9. SÄCHSISCHER RADONTAG

11. TAGUNG RADONSICHERES BAUEN

8. SEPTEMBER 2015

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK
UND WIRTSCHAFT DRESDEN

veranstaltet durch:

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft - SMUL

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

unterstützt durch:

HTW Dresden
Hochschule für
Technik und Wirtschaft Dresden

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

INHALT

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

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

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

UMSETZUNG DER EU-GRUNDNORM *– AKTUELLER STAND UND RECHTLICHE FOLGEN*

Dr. Stephanie Hurst
Stand der Umsetzung der Richtlinie 59/2013 (Euratom) hinsichtlich des Radonschutzes in ausgewählten Mitgliedsstaaten der EU 11

Guido Kleve
Überführung der EU-Grundnorm in deutsches Recht 15

Winfried Meyer
Hohe Radonkonzentration – besonders betroffene Gebäudetypen 17

RADONSCHUTZ IN BEREICHEN MIT UNTERIRDISCHEN HOHLRÄUMEN

Martha Palacios
Radonschutzmaßnahmen in Karstgebiet der Schweiz 25

Prof. Bernd Leißring
Radonschutzprobleme in geologisch/bergbaulich beeinflussten Standorten 29

RADONSCHUTZ AN ARBEITSPLÄTZEN

Dr. Andreas Guhr und Nick Leißring
Arbeitsplatzüberwachung bei erhöhter natürlicher Strahlungsexposition 39

Roland Baumann
Erfahrungen von Messungen in Wasserwerken 47

ERFAHRUNGSBERICHTE

Thomas Neugebauer
Bestimmung der Radon-Quellstärke im Zusammenhang mit Maßnahmen zur energetischen Sanierung von Gebäuden 63

Jan Gottwald
Umweltanalyse zur Strahlenbelastung durch Radon in sächsischen Gebäuden und Auswirkungen der EnEV – ein altes Problem mit neuen Dimensionen 71

Dr. Walfried Löbner
Erfahrungen aus praktischer Tätigkeit zur Verbesserung der Radon-Situation in Sachsen – ein persönlicher Rückblick und Perspektiven für junge Strahlenschützer 79

Referentenverzeichnis 91

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 zum 9. Sächsischen Radontag in Dresden.

Seit 2005 kommen hier einmal in jedem Jahr Fachleute aus ganz unterschiedlichen Fachgebieten zu einer eintägigen Veranstaltung zusammen, um aktuelle Fragen des radonsicheren Bauens und Sanierens zu erörtern. Weitere Schwerpunkte dieser Veranstaltung waren immer auch Beiträge zu den theoretischen Grundlagen sowie die Vorstellung von Fallbeispielen radonsicherer Neubauten und Sanierungslösungen.

Der Sächsische Radontag greift auch in diesem Jahr eine Reihe von Aspekten der aktuellen Entwicklungen des radongeschützten Bauens und Sanierens auf. So ergeben sich vor allen Dingen aus der Umsetzung der Europäischen Grundnorm Strahlenschutz (Richtlinie 2013/59/EURATOM) in deutsches Recht eine Reihe neuer Anforderungen an das Bauwesen, die in den ersten Beiträgen der Tagung thematisiert werden. Mit der 2013 beschlossenen Neufassung der EU Grundnorm Strahlenschutz ist erstmals der bauliche Radonschutz in einer EU-Grundnorm als Aufgabe für das gesamte Bauwesen verankert worden. Bis zum Jahre 2018 sind diese Anforderungen in nationales Recht zu übernehmen, woraus sich für alle im Bauwesen Tätige vollkommen neue Anforderungen ergeben!

Weitere Schwerpunkte der diesjährigen Tagung sind der Zusammenhang zwischen Geologie und Radonbelastung sowie der Radonschutz an Arbeitsplätzen. Gerade in Sachsen beschäftigt sich eine große Anzahl von Fachleuten seit vielen Jahren mit dem baulichen Radonschutz. Deren reicher Erfahrungsschatz wird das Themenspektrum der diesjährigen Tagung abrunden.

Mit diesem hier kurz umrissenen Themenspektrum hoffen wir, Ihnen, liebe Gäste des Sächsischen Radontages 2015, viele interessante Aspekte und neue Erkenntnisse zum radongeschützten Bauen und Sanieren vermitteln zu können!

Viele haben im Vorfeld zum Gelingen unserer heutigen Tagung beigetragen. Bedanken möchte ich mich insbesondere bei den Mitarbeitern der Fakultät Bauingenieurwesen / Architektur und der Hochschulleitung der HTW Dresden, beim Forschungsinstitut der HTW Dresden, dem ZAFT e. V. sowie bei den Vertretern des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft für deren vielfältige Unterstützung!

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Vorsitzender KORA e.V.

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

Grußwort zum 9. Sächsischen Radontag - 11. Tagung Radonsicheres Bauen

Ich freue mich, Sie als Teilnehmerinnen und Teilnehmer zur Tagung „Radonsicheres Bauen und Sanieren“ an der Hochschule für Technik und Wirtschaft (HTW) Dresden begrüßen zu dürfen. Bereits zum 11. Mal lädt das Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen und Sanieren (KORA e.V.) zu der eintägigen Veranstaltung ein, die seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) als „Sächsischer Radontag“ veranstaltet wird.

Auf den bisherigen zehn Tagungen sind die Fragen zur Radonbelastung in Gebäuden und zum Schutz vor erhöhter Belastung in vielfältiger Weise thematisiert worden, sodass man konstatieren kann, dass seitdem kaum ein Aspekt des radonsicheren Bauens und Sanierens unberührt geblieben ist. Die diesjährige Tagung wird sich besonders der praktischen Anwendung des baulichen Radonschutzes widmen. Hintergrund bildet die EU-Grundnorm Strahlenschutz 2013, in die erstmalig EU-weit Anforderungen an das radonsichere Bauen aufgenommen worden sind. Deren bis 2018 abzuschließende Umsetzung in nationales Recht wird gerade an das Bauwesen noch vielfältige neue Anforderungen stellen.

Das Ziel unserer Hochschule, Forschung und Lehre mit der Praxis zu verbinden, spiegelt sich auch in der Zusammenarbeit zwischen dem KORA e.V. und der HTW Dresden wider. So wird im Studiengang Bauingenieurwesen der Ausbildungsschwerpunkt Radonsicheres Bauen im Rahmen der Vertiefungsrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau/Bauwerkserhaltung“ im 7. Studiensemester seit vielen Jahren als eigenständige Lehrveranstaltung angeboten Seitdem sind mehr als zehn Abschlussarbeiten zu Fragen des radonsicheren Bauens und Sanierens sowie eine Reihe von Projektarbeiten im Masterstudiengang Bauingenieurwesen, letztere mit den Themenschwerpunkten Radonmessung und Entwicklung von Sanierungslösungen, im Rahmen dieses Ausbildungsschwerpunktes verfasst worden. Viele dieser Arbeiten wurden bereits auf früheren Radontagen präsentiert.

Inzwischen ist es zur guten Tradition geworden, dass der Sächsische Radontag hier in den Räumen der HTW Dresden stattfindet. Ich danke allen, die an den Vorbereitungen der Tagung beteiligt waren und zum Gelingen der Veranstaltung beigetragen haben.

Allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern wünsche ich eine interessante Tagung mit vielen erkenntnisreichen Einblicken in das radonsichere Bauen und Sanieren.

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,

ein herzliches Willkommen an alle Teilnehmer des diesjährigen 9. Sächsischen Radontages. Auch mit Ihrer Teilnahme an dieser Veranstaltung tragen Sie alle wieder dazu bei, die Kenntnisse zur Radonmessung und zum Radonschutz noch stärker zum Allgemeingut zu machen. Ich bin davon überzeugt, dass dieses Ziel mit Hilfe der vielfältigen bereits auf den Weg gebrachten und noch geplanten Aktivitäten erreicht werden kann. Diese Aktivitäten sind Teil der sächsischen Radonstrategie, die wir in Vorbereitung auf die Herausforderungen, die uns nach Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom erwarten, entwickelt haben.

Die sächsischen Radontage stellen ein zentrales Kommunikationsmodul unserer Strategie dar. Daneben gibt es unsere sehr umfassende Website (www.radon.sachsen.de) und eine Radonbroschüre mit allgemeinen Informationen zu Radon für Einsteiger in die Themen-stellung sowie verschiedene spezielle Veröffentlichungen, wie zum Beispiel die neue inter-aktive Radondatenbank, die auf der Website des KORA e. V. zu finden ist, oder die Handreichungen für Lehrer zur Vermittlung der Fragestellung im Physikunterricht.

Eine bedeutende Rolle bezüglich der Kommunikation hat die Sächsische Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft (BfUL) inne. Sie stellt nicht nur die Radonberatungsstelle, sondern die Kollegen vermitteln die Radonthemenstellung jedes Jahr bei den großen sächsischen Baumessen, zum Beispiel in Dresden, Chemnitz und Zwickau, und führen mit den Teilnehmern dort Beratungsgespräche durch. Sie tragen das Thema Radonschutz in Weiterbildungsveranstaltungen für Architekten und informieren die interessierte Bevölkerung, zum Beispiel bei der langen Nacht der Wissenschaften und im Rahmen des Gläsernen Regierungsviertels. Sie führen auch Messprogramme durch, die einen weiteren Eckpfeiler der Strategie darstellen. Mit Hilfe dieser Messprogramme kann eine Datengrundlage zur Bewertung der Radonsituation in Sachsen geschaffen werden. Sie dienen außerdem der Vorbereitung auf die Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom, in denen Festlegungen zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen und in Wohnungen getroffen werden.

Die Ausbildung von Radonfachpersonen ist ein weiterer Eckpfeiler und hat in diesem Jahr zum zweiten Mal beim Berufsförderungswerk Bau in Dresden stattgefunden. Auf unserer Website sind die Adressen der Fachleute ebenfalls zu finden. Um die sächsischen Kommunen beim Radonschutz zu unterstützen, werden wir außerdem eine Fortbildung für deren Mitarbeiter durchführen. Die Kommunen sollen in die Lage versetzt werden, den Radonschutz in den eigenen Gebäuden zu gewährleisten und auch betroffenen privaten Hauseigentümern Rat zu geben.

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft wird sich dafür einsetzen, dass die Umsetzung der o. g. Richtlinie in einer Weise erfolgt, die allen einen guten Schutz vor Radon ermöglicht und trotzdem zu keiner unzumutbaren Belastung für alle Betroffenen führt. Dazu soll auch der heutige Radontag beitragen, dem ich viele neue Erkenntnisse und einen guten Verlauf wünsche.

Herbert Wolff

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

STAND DER UMSETZUNG DER RICHTLINIE 2013/59/EURATOM HINSICHTLICH DES RADONSCHUTZES IN AUSGEWÄHLTEN MITGLIEDSTAATEN DER EU

STATE OF IMPLEMENTATION OF DIRECTIVE 2013/59/EURATOM REGARDING RADON PROTECTION IN SELECTED MEMBER STATES OF THE EUROPEAN UNION

Stephanie Hurst

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Zusammenfassung

Die Richtlinie 2013/59 Euratom ist am 06.02.2014 in Kraft getreten. Die Mitgliedstaaten sind nun gefordert sie bis zum 06.02.2018 in nationales Recht umzusetzen. Durch in den Mitgliedstaaten durchaus nicht einheitliche Rechtsstrukturen werden die Regelungen zwar inhaltlich vergleichbar, aber in unterschiedlichen Rechtsbereichen umgesetzt werden. Auch werden die unterschiedlichen Ausgangssituationen in Bezug auf Radonschutzregelungen sowie unterschiedliche Erfahrungen mit der Themenstellung die jeweilige konkrete Umsetzung beeinflussen. Aktivitäten zur Umsetzung wurden in vielen Mitgliedstaaten begonnen, jedoch kann derzeit für keinen Mitgliedstaat verbindlich ausgesagt werden, welche Modifikationen es noch bis 2018 geben wird. Andererseits ist bei den Mitgliedstaaten, die sich schon länger mit Radonschutz in Gebäuden befassen, davon auszugehen, dass es bis 2018 keine grundlegend anderen Vorgehensweisen geben wird.

Die im Text angeführten Mitgliedstaaten wurden beispielhaft ausgewählt. Eine umfassende Erfassung der Situation in allen Mitgliedstaaten der EU konnte nicht erfolgen. Die Einbeziehung der Schweiz erfolgte aufgrund der dortigen grundsätzlichen Orientierung am internationalen Kenntnisstand und an den internationalen (auch EU-) Vorgaben.

Summary

Directive 2013/59/Euratom came 6th February 2014 into force. The member states have to implement the directive into national legislation until 6th of February 2018. According to different legal structures in the member states legislation will be comparable with regards to content, but may be implemented in different legal areas. Additionally the different current experience regarding radon regulation as well as different expertise with all aspects of radon protection will affect the implementation. Activities for implementation started in many member states, but at present it is not possible to make a mandatory statement for any member state, which modifications will come until 2018. On the other hand it is assumed that member states who have engaged themselves with radon protection issues since many years will not change their plans basically until 2018.

The member states mentioned in the following text are chosen exemplary. A comprehensive compilation of the situation in all member states of the European Union was not possible. The inclusion of Switzerland resulted from the fact, that this European country is basically orientating its radon regulations on the international state of the art and international (also European) legislation.

1 Ausgangssituation

Bisher galt in Bezug auf den Schutz vor Radon in Gebäuden eine Euratom-Empfehlung [1] aus dem Jahr 1990, die i. W. folgende Randbedingungen vorgab:

Für Neubauten: Als Planungswert ist eine effektive Äquivalentdosis von 10 mSv pro Jahr festzulegen, die aus praktischen Gründen mit einer jährlichen durchschnittlichen Radongaskonzentration von 200 Bq/m³ gleichgesetzt werden kann.

Für Bestandsbauten: Als Referenzwert ist eine effektive Äquivalentdosis von 20 mSv pro Jahr festzulegen, die aus praktischen Gründen mit einer jährlichen durchschnittlichen Radongaskonzentration von 400 Bq/m³ gleichgesetzt werden kann.

Mit dieser Empfehlung wurde in den Mitgliedstaaten unterschiedlich umgegangen. Während es z.B. in Irland und Großbritannien, sowie in skandinavischen Ländern zur gesetzlichen Verankerung der Empfehlung und auch zu umfangreichen Maßnahmenprogrammen kam, haben die meisten anderen Mitgliedstaaten zwar ebenfalls Aktivitäten zum Radonschutz entwickelt, diese jedoch in den meisten Fällen nicht in eigenen Regelungen verankert.

Mit Inkrafttreten der Richtlinie 2013/59/Euratom [2] am 06.02.2014 wurden den Mitgliedstaaten zum ersten Mal verpflichtende rechtliche Regelungen zum Schutz vor Radon in Gebäuden vorgelegt. Diese beinhalten in Artikel 54 den Schutz vor Radon am Arbeitsplatz, in Artikel 74, den Schutz vor Radon in Innenräumen und in Artikel 103 die Schaffung eines Radon-Maßnahmenplans. Dabei ist der Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen deutlich verbindlicher als der Schutz vor Radon in Wohngebäuden geregelt. Hier werden Arbeitgeber in bestimmten, extra auszuweisenden, Gebieten verpflichtet Radonmessungen im Keller und im Erdgeschoss von Arbeitsstätten durchzuführen sowie dafür Sorge zu tragen, dass der Referenzwert eingehalten wird (d.h. ggf. Maßnahmen zu treffen). Bei fortgesetzter Überschreitung von 6mSv/a werden die Arbeitnehmer dem Strahlenschutz unterstellt.

Die Richtlinie gibt für alle Sachverhalte – Radon in Innenräumen, Arbeitsplätzen und öffentlichen Gebäuden, jeweils sowohl für Neu- als auch für Bestandsbauten – den gleichen Referenzwert von max. 300 Bq/m³ vor. Das heißt, dieser Referenzwert darf bei der Umsetzung in den europäischen Mitgliedstaaten nicht überschritten werden, jedoch können auch niedrigere Referenzwerte für einzelne oder alle Sachverhalte festgelegt werden. Andererseits ist der Referenzwert als ein Wert definiert „…oberhalb dessen Expositionen als unangemessen betrachtet werden, auch wenn es sich nicht um einen Grenzwert handelt, der nicht überschritten werden darf.“ Die Maßnahmen zur Einhaltung dieser Werte sollen im Rahmen der nationalen Radonaktionspläne festgelegt oder empfohlen werden.

2 Aktuelle Handhabung und geplante zukünftige Referenzwerte und Maßnahmen

Bereits mit Veröffentlichung der o.g. EU-Empfehlung im Jahr 1990 haben sich die meisten Mitgliedstaaten mit dem Schutz vor Radon in Gebäuden befasst. Die nachfolgenden Ausführungen dazu zeigen dies für einige ausgewählte Mitgliedstaaten ohne Anspruch auf Vollständigkeit auf.

In *Großbritannien* gibt es ein „Action Level“ – vergleichbar einem Maßnahmenwert - von 200 Bq/m³ für den durchschnittlichen Gebäudewert im Jahresmittel, der 1990 festgelegt wurde. Alle Haushalte sind angewiesen, die Radonkonzentration unterhalb dieses Wertes zu halten. Zusätzlich beinhaltet ein Gesetz namens “Housing Act” aus dem Jahr 2004 [3] das Radonrisiko und verlangt Maßnahmen sofern die Referenzwerte in Wohngebäuden überschritten werden. Des Weiteren wurde ein Zielwert von 100 Bq/m³ im Jahr 2010 eingeführt [4]. Dieser sollte Beachtung finden, wenn eine Wohnung von aktiven oder ehemaligen Rauchern bewohnt wird und zwar auch nach Durchführung von Radonschutzmaßnahmen.

Ein erstes Gesetz zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen gab es in Großbritannien bereits 1985. Die „Ionising Radiations Regulations” aus dem Jahr 1999 [5] werden an Arbeitsplätzen normalerweise

angewandt, wenn ein Wert von 400 Bq/m³ im 24-Stunden-Durchschnitt überschritten wird. Das Äquivalent in Gebäuden für die durchschnittliche Radonjahreskonzentration beträgt etwa 270 Bq/m³. Werden diese Werte überschritten muss der Arbeitgeber Maßnahmen ergreifen um die Radonexposition für die Arbeitnehmer zu reduzieren.

Insgesamt werden die Anforderungen der EU-Richtlinie in Großbritannien bezüglich der Referenzwerte damit bereits überschritten. Allerdings ist dort ab 2018 zusätzlich einer größeren Verbindlichkeit des Radonschutzes an bestimmten Arbeitsplätzen und den Konsequenzen in Bezug auf eine mögliche Strahlenschutzüberwachung Rechnung zu tragen.

In *Irland* gilt seit 1990 ein empfehlender Referenzwert von 200 Bq/m³ für Radon in Wohnungen und Schulen. Außerdem gilt ein Referenzwert von 400 Bq/m³ (Durchschnitt von 3-monatiger Messung) für Arbeitsplätze. [6] Irland verfügt außerdem seit Februar 2014 über eine Nationale Radon-Kontrollstrategie.

Hier gilt, wie in Großbritannien, dass ab 2018 die strengeren, verbindlicheren Vorgaben zum Radonschutz an Arbeitsplätzen einzuhalten sind.

In *Tschechien* existieren seit vielen Jahren Radonrisikokarten. Außerdem gibt es seit 1989 Messprogramme und zwei Maßnahmenpläne, den ersten für den Zeitraum 1999 bis 2010 und den zweiten für den Zeitraum 2010 bis 2019. Dort werden nicht nur kostenlose Messungen angeboten sondern auch finanzielle Unterstützung für die Umsetzung von Maßnahmen. Die Orientierung bezgl. der Maßnahmen erfolgte zunächst an der Empfehlung 90/143/Euratom, seit 2013 an der aktuellen Richtlinie.[7] Hervorzuheben ist auch die regelmäßige Veranstaltung einer internationalen Radonkonferenz in Prag bei der gleichzeitig Messvergleiche durchgeführt werden.

In *Österreich* gibt es ebenfalls seit 1990 vielfältige Aktivitäten und Messprogramme (u.a. auch in Schulen und Kindergärten). Der diesbezüglich regionale Schwerpunkt liegt in Oberösterreich. Radonschutz wurde in einer eigenen Ö-Norm verankert. Es ist eine 1:1-Umsetzung der EU-Richtlinie geplant.

Frankreich hatte 2004 eine erste Radonkarte basierend auf der Messung von Gebäuden erstellt. Des Weiteren wurde unter der Ägide der zuständigen Gesundheitsbehörde für 2005 bis 2008 ein erster nationaler Radonaktionsplan geschaffen, ein zweiter für 2011 bis 2015. Dieser enthält als erste Priorität die Reduktion von Radon in Wohnungen. Ein Leitfaden für Kommunen und eine neue Kartierung auf der Grundlage von Bodenradonmessungen sind in Vorbereitung. Es wird derzeit bezüglich des Referenzwertes ebenfalls auf eine 1:1-Umsetzung der Richtlinie orientiert.

Belgien plant ebenfalls eine 1:1-Umsetzung, hat schon umfangreiche Messkampagnen durchgeführt und relativ detaillierte Karten erstellt. Es ist geplant, dass der Radonaktionsplan i. W. weitere Messkampagnen in Wohnungen und an Arbeitsplätzen, eine intensive Öffentlichkeitsarbeit und ein erweitertes Datenmanagement enthalten soll. Ein wesentliches Ziel wird auch in der Stimulierung von Radonsanierungen gesehen, was auch durch eine Qualifizierung von Bauleuten erfolgen soll.

Die *Portugal, Spanien, Italien* und *Griechenland* werden voraussichtlich ebenfalls eine 1:1 Umsetzung anstreben. In *Slowenien* wurden durch eine engagierte Forschungseinrichtung schon umfassende Schulmessprogramme durchgeführt.

Die revidierte Strahlenschutzverordnung der *Schweiz* soll 2017 in Kraft treten. Ab dann gilt voraussichtlich ein Referenzwert von 300 Bq/m³ für Wohn- und Aufenthaltsräume unter Berücksichtigung des Optimierungsprinzips. Bisher gilt ein Grenzwert von 1000 Bq/m³. Es gibt außerdem in der Schweiz seit vielen Jahren sehr umfassende Messprogramme, eine Ausbildung zur Radonfachperson, viele weitere Aktivitäten und einen nationalen Radonaktionsplan für 2012 bis 2020.

In Deutschland gibt es zwar keine rechtliche Regelung zum Schutz vor Radon in Gebäuden, jedoch gibt es ebenfalls seit Anfang der 1990er Jahre in einigen Bundesländern eine Vielzahl von Maßnahmen und Aktivitäten, die sich an der Euratom-Empfehlung orientieren. In anderen Bundesländern gibt es dagegen kaum eine Befassung mit Radon. Diese heterogene Situation kann nicht ausschließlich damit begründet werden kann, dass von einer unterschiedlichen Betroffenheit ausgegangen wird. Ursache ist dennoch zum Teil die (nicht immer zutreffende) Annahme mancher Bundesländer, dass eine Betroffenheit nicht oder nur vernachlässigbar geringfügig gegeben ist.

3 Kommunikation, Problembewusstsein und öffentliche Akzeptanz

Information bzw. Kommunikation als Grundlage für ein Radon-Problembewußtsein ist auch Gegenstand der Artikel 74 und 103 (mit Anhang XVIII) der Richtlinie.

Aufgrund des Umstandes, dass es zum ersten Mal eine verbindliche Regelung zum Radonschutz in Innenräumen gibt, ist allen Mitgliedstaaten bewusst, dass die. Kommunikation einen Schwerpunkt bei der Umsetzung darstellen wird. Der Erfolg aller übrigen Maßnahmen hängt vom Erfolg der Kommunikation ab. Die meisten Mitgliedstaaten haben bereits sehr informative Websites, Flyer, verfügen über Radonkarten und haben das Thema Radonschutz in Gebäuden im Rahmen der Durchführung von Messprogrammen vermittelt.

Vorbildlich und auch sehr erfolgreich war die Kommunikation dieser Themenstellung in den letzten Jahrzehnten vor allem in Großbritannien und Irland. Dort gibt es eine verhältnismäßig gutes, allgemeines Problembewusstsein und eine entsprechend gute Akzeptanz. Zusätzlich wurden in Irland in den letzten zwei Jahren behördliche Informationsfilme für Youtube produziert und private Firmen werben bei Youtube mit ihrem Radon-Know-How zu Messung und Sanierung.

Als gutes Beispiel ist in Bezug auf öffentlichkeitswirksame Kommunikationsstrategien auch Tschechien zu nennen, wo bereits vor einigen Jahren ein Radonlehrpfad in einem Kurort (Jachimov) angelegt wurde. Im vergangenen Jahr wurde ein Radiofeature produziert, bei dem eine Mitarbeiterin der stattlichen Messstelle ausgiebig zu den wesentlichen Fragestellungen informieren konnte. Die zuständigen Behörden ließen außerdem im vergangenen Jahr eine Umfrage durchführen, die ergab, dass 80% der Befragten schon einmal etwas über Radon gehört hatten. 50% fühlten sich zwar nicht gut informiert, dennoch ist die Studie als sehr positiv zu werten, da die Behörden nun gezielter informieren können. Interessant war auch, dass die meisten Befragten im Falle einer Betroffenheit Maßnahmen zur Selbsthilfe bevorzugen. Außerdem gibt es ein Radonhandbuch für Bauleute und Kurse zu deren Weiterbildung [7].

In Deutschland ist die Situation aus den bereits oben genannten Gründen auch hier sehr heterogen. Die Erfahrungen in Sachsen zeigen, dass die Radonproblemstellung trotz der hier erfolgten umfänglichen Aktivitäten für einen Großteil der Bevölkerung noch nicht im Allgemeinwissen verankert ist.

4 Literaturverzeichnis

[1] Empfehlung 90/143/Euratom der Kommission vom 21. Februar 1990 zum Schutz der Bevölkerung vor Radonexposition innerhalb von Gebäuden (ABl. L 80 vom 27.3.1990, S. 26)

[2] Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 05. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Expositin gegenüber ionisierender Strahlung und zur Aufhebung der Richtlinien 89/618/Euratom, 90/641/Euratom, 96/29/Euratom, 97/43/Euratom und 2003/122/Euratom (ABl 13/1 – 13/73 vom 17.01.2014)

[3] The Housing Act 2004. 2004 c34. HMSO 2004.

[4] RCE-15 Limitation of Human Exposure to Radon. Documents of the Health Protection Agency. Radiation, Chemical and Environmental Hazards July 2010.

[5] The Ionising Radiations Regulations 1999. Statutory Instrument 1999/3232. HMSO 1999.

[6] Radiological Protection Act 1991 (Ionising Radiation) Order, 2000

[7] Jana Davídková, Eva Pravdová 2014: Radon Program of the Czech Republic- Information Strategy; Vortrag EU Radonworkshop, Paris

In Bezug auf die übrigen Angaben wird auf die Veröffentlichungen einer in Paris stattfindenden Tagung im Jahr 2014 verwiesen:

http://www.french-nuclear-safety.fr/Information/News-releases/Reducing-the-average-concentration-of-radon-in-European-countries

ÜBERFÜHRUNG DER EU-GRUNDNORM IN DEUTSCHES RECHT

TRANSVER OF THE EU-BASIC NORM IN GERMAN RIGHT

Guido Kleve
Spela Kastelec

DLA Piper, Köln

Der Beitrag wird zur Tagung ergänzt

HOHE RADONKONZENTRATIONEN - BESONDERS BETROFFE-NE GEBÄUDETYPEN

HIGH CONCENTRATIONS OF RADON - SPECIFICALLY AFFECT-ED BUILDINGS

Winfried Meyer

Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

Zusammenfassung

Es wird ein Konzept zur Prognose von Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen für verschiedene, häufig in Deutschland vorkommende Gebäudetypen vorgestellt. Grundlage ist die Anwendung eines Transfermodells für die Schnittstelle Bau-grund – Haus. Die nach fünf relevanten Gebäudemerkmalen stratifizierten Teildatensätze lassen sich in der Regel gut mit einer 3-parametrigen logarithmischen Normalverteilung beschreiben. Die vorhandenen Daten erlauben statistische Aussagen zu 60 Kombinationen von Gebäudemerkmalen im Gebiet „Ost“ und zu 85 Merkmalskombinationen im Gebiet „West“. Für die Überschreitungswahrscheinlichkeiten wer-den aus den Daten mittels Bootstrap ermittelte Unsicherheiten der Schätzung angegeben. Aus den Ergebnissen der Schätzung kann die Bedeutung verschiedener Gebäudemerkmale für das Vorkommen erhöhter Radonkonzentrationen abgeleitet werden. Auf dieser Grundlage ist ein gezielteres Auffinden betroffener Gebäude möglich.

Mit der Verwendung von Transferfaktoren können auch regionale Prognosen für Überschreitungswahrscheinlichkeiten bei häufig vorkommenden Gebäudetypen erstellt werden. Eine Strategie zur langfristigen Reduzierung des radonbedingten Gesundheitsrisikos könnte damit neben Radonvorsorgegebieten auch Gebäudemerkmale ausweisen, auf die, gegebenenfalls auch außerhalb der Vorsorgegebiete, ein besonderes Augenmerk gerichtet werden sollte.

