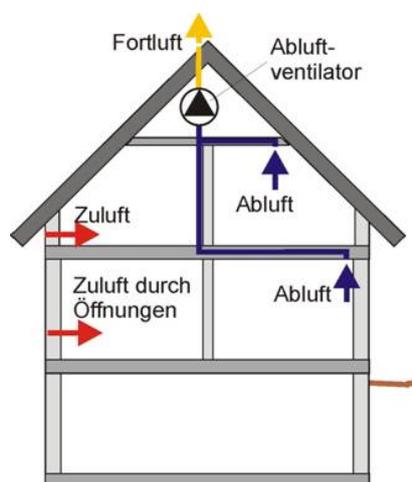


Abb. 6: Abluftanlage = kontrolliert Entlüftung

- kontrollierte Abfuhr verbrauchter Luft
- Frischluftversorgung über Außenwand-Luftdurchlässe, teilweise feuchtegeregelt
- Frischluftversorgung unkontrolliert und ungenügend (windabhängig)
- Frischluft – viele Filter
- Dosierbarkeit nur bedingt
- keine Wärmerückgewinnung
kalte Zuluft, Zegerscheinung möglich
- durch das Unterdruckprinzip nicht für Kaminbetrieb und Radonminimierung zu empfehlen

2.3 Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung

Die Zu und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ist die günstigste Methode, lüftungstechnisch die Radonkonzentration zu minimieren.

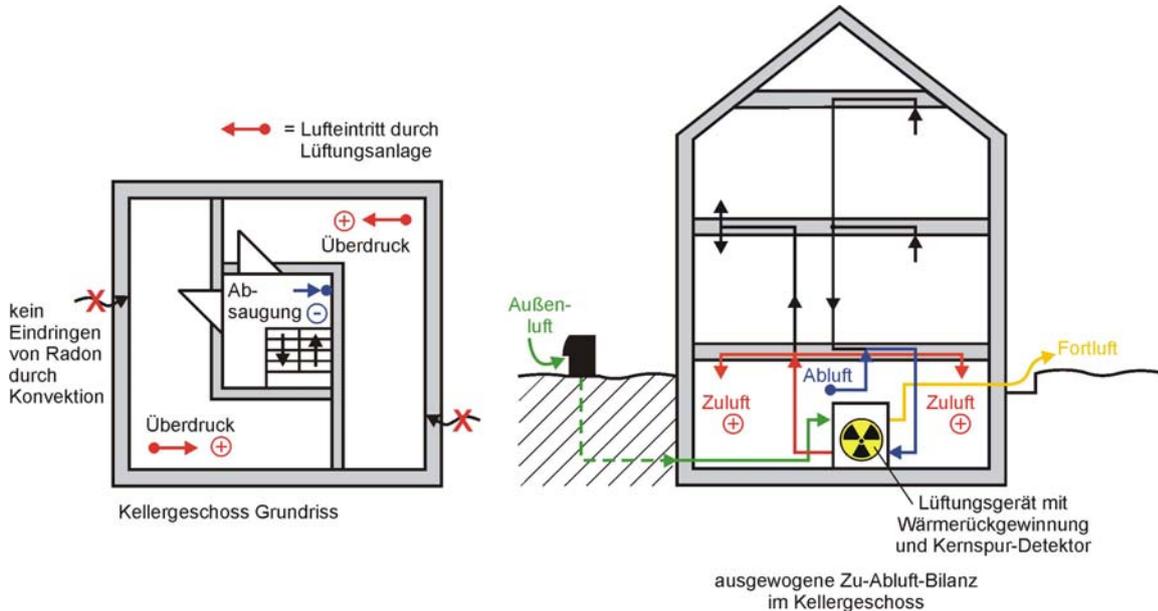


Abb. 7: Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung – Radonüberwachungskonzept und Radonminimierung durch Wohnungslüftung (Patent Fa. Paul)

Diese Lüftungsanlage ermöglicht

- Absenkung der Radonkonzentration bei
- gleichzeitiger Reduzierung der Lüftungswärmeverluste durch eine hocheffiziente Wärmerückgewinnung → $\eta > 90\%$ Wärmerückgewinnung

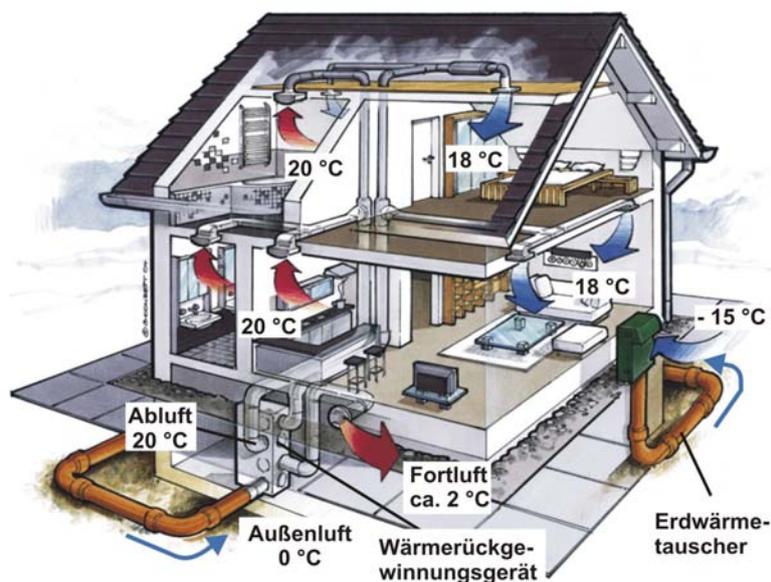


Abb. 8: Kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung

Prinzipskizze			
Strömungsprofil			
Wärmetauschertyp	Kreuzstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Platten-Wärmetauscher	Gegenstrom-Kanal-Wärmetauscher
Einsatz	in WRG-Anlagen weit verbreitet	in neueren WRG-Anlagen eingesetzt	bei innovativer Wohnungslüftung
Wärmebereitstellungsgrad	$\eta = 50 - 70 \%$	$\eta = 70 - 80 \%$	$\eta = 85 - 99 \%$

Abb. 9: Wärmetauscher-Typen

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Die Zuluftzufuhr im Kellergeschoss im Außenwandbereich: Überdruck reduziert das Eindringen von Radon durch Konvektion!
- Im Innenbereich des Kellergeschosses wird die Abluft abgezogen und damit
 - die Radonkonzentration minimiert und
 - das Aufsteigen von Radon in das Erd- und Obergeschoss weitestgehend vermieden.
- Die Luftmenge muss so hoch eingestellt werden, dass das Gesundheitsrisiko so gering wie möglich gehalten wird.

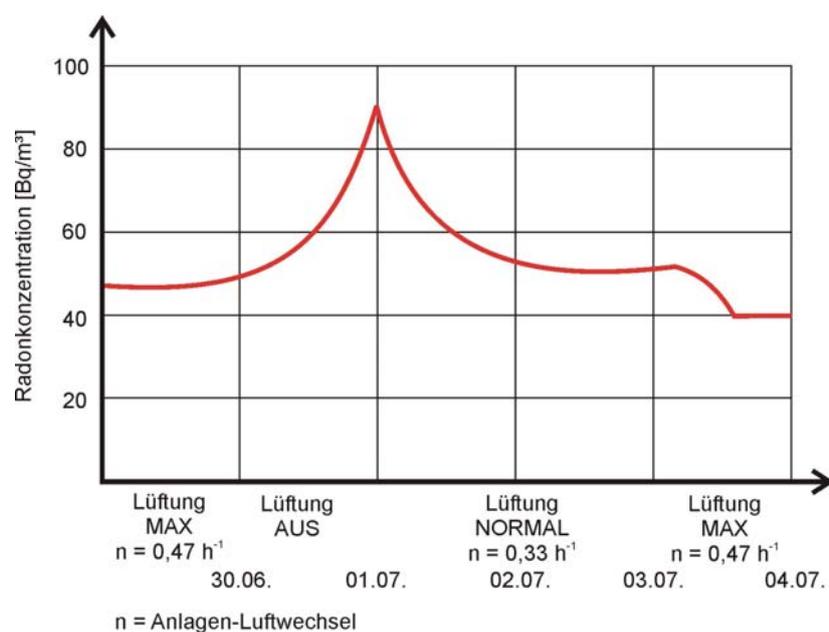
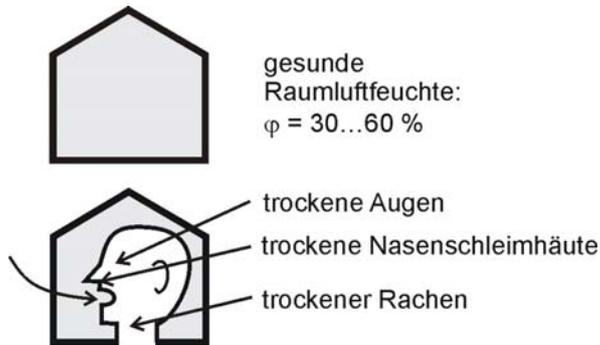


Abb. 10: Radonmessung in einem Wohnhaus mit Lüftungsanlage

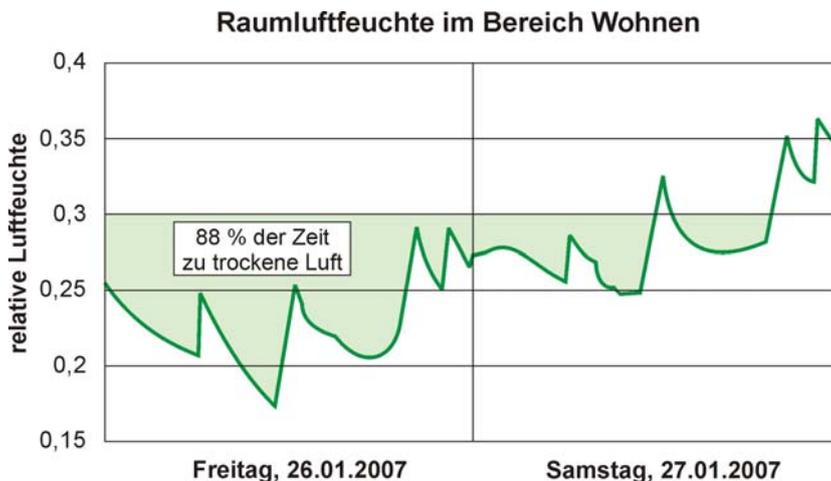
- d) Die Luftwechselrate: Aus Abb. 10 ist zu erkennen, dass die Luftwechselrate mit $n = 0,47 \text{ h}^{-1}$ relativ hoch liegt (Standard nach DIN V 4702-20: $n_A = 0,4 \text{ h}^{-1}$). Im Winter droht bei zu hohem Luftaustausch ein zu trockenes Raumklima:

$\varphi \geq 30 \%$ r.F. sollte angestrebt werden.



Durch Reduzierung der Luftwechselrate könnte

- eine gesunde Raumlufffeuchte wieder erreicht werden, andererseits würde dann aber
- die Radonkonzentration wieder den gesundheitsgefährdeten Bereich erreichen.



Randbedingungen: 122 m^2 , $n_A = 0,4 \text{ h}^{-1}$, 4 Bewohner \rightarrow 2,3 Personen ständig anwesend = relativ hohe Anwesenheitsstunden, Kochen: täglich 3 h, Wäsche trocknen: 3mal je Woche zu 12 h im Wohnraum, 20 Pflanzen mit 720 g/d Verdunstungsmenge

Abb. 11: Raumlufffeuchte in einem Wohnhaus an kalten Tagen (ca. $-5 \text{ }^\circ\text{C}$) mit Lüftungsanlage (ohne Feuchterückgewinnung) [4]

- e) Lösung des Problems: trockene Raumluft

Durch einen neuartigen Wärmetauscher

mit Feuchterückgewinnung!

kann ein Teil der Feuchte aus der Abluft zurückgewonnen werden – damit kann das Problem der trockenen Raumluft gelöst werden.

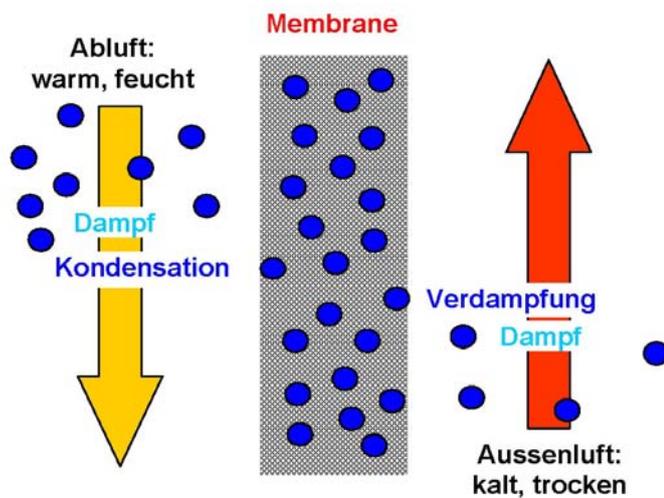


Abb. 12: Physik des Feuchtigkeitsstroms durch die Feuchte-Wärmetauscher-Membran

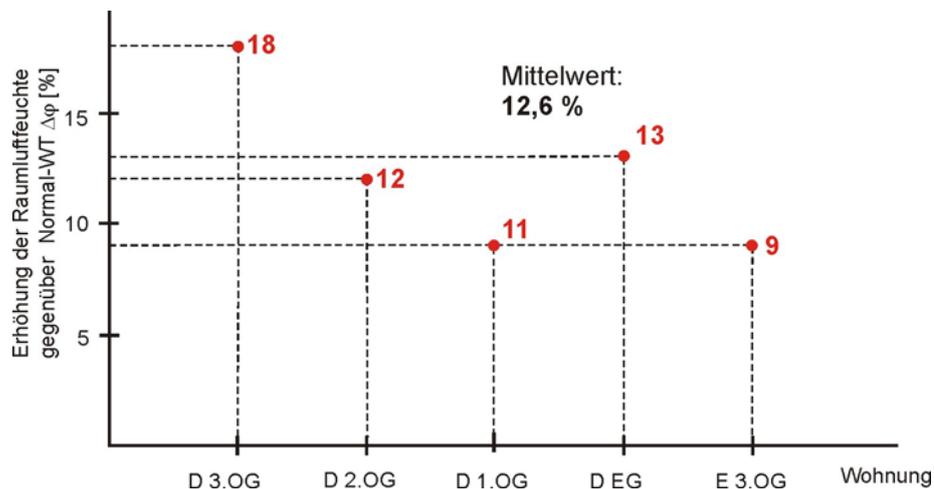
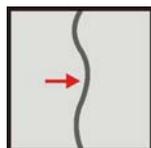


Abb. 13: Feuchteanhebung durch Feuchte-Wärmetauscher, Vergleich gleiche Wohnung: Periode 14.11.-12.12.2006, Gebäude Winterthur, HTA Luzern [5]

Diese spezielle Membran

- überträgt keine Gerüche (wie bei anderen Systemen inzwischen häufig beklagt),
- überträgt keine Mikroorganismen (weil ein Salzsubstrat das verhindert – ähnlich wie bei Salz im Pökelfleisch)



- ist luftundurchlässig



- hat keine bewegten Teile (Rotor) sondern besteht aus einem Stator (Rekuperator)



- spart damit Strom und verhindert mechanischen Verschleiß (wie bei Rotoren)
- macht den Frostschutz überflüssig (bis $\geq -10\text{ °C}$) und
- sichert einen hohen Komfort ohne trockene Raumluft

3. Kernspur-Detektor

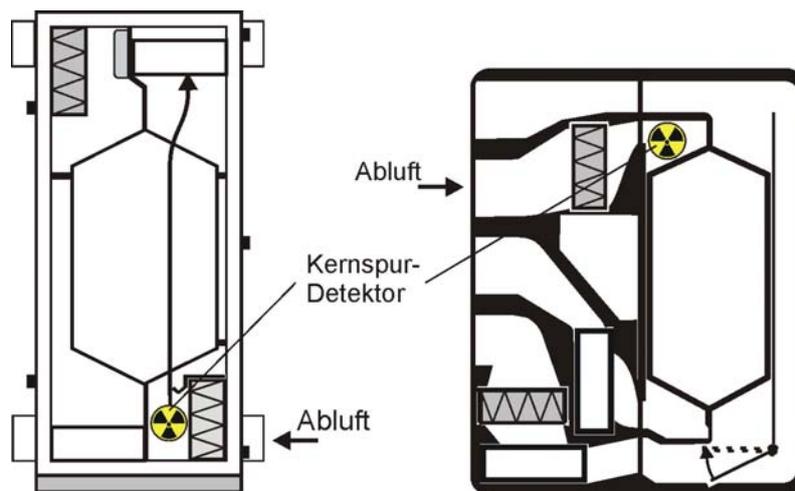
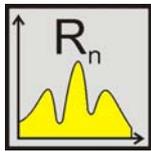


Abb. 14: Kernspur-Detektor im Wärmerückgewinnungsgerät im Abluftstrom zur langzeitigen Erfassung der Radon-Mischgas-Konzentration (Werkbilder Fa. Paul Wärmerückgewinnung GmbH – Patent)

4. Fazit

5 Voraussetzungen zur Beherrschung der Radon-Problematik:



1. Radonmessung



2. richtige Einstellung des **Volumenstromes**



3. erfahrungsgemäß Luftwechselrate: $n = 0,5 \dots 3 \text{ h}^{-1}$

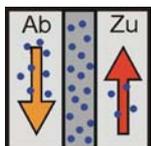


im Winter ist deshalb wichtig – bei hohem Volumenstrom \dot{V} ...

4. ... trotzdem einen hohen Wirkungsgrad zu erreichen:
z. B. thermos (PAUL): $\dot{V} = 270 \text{ m}^3/\text{h} \rightarrow \eta = 97 \%$



5. ... trockenes Raumklima (φ - rel. Feuchte) zu vermeiden und deshalb ...



6. ... einen feuchteübertragenden Wärmetauscher einzusetzen

5. Literaturverzeichnis

- [1] Lubin, J. H. (2004) International J. Cancer 109: 132-137
- [2] Deutsche Radonstudie
- [3] Horn, Ingenieurbüro, Bad Schlema
- [4] Sven Moosberger: Feuchte in Niedrigenergiebauten. Thermisch-hygrische Raumsimulation zur Ermittlung des Einflusses der Lüftungsstrategie auf die Raumlufffeuchte, 17.07.2007, HTA Luzern/ZiG, Seite 22
- [5] Projekt Feldvergleich von Enthalpie- und Wärmeübertragern in Kompaktlüftungsgeräten, Beat Frei, Hochschule Luzern – Technik & Architektur

MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN RECHNERGESTÜTZTER MESS- UND REGELSYSTEME ZUR RAUMLUFTOPTIMIERUNG IN GEBÄUDEN BEI FEUCHTE- UND SCHADSTOFFBELASTETER RAUMLUFT

POSSIBILITIES AND LIMITS OF COMPUTER-ASSISTED MEASURING AND CONTROL SYSTEMS FOR THE INDOOR AIR OPTIMISATION IN BUILDINGS WITH HUMID-LOADED AND POLLUTANT-LOADED AMBIENT AIR

Harald Garrecht¹⁾

Klaus Wolfrum²⁾

¹⁾ Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, TU Darmstadt, Darmstadt

²⁾ Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Karlsruhe

Zusammenfassung

Um einen hinreichenden Raumkomfort sicherzustellen, bedarf es eines angenehmen Raumklimas. Neben geeigneten Wärme- und Feuchteverhältnissen sind auch günstige Lichtverhältnisse und geringe Schadstoffbelastungen erforderlich. Die globale Erwärmung und Verknappung unserer Ressourcen erfordern eine besonders effiziente Energieverwendung, gleich ob in privat, wirtschaftlich oder öffentlich genutzten Gebäuden. Dabei hängt der Gebäudeenergieverbrauch nicht nur vom Dämmstandard und von der Energieeffizienz der Anlagentechnik ab. Vielmehr wird der Gebäudeenergiebedarf im stärker vom Nutzerverhalten beeinflusst. Ziel der nachfolgenden Forschungen war es daher, den Einfluss des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch zu analysieren. Im Fokus standen insbesondere öffentlich genutzte Gebäude. Hier halten sich die Nutzer anonym und ohne direkte Beteiligung an den Energiekosten auf. Zudem wurde versucht, die Nutzer mittels unmittelbarem Feedback zum Energiesparen zu bewegen. Hierzu wurden an drei Karlsruher Schulen mess- und regeltechnische Systeme entwickelt und erprobt, mit denen die Energieflüsse in Klassenräume abhängig des Nutzerverhaltens wie auch die nutzungsbedingte Schadstoffbelastung analysiert werden konnten. Unterschiedliche Ausbaustufen des Feedback-Systems kamen zum Einsatz, um den Einfluss der Feedback-Technologie auf das Energieverhalten herausarbeiten zu können. Die über zwei Jahre hinweg durchgeführten Untersuchungen konnten zeigen, dass derartige Systeme ein erhebliches Energieeinsparpotenzial aufweisen und sich zudem mit einem bewussten Nutzerverhalten hygienisch bessere Raumluftverhältnisse in den Klassenräumen erreichen lassen.

Summary

In order to ensure that a room's occupants are comfortable, energy must be expended in the form of light and heating and so the room's climatic ratios, including air conditioning and light quality, come into consideration. As a consequence of global warming and the limited availability of natural resources, efficiency with regard to energy utilization is of particular interest, not only in living and business settings, but also in public buildings. It should be noted that energy consumption is not dependent on a building's warming technology alone, but also on user behavior; therefore, the research initiated aimed at assessing user influence on energy consumption in public buildings and

over the past few years, found that even in optimally equipped buildings, the energy consumption is clearly affected by differences in user behavior, and that particularly in anonymous buildings, users need continual motivation to pursue energy-saving behavior. In order to analyze user energy consumption patterns, technical investigations went underway at three Karlsruhe schools; visual and regulatory measures were used to test the extent to which energy-saving user behavior can support and even lead to the reduction in classroom energy consumption. Various means of user feedback were used to support energy-saving behavior that may result in a decreasing consumption of energy in classrooms. The results of the study indicate that there is a huge potential for saving energy without losing comfort.

1. Einleitung

Um einen behaglichen Aufenthalt in Räumen sicherzustellen, sind verschiedene Formen von Energie für die Raumbeheizung während der kälteren Witterungsperioden, für die sommerliche Kühlung, für die Sicherstellung einer hinreichenden Frischluftversorgung wie auch für die Schaffung von ausreichenden Beleuchtungsverhältnisse bereit zu stellen. Entsprechend der heutigen Klimaschutzziele und zur Schonung der natürlichen Ressourcen kommt dem energiesparenden Bauen und der effizienten Verwendung von Energien für den Betrieb von Gebäuden eine große Bedeutung zu. Dabei wird besonders im Baubestand von hohen Energieeinsparpotenzialen ausgegangen, wobei diese nicht nur in Wohn- und Wirtschaftbauten, sondern gerade auch in öffentlichen Gebäuden erzielt werden können. Schließlich hängt der Energieverbrauch beim Betrieb von Gebäuden nicht nur von baulichen Maßnahmen, wie der wärmedämmtechnischen und luftdichten Ausbildung der Gebäudehülle, und von der eingesetzten Anlagentechnik für die Raumluftkonditionierung für das Heizen, Kühlen, Lüften und die Feuchteregulierung ab, sondern vielfach auch vom Nutzerverhalten. Über wissenschaftliche Untersuchungen zum Einfluss des Nutzerverhaltens wurde aber nur vereinzelt berichtet, so dass die Verfasser gemeinsam mit dem Umweltamt und der Gebäudewirtschaft der Stadt Karlsruhe ein Forschungsvorhaben initiierten, in dem untersucht werden sollte, welchen Einfluss das Nutzerverhalten auf den Energieverbrauch gerade von öffentlichen Gebäuden hat. Schließlich zeigten Erfahrungen beider Ämter, dass selbst in optimal solchen Gebäuden, die im Hinblick auf einen energieeffizienten Betrieb energetisch saniert und modernisiert wurden, die nach der Sanierung erreichbare Energieeffizienzsteigerung entscheidend vom Nutzerverhalten mitbestimmt mit. Das Nutzerverhalten ist aber sehr unterschiedlich und von individuellen Bedürfnissen wie auch von persönlicher Sensibilität gegenüber einer effizienten Energieverwendung geprägt. Dabei ist vielfach in anonym genutzten öffentlichen Gebäuden ein energiesparendes Verhalten kaum vorzufinden. Um Abhilfe zu schaffen, wird vielfach versucht, mittels Monitoring und Visualisierung die Folgen des eigenen Handelns auf den Gesamtenergieverbrauch des Gebäudes zu verdeutlichen. Auf diese Weise lässt sich auch eine Motivation zum energiesparenden Handeln erreichen.

Um das energetische Verhalten der Nutzer von öffentlichen Gebäuden zu analysieren, sollten daher an drei Karlsruher Schulen unterschiedlicher Baualterstufen jeweils umfangreiche messtechnische Untersuchungen vorgenommen werden. Hierzu wurden diverse Visualisierungs- und Steuerungsinstrumente entwickelt und erprobt, mit denen das energierelevante Verhalten der Nutzer herausarbeiten zu können, um geeignete und zielführende Maßnahmen herausarbeiten zu können, mit denen ein merklicher Beitrag zur Verringerung des Energieverbrauchs in Klassenzimmern erzielt werden kann und mit denen zugleich auch die Belastung der Klassenräume mit Schadstoffen minimiert werden kann [1].

2. Ziele des Projekts

Zur Durchführung der Untersuchungen wurden in jeder der drei Schulen vier Klassenzimmer mit einer Mess- und Steuertechnik ausgestattet, die von den Verfassern speziell für den Einsatz des Klima- und Energiemonitoring von Denkmalbauten entwickelt wurde und das seit mehr als 10 Jahren bereits an zahlreichen Denkmalbauten zum kontinuierlichen Bauwerksmonitoring Verwendung findet. Das rechnergestützte Mess- und Regelkonzept ermöglicht dabei nicht nur Informationen zum Raumklima, sondern auch zu den Lichtverhältnissen, zur Raumluftqualität, zum Energieverbrauch, zum Nutzerverhalten u.v.m. zu erhalten. Neben der Analyse des Nutzerverhaltens und der Suche nach geeigneten Methoden, die Nutzer zum energiebewussten Verhalten zu motivieren, sollte in einem der vier Klassenräume auch ein Mess- und Regelkonzept realisiert werden, mit dem ein an die Nutzungsintensität, die raumklimatischen und witterungsbedingten Verhältnisse im Inneren und Äußeren angepasster automatischer Betrieb der Wärme- und Frischluftversorgung realisiert werden sollte. Hierzu wurden alle vier Klassenräume einer jeden beteiligten Schule mit einer automatischen Heizkörperregelung versehen. Hier wurde ein nutzerunabhängiges Regelkonzept entwickelt, das einzig auf den Ergebnissen der Erfassung und Bewertung der Messwerte wie auch auf den Vorgaben der Nutzer aufbauend, optimierte Regelstrategien erkennen und umsetzen kann, mit denen nicht nur eine Begrenzung Minimierung des Energieeinsatzes, sondern auch eine bestmögliche Behaglichkeit sicherstellen soll.

Der Einbau der mess- und regeltechnischen Ausrüstung in die Klassenräume sowie die ersten Auswertungen und Analysen der aufgezeichneten Daten erfolgten in der Heizperiode 2004/2005. Nach Diskussion der so gewonnenen Ergebnisse wurde die Messeinrichtung im Vorfeld der folgenden Winterperiode nochmals optimiert. Entsprechend der Vielfalt an neuen Erkenntnissen wurde die Untersuchungsreihe dann auch noch in der Heizperiode 2005/2006 fortgesetzt. Die Auswertung der umfangreichen Daten wurde in 2007 abgeschlossen.

Ziel des Projektes war es, genauere Erkenntnisse über die den Energieverbrauch beeinflussenden Faktoren zu gewinnen und Hinweise darüber zu erhalten, wie in den Klassenräumen einerseits akzeptable Raumluftverhältnisse sichergestellt werden können und durch ein geeignetes Nutzerverhalten der Energieverbrauch deutlich reduziert werden kann. Hierbei sollten die steuerungsrelevanten Parameter in der Form optimiert werden, dass sich mit der Aufzeichnung des Verbrauchs von Wärme und Strom und der Visualisierung des eigenen Energieverhaltens der Nutzer zum Energiesparen motiviert werden kann [1, 2]. So kann mit der richtigen Stellung des Heizkörperthermostats, der Fensterstellung und des Betriebs der Beleuchtungseinrichtung, als auch über die indirekt beeinflussbaren Parameter, so die Einstellung der Vorlauftemperatur und der automatischen Regelung der Heizkörperventile der Energiebedarf deutlich reduziert werden, ohne die Raumbehaglichkeit zu verlieren [3]. Um optimale Regelstrategien treffen zu können, sind zuverlässige Beobachtungen zum Raumklima, zur Witterung wie auch zu den Lichtverhältnisse zwingend erforderlich, um geeignete Maßnahmen zur Minimierung des Energieverbrauchs und zu den Auswirkungen des Nutzerverhaltens herauszuarbeiten.

3. Umgesetztes Mess- und Steuerungssystem

3.1 Hard- und Software

Die Mess- und Steuerungstechnik basiert auf einem 1-wire Bus-System, bestehend aus einem Messrechner, 1-wire Verkabelung, Mess- und Steuermodulen und diversen Sensoren für die kontinuierliche Erfassung der zentralen Größen wie Außen- und Raumlufttemperatur, Außen- und Raumluftfeuchte, Vor- und Rücklauftemperatur der Heizkörper, Fensteröffnungszustand, Raumbelastung und CO₂-Gehalt der Raumluft sowie Zählern für den Stromverbrauch in den Klassenzimmern. Je Schule wurden die Informationen von insgesamt 56 Sensoren minütlich abgerufen, bewertet und abgespeichert. Um die große Zahl an Messdaten kontinuierlich abrufen und sogleich auswerten zu können, wurde eine Software entwickelt, die die entsprechende Steuerung des

1-Wire Bussystems übernimmt. Über eine ISDN-Verbindung stehen zudem die Daten jederzeit per Fernzugriff zur Verfügung. Zudem ist so eine Fernwartung wie auch die Pflege und ein Update von stets weiterentwickelten projektspezifischen Software-Updates möglich.

3.2 Sensoren

Für die Messung der Lufttemperaturen innen und außen sowie für Vor- und Rücklauftemperaturen der Heizkörper wurden Thermistoren eingesetzt. Die Erfassung der Fensterstellung erfolgte über Reed-Kontakte, die am feststehenden Rahmen befestigt wurden und über ein zweiadriges Kabel mit dem Messmodul verbunden sind. Zur Erfassung einer Veränderung der Raumbelugung kamen handelsübliche Bewegungsmelder zum Einsatz. Diese erfassen mit Hilfe pyroelektrischer Detektoren Veränderungen der Wärmestrahlung und reagieren auf Bewegung von Personen im überwachten Raum. Die Luftqualität stellt das von Lehrerinnen, Lehrern, Schülerinnen und Schülern als individuell am stärksten empfundenen Qualitätskriterium für die Raumluft dar. Zur Bewertung der Raumluftqualität wurden Feuchte- und CO₂-Sensoren eingesetzt. Der erfassbare Konzentrationsbereich der CO₂-Sensoren liegt zwischen 300 und 2000 ppm bzw. 300 und 5000 ppm.