Summary

The paper presents a concept for the prognosis of exceeding probabilities of thresholds of radon in dwellings in different building types. A transfer model for the interface subsoil – building was used as a basis. The partial datasets obtained by stratification of five relevant building characteristics can be described by a 3-parametric-lognormal distribution good in most times. The available data permit statistical predictions to 60 combinations of building characteristics for the region “east” and 85 combinations of building characteristics for the region „West”. The uncertainties for the probability of exceeding a threshold were estimated from the data with bootstrapping. The importance of different building characteristics for the presence of enhanced radon concentrations can be predicted from the results of this estimation. Therefore, targeting of affected buildings is possible on this basis.

Regional prognoses of exceeding probabilities for building types with high presence can also be created by the use of transfer factors. A Strategy to reduce the health risk from radon in the long run might be derived, where alongside the delineation of radon prone areas, special attention should be paid to a set out building characteristics, also outside the radon prone areas.

1 Einleitung

Die im Januar 2014 von der Europäischen Union veröffentlichte „Richtlinie 2013/59/Euratom des Rates vom 5. Dezember 2013 zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung …“ enthält u. a. Regelungen zu Radon an Arbeitsplätzen, in öffentlichen Gebäuden und Wohnungen. Sie ist innerhalb von vier Jahren in nationales Recht umzusetzen. Neben grundlegenden Vorgaben, wie der Verpflichtung zur Festlegung von Referenzwerten für die Radonkonzentration, ist die Erstellung eines „Nationalen Maßnahmenplanes, um die langfristigen Risiken der Radon-Exposition in Wohnräumen, öffentlich zugänglichen Gebäuden und an Arbeitsplätzen anzugehen…“ vorgesehen.

Der Maßnahmenplan soll gemäß Anhang XVIII u. a. folgende Punkte enthalten:

…

„2. Verfolgter Ansatz sowie herangezogene Daten und Kriterien für die Abgrenzung von Gebieten oder für die Festlegung anderer Parameter, die als spezifische Indikatoren für Situationen mit einer potenziell hohen Radon-Exposition genutzt werden können.

…

6. Strategie für die Verringerung der Radon-Exposition in Wohnräumen und für das vorrangige Angehen von Situationen gemäß Nummer 2“.

Da die europäische Poolingstudie bereits bei weniger als 200 Bq/m3 mit einem linearen Expositions-Wirkungs-Modell ein statistisch signifikantes Risiko nachgewiesen hat, wird vom BfS bei Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen von mehr als 100 Bq/m³ die Durchführung von Radonschutzmaßnahen empfohlen. Der Anteil dieser Gebäude ist regional sehr verschieden. Während in einigen Teilen Norddeutschlands kaum erhöhte Radonkonzentrationen auftreten, überschreiten in anderen Gebieten bis zu 50 % Prozent der Gebäude diese Schwelle. In Gebieten mit einer sehr hohen Radonkonzentration in der Bodenluft (> 100 kBq³) kann mehr als die Hälfte der Gebäude betroffen sein. Selbst ein Wert von 1000 Bq/m³ kann hier in mehr als 1 % der Häuser überschritten werden. Die Wahrscheinlichkeit, ob mehr als 100 Bq/m³ auftreten, hängt von Parametern des Baugrundes, dem Verhalten der Nutzer und den Eigenschaften des jeweiligen Gebäudes ab. Im Folgenden soll ein Konzept zur Prognose der Überschreitungswahrscheinlichkeit einer Radonkonzentration von 100 Bq/m³ für unterschiedliche Gebäudetypen vorgestellt werden.

2 Radonkarten

Grundlage für die Festlegung von Radongebieten ist die Kartierung der in den Gebäuden vorkommenden Radonkonzentrationen oder eines anderen Parameters, aus dem diese abgeleitet werden kann. Dazu gibt es national wie international unterschiedliche Ansätze und Herangehensweisen. Grundsätzlich sind zwei Ansätze möglich:

1. Erhebung einer flächendeckenden repräsentativen Stichprobe von Messungen in Gebäuden (z.B. http://www.ukradon.org/information/ukmaps)
2. Stichproben von Messungen in Gebäuden sowie relevanter Parameter des Baugrundes (z.B. http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html)

Bei beiden Ansätze verbessert die Einbeziehung vorhandener geologischer Informationen die Qualität der aus Radonkarten abgeleiteten Aussagen. Die Ansätze haben die in Tabelle 1 zusammengestellten Vor- und Nachteile. Bei Ansatz 1 besteht die Schwierigkeit eine geschichtete Stichprobe auszuwählen, die alle relevanten Eigenschaften des Baugrundes und Gebäudemerkmale berücksichtigt. Mit Ansatz 2 können die Prozesse, die die Emanation und Migration von Radon im Boden und die, die den Eintritt von Radon in ein Gebäude und dessen Ausbreitung beschreiben, getrennt werden. Zur Beschreibung von Emanation und Migration können verschiedene Parameter herangezogen und für die Interpolation

unterschiedliche statistische bzw. geostatistische Verfahren herangezogen werden. Als Schnittstelle dient das Transfermodell.

Tab. 1: *Vor- und Nachteile verschiedener Ansätze zur Erstellung von Radonkarten.*

flächendeckende repräsentative Stichprobe	Berücksichtigung relevanter Parameter des Baugrundes
• Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen • Einfaches Messverfahren	• Geringere Zahl von Radonmessungen durch Einbeziehung vorhandener Informationen • Messung von Baugrundparametern nicht zeitintensiv • Nicht abhängig von Veränderungen der Bausubstanz
• Große Zahl von Messungen • Lange Dauer der Einzelmessung • Aussage gilt für den aktuellen Gebäudebestand	• Komplexe Modelle zur Beschreibung von Emanation und Migration im Boden • Transferfunktion Boden – Gebäude unbekannt

3 Zielstellung und Vorgehensweise

Die Radonkonzentration in Innenräumen wird durch eine Vielzahl von Parametern beeinflusst. Sie wird neben der Freisetzung von Radon aus Baumaterialien und Trinkwasser sowie der in der Atmosphäre vorhandenen Radonkonzentration überwiegend durch das aus dem Baugrund in das Gebäude eindringende Radon bestimmt [1, 2]. Weiterhin ist sie von den Eigenschaften des Gebäudes sowie der Lage des Raumes innerhalb des Gebäudes abhängig. Wie viel Radon aus dem Untergrund in ein Haus gelangt und welche Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen anzutreffen sind, hängt letztlich vom Radonangebot im Baugrund, der Konstruktion und dem Bauzustand des Gebäudes sowie dem Verhalten der Nutzer ab. Daher wurden in den in Deutschland durchgeführten Messprogrammen zur Ermittlung der Radonkonzentration in Gebäuden in der Regel in mehr oder minder großem Umfang auch Daten zu radonrelevanten Gebäudemerkmalen erfasst. Weiterhin wurde der Einfluss des Baugrundes untersucht und zur Charakterisierung geologischer Formationen die Radonkonzentration in der Bodenluft ermittelt [1, 3]. Auf Basis dieser Messwerte und der geologischen Karte der Bundesrepublik (Maßstab 1:1.000.000) wurde eine Prognosekarte für die zu erwartende Radonkonzentration mit einem Raster von 3 km • 3 km erstellt. Mit dem in [3] entwickelten Konzept können auf der Basis dieser Daten Transferfaktoren für jede Messung der Radonkonzentration in der Innenraumluft berechnet werden.

Der Transferfaktor beschreibt den Anteil der im Baugrund verfügbaren Radonmenge, der letztlich in den jeweiligen Innenraum gelangt. Er ist als Funktion der Radonkonzentration in einem Innenraum und der Radonkonzentration in der Bodenluft oder eines anderen Parameters (z. B. Radonpotential) am Gebäudestandort definiert. Mit der Anwendung des Transferfaktors wird der Einfluss unterschiedlicher Radonverhältnisse im Gebäudeuntergrund weitgehend kompensiert. Deshalb kann das Konzept auch für Gebäudestichproben verwendet werden, die bezüglich des geologischen Untergrundes, respektive der Radonkonzentration in der Bodenluft, nicht repräsentativ verteilt sind. Im Ergebnis erhält man für eine Stichprobe untersuchter Häuser eine Wahrscheinlichkeitsverteilung der Transferfaktoren. Aus dieser Verteilung können Erwartungswerte und Überschreitungswahrscheinlichkeiten vorgegebener Schwellenwerte [2] für die Radonkonzentration in Innenräumen eines Gebäudetyps mit häufig vorkommenden Merkmalen geschätzt werden.

3.1 Daten

Basis für die Berechnungen sind Messwerte der Radonkonzentration in Innenräumen und Gebäudeparameter, die in verschiedenen Projekten zwischen 1980 und 2009 erhoben wurden. Verwendung fan-den nur die Datensätze, in denen Mittelwerte der Radonkonzentrationen über eine Dauer von 3 Monaten bis zu einem Jahr vorliegen und keine Gebäude untersucht wurden, die nach speziellen Kriterien ausgewählt wurden. Den meisten Messprogrammen lag keine für den Gebäudebestand des Untersuchungsgebietes repräsentative Gebäudeauswahl zugrunde. Damit kann auch für die Gesamtstichprobe nicht von einer Repräsentativität bezüglich des Gebäudebestandes der Bundesrepublik ausgegangen werden. Auch in Bezug auf Radon unterschiedlichen Eigenschaften verschiedener geologischer Einheiten kann die Stichprobe nicht als repräsentativ angesehen werden. Nach umfangreicher Aufbereitung stehen für das Gebiet Ost damit ca. 15000 Datensätze zur Verfügung. Bei Einschränkung auf Räume mit häufigen, mehrstündigen Aufenthalt von Personen verbleiben ca. 9300 Datensätze. Für das Gebiet West stehen damit ca. 45000 bzw. ca. 35000 Datensätze zur Verfügung. Da aus früheren Untersuchungen bekannt ist, dass sich die Bausubstanz zwischen den alten und neuen Bundesländern in Bezug auf die Radonkonzentration unterscheidet, wurden die Daten für beide Gebiete getrennt ausgewertet.

3.2 Transferfaktoren

Die Verknüpfung von Mess- und Gebäudedaten mit Informationen über die geologischen Einheiten, (Genese, Stratigrafie und Petrografie) des Gebäudestandortes aus der nach radonrelevanten Gesichtspunkten aufbereiteten geologischen Karte im Maßstab 1 : 1.000.000 wurde ein GIS-Projekt (ArcView 3.3) angelegt. Zur Berechnung der Transferfaktoren erfolgte hier weiterhin die Zuordnung von Daten zur Radonkonzentration in der Bodenluft resp. des Radonpotentials zu den Gebäude- und Messdaten. Als einfacher Ansatz zur Berechnung des Transferfaktors wurde der Quotient aus der Radonkonzentration in einem Innenraum und der Radonkonzentration in der Bodenluft bzw. dem Radonpotential am Gebäudestandort

$$TF = Cinnen / CBoden \quad \text{bzw.} \quad TF = Cinnen / RP \tag{1}$$

definiert. Für die hier vorgestellten Ergebnisse wurde für die Definition des Radonpotentials der empirische Ansatz der tschechischen Kollegen [4]

$$RP := Cinnen/(-\log 10k-10) \tag{2}$$

verwendet.

Aus den vorhandenen Messdaten zur Radonkonzentration in der Bodenluft und der Bodenpermeabilität wurde so das Radonpotential an den Messstandorten berechnet und für das 3 km mal 3 km Raster der Bodenluftkarte mit einer Abstandswichtung vom Typ $a^n/(x^n+a^n)$ mit a=5 km und n=2 interpoliert. Zur Berechnung der Transferfaktoren nach (1) wurden jedem Gebäudestandort der in der gleichen geologischen Einheit nächstliegende interpolierte Rasterwert für die Radonkonzentration in der Bodenluft bzw. das Radonpotential zugeordnet (Abb. 1).

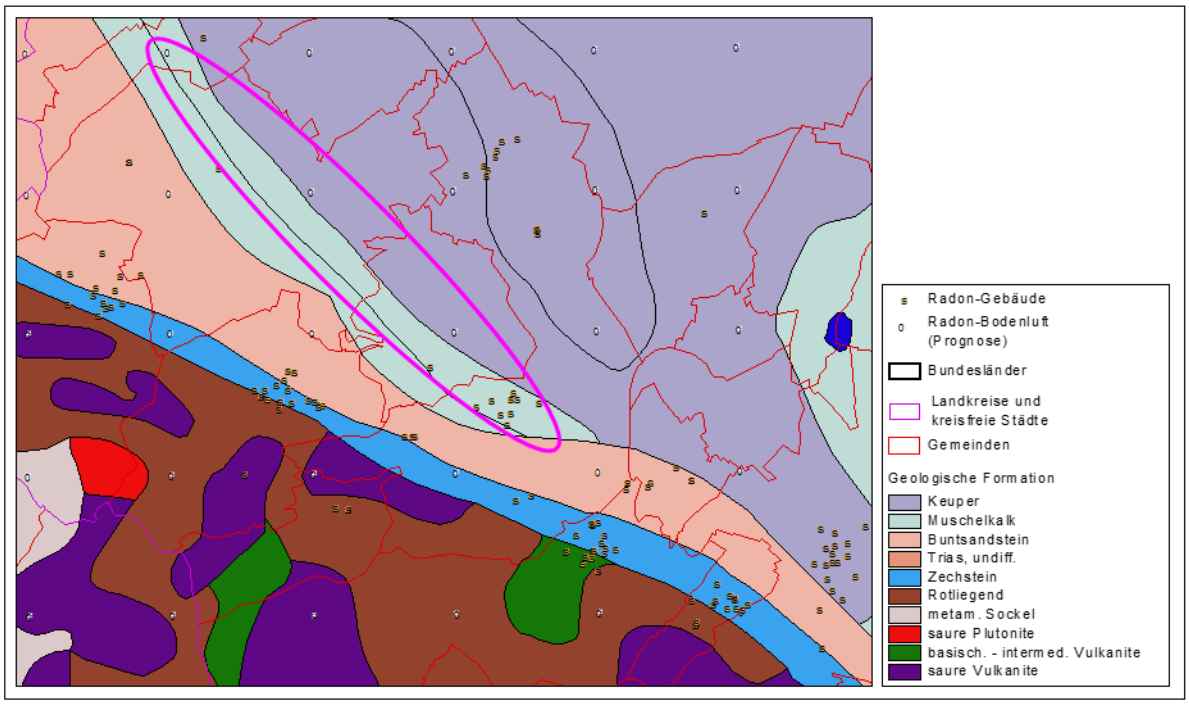
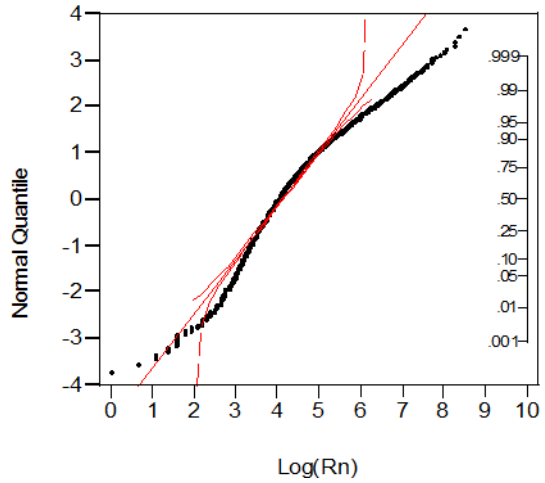
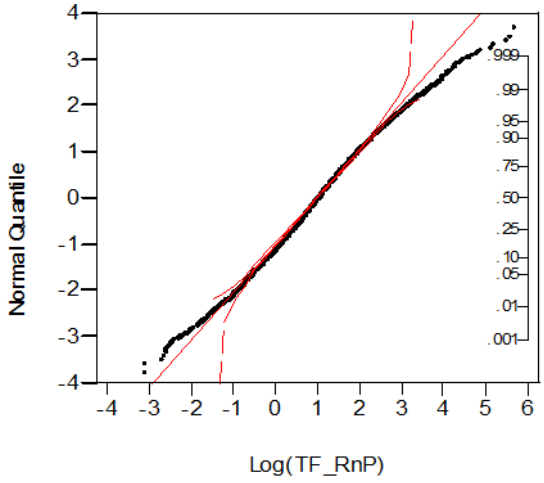


Abb.1: *Lage der Gebäudestandorte, der Rasterelemente der Prognose der Radonkonzentration in der Bodenluft und der geologischen Formationen (Beispiel)*

Abbildung 2 zeigt, dass die Verteilung der Logarithmen der Transferfaktoren eher einer Normalverteilung ähnelt, als die Verteilung der Logarithmen der Messwerte. Man erkennt aber auch, dass die Gesamtstichprobe keine in sich geschlossene Grundgesamtheit darstellt.



Normal-Quantil-Plot der logarithmierten Messwerte, alle Aufenthaltsräume Ost



Normal-Quantil-Plot der logarithmierten Transferfaktoren, alle Aufenthaltsräume Ost

Abb. 2: *Vergleich der Normal-Quantil-Plots für logarithmierte Messwerte und Transferfaktoren*

4 Statistische Untersuchungen

Bereits in den Forschungsvorhaben StSch 4251 und StSch 4271 [1,2] wurden die für die Höhe der Radonkonzentration in Gebäuden wesentlichen Gebäudeeigenschaften ermittelt. Auf der Basis der dort gewonnenen Erkenntnisse und der Datenlage wurden für die Stratifizierung der Transferfaktoren die in Tabelle 2 zusammengestellten Eigenschaften ausgewählt und wie dargestellt klassifiziert.

Tab. 2: *Gebäudemerkmale und Merkmalsklassen*

Hausart	Bauweise	Baujahr	Unterkellerung	Etagen
Einfamilien-/ Reihenhaus/ Doppelhaushälfte (E)	Fachwerk-/ Holzhaus (Fw)	bis 1900	nicht voll unterkellert (nv)	Keller (K)
Mehrfamilienhaus (M)	Fertighaus (Fh)	1901 - 1947	voll unterkellert (v)	Erdgeschoss (EG)
	Massivhaus (Mh)	1948 – 1975		1. Etage (1E)
		nach 1975		höh. Etagen (hE)

Bei der Beschreibung der Einflüsse von Gebäudeparametern auf die Radonkonzentration in Gebäuden ist zu beachten, dass diese nicht unabhängig voneinander sind. So weisen z. B. Fachwerkhäuser meist ein höheres Gebäudealter auf, während Fertighäuser in der Regel erst in den letzten Jahrzehnten errichtet wurden. Auch die Anzahl der Etagen in Mehrfamilienhäusern wächst tendenziell mit der Zeit. Das heißt, für einzelne Gebäudeeigenschaften berechnete Überschreitungswahrscheinlichkeiten können nicht einfach verknüpft werden. Deshalb müssen Teilstichproben für alle Merkmalskombinationen gebildet und analysiert werden. Als weitere Einschränkung wurden nur Räume betrachtet, in denen sich die Bewohner üblicherweise regelmäßig längere Zeit aufhalten (Aufenthaltsräume). Grenz- oder Richtwerte zur Begrenzung der Radonkonzentration in Innenräumen beziehen sich in der Regel auf solche Räume, da nur dort relevante Beiträge zur Gesamtexposition der Bewohner durch Radon entstehen.

Als Datenmodell für die statistische Beschreibung der Teilstichproben wurde zunächst die logarithmische Normalverteilung verwendet. Da der Transferfaktor entgegen der o. g. getroffenen Annahme nicht nur durch den Radontransport aus dem Baugrund bestimmt wird, wurde als weiteres Datenmodell die 3-parametrige log-Normalverteilung getestet. Die Momente beider Verteilungen unterscheiden sich erwartungsgemäß nur wenig. Letztere stellt jedoch in der Regel die bessere Anpassung an die Daten dar. Mit den vorhandenen Daten sind im Gebiet „Ost“ für 60 Kombinationen von Gebäudemerkmalen und im Gebiet „West“ für 85 Merkmalskombinationen ausreichend Daten für eine statistische Auswertung vorhanden. Aus den Modellverteilungen lassen sich die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für gegebene Schwellen der Radonkonzentration in Abhängigkeit vom Radonpotential für Gebäudetypen mit bestimmten Merkmalen schätzen (Abb. 3).

Unterschiede sind auch bei gleichem Radonpotential zwischen verschiedenen Regionen zu verzeichnen. Die Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Radonkonzentrationen (RP=15) weisen für massive Einfamilienhäuser für die Gebiete „Ost“ und „West“ deutliche Unterschiede auf (Abb. 4). Ähnliches ist auch für andere Gebäudetypen zu verzeichnen. Bemerkenswert sind die z. T. erheblichen Unterschiede des Anteils von Gebäuden, in denen erhöhte Radonkonzentrationen in Gebäuden mit unterschiedlichen Merkmalskonzentrationen auftreten (Abb. 3 und 4). Da die Zusammensetzung des Gebäudebestandes regional stark variiert, kompliziert die Festlegung von Radongebieten allein auf der Basis von Radonmessungen in Innenräumen erheblich.

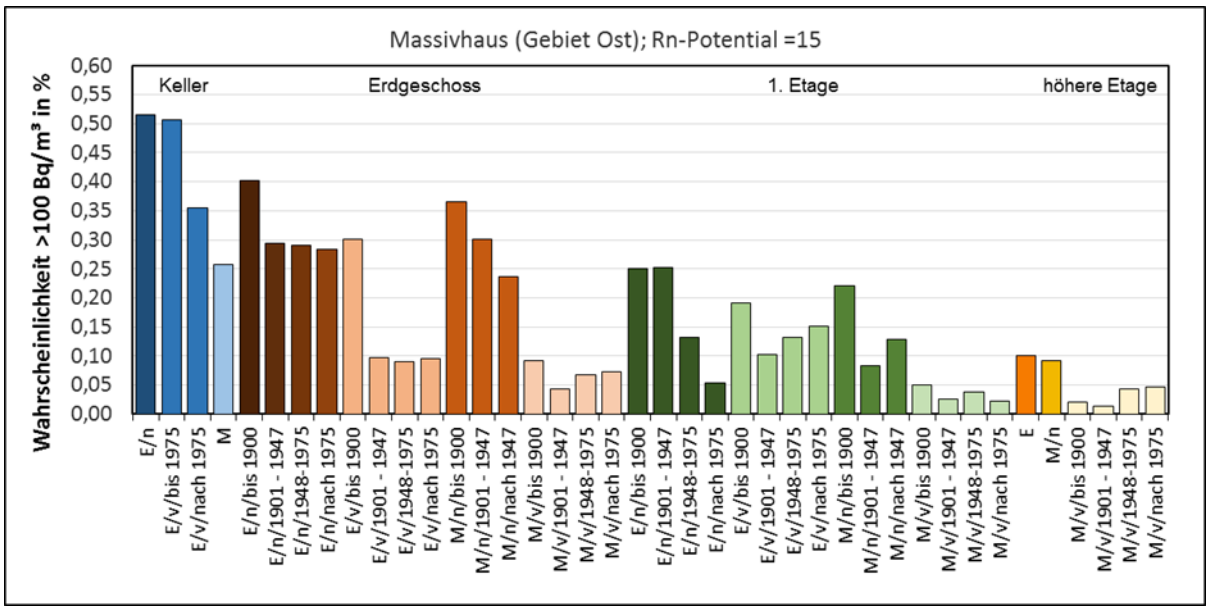


Abb. 3: *Geschätzter Anteil von Aufenthaltsräumen über 100 Bq/m³ für unterschiedliche Etagen und ausgewählte Gebäudemerkmale*

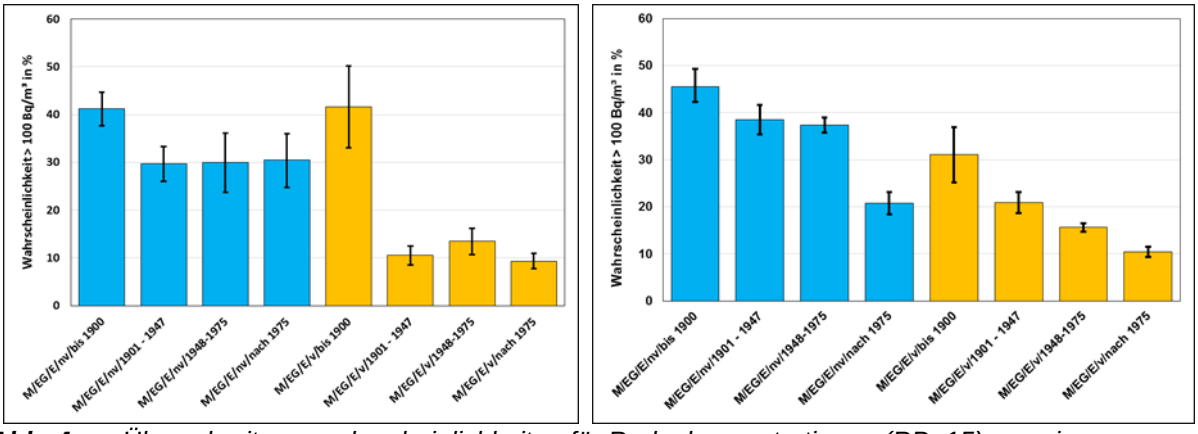


Abb. 4: *Überschreitungswahrscheinlichkeiten für Radonkonzentrationen (RP=15) massiver Einfamilienhäuser mit Unsicherheiten (links Gebiet „Ost“, rechts Gebiet „West“)*

5 Abschätzung der Unsicherheiten für die berechneten Überschreitungswahrscheinlichkeiten

Zur Abschätzung der durch die Datenstruktur bedingten Unsicherheiten wurde die dafür häufig verwendete Bootstrap-Methode eingesetzt [5]. Die berechneten Konfidenzintervalle werden erwartungsgemäß mit steigender Anzahl der Datensätze kleiner und wachsen mit zunehmender Überschreitungswahrscheinlichkeit. Sie beträgt für Stichproben mit etwa 20 Datensätzen bei einer Radonkonzentration in der Bodenluft von 20 kBq/m³ ca. ± 10 % und bei 100 kBq/m³ ca. ± 15 %. Die relativen Unsicherheiten sind für Gebäudegruppen mit niedrigem Transferfaktor höher. Für besonders betroffene Gebäudetypen ist die Unsicherheit der Schätzung also geringer. Abbildung 4 zeigt, dass auch unter Berücksichtigung der Unsicherheiten der Schätzung die Überschreitungswahrscheinlichkeit für verschiedene Gebäudetypen sich signifikant unterscheidet. Bekannte Zusammenhänge, wie deren Abnahme mit zunehmender Etage für gleiche Gebäudetypen, finden sich in den Ergebnissen wieder. Andere, wie die zunehmende Wahrscheinlichkeit erhöhter Konzentrationen mit dem Gebäudealter sind

zumindest im Gebiet „Ost“ nicht durchgehend erkennbar. Insbesondere für Räume in massiven Gebäuden ist nach dem Rückgang der Überschreitungswahrscheinlichkeit für die zwischen 1900 und 1947 errichteten Häuser oft ein Anstieg für nach 1947 errichtete Häuser zu verzeichnen. Über die Ursachen kann ohne tiefergehende Untersuchungen nur spekuliert werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Konzept eignet sich prinzipiell zur Prognose von Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Schwellenwerten der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen für verschiedene, häufig in Deutschland vorkommende Gebäude. Es wurden die für das Vorkommen erhöhter Radonkonzentrationen wichtigsten Gebäudemerkmale identifiziert. Auf Grundlage der vorhandenen Daten konnten für eine erhebliche Zahl von Merkmalskombinationen die Überschreitungswahrscheinlichkeiten abgeschätzt und die Unsicherheiten der Schätzung ermittelt werden. Mit diesen Schätzungen lassen sich bisher qualitativ bekannte Zusammenhänge von Gebäudeeigenschaften und der Häufigkeit erhöhter Radonkonzentrationen quantifizieren. Einige Ergebnisse, wie der Wiederanstieg der Überschreitungswahrscheinlichkeit für jüngere Gebäudealter in Massivhäusern im Gebiet „Ost“, lassen eine Untersuchung der Ursachen sinnvoll erscheinen.

Die Ergebnisse liefern darüber hinaus wichtige Informationen für die Planung und Umsetzung einer Strategie zur langfristigen Reduzierung des radonbedingten Gesundheitsrisikos. Da für solche Strategien die Information insbesondere von Gebäudeeigentümern eine wichtige Rolle spielt, könnte auf der Basis dieses Konzeptes und der damit erzielten Ergebnisse ein internetbasiertes, interaktives Informationswerkzeug erstellt werden.

7 Literaturverzeichnis

[1] Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., Stegemann, R., Konzeption und Erstellung eines DV-Projektes zur Bewertung des Radonpotentials im Boden und Prognose der Radonkonzentration in Gebäuden, Teil 1: Boden- und Raumluftmessungen, Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben, StSch 4251, 2003

[2] Kemski, J., Klingel, R., Stegemann, R., Validierung der regionalen Verteilung der Radonkonzentration in Häusern mittels Radonmessungen unter Berücksichtigung der Bauweise, Schriftenreihe Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU - 2004 – 641, Aug. 2004, ISSN 1612-6386

[3] Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., Stegemann, R., Valdivia-Manchego, M., Ermittlung einer Transferfunktion für die Radonkonzentration in der Bodenluft und der Wohnraumluft incl. Radonmessungen in Häusern zur Validierung des geologisch induzierten Radonpotentials, StSch 4186, 2001

[4] Neznal, M., Neznal, M., Matolin, M., Barnet, I. and Miksova, J. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. Czech Geol. Survey Special Papers, 16, Czech Geol. Survey, Prague, 47 p. http://www.radon-vos.cz/pdf/metodika.pdf (accessed 10.8.2015)

[5] Grundsätze und Methoden zur Berücksichtigung von statistischen Unsicherheiten für die Ermittlung repräsentativer Werte der spezifischen Aktivität von Rückständen, Berichte der Strahlenschutzkommission Heft 46 (2005), Urban& Fischer, 2005

RADONSCHUTZMASSNAHMEN IN KARSTGEBIETEN IN DER SCHWEIZ

RADON PREVENTIVE MEASURES IN KARST-ROCK AREAS IN SWITZERLAND

Martha Palacios

Bundesamt für Gesundheit, Bern, Schweiz

1 Einleitung

In der Schweiz befinden sich Karstgebiete hauptsächlich im nordwestlichen Juragebirge, welches ein hohes Radonrisiko aufweist.

2 Radon im Juragebirge

Unter Karst versteht man unter- und oberirdische Geländeformen in Karbonat-Gesteinen. Hauptmerkmal ist der überwiegend unterirdische Wasserhaushalt, der durch die Korrosion des Gesteins bedingt wird. Der Radonproduktions- und Transportmechanismus in Karstgebieten ist komplex. In erster Linie deutet der niedrige Radiumgehalt in Kalksteinen nicht auf eine starke Radonquelle. Die kurze Halbwertszeit des Radons (3.8 Tage) spricht auch gegen die Hypothese, dass das Radon an der Erdoberfläche aus tiefen, kristallinen Gesteinen stammt [1]. Wahrscheinlicher scheint die Entgasung von radonhaltigen Wasser im Karstsystem, welches von Moränenablagerungen aus der letzten Eiszeit hinterlassen wurde [2]. Durch den praktisch unbegrenzten Luftzustrom aus dem Karstsystem und die oftmals schmalen Bodenschichten, kann das Radongas leicht die Erdoberfläche erreichen.

Die Baueigenschaften beeinflussen das Eindringen vom Radon in Gebäude auch wesentlich. Traditionelle Bauernhöfe - mit Holzböden und nicht unterkellert - weisen beispielsweise hohe Radonkonzentrationen auf. Das Fehlen eines Untergeschosses erschwert die Sanierung. Das Juragebirge wird von einem rauen Klima gekennzeichnet. In der langen Winterzeit nimmt die Sogwirkung in den Gebäuden zu, wenn die Heizung eingeschaltet ist (Kamineffekt).

3 Vergleich zwischen Juragebirge und Mittelland

Die Strahlenschutzverordnung (StSV) [3] bildet die gesetzliche Grundlage für Radonschutz-Massnahmen in der Schweiz, welche durch die kantonalen Behörden vollzogen werden. Im Juragebirge wurden ausgedehnte Radonmesskampagnen durch die betroffenen Kantone (vor allen Bern, Jura, Neuenburg, Solothurn und Waadt) durgeführt, damit möglichst viele Gebäude über dem Grenzwert von 1000 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) identifiziert und saniert werden können. Aufgrund der neuen internationalen Normen (WHO Radonhandbuch 2009, Publikation ICRP 115 2010) wird empfohlen, den Referenzwert von 300 Bq/m^3 nicht zu überschreiten und eine möglichst tiefe Radonkonzentration in Wohn- und Aufenthaltsräumen anzustreben. Im Rahmen der laufenden StSV-Revision ist vorgesehen, diesen Referenzwert anzuwenden.

Auf der Basis der bisherigen Untersuchungen im Kanton Jura weisen ca. 25 Prozent des Gebäudebestandes eine Überschreitung des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 auf (gegenüber ca. 4 Prozent im Kanton Zürich, welcher sich im geringen bis mittleren Radonrisikogebiet befindet). In einer Studie zum attributiven Risiko durch Radon in der Schweiz [4] wurde jedoch hochgerechnet, dass jährlich 37 Personen im Kanton Zürich, aber nur 5 Personen im Kanton Jura durch radonbedingten Lungenkrebs sterben, was an der sehr unterschiedlichen Demographie (ca. 1.4 Millionen Einwohner im Kanton Zürich, bzw. ca. 72‘000 im Kanton Jura) liegt.

4 Schlussfolgerungen

Diese Erkenntnisse zeigen auf, dass neben der Sanierung von hochbelasteten Gebäuden, die Radonschutzmassnahmen in Neubauten unabhängig vom Radonpotential im Untergrund entscheidend sind, um das Radonproblem langfristig und effizient zu lösen.

5 Literaturverzeichnis

[1] F. Medici & al, Radon-Messungen in Karstsystemen der Schweiz, 1993

[2] A. Parriaux & al, Géologie et santé publique : contamination au radon, 2010

[3] Strahlenschutzverordnung vom 22. Juni 1994 (StSV, SR 814.501)

[4] S. Menzler, L. Kreienbrock, Attributive Risiken durch Radon in der Schweiz, TiHo Hannover, 2005

RADONSCHUTZPROBLEME IN GEOLOGISCH/BERGBAULICH BEEINFLUSSTEN STANDORTEN

RADON PROTECTION PROBLEMS IN GEOLOGICLY/MININGLY INFLUENCED LOCATIONS

Bernd Leißring

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX Bernd Leißring und Nick Leißring GbR, Chemnitz

Zusammenfassung

Gebiete mit besonderen geologischen und bergbaulichen Gegebenheiten können zu erhöhten Radonbelastungen in der Bodenluft führen. Sind solche Standorte durch Bebauung gekennzeichnet, sind erhöhte Radonkonzentrationen in den Gebäuden vorprogrammiert und nachgewiesen.

Durch Tracergasuntersuchungen können die Einflüsse durch das sich in den Grubengebäuden sammelnde Radon und dessen Migration in die Bebauung, eindeutig belegt werden.

Zudem wurden durch Radonmessungen in den Gebäuden die flächenhaften Belastungen erfasst. Kontinuierliche, monatliche Langzeitmessungen in über 100 Gebäuden in Schneeberg zeigen die Dynamik der Einflüsse bei Veränderungen der Wetterbewegungen in den unterirdischen Hohlräumen.

Veränderungen der Wetterströme im Grubenrevier führen zu Änderungen der Radonkonzentration in den gemessenen Häusern.Bei Radonsanierungen in den Bergstädten müssen die grubenbedingten Radonzuflüsse in die Häuser flächenhaft berücksichtig werden.

Summary

Regions with special geologic and mining circumstances can lead to higher radon loads in the ground air.Are such locations built on by buildings, higher radon concentrations are preassigned and proved.

By tracer gas analysis check-ups you can clearly prove the influences by radon, which accumulates in the mining buildings and its migration into the building area / buildings.

The exhaustive area covering loads were also recorded by radon measurements in the buildings.

Steady monthly long time measurements in over 100 buildings in Schneeberg show dynamics of the influences at changes of the weather movements in the underground hollows.

Changes of the weather streams in the mining area lead to change of the radon concentration in the measured houses.At radon redevelopments in the mining cities the mining conditioned influxes into the houses must be exhaustively considered.

1 Vorbemerkungen

Einschlägige Erfahrungen über die Nutzung von Effekten des migrierenden Radons im Untergrund über relativ weite Strecken sind publiziert.

So sind radiologische Messungen insbesondere zur Hohlraumsuche und zur Erkundung von Uranlagerstätten bekannt.

Mit der Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft konnten auch eigene Erkundungsaufgaben gelöst werden. So wurden durch Bodenradonmessungen unterirdische Hohlräume in einem ehemaligen Kalkabbaugebiet lokalisiert [1].

Der Freisetzungsprozess des Radons im Gesteinsverband bei Vorliegen entsprechender Anteile an radioaktiven Elementen ist ein komplizierter Vorgang, der wesentlich von petrophysikalischem Zustand des Gesteins abhängt [2].

Ein deutlicher Anstieg von Radongehalten in der Bodenluft in geodynamisch aktiven Regionen und gestörten Spannungsfeldern ist nachgewiesen [3].

Das gestörte Spannungsfeld z. B. durch anthropogene Veränderungen verursacht einerseits mechanische Beanspruchungen im geologischen Untergrund und somit der Möglichkeit der erhöhten Radonfreisetzung durch Mikrorisse als auch der Vergrößerung der inneren Oberfläche.

Auch sind Aufwärtsströmungen radonreicher Porenmedien zu beachten.

Diese Erscheinungen, insbesondere auch der nachhaltige Zerrüttung der Gesteine im Bergbaugetrieben und der damit verbundenen Radonmigration aus größeren Teufen (mehrere Zehnermetern bis in die Bebauung [4] und [5]) sind für die sich einstellenden Radonkonzentrationen in der Bebauung von ausschlaggebender Bedeutung.

Mit der Vorgabe der EU Norm 2014 wird die Problematik der Erfassung und der relevanten Zielwertvorgabe für zulässige Radonbelastungen für bestimmte Gebiete und Standorte relevant und die Auswahl von Maßnahmen zur Senkung der Belastungen auf der Grundlage vorhandener Erfahrungen von aktuellem Interesse.

Ausgehend von vorliegenden repräsentativen Jahresmessungen in Städten mit Bergbauumgang werden Konzepte für Lösungen zur Senkung der bergbaubedingten Radonbelastung großer Stadtgebiete vorgestellt.

2 Radon und Bergbauumgang

Von ausschlaggebender Bedeutung für das „Radonproblem“ ist die Quelle der Radonemission, also die anstehenden Gesteine im Untergrund.

Letztlich wurden diese Gegebenheiten auch in den Bodenradonkarten abgebildet.

Der andere Hauptgrund der Migration des Radons von den Quellen der Entstehung im Untergrund sind die konvektiven Migrationswege von Untergrund in die Gebäude.

Für Deutschland und Sachsen spielen die Mittelgebirgsregionen, mit ihren größtenteils granitisch oder durch Gneis ausgebildeten Untergrundes, eine besondere Rolle bei den spezifischen radiologischen Gegebenheiten, die in Tabelle 1 ersichtlich wird.

Tab. 1: *Emanationskoeffizient verschiedener Gesteine und Böden (Quelle: IAF) [6]*

Gesteine	**Emanationskoeffizient E**
Granit	0,33
Granodiorit	0,40
Gneis	0,14
Syenit	0,093
Pegmatit	0,043
Gabbro	0,036
Basalt	0,025
Quarzit	0,053
Sandstein	0,052
Mergel	0,026
Tuff	0,017
Kalk	0,016
Böden	
granitisch	0,46
kalkig	0,33
tonig	0,30
sandig	0,09
vulkanisch	0,49

Zudem spielen in den Bergbaugebieten anthropogene Veränderungen der natürlichen geologischen Verhältnisse durch Schächte, Stollen und Abbaubereiche eine ausschlaggebende Rolle.

Um die räumliche Ausdehnung zu verdeutlichen sind in Abbildung 1 die Bergbaureviere in Sachsen dargestellt.

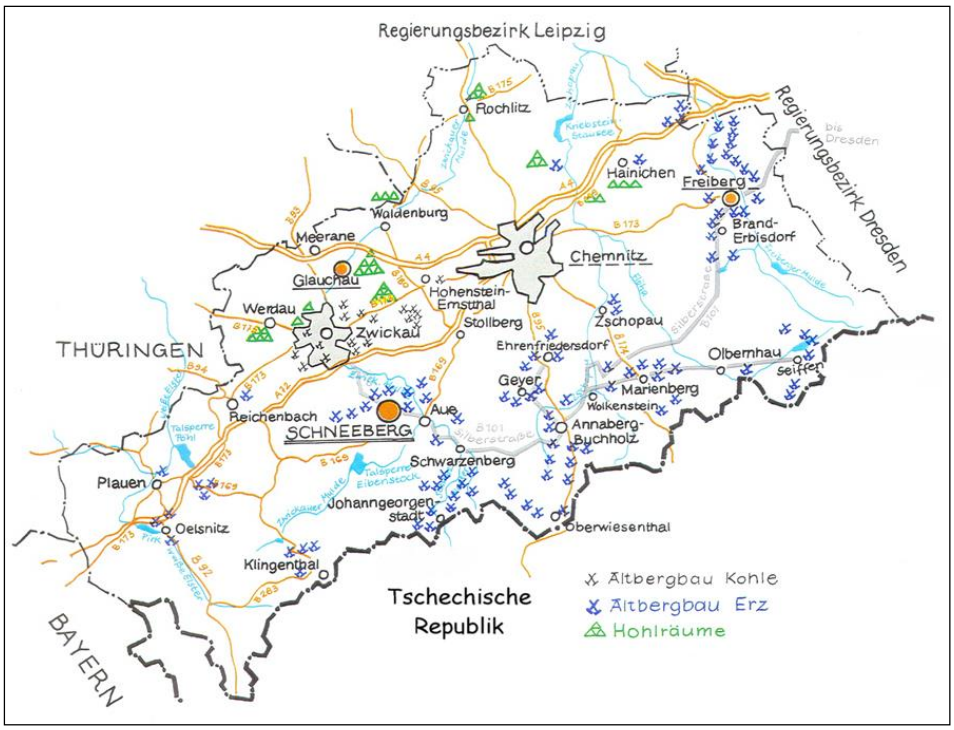
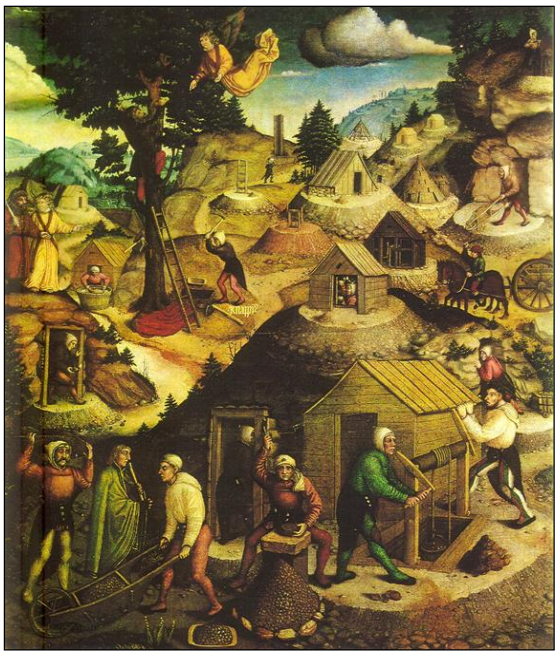


Abb. 1 *Bergbaureviere in Sachsen*

Einen Blick in die historischen Gegebenheiten der sächsischen Bergbaureviere bietet Abbildung 2. Hier zeigt sich die historische Fülle dicht nebeneinander liegender Schächte und Halden und die in den Bergstädten vorherrschenden anthropogenen Beeinflussungen, die entscheidenden Einfluss auf die Radonmigration haben und bis zum heutigen Tag relevant sind.



Bildtafel auf der Rückseite des Bergaltars
Hans Hesse
1523

Abb. 2 *Bergbaulandschaft auf dem Bergaltar in Annaberg-Buchholz*

Aber auch die Zeit des „Wismutbergbaues“ hat erhebliche, auch oberflächennahe Migrationswege für das Radon hinterlassen (Abbildung 3).

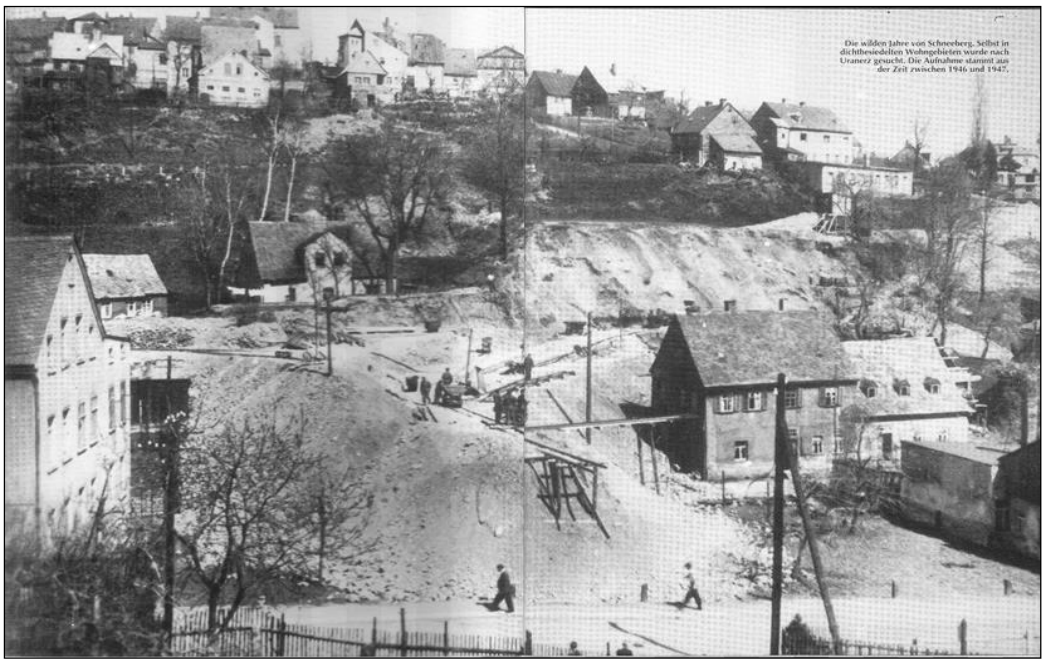


Abb. 3 *Die wilden Jahre von Schneeberg. Selbst in dichtbesiedelten Wohngebieten wurde nach Uranerz gesucht. Die Aufnahme stammt aus der Zeit zwischen 1946 und 1947*

Die Gegebenheiten in Sachsen bezüglich der Verteilung unterirdischer Hohlräume werden in entsprechenden Karten ersichtlich (z. B. Hohlraumkarte Sachsen).

Liegen für einen Standort Hinweise auf bergbauliche Aktivitäten im Untergrund der Bebauung vor, sind diese Besonderheiten eines möglichen bergbaubedingten Einflusses auf die radiologischen Verhältnisse zu beachten.

Bei den seit 1995 eingeleiteten experimentellen Untersuchungen der Radonproblematik in Bergstädten in Sachsen wurden wesentliche Erkenntnisse zu den Wechselwirkungen zwischen Grube, Untergrund und Haus gewonnen. Insbesondere wurde deutlich, dass in z. B. Schneeberg und Bad Schlema konvektive Radontransportprozesse im bergbaulich beeinträchtigten Untergrund die Radonsituation in den grubenbeeinflussten Häusern dominieren. Voraussetzung für konvektive Radontransportprozesse von der Grube in die Häuser sind neben Vorhandensein einer Radonquelle im Untergrund eine ausreichende Permeabilität des Untergrundes, eine undichte Gebäudehülle sowie ein zutage gerichtetes Druckgefälle. Als Triebkraft spielen vor allem der natürliche Auftrieb, aber auch Luftdruckänderungen, der Winddruck sowie künstliche oder natürliche Druckdifferenzen in Gebäuden eine Rolle.

Ausgehend von den bisher gewonnenen Erkenntnissen wurden folgende prinzipielle Lösungsansätze zur Beherrschung der Radonsituation in Häusern untersucht:

1. Entfernen der Radonquelle
2. Kapseln der Radonquelle
3. Abdichten des Untergrundes
4. Abdichten der Gebäudehülle
5. Herstellen eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles

Es konnte herausgearbeitet werden, dass in Anbetracht der an beiden Standorten vorliegenden Kenntnisse zur Beeinflussungssituation in den Häusern insbesondere eine generelle wettertechnische Lösung unter Nutzung des Wirkprinzips „Erzeugung eines grubenwärts gerichteten Druckgefälles“ primäre in Frage kommt. Damit ist zur Lösung der bergbaubedingten Radonbelastung an beiden Standorten eine künstliche Bewetterung der Grube anstrebenswert.

Eine wettertechnische Lösung kann sowohl lokal als auch flächenhaft aufgebaut werden.

Welcher Ansatz anzuwenden ist, hängt davon ab, ob der Grubeneinfluss auf die Radonsituation in Häusern nur lokal oder flächenhaft ausgeprägt ist. Eine wettertechnische Lösung kann bei Erfordernis durch hausspezifische Einzelfallmaßnahmen ergänzt werden.

Der Zusammenhang der unbedingt zu beachteten Maßnahmen zur Sicherung der Grubenbaue gegen Bergschäden und der Radonproblematik ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

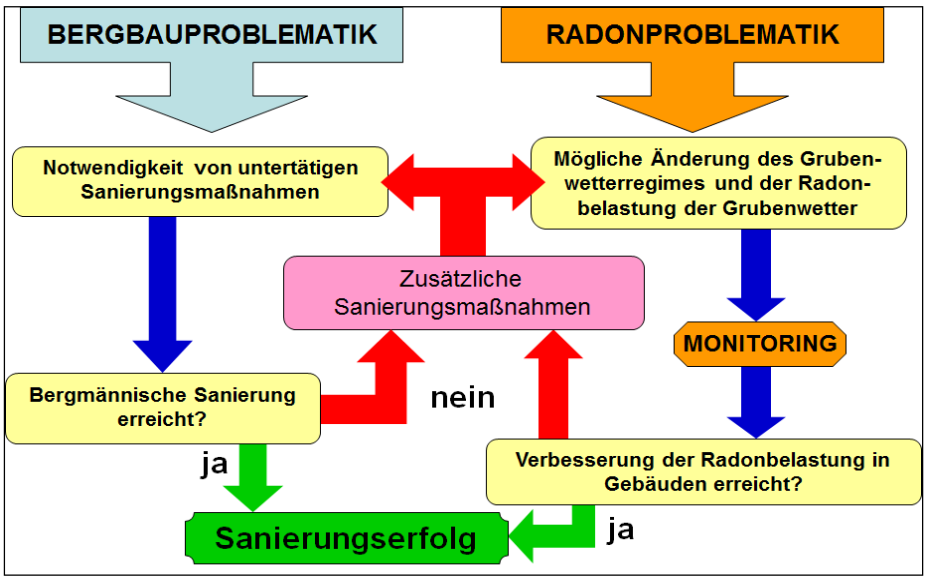


Abb. 4 *Schematische Darstellung des Zusammenhangs zwischen Bergbau- und Radonproblematik*

3 Aspekte der Radonbelastung in Schneeberg

In der Bergstadt Schneeberg wurden mit der Umsetzung des Pilotprojektes Natürliche Bewetterung in Schneeberg die Grundlagen für eine flächenhafte Entlastung untersucht [7]. Ausgangsgrundlage des Projektes war die Feststellung über Möglichkeiten und Grenzen der Ausnutzung des natürlichen Wetterstroms zwischen Tagesöffnungen in Hochlage (Schächte) und Tagesöffnungen in Tieflage (Stollnmundlöcher) für eine flächenhafte Wirkung zur Senkung der Radonbelastung in den Gebäuden der Stadt. Durch die sich einstellende Wetterführung werden die belasteten Grubenwetter an definierten Punkten abgeführt und ein Eindringen in die Gebäude möglichst minimiert.

In den Jahren ab 1995 wurde das Vorhaben realisiert. Grundlage des prinzipiellen Herangehens waren die 1994 vorgelegten „Untersuchungen über Möglichkeiten der gezielten Bewetterung im Schneeberger Grubenfeld zur Senkung der Radonbelastung der Bevölkerung".

Die Zielstellung des realisierten Pilotprojektes war die Feststellung, welche Effekte sich durch die Nutzung der Bewetterung durch die realisierten bergmännischen Maßnahmen im Grubenfeld betreffs der Herstellung der entsprechenden Tagesöffnungen und den Ausbau der Wetterwege für die Radonsituation in den Häusern der Stadt ergeben.

Das Projekt ist grundsätzlich iterativ angelegt, um die bergbaulichen Arbeiten zur Nutzung und Führung der Wetterbewegungen durch die messtechnische Begleitung (monatliche Radonmessungen in Häusern, Bodenradonmessungen, Radon- und Wettermengenmessungen im Grubengebäude und an den Tagesöffnungen) zu erfassen. Die Radonbelastung der Grubenwetter liegt je nach Messpunkt zwischen 10.00 und 100.00 Bq/m³.

Beispiel Querschlag 6 - Strecke 26 (Langzeitmessung):	07.07.-02.09.1999	→	64.000 Bq/m³
	16.07.-29.08.2001	→	45.000 Bq/m³

Zusätzlich wurden 15 Bewetterungsversuche unter definierten Verhältnissen bei Winter- und Sommerbedingungen realisiert, um Ergebnisse für die Optimierung der Wetterströme zur Senkung der Radonbelastung zu erreichen. Bei den insbesondere im Rahmen der Bewetterungsversuche ausgeführten, begleitenden Messungen (Tracergas- und Druckmessungen) konnten der direkte maßgebliche Einfluss der radonbelasteten Grubenwetter auf die Gebäudeinnenraumradonkonzentration und die Rolle minimaler Druckänderungen auf den Wirkmechanismus der Radonkonvektion erkannt werden, um hieraus konzeptionelle Schlussfolgerungen für Maßnahmen zur Senkung der Radonbelastungssituation abzuleiten. Das Gesamtergebnis, das unter den geschaffenen bergbaulichen Bedingungen bisher erreicht wurde, zeigt die prinzipielle Machbarkeit und die Wirkung der Beeinflussung der Grubenwetter durch die gezielte Bewetterung zur Senkung der radiologischen Belastungen in den Häusern. Bei den durch Grubenwetter beeinflussten Häusern ist an den jeweiligen Messpunkten eine generelle Tendenz zur Verringerung nachweisbar.

Zugleich wurde im Lauf der Bearbeitung die Rolle des unmittelbaren Einflusses der Standortbedingungen (Interface) auf die Radonbelastung in den Häusern zunehmend erkannt. Diese Kenntnisse eröffnen zusätzliche Möglichkeiten der positiven Beeinflussung.

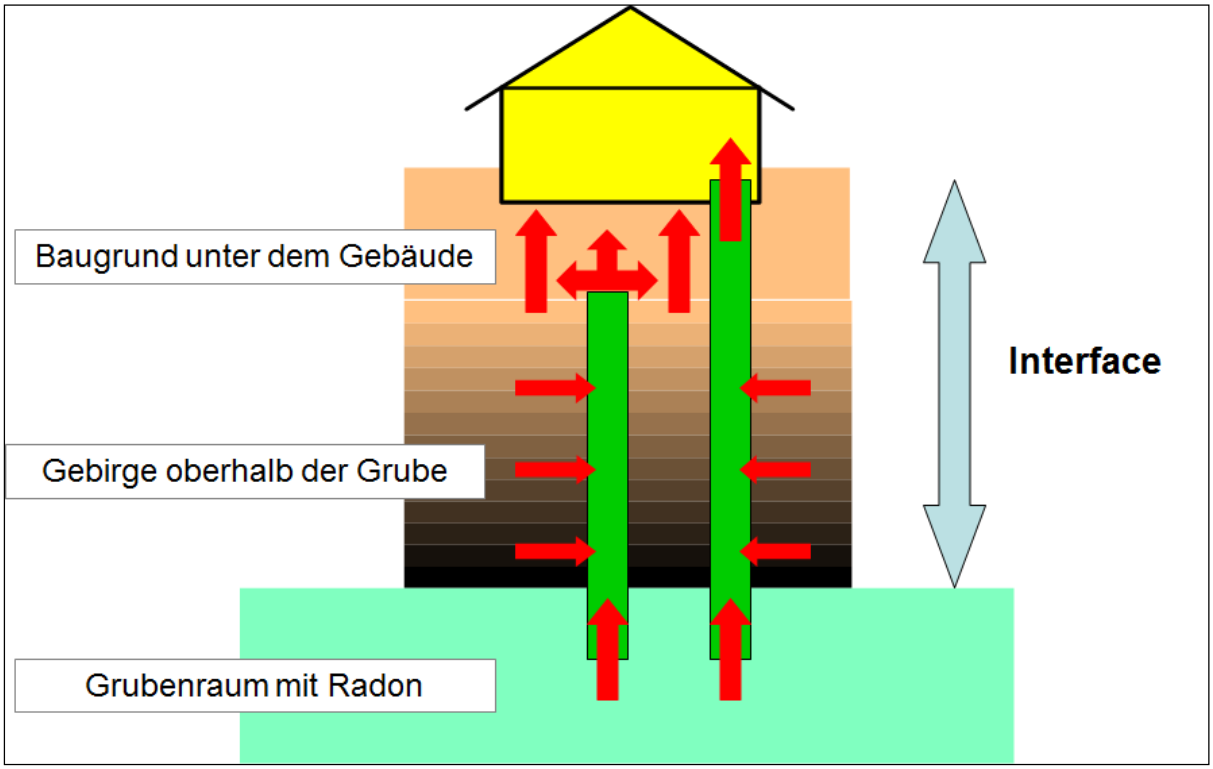


Abb. 5 *Mögliche Ankopplung an das Grubengebäude*

Insgesamt zeigt sich bei der nachgewiesenen generellen positiven Tendenz der Nutzung der gezielten Bewetterung, dass der erreichte Stand der Bewetterung des Gesamtsystems des Schneeberger Grubenreviers erhalten werden muss und durch sich ergebende Realisierungen geplanter Sanierungsmaßnahmen insbesondere der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus iterativ in das zu optimierende Konzept des Gesamtbewetterungssystems einzuordnen sind. Hier ist noch Potenzial insbesondere durch Nutzung weiterer Tagesöffnungen und Herstellung und Verbesserung der Wetterwegsamkeit vorhanden. Um die notwendige Senkung der Radonbelastung in den Häusern zu erreichen, ist die natürliche Bewetterung allein nicht ausreichend.