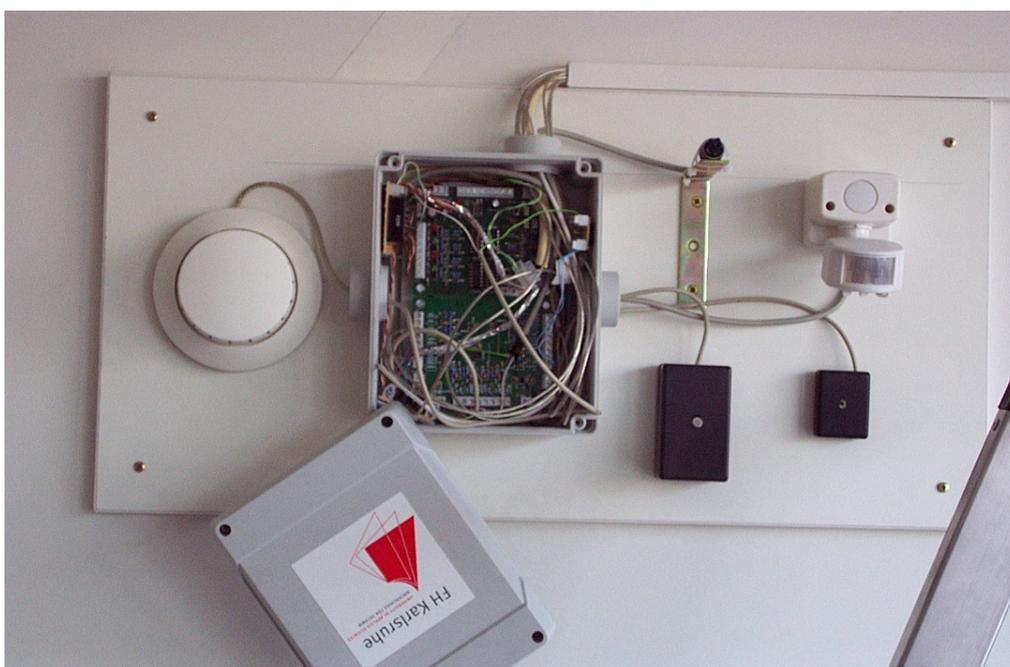


Abb. 1: Werkstoffplatte mit Sensoren, Mess- und Steuerungsmodulen

3.3 Automatische Heizkörperregelung

Alle Heizkörper der untersuchten Schulen wurden mit Thermostatventilen ausgestattet. Einzig ein Raum aller drei beteiligten Schulen wurde mit einem elektrischen Stellventil angesteuert. Das Öffnen und Schließen des Ventils erfolgt in Abhängigkeit von der aktuellen Raumtemperatur, die mit der Soll-Temperatur verglichen wird. Folgender Steuerungsalgorithmus wurde für alle drei Schulen der automatischen Regelung zugrunde gelegt: von 7 bis 22 Uhr war die Soll-Temperatur der Klassenräume auf 20 °C eingestellt, von 22 bis 7 Uhr und am Wochenende wurden die

Raumtemperaturen auf 17 °C abgesenkt. Überschreitet die Raumtemperatur den jeweiligen Sollwert, wird das Ventil der Heizkörper geschlossen. Als weiterer Steuerungsparameter wurde die Fensterstellung berücksichtigt, indem das Heizkörperventil immer dann geschlossen wird, sobald ein Fenster des Klassenraumes geöffnet wird.

4. Ergebnisse der Messdatenauswertung

Die Auswirkungen der Einflussfaktoren Raumbelastung, Vorlauftemperatur und Thermostatstellung der Heizkörper auf die Raumlufttemperaturen und die Heizwärmeabgabe sowie die Auswirkungen der Lüftungsdauer auf die Kohlendioxidkonzentration in den untersuchten Räumen wurden analysiert. Die Messergebnisse lassen hierbei deutliche Tendenzen erkennen. Anhand der ausgewerteten Daten sind große Unterschiede bezüglich der Heizwärmeabgabe sowie zum Teil sehr hohe Raumlufttemperaturen von nahezu 25 °C während des Unterrichts und 20 °C in der Nacht in den untersuchten Räumen festzustellen. Diese weisen auf große Energieeinsparpotenziale hin, welche durch eine Reduzierung der Wärmeabgabe der Heizkörper und der angestrebten Raumlufttemperatur erzielt werden kann. Auch mit einer niedrigeren Vorlauftemperatur inner- und außerhalb der Unterrichtszeiten bzw. einer Reduzierung der Thermostateinstellung kann eine Energieeffizienzsteigerung erreicht werden. Zum anderen kann durch eine automatische, raumtemperaturabhängige Regelung der Heizkörperventile das Einsparpotenzial gesteigert werden. So konnte im Klassenzimmer B16 der bau- und anlagentechnisch ungünstigsten der drei Schulen mit einer automatisch geführten Regelung der Heizwärmeverbrauch am besten verringert werden, wie der Heizwärmebedarf für diesen Raum in Abbildung 2 für die Monate November bis März deutlich veranschaulicht wird.

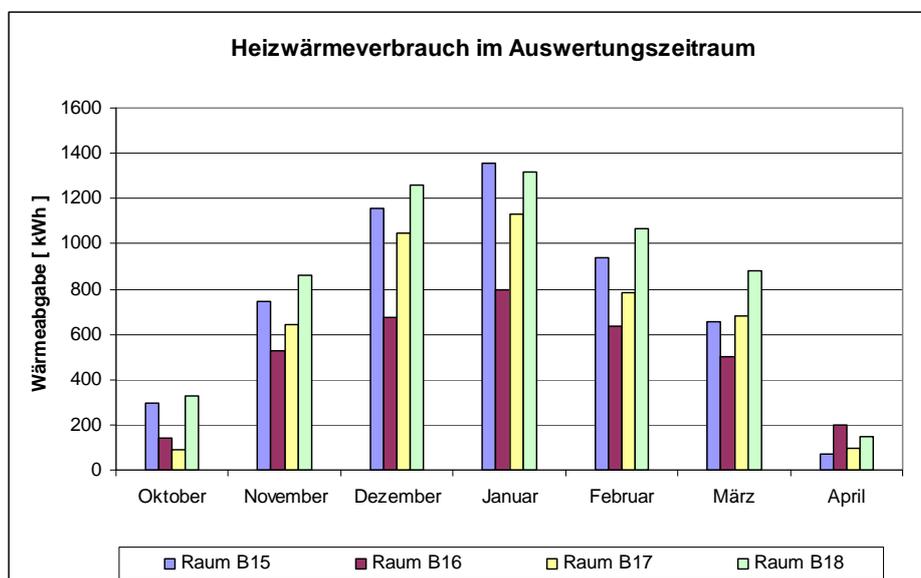


Abb. 2: Heizwärmeverbrauch in 4 untersuchten Räumen der einen Schule

Die hohen Raumlufttemperaturen während des Unterrichts, die unter anderem auch aus dem Wärmeeintrag der sich im Raum befindlichen Personen resultieren, weisen ebenso auf eine unbehagliche Raumluftqualität hin wie die hohen Kohlendioxid-Konzentrationen, welche den Grenzwert von 1500 ppm fast immer übersteigen, wie Abbildung 3 verdeutlicht. Einige der gemessenen Kohlendioxid-Werte haben diesen Grenzwert gar um das 2,5-fache überschritten. Werte über dem Grenzwert haben Konzentrationsstörungen und eine Reduktion der Leistungsfähigkeit der im Raum befindlichen Personen zur Folge.

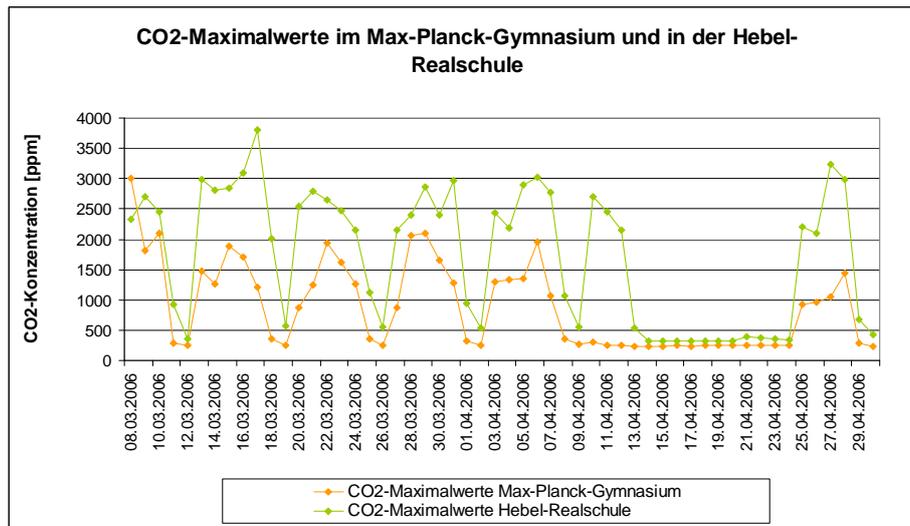


Abb. 3: CO₂-Maximalwerte an zwei Karlsruher Schulen

Eine Verringerung der Kohlendioxid-Konzentration kann durch intensiveres Lüften erreicht werden. Hierzu wurden umfangreiche Testreihen durchgeführt, um Erkenntnisse zu Lüftungsintensität und Lüftungsintervallen zu erlangen, ohne die Heizwärmeabgabe negativ zu beeinflussen. Die Ergebnisse der Testreihen zeigen, dass durch kurzzeitiges Stoßlüften über die gesamten 5-Minuten-Pausen mit allen zur Verfügung stehenden Fenstern gute Effekte erzielt wurden. Die Kohlendioxid-Konzentration fällt während der kurzen Pausen extrem und rapide ab, wie Abbildung 4 verdeutlicht. Eine längere Lüftungsdauer hat auf die Verringerung der CO₂-Konzentration nur noch geringe Auswirkungen. Bis zum Ende der folgenden Unterrichtsstunde wird der Grenzwert wieder erreicht oder gar überschritten, weshalb es gegebenenfalls erforderlich sein kann, eine weitere Stoßlüftung während einer Unterrichtsstunde vorzunehmen, um eine behagliche Raumluft zu gewährleisten.

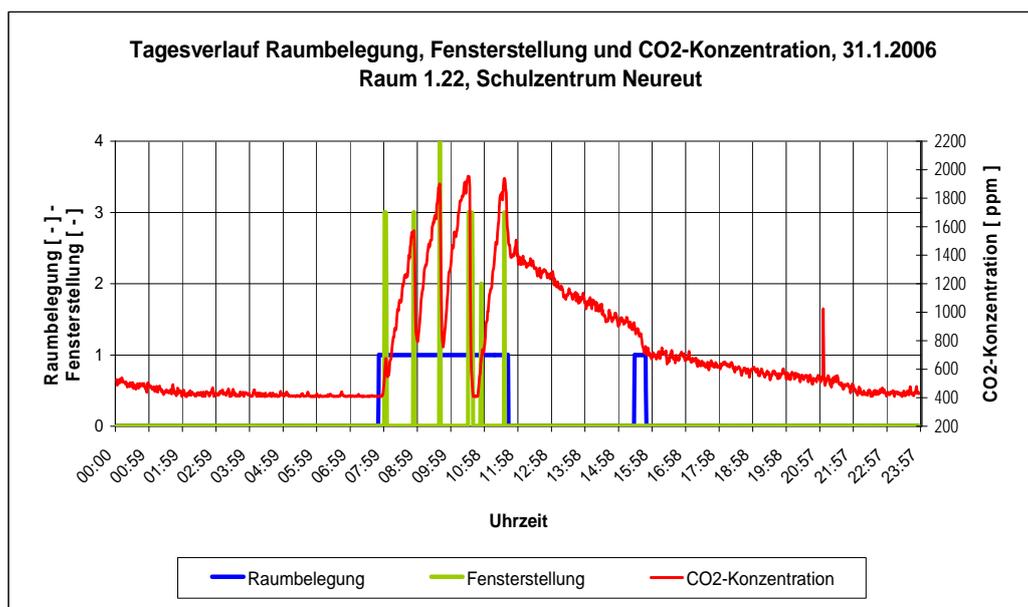


Abb. 4: Lüften in den Pausen

Diese Erkenntnisse wurden in Form konkreter Handlungsanweisungen an die untersuchten Schulen weitergegeben. Die installierte Technik blieb zunächst weiterhin in den Klassenräumen der drei Schulen installiert, um die ausgearbeiteten Empfehlungen und deren Umsetzung in den Schulen beobachten zu können und die Auswirkungen der verschiedenen Visualisierungskonzepten kontrollieren und bewerten zu können.

5. Zusammenfassung

In drei Schulen Karlsruhes wurden jeweils vier Klassenräume mit Messtechnik ausgestattet, um den Nutzereinfluss auf den Energieverbrauch zu analysieren. Zudem wurden je Schule die Heizkörper eines Klassenraumes mit elektrischen Stellventilen versehen, um mittels der erfassten Temperatur- und Raumnutzungsverhältnisse rechnergestützt die Ventilsteuerung der Heizkörper zu optimieren und so den Heizwärmebedarf drastisch zu reduzieren.

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass mit geeigneter Nutzermotivation der Energieverbrauch in Klassenräumen nachhaltig reduziert werden kann. Ein ganz erheblicher Einspareffekt lässt sich darüber hinaus durch eine kontrollierte nutzungsabhängige Steuerung der Heizkörperventile erzielen.

Neben der Suche nach Lösungen zur Effizienzsteigerung des Energieeinsatzes in öffentlichen Gebäuden am Beispiel von Schulen konnten auch Fragen zur Raumluftqualität in Abhängigkeit von Fensterlüftung und Nutzung der Klassenräume analysiert werden. Hier zeigte sich, dass insbesondere in der Heizperiode auch während des Unterrichts eine Belüftung durch das Öffnen von Fenstern erforderlich ist, um ein Ansteigen des CO²-Gehaltes über kritische Schwellwerte zu vermeiden. Zu empfehlen wäre folglich eine kontrollierte Belüftung mittels mechanischer Lüftungseinrichtung.

Fortführende Arbeiten sind angedacht, um die Ansteuerung von Stellventilen der Heizkörper wie auch von Systemen zur Raumbelüftung weiter zu optimieren. Ziel ist es, den Energieeinsatz in öffentlichen Gebäuden weiter zu minimieren und die Raumluftverhältnisse in Unterrichtsräumen zu verbessern.

6. Literatur

Garrecht, H.; Wolfrum, K., Pflaum, T., Brecht, T., *Messtechnische Untersuchungen an Schulen zur Unterstützung eines energiebewussten Nutzerverhaltens*, Abschlussberichte der Projektphase I und II im Auftrag der Stadt Karlsruhe. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, 2005 und 2006.

Bieber, H.; Emmerich, W.; Garrecht, H.; Georgescu, A., Ginter, M.; Gruber, E.; Hildebrand, O.; Huber, J.; Jank, R.; König, A.; Laidig, M., *EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens*, FIA Forschungsbericht des BMWA und BMBF, ISBN 3-938210-04-4, 2004

Garrecht, H., Huber, J.; *Untersuchungen zum Einfluss der Heizungsregelung und des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Mietwohnungen am Beispiel eines umfassend sanierten Wohnkomplexes*, Tagungsband „Gebäude verstehen-bewerten-verbessern“, TU Wien, 24.5.2004, S. 154-167

7. Literaturverzeichnis

- [1] Garrecht, H; Wolfrum, K., Pflaum, T., Brecht, T., *Messtechnische Untersuchungen an Schulen zur Unterstützung eines energiebewussten Nutzerverhaltens*, Abschlussberichte der Projektphase I und II im Auftrag der Stadt Karlsruhe. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, 2005 und 2006.
- [2] Bieber, H.; Emmerich, W; Garrecht, H.; Georgescu, A., Ginter, M.; Gruber, E.; Hildebrand, O.; Huber, J.; Jank, R.; König, A.; Laidig, M., *EnSan-Projekt Karlsruhe-Goerdelerstraße Integrale Sanierung auf Niedrigenergie-Standard unter Einschluss moderner Informations- und Regelungstechnik und Beeinflussung des Nutzerverhaltens*, FIA Forschungsbericht des BMWA und BMBF, ISBN 3-938210-04-4, 2004
- [3] Garrecht, H., Huber, J.; *Untersuchungen zum Einfluss der Heizungsregelung und des Nutzerverhaltens auf den Energieverbrauch in Mietwohnungen am Beispiel eines umfassend sanierten Wohnkomplexes*, Tagungsband „Gebäude verstehen-bewerten-verbessern“, TU Wien, 24.5.2004, S. 154-167

RADONINNENRAUMKONZENTRATION - AKTUELLE ENTWICKLUNGEN IM STRAHLENSCHUTZRECHT

RADON IN DWELLINGS – RECENT DEVELOPMENTS IN THE RADIATION PROTECTION REGULATION

Frank Leder¹⁾

Stephanie Hurst¹⁾

¹⁾ Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft, Dresden

Zusammenfassung

Radon in Innenräumen wird schon seit vielen Jahren auf internationaler und nationaler Ebene untersucht und diskutiert. Viele epidemiologische Studien wurden angefertigt. Zahlreiche Positionsbestimmungen, Regelungen und Regelungsvorschläge sowie Stellungnahmen dazu liegen vor. Im Folgenden soll ein Überblick über die gegenwärtige Situation gegeben werden.

Summary

Since many years Radon in dwellings is an object of investigations and discussions on a national as well as international scale. Many epidemiologic studies were accomplished. Numerous determinations of position, regulations and proposals for regulations were made and commented. The following text gives a survey of the present situation

1. Einführung

Anhand einer Vielzahl von nationalen und internationalen Studien ist die Problematik Radon in Innenräumen untersucht worden. Infolge dessen ist heute weitestgehend anerkannt, dass eine erhöhte Konzentration von Radon in Gebäuden ein erhebliches Gesundheitsproblem darstellen kann. Die Ableitung von notwendigen Konsequenzen daraus wird schon seit sehr langer Zeit mehr oder weniger intensiv diskutiert. Nun hat die Beschäftigung mit diesem Thema international eine neue Qualität gewonnen. Neben den verschiedenen internationalen und nationalen Organisationen und Kommissionen haben sich auch viele europäische Staaten damit intensiver befasst. So liegt seit 2009 das "Handbook on Indoor Radon" der World Health Organization (WHO) vor und die Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP) hat sich im gleichen Jahr ebenfalls damit befasst

Auch die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) befasst sich mit diesem Thema. Die EU Kommission beabsichtigt in ihrer Novelle der EU-Grundnormen für den Schutz der Gesundheit der

Arbeitskräfte und der Bevölkerung gegen die Gefahren durch ionisierende Strahlungen das Thema Radon in Innenräumen mit aufzunehmen.

2. Internationale Regelungen und Empfehlungen

2.1 Organisationen

2.1.1 Weltgesundheitsorganisation (WHO)

Im September 2009 wurde von der WHO das seit längerem angekündigte Handbuch zu Radon in Innenräumen [1] vorgelegt. Es ist das Ergebnis eines seit 2005 bei der WHO laufenden internationalen Radonprojektes, an dem 96 Experten aus 29 Staaten mitarbeiteten. Das Handbuch stellt ein Kompendium zu den Gesundheitseffekten von Radon, Radonmessmethoden, Radonschutzmethoden, kosteneffektiven Kontrollmöglichkeiten und Radon-Risikokommunikation dar. In diesem werden weit reichende Empfehlungen zur Untersuchung, zur Kommunikation und zum Schutz vor Radon abgeleitet. Die WHO stellt wiederholt fest, dass Radon nach Tabakrauchen die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs ist. Zur effektiven Umsetzung von Minderungsmaßnahmen wird die Einführung von nationalen Radon-Programmen vorgeschlagen. Dabei sollen die vorgeschlagenen Referenzwerte von 100 Bq/m^3 und, sofern nicht umsetzbar von 300 Bq/m^3 Eingang finden. Diese Empfehlungen der WHO sind Vorschläge für internationale und nationale Regelungen. Sie haben keine unmittelbaren rechtlichen Konsequenzen.

2.1.2 Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP)

In der ICRP-Empfehlung 103 [2] aus dem Jahr 2007 werden neue wissenschaftliche Ergebnisse über die Wirkung ionisierender Strahlung auf den Menschen diskutiert. Erstmals geht man hier auf Innenraumkonzentrationen von Radon ein. Im November 2009 erschien ein Statement der ICRP [3] zu Radon in Innenräumen: „Die Überprüfung des Risikokoeffizienten hat ergeben, dass eine maximale Referenzdosis von $\sim 10 \text{ mSv/a}$ für Wohngebäude nicht mehr einer Radonkonzentration von 600 Bq/m^3 , sondern nunmehr von 300 Bq/m^3 entspricht. Auf dieser Grundlage wird für Arbeitsplätze eine Referenzkonzentration von 1000 Bq/m^3 empfohlen.“ Diese neuen Dosiskoeffizienten wurden nach Auswertung neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse und Informationen über die Gesundheitsgefahr von Radon und dessen Folgeprodukten veröffentlicht. Bei nationaler Umsetzung soll nach Auffassung der ICRP diese Empfehlung von 300 Bq/m^3 Radoninnenraumkonzentration je nach Möglichkeit und örtlichen Verhältnissen unterschritten werden. Von der Möglichkeit eines Optimierungsgebotes soll Gebrauch gemacht werden.

2.1.3 Internationale Atomenergie Organisation (IAEO)

Die Basic Safety Standards (BSS) der IAEO befinden sich gegenwärtig in Überarbeitung. Im aktuellen dritten Entwurf [4] wird erstmalig ein Maßnahmewert von 300 Bq/m^3 bzw. ein Zielwert von 100 Bq/m^3 für Radon in Innenräumen empfohlen. Für Arbeitsplätze werden auch hier 1000 Bq/m^3 Radoninnenraumkonzentration empfohlen. Damit schloss sich ein Expertengremium der IAEO im Dezember 2009 der Einschätzung der ICRP an und empfahl somit auch im Entwurf der BSS ebenfalls max. Referenzwerte für Wohngebäude. Obwohl auch diese Empfehlungen keinen unmittelbar verbindlichen Charakter haben, ist davon auszugehen, dass viele Mitgliedstaaten der IAEO ihre gesetzlichen Regelungen an die Empfehlungen anlehnen werden.

2.1.4 EU-Kommission

Gleichzeitig mit dem WHO Handbuch wurde auch durch die Art.-31-Expertengruppe der EU im Februar 2010 das Papier „European Commission Services considerations with regard to natural radiation sources in BSS Directive“ [5] veröffentlicht. Damit liegt ein Entwurf für neue Basic Safety Standard (BSS) der EU vor, die in der Novellierung der Richtlinie EURATOM 96/29 Eingang finden sollen. Erstmals werden damit Regelungen zur der Fragestellung „Radonschutz in Gebäuden“ in der EU-Grundnorm Eingang finden. Es werden Referenzwerte von 200 Bq/m³ für Radon in neuen und von 300 Bq/m³ in bestehenden Gebäuden sowie 1000 Bq/m³ für Arbeitsplätze vorgeschlagen.

Voraussichtlich wird bei der Kommission im Verlauf des Jahres 2010 oder mit Beginn des Jahres 2011 eine Entscheidung über die Richtlinie getroffen werden. Sollten die Referenzwerte verbindlich werden, wird dies Konsequenzen für die Umsetzung in den europäischen Staaten haben. Unter anderem wären dann die betroffenen Regionen nach Inkrafttreten dieser Richtlinie über die Radonproblematik zu informieren und die Gebäudeeigentümer bei Radonschutzmaßnahmen fachlich zu unterstützen. Es ist auch vorgesehen, Kontrollen zu Radoninnenraumkonzentrationen durchzuführen. Inhalt und Umfang sind bisher nicht näher bestimmt und bedürfen sicherlich noch umfassender Diskussion.

2.2. Sachstand in den Mitgliedstaaten

Die Regelungen zu Radon in den europäischen Staaten sind sehr unterschiedlich. Einige Staaten haben ganz stringente Regelungen in ihrer nationalen Gesetzgebung festgeschrieben. Die Bandbreite ist dabei groß und reicht von 200 Bq/m³ wie beispielsweise in Schweden bis zu 1.000 Bq/m³ wie in der schweizerischen Strahlenschutzverordnung. Diese werden in der Regel für Neubauten und Rekonstruktionen von Altbauten angewendet. Viele europäische Staaten haben Empfehlungen für neu zu errichtende und für bestehende Gebäude gegeben. Sie können durchaus zwischen den Neu- und Altbauten variieren. Einige Staaten haben weder Regelungen noch Empfehlungen zu Radoninnenraumkonzentrationen. Eine nicht abschließende Übersicht ist in Tabelle 1 wiedergegeben.

Tab. 1: Übersicht von Empfehlungen bzw. Grenzwerten zu Radoninnenraumkonzentrationen

Land	Vorhandene Gebäude		Neue Gebäude	
	Empfehlung	Grenzwert	Empfehlung	Grenzwert
Belgien	400			
Dänemark	200 / 400		200	
Deutschland (2001/2004)	400 / 100		200 / 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)	400		200
Schweiz		1.000	400	
Spanien				
Tschechien		400		200
Ungarn	600		600	

3. Nationale Positionen

3.1. Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK)

Die SSK hat sich in mehreren Stellungnahmen [6], [7], [8] und [9] der vergangenen Jahre zum Themenkreis Radon in Innenräumen geäußert. Insbesondere wurden hier neben der Empfehlung von Richtwerten für Radoninnenraumkonzentrationen von 250 Bq/m³ für neu zu errichtende und 1.000 Bq/m³ für bestehende und zu sanierende Gebäude Analysen und Bewertungen zu den verschiedenen nationalen und internationalen epidemiologischen Studien erarbeitet und veröffentlicht. In ihrer letzten Stellungnahme [10] empfiehlt sie geeignete Maßnahmen für einen adäquaten Radonschutz zu ergreifen. Die Empfehlungswerte aus der Stellungnahme von 1994 [6] wurden jedoch bisher nicht verändert.

3.2. Bundesumweltministerium (BMU)

In den vergangenen Jahren hatte das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit versucht, verbindliche rechtliche Regelungen zum Schutz vor Radon in Gebäuden durchzusetzen. In diesem Zusammenhang wurde ein Radon-Handbuch vom BMU [9] herausgegeben, in dem neben Erläuterungen zur Radonproblematik auch vielfältige Bau- und Sanierungsempfehlungen gegeben wurden. Diese Versuche waren am Widerstand der Bundesländer gescheitert. Eine gesetzliche Regelung soll weiterhin angestrebt werden.

3.3. Bundesländer

In den Bundesländern werden je nach Betroffenheit unterschiedliche Aktivitäten zum Schutz der Bevölkerung vor Radon in Innenräumen durchgeführt. Aufgrund dieser unterschiedlichen Betroffenheit wurden bisher die meisten Aktivitäten in den südlicheren Ländern und in Nordrhein-Westfalen, dagegen eine geringere Aktivität in den nördlichsten Bundesländern entwickelt. Während in 8 Bundesländern (ohne Sachsen) bereits durch einen Internetauftritt über Radon informiert wird, in 4 Ländern eine Radonbroschüre angeboten sowie auf eine Radonkarte aufmerksam gemacht wird, fehlen in immerhin 4 Bundesländern und 3 Stadtstaaten jegliche Hinweise auf diese Problemstellung.

Es ist davon auszugehen, dass dieses Verhältnis auch in Bezug auf die notwendige Infrastruktur, d.h. Messlabors, Beratungskapazitäten etc. besteht.

3.4. Freistaat Sachsen

Der Freistaat Sachsen hatte sich bereits sehr frühzeitig entschieden, das Thema Radon in Innenräumen sehr offensiv anzugehen. Dies ist nicht zuletzt dem Umstand geschuldet, dass mit dem ehemaligen Uranerz- und Altbergbau schon eine Sensibilisierung für das Edelgas Radon als wesentlicher Einfluss auf die Gesundheit der Bergleute erfolgt war. Der Lungenkrebs war hier Jahrhunderte lang als „Schneeberger Krankheit“ bekannt.

Deshalb wurde bereits 1992 die Radonberatungsstelle in Bad Schlema eingerichtet und von 1994 bis 2000 wurden Radonsanierungsmaßnahmen finanziell unterstützt. Radonschutzmaßnahmen werden auch weiterhin unterstützt, um die wirtschaftliche Entwicklung in den betroffenen Regionen zu fördern und einer Stigmatisierung vorzubeugen. Dabei wird, wie auch der Sächsische Landtag 2005 [10] dazu beschlossen hat, vor allem auf Informations- und Aufklärungsmaßnahmen sowie Messprogramme gesetzt. Diese wurden und werden in einem deutlich höheren Umfang durchgeführt als in den übrigen Bundesländern.

Bei der Entwicklung der sächsischen Radonschutzstrategie wurde auf weitere markante Eckpfeiler gesetzt. So werden seit einigen Jahren bereits bei der Planung von neuen staatlichen Gebäuden bzw. bei der Rekonstruktion von solchen Radonschutzmaßnahmen vorgesehen.

Die Qualität der Bauausführung ist des Weiteren ein sehr wesentlicher Einflussfaktor auf die Radoninnenraumkonzentration bei Neubauten und Sanierungsvorhaben. Grundlegende Fehler können hierbei gemacht werden, die später teilweise nur noch mit erheblichen Aufwendungen korrigiert werden können. Ebenso können mit Sicherheit die Aufwendungen für den Radonschutz minimiert werden, wenn die Bauplanung und -ausführung nach den aktuellen Regeln der Baukunst erfolgen und bei den Beteiligten ein Grundverständnis für das Radonproblem vorhanden ist. Deshalb liegen die Bemühungen weiterhin vor allem in der Einflussnahme auf unterschiedliche Ausbildungsbereiche, d.h. von der schulischen über die berufliche bis zur universitären Ausbildung.

4. Aktuelle Rechtslage - Zivilrechtliche Entscheidungen

Im Freistaat Sachsen wurden im Jahr 2009 am Amtsgericht Aue zwei zivilrechtliche Verfahren durchgeführt, bei denen hohe Radoninnenraumkonzentrationen beklagt wurden und Mietzinsreduzierungen gefordert wurden. In einem Fall wies die Radonkonzentrationen durchschnittlich über 1300 Bq/m³ auf und der Klägerin wurde wegen dieser hohen Werte Recht gegeben. In einem zweiten Fall wurde aufgrund von durchschnittlichen Radonkonzentrationen unter 300 Bq/m³ die Klage abgewiesen. Das Amtsgericht Aue führte in seiner Entscheidung aus, dass es eine Belastung von weniger als 400 Bq/m³ als zumutbar einschätzt. Es schloss sich damit der Auffassung des Gutachters in diesen Fällen an.

Damit wurde erstmalig verdeutlicht, dass die gegenwärtige Rechtsgrundlage auch ausreichend ist, die unterschiedlichen Auffassungen zur Notwendigkeit des Radonschutzes zwischen den einzelnen Parteien, hier zwischen Mieter und Vermieter, zu klären.