Deshalb sollen zukünftig technische Maßnahmen zur Unterstützung der senkend wirkenden Wetterströme insbesondere bei Zeiträumen des natürlichen Wetterstillstandes oder zum Erreichen einer wirksamen Druckdifferenz zur Erhöhung der Effizienz in Betracht gezogen werden.

Die Analyse der in der Bergstadt Schneeberg flächenhaft vorliegenden Radonbelastung auf der Basis der im Messprogramm einbezogenen Gebäude zeigt die Dringlichkeit der Einleitung weiterer Maßnahmen zur Senkung der Radonbelastung (Abbildung 6).

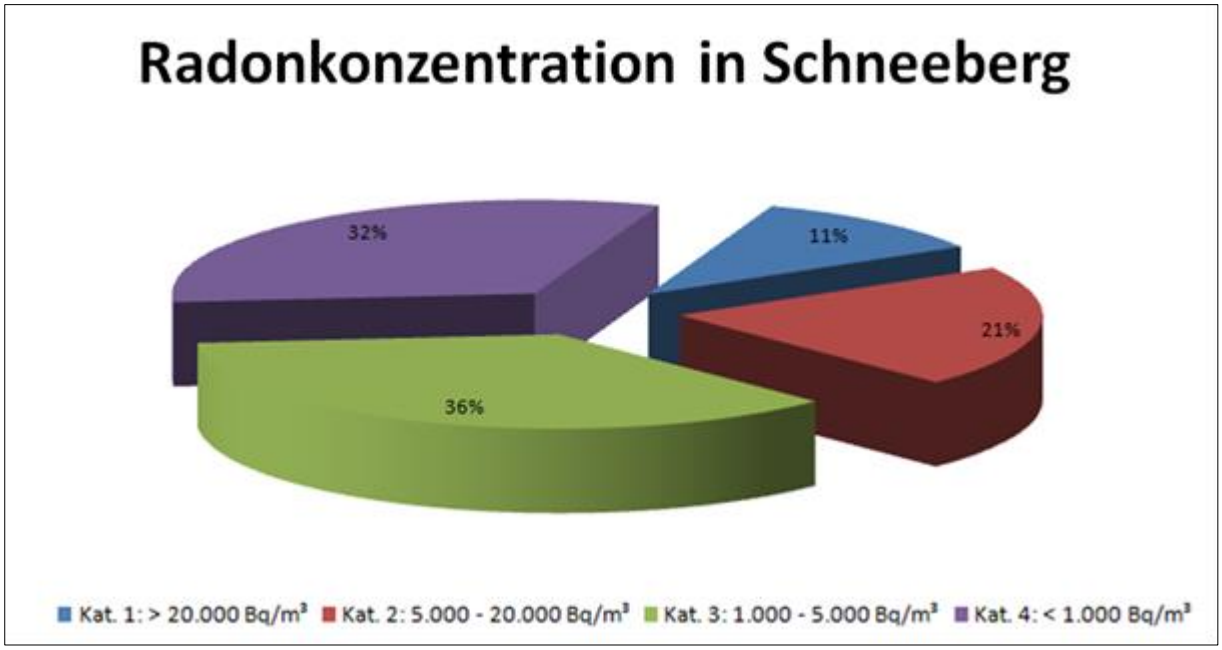


Abb. 6 *Verteilung der Radonkonzentration in Häusern der Stadt Schneeberg (gemessen im Keller)*

Mit der stetigen Fortführung des sanierungsbegleitenden Messprogramms in Schneeberg ab 2006, insbesondere der Durchführung sanierungsbegleitender Radonmessungen im komplexen Sanierungsareal Kirchplatz (KSA2) und weiteren Arbeiten im Grubenraum, konnte der Einfluss der Bewetterungsmaßnahmen für die Sanierungsarbeiten und die sich einstellenden Wetterbewegungen im Grubenraum kontinuierlich weiter erfasst werden.

Damit wird gesichert, dass die Radonkonzentrationen in den Häusern beweissicher aktuell dokumentiert werden und auf Änderungen reagiert werden kann. Zugleich können Daten für die Erarbeitung von Konzepten zur dauerhaften Lösung der Grubenbewetterung mit dem Ziel der weiteren Senkung der Radonbelastung in den Gebäuden der Stadt gewonnen werden.

Das langfristige Messprogramm in den Häusern von Schneeberg, das durch zusätzliche Messpunkte in Schneeberg Neustädtel ab 2010 ergänzt wurde, ist Bestandteil des Basismessprogramms (102 Messstellen) für das gesamte Gebiet von Schneeberg, um die Gesamtsituation der radonbelasteten Wetter sowohl über- als auch untertage kontinuierlich zu erfassen und die relevanten Maßnahmen daraus abzuleiten, um die Belastungssituation für die Bevölkerung zu senken.

Die im Pilotprojekt Schneeberg erzielten Erkenntnisse sind prinzipiell auch für weitere Bergstädte wie Annaberg und Johanngeorgenstadt relevant.

4 Weiteres Beispiel: Bergbaugebiet Johanngeorgenstadt

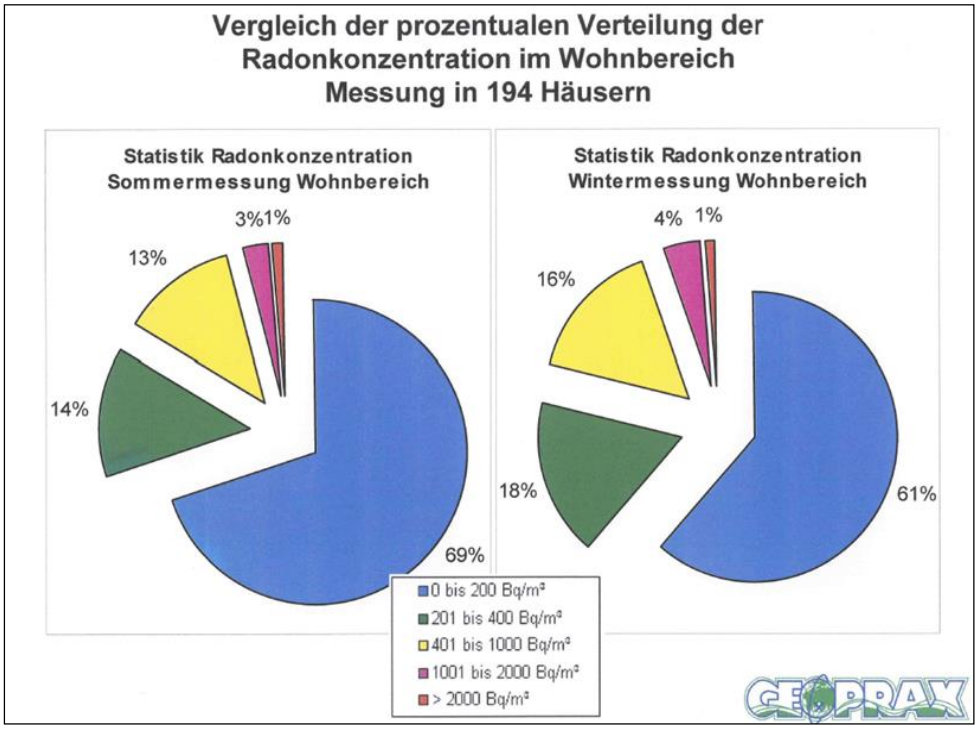


Abb. 7 *Vergleich der prozentualen Verteilung der Radonkonzentration in Häusern von Johanngeorgenstadt*

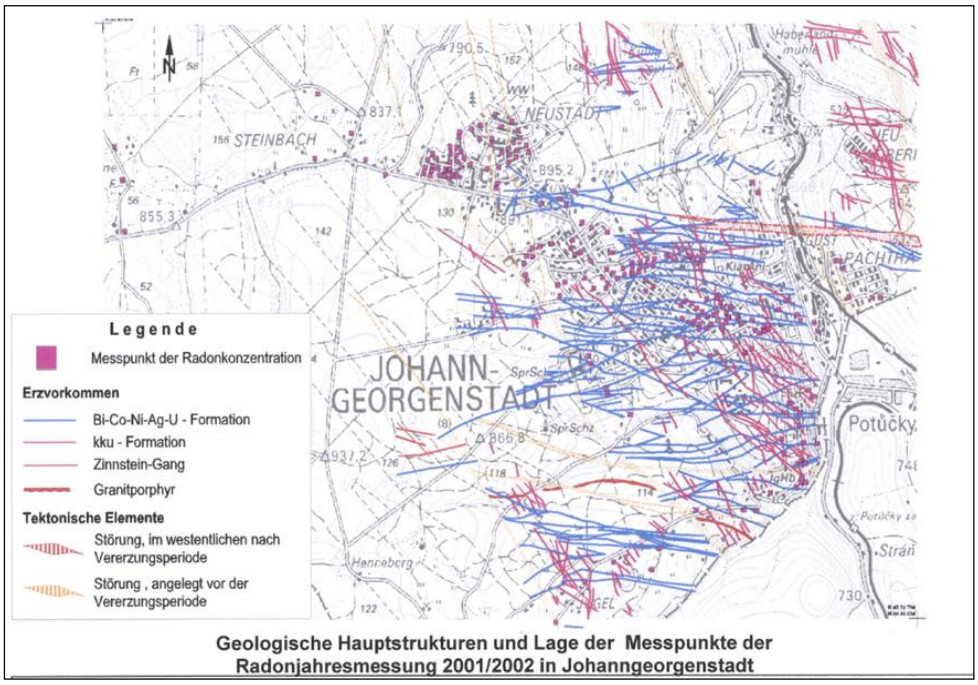


Abb. 8 *Geologische Hauptstrukturen und Lage der Messpunkte*

Für die Bergstadt Johanngeorgenstadt liegen Jahresmessungen vor Beginn der maßgeblichen bergmännischen Verwahrungsarbeiten vor.

5 Schlusfolgerungen

In Gebieten mit umgegangenen Bergbau in Sachsen stellt das aus den bergmännischen Auffahrungen migrierenden Radon für die Gebäude ein erhebliches Problem dar.

Die Verhältnisse in Schneeberg stellen sowohl in der Höhe der Radonkonzentration in der Bebauung als auch in der Menge der betroffenen Häuser einen Sonderfall dar, der mit geeignetem Vorgehen gelöst werden muss. Die perspektivische Umsetzung der EU-Norm lässt die Dringlichkeit der ausstehenden Probleme zusätzlich ratsam erscheinen.

Als Herangehenskonzept wird die Synergie der Bergsicherungsarbeiten und dem Abbau grubenbedingter Radonzuflüsse in die Bebauung empfohlen.

Es handelt sich in Schneeberg um gegebene Altlasten, die im Rahmen der bisherigen Projekte angegangen wurden und die gezielt einer abschließenden Lösung zugeführt werden müssen.

Es muss, um effektiv in Bezug auf die Senkung der Radonbelastung zu sein, in Gebieten mit nachgewiesenen bergbaubedingten erhöhten Radonkonzentrationen analog zum Pilotprojekt vorgegangen werden, wobei die Entscheidung durch die Relevanz bei einer flächenhaften Beeinflussung der Bebauung in der Entscheidungsfindung primär gegeben ist.

6 Quellen

[1] Leißring, B., Schröder, B.: Beitrag zur lokalen Geologie im Rahmen der Erkundung eines Areals mit historischen Kalkabbau 2. geolog. Wiss. 26 (1/2), Berlin, August 1998

[2] Böhm, Ch., Hansueli, J.: Radon in Bodenluft - Radonentstehung und -ausbreitung, Permeabilitätsbestimmung in Bodenluft, Bull. angew. Geologie, Vol. 10/1, Juli 2005

[3] Militzer, H., Schön, J., Stötzner, U., Stoll, R.: Angewandte Geophysik im Ingenieur- und Bergbau, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1986

[4] Kemski, J, Woith, H., Feige, S., Rüter, H.: Radon-Grundlagen und Bezug zur Geothermie, Thermische Energie Heft 76, 2013/2

[5] Löbner, W., u. a.: Bericht Bewetterungsversuch in Schneeberg-Neustädtel, Wismut GmbH und GEOPRAX, 2010

[6] Schulz, H.: Entwicklung einer Messmethode zur Bestimmung der Radonquellstärke großer Flächen und Bewertung der Radondämmwirkung von Abdeckschichten, Schriftenreihen Reaktorsicherheit und Strahlenschutz, BMU-2003-622

[7] Wismut GmbH, Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX: Wetterprojekt Schneeberg, Stand 2010, Copyright 2010 by Wismut GmbH und GEOPRAX

[8] Leißring, B.: Zielstellungen und Erfahrungen zu aktuellen Fragen bei radonsicherem Bauen und Sanieren, 8. Sächsischer Radontag, Dresden 2014

ARBEITSPLATZÜBERWACHUNG BEI ERHÖHTER NATÜRLICHER STRAHLENEXPOSITION

MONITORING OF INCREASED NATURAL OCCURRING RADIATION EXPOSURE

Andreas Guhr[1)]

Nick Leißring[2)]

[1)] ALTRAC Radon-Messtechnik, Berlin

[2)] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX, Chemnitz

Zusammenfassung

Die Strahlenexposition infolge natürlicher Quellen stellt für den Arbeitsschutz besondere Herausforderungen dar. Im Rahmen des praktizierten Strahlenschutzes wird die Überwachung der Strahlenexposition von Beschäftigten in Arbeitsfeldern mit erhöhten Radon-222-Expositionen bei Arbeiten in Bergwerken, Radon-Heilbädern und Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 der StrSchV Anlage XI, Teil A, geregelt. Neben der Inhalation von Radon und Radon-Zerfallsprodukten sind – an Arbeitsplätzen mit erhöhter natürlicher Strahlenexposition die Pfade Direktstrahlung (Gammastrahlung); Ingestion von radioaktiv kontaminierten Stoffen sowie die Inhalation von kontaminiertem Schwebstaub zu nennen. Die Überwachung der Beschäftigten erfolgt im Wesentlichen durch Messungen seitens des Strahlenschutzbeauftragten/Strahlenschutzverantwortlichen der ausführenden Betriebe (Eigenüberwachung), durch externe Ingenieurbüros sowie durch Kontrollmessungen der Fachbehörde. Die Erfahrungen in der Praxis haben gezeigt, dass im betrieblichen Strahlenschutz nur eine Kombination von Personendosimetrie und operativem Strahlenschutz gewährleistet, dass Gesundheitsgefährdungen bei Arbeiten mit erhöhten natürlichen Strahlenexpositionen vermieden werden können.

Summary

The radiation exposure due to natural occurring sources is a special challenge for the health and safety protection at workplaces. The monitoring of the radon exposure of employees in mines, radon-spa and in water works is regulated by prescription of radiation protection. The relevant compounds of the radiation exposure are the inhalation of radon and radon daughter products; terrestrial irradiation; ingestion of radioactive contaminated materials and the inhalation of contaminated dust. The monitoring of the radiation workers is realized essentially by measurements by radiation safety officer of the performing company, by an external engineering firm as well as by control measurements of experts of local authorities. The experiences in the practice have shown that in the field of operational radiation protection only a combination of personal- and operational dosimetry is suitable to avoid health hazards by work in fields with increased natural occurring radiation exposures.

1 Darstellung der gegenwärtigen Situation

Die Radonkonzentration kann sowohl mit aktiven als auch mit passiven Messgeräten ermittelt werden /1/. Aktive Messmethoden, hierbei handelt es sich um elektronische Geräte mit Direktanzeige, verursachen bei deren Einsatz in der Messpraxis einen vergleichsweise hohen arbeitsorganisatorischen Aufwand und sind kostenintensiv, sind aber für Messaufgaben im Rahmen des operativen Strahlenschutzes unverzichtbar. Die Messungen erfolgen größtenteils mit Grubenradiometern mit typischen Messzeiten von 10 bzw. 15 Minuten.

Elektronische Messgeräte erfordern zur Gewährleistung der Qualitätssicherung einen vergleichsweise hohen Kalibrieraufwand. So ist die vom Bundesamt für Strahlenschutz für die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition festgelegte turnusmäßige Kalibrierung derartiger Messgeräte nur an einem akkreditierten Kalibrierlabor zulässig. Eine derartige Kalibrierung ist zwei Jahre gültig und muss danach wiederholt werden /2/.

Passive Messmethoden, hierbei handelt es sich im Wesentlichen um orts- und personendosimetrische Messsysteme auf der Basis von Kernspurdetektoren, sind jährlich einer Vergleichsprüfung in der Kalibrierkammer des BfS zu unterziehen. Diese Messsysteme verfügen über keine Direktanzeige. Die Auswertung der einzelnen Detektoren ist vergleichsweise zeitintensiv und aufwendig, dafür sind die Anschaffungskosten sehr niedrig.

Im Rahmen des praktizierten Strahlenschutzes wird die Radonexposition von Beschäftigten in Anlagen der Wasserwirtschaft, Schau-/Besucherbergwerken und Schauhöhlen sowie in Bergbausanierungsbetrieben gegenwärtig mit unterschiedlichen Messsystemen ermittelt. In einer Reihe von Unternehmen erfolgen die Messungen auf der Basis der eingangs erwähnten Kurzzeitmessgeräte elektronischer Bauart. Zu diesem Zweck werden an den einzelnen Betriebspunkten in zeitlich unterschiedlichen Abständen (1 x pro Woche bis 1 x pro Jahr) jeweils eine Kurzzeitmessung durchgeführt und die individuelle Strahlenexposition anhand der Aufenthaltszeiten an den einzelnen Betriebspunkten auf zwölf Monate hochgerechnet. Gemäß Richtlinie für die Überwachung der beruflichen Strahlenexposition bei Arbeiten sind die folgenden Maßnahmen erforderlich:

- Erhebungsmessungen;
- Kontrollmessungen nach Maßnahmen zur Reduzierung der Exposition;
- Überwachungsmessungen im Rahmen der physikalischen Strahlenschutzkontrolle.

Nur eine Kombination dieser Maßnahmen gewährleistet, dass die Strahlenschutzüberwachung dazu führt, Gesundheitsgefährdungen bei Arbeiten nach Teil 3 Kapitel 2 der StrSchV zu vermeiden.

2 Komponenten der Strahlenexposition

Die Existenz natürlich vorkommender Radionuklide (wie Uran und Thorium) führen zu erhöhten Strahlendosen für die Bevölkerung und für Arbeitnehmer. Insbesondere bei untertägigen Arbeiten im beschriebenen geogenen Umfeld sind Maßnahmen zur Reduzierung der Strahlenexposition einzuplanen.

Bei einer ganzheitlichen Betrachtungsweise des beruflichen Strahlenschutzes, speziell an untertägigen Arbeitsplätzen, muss daher im Einzelfall geprüft werden, welche potenziellen Komponenten der Strahlenexposition Berücksichtigung finden müssen. In den BASIC SAFETY STANDARDS der ICRP /3/ findet sich unter dem Kapitel Dosisgrenzwerte bei kombinierten Expositionen die nachfolgend aufgeführte Beziehung zur Berechnung der effektiven Dosis E_T:

$$ET = Hp\,(d) + \sum e(g)j.\ ing\ \ Ij.\ ing\ + \sum e(g)j.\ inh\ Ij.\ Inh \qquad (1)$$

mit $H_p(d)$: Äquivalentdosis

$e(g)_{j.\,ing}$: effektive Dosis pro Einheit Aufnahme durch Ingestion

$e(g)_{j.\,inh}$: effektive Dosis pro Einheit Aufnahme durch Inhalation

$I_{j.\,ing\ /\ inh}$: Aufnahme Radionuklid j über Ingestion bzw. Inhalation

Gemäß Absatz 10 Teil 3 Kapitel 2 StrlSchV hat der Verpflichtete die Radonexposition und die Körperdosis auf geeignete Weise durch Messung der Ortsdosis, der Ortsdosisleistung sowie der Konzentration radioaktiver Stoffe oder Gase in der Luft zu ermitteln und Maßnahmen abzuleiten.

3 Betrieblicher Strahlenschutz

Die rechtlichen Grundlagen des betrieblichen Strahlenschutzes sind:

- VOAS - Verordnung über die Gewährleistung von Atomsicherheit und Strahlenschutz
- StrlSchV - Strahlenschutzverordnung
- HaldAO - Anordnung zur Gewährleistung des Strahlenschutzes bei Halden und industriellen Absetzanlagen und bei der Verwendung darin abgelagerter Materialien

Teil 3 StrlSchV (Schutz von Mensch und Umwelt vor natürlichen Strahlungsquellen bei Arbeiten) betrifft nach Anlage XI die folgenden Bereiche:

Teil A: Arbeitsfelder mit erhöhten Radon-222-Expositionen bei Arbeiten in

- untertägigen Bergwerken, Schächten und Höhlen, einschließlich Besucherbergwerken,
- Radon-Heilbäder und -Heilstollen,
- Anlagen der Wassergewinnung, -aufbereitung und -verteilung.

Die Überwachung der Beschäftigten erfolgt im Wesentlichen durch

- Ortsdosimetrische Messungen
- Personendosimetrische Messungen
- Kontrollmessungen durch die Behörde

Der betriebliche Strahlenschutz umfasst auch die jährliche Berichterstattung an die Fachbehörde mit Dokumentation der Jahresdosis für die Beschäftigten. Für die Bergbausanierungsbetriebe in Sachsen ist die messtechnische Überwachung der Strahlenexposition in einer speziellen Strahlenschutz-genehmigung (firmenbezogen) geregelt. Diese umfasst neben der Dosisbestimmung für die eingesetzten Arbeitnehmer auch den Umgang mit radioaktiv kontaminierten Massen im Rahmen von bergmännischen Arbeiten. Maßnahmen zur Sanierung radioaktiver Altlasten (Halden, Schlammteiche usw.) unterliegen einer projektspezifischen Strahlenschutzgenehmigung. In diesen Genehmigungen werden die relevanten Expositionen berücksichtigt und ein spezielles baubegleitendes Messprogramm für die Arbeitnehmer und die angrenzenden Bevölkerung erstellt. Hierbei ist die Einbindung der Fachbehörde (z.B. LfULG) im Rahmen der Planung stets gegeben.

Abb.1: *Untertägige Messung zur Erfassung des Radonzutritts (Messung Volumenstrom und Radon-222-Konzentration) im Altbergbau*

Abb.2: *Sonderbewetterungsmaßnahme (drückende Frischwetterzufuhr) bei der Sanierung eine Schadstelle des WISMUT-Altbergbaues*

Die nachfolgend aufgeführten Komponenten der Strahlenbelastung stellen die relevanten Expositionspfade bei natürlichen Strahlenquellen dar:

- Inhalation von Radon und Radonfolgeprodukten (Hauptpfad der Strahlenbelastung)
- untertägigen Sanierungsaufgaben - hier erfolgt kontinuierliche Überwachung)
- Direktstrahlung - Gammastrahlung (Anteil i.R. < 10 % - baustellenspezifisch)
- Ingestion von radioaktiv kontaminierten Stoffen (Beachtung Arbeitshygiene)
- Inhalation von kontaminiertem Schwebstaub (Vermeidung von Stäuben)

Der nachfolgende Abschnitt stellt die Vor- und Nachteile der bei Überwachung der Radon-222-Exposition dar.

Personendosimetrie mit Kernspurdetektoren (passiv)

Vorteile:

- Erfassung aller zeitlichen Konzentrationsschwankungen
- Dauerhafte Registrierung des Messwertes im System
- Zentrale Auswertbarkeit

Nachteile:

- Keine Momentanablesung des Messwertes möglich
- Zusätzliche Messtechnik für operativen Strahlenschutz erforderlich
- Bestimmung Gleichgewichtsfaktor notwendig

Ortsdosimetrie mit integrierenden Radon-Messgeräten (aktiv)

Vorteile:

- Sofortige Ableitung von operativen Strahlenschutzmaßnahmen
- Erfolgskontrolle nach Umsetzung technischer Maßnahmen

Nachteile:

- Große Fehlermöglichkeiten bei starken und insbesondere unregelmäßigen Konzentrations-schwankungen (Fachkunde SSB erforderlich)
- Fehlerhafte Handhabung der Messgeräte
- Regelmäßige Kalibrierung der Messgeräte im BfS erforderlich
- Zusätzlicher Aufwand für Personendosimetrie notwendig

In diesem Zusammenhang ist es wichtig darauf hinzuweisen, dass die Personendosimetrie für die amtliche Feststellung der Dosis erforderlich ist. Die jeweilige Landesbehörde legt eine amtliche Messstelle fest, die berechtigt ist, Dosimeter auszugeben.

Die praktische Umsetzung der Bestimmung der effektiven Dosis infolge der Inhalation von Radon und

Radonfolgeprodukten erfolgt durch die Ermittlung der Radonexposition bzw. potenziellen Alphaenergie-Exposition:

- Erfassung der Radon- und Radonfolgeproduktkonzentration unter
- Arbeitsbedingungen (Messungen mit Messgeräten und Dosimeter)
- Bestimmung der tatsächlichen Arbeitszeit untertage (Stundenliste)
- Berechnung der Exposition als Produkt der Konzentration und Arbeitszeit

In Auswertung der ortsdosimetrischen und der personendosimetrischen Messungen müssen durch den Strahlenschutzbeauftragten/Verantwortlichen, in Abhängigkeit von der vorliegenden Strahlen-exposition, Maßnahmen abgeleitet werden (siehe Tabelle 1).

Tab. 1: *Maßnahmen in Abhängigkeit von der Höhe der Exposition nach [2]*

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

4 Betrachtung der Kenngröße Gleichgewichtsfaktor

In der internationalen Literatur sowie in der Strahlenschutzverordnung wird für Arbeitsplätze allgemein ein mittlerer Gleichgewichtsfaktor von EF=0,4 angegeben. Im Auftrag des LfULG wurden in einer Reihe von untertägigen Objekten eine Vielzahl von Messungen zur Bestimmung des Gleichgewichtsfaktors durchgeführt. Die Ergebnisse der mit elektronischen Messgeräten ermittelten Gleichgewichtsfaktoren weichen bei der Mehrzahl der untersuchten Objekte z.T. deutlich von dem oben genannten Wert ab. Die nachfolgende Box Plot und Quantil-Darstellung (Abbildung 3) zeigt die Verteilung der Gleichgewichtsfaktoren in den einzelnen Bergwerken und Schaubergwerken.

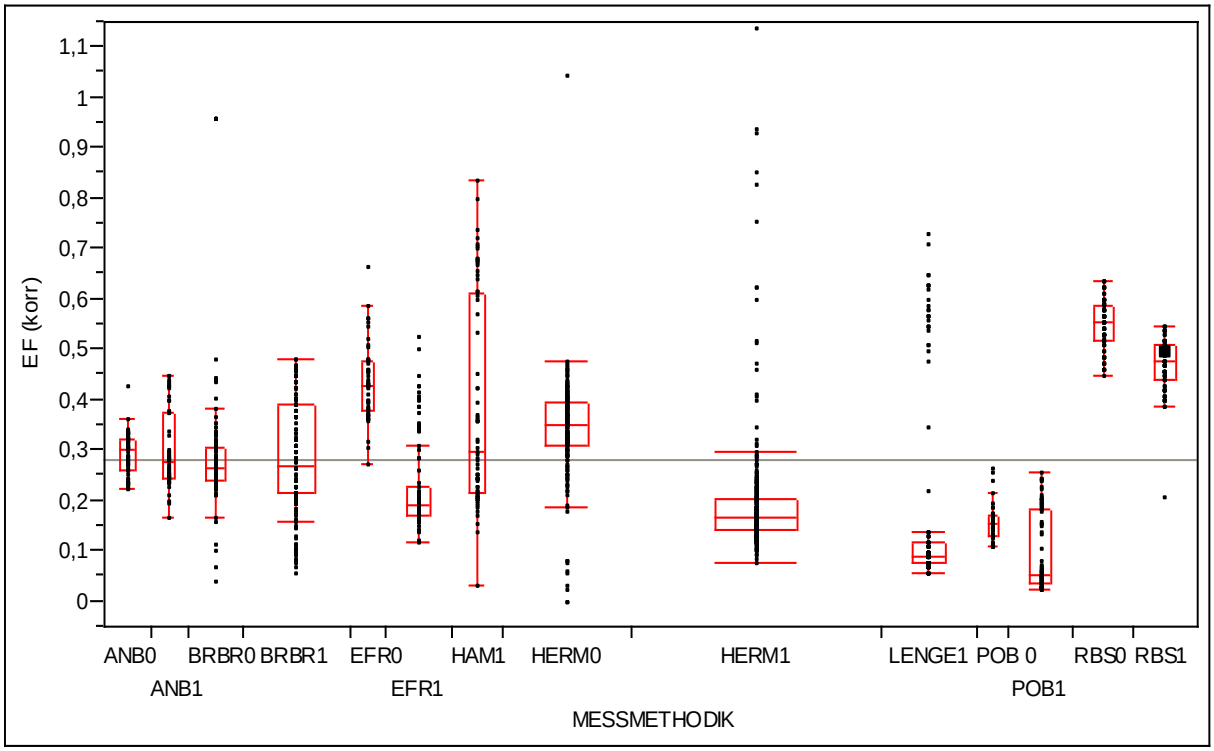


Abb.3: *Ergebnisse der Bestimmung der Gleichgewichtsfaktoren mittels elektronischer Messgeräte*

Die durchgehende Linie bei ca. 0,3 entspricht dem Mittelwert des Gleichgewichtsfaktors EF aus allen Messungen. Die Linie innerhalb der Boxen entspricht dem Median der einzelnen Messreihe und die obere und untere Begrenzung der Box entspricht dem 75 %- bzw. 25%-Perzentil. Die oberen und unteren waagerechten Begrenzungslinien bestimmen die oberen und unteren Grenzen des Bereiches, wo einzelne Messwerte als Ausreißer gelten, wenn sie außerhalb dieser Grenzen liegen.