Bauherren können sich jedoch schon in der Planungsphase von Gebäuden absichern. Bau- und Dienstleistungsverträge zwischen Bauherren und Architekten sowie Bauausführenden können bezüglich der Einhaltung von Radoninnenraumkonzentrationen nach den Forderungen des Auftraggebers und den Möglichkeiten des Auftragnehmers gestaltet werden. Das schließt die Qualitätssicherung und die Garantieleistungen mit ein.

5. Schlussfolgerungen

Die für einen Radonschutz vorgeschlagenen Referenzwerte aus den verschiedenen Organisationen und Staaten variieren derzeit noch sehr. Sie beruhen auf umfangreichen epidemiologisch-toxikologischen Studien und sind gut begründet. Allerdings sind im niedrigen Konzentrationsbereich ($< 200 \text{ Bq/m}^3$) noch Unsicherheiten vorhanden, so dass offensichtlich ein Referenzwert von 300 Bq/m^3 für Maßnahmen als allgemein konsensfähig angenommen werden könnte. Die endgültigen Positionen von IAEA und EU-Kommission bleiben abzuwarten.

Die Umsetzung der Empfehlungen ist sehr differenziert zu betrachten, da sie komplex sind und stellenweise einen hohen Aufwand erfordern. Nationale Radonprogramme aufzustellen, in denen für das Radonproblem sensibilisiert werden soll, ist sicherlich kurzfristig möglich. Die Voraussetzungen für eine Umsetzung zum Erreichen der Richtwerte sind bisher noch nicht ausreichend gegeben. Es wäre nicht nur national, sondern auch mit Blick auf die EU sicherlich sehr hilfreich, wenn für kosteneffizientes radonsicheres Bauen und Sanieren eine differenzierte und konkrete Methodik erarbeitet wird, die eine einfache und wirtschaftliche Umsetzbarkeit für sehr unterschiedliche Baukonstruktionen und Radoneintrittssituationen ermöglicht. Auch sollte der Zusammenhang zwischen energetischem Bauen und Radonschutz in der Baubranche stärker verankert werden. Während sich bestimmte energetische Bauweisen (Passivhaus mit Luftwärmetauscher) durchaus positiv auf den Radonschutz auswirken, können durch energetische Isolierung von Außenwänden und Dächern ohne Fachkenntnisse zum Radonschutz die Radonkonzentrationen in Gebäuden stark erhöht werden.

Trotzdem ist der Empfehlungscharakter der Radonrichtwerte aus den vorliegenden Empfehlungen zu unterstreichen, denn der Strahlenschutz kann auch auf der Grundlage von Referenzwerten gewährleistet werden, die ein Ermessen im Einzelfall ermöglichen.

Wie bisher wird im Freistaat Sachsen weiterhin auf Kommunikation, Aufklärung und Transparenz gesetzt werden. Eine wesentliche Rolle spielt dabei die sächsische Radonberatungsstelle. Durch ihre bürger- und praxisnahen Dienste war es auch bisher – ohne stringente Regelungen - schon vielfach möglich die Radoninnenraumkonzentrationen merklich zu senken.

6. Literaturverzeichnis

- [1] WHO Handbook on Indoor Radon – A public Health Perspective, World Health Organisation 2009
- [2] The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4)
- [3] International Commission on Radiological Protection – Statement on Radon, ICRP Ref 00/902/09
- [4] IAEA Safety Standards for protecting people and the environment, Draft 3.0, Draft Safety Requirements DS 379, International Atomic Energy Agency, January 2010
- [5] Draft Euratom Basic Standards Directive, Draft European Basic Standards Directive, Version 24. February 2010, European Commission 2010
- [6] Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Gebäuden - Empfehlung der Strahlenschutzkommission, Verabschiedet auf der 124. Sitzung der SSK am 21./22.04.1994; Veröffentlicht im BAnz Nr. 155 vom 18.08.1994
- [7] Epidemiologische Untersuchungen zum Lungenkrebsrisiko nach Exposition gegenüber Radon - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 169. Sitzung der SSK am 31.10.2000; Veröffentlicht im BAnz Nr. 35 vom 20.02.2001

- [8] Auswertung der vorliegenden Gesundheitsstudien zum Radon - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 192. Sitzung der SSK am 24./25.06.2004; Veröffentlicht im BAnz Nr. 141 vom 30.07.2004
- [9] Attributives Lungenkrebsrisiko durch Radon-Expositionen in Wohnungen - Stellungnahme der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 208. Sitzung der SSK am 11./12.07.2006; Veröffentlicht im BAnz Nr. 81 vom 28.04.2007
- [10] Lungenkrebsrisiko durch Radonexpositionen in Wohnungen - Empfehlung der Strahlenschutzkommission; Verabschiedet auf der 199. Sitzung der SSK am 21./22.04.2005
- [11] Radon-Handbuch Deutschland, Hrsg. BMU, Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, 2006
- [12] Beschluss des Sächsischen Landtages vom 08.12.2005 (Drucksache 4/3546)

DIE NEUE RADONKARTE VON SACHSEN – ERGEBNISSE DER BODENLUFTKARTIERUNG ^{*)}

THE NEW RADON MAP OF SAXONY - RESULTS OF SOIL GAS MAPPING

Werner Preuße, H. Busch¹⁾

Joachim Kemski, Ralf Klingel²⁾

¹⁾ Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Chemnitz

²⁾ Kemski & Partner, Beratende Geologen, Bonn

Zusammenfassung

Ausgehend von der Deutschland-Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft wurde für den Freistaat Sachsen die Datenbasis durch Bodenluftmessungen gemeindebezogen verdichtet und gegenüber dem Stand von 2004 verdreifacht. Die detaillierte Einteilung der Geologischen Übersichtskarte 1 : 200.000 (GÜK 200) von Sachsen wurde auf der Basis petrographischer und geochemischer Ähnlichkeiten vereinfacht. Die resultierenden 30 geologischen Einheiten bilden den Interpolationshintergrund für eine Bodenlufradonkarte im 1 x 1 km²-Raster. Mit Hilfe zusätzlicher geochemischer und aero-gammaspektrometrischer Daten (Uran im Boden und Gestein) wurden Plausibilitätsprüfungen durchgeführt, die die geologische Klassifikation bestätigen. Die neue Bodenlufradonkarte des Freistaates Sachsen weist einen hohen Detailliertheitsgrad aus und unterscheidet sich aufgrund der höheren Datendichte deutlich von der Deutschland-Karte. Der Anteil von Gebieten mit einer Prognose hoher Radonwerte ist demnach besonders im Süden von Sachsen gesunken, während in den eher unbelasteten Regionen mit quartärer Überdeckung im nördlichen Sachsen vereinzelt Gebiete mit höheren Radonwerten zu erwarten sind.

Summary

Starting from the map of radon in soil gas in Germany, the data basis for the area of Saxony was enlarged mainly in municipalities with low measurement frequency. Compared to 2004 the number of soil gas measurements was three times higher. The detailed classification of the Geological Map of Saxony (1 : 200 000) was reduced to 30 geological units based on petrographical and geochemical analogies. This classification was used for the computation of an interpolated soil gas radon map on a 1 x 1 km² grid. Based on geochemical data and results of aero gamma-spectrometry (uranium in soils and rocks) the geological categorization was checked and confirmed. The new map of radon in soil gas in Saxony shows a high degree of resolution. Due to the much higher amount of data, differences to the map of Germany are obvious. Especially in the southern part of Saxony areas with high radon concentration in soil gas are diminished. Vice versa, in the northern regions covered by Quaternary sediments scattered areas with higher radon concentrations are to be expected.

^{*)} Dieser Beitrag entspricht weitgehend einem Beitrag zur 42. Jahrestagung des Fachverbands für Strahlenschutz, Borkum, 26.09.-30.09.2010

1. Einleitung

Der Freistaat Sachsen ist eines der am stärksten von erhöhten Radonbelastungen betroffenen deutschen Bundesländer. Hierüber gab die Deutschland-Karte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erstmals flächendeckend Auskunft [1]. Die damit verbundenen Forschungsvorhaben des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) stellten auch die Methodik für die Erstellung von Planungskarten zur Verfügung, die prinzipiell in verschiedenen räumlichen Maßstäben anwendbar ist [2, 3]. Da in der Deutschland-Karte (Hintergrund in Sachsen: 16 generalisierte stratigraphische bzw. petrographische Einheiten auf der Grundlage der Geologischen Karte der Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Maßstab: 1 : 1.000.000) regionale geologische Gegebenheiten nur grob berücksichtigt werden konnten, wurde für die geologisch stark differenzierten Regionen Sachsens vermutet, dass auch das dort prognostizierte geogene Radonpotential deutlicher differenziert sein sollte. Darüber hinaus konnte die begrenzte Anzahl von 320 Messpunkten in Sachsen die vorhandene geologische Variabilität nur entsprechend begrenzt abbilden.

Es war daher das Ziel des Freistaates Sachsen, mit weiteren Untersuchungen die Datenbasis des Landes so weit zu verdichten, dass eine Planungskarte erstellt werden kann, die die Beurteilung der regionalen Radonsituation erlaubt. Dieses Ziel wurde mit einem landeseigenen Messprogramm zwischen 2005 und 2009, der Klassifizierung der radonrelevanten Geologie und der Neuberechnung der Bodenluft-radonkarte in einem 1 x 1 km²-Raster erreicht.

2. Klassifizierung der radonrelevanten Geologie

Die geologische Kartengrundlage für die spätere Interpolation war die Geologische Übersichtskarte (GÜK 200) von Sachsen. In dieser sind 90 geologische Einheiten ausgehalten, die nach stratigraphischen Gesichtspunkten untergliedert sind. Unter dem Aspekt der Radongefährdung ist eine petrographische und geochemische Differenzierung der Gesteine sinnvoll. In Zusammenarbeit mit dem sächsischen Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie (LfULG) wurde daher eine Vereinfachung der GÜK 200 zu 30 Einheiten erarbeitet, die sich an der geologischen Karte des Freistaates Sachsen, GÜK 400 von 1992 orientierte.

Die Ablagerungen des quartären Gehängelehms aus der pleistozänen Weichsel-Kaltzeit, die ihre Entstehung lokalen morphologischen Gegebenheiten zu verdanken haben und in denen vorzugsweise das Material der unterlagernden Gesteinseinheiten in aufgearbeiteter Form zu finden ist, wurden hierbei gesondert betrachtet. Unter dem Gesichtspunkt der Radonproblematik ist dieses Material nicht als eigenständige Einheit auszuhalten, weil sich in seiner stofflichen Zusammensetzung Eigenschaften des tieferen Untergrundes durchpausen. Daher wurden die entsprechenden Flächen durch die unterlagernde Prä-Quartär-Geologie aus einer um die känozoischen Ablagerungen abgedeckten Karte ersetzt.

3. Auswahl der Bodenluftmessorte und Messmethodik

In einem Forschungsvorhaben des BMU wurde an insgesamt 320 Messorten in Sachsen die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft bestimmt. Die Auswahl dieser Orte erfolgte ausschließlich nach geologischen Gesichtspunkten. Es ergab sich daher keine gleichmäßige Verteilung über die gesamte Landesfläche, sondern die Orte konzentrierten sich auf das Erzgebirge sowie auf die Grenzregionen zu Bayern und Thüringen. Die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft des Freistaates Sachsen (BfUL) beprobte zwischen 2005 und 2009 weitere 697 Messorte. Die Messortauswahl erfolgte hier gemeindebezogen und konzentrierte sich auf

135 Gemeinden, in denen die in der Deutschland-Karte prognostizierte Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft wegen fehlender Messpunkte in diesen Gemeinden als unsicherer angesehen wurde als in den anderen Gemeinden.

Die Bestimmung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erfolgte nach einem in BMU-Forschungsvorhaben entwickelten und validierten Verfahren [2, 3]. An jedem Messort wurden drei Sondierungen in 1 m Tiefe niedergebracht und die Radonkonzentration in der Bodenluft bestimmt. Der Maximalwert der drei Messungen wurde als Interpolationsstützpunkt verwendet.

Vor der Interpolation der Bodenluftkarte des Freistaates Sachsen wurden die Daten der o. g. Messorte auf Plausibilität und Konsistenz überprüft sowie einer Ausreißeranalyse unterzogen.

Letztendlich wurden insgesamt 981 Messorte als Stützpunkte für die Berechnung verwendet. Diese wurden den 30 geologischen Einheiten der vereinfachten GÜK 200 zugeordnet. Allen Stützpunkten wurden zusätzlich zu den Radonmesswerten die Uran-Gehalte im Unterboden (Bodenatlas des Freistaates Sachsen) und die Äquivalent-Urangehalte (eU) aus Befliegungen der 1980er Jahre zugeordnet. Dem Geochemischen Atlas des Freistaates Sachsen wurden zusätzlich statistische Kennzahlen der Urangehalte für die o. g. Gesteinseinheiten entnommen. Als Näherung wurde jedem Stützpunkt der Mittelwert der Urankonzentration in der zugehörigen Gesteinseinheit zugewiesen.

4. Verteilung von Messorten und –werten

Die Messorte verteilen sich weder gleichmäßig über die sächsische Landesfläche, noch sind sie innerhalb der geologischen Einheiten repräsentativ verteilt, da der Schwerpunkt der Beprobungen in Regionen mit vermuteten erhöhtem Radonpotential lag und das sächsische Messprogramm gemeindebezogenen Lücken schließen sollte. Insbesondere einige ausgedehnte quartäre Sedimente im Norden von Sachsen sowie die Granodiorite im Südosten weisen eine Messortdichte von weniger als 0,05 Messorte je km² (= 1 Messort je 20 km²) auf.

Die Radonmesswerte innerhalb jeder geologischen Einheit sind annähernd logarithmisch normal verteilt. Vor allem die permokarbonen Magmatite im Erzgebirge fallen durch hohe Messwerte auf (Abb. 1). Die quartären Sedimente weisen überwiegend niedrige Radonkonzentrationen mit geometrischen Mittelwerten unter 40 kBq/m³ auf, die Einheiten des Grundgebirgsstockwerks sind mit Ausnahme der Granulite durch geometrische Mittelwerte über 40 kBq/m³ charakterisiert.

Vergleichbare Trends zeigen auch die Uran-Gehalte im Gestein und im Unterboden sowie die aerogammaspektrometrisch ermittelten eU-Werte. Eine multiple Regressionsanalyse nach einer Zuordnung der Daten in die ausgehaltenen geologischen Einheiten zeigt, dass die geometrischen Mittelwerte der Quellparameter (Uran/Radium in der Gesteins-/Bodenmatrix) mit der interessierenden Zielgröße (Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft) an einem Messort auf dem 95 %-Niveau signifikant miteinander korreliert sind.

Aufgrund dieses Zusammenhanges lässt sich bei ausreichender Datendichte innerhalb einer geologischen Einheit näherungsweise das Radonpotential dieser Einheit abschätzen. Dies ist allerdings nicht für einen einzelnen Messort möglich, da hier die unterschiedlichen bodenphysikalischen und geochemischen Randbedingungen zu ganz verschiedenen Bodenluftkonzentrationen führen können. Es bestätigt sich aber, dass die wesentliche Kenngröße der Radonbelastung die Verteilung der Radonaktivitätskonzentration in einem Gebiet ist und nicht, wie vielfach angenommen, ein einzelner Messwert. Konsequenterweise sind auch für die Beurteilung lokaler Gegebenheiten stets mehrere Messungen an unterschiedlichen Orten für eine angemessene Bewertung notwendig.

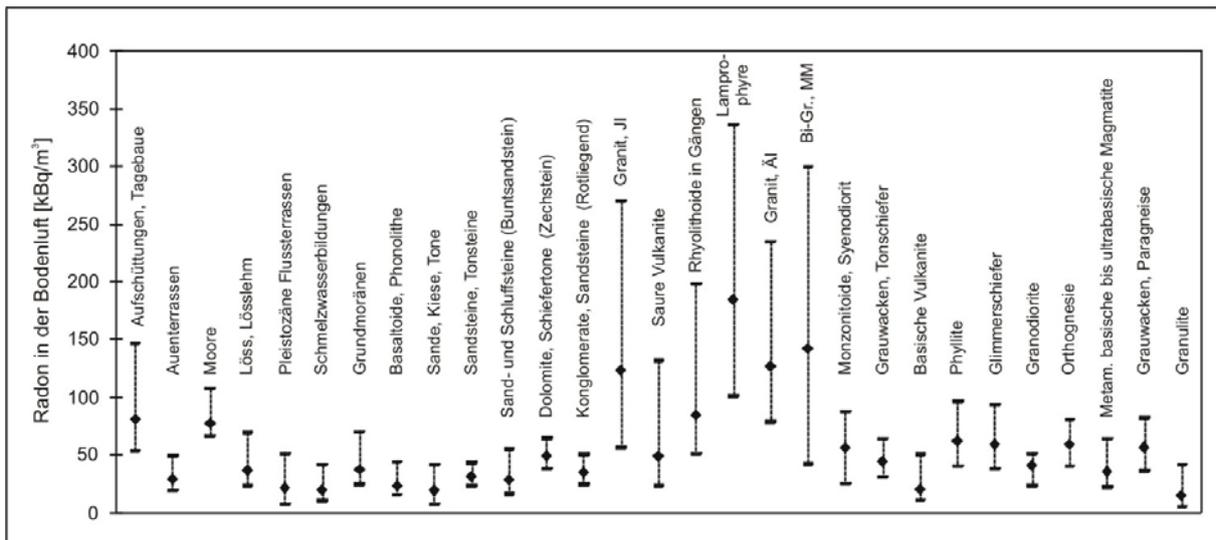


Abb. 1: Spannweitendiagramm der Radonkonzentration in den geologischen Einheiten (geometrischer Mittelwert, Q25- und Q75-Perzentil); Granit, JI: Granit, Jüngerer Intrusivkomplex, Granit, ÄI: Granit, Älterer Intrusivkomplex, Bi-Gr., MM: Biotitgranodiorit, Meissner Massiv

Die gewählte geologische Unterteilung für die Kartenberechnung ist nach Betrachtung der Messwertverteilungen aus geologischer Sicht sehr plausibel und wird auch durch den Abgleich mit geochemischen Informationen gestützt.

5. Interpolation und kartographische Darstellung

Für die flächenhafte abstandsgewichtete Interpolation der Messwerte wurde zunächst ein regelmäßiges Raster mit einer Elementgröße von $1 \times 1 \text{ km}^2$ generiert; insgesamt ergaben sich für Sachsen 18.427 Rasterelemente. Jedem Rasterelement wurde anschließend die Information über die geologische Einheit als Attribut zugewiesen. Dies ermöglicht die implizite Festlegung der Grenzen geologischer Einheiten und die Abgrenzung lithologisch bzw. stratigraphisch homogener Bereiche gegeneinander.

Die Regionalisierung der Radonkonzentration erfolgte mittels einer invers abstandsgewichteten Interpolation zwischen den drei am nächsten gelegenen Messorten innerhalb einer geologischen Einheit auf Basis des o. g. Rasters [2]. Die Interpolation wird dabei streng nach dem Abstand des Rasterelementmittelpunktes von den drei nächstgelegenen Stützpunkten mit gleicher geologischer Zuordnung durchgeführt. Der Vorteil dieser Vorgehensweise liegt darin, dass Minima und Maxima nicht heraus gemittelt werden, sondern flächenbezogen dargestellt werden können. Dadurch behalten diese Extremwerte einen sichtbaren Einfluss auf das Endergebnis. Die Regionalisierung bezieht sich stets nur auf die jeweils betrachtete geologische Einheit, d.h. geologische Grenzen werden bei der Interpolation nicht überschritten.

Die tatsächliche Entfernung zwischen Rasterelement und Stützpunkt spielt hierbei zunächst keine Rolle. Bei landesweiten Regionalisierungen, wie im vorliegenden Fall, kann dies dazu führen, dass Stützpunkte für die Berechnung herangezogen werden, die mehrere 10er Kilometer von den jeweils zu berechnenden Rasterelementen entfernt liegen. Über derartige Entfernungen ist nicht in jedem Fall von einer ausreichenden Homogenität der in der Karte ausgewiesenen geologischen Einheiten auszugehen. Geochemische und/oder petrographische Unterschiede, die sich auf die Radonkonzentration in der Bodenluft auswirken, können nicht ausgeschlossen werden. Daher wurde eine entfernungsabhängige Beschränkung eingeführt, die deutlich macht, dass abgesicherte Aussagen in bestimmten Gegenden nicht möglich sind.

Vorgabe für diese Grenze war, dass für mindestens 90 % der Landesfläche die Berechnung der Radonkonzentration eines Rasterelementes erfolgen sollte. Entsprechend können Rasterelemente mit zusammen maximal 10 % Flächenanteil, deren Prognose wegen des Fehlens von in der Nähe befindlichen Messpunkten am wenigsten gestützt erscheint, separat ausgewiesen werden. Daraus ergibt sich ein Abschneideradius von (aufgerundet) 20 km. Es erfolgte daher keine Berechnung und kartographische Darstellung eines Radonwertes, wenn sich für das jeweilige Rasterelement kein Stützpunkt in derselben geologischen Einheit innerhalb dieser Entfernung finden ließ. Diese Herangehensweise führt auch zu einer möglichen qualitativen Unsicherheitsbetrachtung, wenn beispielsweise die Rasterelemente abgestuft nach dem Vorhandensein von 1, 2 oder 3 Stützpunkten, die eine bestimmte Entfernung zum Rasterelement aufweisen, klassifiziert werden.

Der überwiegende Teil der Rasterelemente (75 %) ist durch drei Messorte innerhalb von 20 km gestützt. In kleineren Arealen, insbesondere in den weniger dicht beprobten, nördlichen Landesteilen, liegen nur ein oder zwei Punkte innerhalb der gesetzten Grenze (16 %). Die Bereiche ohne eine Bewertung (9 %) finden sich überwiegend im Norden Sachsens.

6. Karte der Radonkonzentration in der Bodenluft im Freistaat Sachsen

Die in der o. g. Weise im 1 x 1 km²-Raster generierte Bodenluftkarte von Sachsen ist in Abb. 2 dargestellt. Die Klasseneinteilungen entsprechen denen der 4-stufigen Deutschland-Karte [1].

Bereiche hohen Radonangebotes dominieren im südlichen und zentralen Teil Sachsens. Die hier in die höchste Klasse eingestuft Gebiete konzentrieren sich auf einige klar erkennbare geologische Einheiten, zumeist auf das Permokarbon. Der nördliche Landesteil ist durch niedrigere Werte gekennzeichnet. Die Unterschiede sind vor allem der räumlichen Verbreitung fluviatiler und glazialer Ablagerungen geschuldet.

Insgesamt zeichnet die Sachsen-Karte die Geologie nach und korrespondiert auch gut mit der geochemischen Karte von Sachsen (Uran im Unterboden).

Im Vergleich zur Deutschland-Karte ergeben sich aufgrund der unterschiedlichen Auflösung (3 x 3 km²- gegenüber 1 x 1 km²-Raster) eine kleinräumigere Differenzierung mit einer stärker abgestuften Darstellung und Verschiebungen der Flächenanteile in den einzelnen Bodenluftklassen. Zwischen den Karten kommen Abweichungen in beiden Richtungen vor. Eine regionale oder geologiebezogene Systematik lässt sich hierbei aber nicht erkennen. Tab. 1 zeigt die summarische Bilanz der Zuordnung der sächsischen Landesfläche zu den Radonklassen.

Tab. 1: *Flächenteile der Radonklassen in der Deutschland-Karte 2004 und der sächsischen Karte (mit Unterscheidung von "ohne" bzw. "mit" 20 km-Abschneideradius).*

Radonkonzentration	Flächenanteile in Sachsen [%]		
	2004	2010 (ohne 20 km-Kriterium)	2010 (mit 20 km-Kriterium)
< 20 kBq/m ³	24,0	22,4	21,4
20 - 40 kBq/m ³	10,9	30,1	27,1
40 - 100 kBq/m ³	42,1	38,7	34,3
> 100 kBq/m ³	23,0	8,8	7,5
nicht bewertet			9,7

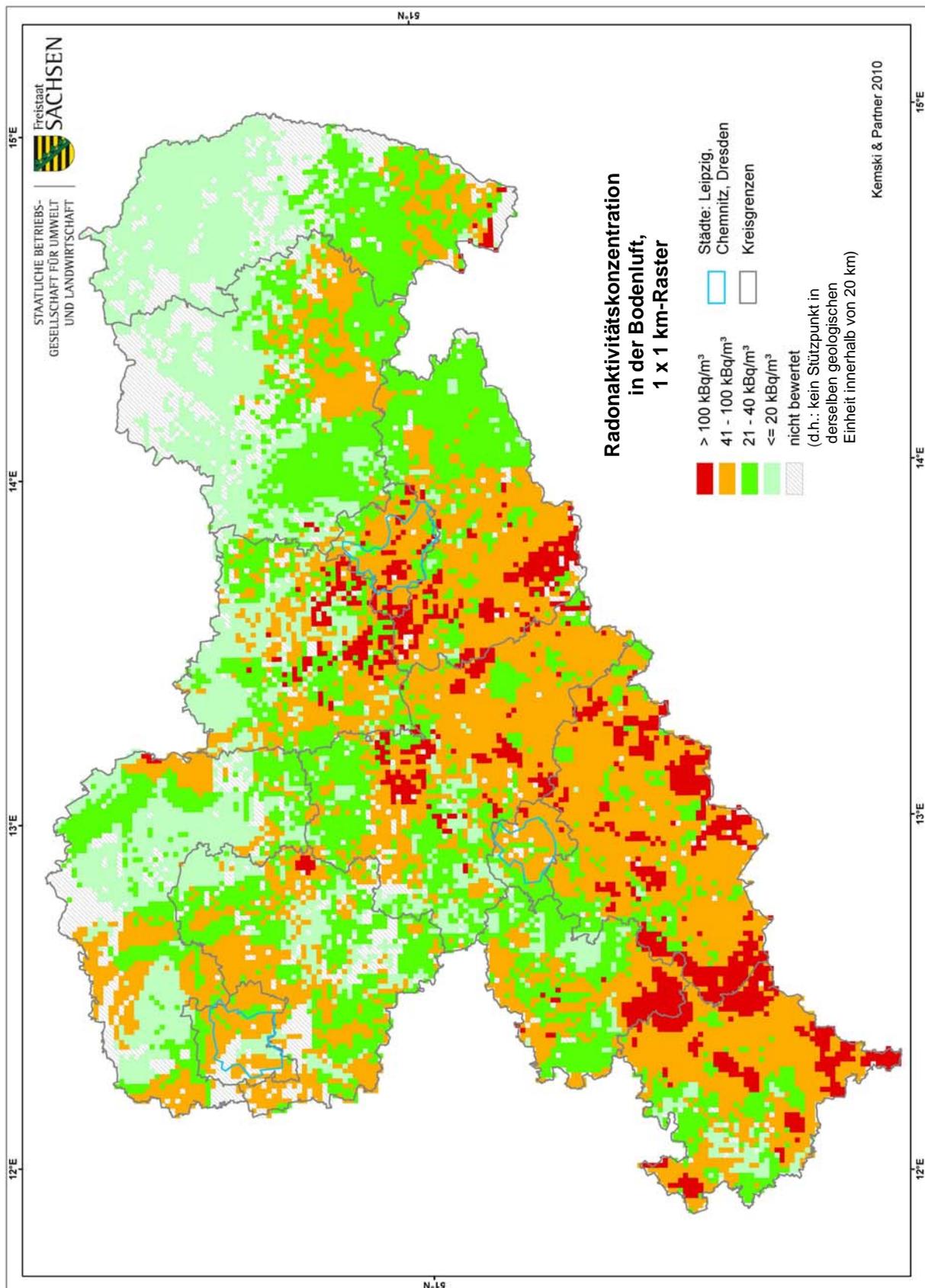


Abb. 2: Karte der Erwartungswerte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft im Freistaat Sachsen

Die Interpolation der Radonkarte von Sachsen zeigt, dass auf der Grundlage der regional verdichteten Messwerte und einer Rasterelementgröße von $1 \times 1 \text{ km}^2$ differenzierte Aussagen über das geogene Radonpotential möglich sind. Eine sinnvolle Einteilung der geologischen Einheiten ist zielführend. Die statistische Auswertung belegt einen klaren Zusammenhang zwischen Stratigraphie/Petrographie und der Radonkonzentration in der Bodenluft.

Die Einbeziehung eines Entfernungsfaktors in den Interpolationsalgorithmus ist sinnvoll, weil dadurch räumlich relativ schlechter gestützte Rasterelemente nicht in eine Berechnung einbezogen werden. Dies verbessert die Belastbarkeit der Aussagen, die nunmehr mit einem höheren Grad an Sicherheit getroffen werden können

7. Nutzen der Karte

Motivation für die Erstellung der Radonkarte im $1 \times 1 \text{ km}^2$ -Raster war der Bedarf die von erhöhten Radonbelastungen besonders betroffenen Regionen in Sachsen genauer auszuweisen, um damit dem Informationsbedürfnis von Bürgern, Wirtschaft und Verwaltungen nachzukommen.

Abschätzungen zu Sanierungsaufwänden zur Erreichung vorgegebener Richtwerte der Radonkonzentration in Gebäuden können mit der Karte auf belastbarer Grundlage als bisher durchgeführt werden. Auch für Kosteneffizienzanalysen verschiedener denkbarer Strategien zur Verbesserung der Radonsituation stellt die Radonkarte ein Instrument dar, da sie in der Fläche bzw. für die existierenden Verwaltungseinheiten detailliertere Prognosen erlaubt. Schließlich bietet sie Bauherren, die sich im Sinne der Radonvorsorge mit dem Problem auseinandersetzen wollen eine Hilfestellung zur Bewertung der Situation in ihrer Gemeinde bzw. Ortsteil.

An dieser Stelle soll jedoch auch ausdrücklich gesagt werden, was die Karte nicht leisten kann. Aus der "Karte der Erwartungswerte der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft im Freistaat Sachsen", wie die Karte genau zu bezeichnen ist, lassen sich keine Radonkonzentrationen in der Bodenluft ablesen, die für einen bestimmten Standort als allein zutreffend anzusehen sind. Ein wichtiges Ergebnis des Projekts zur Erstellung der Karte war die Erkenntnis, dass die Verteilung der Radonkonzentration die wesentliche Kenngröße für das geogene Radonpotential in einem Gebiet ist und nicht ein einzelner Messwert. Ebenso ist die aus der Karte ablesbare Prognose eine Prognose über die in einem $1 \times 1 \text{ km}^2$ -Rasterelement im Mittel zu erwartende Radonkonzentration in der Bodenluft, von der naturgemäß einzelne Messwerte auch deutlich abweichen können.

8. Danksagung

Wir danken Frau Kardel und Herrn Dr. Horna (Sächsisches Landesamt für Umwelt, Landwirtschaft und Geologie) für die Bereitstellung der geochemischen und aero-gammaspektrometrischen Daten sowie die Unterstützung bei der Generierung der vereinfachten geologischen Karte Sachsens.

9. Literaturverzeichnis

- [1] Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung (Jahresbericht 2004), Hrsg.: BMU 2005; Karte auch in http://www.bfs.de/de/ion/radon/radon_boden/radonkarte.html (Zugriff am 26.04.2010), Autoren: Kemski & Partner - Beratende Geologen, Bonn
- [2] Kemski, J.; Siehl, A.; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M.: Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radon-Potentials (Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4106).- Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1999-534, 133 S., 1999
- [3] Kemski, J.; Klingel, R.; Siehl, A.: Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radon-Potentials (Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben St. Sch. 4062).- Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-1996-470, 76 S., 1996

DER EINFLUSS METEOROLOGISCHER PARAMETER AUF DIE RADONKONZENTRATION IN DER BODENLUFT

THE INFLUENCE OF METEOROLOGICAL PARAMETRES ON THE RADON CONCENTRATION IN THE GROUND AIR

Jürgen Conrady¹⁾

Karel Turek²⁾

Andreas Guhr³⁾

Pavel Žárský⁴⁾

¹⁾ PreCura Institute for Preventive Medicine r.a., Kastanienallee 6a, 12623 Berlin, Germany

²⁾ Nuclear Research Institute, Na Truhlářce 39/64, 180 86 Prague 8, Czech Republic

³⁾ ALTRAC Radon-Messtechnik, Dorothea-Viehmann-Str.28, 12524 Berlin, Germany

⁴⁾ Czech Hydrometeorological Institute, Generála Šišky 942, 143 06 Prague 4, Czech Republic

Zusammenfassung

Bei der Erstellung von Radonkarten ist die hohe Schwankungsbreite nachwievor ein Unsicherheitsfaktor, weil die Wechselwirkungen der Bodenradonkonzentration mit meteorologischen Einflussfaktoren und ihr Tages- und Jahrgang nicht ausreichend berücksichtigt werden. Aus diesem Grund wurden Messungen zur Ermittlung der Bodenradonkonzentration über einen Zeitraum von mehreren Jahren an einem stationären Messpunkt durchgeführt. Die kontinuierlichen Messungen erstreckten sich von IV/2002 bis II/2010 für die Dauer von jeweils 7 Tagen mit insgesamt 366 Messergebnissen des Wochen-Mittelwertes der Radonkonzentration im Boden. Die Ergebnisse zeigen, dass die Bodenradonkonzentration selbst unter standardisierten Untersuchungsbedingungen großen saisonalen und jährlichen Schwankungen unterliegt. Als wesentliche Ursachen hierfür sind Veränderungen der Luft- und Bodentemperatur und insbesondere der Bodenfeuchte, die im Wesentlichen einen vergleichbaren Veränderungszyklus wie die Bodenradonkonzentration zeigen, identifiziert worden. Im Gegensatz zu der bisherigen Praxis ist es daher erforderlich, die Messzeit für die Bestimmung der Bodenradonkonzentration auszudehnen und gleichzeitig den Einfluss aller relevanten Faktoren auf die Bodenradonkonzentration in geeigneter Form zu berücksichtigen.

Summary

By the production of radon maps the high fluctuation is still an insecurity factor because the interaction of the ground radon concentration with meteorological factors of influence and diurnal variation and annual variation is considered not enough. That's why measurements were carried out to inquire of the ground radon concentration for a period of several years in a stationary measuring point. The continuous measurements applied from IV / 2002 to II / 2010 for the duration of 7 days in each case with a total of 366 measuring results of the weekly average value of the radon concentration in the ground. The results show that the ground radon concentration is defeated even under standardised investigation conditions big seasonal and annual fluctuations. As essential causes the changes of the air temperature and ground temperature and in particular the ground dampness

which show a comparable change cycle like the ground radon concentration in the essentials have been identified for this. Hence, in contrast to the present practise it is necessary to expand the measuring time for the regulation of the ground radon concentration and to consider at the same time the influence of all relevant factors on the ground radon concentration in suitable form.

1. Einleitung

Die Freisetzung des Rn-222 aus den Gesteinen in die Bodenluft hängt von der mineralischen Zusammensetzung des Bodens ab und ist im Wesentlichen konstant. Die sich in der Bodenluft einstellende Radonkonzentration ist hingegen von der Tageszeit abhängig und zeigt außerdem einen ausgeprägten Jahresgang. Diese Effekte werden durch den gleichzeitigen Einfluss verschiedener Faktoren verursacht. Dazu gehören die Bodenpermeabilität und –Struktur, meteorologische Parameter, topografische und tektonische Faktoren und die Vegetation. Aufgrund dieser komplexen Zusammenhänge kann die Bodenradonkonzentration im Verlauf eines Jahres um eine Größenordnung schwanken [1]. Selbst zwischen unmittelbar benachbarten Messpunkten können erhebliche Unterschiede der Bodenradonkonzentration auftreten [2]. Üblicherweise werden Bodenradonmessungen als Kurzzeitmessungen durchgeführt, und um die Variabilität besser zu kontrollieren, werden Durchschnittswerte über eine definierte Fläche gebildet. Bei der Kartierung der Bodenradonkonzentration ist die hohe Variabilität aber nachwievor ein Unsicherheitsfaktor insbesondere, weil die Wechselwirkungen der Bodenradonkonzentration mit den o.g. Einflussfaktoren und ihr Tages- und Jahresgang nicht ausreichend berücksichtigt wird. Aus diesem Grund wurden Untersuchungen zur Variabilität der Bodenradonkonzentration über einen Zeitraum von mehreren Jahren an einem stationären Messpunkt unter ansonsten unveränderten Bedingungen durchgeführt. Dieser Ansatz ist insofern vorteilhaft, indem der Einfluss verschiedener Variabler mit Bezug zu den Gesteins- und Bodeneigenschaften, Geologie, Topografie und Tektonik konstant geblieben sind.

2. Methode

Der Messpunkt (Abb.1) befindet sich auf dem Gelände des Tschechischen Hydrometeorologischen Instituts (CHMI). Der Pfeil markiert die genaue Position des Messpunktes.



Abb.1: Lokalisation des stationären Messpunktes zur Messung der Bodenradonkonzentration auf dem Gelände des CHMI

Die Bodenradonkonzentration wurde beginnend mit dem 4. Quartal 2002 bis 2. Quartal 2010 für die Dauer von jeweils 7 ± 2 Tage kontinuierlich gemessen, woraus 366 Messergebnisse des Wochen-Mittelwertes der Radonkonzentration im Boden resultierten. Für die Messungen wurden Kernspurdetektoren (CR-39) verwendet, die paarweise in einer oben verschlossenen Metallsonde in 80 cm Tiefe exponiert wurden. Die Methodik der Detektoraufbereitung und Messung ist ausführlich in [3] und [4] beschrieben. Parallel zur Messung der Radonkonzentration wurden verschiedene Einflussvariablen auf die Bodenradonkonzentration mit Standardverfahren gemessen und als Durchschnittswerte über die jeweilige Messperiode in der Analyse berücksichtigt. Nachfolgend aufgeführte Variablen wurden erfasst:

- T_{+200} : Lufttemperatur 2 m über der Oberfläche [°C]
- T_{+5} : Lufttemperatur 5 cm über der Oberfläche [°C]
- T_{-80} : Bodenlufttemperatur in 80 cm Tiefe [°C]
- [%] : Relative Luftfeuchtigkeit
- [hPa] : Luftdruck
- [mm/m²] : täglicher Niederschlag in mm/m²
- [m/s] : Windgeschwindigkeit in 2 m Höhe
- [vol%] 7 cm : Wassergehalt des Bodens in 7 cm Tiefe
- [vol%] 25 cm : Wassergehalt des Bodens in 25 cm Tiefe

Die Analyse der Daten erfolgte mit univariaten statistischen Verfahren (Varianz-, Regressions- und Zeitreihen - Analysen).

3. Ergebnisse

Im Untersuchungszeitraum von 2002 bis 2010 wurden Daten aus 366 Messperioden erhoben und ausgewertet. Der Verlauf der Bodenradonkonzentration im Untersuchungszeitraum zeigt dabei einen deutlichen und offensichtlich auch periodischen Verlauf (Abb.2).

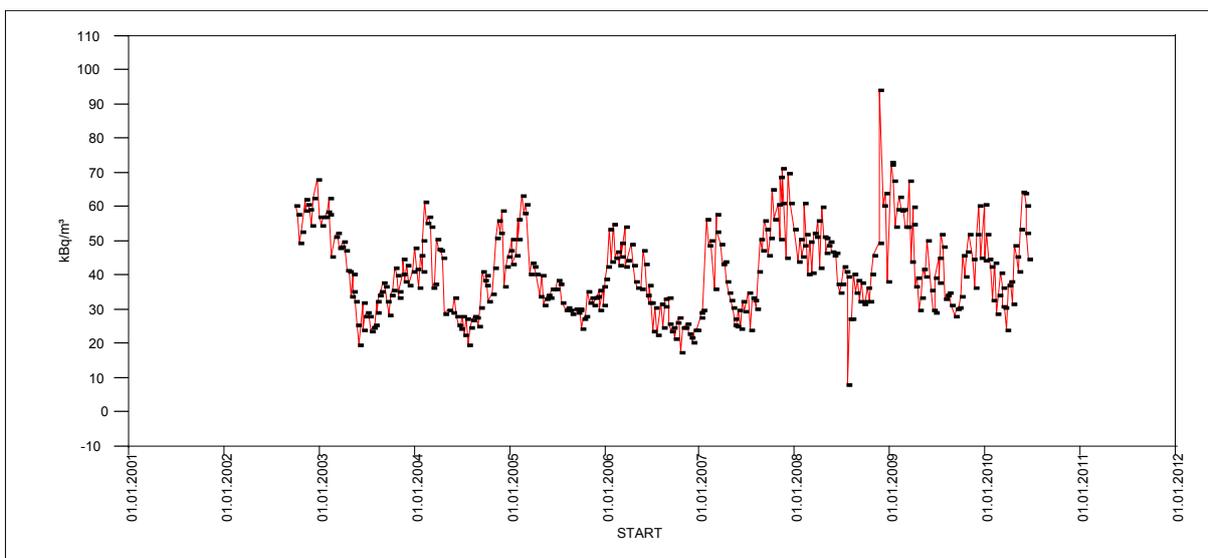


Abb.2: Zeitlicher Verlauf der Bodenradonkonzentration im Beobachtungszeitraum (IV/ 2002 – III/ 2010), $n = 366$

Eine entsprechende Zeitreihenanalyse bestätigt dementsprechend das Vorliegen eines signifikanten periodischen Verlaufs (Abb.3). Auffällig ist hier die relativ hohe individuelle Streuung.

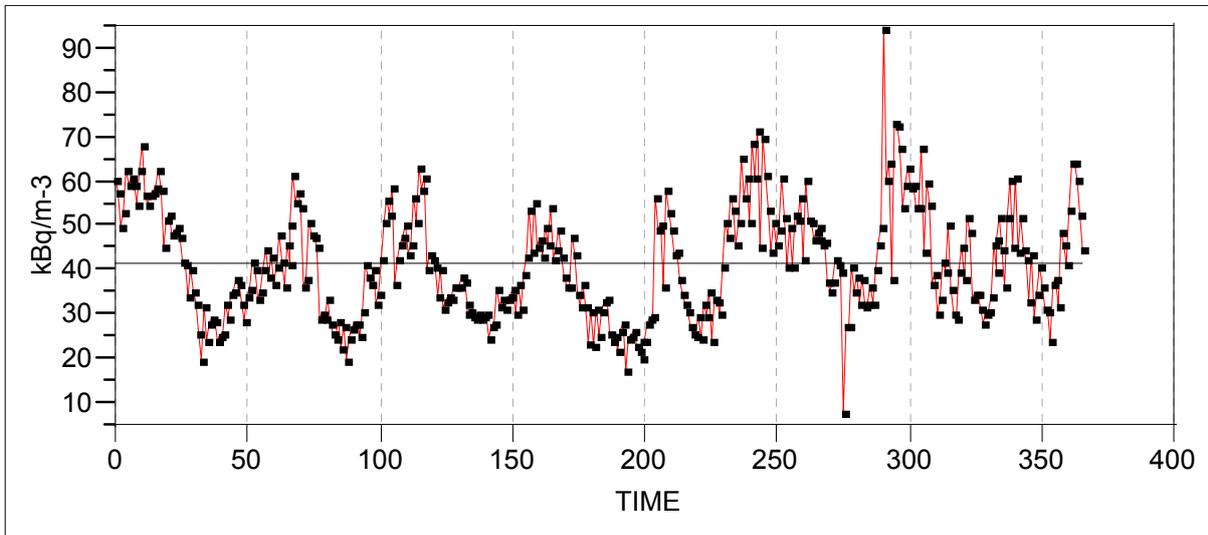
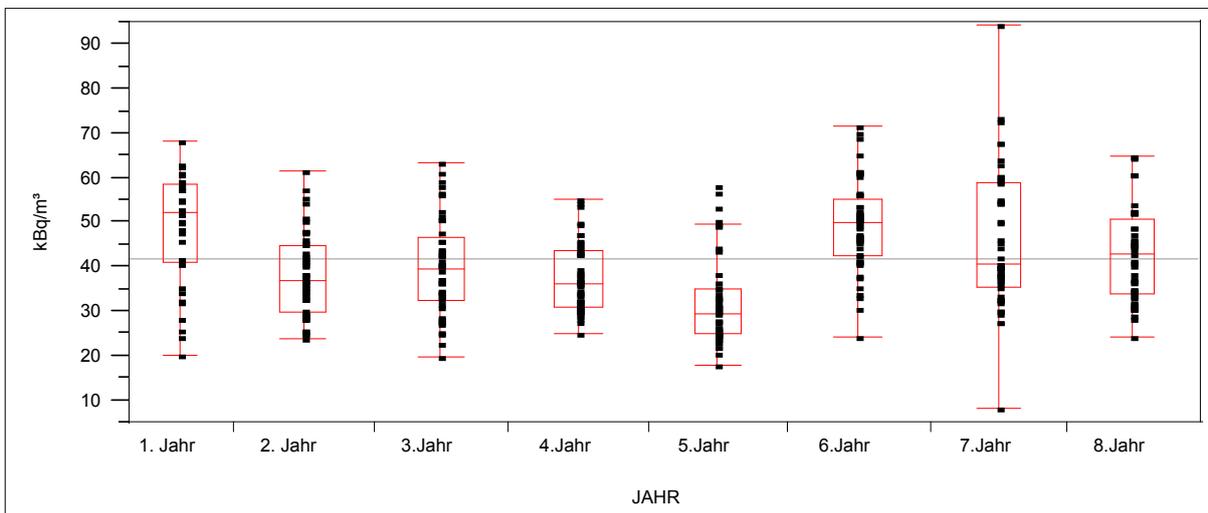


Abb.3: Zeitreihenanalyse der Bodenradonkonzentration im Untersuchungszeitraum

Die Daten zeigen eine statistisch signifikante Periodizität (Seasonal ARIMA- Modell (0,0,0)4, Bartlett's Kolmogoroff-Smirnoff 0,6638 > 0,1005). Die mittlere durchgezogene graue Linie entspricht dem Mittelwert aller Messungen aus dem 4. Quartal 2002 - 2. Quartal 2010 (41,65 kBq/m³, 95% CI).

Die Varianzanalyse der nach Jahren zusammengefassten Daten ergab dementsprechend signifikante Unterschiede der Bodenradonkonzentration zwischen den einzelnen Untersuchungsjahren (Abb.4).



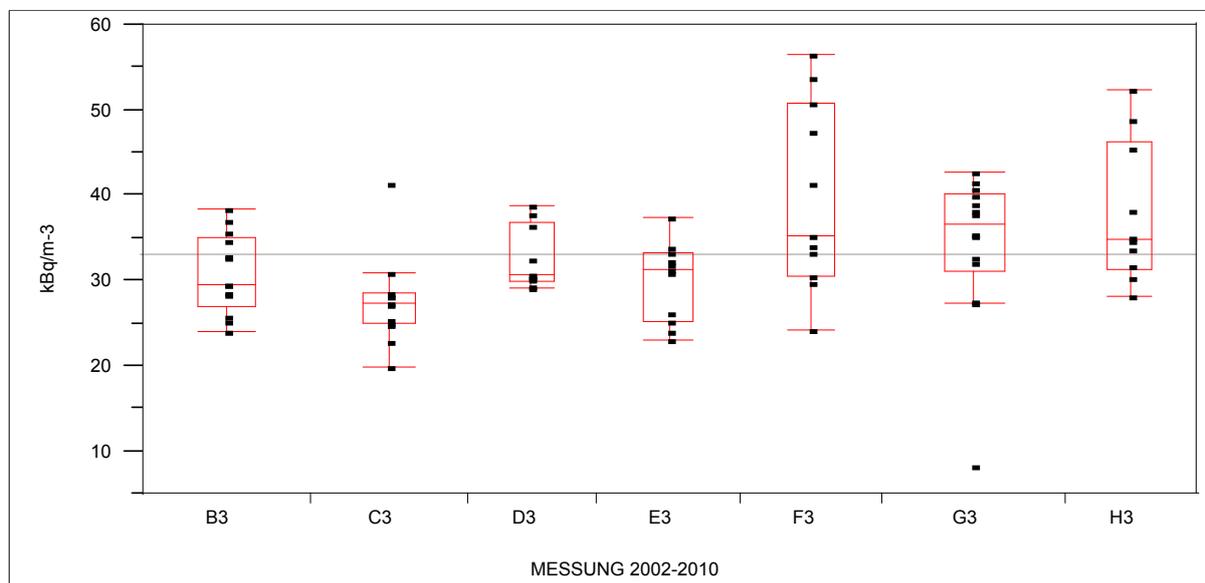
	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
1. Jahr	20,07002	27,56202	40,8907	52,15843	58,64196	62,65742	68,46006
2. Jahr	24,0138	25,82285	29,72841	36,86896	44,64049	51,32545	61,71361
3. Jahr	19,89474	26,627	32,49252	39,67813	46,45867	57,17602	63,56258
4. Jahr	24,8	29,3779	30,992	36,23359	43,6895	49,55415	55,39406
5. Jahr	17,76265	22,87789	24,97749	29,4644	35,14294	49,77536	58,30934
6. Jahr	24,2968	35,29924	42,66175	50,038	55,18431	61,47972	71,78241

	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
7. Jahr	8,34182	29,99452	35,386	40,6897	59,09697	68,06111	94,49793
8. Jahr	24,29795	30,61575	33,92892	42,8545	50,64281	60,85695	64,78751

Abb. 4: Quantil Boxplots der Bodenradonkonzentration und Mediane der Bodenradonkonzentration nach Jahren

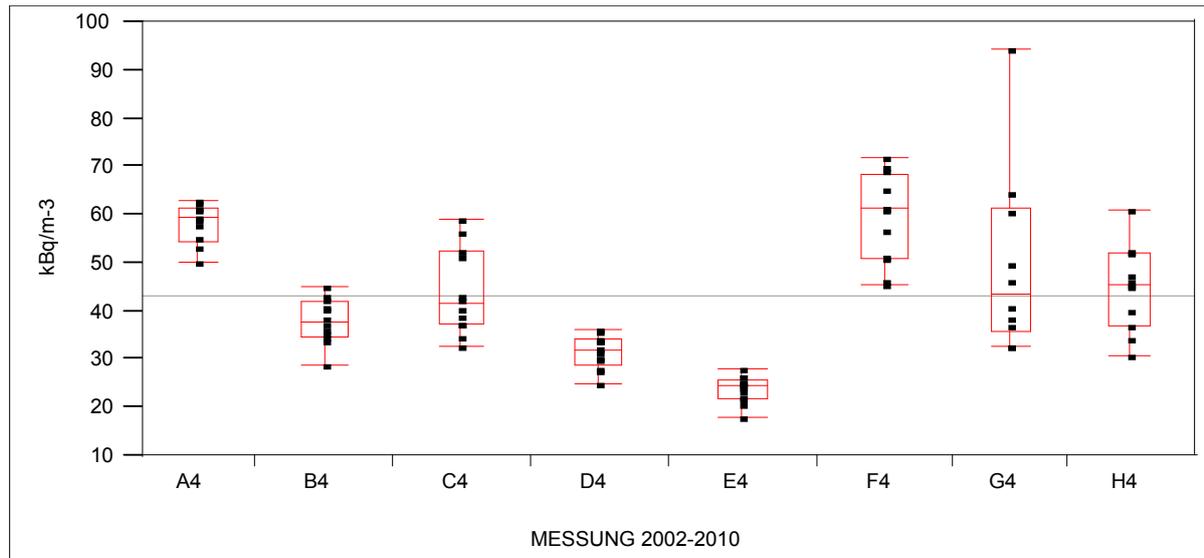
Die mittlere graue Linie repräsentiert den Durchschnittswert der Bodenradonkonzentration über den Untersuchungszeitraum, die mittleren roten Linien innerhalb der einzelnen Boxen den Median. Die Jahreswerte unterscheiden sich signifikant ($p > F < 0,0001$).

Im weiteren Verlauf der Analyse wurde die Bodenradonkonzentration nach Quartalen des Untersuchungszeitraumes verglichen. Grundsätzlich wurden auch hier signifikante Unterschiede der Bodenradonkonzentration zwischen allen Quartalen festgestellt. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen das beispielhaft für die 3. und 4. Quartale der Untersuchungsjahre (Abb.5 und Abb.6).



Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
B3	24,0138	24,47087	27,05131	29,52055	35,11265	37,78996	38,35427
C3	19,89474	20,78133	24,92442	27,29573	28,46672	38,29512	41,42415
D3	29,17901	29,20111	29,93854	30,63462	36,74753	38,74168	38,83721
E3	23,08494	23,26795	25,15454	31,25375	33,35251	36,67362	37,3499
F3	24,2968	25,39209	30,62619	35,28024	50,84189	55,96232	56,5286
G3	8,34182	17,90392	31,03037	36,60648	40,22628	42,1601	42,73649
H3	28,26009	28,4761	31,36629	34,91731	46,38749	52,00832	52,35911

Abb.5: Quantil Boxplots der Bodenradonkonzentration und Mediane der Bodenradonkonzentration nach Quartalen (3.Quartal)



Level	Minimum	10%	25%	Median	75%	90%	Maximum
A4	49,98493	50,30029	54,59611	59,35465	61,59077	62,98905	63,03228
B4	28,6747	30,2462	34,77498	37,9269	42,013	44,53985	45,14368
C4	32,80426	33,41096	37,23379	41,47045	52,31048	58,33709	59,19534
D4	24,8	25,65956	28,69495	31,87059	34,2533	35,98006	36,06718
E4	17,76265	18,88445	21,95838	24,5	25,7807	27,35874	28,02076
F4	45,55658	45,78519	50,97199	61,23963	68,22977	71,27889	71,78241
G4	32,57672	32,59405	35,76813	43,51876	61,55159	91,48342	94,49793
H4	30,74613	31,4446	36,8	45,32649	52,24398	59,13775	60,84507

Abb.6: Quantil Boxplots der Bodenradonkonzentration und Mediane der Bodenradonkonzentration nach Quartalen (4. Quartal)

Die mittlere graue Linie repräsentiert den Durchschnittswert der Bodenradonkonzentration über den Untersuchungszeitraum. Die mittleren roten Linien innerhalb der einzelnen Boxen den Median. Die Unterschiede sind signifikant. Die Bodenradonkonzentration variiert zwischen den 4. Quartalen am stärksten und ist am geringsten zwischen den 3. Quartalen, wobei die mittlere Bodenradonkonzentration dieser Quartale über (4. Quartale) bzw. unter (3. Quartale) dem Durchschnittswert über den gesamten Messzeitraum (41,65 kBq/m³) liegen.

4. Sensitivitätsanalyse

Bodenradonmessungen bilden heute die Grundlage für die Identifizierung von Radonvorsorgegebieten, in denen in Abhängigkeit von der Bodenradonkategorie durch gezielte Vorsorgemaßnahmen Gesundheitsgefährdungen der Bevölkerung durch erhöhte Radonexpositionen in Gebäuden im günstigsten Fall auf ein akzeptables Maß reduziert werden sollen. Der Hintergrund dafür ist, dass die Radonexposition in Gebäuden, die ursächlich mit der Bodenradonkonzentration im Zusammenhang steht, nach dem Rauchen die zweitwichtigste Ursache für Lungenkrebs sein soll. Insofern sind an die Messungen der Bodenradonkonzentration vergleichbare Anforderungen an die diagnostische Sicherheit zu stellen, wie an ein medizinisch-diagnostisches Verfahren. In der Praxis bedeutet dies, dass die Einordnung eines Gebietes in eine der 4 Radonvorsorgekategorien

- 0 = < 20 kBq/m³
- 1 = 20 – 40 kBq/m³
- 2 = 40 – 100 kBq/m³
- 3 = > 100 kBq/m³

im Idealfall mit ca. 95% Sicherheit richtig ist (Sensitivität) und damit eine Falschklassifizierung, speziell in niedrigere Kategorien, einen Anteil von 5% nicht überschreiten sollte. Die Verteilung der in den 366 Messperioden ermittelten Bodenradonkonzentration zeigt allerdings mit Bezug zu den Untersuchungsbedingungen eine erhebliche Variabilität (Abb.7).

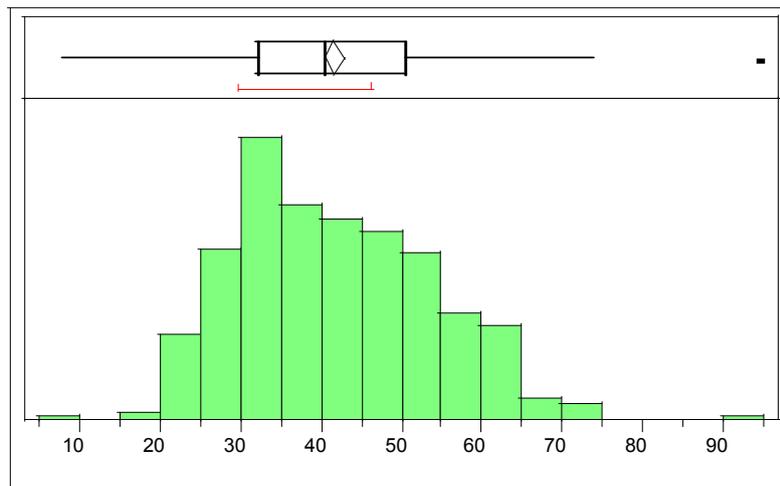
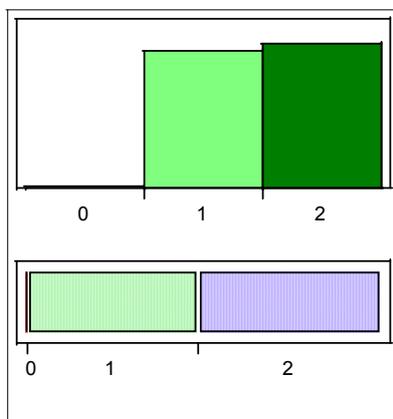


Abb.7: Häufigkeitsverteilung der stationär gemessenen Bodenradonkonzentration [kBq/m³]

Wird die über den gesamten Untersuchungszeitraum gemittelte Bodenradonkonzentration von 41,65 kBq/m³ zu Grunde gelegt, würde der Messpunkt in die Radonvorsorgeklasse 2 gehören. Werden nun die Ergebnisse der 366 Messperioden entsprechend klassifiziert, fallen aber nur 187 Messungen in diese Kategorie, während 176 Messungen in die Kategorie 1 und 3 Messungen in die Kategorie 0 eingeordnet würden (Abb.8).



Kategorie	Anzahl	Anteil
0	3	0,00820
1	176	0,48087
2	187	0,51093
Total	366	1,00000

Abb.8: Verteilung der Bodenradonmesswerte auf einzelne Radonvorsorgeklassen

Die entsprechend geschätzte Sensitivität des Testes beträgt damit (187/366) ca. 51 %, d.h. in knapp der Hälfte der Fälle wird dieser Messpunkt *in eine zu niedrige Bodenradonexpositionsklasse eingeordnet*.

5. Meteorologische Faktoren und Bodenradonkonzentration

Der Zusammenhang zwischen der Bodenradonkonzentration und den einzelnen meteorologischen Variablen wurden mittels linearen Regressionsanalysen untersucht (Tabelle 1).

Tab1: Ergebnisse der Regressionsanalyse zwischen meteorologischen Parametern und Feuchtigkeitsgehalt des Bodens und der Bodenradonkonzentration

VARIABLE	BESTIMMTHEITSMABß	SIG.-NIVEAU	SIGNIFIKANT	KORRELATION
T ₊₂₀₀	0,2900	<0,0001	+	negativ
T ₊₅	0,2722	<0,0001	+	negativ
T ₋₈₀	0,3125	<0,0001	+	negativ
LUFTFEUCHTIGKEIT	0,1356	<0,0001	+	positiv
LUFTDRUCK	0,0073	0,1022	-	
NIEDERSCHLAG	0,0038	0,2355	-	
WINDGESCHW.	0,0025	0,3347	-	
BODENFEUCHTE 7 cm	0,2887	<0,0001	+	positiv
BODENFEUCHTE 25 cm	0,4409	<0,0001	+	positiv

Im Ergebnis der Analyse wurde ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Lufttemperatur in 5 und 200 cm Höhe sowie der Bodentemperatur in 80 cm Tiefe, der Luftfeuchtigkeit und der Bodenfeuchtigkeit gefunden. Dabei gilt, dass mit steigenden Luft- und Bodentemperaturen die Radonkonzentration fällt und mit zunehmendem Wassergehalt des Bodens ansteigt. Diese Verhältnisse sind in der Abbildung 9 und 10 dargestellt. Auch die Jahrestemperatur zeigt sowohl in der Luft und im Boden einen zyklischen Verlauf. Die Werte sind stark korreliert und unterscheiden sich nach Jahren bzw. Quartilen signifikant. Zu den Messzeitpunkten, wo die Temperatur ein Maximum durchläuft, erreichen die Radonwerte ein Minimum und umgekehrt. Das entspricht der in Tab. 1 beschriebenen negativen Korrelation.

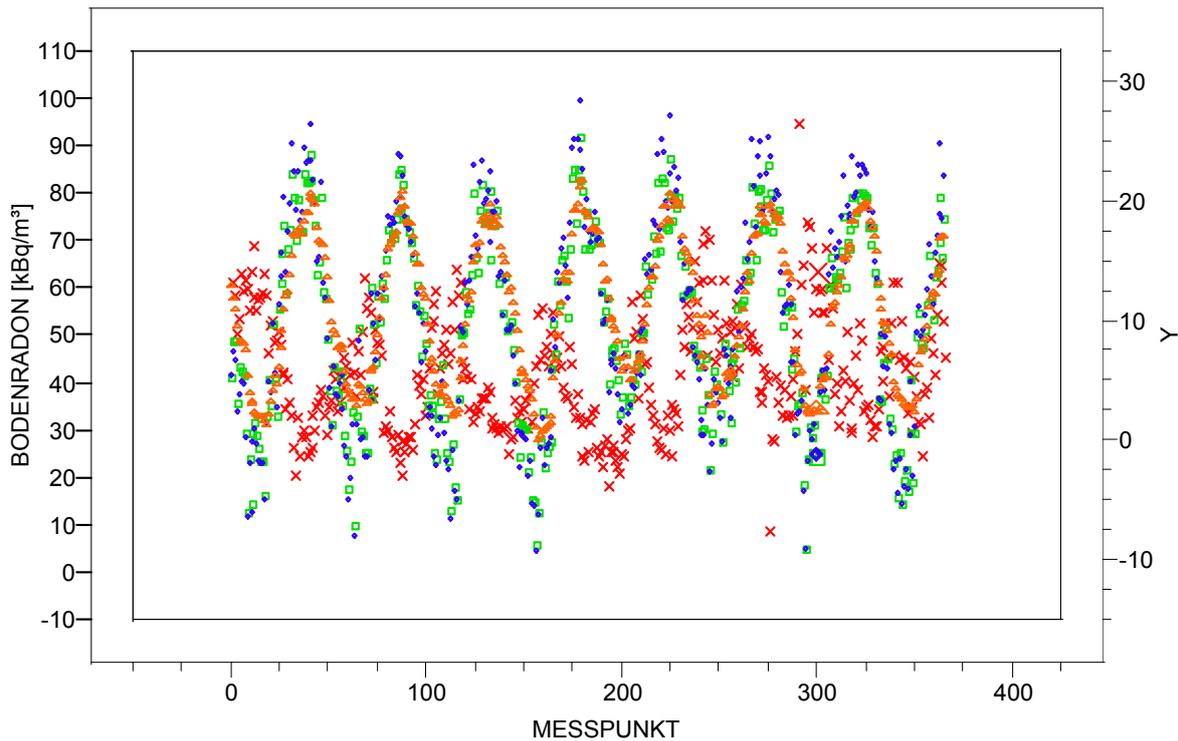


Abb.9.: Luft- und Bodentemperaturverlauf in °C (rechte Achse) und Werte der Bodenradonkonzentration (rote Kreuze) Temperatur: grün (T+200cm) blau (T+5cm) orange (T-80cm)

Auch die Jahrestemperatur zeigt sowohl in der Luft und im Boden einen zyklischen Verlauf. Die Werte sind stark korreliert. Zu den Messzeitpunkten, wo die Temperatur ein Maximum durchläuft, erreichen die Bodenradonwerte ein Minimum und umgekehrt. Das entspricht der in Tab. 1 beschriebenen negativen Korrelation zwischen diesen Werten.