In Auswertung der Messungen im Rahmen der oben genannten Studie wurde deutlich, dass der Gleichgewichtsfaktor eine enormere Streubreite im Bereich von <0,1 bis 0,9 aufweist. Schau- und Besucherbergwerke mit vergleichsweise konstanten Wetterbedingungen zeigen in der Regel einen engen Wertebereich von 0,25 bis 0,45. Hier ist eine gute Übereinstimmung mit dem in der Richtlinie Arbeiten [2] aufgeführten Wertebereich von 0,2 bis 0,7 für die Bestimmung der Strahlendosis aus der Radonexposition gegeben.

Bei Sanierungsbaustellen (untertägige bergmännischen Arbeiten zur Sanierung/Verwahrung) als auch im produzierenden Bergbau mit wechselnden Arbeitsbedingungen (Baustellenfortschritt, Umstellung Sonderbewetterung usw.) zeigt die praktische Erfahrung, dass die Gleichgewichtsfaktoren deutlich außerhalb des Wertebereiches von 0,2 bis 0,7 liegen können. In solchen Fällen ist für die Dosisberechnung aus den Ergebnissen der Personendosimetrie mittels Kernspurdetektoren auch die Einbeziehung der ortsdosimetrischen Messungen der Radon- und der Radon-Folgeprodukt-Konzentration heranzuziehen. Die durch GEOPRAX ausgeführten Arbeitsplatz-Messungen [4] beinhalten neben der Bestimmung der Radonkonzentration immer auch die Erfassung der Radon-Folgeprodukt-Konzentration, um klare Aussagen zum Gleichgewichtsfaktor bei der Dosisberechnung vornehmen zu können.

5 Literaturverzeichnis

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

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

[3] International Basic Safety Standards for Protection against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources; SAFETY SERIES No. 115 (1996)

[4] GEOPRAX: Interne Messanleitung zur Bestimmung der beruflichen Strahlenexposition nach StrlSchV mittels aktiver Messgeräte bei untertägigen Sanierungsarbeiten im Altbergbau - ortsbezogene Messungen

STRAHLENSCHUTZ IN WASSERWERKEN

RAY PROTECTION IN WATERWORKS

Roland Baumann

BG (Berufsgenossenschaft) ETEM (Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse), Nürnberg

Zusammenfassung

Im Beitrag wird der Strahlenschutz als Bestandteil des Arbeits-, und Gesundheitsschutzes dargestellt. Es werden die Einflussgrößen auf die Strahlenbelastung in Wasserwerken, Möglichkeiten der Reduzierung und Einflussnahme über das DVGW-Regelwerk beschrieben.

Abschließend wird ein Versuch der Relativierung des Einflusses unterschiedlicher Normen vorgenommen.

Summary

The article presents the ray protection as a component of the work, and health protection law. The dimensions of influence on the ray load are described in waterworks, possibilities of the reduction and influencing and control about the DVGW norm.

Finally, an attempt of the relativisation of the influence of different norms is carried out.

BG ETEM
Energie Textil Elektro
Medienerzeugnisse

Sächsischer Radontag

Strahlenschutz in Wasserwerken

Gesetzliche Grundlagen

BG ETEM

Grundsätzlich besteht nach
§5 des Arbeitsschutzgesetzes die
Verpflichtung zur Gefährdungsbeurteilung. Gefährdungen durch Radon können dabei nicht ausgespart werden.

Strahlenschutzmaßnahmen sind als Teil des allgemeinen Arbeitsschutzes anzusehen, so ist z. B. in der Strahlenschutzverordnung § 34 vorgesehen, dass die Strahlenschutzanweisung Bestandteil
von Betriebsanweisungen nach dem Arbeitsschutz sein kann.

Baumann BGETEM

Pfade

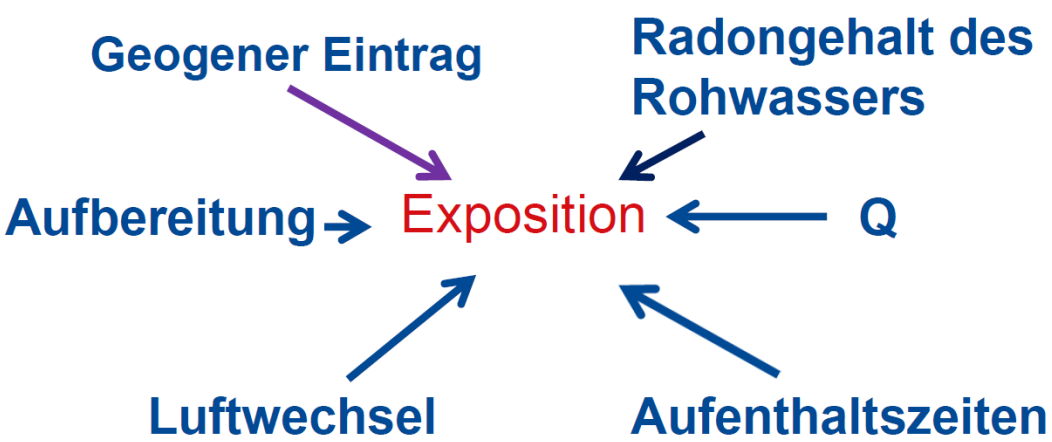
BG ETEM

- Gelöst im Grundwasser
- Direkt aus Baugrund bei Speicherung von quasi-radonfreien Oberflächenwasser
- Durch den Aufbereitungsprozess selbst

Baumann BGETEM

Einflussgrößen

BG ETEM



Baumann BGETEM

Die großen A im Strahlenschutz

BG ETEM

- Automatisierung
- Aufbereitung von Oberflächenwasser/Fernwasser
- Abluftoptimierung
- Außerbetriebnahme hoch belasteter Quellen
- Abschottung

Baumann BGETEM

Maßnahmen

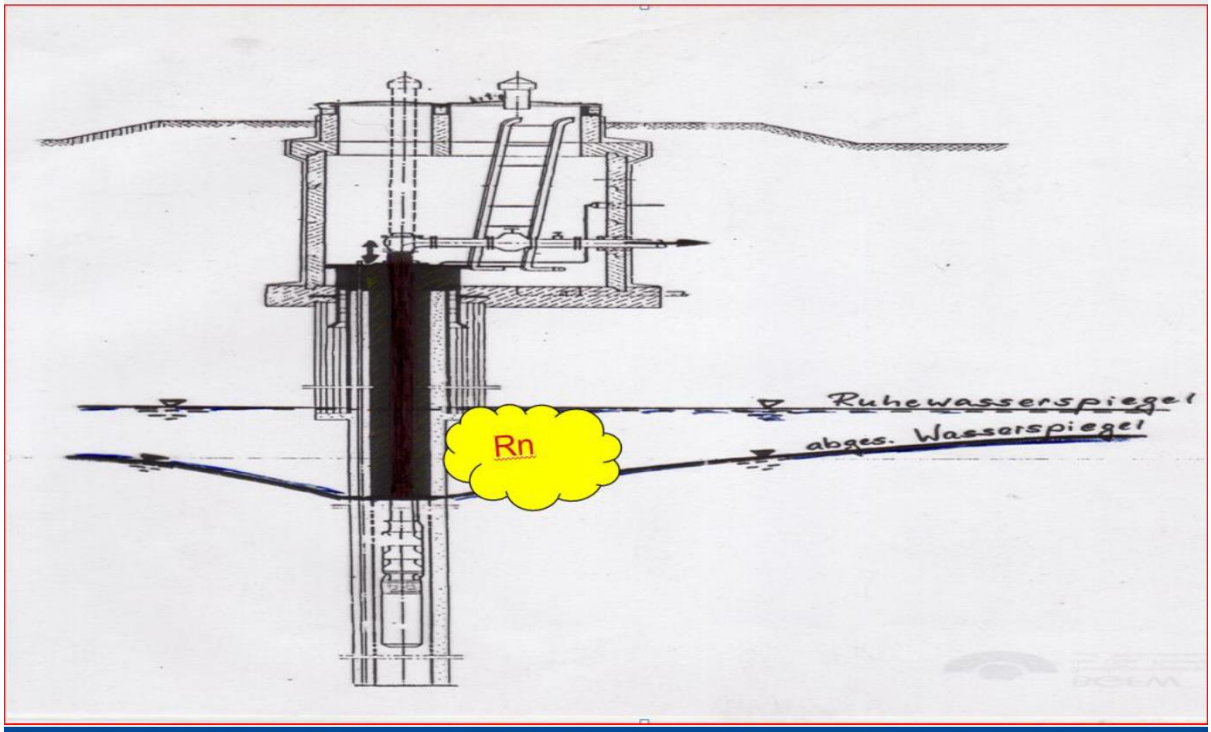
BG ETEM

- Einsatz von Fernwirktechnik, so dass die Aufenthaltszeiten in den Anlagen auf ein Bruchteil reduziert wurden

Baumann BGETEM

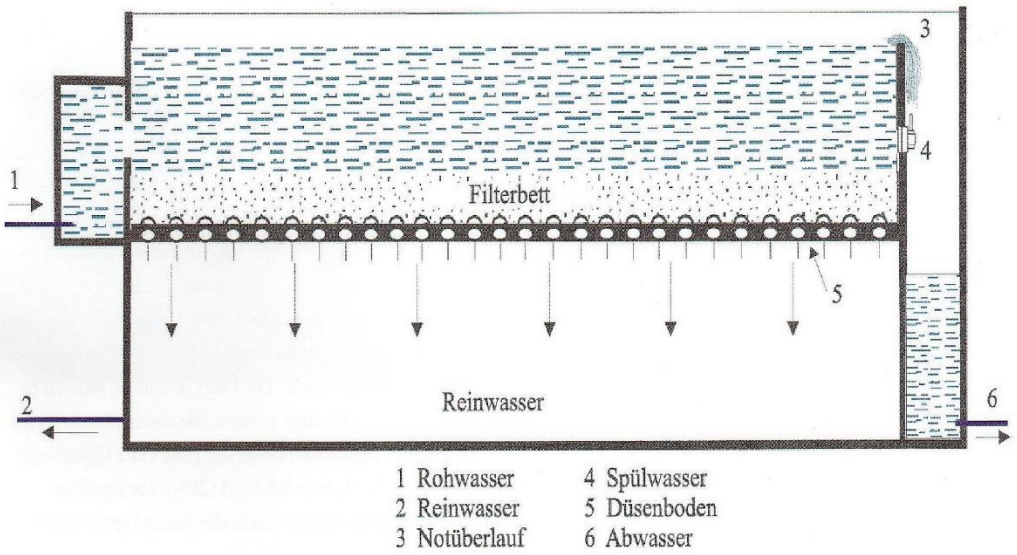
Tiefbrunnen

BG ETEM



Baumann BGETEM

Filtration



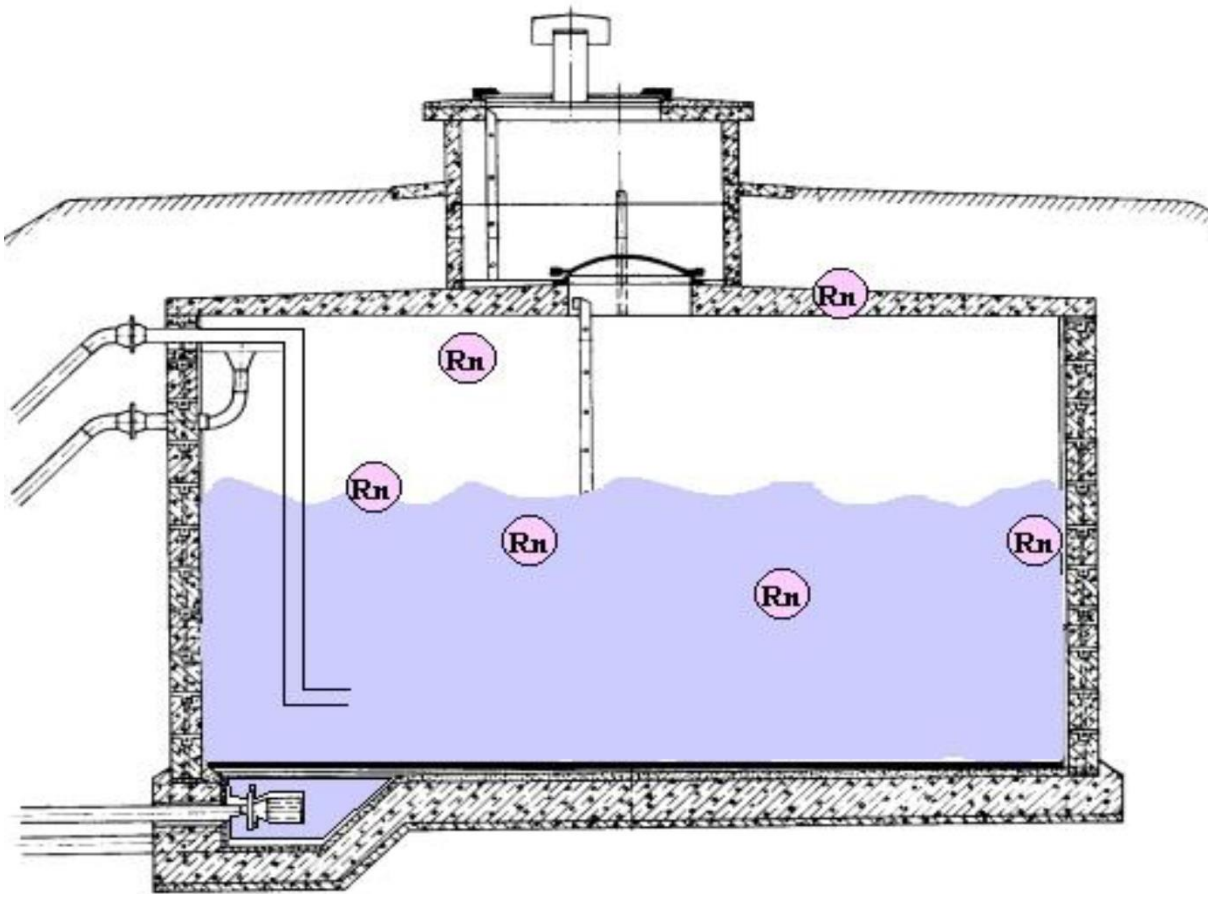
Baumann BGETEM

Wasserspeicherung

BG ETEM

- Potentiell gefährdet sind alle Bereiche
  - Mit offenen Wasserspiegeln
  - Um Entlüftungsöffnungen

Baumann BGETEM



DVGW-Regelwerk W300

BG ETEM

- TRWS Wasserspeicherung
- 5.2.1.4 Lüftung
- Um die Radonexposition des Personals möglichst gering zu halten, müssen vor allem für die an die Wasserkammern angrenzenden Räume effektive Belüftungssysteme eingerichtet werden. Dies gilt ins besonders, wenn diese Räume nicht nur zu kurzen Kontrollgängen betreten werden.

Baumann BGETEM

DVGW-Regelwerk W300

BG ETEM

- 5.2.2.2 Standardausrüstung
- Das Bedienhaus ist so zu gestalten, dass eine leichte Bedienung und Reinigung des Wasserbehälters möglich ist und die unterschiedlichen Ansprüche der Betriebseinrichtungen an die raumklimatischen Verhältnisse erfüllt werden. Es ist lüftungstechnisch von den Wasserkammern zu trennen.

Baumann BGETEM

DVGW-Regelwerk W300

BG ETEM

- 9.3
- Reinigung und Desinfektion
- Vor Durchführung der Reinigungsarbeiten muss die Radonkonzentration im Trinkwasserbehälter gemessen und auf Grund dieser Messwerte die Radonexposition für das Reinigungspersonal abgeschätzt werden. Gegebenenfalls müssen Maßnahmen zur Reduktion der Radonkonzentration(aktive Belüftung)ergriffen werden.

DVGW-Regelwerk W300

BG ETEM

- 10.2 Untersuchung
- Fremdfirmen, die im Gebäude des Trinkwasserbehälters Arbeiten durchführen sollen, müssen auf die gesundheitliche Gefährdung ihres Personals durch Radon hingewiesen werden. Vorhandene Messwerte müssen der Fremdfirma schon vor Vertragsabschluss zur Verfügung gestellt werden.

Rn

- Bei der Entmanganung
- Durchmesser des Filterkorns 1-4mm
- Auf dem FK bildet sich Braunstein -$Mn0_2$ Autokatalytische Wirkung
- Aktivität wächst proportional mit der 3. Potenz des Durchmessers
- Effekt: Radium wird in Braunstein eingebaut und gibt Radon gleichmäßig an Umgebung ab

BGETEM© 2010

Maßnahmen

BG ETEM

Abschottung der offenen Schnellfilter , um Radonaustritt zu verhindern

Baumann BGETEM

Maßnahmen

BG ETEM

Fehlerhafte Gestaltung der Absaugung- Aufkonzentrierung im Kreislauf- mehr als 3000Bq/m³

Baumann BGETEM

Maßnahmen

BG ETEM

Die Lösung : Reduzierung der Radonaktivität auf 50 Bq/m³

Baumann BGETEM

Abschottung

BG ETEM

Zugang unterbinden

Baumann BGETEM

BG ETEM

Baumann BGETEM

BG ETEM

Es geht auch weniger spektakulär !

Baumann BGETEM

Abscheidung von Radonfolgeprodukten

- Der freie Anteil wird fast 100%ig an beliebigen Materialien abgeschieden.
- Die Schutzwirkung des P2-Filters entspricht einem Abscheidegrad F=10 (Zurückhaltung von ca. 90%)
- Theoretische Abscheidung von 99,7%
- Abscheidgrad ist abhängig von der Anströmgeschwindigkeit.
- Beim Atmungsprozess sind optimale Abscheidbedingungen vorhanden!

Baumann BGETEM **Quelle : BfS**

Zusammenfassung

BG ETEM

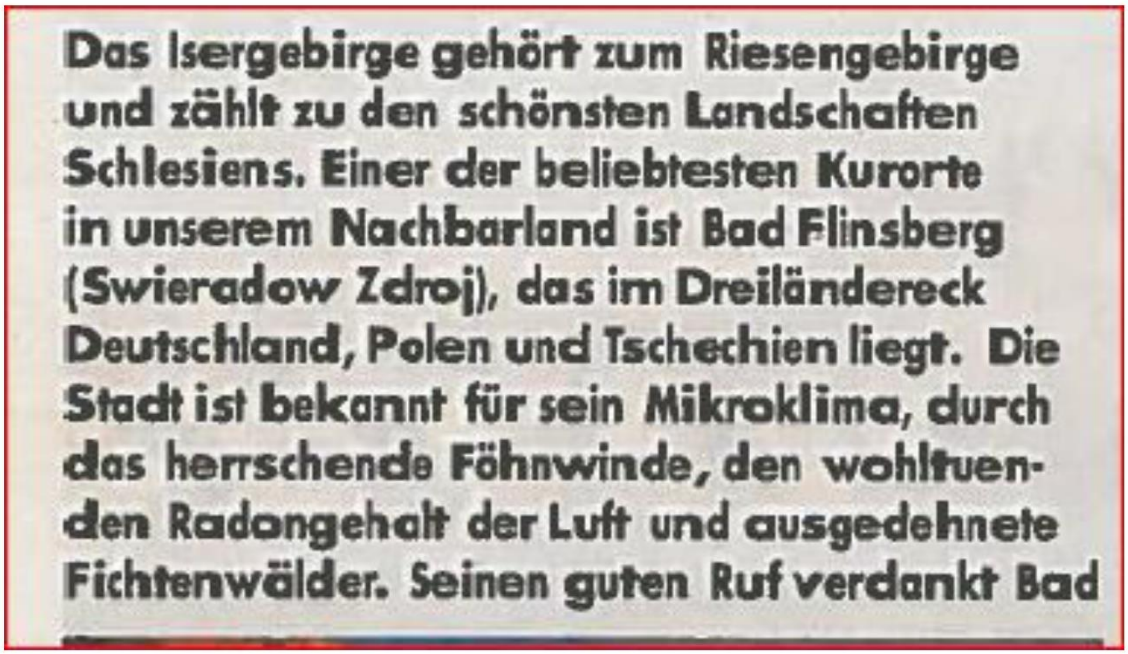
- Stark belastete Schüttungen a. B. nehmen
- Hermetisierung von Brunnenstuben
- Luftseitige Trennung der Wasserkammern
- Luft aus Wasserkammer nicht in die Schieberkammer ableiten
- Wasserzulauf unter Wasseroberfläche anordnen
- Optimierung der Raumbelüftung

- Begrenzung der Aufenthaltszeiten
- Persönliche Schutzausrüstung
- (Partikelfilter)

Baumann BGETEM

Vermarktung

BG ETEM

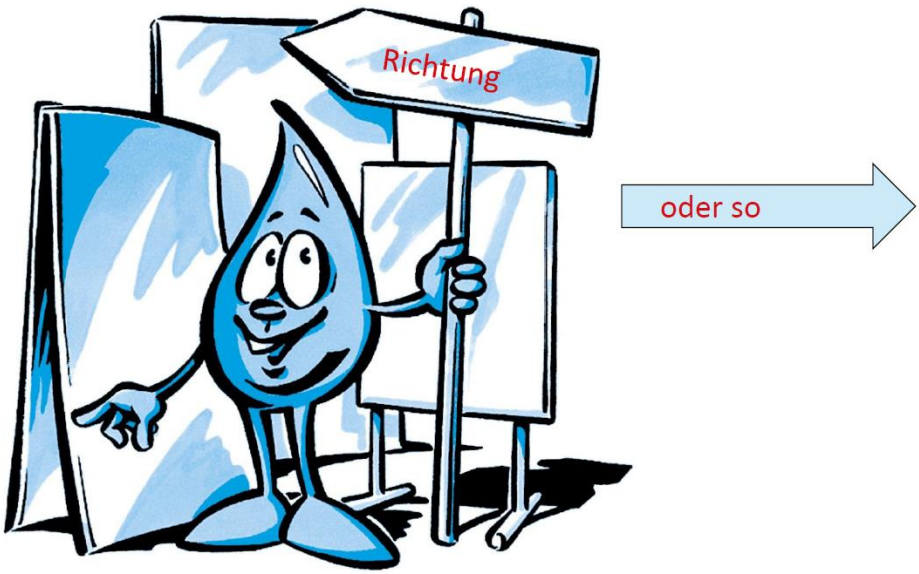

Das Isergebirge gehört zum Riesengebirge und zählt zu den schönsten Landschaften Schlesiens. Einer der beliebtesten Kurorte in unserem Nachbarland ist Bad Flinsberg (Swieradow Zdroj), das im Dreiländereck Deutschland, Polen und Tschechien liegt. Die Stadt ist bekannt für sein Mikroklima, durch das herrschende Föhnwinde, den wohltuenden Radongehalt der Luft und ausgedehnete Fichtenwälder. Seinen guten Ruf verdankt Bad

Baumann BGETEM

Bundesamt für Gesundheit

Ein Ausblick

BG ETEM



Baumann BGETEM

BESTIMMUNG DER RADONQUELLSTÄRKE IM ZUSAMMENHANG MIT MASSNAHMEN ZUR ENERGETISCHEN SANIERUNG VON GEBÄUDEN

DETERMINATION OF RADON EMISSION RATE WITH REGARD TO ENERGETIC RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

Thomas. Neugebauer, A.-L. Grund, H. Hingmann

J. Buermeyer, V. Grimm, J. Breckow

Technische Hochschule Mittelhessen (THM), Gießen

Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz (IMPS)

Zusammenfassung

Im Rahmen eines vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) geförderten Vorhabens wurde der Einfluss meteorologischer bzw. raumklimatischer Parameter sowie der Einfluss durch energetische Sanierung auf die Radonkonzentration in Gebäuden untersucht. Dafür wurden neben der Radonkonzentration auch Temperatur, Luftdruck, relative Luftfeuchtigkeit und CO2-Konzentration erfasst. Die tages- und jahreszeitlich bedingten Schwankungen der Radonkonzentration wurden zusätzlich und in erster Linie durch das Wohnverhalten der Nutzer beeinflusst. Ein weniger vom Nutzerverhalten abhängiger Parameter zur Beurteilung des Radonpotentials eines Gebäudes ist die Radonquellstärke. Ergänzend zu dem im o. g. BfS-Vorhaben angewendeten Bestimmungsverfahren wurde im Rahmen eines vom hessischen Umweltministerium (HMUKLV) geförderten Projektes eine Methode entwickelt, die eine kontinuierliche Quellstärkenbestimmung ermöglicht. Dabei ist es notwendig, neben der Radonkonzentration auch den Luftwechsel innerhalb des Gebäudes zu bestimmen. Zur Verifizierung des Verfahrens wurden sowohl Simulationen als auch Messungen durchgeführt. Des Weiteren wurden auch bei diesem Vorhaben meteorologische Parameter aufgezeichnet, um Einflüsse auf die Radonquellstärke ermitteln zu können.

Summary

In frame of a project funded by the Federal Office for Radiation Protection (BfS) the influence of meteorological and room climate parameters and energetic reconstruction on the radon concentration inside buildings has been investigated. For this purpose parameters like temperature, air pressure, relative humidity and carbon dioxide concentration have been measured. The daily and seasonal variations of the radon concentration were influenced by the behaviour of the residents. A parameter less influenced by this behaviour is the radon emission rate. Complementary to the above mentioned project the method of determination of the radon emission rate has been developed in frame of a project funded by the Ministry of the Environment of Hesse (HMUKLV). With the improved method, it is possible to determine the radon emission rate on a continuous base. Therefore both, the radon concentration and the air exchange rate of a building have to be determined. For the verification of the method simulations and measurements have been performed. Additionally meteorological parameters have been recorded in order to evaluate possible influences on the radon emission rate.

1 Einleitung

Im Dezember 2013 wurde die 2013/59/EURATOM-Grundnorm im Strahlenschutz verabschiedet, die u. a. auch weitreichende Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Wohnräumen vorsieht. Die EU-Mitgliedsstaaten sind verpflichtet, die EU-Grundnorm innerhalb von vier Jahren in nationales Recht umzusetzen. Zu diesen Maßnahmen zählen u. a. auch die Einführung eines Referenzwertes für die Radon-Aktivitätskonzentration in Innenräumen und die Etablierung eines Radon-Maßnahmenplans zur Reduzierung langfristiger Risiken durch Radon-Exposition in Wohnungen.

Bisherige Eckpunkte zur Konzeption eines solchen Maßnahmenkataloges können Ergebnisse unterschiedlicher Erhebungsmessungen sein. Dazu gehören Messungen der Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft und in Wohnungen. Bodenmessungen zeigen jedoch große Streuungen. Kleinflächige Rückschlüsse oder Vorhersagen auf die Radonkonzentration in Innenräumen sind nur in grober Näherung möglich. Ergebnisse von Radonmessungen in Wohnungen unterliegen zudem in ausgeprägter Weise dem starken Einfluss bewohnerspezifischer Lüftungsgewohnheiten und jahreszeitlichen Abhängigkeiten.

Im Gegensatz dazu erscheint daher ein Ansatz sinnvoll, der sich auf Aussagen zur Radonquellstärke eines Gebäudes stützt. Diese beinhaltet die Gesamtheit aller Radonquellen des Gebäudes und schließt somit die mit der Bodenluft tatsächlich in das Gebäude eindringende Radon-Aktivitätskonzentration ein. Angaben zu Radonquellstärken bieten gegenüber bisherigen Ansätzen den Vorteil, dass sie weniger vom Nutzerverhalten beeinflusst wird.