Die Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang zwischen der Veränderung der Bodenfeuchte am Beispiel der Messungen in 25 cm Tiefe zur Veränderung der Bodenradonkonzentration. Auch der Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zeigt einen zyklischen Verlauf, der mit dem Verlauf der Bodenradonkonzentration offensichtlich korreliert, wobei auch hier zwischen den Jahren und Quartilen signifikante Unterschiede bestehen. Die entsprechende Regressionsanalyse lieferte das beste Ergebnis mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,449, wodurch ca. 45 % der Gesamtvariabilität der Bodenradonwerte im Untersuchungszeitraum durch das Modell erklärt wird. Im Gegensatz zu den Temperaturvariablen besteht hier aber eine positive Korrelation, d.h. mit zunehmender Bodenfeuchte steigt auch die Radonkonzentration an. Im Gegensatz zu den Temperaturvariablen fallen die Maxima der Bodenfeuchte und der Bodenradonkonzentration hier zusammen. Einen ähnlichen, wenn auch nicht so deutlich ausgeprägten Verlauf zeigt die Veränderung der Luftfeuchtigkeit zur Veränderung der Bodenradonkonzentration.

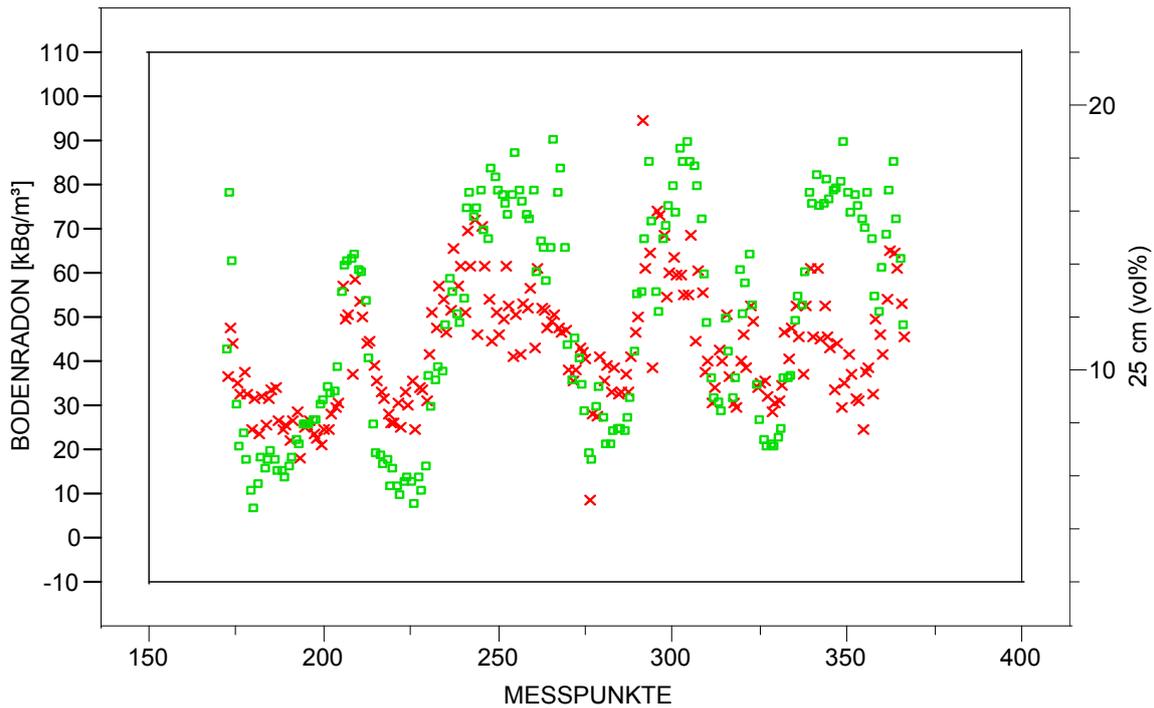


Abb.10: Zeitlicher Verlauf der Bodenfeuchte in 25 cm Tiefe (grün) im Verhältnis zur Bodenradonkonzentration (rot)

Die Verläufe sind hier weitgehend identisch indem beide Variable nahezu phasengleich verlaufen d.h. Maxima und Minima fallen hier zusammen.

Die bestehenden Zusammenhänge zwischen den einzelnen Variablen und der Bodenradonkonzentration sind zwar statistisch überzeugend, aber aufgrund der relativ geringen Aussagekraft nur bedingt geeignet, um die Bodenradonkonzentration aus der Regressionsfunktion zu bestimmen. Diese Problematik veranschaulicht die Abb. 10, die das Ergebnis der linearen Regressionsanalyse zwischen Bodenfeuchte in 25cm Tiefe und der Bodenradonkonzentration darstellt.

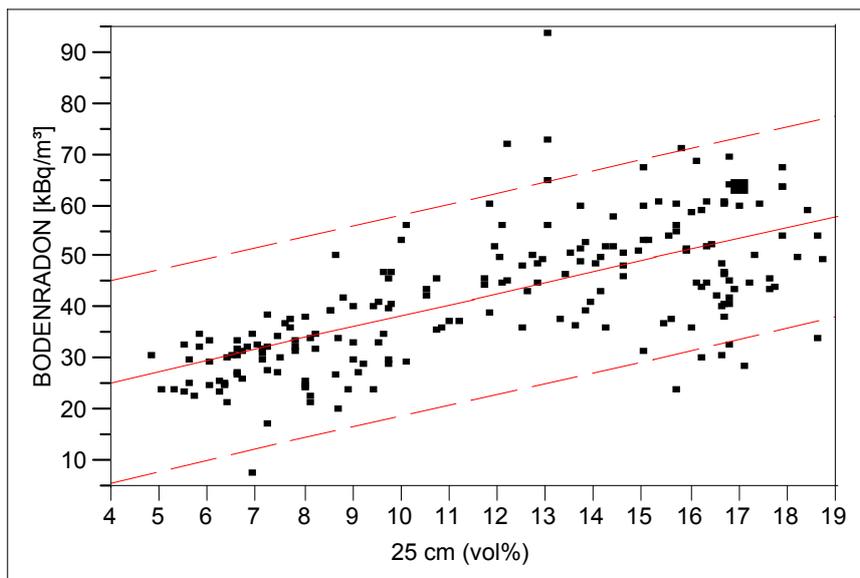


Abb.11: Lineare Regressionsanalyse und Vertrauensbereich für Einzelwerte (gestrichelt) zwischen Bodenradonkonzentration und Bodenfeuchte in 25 cm Tiefe ($p > F < 0,0001$)

Nimmt man z.B. einen Wert für die Bodenfeuchte von 10% an, so liegt der Wert der daraus abgeleiteten Bodenradonkonzentration im Bereich von ca. 15 - 55 kBq/m³. Für die anderen Variablen sind die Verhältnisse noch ungünstiger, da die Bestimmtheitsmaße z.T. deutlich abfallen.

6. Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen zeigen, dass die Bodenradonkonzentration selbst unter den hier gewählten standardisierten Untersuchungsbedingungen großen saisonalen und jährlichen Schwankungen unterliegt. Als wesentliche Ursachen sind in dieser Untersuchung Veränderungen der Luft- und Bodentemperatur und insbesondere der Bodenfeuchte, die im Wesentlichen einen vergleichbaren Veränderungszyklus wie die Bodenradonkonzentration zeigen, identifiziert worden. Diese einzelnen Indikatoren sind aber nicht geeignet, einen repräsentativen Schätzwert des tatsächlichen Mittelwertes der Bodenradonkonzentration (Messzeit 12 Monate) und damit die Einordnung einer untersuchten Fläche in eine der Radonvorsorgeklassen mit ausreichender Sensitivität zu gewährleisten. Aus Sicht der Autoren ist es im Gegensatz zu der bisherigen Praxis daher erforderlich, die Messzeit für Bestimmungen der Bodenradonkonzentration auszudehnen und gleichzeitig den Einfluss aller relevanten Faktoren auf die Bodenradonkonzentration in geeigneter Form zu berücksichtigen. Die in dieser Untersuchung berücksichtigten Einflussfaktoren sind dabei nur ein Ausschnitt aus dem Spektrum aller möglichen metrischen und nichtmetrischen Variablen, die in geeigneter Weise verknüpft und modelliert werden müssen. Von den Autoren werden entsprechende diesbezügliche Verfahren gegenwärtig entwickelt und validiert.

7. Literatur

- [1] Asher-Bolinder S., Cameron D., Colman T., Roberts P.D.: Pedologic and climatic control of Rn-222 concentrations in soil gas, Denver, Colorado, Geophysical Research Letters 17(6), 825-828, 1990
- [2] Washington J.W., Rose A.W.: Temporal variability of Radon concentration in the intestinal gas of soils in Pennsylvania, J. Geophys. Res. 97(6), 9145 – 9159, 1992
- [3] Turek K., Bednář J. and Neznal M.: Parallel track etch detector arrangement for Rn measurement in soil, Radiation Measurements, 28(1-6), 751-754, 1997
- [4] Tommasino, L.: Electrochemical etching of damaged track detectors by H.V.-pulse and sinusoidal waveform, Report Lab. Dosimetria e Standardizzazione CNEN, Casaccia, Roma, 1970

8. Danksagung

Die Autoren danken RNDr. P. Skřivánková für die Unterstützung bei der Durchführung der Radonmessungen und RNDr. V. Burda für die Aufbereitung und kontinuierliche Erfassung der meteorologischen Daten.

RADONGEGENMASSNAHMEN IN SÜDTIROL/ITALIEN

RADON PREVENTION AND MITIGATION IN SOUTH TYROL (ITALY)

Minach Luigi

Landesagentur für Umwelt, Bozen/Italien

Zusammenfassung

Die Autonome Provinz Bozen (Südtirol) befindet sich in Norditalien an der Grenze zu Österreich und der Schweiz. Die erhöhten Radonkonzentrationen sind vor allem durch kristallines Gestein bedingt (Granit, Gneis, Porphy). Neben der Messung der Radongaskonzentration in Gebäuden, im Boden und im Quellwasser wurden in den letzten 10 Jahren auch viele Versuche mit Radongegen- und Radonvorsorgemaßnahmen durchgeführt. Im Vortrag werden die verschiedenen Möglichkeiten angeführt und an Hand der in Südtirol gesammelten Erfahrungen besprochen. Um den Wirkungsgrad der einzelnen Gegenmaßnahmen besser bewerten zu können, wurden zur Sanierung sehr unterschiedliche Gebäudetypen mit besonders hohen Radonkonzentrationen ausgewählt. Die Erfahrungen zeigen, dass man in vielen Fällen bereits mit vergleichbar geringem Aufwand die Radonkonzentration in Gebäuden wirksam senken kann.

Summary

The Autonomous Province of Bolzano (South Tyrol) is located in the northern part of Italy near the Austrian and Swiss borders. The presence of radon is due to the presence of soils with a very high crystalline content (granites, gneiss, porphyry). In the last 10 years, the Provincial Agency for Environmental Protection of Bolzano in addition to carrying out radon gas measurements (indoor, soil, water) has also been experimenting radon prevention and mitigation measures. Here below is a list of the solutions which can be adopted taking into account the experience acquired in South Tyrol. To better assess the validity of the methods different types of buildings and houses with very high radon levels were selected. In most cases the adoption of simple measures resulted in a considerable reduction of indoor radon gas.

1. Zur Lage in Südtirol

Auf Grund der bisherigen Erhebungen kann die Radonbelastung in bestimmten Gebieten Südtirols als deutlich erhöht eingestuft werden. Siehe dazu die Radonkarte von Südtirol und die vorläufige Einstufung der einzelnen Gemeinden Südtirols im Internet [1].

In Abhängigkeit der Geologie (Granit, Gneis, Porphy) sind in Südtirol Gebäude in Hanglagen, auf Schuttkegeln und im Umfeld von Flüssen oder Bächen vom Radonproblem besonders betroffen. Normalerweise treten die höchsten Radonkonzentrationen im Winter in den frühen Morgenstunden auf. Im Mittel beträgt das Verhältnis zwischen Sommer und Winter 1 zu 2. Die Schwankungsbreite ist aber sehr groß. In einigen von der Sonne aufgeheizten Hanglagen beobachtet man das Maximum in den späten Nachmittagsstunden bzw. in den Sommermonaten. Die Analyse der Radontagesgänge er-

möglichst in diesen Fällen eine eindeutige Zuordnung, die auch für die Auswahl der Sanierungsmethode von Bedeutung sein kann.

In Italien und Südtirol existiert bislang keine gesetzliche Regelung bezüglich der Radonkonzentration in Wohnräumen. Die EU Empfehlung 90/143/ Euratom wurde nicht übernommen. Dafür ist aber die Radonkonzentration am Arbeitsplatz durch zwei Eingriffsschwellen gesetzlich geregelt (D.lgs. 241 von 26/05/2000):

- Für Pflichtschulen, Kinderhorte und -gärten gilt ein Schwellwert von 500 Bq/m³ im Jahresmittel.
- Bei allen anderen Arbeitsplätzen wird die Aufenthaltsdauer mitberücksichtigt und es gilt eine Eingriffsschwelle von 3 mSv/a.

Nur wenige Regionen Italiens haben bisher eine vollständige Radonkarte angefertigt. Ein einheitliches Kriterium für die Einteilung/Zuordnung der Risikogebiete fehlt noch. Laut Gesetz ist eine Radonmessung in unterirdischen Arbeitsplätzen seit 01.03.2003 verpflichtend vorgeschrieben (2 Jahre Zeit). In Südtirol sind dieser Verpflichtung bisher vor allem Banken, E-Werke, Krankenhäuser, Schulen nachgekommen, also hauptsächlich Betriebe mit einem Sicherheitsbeauftragten.

Um das Interesse an der Radonproblematik aufrecht zu erhalten ist eine regelmäßige und gezielte mediale Information (Zeitung, Radio, TV) notwendig. Besonders wirksam sind dabei Berichte über erfolgreich durchgeführte Radonsanierungen. Als weitere bedeutende Informationsinitiativen können angeführt werden:

- Eine Radoninfo auf der Homepage der einzelnen Gemeinden.
- Beim Neubau und Umbau von Schulen ist die Radonvorsorge verpflichtend vorgeschrieben.
- Die Umweltagentur berät Architekten kostenlos bei der Planung von Gegenmaßnahmen.
- Das Radon wird im neuen Klimaplan von Südtirol berücksichtigt.
- Regelmäßige Kurse zum Thema Radonsanierung und Radonvorsorge an der UNI Bozen, Klimahausagentur, Uni Rom LUMSA für Architekten und Baufachleute.

In ca. 80 Fällen hat die Landesagentur für Umwelt die Radonsanierungsarbeiten in Zusammenarbeit mit den Hausbesitzern direkt koordiniert und eine entsprechende Dokumentation erstellt. Einige wesentliche Resultate sind in Tabelle 1 zusammengefasst. Das Ziel war, an Hand unterschiedlicher Beispiele die Vor- und Nachteile der einzelnen in der Literatur angeführten Sanierungsmaßnahmen zu testen und vor allem bei sehr hohen Radonwerten deren Grenzen auszuloten. In den meisten Fällen ist eine Absenkung auf Werte unter 400 Bq/m³ mit einfachsten Mitteln durchführbar. Die Einhaltung des WHO Richtwertes von 100 Bq/m³ dürfte hingegen bei der Altbausanierung vielfach nur mit einer Belüftungsanlage möglich sein.

Im Rahmen eines nationalen Projektes (CTN-AGF) wurde 2004 in Zusammenarbeit mit der Umweltagentur von Friaul-Venetien eine erste Leitlinie zur Radonsanierung ausgearbeitet.

Im Vortrag sind die wesentlichen Erfahrungen bei der Radonsanierung und Radonvorsorge zusammengefasst und werden an Hand von Bildmaterial erläutert.

2. Radongegenmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden

Als Hauptbotschaft kann gesagt werden, dass die meisten Häuser mit einfachsten Mitteln und mit relativ geringem Kostenaufwand sanierbar sind.

Bei der Auswahl der Sanierungsmaßnahmen sind die folgenden Punkte von Bedeutung:

- Wie hoch sind die Radonwerte und wann tritt das Maximum auf? Der Gebäudetyp und die Baupläne. Ist die Beschaffenheit des Untergrundes bekannt? Gibt es Fotos von der Bauphase? Wo befinden sich die belasteten Räume? Ist nur ein Raum betroffen oder das ganze Haus? Die Benützungsort und -dauer der Räume. Ist eine andere Nützung der Räume möglich? Ist bereits ein Umbau geplant? usw..

Als einfache Sofortmaßnahme ist eine verstärkte Lüftung (Stoßlüften) der Räume möglich. Da aber bereits nach einigen Stunden die Radonwerte wieder das vorhergehende Niveau erreichen, kann dies nur als eine vorübergehende Lösung angesehen werden.

2.1 Abdichtungsmaßnahmen

Abdichtungsmaßnahmen sollen das Eindringen von Radongas z.B. aus dem Bodenbereich oder die weitere Radonausbreitung vom nicht bewohnten Kellerbereich in den Wohnbereich verhindern. Einfache Isolationsmaßnahmen sind dabei sehr hilfreich. Als solche gelten:

- Eine selbst schließende luftdichte Kellertür zum Wohnbereich;
- Eine fachgerechte Abdichtung der Durchbrüche (z.B. Leitungen für Wasser, Strom, Heizung);
- Eine Abdichtung von Installationskanälen, Liftschächten, Abwurfschächten (z.B. für Wäsche);
- Die Abdichtung nach innen von Kellerräumen mit Naturboden;
- Das Verschließen von sichtbaren Öffnungen, Rissen in den erdberührenden Gebäudeteilen.

Nachteil: Wenn sich keine eng begrenzte Eindringstelle identifizieren lässt (z.B. ein Naturkellerboden mit dickeren Mauern aus Lockergestein), sind Abdichtungsmaßnahmen alleine normalerweise nicht ausreichend, um das Radonproblem dauerhaft zu lösen.

2.2 Druckausgleich innen/außen

Die radonhaltige Bodenluft wird durch einen im Gebäude entstehenden Unterdruck (Kamineffekt) in das Gebäude gesaugt. Eine einfache Öffnung nach außen (z.B. ein Luftschlitz im Fenster oder eine Kernbohrung durch Außenwand), möglichst knapp über dem Erdniveau, reduziert den Unterdruck und damit die Radonkonzentration im Raum.

Vorteil: Einfach in Anschaffung und Ausführung.

Nachteil: In Abhängigkeit der Lage und Ausführung kann Zugluft entstehen, Wärmeverlust.

2.3 Unterdruckerzeugung im Keller- bzw. Kriechkeller

Befindet sich unter den radonbelasteten Räumen ein Kellergeschoß oder ein Kriechkeller, kann durch Anbringen eines kleinen Ventilators (ca. 20 – 40 Watt), der die Kellerluft absaugt, ein leichter Unterdruck gegenüber dem Wohnbereich erzeugt und damit die Radonausbreitung vom Keller- in den Wohnbereich reduziert werden. Damit ein ausreichender Unterdruck entsteht, muss das Kellergeschoß/der Kriechkeller gegen den Wohnbereich und nach außen abgedichtet werden (z.B. geschlossene und abgedichtete Fenster und Türen, verschließen eventueller Durchführungen, usw.).

Vorteil: Einfach in Anschaffung und Ausführung.

Nachteil: Infolge des Unterdruckes steigt die Radonkonzentration in den Kellerräumen an. Ungeeignet bei längeren Aufenthaltszeiten in den Kellerräumen (z.B. Hobbyraum).

2.4 Unterbodenabsaugung

Diese Maßnahme dient primär zur Erzeugung eines Unterdruckes unterhalb der Bodenplatte des Hauses. Der Unterdruck im Boden verringert den konvektiven Radoneintritt aus dem Boden ins Gebäude. Der Unterdruck entsteht durch Absaugen von Bodenluft aus dem Erdreich unter dem Gebäude mit Hilfe eines oder mehrerer Ventilatoren.

2.4.1 Die punktuelle Radonabsaugung

Die punktuelle Radonabsaugung auch als Radonbrunnen bekannt, erfolgt in der klassischen Ausführung durch Aushub eines Schachtes (ca. 0,5 x 0,5 x Tiefe 1 m) im Bodenbereich des Gebäudes. Von diesem Schacht führt (meist unterirdisch) eine Rohrleitung ins Freie, die an einen Ventilator angeschlossen wird, der die Bodenluft nach außen absaugt.

Der Wirkungsbereich eines Radonbrunnens ist begrenzt. Üblicherweise wird dieser daher eher im zentralen Bereich des Gebäudes errichtet oder bei größeren Grundflächen, unter den Räumen mit den höchsten Radonkonzentrationen. Ein Radonbrunnen kann mit geringerem Wirkungsgrad auch im Erdreich außerhalb des Gebäudes gegraben werden. Bis zu einem gewissen Grad kann man eine ungünstigere Position durch Steigerung der Ventilatorleistung (> 80 Watt) oder einer größeren Schachttiefe (> 2 m) ausgleichen. Die Breite des Schachtes ist eher unkritisch, die Tiefe wird hingegen in Abhängigkeit der Durchlässigkeit des Bodens und der Tiefe der Streifenfundamente bemessen, üblicherweise ca. 1 – 2 m. Wenn erforderlich können auch mehrere Absaugungen errichtet werden. Diese können dabei entweder über eine gemeinsame Sammelleitung an einen einzelnen - oder jeweils getrennt an mehrere Ventilatoren angeschlossen werden.

Eine Nachkontrolle gibt Aufschluss über Erfolg oder Misserfolg. In vielen Fällen beobachtet man erstaunlich hohe Wirkungsreichweiten des Radonbrunnens auch bis 40m, sodass vielfach eine einzelne Absaustelle ausreichend ist, um selbst größere Gebäude zu sanieren.

In Alternative zur Aushebung eines Schachtes können auch bereits vorhandene Hohlräume (z.B. Installationskanäle) mit Verbindung zum Erdreich unterhalb der Bodenplatte als Radonbrunnen verwendet werden.

Auch ein Schotterbett oder lockeres Auffüllmaterial unter der Bodenplatte kann als Radonbrunnen dienen. In diesem Fall reicht als Absaugstelle eine Kernbohrung durch die Bodenplatte. In Abhängigkeit des Verlaufes der Streifenfundamente kann es notwendig sein, mehrere Absaugstellen zu bohren und diese wie oben beschrieben in geeigneter Weise zu verbinden.

Bei Wänden mit Erdkontakt (Gebäude in Hanglage) kann der Radonbrunnen auch horizontal in die bergseitige Wand gegraben werden.

2.4.2 Die flächige Radonabsaugung (Radondrainage)

Ist im Rahmen einer Altbausanierung die Erneuerung des Fußbodens geplant, ist an Stelle des Radonbrunnens die Errichtung einer Radondrainage zu empfehlen. Dabei werden nach Aushub (ca. 40 cm Tiefe) Drainagerohre mit einem Durchmesser von ca. 10 cm unter den Rohbeton in ein Kiesbett gelegt. Das Drainagesystem wird so verlegt, dass eine flächenhafte Absaugung gewährleistet ist.

2.4.3 Allgemeine Hinweise zur Unterbodenabsaugung

In beiden Fällen (Radonbrunnen und Radondrainage) ist die Abluftleitung als Vollwandrohr mit einem Durchmesser von mindestens 7 cm seitlich durch die Außenwand oder über Dach zu führen (z.B. im Installationsschacht oder im aufgelassenen Kamin). Bei der Ausführung über Dach kann mit einem Vollwandrohr mit Durchmesser 15 cm die Unterdruckerzeugung aufgrund des Kamineffektes (ohne Ventilator) im Steigrohr versucht werden. Die Ausblasöffnung sollte mindestens 2 m von Fenstern und Türen entfernt angebracht sein. Die Kondenswasserbildung im Leitungssystem und die Geräuschentwicklung des Ventilators sind zu berücksichtigen.

Vorteil: Hochwirksame Methode; gutes Preis/Leistungsverhältnis. Kann bei entsprechender Anleitung und Fertigkeit in Eigenregie selbst errichtet werden. In ca. 80% der Fälle positives Ergebnis. Geringe Betriebs- und Wartungskosten für den Ventilator. Ventilatorleistung und Absaugzeit sind nach dem tatsächlichen Bedarf einstellbar. Hat den positiven Nebeneffekt auch Feuchtigkeitsprobleme an den Grundmauern oder im Kellerbereich sehr wirksam zu beheben!

Nachteil: Bei Schotterböden und stark zerklüfteten Böden kann ohne zusätzliche Maßnahmen unter der Bodenplatte kein Unterdruck aufgebaut werden. Unter dem Radon Drainagesystem muss deshalb mit einer Magerbetonschicht die Durchlässigkeit gegenüber dem Erdreich stark verringert werden.

Bei sehr durchlässigen Böden bringt die punktuelle Absaugung (Radonbrunnen) normalerweise auch bei Steigerung der Ventilatorleistung (> 80W) keine zufrieden stellenden Resultate.

Die Methode ist generell auch bei historischen Bauten mit sehr dicken Mauern aus Lockergestein, wo Radongas über die permeablen Mauern bis in die oberen Stockwerke gelangt, nicht geeignet. Auf diese Problematik wird im Vortrag an Hand ausführlicher Untersuchungen hingewiesen.

Achtung: Sanierungsmaßnahmen, die mit Unterdruck arbeiten, können in seltenen Fällen bei offenen Feuerstellen (Holzöfen etc.) zur unkontrollierten Emission von Kohlenmonoxid führen. Eine entsprechende Kontrolle wird unbedingt empfohlen. Im Fall ist eine direkte Außenluftzufuhr für den Ofen zu empfehlen.

2.5 Mechanische Zuluftanlage

Die Methode beruht auf die kontrollierte Frischluftzufuhr vor allem aber auf der Erzeugung eines leichten Überdruckes von 1 - 2 Pascal im betreffenden Raum bzw. Gebäude. Die Dichtheit der Türen, Fenster und anderer Öffnungen ist von entscheidender Bedeutung.

2.5.1 Kleinstanlagen

Wenn nur einzelne, leicht abzugrenzende Räume vom Radonproblem betroffen sind, z.B. Klassenzimmer, Sitzungssaal, Hobbyraum, usw. kann bereits ein kleiner Wandlüfter 15 – 20 Watt, der Außenluft einbläst und einen minimalen Überdruck aufbaut, ausreichen um die Radonkonzentration drastisch zu senken. Die Raumgröße fällt dabei kaum ins Gewicht, wesentlich ist die Dichtheit von Fenster und Türen. Ist diese nicht gegeben, ist die Methode unwirksam.

Vorteil: Hochwirksam; einfach in Anschaffung und Ausführung.

Nachteil: Türen und Fenster müssen nach Gebrauch geschlossen bleiben bzw. deren Dichtheit regelmäßig überprüft werden. In dieser Form nicht geeignet für den gesamten Wohnbereich.

2.5.2 Großanlagen

Die Zwangsbelüftung ist der letzte Rettungsanker, wenn andere Radongegenmaßnahmen versagen. Entscheidend ist die Erzeugung eines leichten Überdruckes. Vielfach können bestehende Anlagen entsprechend neu eingestellt werden. Zur Dimensionierung neuer Anlagen kann mit einem Blower-Door-Test die erforderliche Zulufrate zur Erzeugung des leichten Überdruckes, sowie die Wirkung auf die Radonkonzentration vorher bestimmt werden. Im Vortrag wird dieser Punkt genauer behandelt.

Vorteil: Der dauernde Luftwechsel schafft eine bessere Luftqualität.

Nachteil: Teuer und aufwändig in Anschaffung, Wartung und Betriebskosten. Bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung müssen zur Erzeugung des Überdruckes Zu- und Abluft getrennt regelbar sein. Es ist zu beachten, dass in diesem Fall der Wirkungsgrad des Wärmetauschers je nach erforderlichem Zu- und Abluftüberschuss stark abnehmen kann, sodass dessen Anschaffung zu bewerten ist.

2.6 Zwischenboden, Wandabsaugung oder Absaugen aus einer Kanüle

In Gebäuden wo nur einzelne Räume (z.B. eine Turnhalle) vom Radonproblem betroffen sind oder in Fällen, wo bekannt ist, dass eine Bodenluftabsaugung keine ausreichende Wirkung zeigt, kann die Absaugung aus einem Zwischenboden (oder einer erdberührenden Wand) zweckmäßig sein.

Bei der Zwischenbodenabsaugung wird in den betroffenen Räumen ein zusätzlicher Innenboden (Gipswand) aufgebaut. Zwischen dem zusätzlichen und dem ursprünglichen Innenboden (Wand) ist ein durchgängiger Hohlraum vorzusehen (ab ca. 1 cm). Die Luft im Hohlraum kann entweder passiv oder aktiv mittels einem Ventilator über ein Rohrsystem ins Freie abgesaugt werden. Der obere Boden (Wand) soll möglichst luftströmungsdicht gegenüber den Innenräumen ausgeführt sein. Die Dimensionierung des Ventilators ist hinsichtlich einer minimalen Unterdruckerzeugung zu optimieren.

Da die undichten Stellen meist entlang der Verbindungslinie zwischen Boden und Wand verlaufen, kann an Stelle des Zwischenbodens (Wand), die radonhaltige Luft auch nur aus einer U-förmigen Kanüle abgesaugt werden, die mit der Öffnung nach unten, rundum im Raum entlang der Verbindungslinie (Wand/Boden) geklebt wurde, nachdem der restliche Bodenbereich (Wand) mit einer radondichten Folie abgedichtet wurde. Von der Kanüle führt ein dünnes Plastikrohr (ca. 2-3 cm) zu einem kleinen Absaugventilator (15 Watt). Entsprechende Fotos verdeutlichen den Aufbau.