2 Untersuchung von Einflüssen auf die Radonkonzentration

Für die Untersuchung der Einflüsse einer energetischen Sanierung auf die Radonkonzentration wurden insgesamt fünf Messobjekte in Hessen bzw. nahe der Landesgrenzen ausgewählt. Dabei handelte es sich um fünf Einfamilienhäuser. Die Objekte wurden Mitte der 1950er bis Mitte der 1970er Jahre errichtet. Im Rahmen einer energetischen Sanierung wurden unterschiedliche Maßnahmen an und in den Objekten durchgeführt. Diese reichten vom Austausch der Fenster über Dämm- und Isolierarbeiten bis hin zur Erneuerung des Daches bei einem Objekt. Die Messungen in den Objekten wurden in der Regel über einen Zeitraum von etwa sechs Wochen vorgenommen. Zur Vermeidung unterschiedlicher saisonaler Einflüsse wurden die Messungen vor und nach der Sanierung zur selben Jahreszeit durchgeführt.

Bei der Auswertung der Daten wurde die Korrelation der Radonkonzentration mit den anderen aufgezeichneten Parameter geprüft. Dies wurde mittels der Statistiksoftware R durchgeführt.

Untersuchungen der Korrelation der Radonkonzentration mit der Temperatur wurden in unterschiedlichen Varianten durchgeführt, so beispielsweise basierend auf den Rohwerten der Außentemperatur, der Temperaturdifferenz und den Tagesmittelwerten. Für die Korrelationskoeffizienten ergaben sich hierfür Werte zwischen -0,3 und -0,5. Die Betrachtung der Tagesmittelwerte zeigte dabei gegenüber den Rohwerten eine stärkere Korrelation, was in den statistischen Schwankungen der Einzelwerte begründet ist.

Trotz der Vermutung, dass eine Druckdifferenz zwischen Innen- und Außenluft einen maßgeblichen Einfluss auf die Radonkonzentration hat, konnte dies anhand der aufgenommenen Messwerte nicht bestätigt werden. Für die Korrelationen ergab sich kein klares Bild, die ermittelten Koeffizienten schwankten zwischen -0,6 und 0,4, wobei die Masse der Werte eher im Bereich 0 und 0,1 lag.

Durch den Wind wird der natürliche Luftwechsel eines Hauses beeinflusst, höhere Windgeschwindigkeiten haben einen höheren Luftwechsel zur Folge. Dies wiederum bedingt niedrigere Radonkonzentrationen. Im Rahmen der durchgeführten Messungen konnte dies anhand negativer Korrelationskoeffizienten nachgewiesen werden. Die ermittelten Koeffizienten waren jeweils vor der Sanierung höher als danach, was bedeutet, dass die Gebäudehülle durch die Sanierung dichter geworden ist und der natürliche Luftwechsel der Objekte kleiner geworden ist.

Die Raumnutzung in den Messobjekten wurde anhand der gemessenen Verläufe der CO_2-Konzentration beurteilt. Diese steigt an, sobald sich eine oder mehrere Personen in einem Raum aufhalten, da Kohlenstoffdioxid in der Ausatemluft des Menschen enthalten ist. In der Folge fällt die Konzentration, bedingt durch den natürlichen Luftwechsel eines Gebäudes, wieder ab, sobald der Raum nicht weiter genutzt wird. Die Betrachtung der Korrelation zeigte durchweg mittlere positive Korrelationen: Bei Anwesenheit von Personen in einem Raum und geschlossenen Fenstern stiegen sowohl die Radon- als auch die CO_2-Konzentration, bei geöffneten Fenstern stellten sich aufgrund des höheren Luftwechsels deutlich niedrigere Werte ein. Dies konnte auch bei geschlossenen Fenstern beobachtet werden, wenn der Luftwechsel durch äußere Bedingungen, beispielsweise eine stärkere Windeinwirkung, erhöht war.

Vor und nach der Sanierung wurden in jedem der Messobjekte modifizierte Blower-Door-Tests durchgeführt. Dabei wird über einen definierten Luftstrom innerhalb des Gebäudes gegenüber der Außenluft ein Unterdruck von bis zu 50 Pa erzeugt. Dieser Test wurde im Rahmen des Vorhabens in mehreren Druckstufen bei gleichzeitiger Messung der Radonkonzentration durchgeführt. Durch den erzeugten Unterdruck gelangt Radon durch den Saugeffekt aus dem Boden in das Gebäude, eine entsprechende Erhöhung der Radonkonzentration kann durch zeitaufgelöste Messungen mittels Radonmonitoren erfasst werden. Durch Messungen in den verschiedenen Etagen eines Hauses kann so auch die Radonausbreitung und deren zeitlicher Verzug veranschaulicht werden. Insgesamt bietet dieser Ansatz die Möglichkeit, das Radonpotenzial eines Gebäudes beurteilen zu können und mögliche Eintrittspfade des Radons zu erfassen.

Es wurde angestrebt, jede Stufe des Unterdrucks so lange zu halten, bis sich eine Sättigung der Radonkonzentration eingestellt hat. Da dies nicht immer möglich war, wurde die Druckstufe mindestens so lange gehalten, bis ein kompletter Luftwechsel im gesamten Gebäude erfolgt war. Nach Abschluss der Messungen im Unterdruckbereich wurde ein Überdruck im Gebäude erzeugt, um den sogenannten n_{50}-Wert zu bestimmen. Dieser charakterisiert die Luftdichtheit der Gebäudehülle bei bestimmten Druckverhältnissen und kann über entsprechende Korrekturfaktoren in einen dem natürlichen Luftwechsel des Gebäudes ähnlichen Wert umgerechnet werden.

Wie bereits erwähnt, wurden im Rahmen des Vorhabens auch die CO_2-Konzentrationen in den Räumen der jeweiligen Messobjekte ermittelt, um das Bewohnerverhalten charakterisieren zu können. Verlassen alle Personen einen Raum, so klingt CO_2-Konzentration durch den Luftwechsel eines Gebäudes ab und folgt dabei einem exponentiellen Abfall. Legt man durch diesen Abfall eine Fitkurve, so entspricht der ermittelte Exponent dem Luftwechsel über dem betrachteten Zeitraum. Ein Vergleich der über die Blower-Door-Tests ermittelten Luftwechselwerte mit denen, die über den CO_2-Abfall bestimmt worden sind, zeigten teilweise größere Abweichungen. Dies kann darin begründet sein, dass die Blower-Door-Messungen für das ganze Haus ermittelt worden sind, während die Luftwechselbestimmung über den CO_2-Abfall nur für einzelne Räume durchgeführt worden ist. Hinzu kommt, dass die bestimmten Werte zu grundsätzlich verschiedenen Zeitpunkten ermittelt worden sind.

In früheren Arbeiten [1, 2] wurde der Begriff der Radonquellstärke eingeführt. Bei diesem Konzept steht die Betrachtung einzelner Räume im Vordergrund, während in [3] die Einflüsse nebeneinander liegender Räume untereinander betrachtet werden.

Unter Verwendung der gemessenen Radonkonzentration und des Luftwechsels ist es möglich, die Radonquellstärke zu errechnen. Aufgrund der unterschiedlichen Ansätze bei der Bestimmung des Luftwechsels und den entsprechenden Abweichungen schlug sich dies auch in den Werten der Radonquellstärke nieder. Diese lagen bei Berechnung über die CO_2-Methode deutlich höher.

3 Das Konzept der Radonquellstärke

Das in der Raumluft vorhandene Radon wird von mehreren Quellen emittiert, so kann es z.B. durch Risse in der Bodenplatte oder undichte Leitungsdurchführungen in Häuser eindringen. Doch auch durch das Baumaterial selbst kann Radon freigesetzt werden. Die Besonderheit der hier vorgestellten Radonquellstärke ist, dass alle möglichen Radonquellen mit einer Variablen erfasst werden. Sie drückt dabei die pro Zeiteinheit emittierte Aktivität (Bq h^{-1} oder Bq m^{-3} h^{-1}) aus. Neben den Quellen existieren zwei weitere Parameter, welche die Radonkonzentration bestimmen: Dies sind zum einen der radioaktive Zerfall und zum anderen der Luftwechsel. Durch Undichtigkeiten in der Gebäudehülle (z.B. undichte Fenster und Türen) weist jedes Gebäude einen natürlichen Luftwechsel auf.

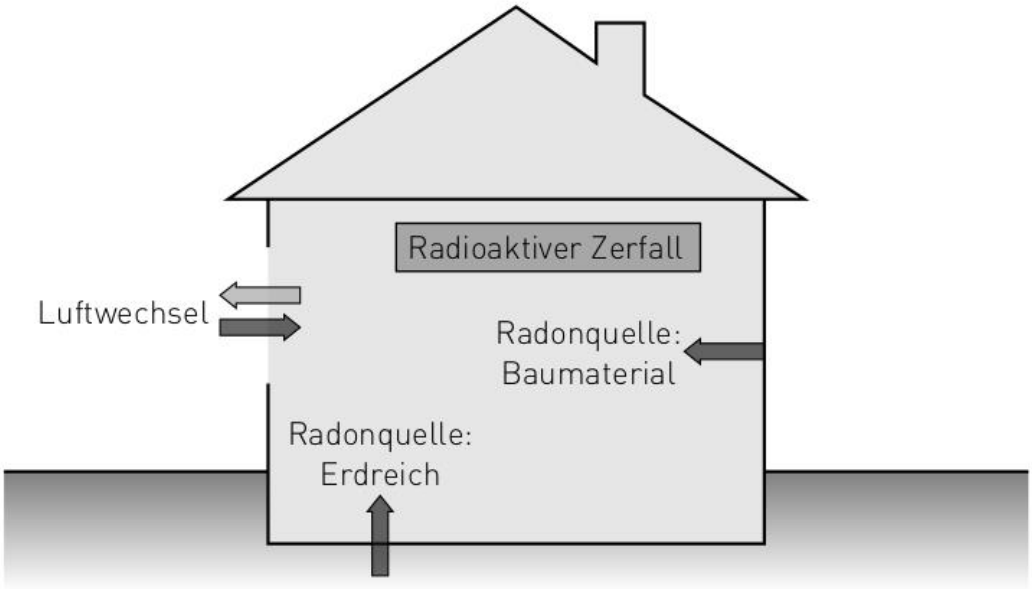


Abb. 1: *Darstellung der wichtigsten Einflussgrößen, welche die Radonkonzentration im Inneren eines Gebäudes beeinflussen können. (nach [1, 2])*

Setzt man die entsprechenden Größen in eine Bilanzgleichung, welche neben der Radonquellstärke Q_V auch den Luftwechsel k sowie die Radonkonzentration im Inneren (c_{Rn}) und in der Außenluft ($c_{Rn,a}$) beinhaltet, so erhält man nach [1, 2]:

$$\frac{dc_{Rn}(t)}{dt} = -\lambda \cdot c_{Rn}(t) + Q_v(t) + k(t) \cdot c_{Rn,a} - k(t) \cdot c_{Rn}(t) \quad (1)$$

Werden Radonquellstärke und Luftwechsel für den Betrachtungszeitraum als konstant angenommen und wird als Anfangsbedingung $c_{Rn}(0)$ eingesetzt, so ergibt sich:

$$c_{Rn}(t) = e^{-(\lambda+k)\cdot t} \cdot \left(c_{Rn}(0) - \frac{Q_v(t)+c_{Rn,a}\cdot k}{\lambda+k}\right) + \frac{Q_v(t)+c_{Rn,a}\cdot k}{\lambda+k} \quad (2)$$

Unter der Annahme der konstanten Parameter Q_v und k stellt sich eine Sättigung des Radons ein, löst man Gl. 2 für t = ∞, verkürzt sich der Ausdruck auf:

$$c_{Rn}(\infty) = \frac{Q_v(t)+c_{Rn,a}\cdot k}{\lambda+k} \quad (3)$$

Unter Verwendung dieser Gleichung und eines entsprechenden Algorithmus zur Erstellung von Fitkurven lässt sich aus Anstiegs- oder Abfallkurven der Luftwechsel und die Sättigungskonzentration

und damit wiederum die Radonquellstärke ermitteln. Nachteilig dabei ist, dass für den gesamten Zeitraum lediglich ein Wert für den Luftwechsel und damit für die Radonquellstärke berechnet werden kann. Deshalb wurde in [4] die Möglichkeit zur Bestimmung kontinuierlicher Verläufe der Radonquellstärke untersucht.

Voraussetzung für eine solche Bestimmung ist die Kenntnis des kontinuierlichen Luftwechsels. Dafür wird im Rahmen dieses Projektes auf ein in [5, 6, 7] vorgestelltes Verfahren zur Luftwechselbestimmung zurückgegriffen: Ein Indikatorgas bzw. Tracergas (z. B. Kohlenstoffdioxid CO_2) wird in einen Raum eingeleitet und der Abfall der Konzentration messtechnisch erfasst (Konzentrationsabkling-Methode). Diese Methode hat dahingehend ihre Einschränkungen, als das der Zeitpunkt bis zur Homogenisierung des Gases im Raum abgewartet werden muss. Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes ergaben dafür eine Wartezeit von 1,5 h. Zusätzlich ist bei der Verwendung von CO_2 zu beachten, dass dieses natürlicherweise vorkommt. Bei den hier durchgeführten Messungen wurde ein Untergrund von 400 bis 450 ppm festgestellt. Nähert sich die Indikatorgas-Konzentration diesem Wert, so wird die Luftwechselbestimmung zunehmend ungenauer.

Möchte man mittels der Gl. 2 zeitabhängige Luftwechselraten k(t) und zeitabhängige Radonquellstärken $Q_v(t)$ berücksichtigen, muss der Betrachtungszeitraum auf ein Zeitintervall Δt reduziert werden. Betrachtet man dabei jedes Intervall für sich, so bleibt die Annahme einer konstanten Luftwechselrate und einer konstanten Radonquellstärke innerhalb des Intervalls erhalten. Als Startwert $c_{Rn}(0)$ dient der jeweils letzte Radonkonzentrationswert. In Form einer Gleichung ergibt sich damit:

$$c_{Rn}(n) = e^{-(\lambda+k)\cdot\Delta t} \cdot \left(c_{Rn}(n-1) - \frac{Q_v(n)+c_{Rn,a}\cdot k(n)}{\lambda+k(n)}\right) + \frac{Q_v(n)+c_{Rn,a}\cdot k(n)}{\lambda+k(n)} \qquad (4)$$

Umgestellt nach Q_v steht damit ein Werkzeug zur Verfügung, um den Zeitverlauf von Radonquellstärken zu berechnen:

$$Q_v(n) = \frac{c_{Rn}(n-1)\cdot(k(n)+\lambda)+c_{Rn}(n)\cdot(k(n)+\lambda)\cdot e^{(k(n)+\lambda)\cdot\Delta t} - c_{Rn,a}\cdot k(n)\cdot\left(e^{(k(n)+\lambda)\cdot\Delta t}-1\right)}{e^{(k(n)+\lambda)\cdot\Delta t}-1} \qquad (5)$$

In Abb. 2 ist ein gemessener Verlauf der Radonkonzentration bei bekanntem Luftwechsel und bekannter Quellstärke dargestellt. Für die rekonstruierte Quellstärke zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit dem Sollwert.

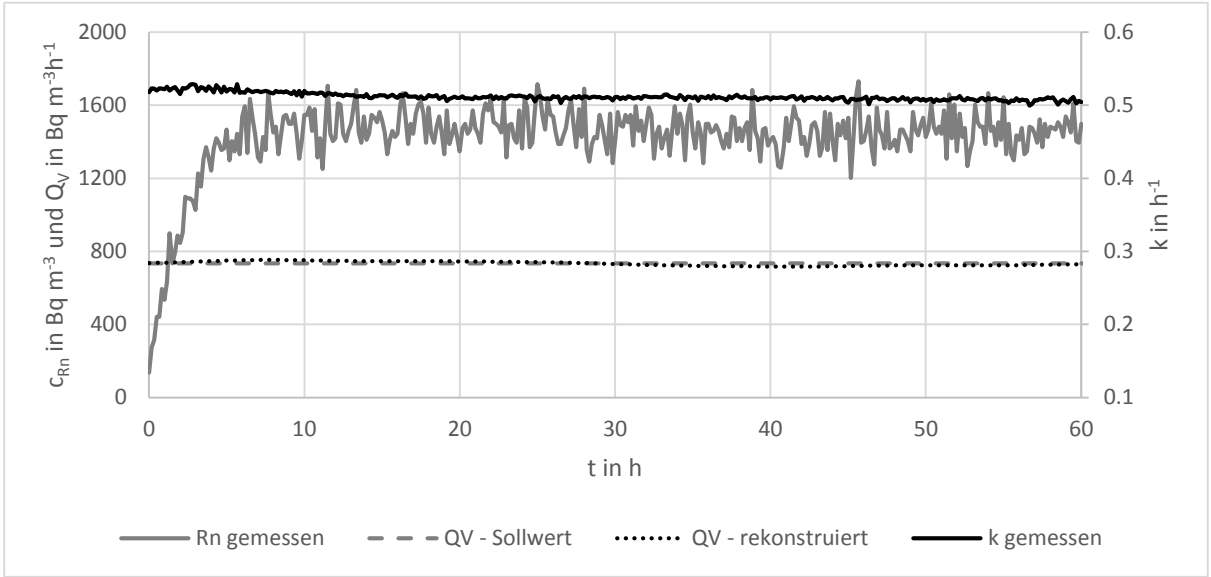


Abb. 2: *Darstellung der gemessenen Verläufe der Radonkonzentration und des Luftwechsels. Zusätzlich sind die rekonstruierte Radonquellstärke und der Sollwert dargestellt.*

Das Ergebnis wird dabei erzielt, indem das Berechnungsergebnis aus Gl. 5 geglättet wird. Im Laufe des Projektes wurden dazu unterschiedliche Methoden getestet, u. a. die Glättung der Radon- und Luftwechselwerte via Mittelwertbildung oder die Glättung der Werte mittels Fensterfunktionen vor der eigentlichen Berechnung der Quellstärke. Das beste Ergebnis ergibt sich jedoch, wenn die Radon- und Luftwechselwerte, welche in 10 min-Intervallen vorliegen, zur Berechnung verwendet werden und erst im Anschluss eine Glättung mit Fensterfunktionen (i. d. R. Hamming, Fensterbreite M = 128) durchgeführt wird.

Da die Durchführung von Messungen zeitaufwendig ist, wurde auf das in [8] entwickelte Programm zur Simulation von Radonmessreihen zurückgegriffen. Damit ist es möglich, reale Messreihen zu simulieren, welche die statistische Eigenschaft des radioaktiven Zerfalls und gerätespezifische Messunsicherheiten berücksichtigen. Zudem besteht die Möglichkeit einen schwankenden Luftwechsel und eine veränderliche Radonquellstärke vorzugeben. Beispielhaft ist dies in Abb. 3 dargestellt.

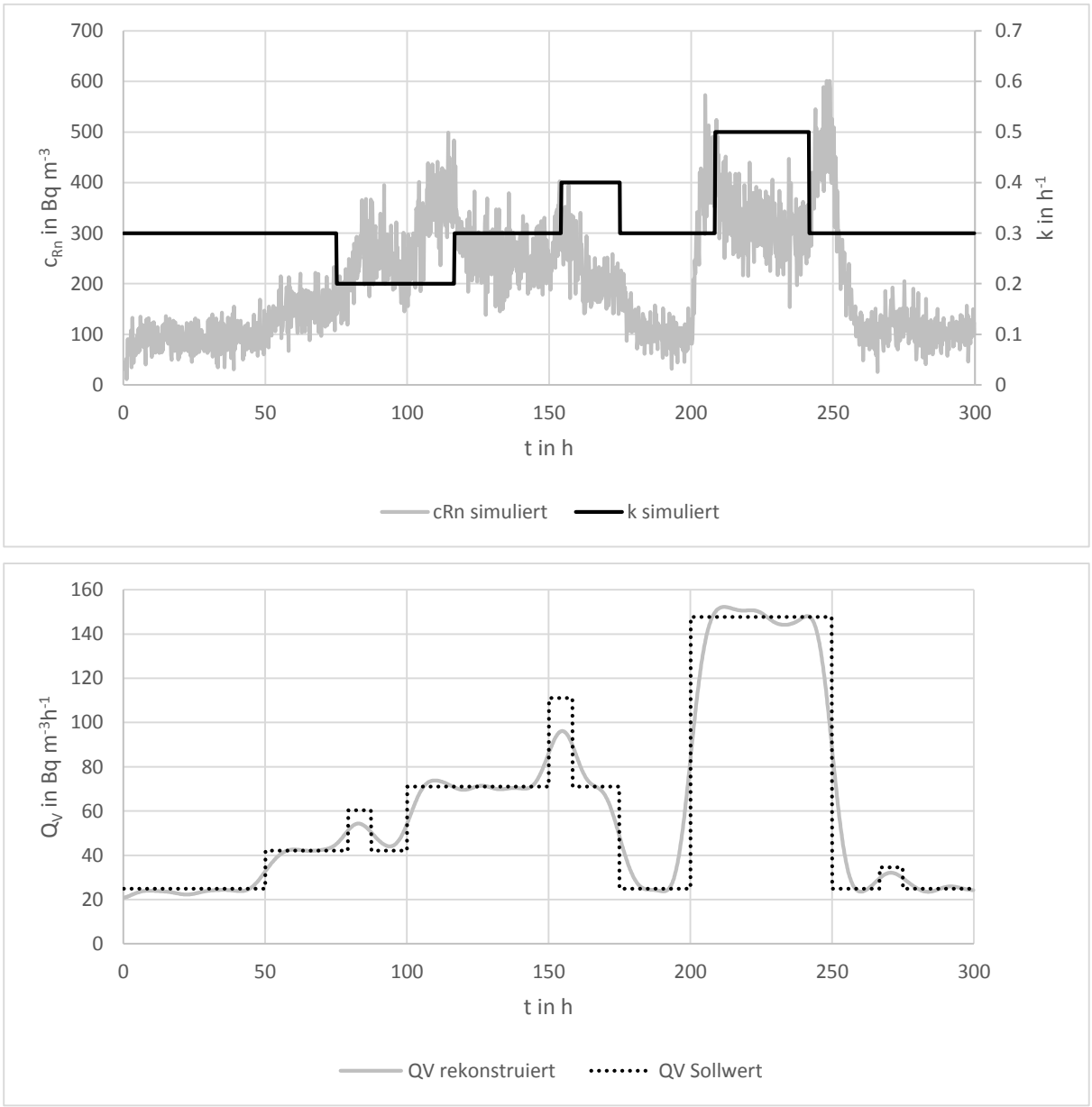


Abb. 3: *Oben: Darstellung der simulierten Radonkonzentration und des vorgegebenen Luftwechsels. Unten: Vergleich der aus dem Radon- und Luftwechselverlauf rekonstruierten Radonquellstärke und dem für die Simulation vorgegebenen Sollwert.*

Das gezeigte Beispiel macht deutlich, dass die Radonquellstärke mit dem angewendeten Verfahren gut nachgebildet werden kann.

4 Statistische Untersuchungen

Für den Praxistest der hier vorgestellten Verfahren wurde ein freistehendes, unbewohntes Gebäude genutzt, dass aus zwei nebeneinanderliegenden Räumen besteht. Es konnten verschiedene Lüftungsbedingungen und variable Quellstärken (durch Einbringen einer zusätzlichen Radonquelle) erzeugt werden. Zusätzlich wurden meteorologische Parameter aufgezeichnet, um mögliche Einflüsse auf die Radonquellstärke identifizieren zu können. Beispielhaft sind in Abb. 4 ein Ausschnitt aus einem Verlauf der Radonquellstärke und die berechnete Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft abgebildet. Die vertikalen grauen Balken kennzeichnen dabei Bereiche, in denen der Luftwechsel aufgrund der bereits erläuterten Einschränkungen nicht kontinuierlich bestimmt werden konnte. Aufgrund dessen ist die Bestimmung der Quellstärke an diesen Stellen nur eingeschränkt möglich, eventuell zu beobachtende Korrelationen an diese Stellen können auch auf die durchgeführte Interpolation zurück zu führen sein.

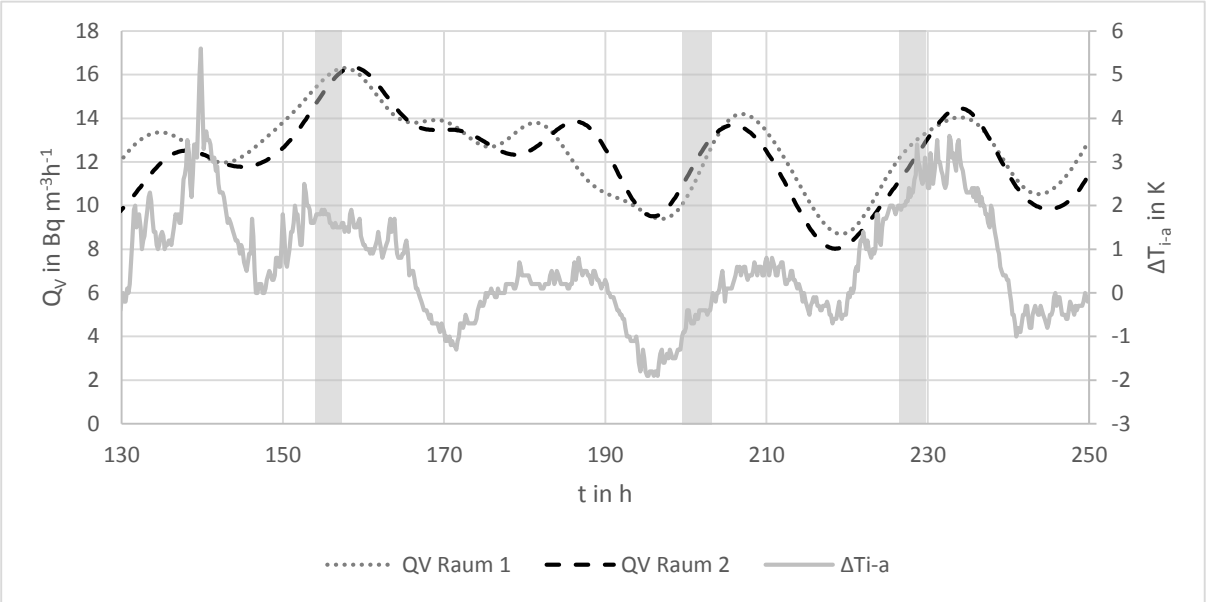


Abb. 4: *Darstellung der rekonstruierten Radonquellstärken zweier nebeneinander liegender Räume bei geöffneter Verbindungstür. Neben der guten Übereinstimmung zeigt sich auch eine mögliche Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz von Innen-und Außenluft.*

Die Untersuchung der Abhängigkeit der Radonquellstärke von meteorologischen Parametern ist erst in Ansätzen durchgeführt worden, hinsichtlich der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außenluft wurden Korrelationskoeffizienten zwischen 0,3 und 0,9 ermittelt, was auf einen möglichen Zusammenhang hindeutet. Eine mögliche Erklärung dafür wäre, dass die durch die steigende Temperaturdifferenz hervorgerufene Luftbewegung zur Folge hat, dass eine Sogwirkung für das Radon im Boden entsteht und dieses vermehrt austritt.

Betrachtungen eines möglichen Einflusses von Luftdruck oder relativer Luftfeuchtigkeit zeigten keinen klaren Trend, Untersuchungen der Druckdifferenz bzw. von Druckgradienten sind noch ausstehend.

5 Fazit

Der Einfluss einer energetischen Sanierung auf die Radonkonzentration konnte in den ausgewählten Messobjekten nur zum Teil nachgewiesen werden. Das möglicherweise veränderte Benutzerverhalten überlagert in starkem Maße mögliche Effekte.

Die in einem weiteren Projekt untersuchte Radonquellstärke bietet die Möglichkeit, Gebäude mit einem weniger vom Benutzer abhängigen Parameter zu charakterisieren. Das zur Bestimmung verwendete Verfahren bietet insbesondere bei der Luftwechselbestimmung noch Ansatzmöglichkeiten zur Verbesserung. Weiterhin ist die Untersuchung möglicher Einflussgrößen weiter auszubauen.

Insgesamt lässt sich jedoch hervorhaben, dass die Radonquellstärke ein besser zur Charakterisierung des Radonpotenzials eines Gebäudes eines Gebäudes geeigneter Parameter ist, als die hierfür üblicherweise verwendete Radon-Innenraumkonzentration.

6 Danksagung

Das Vorhaben zur Untersuchung des Einflusses der energetischen Sanierung wurde vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) gefördert (BfS 3611 S 10016 Los 2).

Das Projekt zur Radonquellstärke wurde vom Hessischen Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV) im Zusammenhang mit der Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom gefördert (HMU 32206031). Wir bedanken uns bei dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) für die Bereitstellung meteorologischer Daten.

7 Literaturverzeichnis

[1] T. A. Jai, Systemtheoretischer Ansatz für ein Rekonstruktionsverfahren zur Ermittlung von Luftwechselraten aus Radonmessdaten, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen, Masterarbeit, 2012.

[2] F. A. Rößler, Entwicklung eines effizienten Messverfahrens zur Bestimmung der Radonkonzentration als Indikator für die Qualität der Innenraumluft, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen, Masterarbeit, 2013.

[3] H. Schulz, Praktische Vorgehensweise bei der Sanierung von Alt- und Neubauten, Tagungsbeitrag 6. Sächsischer Radontag, 11.09.2012.

[4] T. Neugebauer, Bestimmung der Radonquellstärke von Gebäuden und deren Einflussgrößen - Bedeutung für den Strahlenschutz, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen, Masterarbeit, 2015.

[5] VDI-Richtlinie VDI 4300-7: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Bestimmung der Luftwechselzahl in Innenräumen, Beuth Verlag GmbH Berlin, 2001.

[6] DIN EN ISO 12569: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden und Werkstoffen – Bestimmung des spezifischen Luftvolumenstroms in Gebäuden – Indikatorgasverfahren, Beuth Verlag GmbH Berlin, 2012.

[7] W. Löbner, Luftaustausch in Gebäuden - Bestimmung der Luftwechselrate in Gebäuden, Tagungsbeitrag 2. Tagung Radonsicheres Bauen, 27.09.2006.

[8] T. O. Orovwighose, Simulation von Radonmessreihen zur Quantifizierung der Anforderungen an das Luftwechsel-Rekonstruktionsverfahren „RaLuQua“, Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen, Bachelorarbeit, 2013.

UMWELTANALYSE ZUR STRAHLENBELASTUNG DURCH RADON IN SÄCHSISCHEN GEBÄUDEN UND AUSWIRKUNGEN DER ENEV - EIN ALTES PROBLEM MIT NEUEN DIMENSIONEN

ENVIRONMENTAL ANALYSIS OF RADIATION EXPOSURE BY RADON IN SAXON BUILDINGS AND IMPACT OF THE ENEV - AN OLD PROBLEM IN A NEW DIMENSION

Jan Gottwald[1)], Nico Köter[2)]

Lutz Schneider[1)]

[1)] Stoller Ingenieurtechnik GmbH, Dresden

[2)] TU Bergakademie Freiberg

Zusammenfassung

Radon in Gebäuden wird seit den 1990er Jahren intensiv untersucht und zeigt insbesondere auch in Sachsen zum Teil sehr hohe Strahlenbelastungen für die Bewohner in Wohngebäuden. Auch die geplante Änderung der Radon-Referenzwerte von 100 Bq/m³ auf 300 Bq/m³ (bei einer eventuellen 1:1-Umsetzung der EU-Empfehlungen in deutsches Recht) würde die Situation in den ausgewiesenen Gebieten mit hoher Radonverfügbarkeit nicht ansatzweise entspannen, da die verpflichtenden Maßnahmen zur Umsetzung der Energieeinsparverordnung (EnEV) zusätzlich signifikante Strahlenbelastungen erzeugen können, falls nicht gleichzeitig ein umfassender Radonschutz realisiert wird.

Anhand von Radon-Langzeitmesswerten in Sachsen aus den neunziger Jahren vor der Einführung der EnEV soll aufgezeigt werden, welche Konsequenzen ggf. zu erwarten wären und Abschätzungen zum Sanierungsaufwand gegeben werden.

Summary

Radon in buildings is being widely studied since the 1990s. These studies have revealed some cases of very high radiation exposure for the inhabitants of residential buildings in Saxony in particular. Even a proposed raising of the radon reference values from 100 Bq/m³ to 300 Bq/m³ (in the case of an eventually 1:1 implementation of the EU recommendations into German law), would not even slightly aid the situation in the designated areas with high radon availability, as the standards of the Energieeinsparverordnung (Energy Saving Ordinance, EnEV) can result in significant radiation exposure, if no comprehensive radon protection is implemented.

Based on long-term radon measurements in Saxony from the nineties, before the introduction of the EnEV, this report will show potential outcomes and estimate the extend of suitable remediation measures.

1 Radon in Häusern

Die gesundheitliche Gefährdung durch die Inhalation von Radon in Gebäuden ist mittlerweile ein weltweit viel beachtetes Problem. Abschätzungen aus international gepoolten Studien haben ergeben, dass ca. 8 % aller Lungenkrebsfälle in Europa auf Radon zurückzuführen sind (das entspricht allein in Deutschland etwa 3.000 Fällen). In diesen Studien wurde auch ein statistisch signifikantes Lungenkrebsrisiko ab ca. 150 Bq/m³ abgeleitet [1]. Trotzdem wird die Gefahr, die durch Radon ausgeht, massiv unterschätzt. Viele Menschen sind sich nicht bewusst, dass sie – sowohl zu Hause als auch am Arbeitsplatz – einer teilweise stark erhöhten radioaktiven Dosis ausgesetzt sind.

In Sachsen hat die Radonproblematik aufgrund der geogenen Bedingungen eine besondere Bedeutung, da hier zum Teil in dicht besiedelten Regionen hohe Konzentrationen in den Gebäuden auftreten. Und so wurden vor allem in den 1990er Jahren umfangreiche Mess- und Sanierungsprogramme gestartet und durchgeführt, um diese Problematik zu quantifizieren und entsprechende Maßnahmen zu erarbeiten und im Rahmen von Förderprogrammen Problemsituationen zu mindern. In diesen Programmen konnte bestätigt werden, dass es vor allem im Süden von Sachsen Regionen gibt, in denen eine erhöhte Radonkonzentration in Gebäuden häufiger auftreten kann. So müssen bei bis zu 30 % der gemessenen Gebäude teilweise umfangreiche Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden, um die Radonkonzentration zu senken, da ansonsten durchaus Dosisbelastungen für die Bewohner erreicht werden können, die als gesundheitsgefährlich einzuschätzen sind und oberhalb des Radonkonzentrationswertes von 150 Bq/m³ liegen.

Daher wurde bereits Mitte der 1990er Jahre in Sachsen ein Förderprogramm gestartet, welches Bewohnern von Gebäuden, in denen stark erhöhte Konzentrationen gemessen wurden, finanzielle Unterstützung bei der Sanierung zusicherte. Nachdem dieses Programm allerdings im Jahr 2000 auslief, wurde es nicht mehr weitergeführt bzw. neu gestartet.

Zusätzlich wurden mit der seit dem 1.Oktober 2009 in Kraft getretenen Novellierung der Energieeinsparverordnung (EnEV) wichtige Aspekte definiert, die bei der Sanierung von Gebäuden einen großen Einfluss auf die Radonkonzentration haben können. Durch diese werden spezielle bautech-nische Standardanforderungen zum effizienten Betriebsenergieverbrauch vorgeschrieben, was meist mit erhöhter Gebäudedichtheit einhergeht. Werden bei einer solchen Baumaßnahme allerdings die Bedingungen bzgl. der Radonbelastung nicht im ausreichenden Maße bedacht, kann es hinterher zu einer deutlichen Steigerung der Radonkonzentration kommen. Untersuchungen haben gezeigt, dass je nach Wärmeschutz-Maßnahme die Belastung um Faktoren von 2 bis 10 erhöht wird, wenn keine Maßnahmen zum Radonschutz bedacht werden.

Um die gesundheitlichen Auswirkungen einer erhöhten Radonkonzentration besser beurteilen zu können, wird in den folgenden Betrachtungen die Radonkonzentration an geeigneten Stellen in eine effektive Dosis umgerechnet. Diese Umrechnung erfolgt auf Grundlage der Empfehlung der International Commission of Radiation Protection (ICRP), wie sie in der Publication 115 gegeben wurde. Gemäß dieser Empfehlung entspricht eine Radonkonzentration von 300 Bq/m³ einer effektiven Dosis von 18 mSv/a. Daraus ergibt sich, dass eine Dosis von 6 mSv/a (das entspricht dem Grenzwert für überwachungspflichtige Tätigkeiten nach Kategorie B gemäß Strahlenschutzverordnung) bereits bei einer Radonkonzentration von 100 Bq/m³ erreicht ist.

2 Auswertung und Vergleich der Daten

In den Jahren 1996/97 wurde durch die Stoller Ingenieurtechnik GmbH im Auftrag des Sächsischen Landesamtes für Umwelt und Geologie das Projekt „Konzeption zur Umsetzung/Realisierung von Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung von Radonkonzentrationen in Gebäuden“ realisiert [2]. In diesem Projekt wurden 721 Langzeitmessungen (LZM) durchgeführt, wobei 246 Messungen im Frühjahr 1996 und 475 Messungen im Herbst 1996 über einen 3-Monats-Zeitraum realisiert wurden. Dabei wurde insgesamt in 68 Orten bzw. Ortsteilen in zehn Regionen gemessen. In Abb. 1 sind diese zehn Regionen dargestellt.

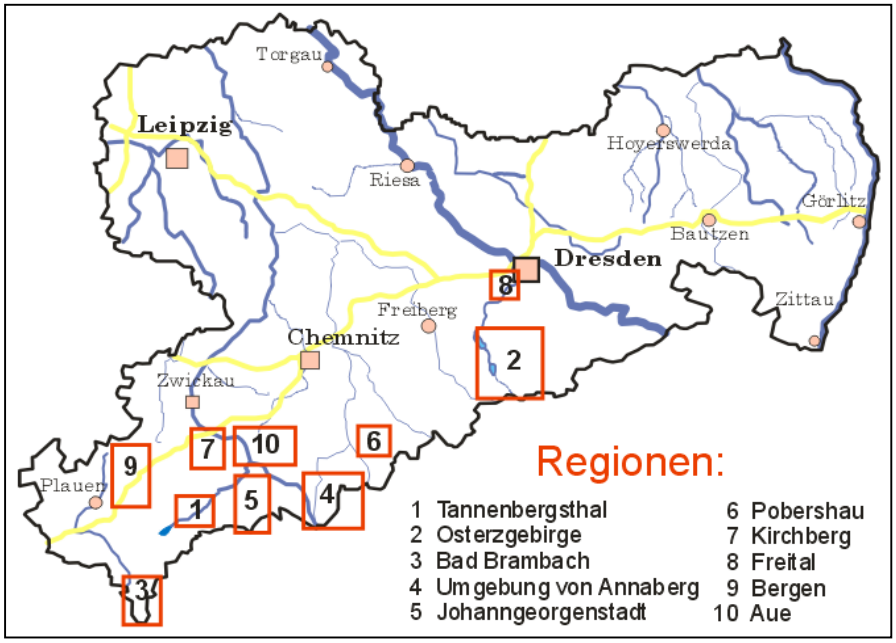


Abb. 1: *Regionen Sachsens, in denen die 721 Langzeitmessungen durchgeführt wurden*

Die eingangs beschriebenen 721 Langzeitmessungen von Stoller sind in folgender Abb. 2 dargestellt. Es ist zu erkennen, dass in mehr als 90% der Gebäude die ermittelte Dosisbelastung 6 mSv/a erreicht und auch zum Teil deutlich überschreitet. Gemäß den Vorgaben der Strahlenschutzverordnung wäre bei Arbeitsplätzen in diesen Aufenthaltsbereichen eine Überwachung erforderlich.

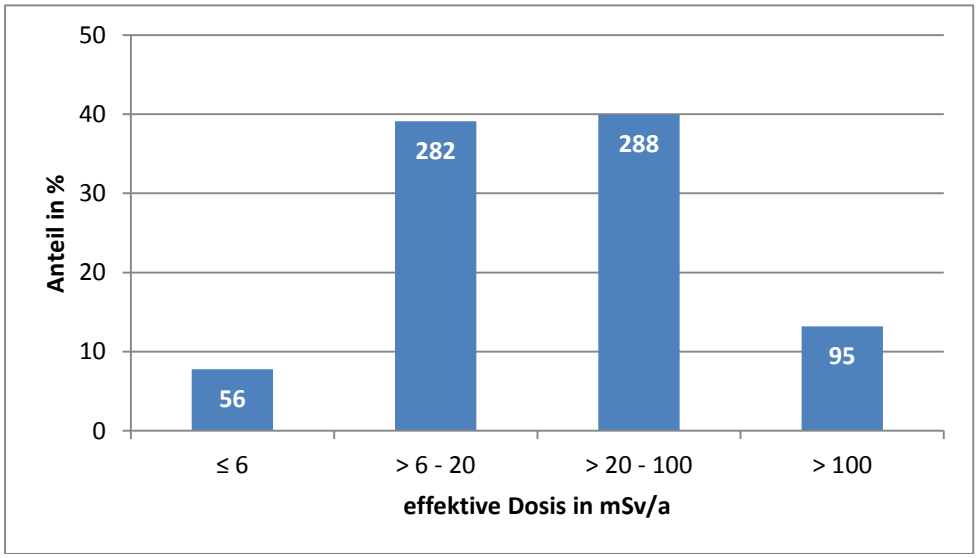


Abb. 2: *Ergebnisse der 721 Langzeitmessungen von Stoller (Dosis gemäß ICRP Pub. 115)*

Eine wichtige Frage, die auch in diesem Projekt geklärt werden konnte, war die Frage, inwiefern eine Kurzzeitmessung (KZM) eine repräsentative Einschätzung des Radonpotenzials in einem Gebäude erlaubt, um auf dieser Grundlage ein weiteres Vorgehen zu planen. Daher wurden in diesem Projekt durch Stoller 41 korrespondierende Messungen realisiert. Dabei sind in einem ersten Schritt Kurzzeitmessungen über einen Zeitraum von 24 Stunden in ausgewählten Objekten durchgeführt worden, später dann in diesen Objekten Langzeitmessungen über einen Zeitraum von drei Monaten.

Die Kurzzeitmessungen wurden über 24 h bei geschlossenen Türen und Fenstern durchgeführt. Dadurch war die Luftwechselrate praktisch minimiert, wobei eine Überschätzung der Radonkonzentration in Kauf genommen wurde. Die Langzeitmessungen über drei Monate im Frühjahr oder Herbst bilden hingegen ein deutlich repräsentativeres Lüftungs- und Wohnverhalten ab. Da die 41 Ergebnisse aufgrund der geringen Anzahl der Daten statistisch nur bedingt aussagekräftig sind, wurden seitens des SMUL weitere korrespondierende Messungen zur Verfügung gestellt. Diese umfassten 190 Kurz- und Langzeitmessungen, hier betrug die Messdauer für die Kurzzeitmessungen allerdings ca. zwei Wochen. Zudem wurden diese Messungen, im Gegensatz zu den 41 Messungen von Stoller, in ganz Sachsen und bei normalem Wohnungsverhalten durchgeführt. Die Auswertung erfolgte daher zunächst getrennt, Abb. 3 zeigt die entsprechende Darstellung der Stoller-Daten, in Abb. 4 sind die des SMUL dargestellt.

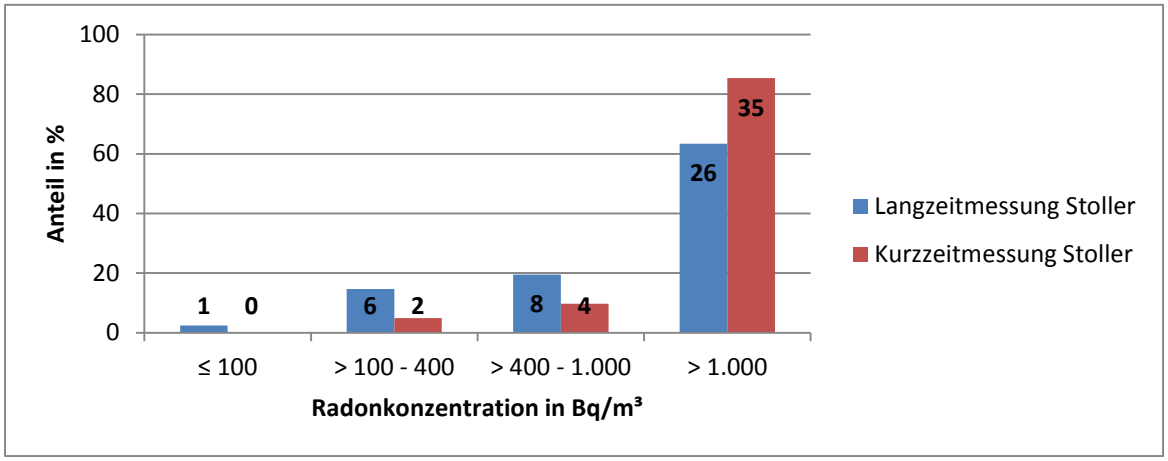


Abb. 3: *Gegenüberstellung der 41 korrespondierenden Lang- und Kurzzeitmessungen von Stoller*

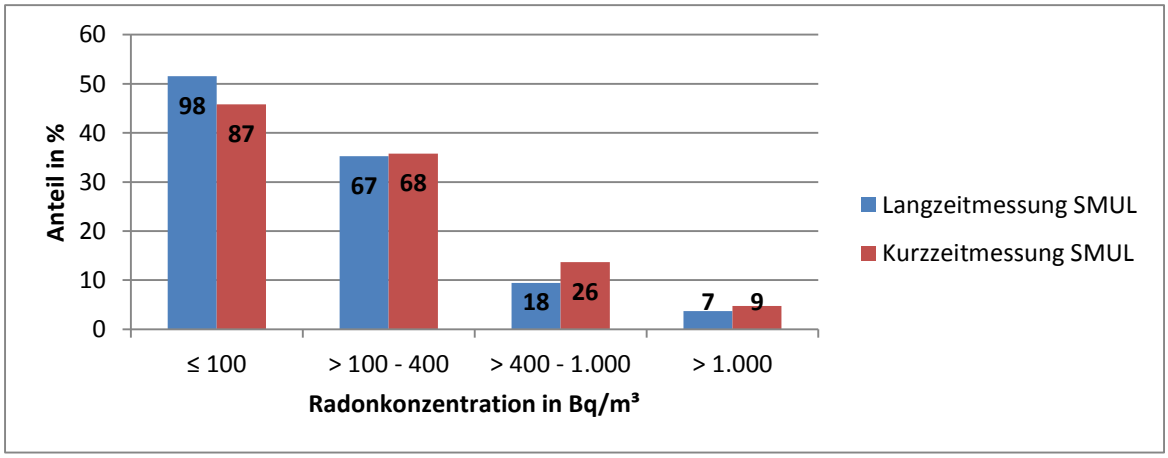


Abb. 4: *Gegenüberstellung der 190 korrespondierenden Lang- und Kurzzeitmessungen des SMUL*

Dass die Messungen von Stoller im Gegensatz zu den Daten des SMUL zu einem großen Teil über 1.000 Bq/m³ anzeigen, ist, wie bereits beschrieben, vor allem darauf zurückzuführen, dass das Projekt von vornherein auf zehn Regionen in Sachsen fokussiert wurde, die aufgrund geogener Bedingungen über ein erhöhtes Radonpotenzial im Boden verfügen. Dennoch zeigt sich übereinstimmend, dass vor allem bei höheren Konzentrationsbereichen eine Tendenz zu einer Überschätzung des Messwertes bei Kurzzeitmessungen vorherrscht, auch wenn die Abweichungen für den Fall dieser Messungen nicht immer sehr hoch sind.

Die Gründe für Abweichungen zwischen Kurz- und Langzeitmessungen, die in manchen Fällen durchaus auch sehr groß werden können, sind vielfältig: Das Öffnen von Fenstern oder Türen sowie die Nutzung des Raumes nimmt über einen kurzen Zeitraum größeren Einfluss, als über einen langen

Messzeitraum. Auch Messungen direkt am Radoneintrittsort (bspw. durch falsches Platzieren des Dosimeters) sind möglich und können größere Abweichungen verursachen. Oft werden Messungen auch unter der Annahme des schlimmsten Falles, sprich bei geschlossenen Türen und Fenstern, durchgeführt. Bei den 41 Messungen aus der Studie von 1996/97 war dies zum Beispiel der Fall: Dort wird dann die Radonkonzentration in der Regel bekannter weise überschätzt und höhere Messwerte sind die Folge. Bei den Messungen des SMUL handelte es sich hingegen um Kurzzeitmessungen über einen Zeitraum von zwei Wochen, was sich auch in einer Annäherung der Messwerte an die der Langzeitmessungen zeigte. Zudem sind auch die vorliegenden SMUL-Langzeitmessungen über drei Monate nicht nur im Frühjahr und Herbst durchgeführt worden und damit ist eine zumindest eingeschränkte Repräsentativität anzunehmen.

Um nun einen direkten Vergleich zwischen Lang- und Kurzzeitmessungen zu prüfen, wurden die korrespondierenden Paare aus den oben aufgeführten 231 Messungen genutzt. Zur Abschätzung der Unterschiede zwischen beiden Messarten ist eine Häufigkeitsverteilung generiert worden. Hierfür werden Faktoren x_i gemäß Gleichung (1) erzeugt. Um die Häufigkeit von gleichen Faktoren y_i zu generieren, wird eine Festlegung, wie in Tab. 1 gezeigt, getroffen.

$$x_i = \frac{Kurzzeitmesswert}{Langzeitmesswert} \qquad (1)$$

Tab. 1: *Faktorgenerierung für die Häufigkeitsverteilung*

Tatsächlicher Faktor x_i	Häufigkeitsfaktor y_i
$0 < x \leq 0{,}5$	$y = 0{,}25$
$0{,}5 < x \leq 1{,}0$	$y = 0{,}75$
$1{,}0 < x \leq 1{,}5$	$y = 1{,}25$

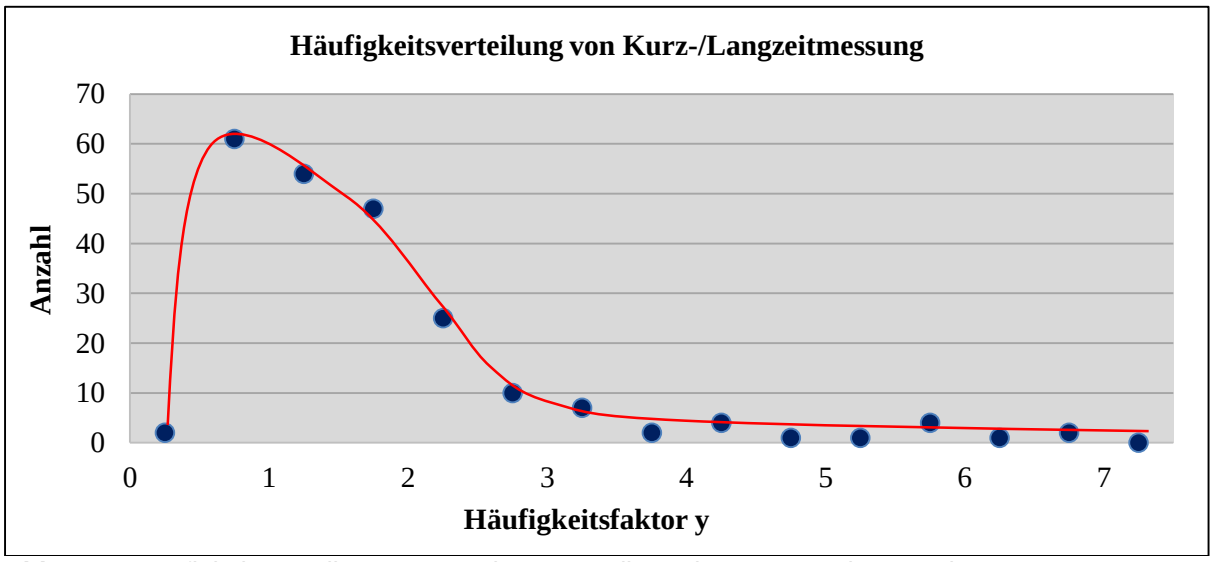


Abb. 5: *Häufigkeitsverteilung von 231 korrespondierenden Kurz- und Langzeitmesswerten*

Für die 231 Messpaare ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung wie in Abb. 5 gezeigt. Diese zeigt, dass die Abweichungen zwischen Kurz- und Langzeitmessergebnissen hauptsächlich in einem Bereich zwischen 0,5 und 2,5 liegen mit einer Häufung um den Faktor 0,75, aber auch oft im Bereich zwischen 1 und 2. Eine Kurzzeitmessung gibt demnach häufig den gleichen bis doppelten Messwert im Vergleich zu einer Langzeitmessung. Größere Faktoren bis zu 3 sind zwar nicht auszuschließen, treten aber relativ selten auf. Wahrscheinliche Abweichungen der Messergebnisse in Richtung Faktor 2 oder höher sind vermutlich die Ursache von minimierten Luftwechselraten und des Wohnverhaltens.

Prinzipiell zeigte sich, dass es bei einer Kurzzeitmessung in der Tendenz zwar zu einer Überschätzung des tatsächlich vorhandenen Radonpotenzials kommt. Nichtsdestotrotz ist es durchaus möglich, aus den ermittelten Messdaten einer Kurzzeitmessung eine repräsentative Aussage dahingehend abzugewinnen, in welchem Umfang der Sanierungsaufwand abzuschätzen ist. Ob die Kurzzeitmessung bspw. 50 Bq/m³, 500 Bq/m³ oder 5.000 Bq/m³ anzeigt, lässt selbst bei einem Fehlerfaktor von 2 den Sanierungsbedarf durchaus abschätzbar werden. Ferner lässt sich aus einem solchen Ergebnis auch ableiten, welche weiteren Aktivitäten zu planen sind (z.B. eine Radoneintrittspfaderkundung).

3 Sanierungsmaßnahmen und Einfluss der EnEV

Basierend auf der Empfehlung des BMUB wird eine Konzentration von 100 Bq/m³ als Zielwert bei der Sanierung von Gebäuden definiert [3], auch die WHO präferiert diesen Zielwert [4]. Gemäß ICRP Konversion entspricht dies einer effektiven Dosis von 6 mSv/a.

In verschiedenen Studien wurden unter anderem Messungen aus sächsischen Gebäuden miteinander verglichen, die Modernisierungsmaßnahmen hinsichtlich verschiedener Maßnahmen realisiert hatten. Dabei erfolgten Messungen vor und nach der Sanierungsmaßnahme. Die Ergebnisse zeigen, dass es dabei zu einer Erhöhung der Radonkonzentration in den Gebäuden kam, hier wurden nach dem Einbau neuer Fenster Faktoren in einem Bereich zwischen 0,84 bis 4,80 (Mittelwert ≈ 3) erzielt. Wenn zudem nicht nur Fenster erneuert, sondern ein Haus komplett saniert wird, ohne dabei den Radonschutz zu beachten, können sich die Faktoren sogar noch deutlich erhöhen. [5] Verschiedene Ergebnisse zeigen hier Erhöhungen der Radonkonzentration um Faktoren von zwei bis acht [6].

Werden bei der Durchsetzung der EnEV Modernisierungsmaßnahmen ergriffen ohne entsprechende Maßnahmen zum Radonschutz zu beachten, kann es folglich zu einem Anstieg der Radonkonzentration im Gebäude kommen. Dies soll in den folgenden Betrachtungen näher diskutiert werden. Um die Datenlage repräsentativer zu gestalten, wurden zusätzlich zu den 721 Langzeitmessungen von Stoller in den folgenden Diagrammen 708 vom BfS zur Verfügung gestellte Messwerte mit einbezogen. Diese Langzeitmessungen sind in den gleichen Regionen erhoben worden, wie die von Stoller (siehe Abb. 1), der Messzeitraum betrug jedoch zwölf Monate.

Um die Auswirkungen von Sanierungen nach EnEV abzuschätzen, ist die Radonkonzentration in den folgenden Betrachtungen für die zur Verfügung stehenden 1.429 Langzeitmessungen in Sachsen mit zwei verschiedenen Erhöhungsfaktoren belegt worden: Faktor 3 für den Einbau von neuen Fenstern und Faktor 8 für den Fall einer Komplettsanierung ohne mechanische Entlüftung. Eine Darstellung dieser Ergebnisse ist in folgender Abb. 6 gezeigt. Die Messwerte zur Radonkonzentration wurden wieder gemäß Dosiskonversion der ICRP in eine effektive Dosis umgerechnet.

Während vor der Sanierung in mehr als einem Viertel der betroffenen Gebäude die 6 mSv/a nicht überschritten wurden, sank dieser Anteil nach den durchgeführten Maßnahmen auf weniger als ein Zehntel der Gebäude beim Einbau neuer Fenster. Im Fall einer Komplettsanierung waren sogar praktisch alle Gebäude betroffen, falls keine Radonschutzmaßnahmen durchgeführt wurden oder lüftungstechnische Änderungen im Gebäude erfolgten.

Die Konzentrationserhöhung durch EnEV-Maßnahmen lässt sich dabei hauptsächlich auf zwei Ursachen zurückführen. Zum einen bleiben oft die Radoneintrittspfade ins Haus bei einer energetischen Sanierung unberücksichtigt. Zum anderen kann das Radon aufgrund der besseren Dichtheit der Gebäudehülle und einer damit einhergehenden geringeren Luftwechselrate nicht mehr so gut entweichen und akkumuliert sich im Gebäude. Als Resultat ergibt sich, wie aus der Abbildung ersichtlich, dass mehr als 90 % der betroffenen Bürger schon nach dem Einbau neuer Fenster ohne Berücksichtigung von Radonschutzmaßnahmen einer erhöhten Dosis ausgesetzt sind und daher radonsenkende Maßnahmen ergreifen müssten, die zum Teil sehr umfassend und komplex ausfallen können. Damit wird auch deutlich, dass EnEV–Maßnahmen immer im Einklang mit Radonschutzmaßnahmen erfolgen sollten, um eine mögliche und teilweise erhebliche Steigerung der Radonkonzentration in den Innenräumen zu vermeiden.

Die Kosten für radonsicheres Bauen bei Neubauten oder dem Durchführen von Radonschutzmaßnahmen bei bestehenden Gebäuden können stark voneinander differieren. Im Allgemeinen werden die

Kosten der Maßnahme von mehreren Faktoren beeinflusst, wie zum Beispiel der Beschaffenheit des Baugrundes oder der Höhe der Radonkonzentration. Aber auch individuelle, bautechnische Gegebenheiten können Einfluss haben.