3. Radongegenmaßnahmen beim Umbau und Radonvorsorge beim Neubau

3.1 Umbau, Renovierung oder Energiesanierung

Beim Umbau und der Renovierung eines Gebäudes gelten im Prinzip die selben Vorkehrungen wie bei den Radonsanierungsmaßnahmen. Wesentlich ist, dass bereits im Vorfeld einer geplanten Renovierung oder Energiesanierung eine entsprechende Radonmessung noch im bewohnten und beheizten Gebäude durchgeführt wird.

Gerade im Fall der thermischen Sanierungen sollte man bedenken, dass diese die Dichtheit der Gebäudehülle (z.B. Einbau dichter Fenster und Außentüren, Dampfsperren im Dachbereich) verändern und dadurch auch die Druckverhältnisse, die Luftaustauschrate und die Radoneintrittsrate beeinflusst werden. Weiters wurde beobachtet, dass wenn nicht fachgerecht nach Stand der Technik ausgeführt, durch das Anbringen einer thermischen Isolierung an der Fassade radonhaltige Bodenluft über Hohl-

räume zwischen der Isolierung und der Mauer aufsteigen und über undichte Stellen in das Gebäudeinnere eindringen kann. Beide Umstände können zu einer deutlichen Erhöhung der Radonkonzentration in Innenräumen führen. Durch entsprechende Vorkehrungen und Umsicht in der Ausführung der Arbeiten kann dies leicht vermieden werden.

Bei größeren Umbauarbeiten ist die Radonmessung in Kombination mit einem Blower door sehr hilfreich. Dabei werden in den einzelnen Stockwerken des zu renovierenden Gebäudes aktive Radonmessgeräte aufgestellt und das gesamte Gebäude mit einem Blower door unter Unterdruck gesetzt. Ein Radonproblem im Boden, Schwachstellen im Erdgeschoß oder den höheren Stockwerken, mögliche Probleme mit radondurchlässigen Wänden (mittelalterliche Bausubstanz) lassen sich so in wenigen Stunden leicht nachweisen und noch in der Planungsphase entsprechend berücksichtigen.

In allen Fällen gilt, dass Radongegenmaßnahmen, die noch in Projektphase eingeplant werden, wesentlich günstiger und effektiver gestaltet werden können als nachträgliche Eingriffe.

Tab. 1 Resultate einiger Sanierungsbeispiele (bis 2009). Zum direkten Vergleich wird die maximale Radonkonzentration (Stundenmittelwerte) vor und nach der Sanierung angegeben. Der Jahresmittelwert liegt deutlich tiefer.

Methode	Nr.	Lage*	Gebäudenutzung und Oberfläche m ²	Stock	Maximale Radonkonz. Bq/m ³	
					vorher	nachher
Radonbrunnen	85	1	Privathaus 100	(-1)	5000	500
	88	2	Privathaus 100 -150	0 1	10000 2000	600 200
	70	2	Privathaus < 100	-1	35000	50000
	73	3	Kindergarten 300	0	2500	400
	111	3	Privathaus 100	0	2000	200
	21	4	Privathaus 100-150	0	14000	300
	32	4	Privathaus 100	0	700	700
	47	4	Privathaus 100-150	0	8000	1100
	61	4	Privathaus < 100	0	20000	350
	128	4	Hotel 200	0	2700	400
	119	4	Privathaus 100	0	2700	350
	37	5	Privathaus 150-200	-1	1200	450
	28	5	Wohnung 100 - 150	-1	2400	100
	56	5	Privathaus 100	-1	4000	500
	98	6	Privathaus 100	1	8000	2000
	129	6	Privathaus 150	0	1100	250
	35	8	Privathaus 100	0	1500	< 200
	166	Dicke Mauer	Privathaus 200	-1	12000	< 1000
	177	Dicke Mauer	Privathaus 200	+1	1400	1400
	183	8	Privathaus 150	0	1600	200
184	8	Privathaus <100	0	60.000	4.000	
185	4	Privathaus 150	0	120.000	500	
186	4	Privathaus 150	1	5000	< 1000	
187	4	Privathaus 100	0	2500	500	
188	9	Spital 200	-1	1200	220	
189	9	Schule 200	-1	1200	200 (28m)	
190	4	Rathaus	0	4000	2500	

	191	8	Privathaus	0	1050	300
	192	4	Rathaus + Schule	0	1270	243
	193	9	Kindergarten	-1	2000	400
	195	9	Privathaus	-1	1225	417
	197	4	Privathaus	0	1035	300
	114	8	Privathaus	0	1400	1000
	123	3	Privathaus 100	0	2500	2500
	141	4	Schule 300	0	5800	< 300
	153	4	Kindergarten 200	0	1200	< 200
	121	5	Privathaus 100	-1	8000	580
	93	4	Privathaus 200	-1	1800	125
	176	5	Privathaus 100	-1	1200	200
	174	4	Pfarrhaus 150	0	3000	300
	166	5	Privathaus 150- 200	-1	12000	500 – 1000
	4	9	Wohnung < 100	-1	1000	200
Drainage unter der Bodenplatte	112		Privathaus 100- 150	0	1300 avg.	300 avg.
	49		Privathaus 300	-1	900	<200
	41	5	Privathaus 100- 150	-1	Neubau	230
	122	5	Privathaus 100- 150	-1	2000	70
	123		Pilotprojekt	0	3000	300
	165	Dicke Mauer	Privathaus 200	0	1000	1000
	194	9	Neubau 150	-1	3500	3500
	5	5	Privathaus 100	-1	1800 Keller	180 Keller
Überdruck im Raum	43		Privathaus 100	-1	3000 Keller	600 Keller
	75		Klassenzimmer 80	-1	1600	50
	26		Privathaus 100	0	2000	1200
	66		Klassenzimmer 60	0	800	450
	84		Spielsaal 50	-1	3000	200
	148		Werkraum 80	-1	1100	280
	77		Sitzungssaal 50	-1	2500	400
	187		Klassenzimmer 200	-1	1600	270
	159	Dicke Mauer	Schloss	+1 +2	4000	avg. 500
	196		Klassenzimmer	0	2300	225
190	Dicke Mauer	Meldeamt	0	3200	260	
Überdruck unter der Bodenplatte **	70	2	Privathaus < 100	0	13000	1400
	132	4	Privathaus 150	0	1250	200
Unterdruck im Keller	62		Privathaus 100- 150	+1	3500	600
	180	4	Privathaus 100	+1	4100	900
	127		Privathaus 100- 150	+1	1100	400
Absaugung aus Zwischenboden	56		Zimmer 20	-1	4500	290
	69		Turnhalle 300	0	5000	100

* Die Kodierung spezifiziert die genaue Lage des Radonbrunnens (siehe Vortrag)

** Methode gibt sehr gute Resultate, wurde aber nur zu Versuchszwecken getestet.

3.2 Radonvorsorge beim Neubau

Im letzten Jahr waren wir in Zusammenarbeit mit dem Istituto Superiore della Sanità in Rom maßgeblich an der Ausarbeitung einer nationalen Richtlinie für Radon-Vorsorgemaßnahmen bei Neubauten beteiligt (noch nicht veröffentlicht). Geplant wäre die allgemeine verpflichtende Einführung dieser Maßnahmen bei Neubauten.

Des Weiteren wurde kürzlich im Rahmen des DACH-Projektes eine Arbeitsgruppe (Bayern, Baden-Württemberg, Österreich, Schweiz, Südtirol) gebildet, die sich eingehend mit diesem Thema befasst hat und entsprechende Broschüren ausgearbeitet hat, die demnächst veröffentlicht werden sollen.

Zusammenfassend kann berichtet werden, dass man sich darüber einig war, dass je dichter die Gebäudehülle gegen das Erdreich ausgeführt ist, desto geringer ist die Radongefahr. Eine Radonfolie, als alleinige Gegenmaßnahme, wird auf Grund der möglichen Beschädigungen im Rahmen der Bauarbeiten als zu unsicher bewertet.

Die Arbeitsgruppe vertritt die Ansicht, dass derzeit die folgenden Vorsorgemaßnahmen den besten Radonschutz gewährleisten:

- Eine durchgehende bewährte Fundamentplatte (z.B. Expositionsklasse XC2 oder höher).
- Eine Unterboden-Absaugung (Radondrainage) mit entsprechenden Vorkehrungen in Abhängigkeit der Bodenpermeabilität (entsprechendes Bildmaterial wird gezeigt).
- Eine luftdichte Gebäudehülle und kontrollierte Wohnraumbelüftung (n50-Leckagerate muss kleiner als 0,6 h⁻¹ sein).

4. Literaturverzeichnis

- [1] www.provinz.bz.it/umweltagentur/.../radonkarte.asp
- [2] L. Minach, C. Giovani; M. Garavaglia "Linee guida relative ad alcune tipologie di azioni di risanamento per la riduzione del radon" APAT - RTI CTN_AGF 4/2005 (TK 06.08.04c - AGF -T- LGU-04-03).

ERGEBNISSE VON VERGLEICHSMESSUNGEN DER RADON- EXPOSITION IN WOHNGBÄUDEN

RESULTS OF COMPARATIVE MEASUREMENTS OF RADON EXPOSURE IN RESIDENTIAL BUILDINGS

Walter Reinhold Uhlig¹⁾

Jens Bellmann²⁾

Paul Eißner²⁾

Markus Fischer²⁾

¹⁾ HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur

²⁾ Studenten an der HTW Dresden

Zusammenfassung

Im Rahmen des Projektseminars im Masterstudiengang „Konstruktiver Ingenieurbau & Computing“ der HTW-Dresden wurden im Sommersemester 2010 als studentisches Projekt in insgesamt sechs Gebäuden, in denen vor mehreren Jahren im Rahmen einer Messkampagne des SMUL Radonmessungen durchgeführt worden sind, Vergleichsmessungen vorgenommen. Um eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erhalten, wurden die Messungen weitestgehend in den gleichen Räumen und an den gleichen Messpunkten durchgeführt.

Die Auswertung der Messungen ergab, dass in vier Gebäuden keine signifikanten Veränderungen der Radonexposition in den Räumen zwischen den beiden Messkampagnen eingetreten sind. Für ein Gebäude, bei dem die gemessenen Werte relativ deutlich angestiegen sind, werden weitere Untersuchungen vorgeschlagen.

Summary

Within the scope of the project seminar in the master studies in “constructive engineering & computing” at the HTW Dresden, measurements of radon exposure have been accomplished as a student project. A total of six residential buildings, in which former measurements have been realized by the SMUL, have been considered. To achieve comparability, the measurements took place at their previous locations.

The evaluation of the measurements showed no significant changes in radon exposure in four considered residential buildings. Further examinations are proposed for one object showing significant increase.

1 Einführung

An der Fakultät Bauingenieurwesen/Architektur der HTW Dresden hat sich in den letzten Jahren das Lehrgebiet „Radonsicheres Bauen“ als eigenständiges Lehrfach etablieren können. In enger Zusammenarbeit mit KORA e.V. werden hier einem interessierten Kreis von Studenten des 7. Semesters die Grundlagen des radonsicheren Bauens und Sanierens vermittelt. Über die Zusammenarbeit mit dem SMUL und weiteren Partnern wurden inzwischen eine Reihe von Diplom- und Masterarbeiten ausgegeben und erfolgreich abgeschlossen, so u.a. die Untersuchung zur Radonsituation in Passivhäusern [1], deren Ergebnisse auf der 2. Tagung Radonsicheres Bauen vorgestellt worden sind [2].

Im Rahmen dieses Beitrages wird ein Projekt vorgestellt, welches mit den Studenten des Masterstudienganges „Konstruktiver Ingenieurbau & Computing“ im Sommersemester 2010 durchgeführt worden ist. Die Ziele dieses Projektes sind in zwei Richtungen definiert: So soll zum Einen der Frage des Langzeitverhaltens von Radon Schutzmaßnahmen durch Vergleichsmessungen nachgegangen werden – eine Frage, die vor allen Dingen für sanierte Gebäude von großer Bedeutung ist – zum Anderen wird den beteiligten Studenten die Herangehensweise und Durchführung von praktischen Radonuntersuchungen nahe gebracht und lernen sie, eine konkrete Aufgabenstellung im Team zu bearbeiten und zu lösen.

Projektkonzeption und -durchführung erfolgte in enger Zusammenarbeit zwischen der Hochschule und dem SMUL sowie der Staatlichen Umweltbetriebsgesellschaft GB2 – Umweltradioaktivität in Chemnitz.

Für das Projekt wurden Untersuchungsobjekte ausgewählt, in denen vor vier bis fünf Jahren durch das SMUL geförderte Radonmessungen durchgeführt worden sind. Des weiteren wurde ein in der Diplomarbeit Bergmann [1] untersuchtes Passivhaus einbezogen. Der zeitliche Abstand von vier bis fünf Jahren zu den Erstmessungen erscheint günstig für die Durchführung von Kontrollmessungen. So haben Untersuchungen in Schweden gezeigt, dass der Erfolg von Radonsanierungen in Abständen von einigen Jahren unbedingt überprüft werden sollte, da sich in einer Reihe von Objekten nach einigen Jahren zum Teil gravierende Veränderungen der Radonexposition eingestellt haben [3]. Die Untersuchungen in Schweden verdeutlichen aber auch, dass weitere Kontrollmessung in Abständen von drei bis vier Jahren durchgeführt werden sollten. So ist es geplant, in weiteren studentischen Arbeiten diese Messungen fortzuführen.

2 Messgeräte

Als passive Messgeräte kamen Festkörperspurdetektoren (Exposimeter) zum Einsatz. Diese eignen sich für Messungen über längere Zeiträume. Zur Auswertung werden die über den Zeitraum erfassten radioaktiven Zerfälle über den Messzeitraum gemittelt.

Ergänzend kamen aktive Messgeräte (Radonscouts) zum Einsatz. Der Vorteil dieser Instrumente liegt in der zeitaufgelösten Messung von radioaktiven Zerfällen. Die Radonscouts erfassen zusätzlich zu den Radonwerten zeitaufgelöst Temperatur und relative Luftfeuchte am Messpunkt. Einige der aktiven Messgeräte nahmen durch eine geräteinterne Fehlfunktion nur die letzten 5 Tage vor Ende der Messungen auf. Eine genau Ursache dafür konnte nicht ausgemacht werden.

3 Vorstellung der untersuchten Objekte

Nach einem internen Auswahlverfahren, in das neben der Bereitschaft der Eigentümer zu erneuten Radonmessungen auch logistische Überlegungen einfließen, wurden von den im Zeitraum 2005/06 untersuchten 11 Objekten fünf für die studentische Untersuchung ausgewählt. Aus den von Frank Bergmann im Jahre 2006 untersuchten Passivhäusern [1] wurde ein Gebäude einbezogen. In Tabelle 1 sind wichtige Daten der Gebäude zusammengefasst:

Tab. 1: Übersicht über die betrachteten Gebäude

Haus	1	2	3	4	5	6
Standort	Annaberg-Buchholz	Bad Schlema	Schneeberg	Schneeberg	Johann-georgenstadt	Crimmitschau
Haustyp	Zwei-familien-haus	Einfamilien-haus	Mehrfamilien-haus	Einfamilien-haus	Einfamilien-haus	Einfamilien-haus Passivhaus
Baujahr	ca. 1840	1916	1796	vor 1900	1950	2005
Zeitraum Erstmessung	14.02.05 bis 30.01.06	10.01.05 bis 10.01.06	27.01.05 bis 27.01.06	28.02.05 bis 28.02.06	02.05.05 bis 02.05.06	2006
Zeitraum der aktuellen Messung	06.06.10 bis 05.08.10	06.06.10 bis 05.08.10	06.06.10 bis 05.08.10	06.06.10 bis 05.08.10	10.05.10 bis 05.08.10	06.06.10 bis 05.08.10
Anzahl Messpunkte Erstmessung	4	5	3	2	6	3
Anzahl Messpunkte aktuell	4	5	4	2	6	7

4 Versuchsaufbau und –durchführung

Vor Installation der Messgeräte wurden die Nutzer der Gebäude kontaktiert. In allen Gebäuden, in denen Erstmessungen durchgeführt worden sind, waren die Nutzer bereits mit der Radonproblematik vertraut. Es musste deshalb nur noch wenig Aufklärungsarbeit geleistet werden. Über ein ausführliches Interview mit standardisierten Fragen wurden die Nutzungsgewohnheiten, vor allem hinsichtlich des Lüftungsverhaltens, erfasst. Im Fragebogen wurden des weiteren Daten zum Alter und zur Bauweise des Objektes aufgenommen. Ein wichtiger Aspekt der Befragung war zudem die Erfassung von baulichen Veränderungen, die nach den Erstmessungen durchgeführt worden sind. Parallel zur Befragung wurden die Grundrisse der Gebäude aufgenommen, soweit sie nicht bereits vorlagen.

Um vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, wurden die Messgeräte exakt in den Räumen installiert, in denen die Erstmessungen erfolgt sind. Die zeitaufgelösten Messungen sind zusätzlich durchgeführt worden, um den genauen Radonkonzentrationsverlauf in ausgewählten Räumen zu erfassen.

Es wurden keine Bodenradonwerte an den einzelnen Objekten gemessen, da dies in dem zeitlichen und finanziellen Rahmen nicht möglich und für das Ziel der Untersuchung nicht zwingend erforderlich war.

Die Messungen erfolgten über einen Zeitraum von ca. 13 bzw. 9 Wochen. Eine Jahresmessung war auf Grund der Projektlaufzeit leider nicht möglich. Die Problematik kurzzeitiger Messungen ist bekannt. Nach [4] muss zwischen Sommer und Winter mit einer jahreszeitlich bedingten Schwankung der Ergebnisse um den Faktor 2 gerechnet werden, der Vergleich zwischen einer Jahresmessung und der Messdurchführung im Sommerhalbjahr ergibt somit eine Abweichung von etwa 1,5. Allerdings können diese Unterschiede ortsspezifisch sehr stark schwanken, weswegen eine schematische Umrechnung der gemessenen Werte auf einen Jahresdurchschnitt nicht erfolgte.

Nach Auslesen der Messgeräte wurden die Ergebnisse mit den Erstmessungen verglichen. Weiterhin wurde das in den Fragebogen angegebene Nutzerverhalten mit den Messwerten in Verbindung gebracht.

5 Vorstellung der einzelnen Gebäude, Messergebnisse und Auswertung

Haus 1 - Annaberg-Buchholz



Das Haus 1 liegt im ehemaligen Bergbaugebiet in Annaberg Buchholz. Es ist ein Reihendhaus als Zweifamilienhaus, das um ca. 1840 erstellt wurde.

Das Gebäude ist teilunterkellert. Der Keller ist als Gewölbe ausgeführt. Die Bodenplatte besteht aus Beton. Unter dieser ist eine Ausgleichsschicht aus Schotter eingebracht worden. Das Gewölbe ist ein Bruchsteingewölbe, wobei davon ausgegangen werden kann, dass die verwendeten Baumaterialien aus der Region stammen. Das Gebäudes ist ein massiver Ziegelbau.

Vor der Durchführung der Erstmessung wurden diverse Sanierungsmaßnahmen durchgeführt. So wurde der Keller gegen Feuchtigkeit nachträglich geschützt, indem Wasserglas und Zement in die Wänden durch Injektagebohrungen verpresst wurde. Das Abwasserkanalsystem im Haus wurde erneuert. Weiterhin ist eine Drainage verlegt worden, wodurch die Bodenfeuchte direkt am Haus reduziert werden konnte. Das Dach wurde neu eingedeckt.

Abb. 1: Haus 1

Die Lage der Messpunkte (MP) kann aus den Abb. 2 bis 4 entnommen werden, die Auswertung der Messungen ist in Tabelle 2 zusammengestellt.

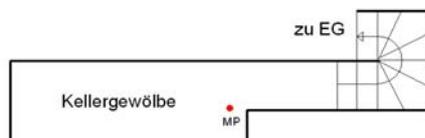


Abb. 2: Grundriss KG

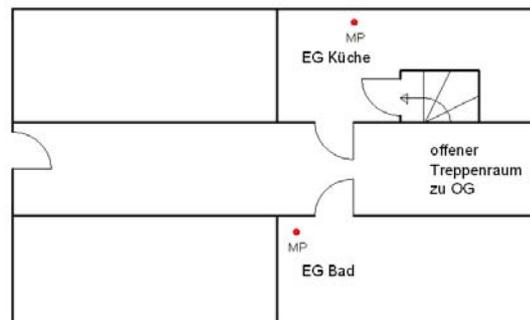


Abb. 3: Grundriss EG

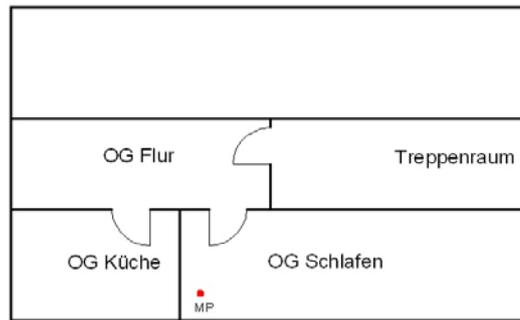


Abb. 4: Grundriss OG

Tab. 2: Messergebnisse Haus 1

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Messwert 2005 [Bq/m ³]	Raumlüftung	Besonder- heiten
Keller	6,5 x 3,3 x 2	5300	5300	-	Feuchte- sanierung
EG Küche	3,5 x 3,5 x 2,65	444	460	über Lüftungsanlage	
EG Bad	4,0 x 4,4 x 2,65	660	660	sporadisch über Tür	
OG Schlafzimmer	4,0 x 4,4 x 2,5	300	300	über Schornstein	

Im Keller wurden sehr hohe Radonwerte (5300 Bq/m³) gemessen. Die vorgenommenen Sanierungsmaßnahme in den Kellerwänden bilden offensichtlich nur eine Sperrschicht gegen Feuchtigkeit, nicht jedoch gegen eindringende, radonhaltige Bodenluft.

Der Keller ist durch eine ständig geschlossene, dicht schließende Tür von den Räumen des Erdgeschosses abgetrennt. Dies zeigt sich in den Messwerten der Räume, die sich direkt an der Kellertreppe befinden (EG Küche). Hier wurden nur noch 444 Bq/m³ gemessen. Die Tür zum Keller kann somit als eine wirksame Abschottung gegen Luft mit sehr hoher Radonkonzentration aus dem Keller angesehen werden. Vom Nutzer wurde angegeben, dass die Lüftung der Küche durch eine nutzerseitig eingebaute Lüftungsanlage erfolgt. Die Lüftungsanlage besteht aus einem KG-Rohr mit angeschlossenem Ventilator, der durch manuelles Auslösen in Betrieb genommen wird. Zusätzlich erzeugt die Heizungsanlage, die sich in diesem Raum befindet einen Luftstrom aus angrenzenden Räumen in die Küche. Durch diese Maßnahmen wird die Luft im Raum ständig erneuert. Im Ausleseprotokoll des im Raum installierten Radonscouts konnte festgestellt werden, dass mäßig hohe Schwankungen um den gemessenen Mittelwert auftreten (*Abb. 5*). Die Schwankungen haben ungefähr die Periode eines Tages. Tagsüber sinken die Werte, während sie nachts wieder ansteigen. Es kann deshalb darauf geschlossen werden, dass tagsüber ein erhöhter Luftaustausch mit angrenzenden Räumen oder der Außenluft stattfindet.

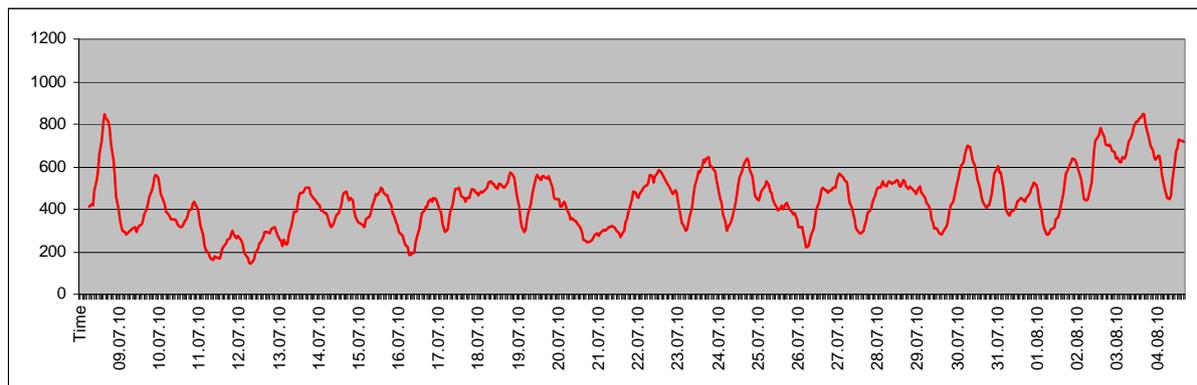


Abb. 5: Radonkonzentration, Küche EG

Vom Nutzer des Gebäudes wurde angegeben, dass im Bad des Erdgeschosses die Fenster ständig geschlossen sind und die Lüftung durch die Tür nur sporadisch erfolgt. Dies erklärt die erhöhte Radonkonzentration von 660 Bq/m³ in diesem Raum.

Im Obergeschoss des Gebäudes wurde ein Dosimeter im Schlafzimmer ausgelegt. Als Messwert wurden hier 300 Bq/m³ festgestellt. Damit ist hier die Konzentration von Radon im Vergleich zu den anderen Räumen etwas geringer. Hierfür kann die ständig vorhandene Lüftung über den Schornstein als Erklärung angebracht werden. Weiterhin ist der Raum durch ständig verschlossene Türen vom Rest der Wohnung getrennt. Ein Einströmen radonbelasteter Luft aus angrenzenden Räumen ist somit reduziert.

Zwischen der Erstmessung aus dem Jahre 2005 und der aktuellen Messung sind keine baulichen Veränderungen, die Einfluss auf die Radonkonzentration haben könnten, durchgeführt worden. Auch haben sich keine gravierenden Änderungen in der Nutzung des Gebäudes ergeben. Trotzdem erstaunt die hohe Übereinstimmung der Messwerte. Offensichtlich hat für dieses Gebäude die oben angeführte jahreszeitliche Schwankung nur einen geringen Einfluss. Die vor der Erstmessung durchgeführten Sanierungsmaßnahmen haben offensichtlich in ihrer Wirksamkeit nicht nachgelassen.

Haus 2 – Bad Schlema

Das Haus 2 befindet sich in Bad Schlema, ebenfalls in einem ehemaligen Bergbaugebiet. Das Gebäude wird als Pfarrhaus mit Wohnung und Gemeinderäumen genutzt. Es wurde um 1915 errichtet. Der Keller besteht aus einem Bruchsteinsockel, auf dem der obere Teil des Gebäudes errichtet wurde. Der Kellerfußboden ist als Ziegelfußboden, die Geschosdecken sind als Holzbalkendecken ausgeführt.

Als Radonschutzmaßnahme wurde unter dem Ziegelfußboden eine Drainage mit Unterschotterung eingebaut. Weiterhin sind die erdberührenden Wände von außen mit einem radonsperrenden Anstrich versehen worden.

Es wurden Messungen in allen drei Geschossen des Gebäudes vorgenommen. Die Messpunkte können aus den Abb. 6 bis 8 entnommen werden, die Ergebnisse sind in Tabelle 3 zusammen gefasst.

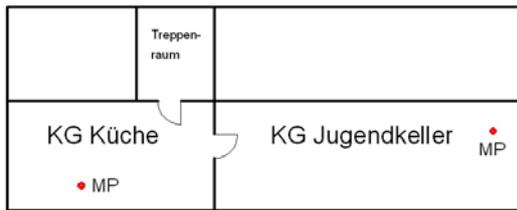


Abb. 6: Grundriss KG

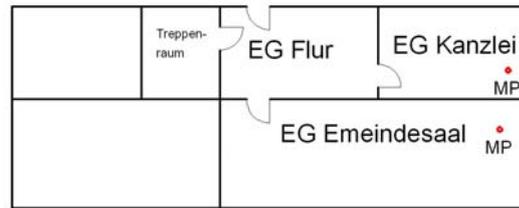


Abb. 7: Grundriss EG

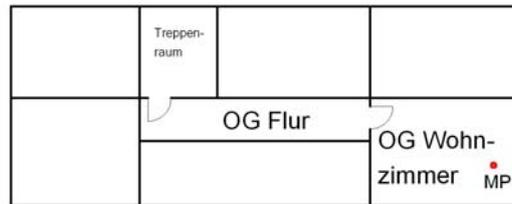


Abb. 8: Grundriss DG

Der Luftaustausch des Jugendkellers erfolgt nach Angabe des Nutzers einmal pro Woche über die Fenster. In der Küche des Kellers ist das Fenster ständig angekippt. Dies kann eine Erklärung dafür sein, warum die Radonkonzentration im Jugendkeller höher ist, als in der Küche des Kellers.

Die Tür von den Räumen des Kellers zum oberen Teil des Gebäudes ist ständig geschlossen. Hier ist eine weitestgehend dichte Abschottung zwischen den zwei Bereichen gegeben.

Tab. 3: Messergebnisse Haus 2

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Messwert 2005 [Bq/m ³]	Raumlüftung (Fenster)	Besonderheiten
Jugendkeller	10,4 x 4,3 x 2,4	575	210	1x pro Woche geöffnet	Bodenplatte sanieret
Keller Küche	4,8 x 4,3 x 2,4	330	180	ständig angekippt	Bodenplatte sanieret
EG Kanzlei	4,4 x 4,5 x 2,8	386	270	1x täglich	-
EG Gemeindefsaal	13,1 x 4,3 x 2,8	240	110	meist geschlossen	-
OG Wohnzimmer	4,4 x 6,2 x 2,1	120	99	bei Bedarf	-

Die Kanzlei im Erdgeschoss wird nach Angaben des Nutzers täglich einmal gelüftet. Dies ist deutlich im Messprotokoll des dort installierten Radonscouts zu erkennen (Abb. 9). Die Tür der Kanzlei zum Rest des Gebäudes ist meist geschlossen, wodurch sich die Erhöhung der Radonwerte über die Nacht nachvollziehen lässt. Die Messwerte schwanken deutlich und erreichen zum Teil Werte von bis zu 800 Bq/m³. Die Gründe für die betragsmäßig hohen Peaks in der Nacht sind nicht sofort ersichtlich. Der Raum ist nicht erdberührend und besteht nicht aus Naturstein. Vermutlich strömt radonhaltige Luft konvektiv über das Bruchsteinmauerwerk des Kellers in die Kanzlei über Leckagen

im radonsperrenden Anstrich. Zur genauen Erfassung der Ursachen für die erhöhten Radonwerte in diesem Raum sind weitere Untersuchungen erforderlich.

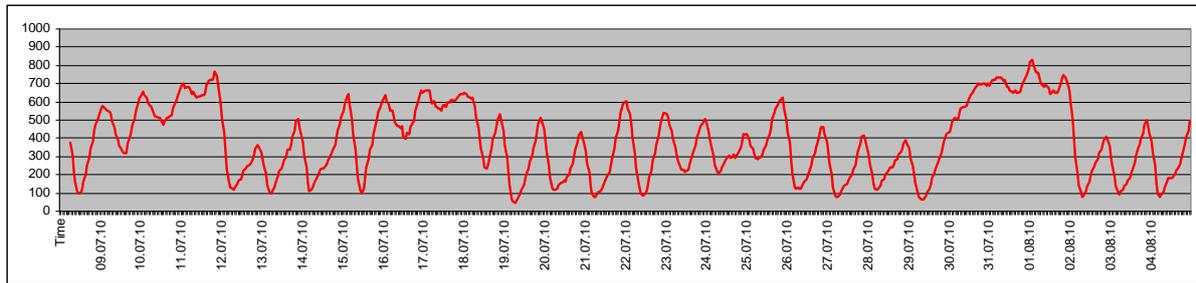


Abb. 9: Radonkonzentration, Kanzlei des Erdgeschosses

Die Tür des Gemeindesaales im Erdgeschoss ist ständig offen. Deshalb sind die Messwerte in diesem Raum geringer, als z.B. in der Kanzlei, da ein Luftaustausch mit dem Flur stattfinden kann. Im Flur befindet sich die Hauseingangstür. Dort wird bei jedem Öffnen Frischluft in den Flur und somit in den Gemeindesaal eingetragen. Am Tag der Auslegung der Messgeräte war die Hauseingangstür aufgrund der sommerlichen Temperaturen ständig offen, wodurch wiederum eine optimale Lüftung des Gemeindesaales stattfand. Es kann davon ausgegangen werden, dass dieser Zustand über den Zeitraum der Messung des Öfteren vorhanden war. Da die Tür der Kanzlei im Erdgeschoss ständig geschlossen war, profitierte dieser Raum nicht von der geöffneten Hauseingangstür.

Im Obergeschoss wurden im Wohnzimmer Messwerte aufgenommen. Hier konnte nur die Regel bestätigt werden, dass in Gebäuden mit zunehmender Höhe die Radonkonzentration sinkt.

Der Vergleich der Messwerte von 2005 und 2010 zeigt eine Steigerung um 21 bis 174%! Teilweise können diese Veränderungen mit einem veränderten Nutzungsverhalten begründet werden. So wird der Jugendkeller – der Raum mit der größten Steigerung – in den Sommerferien weniger genutzt und somit auch weniger gelüftet als üblich. Trotzdem deutet die zum Teil erhebliche Erhöhung der Messwerte auf ein Nachlassen der Wirksamkeit der Radonschutzmaßnahmen hin. Es sollte deshalb über weitere Untersuchungen den Ursachen nachgegangen werden.

Haus 3



Abb. 10: Haus 3

Das Haus 3 befindet sich in Schneeberg und wurde 1796 errichtet. Es befindet sich ebenfalls in einem ehemaligen Bergbauggebiet. Das Gebäude besteht aus einem Massivbau, auf dem ein Fachwerkgeschoss aufgesetzt ist. Es besitzt keinen Keller. Einige Wände des Erdgeschosses sind aus Natursteinen errichtet worden.

Im Laufe der Nutzung wurden mehrfache Umbauten vorgenommen, die den Grundriss des Gebäudes betreffen. Als Radonsanierung wurde unter die Bodenplatte eine Radondrainage eingebaut. Alle Maßnahmen wurden vor der Erstmessung durchgeführt.

Es wurden Messungen in den Räumen des Erdgeschosses vorgenommen. Zusätzlich wurde im

Abzugsschacht der Bodenluft ein Dosimeter hinterlegt, um die Radonkonzentration der Luft kurz vor Eintritt in das Abzugssystem zu bestimmen. Der Abzugsschacht ist dichtschießend vom Rest des Gebäudes getrennt.

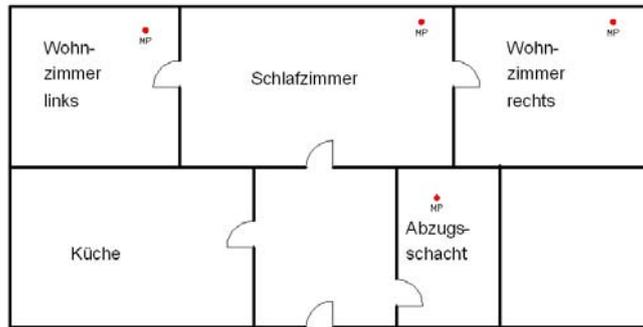


Abb. 11: Grundriss EG

Tab. 4: Messdaten Haus 3

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Messwert 2005 [Bq/m ³]	Raumlüftung (Fenster)	Besonder- heiten
EG Wohnzimmer rechts	4,5 x 4,8 x 2,45	190	1000	gekippt (Tag) geschlossen (Nacht)	Bodendrainage
EG Wohnzimmer links	4,2 x 5,0 x 2,4	420	740	2 x 2h geöffnet (früh + abends)	Bodendrainage
EG Schlafzimmer	4,2 x 4,0 x 2,3	300	500	gekippt (Tag) geschlossen (Nacht)	Bodendrainage
Abzugsschacht	1,0 x 1,0 x 1,0	7200	-	-	

Die mit 7200 Bq/m³ relativ hohen Messwerte der Luft aus der Bodendrainage vor dem Abzugsschacht verweisen auf eine hohe Bodenradonkonzentration. Insofern kann geschlussfolgert werden, dass die Bodendrainage trotz der in den Räumen gemessenen Werten zwischen 190 und 420 Bq/m³ wirksam ist.

Im Wohnzimmer, rechts wurde ein Radonscout hinterlegt. In einer detaillierten Betrachtung ist hier die Nutzung, bzw. das Lüften durch die schwankende Radonkonzentration erkennbar (Abb. 12).

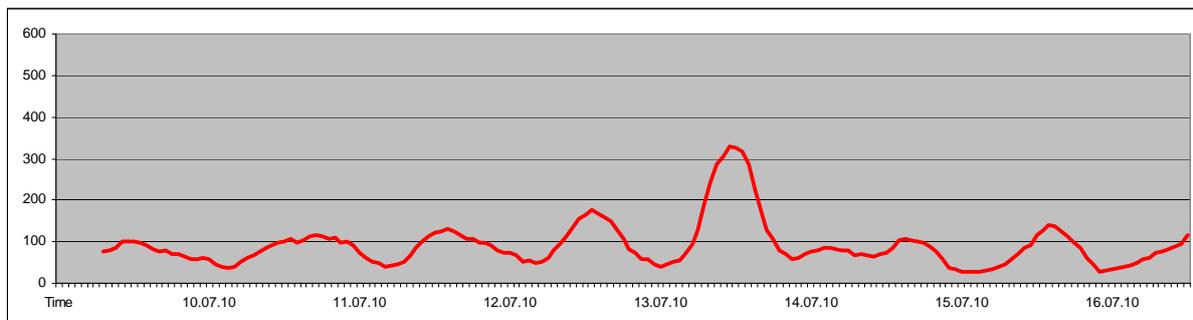


Abb. 12: Radonkonzentration, Wohnzimmer rechts

Die Messwerte von 2005/06 lagen durchgängig deutlich über den aktuellen Messwerten. Dies kann wieder der Tatsache geschuldet sein, dass die Messungen, die für diesen Bericht aufgenommen wurden, nur einen kurzen Zeitraum repräsentieren. Im Sommer liegt eine erhöhte Lüftungstätigkeit durch die Nutzer vor, die hier infolge der sehr hohen Außentemperaturen besonders intensiv war.

Haus 4



Abb. 13: Haus 4

Das Haus 4 ist ein um 1790 errichtetes Wohngebäude. Es ist massiv gebaut, wobei der obere Teil des Gebäudes als Fachwerk ausgeführt ist. Im Gebäude befindet sich ein kleines Kellergewölbe, welches aus Natursteinen errichtet wurde.

Unter dem Gebäude befindet sich in 18 m Tiefe ein ehemaliger Bergschacht. Die nähere Umgebung des Hauses wurde in der Vergangenheit durch Gangeinbrüche beeinträchtigt.

Das Kellergewölbe wurde vom Rest des Hauses durch eine dichtschießende Falltür abgeschottet. Diese Tür befindet sich im Flur, an den ein Mittelzimmer anschließt. An dieses wiederum schließt das Schlafzimmer an.

Im Keller wird über eine Lüftungsanlage ein Überdruck erzeugt, wodurch das Eindringen von Bodenluft in den Kellerraum verhindert werden soll. Diese Maßnahme sowie der Einbau neuer Fenster wurde 2004, vor der Erstmessung, durchgeführt.

Es wurden Messsonden im Erdgeschoss des Gebäudes ausgelegt. Aufgrund der Tatsache, dass der Keller unter Überdruck steht und im Rahmen des Einbaues der Lüfter bereits umfangreiche Messungen erfolgt sind, wurde auf Messungen im Keller verzichtet.

Tab. 5: Messergebnisse Haus 4

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Messwert 2005 [Bq/m ³]	Lüftung (Fenster)	Besonder- heiten
Mittelzimmer	3,6 x 2,7 x 2,1	460	410	stets offen	-
Schlafzimmer	4,0 x 2,7 x 2,1	570	390	Stoßlüftung	-

Die Messungen im Mittelzimmer und im Schlafzimmer weisen auf leicht gestiegene Werte hin und sollten deshalb über eine Jahresmessung weiter beobachtet werden.

Haus 5



Haus 5 befindet sich in Johannegeorgenstadt, einem Gebiet mit ehemals intensivem Bergbau. Es wurde etwa 1950 gebaut und wird heute als Einfamilienhaus genutzt. Im Haus wurden keine Natursteine aus der Umgebung verbaut.

Da die Nutzer hauptberuflich in anderen Städten tätig sind, wird das Gebäude nur alle 4 Wochen für etwa 2 Tage genutzt. Im Zeitraum, in dem das Gebäude nicht genutzt wird, sind alle Fenster verschlossen.

Abb. 14: Haus 5

Das Gebäude besteht nur aus einem Erdgeschoss und einem kleinem Schacht (Kellerzugang) der mit einer

Lüftungsanlage entlüftet wird. Dadurch soll verhindert werden, dass radonbelastete Luft aus dem Erdreich in das Erdgeschoss eintritt. Diese Maßnahme wurde ebenfalls vor der Erstmessung ausgeführt.

Im gesamten Gebäude wurden Dosimeter verteilt. Leider konnten auf Grund einer Fehlfunktion des Radonscouts keine repräsentativen zeitaufgelösten Daten erfasst werden. Das ist bedauerlich, da mit dieser Messung Vergleichswerte für den ungenutzten sowie genutzten Zustand des Gebäudes erwartet wurden.

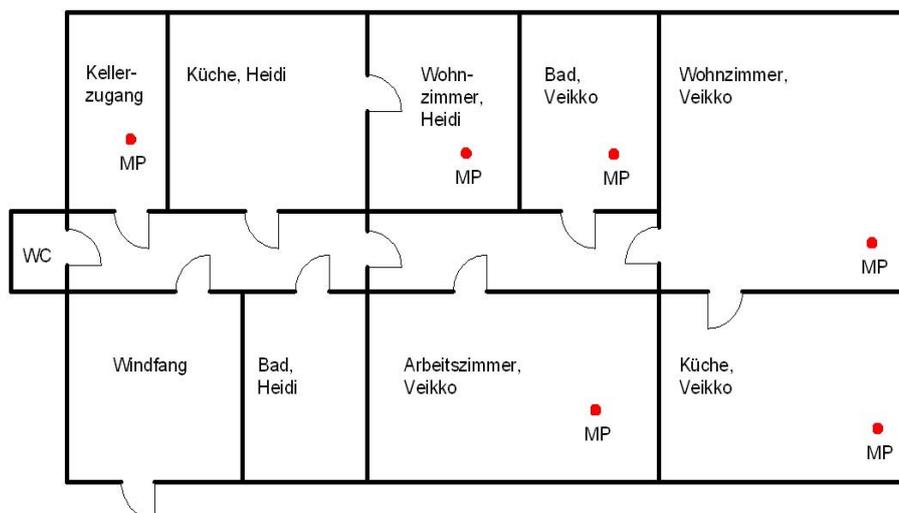


Abb. 15: Grundriss EG

Tab. 6: Messergebnisse Haus 5

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Messwert 2005 [Bq/m ³]	Lüftung (Fenster) (bei Anwesenheit der Nutzer)	Besonder- heiten
Wohnzimmer, Veikko	4,3 x 5,1 x 2,6	330	230	3x täglich, kurz	
Küche, Veikko	4,8 x 3,5 x 2,6	340	190	3x täglich, kurz	

Arbeitszimmer, Veikko	3,5 x 5,8 x 2,6	160	130	ständig offen	
Bad, Veikko	3,3 x 2,8 x 2,6	130	80	3x täglich, kurz	
Wohnzimmer, Heidi	3,5 x 3,5 x 2,6	120	155	ständig offen	
Kellerzugang	3,5 x 2,5 x 2,6	310	-	ständig Zuluft über Heizung	Entlüftung

Im gesamten Gebäude waren gegenüber der Erstmessung um 23 bis 79% erhöhte Messwerte zu vermerken. Lediglich in einem Raum („Wohnraum Heidi“) lag der Wert der Zweitmessung niedriger. Im Kellerschacht wurden ebenfalls keine erhöhten Werte gemessen. Dies deutet auf eine wirksame Entlüftung des Kellerschachtes hin. Die erhöhten Werte sind vermutlich durch die aktuell nur sporadische Nutzung des Gebäudes begründet. Eine bestimmte Luftströmung innerhalb des Gebäudes konnte nicht durch Abfall der Radonkonzentration mit zunehmender Entfernung vom Kellerzugang festgestellt werden.

Haus 6 (Passivhaus)

Mit der Zweitmessung in diesem Haus sollte die sehr positive Diagnose, die F. Bergmann in seiner Diplomarbeit [1] formuliert hatte überprüft werden. Vor allen Dingen war die Frage, ob der hohe bauliche und anlagentechnische Standard, der kurz nach Bezug des Gebäudes zu den sehr guten Ergebnissen geführt hatte, weiterhin vorhanden ist, zu überprüfen.

An die energetische Qualität von Passivhäusern werden hohe Anforderungen hinsichtlich der Einhaltung von Grenzwerten für Primär- und Heizenergiebedarf gestellt. Weiterhin müssen die Bauteile der äußeren Gebäudehülle besondere Dämmanforderungen erfüllen. Besonders wichtig ist die Ausführung einer dichten Gebäudehülle. Diese wird mit dem Blower-Door-Test nachgewiesen. Diese dichte Gebäudehülle kann auch den Eintrag von Radon durch das Erdreich reduzieren oder sogar ausschließen.



Abb. 16: Haus 6

Das Haus 6 ist ein Einfamilienhaus, das 2005 errichtet wurde. Zwischen den beiden Messungen wurden keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt.

Im betrachteten Gebäude wurden Messungen im Keller, im Erdgeschoss und im 1. Obergeschoss vorgenommen. Die Belüftung des Hauses erfolgt durch eine Lüftungsanlage mit Wärmetauscher. Die Fenster sind, bis auf einige heiße Sommertage, an denen in den Morgenstunden gelüftet wird, stets geschlossen. Die durch F. Bergmann durchgeführte Messung der Bodenradonwerte lagen zwischen 27.000 und 111.200 Bq/m³.

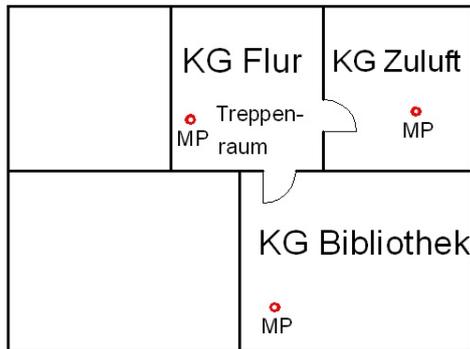


Abb. 17: Grundriss KG



Abb. 18: Grundriss EG

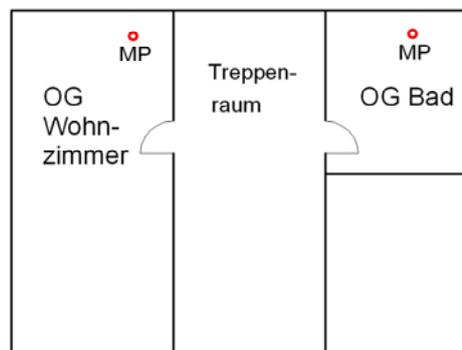


Abb. 19: Grundriss OG

Im Rahmen der Diplomarbeit von Frank Bergmann [1] wurden in drei Räumen des Gebäudes zeitaufgelöste Radonmessungen durchgeführt. Um die Datenbasis zu erweitern, wurden in der aktuellen Messungen weitere Messpunkte eingerichtet und im Obergeschoss vollständig andere Messpunkte gewählt (s. Tabelle 7).

Problematisch kann bei Passivhäusern die Ansaugung der Außenluft über ein Erdregister sein, wenn die Ansaugstelle dicht über dem Boden positioniert ist oder Undichtheiten im Erdregister vorliegen. Dadurch könnte Bodenluft mit erhöhter Radonkonzentration in das Gebäude eindringen. Die Außenluft wird im vorliegenden Falle jedoch 1,5 m über Erdboden gefasst. In dieser Höhe ist das vom Boden emittierte Bodenradon bereits so verdünnt, dass es keine hohen Konzentrationen im Gebäudeinneren verursachen kann. Die geringen Radonkonzentrationen im Gebäude lassen zudem den Schluss zu, dass das Erdregister weiterhin dicht gegen das Erdreich ist.

Tab. 7: Messergebnisse Haus 6

Raum	Abmessungen L x B x H [m]	Messwert 2006 [Bq/m ³]	Messwert 2010 [Bq/m ³]	Fenster / Türen
Keller Zuluft	3,5 x 4,5 x 2,6	72	52	Fenster geschlossen Türen geöffnet
Keller Bibliothek	6,5 x 4,5 x 2,6	-	69	Fenster geschlossen Türen geöffnet

Keller Flur	4,0 x 4,5 x 2,6	-	66	Fenster geschlossen Türen geöffnet
EG Bad	2,6 x 2,8 x 2,5	-	32	Fenster geschlossen Türen geöffnet
EG Wohnzimmer	7,5 x 5,5 x 2,5	59	36	Fenster geschlossen Türen geöffnet
OG Bad	3,2 x 2,8 x 2,5	-	30	Fenster geschlossen Türen geöffnet
OG Wohnzimmer	-	-	35	Fenster geschlossen Türen geöffnet

Im Keller sind die gemessenen Radonwerte etwas höher als in den oberen Etagen. Da der hier durchgeführte Blower-Door-Test außerordentlich geringe Druckabfallwerte erbracht hatte (s. [1] und [2]) und die Lüftungsanlage immer mit einem leichten Überdruck betrieben wird, ist es nicht sehr wahrscheinlich, dass diese erhöhten Werte im Keller durch konvektive Luftströmungen aus dem Erdreich verursacht sind. Vielmehr ist die von F. Bergmann aufgestellte These, dass hier als Ursache die Exhalation aus den Baustoffen zu vermuten ist, zu unterstützen.

Im Wohnzimmer des Erdgeschosses wurde ein Radonscout installiert. Im Ausleseprotokoll ist zu erkennen, dass die Schwankungen um den Mittelwert sehr gering sind (Abb.20). Dies hängt mit dem konstanten Betrieb der Lüftungsanlage zusammen. Demnach ist auch keine Periodizität in der Kurve festzustellen. Große Schwankungen, wie bei den oben diskutierten Altbauten, treten nicht auf.

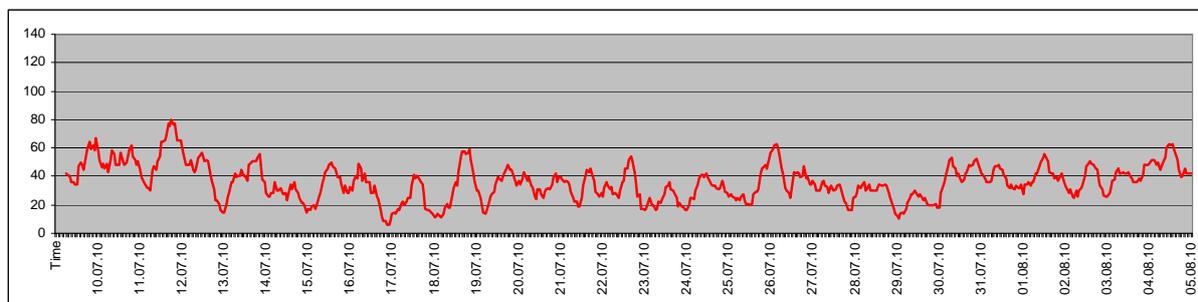


Abb. 20: Radonkonzentration, Wohnzimmer des Erdgeschosses

Im Vergleich zu den Erstmessungen 2006 konnten keine signifikanten Änderungen in der Radonkonzentration festgestellt werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das Projekt hat den Studenten einen interessanten Einblick in das durch Bauingenieure derzeit noch wenig praktizierte Thema des Radonschutzes von Gebäuden gegeben. Die hier vorgestellten Ergebnisse des Projektes zeigen, dass in der Mehrzahl der Gebäude die vor einigen Jahren durchgeführten Radonschutzmaßnahmen immer noch greifen. In zwei Objekten (Haus 2 und Haus 5) wurden aber erhöhte Radonwerte gemessen. Während für Haus 5 zu vermuten ist, dass hier eine veränderte Gebäudenutzung die Ursache ist, kann für Haus 2 ein Nachlassen der Wirkung der Radonschutzmaßnahmen nicht ausgeschlossen werden. Hier sollten weitere, auf einer Jahresmessung basierende Untersuchungen durchgeführt werden.

7 Literatur

- [1] Bergmann, Frank: Untersuchungen zur Radonsituation in Passivhäusern; Diplomarbeit HTW Dresden, 2006
- [2] Uhlig, Walter-Reinhold, Werner Preuße, Frank Bergmann, Alfred Taube: Radonsituation in Passivhäusern – Bericht zu untersuchten Fallbeispielen; Dresden 2006
- [3] Statens stralskyddinstitut – Swedish Radiation Protection Authority: Radonatgärders beständighet – longh term performance of different radon remedial methods in Sweden, SSI-Rapport 2001/10
- [4] H. Friedmann: Das österreichische nationale Radonprojekt ONRAP – Projekt-Endbericht; Bundesministerium für Gesundheit, Familie und Jugend

RADONSICHERE BAUAUSFÜHRUNG IN DER AUSBILDUNGSPRAXIS FÜR DACHDECKER

RADON SAFE EXECUTION OF CONSTRUCTION WORK IN PRACTICAL TRAINING FOR ROOFER

Steffen Wetzel

Dachdeckermeister, Gebäudeenergieberater und Dozent am LBZ, Bad Schlema

**Landesbildungszentrum
des Sächsischen Dachdeckerhandwerks e.V.**



Ihr Referent:

Steffen Wetzel

Dachdeckermeister, Gebäudeenergieberater
und Dozent am LBZ

Lößnitzer Str. 50
08301 Bad Schlema

Telefon: 03771 2589-0;
Fax: 03771 2589-190

E-Mail: info@LBZ-Sachsen.de;
Internet: LBZ-Sachsen.de

Abdichtung

Was bedeutet denn dicht?

Definition:

- Eine Dachabdichtung ist ein flächiges Bauteil zum Schutz eines Bauwerkes gegen Niederschlagswasser und andere Witterungseinflüsse
- Sie besteht aus einer über die gesamte Dachfläche reichenden wasserundurchlässigen Schicht (hergestellt aus Bahnen oder Planen oder einer flüssig hergestellten Schicht)
- Zur Dachabdichtung gehören auch Anschlüsse, Abschlüsse, Durchdringungen und Fugenausbildungen

Abdichtungen werden unterschieden nach:

- Art der Konstruktion
- Art der **Beanspruchung**
- Art der Nutzung



Gesetze und Normen :



Die Ausbildung im Dachdeckerhandwerk

Verordnung über die Berufsausbildung
Dachdecker/Dachdeckerin

§4 Ausbildungsberufsbild
(berufliche Qualifikation)

**... das Abdichten von Dach-,
Wand- und Bodenflächen
mit Kunststoffen und
bituminösen Werkstoffen**



Die Ausbildung im Dachdeckerhandwerk

Grundstufe

Vermittlung der Unterschiede in den **Konstruktionen**, welche **Werkstoffe** geeignet sind und welche **Verarbeitungsverfahren** diese benötigen



Fachstufe

Herstellen von **Anschlüssen**, **Abschlüssen** und **Durchdringungen** mit Bitumen- und Kunststoffbahnen



Schlussfolgerung:

- Im Dachdeckerhandwerk ist die Fachkompetenz zum Ausführen von Abdichtungen vorhanden.
- Die Verarbeiter sind sich über die Tragweite ihrer Arbeit bewusst.
- Das Dachdeckerhandwerk bildet in Sachsen in verbandseigenen Einrichtungen aus. Damit ist sichergestellt, dass schnell auf die Veränderungen am Markt reagiert werden kann.
- Durch die Lernortkooperation mit der Berufsschule werden Fähigkeiten und Fertigkeiten verknüpft
- In der praktischen Lehrunterweisung werden praxisnahe Situationen angewandt.

Aber...

das Thema Radon wird derzeit zu oberflächlich vermittelt!

- Es ist nicht im Rahmenlehrplan
- Die Kenntnisse über Materialien sind unzureichend
- Die Problematik in der Niedrigenergiebauweise
„Radonexposition in der Luft“ (Anforderung an Bauart; Lüftungstechnik)
wird vernachlässigt
- Es gibt keine Prüfung die einen Sachkundigen zertifiziert

Ziele:

- **Aufnahme des Themas in den Rahmenlehrplan der Berufsausbildung zum Dachdecker**
(Einsatz der Lehrlinge als Multiplikatoren in den Firmen)
- **Qualifizierung zum geprüften Fachverleger von Radonsperren**
- **Erstellen eines Registers qualifizierter Firmen im Internet**

Inhalt der Qualifizierung:

- Forschungsgeschichte „Bergsucht“
- Radon als Verursacher von Krankheiten
- Meßmethoden zur Bestimmung der Radon- und Thoron-Exhalationsraten und der Radondiffusionskoeffizienten
- Planung von Radonsperren im Innen- u. Außenbereich von Konstruktionen
- Trainieren von Fertigkeiten (Nahtverbindungen, An- u. Abschlüsse, Durchdringungen an horizontalen und vertikalen Bauteilen)
- Kenntnis- und Fertigungsprüfung mit Zertifizierung

Fazit

**Die Fertigkeiten sind im Dachdeckerhandwerk
vorhanden,**

was fehlt ist das Bewusstsein dieses Themas

und

die Installation einer Sicherheit für Bauherren,
Fachkompetenz zu erhalten

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Bei Fragen...

zögern Sie nicht mit uns in
Kontakt zu treten



Lößnitzer Str. 50
08301 Bad Schlema

Telefon: 03771 2589-0;
Fax: 03771 2589-190

E-Mail: info@LBZ-Sachsen.de;
Internet: LBZ-Sachsen.de

DER LUFTDURCHSTRÖMTE SCHOTTERSPEICHER – INNOVATION IN DER GEBÄUDELÜFTUNG

THE AIR-FLOWED GRAVEL STORAGE – AN INNOVATION IN THE BUILDING VENTILATION

Marcus Joppich, Zwickau

Westfälische Hochschule Zwickau

Zusammenfassung

Vorgestellt wird der luftdurchströmte Schotterspeicher als Komponente der Gebäudelüftung und Klimatisierung. Dieses innovative System ist in der Forschungsarbeit der Westfälischen Hochschule in Zwickau innerhalb des Verbundprojektes "LowEX" entwickelt und untersucht worden und stellte sich als effektive Alternative zu konventionellen Klimatisierungssystemen heraus. Eingegangen wurde dabei ebenfalls auf die Auswirkung eines solchen Speichers auf die Radonkonzentration im Gebäude.

Summary

The air-flowed gravel storage is introduced as component of the building ventilation and air conditioning. This innovative system was examined in the research work of the university of applied sciences in Zwickau within the compound project "LowEX" developed and turned out as effective alternative to conventional air conditioning systems. Was received thereby likewise on the effect of such a memory on the radon concentration in the building.

1. Notwendigkeit zur Energieeffizienz

Auf der internationalen Klimakonferenz in Bali (Dezember 2007) wurde der Konsens getroffen, dass innerhalb von zwei Jahren ein Nachfolgeabkommen zum Kyoto-Protokoll vereinbart wird. Bereits jetzt ist absehbar, dass die nationalen und internationalen Anstrengungen zum Erreichen der Schutzziele deutlich intensiviert werden. Aus diesem Grund verabschiedete die Bundesregierung bereits Ende 2007 ein integriertes Energie- und Klimaprogramm. Die Kernaussage des integrierten Energie- und Klimaprogramms lässt sich auf den weitaus effektiveren Einsatz von Energie aus fossilen Energieträgern und den weiteren Ausbau der regenerativen Energienutzung zurückführen. Hervorzuheben ist dabei die Verabschiedung eines Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEWärmeG).

Ein weiterer, wesentlicher Punkt für mehr Energieeffizienz in der Gebäudetechnik ist die Tatsache der Ressourcenknappheit und der damit einhergehenden Kostensteigerung für Heiz- und Kälteenergie. Nach statistischen Angaben aus dem Jahr 2003 betrug die statische Reichweite für Rohöl zwischen 43 und 45 Jahren, für Erdgas lag die Spanne zwischen 66 und 67 Jahren und für Kohle betrug sie 170 bis 187 Jahren. Da allerdings ständig neue Ressourcen entdeckt und neue Reserven

erschlossen werden sind diese Zahlen nicht das kritische Kriterium. Viel wichtiger für die Preisentwicklung von fossilen Energieträgern ist der Zeitpunkt ab dem die Förderung ihr Maximum erreicht hat bzw. rückläufig ist. Es deutet vieles darauf hin, dass dieser Zeitpunkt bereits erreicht ist. Wenn das Angebot von fossilen Energieträgern die Nachfrage nicht mehr decken kann muss durch neue Technologien dem Preisanstieg entgegen gewirkt werden. Ziel muss es daher sein bereits heute diese Technologien zu entwickeln und marktreif zu gestalten.

2. Zielstellung des luftdurchströmten Schotterspeichers

Der Luftaufbereitung bei raumluftechnischen Anlagen (RLT) kommt, sowohl aus energetischer Sicht als auch wegen höheren Komfortansprüchen der Raumnutzer, eine steigende Bedeutung bei der Gebäudeklimatisierung zu. Mit Hilfe von luftdurchströmten Schotterschüttungen sollen daraus resultierende Anforderungen in vielen Einsatzfällen vollauf erfüllt werden.

Ziel des Projektes ist der anwendungsbezogene Einsatz von Wärmeübertragern aus Schotterschüttungen in der Raumluftechnik, wobei die Nutzung der Umweltenergiepotentiale des Erdreiches und der Außenluft zur teilweisen bzw. vollständigen Substitution konventionell bereitgestellter Heiz- und Kühlenergie führen.

Mit Unterstützung der RLT-Anlage durch einen in den Lüftungs- und Klimatisierungsprozess integrierten, luftdurchströmten Schotterspeicher soll es möglich sein, auch unter Beachtung hoher Komfortansprüche der Raumnutzer, Reserven konventioneller Energieträger zu schonen, die CO₂-Bilanz des Gebäudes deutlich zu verbessern sowie Energiekosten zu minimieren. Die nachfolgende Abbildung zeigt den Vergleich eines konventionellen Heiz- und Kältesystems in einem zentralen Lüftungsgerät mit dem eines Schotterspeichers.

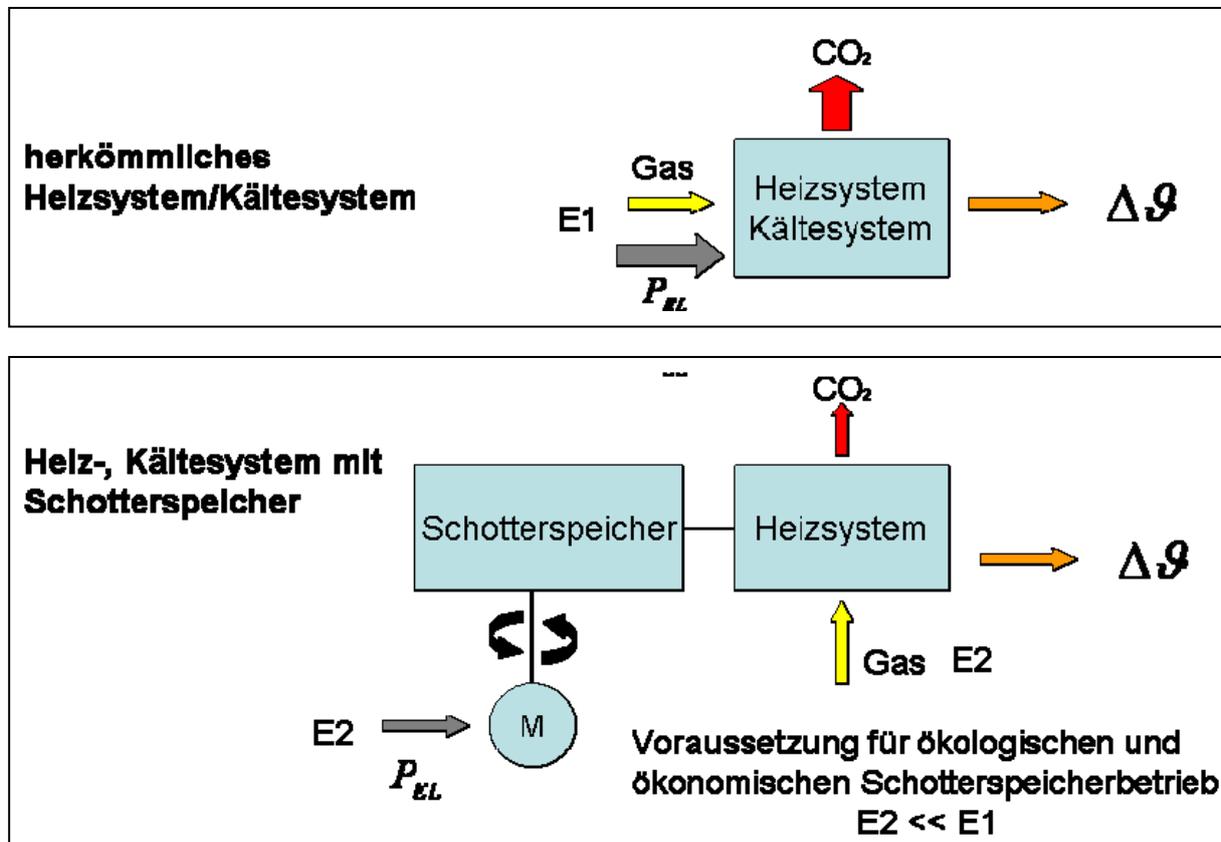


Abb. 1: Blockschaltbild Variantenvergleich

Die Westsächsische Hochschule Zwickau arbeitet seit einigen Jahren im Rahmen des Verbundkonzeptes „LowEx - Heizen und Kühlen mit Niedrigenergie“ an Vorhaben mit, die eine komplexe Nutzung der Umweltenergie zu Heiz- und Kühlzwecken durch innovative Systeme zum Ziel haben. Bisher vorliegende Ergebnisse zu den Leistungsmöglichkeiten von Schotterspeichern zur Luftaufbereitung für RLT- Anlagen zeigen diesbezüglich eine besondere Eignung des Systems. Es wird angestrebt, Auslegungsunterlagen so zu qualifizieren, dass eine komplexe Auslegung der Systeme durch Fachplaner möglich ist und der Bau von Wärmeübertragern mit Schotterschüttungen auf Basis planerischer Vorgaben durch Kooperation von Bau- und technischer Gebäudeausrüstung (TGA) einfach abgewickelt werden kann. Die energetischen und die Kostenvorteile sollen eine breite Anwendung des Systems ermöglichen.

3. Aufbau- bzw. Funktionsweise von Schotterspeichern

3.1 Aufbau eines Schotterspeicher

Der Schotterspeicher (1) besitzt eine quaderförmige Geometrie. Seine Größe ist abhängig vom Auslegungsvolumenstrom und der geforderten Speicherladedauer. Er befindet sich unter der Geländeoberkante (GOK). Dabei ist darauf zu achten, dass die gesamte Speicherkubatur oberhalb des höchsten zu erwartenden Grundwasserspiegels liegt. Der unterirdische Ausbau kann unter freiem Gelände, wie in FIG. 1 dargestellt, aber auch unter Gebäuden erfolgen.

Der Schotterspeicher wird an seinen Seitenflächen durch ein Luftvertei- bzw. -sammelsystem (2) begrenzt. Die beidseitigen Druckkammern bestehen aus handelsüblichen, luftdurchlässigen Bauelementen. Auf der Oberseite ist der Schotterspeicher mit einer wasserundurchlässigen Folie gegen eindringendes Oberflächen- oder Sickerwasser zu schützen. Die zur Belüftung des Gebäudes benötigte Außenluft wird über eine Außenluftansaugung (3) dem Luftverteilsystem zugeführt, durch die Schotter Hohlräume gesogen, am Austritt des Speichers als thermisch aufbereitete Außenluft gesammelt und über einen Lüftungskanal dem Lüftungsgerät im Gebäude zugeleitet. Der Zuluftventilator (4) des Lüftungsgerätes kompensiert die Druckverluste. Für die Regenerierung des Schotterspeichers wird ein zusätzlicher Regenerationsventilator (5) benötigt. Während der Speicherregeneration ist der Luftaustausch des Gebäudes über einen Bypass und eine weitere Außenluftansaugung sicherzustellen. Die Regenerationsluft wird über die Betriebsaußenluftansaugung ins Freie geblasen.

Da üblicherweise der Schotterspeicher seitlich und nach unten nicht hermetisch abgedichtet wird, kann Schichtenwasser in den Speicherkörper eintreten. Die durch den wesentlich größeren Hohlraumanteil bedingte Abnahme der Oberflächenspannung des Wassers führt zu einer Änderung der Fließrichtung. Das eintretende Schichtenwasser sammelt sich somit am Boden des Schotterspeichers und wird dort über vorhandene, handelsübliche Drainagerohre abgeleitet.

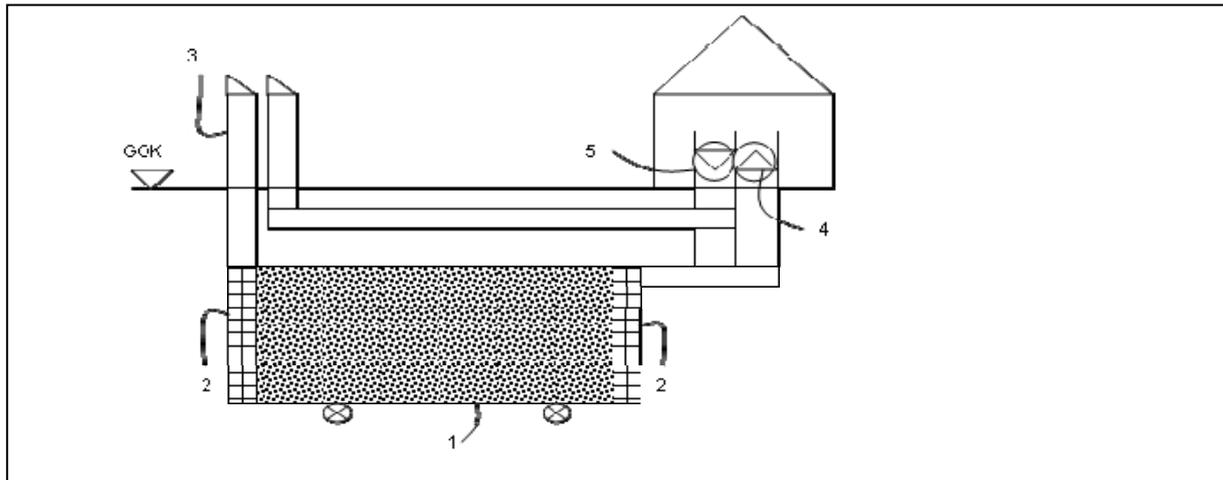


Abb. 2: *prinzipieller Aufbau als Schnittdarstellung*

3.2 Funktionsweise eines Schotterspeicher

Die Betriebsweise der Anlage ist abhängig vom betrachteten Auslegungszustand. Aus diesem Grund soll zwischen den Auslegungszuständen Sommer, Winter und Übergangsperiode unterschieden werden.

An einem Sommertag wird warme Außenluft durch den Schotterspeicher gefahren. Das Schotterbett nimmt dabei einen Teil der Außenluftwärme auf. Die Luft kühlt sich dabei soweit ab, dass sie ohne weitere Aufbereitung dem Raum zugeführt werden kann. In der Nacht wird der Schotter regeneriert. Hierzu wird kühle Nachtluft angesaugt und in umgekehrter Richtung durch den Schotterspeicher gefahren. Dabei erwärmt sich die durchdringende Luft am Schotter und kühlt diesen bis auf Außenlufttemperaturniveau wieder ab.

Im Winter erwärmt sich die kalte Nachtluft im Schotterbett bis auf das Temperaturniveau des Vortages. Anschließend wird die so vorgewärmte Luft im Klimagerät weiter auf Zulufttemperatur erwärmt und dem Raum zugeführt. Am Tag wird Außenluft über den Schotterspeicher gefahren. Dabei wird der Schotter regeneriert und auf das Temperaturniveau der Außenluft gebracht.

In der Übergangsperiode ist es möglich alle vier Betriebszustände zu durchlaufen. Dies ist abhängig von der dann vorherrschenden Außentemperatur.

4. Messergebnisse an luftdurchströmten Schotterspeichern

Bisher befinden sich 4 Schotterspeicheranlagen im Raum Westsachsen in Betrieb. Dabei handelt es sich um eine Versuchsanlage sowie 3 konventionell errichtete Anlagen. Der Luftdurchsatz der kleinsten Anlage beträgt ca. 350 m³/h und dient der Klimatisierung eines Zweifamilienhauses in Ottendorf bei Lichtenau. Die größte gebaute Anlage dient der Luftaufbereitung für ein Konferenzgebäude der Fa. Komsa AG in Hartmannsdorf bei Chemnitz. Der Spitzenluftdurchsatz beträgt 30.000 m³/h.

4.1 Pilotanlage Zwickau Laborhalle

Die Pilotanlage wurde im Zuge des Laborhallenneubaus der Westsächsischen Hochschule Zwickau errichtet. Der stündliche Luftdurchsatz beträgt 11.500 m³/h. Als Speichermaterial wurde Granitgrobschotter verwendet. Folgende Abbildung zeigt die monatliche Auswertung des benötigten Kälteenergiemengenbedarfes und die aus dem Speicher zur Verfügung gestellte Kälteenergiemenge in % sowie die benötigte Heizenergiemenge und ebenfalls die aus dem Speicher entnommene Heizenergie in %.

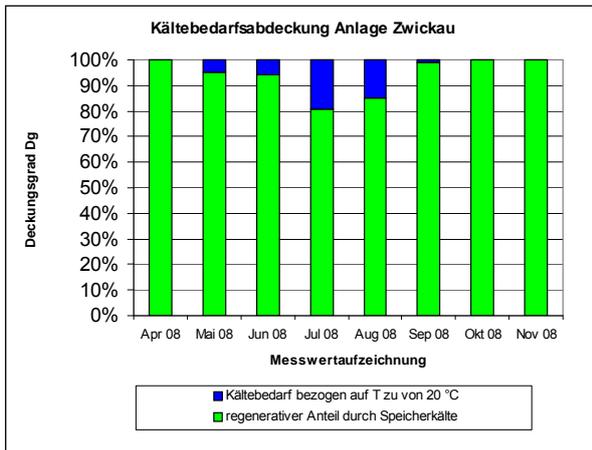


Abb. 3: monatlicher Kältedeckungsgrad

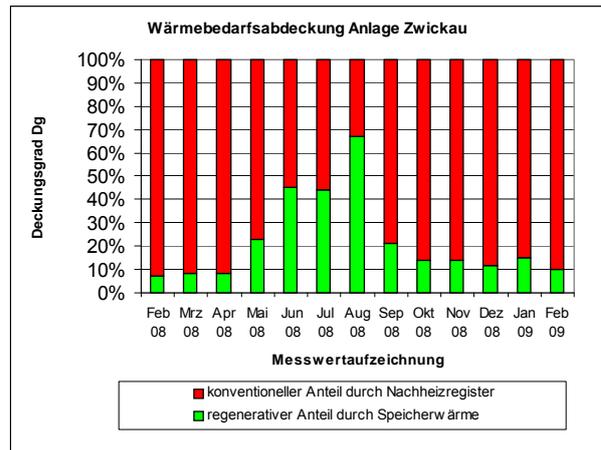


Abb. 4: monatlicher Wärmedeckungsgrad

Der durchschnittliche Deckungsgrad an benötigter Kälteenergiemenge für die Laborhallenlüftung im Jahr 2008 betrug 90 %. Mit dem System luftdurchströmter Schotterspeicher konnte für diese spezielle Anlage somit eine Kälteenergiemenge von 10 MWh eingespart werden. Bedingt durch die Eigenschaft in kälteren Witterungsperioden die Luft vorzuwärmen, war eine Heizenergieeinsparung von 25,9 MWh im Jahr 2008 erreichbar. Dies sind 14 % vom Jahresheizenergiebedarf der Lüftungsanlage.

Durch diese Einsparungen war es möglich auf konventionell erzeugte Kälte komplett zu verzichten sowie einen beachtlichen Anteil der Heizleistung zu substituieren. Die Anschaffungskosten der zentralen Lüftungsanlage verringerten sich deutlich, da die Anschaffung eines Kaltwassersatzes und die Investition des Kälteregisters, inklusive Steuerung und Regelung, komplett eingespart wurden. Darüber hinaus konnte das Heizregister kleiner dimensioniert werden. Die eingesparte CO₂ – Menge betrug für diese Anlage 7,44 t im Jahr 2008. Der durchschnittliche Gütegrad der Schotterspeicheranlage war mit 19,3 deutlich über den Erwartungen. Es wurde also ca. 19-mal mehr regenerative Energie aus dem System entnommen als für den Ausgleich des Druckverlustes zusätzlich benötigt wurde. Zum Vergleich, Wärmepumpen arbeiten durchschnittlich mit Gütegrad (Arbeitszahl) von 2 bis 3.

4.2 Schotterspeicheranlage W&S Feinmechanik GmbH

Die Schotterspeicheranlage der Firma W&S Feinmechanik GmbH befindet sich unterhalb der Bodenplatte einer neu errichteten Werkhalle auf deren Firmengelände in Altgeringswalde. Mit einer Speichergröße von 180 m³ ist dieser optimal für einen Luftvolumenstrom von 22.000 m³/h ausgelegt. Das Speichermedium ist ein Grauwackegrobschotter, welcher mit einer Mächtigkeit von 2,5 m unter der Bodenplatte verbaut wurde. Das folgende Diagramm zeigt dabei deutlich die dämpfende Wirkung des Schotterspeichers in einer Hitzeperiode (24.07.2008 bis 02.08.2008). Für die Werkhalle gilt eine

Soll Zulufttemperatur von 20 °C. Mit blauer Farbe wurde der Außentemperaturgang dargestellt. Die rote Kurve zeigt die Speicheraustrittstemperatur.

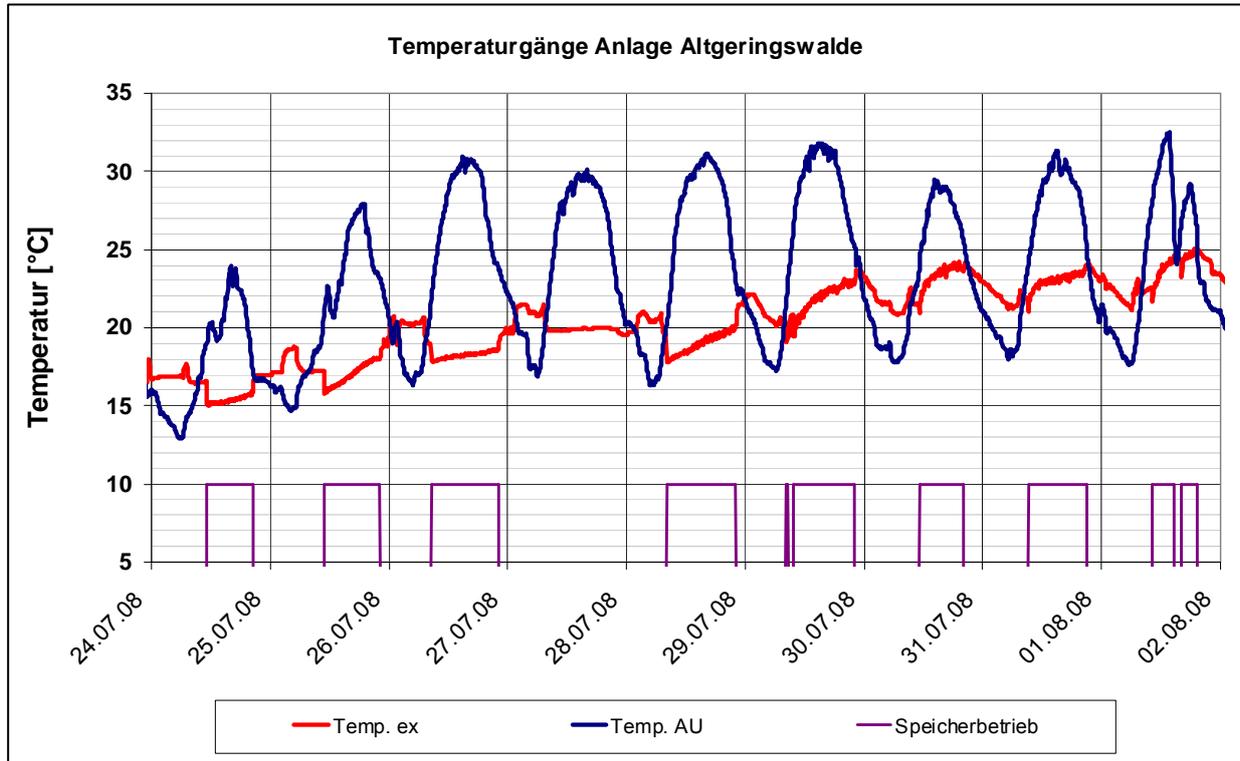


Abb. 5: monatlicher Wärmedeckungsgrad

Deutlich ist eine Absenkung der Lufttemperatur im Speicher zu verzeichnen. Eine optimale Auslegung gewährleistet dabei, dass der Speicher die Außenluft auf das Niveau der gewünschten Zulufttemperatur abkühlt. Dies ist auf Grund des Charakters des Speichers (Nutzung von Umweltenergie der Außenluft) nur bedingt machbar. Es kann allerdings gezeigt werden, dass selbst bei Außentemperaturen von über 30 °C eine Luftabkühlung von ca. 10 Kelvin realisiert werden kann.

5. Hygiene- und Radonmessungen an luftdurchströmten Schotterspeichern

5.1 Schotterspeicheranlage Fa. Komsa AG Hartmannsdorf

Zunächst erfolgt eine kurze, baukonstruktive Beschreibung des Schotterspeichers am Standort. Der Speicherkörper hat eine quaderförmige Kubatur mit einer Abmessung (H/B/L) von 2 m / 5 m / 20 m. Als Trägermaterial wurde Metagrauwacke mit einer Grobschotterschüttung der Kornverteilung 45/150 eingebaut. Diese wird von der benötigten Außenluft direkt durchströmt. Zur Luftverteilung dienen Druckkammersysteme bestehend aus Luftboxen. Die Regeneration erfolgt ebenfalls mit Hilfe von Außenluft, welche den Speicher direkt durchströmt. Der Speicherkörper wurde unterhalb der außen liegenden Parkflächen des Versorgungshofes errichtet. Er ist weder thermisch noch hermetisch gegen das umschließende Erdreich abgedichtet. Zur stofflichen Trennung des Systems wurde der Gesamtkörper mit Geotextil umschlossen.



Abb. 6: Schotterspeicheranlage Hartmannsdorf

Diese Schotterspeicheranlage stellt die größte Realisierung innerhalb dieses Forschungsprojektes dar. Sie wurde für einen maximalen Luftdurchsatz von 30.000 m³/h konzipiert. Auch hier hat sich der Speicher als integrierte Maßnahme zur Luftaufbereitung im Rahmen des Gesamtlüftungskonzeptes bewährt.

5.2 Hygieneuntersuchungen an luftdurchströmten Schotterschüttungen

Bei der Integration von Schüttungen aus natürlichen Gesteinspartikeln in ein Lüftungssystem zur Klimatisierung von Räumen stellte sich die Frage der Einhaltung hygienischer Grenzwerte der Zuluft. Aus diesem Grund wurden mehrere Messkampagnen an den bereits in Betrieb genommenen Schotterspeichern in Auftrag gegeben. Die Messungen wurden, unter anderen an der Anlage Hartmannsdorf, vom ILK Dresden durchgeführt. Bestandteil waren hierbei Untersuchungen auf koloniebildende Einheiten (KBE) von Bakterien und Pilzen.

Die Ergebnisse zeigten keine Konzentrationserhöhungen. In allen Messungen konnte eine deutliche Reduzierung der Konzentration luftgetragener KBE Bakterien sowie Pilzen gezeigt werden. Demzufolge waren die Konzentrationen der einbezogenen KBE in der Außenluft höher als in der Zuluft unmittelbar nach Durchströmen der Schüttungen. Hefen konnten nach dem Wärmespeicher nicht nachgewiesen werden.

Die durchgeführten Messungen haben ergeben, dass keine Bedenken aus Sicht der Hygiene bei einem Betrieb eines luftdurchströmten Schotterspeichers bestehen.

5.3 Untersuchungen auf Radonbelastung am luftdurchströmten Schotterspeicher

Auch wenn es bis heute keine Richtwerte für maximale Strahlungsbelastung für Räume gibt, ist bei der Entwicklung von Lüftungskomponenten sowie bei der Wahl von Materialien im Gebäudebau auf eine Reduktion der Radonkonzentration zu achten. In einem luftdurchströmten Schotterspeicher kommt die Zuluft in direkte Verbindung mit natürlichen Gesteinsschüttungen. Diese Tatsache verlangte aus Sicht der Projektbearbeiter eine nähere Untersuchung der Auswirkungen auf die Radonkonzentration der Zuluft.

Der Schotterspeicher Hartmannsdorf wurde auf Grund seiner Mächtigkeit für die Untersuchungen auf radioaktive Zerfallsprodukte gewählt. Es wurden mehrtägige Messungen mit Speicherbetrieb sowie

ohne Speicherbetrieb durchgeführt und ausgewertet. Zusätzliche Messungen betrachteten ebenfalls die Zerfallsprodukte des Radon. Die Ergebnisse sind in Abb. 7 aufgezeigt.

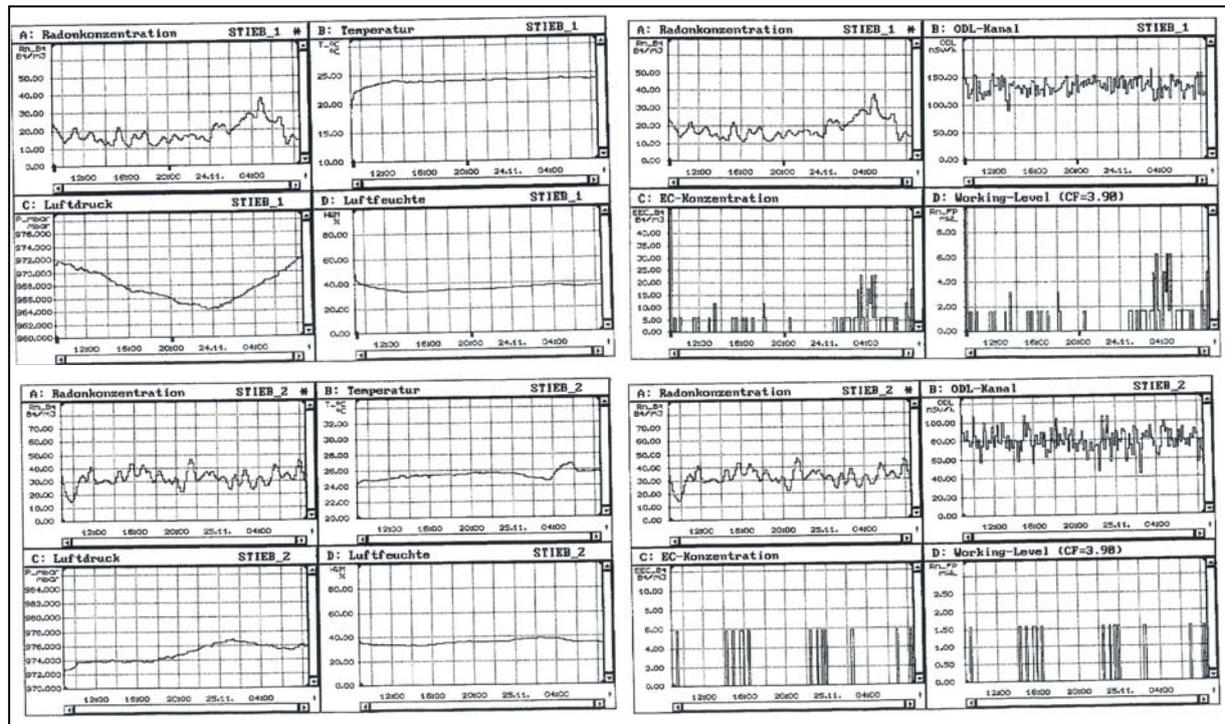


Abb. 7: Ergebnisse der Radonmessung

Zu sehen sind in der oberen Reihe die Konzentrationen bei Lüftungsbetrieb ohne Schotterdurchlüftung sowie in der unteren Reihe mit Schotterdurchlüftung. In Betrachtnahme der möglichen Messunsicherheiten ist keine auffällige Veränderung der Radonkonzentration nachzuweisen. Im gesamten Messzeitraum wurden selbst niedrigste Maximalwertempfehlungen nicht überschritten. Ein positiv wirkender Effekt der Schotterbettdurchdrömung konnte bei der Aufnahme der Zerfallsprodukte gemessen werden. Die Auswertung der Working-Level-Werte hat ergeben, dass sich im Speicherbetrieb lediglich 3 von 100 Becquerels Zerfallsprodukte des Edelgases Radon in der Raumluft befinden. Ohne Speicherbetrieb wurden 20 von 100 ermittelt. Ob dieser Effekt im Allgemeinen zu erwarten ist, ist noch unklar. Allerdings ist aus Sicht der radioaktiven Belastung eine luftdurchströmte Schotterschüttung als unbedenklich einzustufen.

6. Zusammenfassung der vorliegenden Erkenntnisse

Aus den derzeit vorliegenden Ergebnissen zum Betrieb von luftdurchströmter Erdwärmespeicher mit Schotterschüttung gehen folgenden Erkenntnisse hervor:

- Relativ geringer Platzbedarf (ca. 1 m³ Schotter / 100 m³/h Luft).
- Einfache Installation unter Gebäudefundamenten bzw. Freiflächen.
- Die Vorwärmung der Außenluft durch den Wärmespeicher mit Schotterschüttung im Heizfall macht zusätzliche Frostschutzmaßnahmen häufig überflüssig.
- Für den Kühlfall im Sommer wird neben einer Temperaturabsenkung auf übliche Zulufttemperaturen auch eine Entfeuchtung erreicht. Auf maschinelle Kühlung kann in den meisten Fällen vollständig verzichtet werden.
- Durch geeignete Auslegung der Schotterspeicher lassen sich die benötigten Leistungen zum Heizen und Kühlen an praktisch alle Anforderungen anpassen.
- Den jährlichen Wärme- und Kältegewinn durch den Schotterspeicher steht als energetische Aufwendung nur die durch den luftseitigen Druckverlust bedingte zusätzliche Ventilatorenantriebsenergie gegenüber. Entsprechend gebildete Effektivitätskennzahlen bei Versuchsanlagen zeigen Werte von $\epsilon > 10$.
- Spezifische Investitionskosten von ca. 290 €/m³ Schotterschüttung
- CO₂ – Einsparungspotential von ca. 150 kg/m³ Schotterschüttung im Jahr
- Es bestehen weder in der Hygiene noch in der Radonbelastung Bedenken.

Referentenverzeichnis

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

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

Herbert Wolff

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

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

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

Dipl. Phys. Eiko Hermann

Geschäftsführer
B.P.S. Engineering GmbH
D-08066 Zwickau, Reinsdorfer Straße 29
Telefon: 0375 / 440688 - 10 Tefefax: 0375 / 440688 - 12
www.bps-zwickau.de email: Hermann@bps-zwickau.de

Eberhard Paul

Paul Wärmerückgewinnung GmbH, Reinsdorf
D-08141 Reinsdorf, August-Horch-Straße 7
Telefon: 0375 / 303505-0 Tefefax: 0375 / 303505-55
www.paul-lueftung.de emai.: info@paul-lueftung.de

Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht

Institut für Massivbau der Universität Darmstadt
D-64287 Darmstadt, Petersenstraße 12
Telefon: 06151 / 16 2244
www.wib-tud.de email: garrecht@massivbau.tu-darmstadt.de

Frank Leder

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

Dr. Werner Preuße

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

Dr. rer. nat. Jürgen Conrady

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

Dr. Mag. Luigi Minach

Abteilungsleiter der Landesagentur für Umwelt in Südtirol/Italien
I-39100 Bozen, Amba Alagi Str. 5
www.provinz.bz.it/umweltagentur email: Luigi.Minach@provinz.bz.it

Dipl.-Ing. (FH) Markus Fischer

Masterstudent
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
D-01069 Dresden, Friedrich-List-Platz 1
www.bau.htw-dresden.de email: post.an.markus@gmx.net

Steffen Wetzel

Dachdeckermeister, Gebäudeenergieberater und Dozent
Landesbildungszentrum des Sächsischen Dachdeckerhandwerks e.V.
D-08301 Bad Schlema, Lößnitzer Straße 50
www.LBZ-Sachsen.de email: info@LBZ-Sachsen.de

Dipl.-Ing. (FH) Marcus Joppich

Westsächsische Hochschule Zwickau
D-08066 Zwickau, Scheffelstraße 39
Telefon: 0375 / 536 3896
www.fh-zwickau.de email: marcus.joppich@fh-zwickau.de



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

Dresden 2010

Redaktionelle Bearbeitung: M.Sc. Ronny Sachse

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

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.

Druck und Bindung:
Lichthaus- und Kopierstudio Dresden