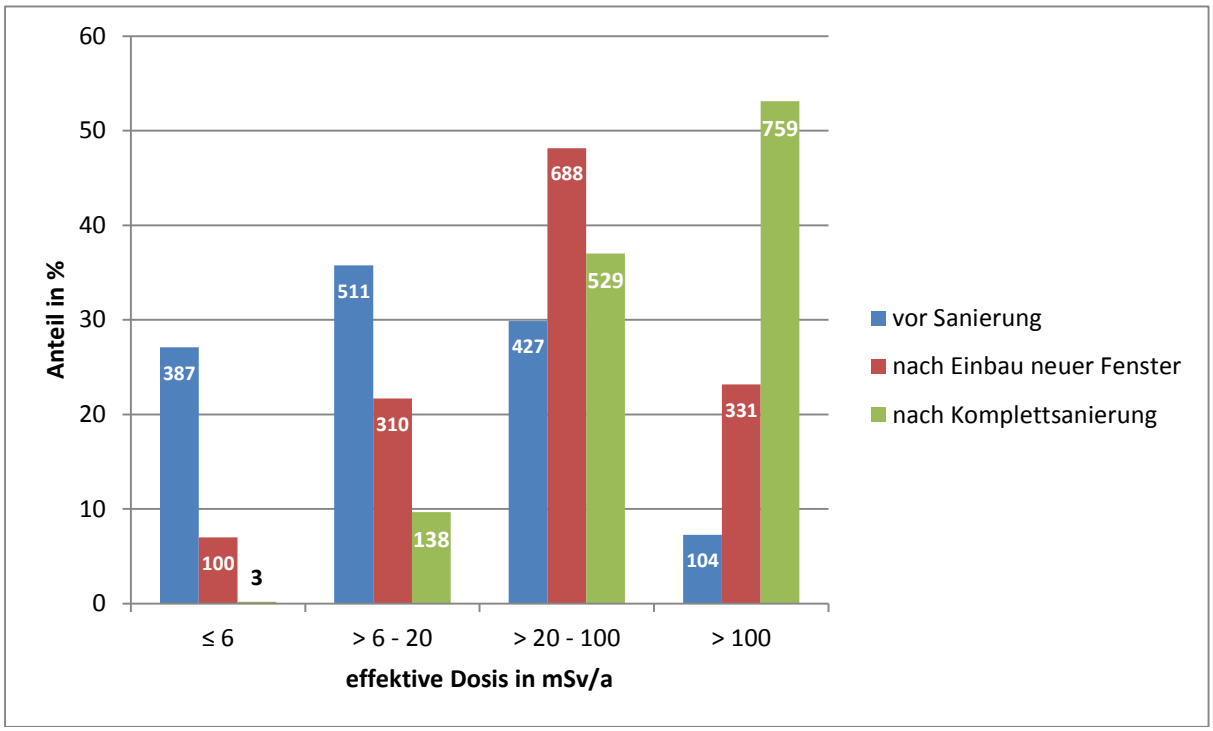


Abb. 6: *Veränderung der Dosisbelastung infolge von EnEV-Maßnahmen für 1.429 Datensätze*

Mittlerweile wurde eine Vielzahl an Möglichkeiten erarbeitet, um Radonkonzentrationen im Gebäude zu senken. In der folgenden Tabelle ist eine Gegenüberstellung von Kosten und Wirksamkeit verschiedener Radonschutzmaßnahmen gezeigt [7].

Tab. 2: *Kosten und Wirksamkeit geeigneter Radonschutzmaßnahmen*

Sanierungsmaßnahme	Reduzierungschance	Kosten
Einfache Abdichtung	0 – 25%	Gering
Aufwändige Fußbodenabdichtung	30 – 80%	Mittel
Aufwändige Fußboden– und Wandabdichtung	50 – 90%	Hoch
Kellerentlüftung	50 – 80%	Gering
Unterdruck unter dem Gebäude	10 – 95%	Hoch
Aufwändige Isolierung sowie Unterdruck unter dem Gebäude	bis 99%	Sehr hoch

4 Resümee

Im Messprogramm, welches von Stoller 1996/97 durchgeführt worden ist, konnte gezeigt werden, dass, obwohl bei einer Kurzzeitmessung die Radonkonzentration schnell überschätzt werden kann, viele Kunden im praktischen Betrieb den Sanierungsaufwand recht zuverlässig auf dieser Grundlage einschätzen konnten. Hauptziel dieses Projektes aber war die Ermittlung des Sanierungsaufwandes

und eine Abschätzung, um die Zahl der Bewohner zu ermitteln, die von einer erhöhten Strahlenbelastung betroffen sind. Seinerzeit wurde eine Zahl von 800.000 Personen ermittelt [2], eine Abschätzung, die nach verschiedenen statistischen Erwägungen auch durch das SMUL bestätigt wurde (dieses gab in einer Einschätzung von 2004 eine Zahl von 760.000 betroffenen Personen bekannt). Für diese Betroffenen ergaben sich Strahlenbelastungen, die je nach Aufenthaltszeit zum Teil weit über den Grenzwerten der Jahresdosis für beruflich strahlenexponiert arbeitende Personen (max. 20 mSv/a, was rund 330 Bq/m³ entspricht) liegen und stellen eine erhöhte gesundheitliche Gefährdung dar, da ab 150 Bq/m³ mit einem ansteigenden Lungenkrebsrisiko zu rechnen ist.

Anhand der Radoninnenraumbelastung in Gebäuden vor dem Jahr 2000 zeichnet sich ab, dass gegenwärtig bei konsequenter Umsetzung der EnEV ohne Berücksichtigung des Radonschutzes eine gesamtgesellschaftliche Risikoerhöhung absehbar ist. Immerhin wohnte ein Großteil der betroffenen Personen zum Zeitpunkt der Messung noch nicht in einem gemäß EnEV sanierten Haus. Aus den vorangegangenen Überlegungen steht daher zu befürchten, dass die Radonkonzentration bei einer Wiederholung des Messprogrammes deutlich höher ausfallen könnte. Daraus ergibt sich folgender Schluss:

Bei einer Gebäudesanierung nach EnEV ohne Beachtung des Radonschutzes kann es für die betroffene sächsische Bevölkerung potenziell zu einer erhöhten Exposition durch Radon und Radonfolgeprodukte kommen, die signifikante gesundheitliche Folgen nach sich ziehen könnten, da Dosisbelastungen weit über der Notfalldosis von 100 mSv pro Jahr zu erwarten wären. Es ist deshalb unbedingt auf einen adäquaten Radonschutz hinzuweisen.

Die Aussagen und Schlussfolgerungen, die in diesem Bericht diskutiert wurden, gründen sich auf einen statistisch auswertbaren Datenbestand, wobei aber immer noch Kenntnislücken bzgl. der Sanierungsauswirkungen und zu regionalen Verteilungen existieren. Das umfasst nicht nur die Gebiete und Regionen im Norden und Osten Sachsens, sondern vor allem die „Problemregionen“ im Süden des Landes. Zudem wäre eine Wiederholung der damaligen Messprogramme sinnvoll, um den Einfluss der EnEV-Maßnahmen stärker zu quantifizieren. Gerade auch im Hinblick auf die Umsetzung der EU-Richtlinie 2013/59/EURATOM sind Entwicklungen zu erwarten, die ein umfassendes Programm zum Radonschutz nicht nur beim Bauen erforderlich machen.

5 Literaturverzeichnis

[1] Darby, S.: Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, 2004

[2] Philipps, F., Schneider, L., Haufe, F.: Konzeption zur Umsetzung/Realisierung von Maßnahmen zur Ermittlung und Minderung von Radonkonzentrationen in Gebäuden, LfUG, März 1997

[3] Vermeidung und Verminderung der Radonbelastung von Innenräumen (Empfehlung des Aktionsbündnisses APUG); Internet: http://www.apug.de/umwelteinfluesse/strahlung/radon-wohnungen.htm (besucht am 24.08.2015)

[4] WHO handbook on indoor radon – a public health perspective, 2009

[5] Conrady, J., Guhr, A., Leißring, B., Nagel, M.: Modelllösung für die Vermeidung erhöhter Werte von Wohnungsradon durch bauliche Energieeinsparmaßnahmen, AZ: 17349, 2004

[6] Guhr, A., Leißring, B.: Gesundheitsrisiko infolge natürlicher Radioaktivität in Wohn- und Aufenthaltsräumen, Umwelt-Medizin-Gesellschaft, Februar 2005

[7] Uhlig, W-R.: Zusammenhang zwischen Luftwechsel und Radonexposition, 2. Sächsischer Radontag, 4. Tagung Radonsicheres Bauen, Hochschule für Wirtschaft und Technik Dresden (FH), S.23ff, 30.09.2008

ERFAHRUNGEN AUS PRAKTISCHER TÄTIGKEIT ZUR VERBESSERUNG DER RADON-SITUATION IN SACHSEN – EIN PERSÖNLICHER RÜCKBLICK UND PERSPEKTIVEN FÜR JUNGE STRAHLENSCHÜTZER

EXPERIENCE BASED ON PRACTICE TO IMPROVE THE RADON-SITUATION IN SAXONY – A PERSONAL RETROSPECT AND OUTLOOK FOR YOUNG RADIATION PROTECTION ENGINEERS

Walfried Löbner

Limbach-Oberfrohna

Zusammenfassung

Ausgehend vom Kenntnisstand und den internationalen Entwicklungen zur Radon-Situation in Gebäuden werden die Erfahrungen zur Verbesserung der Radon-Situation in Sachsen als ein persönlicher Rückblick auf mehr als 20 Jahre praktischer Tätigkeit zur Verbesserung der Radon-Situation dargestellt. Es wird der beschrittene Weg zur Beherrschung der Radon-Situation in Gebäuden in Deutschland aus persönlicher Sicht reflektiert. Offene Fragen und kontroverse Auffassungen werden benannt. Zum Umgang mit Radon in Gebäuden im Zusammenhang mit der Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften werden die praktischen Erfahrungen geschildert. Als Schlussfolgerungen aus eigenen Arbeiten und Erkenntnissen werden zukünftige Aufgaben zur Verbesserung der Radon-Situation in Sachsen skizziert. Es wird ein Ausblick auf Perspektiven für junge Strahlenschützer und Ingenieure gegeben.

Summary

Based on the state of knowledge and international developments concerning the radon situation in dwellings the experiences regarding the improvement of the radon situation in Saxony were described as a personal retrospect of more than 20 years practice. The taken path to control the radon situation in German dwellings has been reflected as a personally point of view. Open questions and controversial issues were named. The practical experiences in handling of radon in dwellings in connection with the remediation activities at uranium mining legacies were described. As conclusions drawn on own activities and insights the future challenges to improve the radon situation in Saxony were outlined. An outlook was directed to the young radiation protection engineers and civil engineers.

1 Grundlagen

Die Beherrschung der Radon-Situation in Gebäuden ist in Deutschland immer noch vorrangig im Strahlenschutz angesiedelt, da durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in der Raumluft bei Aufenthalt in Gebäuden der dominierende Beitrag zur Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung verursacht wird und dies nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebserkrankungen ist [1].

Die Bundesregierung hat sich bei der Neufassung der europäischen Grundnormen zum Strahlenschutz (Richtlinie 2013/59/Euratom) dafür eingesetzt, dass Radonschutzregelungen zukünftig in die nationalen Strahlenschutzvorschriften aufgenommen werden müssen [2].

„Strahlenschutz“ der allgemeinen Bevölkerung bedeutet grundsätzlich:

- Vorsorge bei geplanten Situationen (hier: Radonschutz beim Neubau von Gebäuden),
- Intervention bei existierenden Situationen und Optimierung der Schutzmaßnahmen (Sanierung der bestehenden Gebäudesubstanz),
- Nachhaltigkeit und Kontrolle (Langzeitkonzepte der Behörden und Qualitätssicherung).

Die Beherrschung der Radon-Situation in Gebäuden ist jedoch nicht nur Strahlenschutz bzw. Gesundheitsschutz. Sie verlangt Bauphysik, Bautechnik, Bauplanung, Materialkunde, Klima- und Lüftungstechnik, Messtechnik und weitere ingenieurtechnische Disziplinen. Das bedeutet, dass die üblichen Methoden und Werkzeuge der Strahlenschutzfachleute zur speziellen Problembearbeitung nicht ausreichend sind.

Schlussfolgernd ist festzustellen, dass nur die Wechselwirkung/Beteiligung verschiedener Fachdisziplinen den Erfolg bei den komplexen Problemsituationen (Neubau und Radon-Sanierung) sichert. Zukünftig wird wohl auch die Zuständigkeit der Baubehörden, insbesondere beim Radonschutz im Neubaubereich, zunehmen müssen.

Bei einem Gebäudebestand von 811467 Gebäuden und 2333900 Wohnungen (Statistische Informationen Sachsen, Stand 2014) allein in Sachsen und jährlich etwa 1500 neuen Baugenehmigungen wird deutlich, dass selbst bei einem Anteil von wenigen Prozent der Gebäude mit erhöhten Radon-Konzentrationen die Radon-Situation für die Bevölkerung in Sachsen nicht in kurzen Zeiträumen und ohne langfristige Konzepte grundlegend verbessert werden kann. - Es gibt also noch zu tun.

Da ich im Zusammenhang mit der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus mehr als 20 Jahre mit der Radon-Problematik im Freistaat Sachsen befasst war, wobei die Beherrschung der Radon-Situation in Gebäuden keine vorrangige Aufgabe darstellte, lohnt sich ein Rückblick, um Schlussfolgerungen für zukünftige Aufgaben zu ziehen.

2 Radon-Situation in Gebäuden - Kenntnisstand und internationale Entwicklungen

Die Strahlenschutzkommission (SSK) von Deutschland hatte bereits im Jahr 1980 zur Radonexposition der Bevölkerung Stellung genommen und entsprechende Empfehlungen zur Bewertung auf der Grundlage des damaligen internationalen Kenntnisstandes formuliert [3]. Die Empfehlungen wurden 1988 noch hinsichtlich der Grundsätze, des Zeitrahmens und der praktischen Durchführung von Sanierungsmaßnahmen zur Reduzierung der Radonexposition ergänzt [4]. Dies bildete gewissermaßen einen Ausgangspunkt für vielfältige Forschungs- und Entwicklungsarbeiten im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit zur Analyse der gesundheitlichen Risiken, der Radon-Situation in Deutschland und zur Information der Bevölkerung über Möglichkeiten der Reduzierung von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten in der Raumluft. Es wurden auch von verschiedenen Ingenieurbüros unterschiedliche praktische Radon-

Sanierungsmaßnahmen an bestehenden Gebäuden mit mehr oder auch weniger Erfolg erprobt. Ein Schwerpunkt waren dabei auch bestehende Gebäude mit relativ hohen Radonkonzentrationen in den Bergstädten im Erzgebirge Sachsens.

Die grundlegenden Zusammenhänge zur Radonsituation in Innenräumen von Gebäuden, die heute noch ihre Gültigkeit besitzen, sind in der Monographie von Nazaroff und Nero („Radon and its Decay Products in Indoor Air“ (1988)) dargestellt [5]. Einen wesentlichen Beitrag zu den wissenschaftlichen Grundlagen leisteten in Deutschland die Arbeiten von Jacobi [6], Porstendörfer [7] und Keller [8].

Das Bundesamt für Strahlenschutz veröffentlichte zur Information der Bevölkerung im Jahr 2001 (mit Aktualisierungen 2010) das „Radonhandbuch Deutschland“ [9], in dem grundlegende Sachverhalte, die regionale Verteilung der Radonkonzentration in Gebäuden, Messverfahren und Radon-Schutzmaßnahmen in allgemein verständlicher Weise zusammenfassend dargestellt wurden. Der internationale Kenntnisstand zu den gesundheitlichen Auswirkungen von Radon in Innenräumen und darauf aufbauende Empfehlungen bzw. Handlungsanleitungen zur Beherrschung der Radonsituation in Gebäuden wurden 2009 im WHO-Handbook [10] in aktualisierter Form zusammengestellt. Die Monographie von Pepper und Carrington [11] fasst den internationalen Stand der Modellierungen der Schadstoffausbreitung in der Innenraumluft von Gebäuden zusammen.

In den letzten 20 Jahren sind zur Thematik „Radon in Gebäuden“ in verschiedenen Fachzeitschriften, Konferenzbeiträgen und Dissertationen an Hochschulen und Universitäten weltweit Hunderte von Arbeiten veröffentlicht worden (im Internet gut recherchierbar), so dass ein erheblicher Wissenszuwachs und Erkenntnisfortschritt entstanden ist. Das widerspiegelt sich auch in der systematischen immer wieder vorgenommenen Aktualisierung nationaler und internationaler Empfehlungen:

- SSK-Empfehlungen: Heft 17(1998), Bd.19(1992), Bd. 21 (1993), Bd. 47(2002), Bd. 65 (2010),
- Internationale Strahlenschutzkommission: ICRP 60(1991), ICRP 103 (2007),
- ICRP 115 (2010), ICRP 126 (2015),
- Internationale Atomenergiebehörde: IAEA BSS (2013),
- Europäische Union: Richtlinie 2013/59/Euratom.

Als Fazit kann festgestellt werden, dass zur Thematik genügend Informationen und Empfehlungen zur Verfügung stehen. Es fällt somit eher schwer, die wesentlichen Erkenntnisse und Schlussfolgerungen für die Beherrschung der Radonsituation in den Gebäuden von Sachsen aus der Informationsflut herauszufiltern.

Wesentliche Erkenntnisse der letzten Jahre für die praktische Umsetzung von Vorsorge- und Sanierungsmaßnahmen zur langfristigen Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden sind aus meiner Sicht:

- Die Rn-Situation in Gebäuden wird nicht nur durch die Geologie bzw. das Radonpotenzial des Baugrundes, sondern im erheblichen Maße auch durch die Gebäudekonstruktion, die Wetteränderungen und das Nutzungsverhalten der Bewohner bestimmt.
- Zur Charakterisierung der Radonverfügbarkeit ist sowohl die Bodenradonkonzentration als auch die Gaspermeabilität des Baugrundes erforderlich (Radon-Index).
- Die experimentell bestimmbare Rn-Exhalationsrate (von Boden und Baumaterialien) ist ein guter Indikator für die Radonfreisetzung in die Boden- oder Raumluft.
- Der konvektive Radontransport über Risse, Spalten oder auch die Kanalisation kann über größere Entfernungen erfolgen und ist überwiegend der dominierende Transportprozess.
- Das „imaginäre Loch“ (Fehlstellen) in der bodenberührenden Gebäudehülle bestimmt den Rn-Eintritt aus dem Baugrund in das Gebäude.
- Die Triebkraft für den Radoneintritt durch Konvektion sind Temperaturdifferenzen (innen/außen).
- Weitere Triebkräfte sind Winddruck an Gebäudehülle und Luftdruckschwankungen.

- Die Luftwechselrate in den Innenräumen eines Gebäudes ist ein wesentlicher Parameter, der notwendigerweise immer mit zu bestimmen ist, wenn die Radoneintrittsrate quantifiziert werden soll.
- Die Luftströmungen in Gebäuden verteilen das Radon und die Radonzerfallsprodukte und verursachen eine inhomogene Konzentrationsverteilung in den Räumen eines Gebäudes.
- Das Nutzungsverhalten in den verschiedenen Räumen eines Gebäudes kann erhebliche Auswirkungen auf die Rn-Konzentrationen im Gebäude und die daraus folgende Strahlenexposition der Bewohner haben.
- Die Bodenradon-Karte von Sachsen [12] ist für die Beurteilung der Radonsituation in bestehenden und neu zu errichtenden Gebäuden kein ausreichendes Hilfsmittel, wenn auch bei Risiko-Bewertungen darauf immer wieder Bezug genommen wird.
- Für nachhaltiges, radonsicheres Bauen und Sanieren von Gebäuden (Wohngebäude und öffentliche Gebäude) sind Technische Richtlinien und verbindliche Normen auch in Sachsen erforderlich. Dabei sind im Zusammenhang mit den Entwicklungen des energiesparenden Bauens Anforderungen an die Gebäudehülle und die Gebäudetechnik entsprechende Schlüsselparameter für zukünftige Entwicklungen.
- Zur Umsetzung der Empfehlungen der ICRP 126 und der Richtlinie 2013/59/Euratom wird es auch in Deutschland erforderlich, langfristige Schutzstrategien zu implementieren, einen nationalen Aktionsplan mit den Vertretern öffentlicher Belange abzustimmen und als zukünftige Handlungsgrundlage zu etablieren. Andere europäische Länder sind in dieser Frage deutlich weiter vorangeschritten.

3 Der beschrittene Weg zur Beherrschung der Radon-Situation in Gebäuden in Deutschland (persönliche Sicht)

Im Band 19 der Veröffentlichungen der SSK „Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung“ [13] wurden in Übereinstimmung mit den internationalen Entwicklungen auf der Grundlage des damaligen Kenntnisstandes klare Empfehlungen ausgesprochen.

Vom BMU, BfS, aber auch vom LfUG in Sachsen wurden verschiedene Forschungsaktivitäten (Forschung zum Problemkreis „Radon“) initiiert und in jährlichen Statusgesprächen ausgewertet und die Ergebnisse veröffentlicht (z.B. 15. Statusgespräch 2002 [14], 16. Statusgespräch 2003 [15]). Festlegungen zur Bearbeitung offener Problemstellungen der praktischen Umsetzung von Radonschutzmaßnahmen spielten dabei eher eine untergeordnete Rolle.

Regelmäßiger Bestandteil der Radon-Statusgespräche war jedoch der Erfahrungsaustausch mit Radon-Fachleuten der europäischen Nachbarländer (Radonprogramme Schweiz, Österreich, Italien, Tschechien, …), die bezüglich der konzeptionellen Arbeit und der praktischen Umsetzung eine Vorreiterrolle in Europa einnahmen.

Die Arbeiten im Bundesamt für Strahlenschutz konzentrierten sich über viele Jahre auf die Beauftragung zur Erstellung der Bodenradonkarte-Deutschland, von Screening-Messungen, die Schaffung der Datenbank BuRG, die Kalibrierung/Qualitätssicherung von Rn/Rn-ZP-Messtechnik, Methodenentwicklungen und vor allem auf die epidemiologischen Studien zum Radon-Risiko. Die Fachleute der Bundesbehörden waren auch in internationalen Gremien (z.B. Mitarbeit BfS am WHO-Handbuch) vertreten und es wurden Konferenzen mit internationaler Beteiligung organisiert (z.B. „High Levels of Natural Rad. and Radon Areas“ [16]). In Einzelfällen wurden praktische Sanierungsarbeiten an den ehemaligen Bergbaustandorten in Sachsen messtechnisch begleitet.

Die Forcierung der Messgeräteproduktion für die Bestimmung der Radonkonzentration und der potenziellen Alphaenergie-Konzentration der Rn-Zerfallsprodukte in Deutschland (Genitron/Saphymo, SARAD, ALTRAC, Tracerlab, Alpha-Kernstrahlung) hat in den letzten beiden Jahrzehnten einen bedeutenden Beitrag zur Verbesserung der Datenlage und der Qualität der Messergebnisse geleistet.

Im Fachverband für Strahlenschutz (Arbeitsgruppe Aknat) erfolgten ein intensiver Erfahrungsaustausch und die Erarbeitung von Messanleitungen

Das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft förderte Forschungsaktivitäten ausgewählter Vorhaben in Sachsen von 1993 bis 2006 (z.B. „Radon in öffentlichen Gebäuden“ [17]).

Die Einrichtung einer Radon-Beratungsstelle in Bad Schlema (BfS, LfULG, SMUL) trug wesentlich zur Öffentlichkeitsarbeit bezüglich des Radonschutzes in Wohngebäuden in Sachsen bei [18].

Die umfangreichen Arbeiten der Wismut GmbH zur Beherrschung der Rn-Situation im Zusammenhang mit der Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften führten zur deutlichen Verbesserung der Radonsituation in den Gebäuden von Bad Schlema, der Bergstadt Schneeberg und zum Teil auch in Johanngeorgenstadt [19, 20, 21].

In den zurückliegenden Jahren erfolgten durch Ingenieurbüros (IAF-Radioökologie GmbH, GEOPRAX, BPS-Zwickau, SARAD, STOLLER, ALTRAC, Baugrund Dresden, Ing.-Büro Dr. W. Horn, u.a.) vielfältige Arbeiten zur Baugrunderkundung und Radon-Sanierung für private Hausbesitzer und öffentliche Gesellschaften und Einrichtungen. Auch Hauseigentümer führten Radon-Sanierungen auf „eigene Faust“ durch.

Die Verfolgung und teilweise unmittelbare Beteiligung an diesen verschiedenen Aktivitäten ergab für mich folgendes Fazit:

- Es gab vielfältige Aktivitäten der Radon-Experten und der zuständigen Behörden mit durchaus unterschiedlichen Zielstellungen, wobei die Aktivitäten zur Verbesserung der konkret herrschenden Radonsituation für die Bevölkerung nicht immer im Fokus standen.
- Hinsichtlich der Rechtfertigung von Sanierungsmaßnahmen gab es in den letzten Jahren einen Sinneswandel. Während man sich in den Anfangsjahren auf eine relativ geringe Anzahl von Gebäuden konzentrierte, die relativ hohe Radonkonzentrationen in den Innenräumen (> 1000 Bq/m³) aufwiesen (d. h. vorrangige Verbesserung der Situation für die Bevölkerung mit hohem Radon-Risiko), werden in den letzten Jahren schon Sanierungsmaßnahmen bei der Überschreitung der Radonkonzentration von 100 Bq/m³ (und damit einer erheblich größeren Zahl von Gebäuden in Sachsen) für notwendig angesehen.
- Am Erfahrungsaustausch zwischen den Experten mangelte es nicht, was jedoch nicht unbedingt zu einer einheitlichen und abgestimmten Vorgehensweise zur Situationsverbesserung für die Bevölkerung führte.
- Es wurden kaum langfristige, nachvollziehbare und abrechenbare Ziele und Vorgehensweisen zur Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden für Deutschland (und Sachsen) formuliert.
- Forschungsschwerpunkte waren die retrospektiven epidemiologischen Studien-Studien (Bergarbeiter und Bevölkerung) und die Bodenradon-Karten für Deutschland (Charakterisierung des geogenen Radonpotenzials).
- Systematische Methoden-Entwicklungen für eine erfolgreiche und kosteneffektive Radon-Sanierung von Gebäuden (Vorschreibungen für die Praxis, Qualitätssicherung der Sanierungslösung, Langzeitverhalten der Rn-Situation, Festlegungen zum Kontroll-Regime) gab es nicht im ausreichenden Maße. So ist es auch noch nicht zu verbindlichen Festlegungen bezüglich des Radonschutzes in bestehenden Bauvorschriften gekommen.
- Die bisher erzielten Erfolge der Rn-Situationsverbesserung in den Gebäuden von Sachsen sind schwer quantifizierbar. Von Interesse wäre, wie sich die vielfältigen Aktivitäten auf die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentrationen in den bestehenden Gebäuden und in den neu errichteten Gebäuden im Sinne der Risikoverringerung in den letzten 25 Jahren ausgewirkt haben.
- Die auf europäischer Ebene durchgeführte Analyse der Kosteneffektivität und des Nutzens für die menschliche Gesundheit von Radonschutz-Strategien (siehe EU-Projekt RADPAR WP 7 [22]) und die Öffentlichkeitsbeteiligung (stakeholder interactions) sind noch nicht in den Mittelpunkt der Diskussion zur Radon-Situation in der Innenraumluft gerückt.
- Synergieeffekte bezüglich der Bemühungen zur Verbesserung der Innenraumluftqualität bezüglich anderer Schadstoffe (CO2, VOCs) sind noch nicht ausgeschöpft.

4 Offene Fragen und kontroverse Auffassungen

Der Zusammenhang zwischen der Radon-Konzentration und dem Lungenkrebsrisiko (lineare Dosis-Wirkungsbeziehung im niedrigen Dosisbereich) wird unter den Fachleuten immer noch kontrovers diskutiert. Die Re-Analyse von 28 weltweit durchgeführten Studien durch Fornalski und Dobrzynski [21], die auf der Grundlage der verfügbaren Daten keinen linearen Zusammenhang zwischen Radonkonzentration und Lungenkrebsrisiko favorisiert, wird in einer Stellungnahme der Bundesregierung und dem BMUB mit „…die jedoch erhebliche methodische Mängel aufweist.." eingestuft [2], weil die Erhöhung des Lungenkrebsrisikos um 16 % bei einer Radonkonzentration von 100 Bq/m³ eine zentrale Annahme für die aktuelle Begründung von Sanierungsstrategien ist. Ergebnisse von epidemiologischen Studien in Schneeberg [24] wurden bezüglich der Schlussfolgerungen eher ignoriert.

Mit den vielfältigen Aktivitäten zur Energieeinsparung haben sich in den letzten Jahren Veränderungen in der Innenraumluftqualität in Gebäuden ergeben. So wird in diesem Zusammenhang kontrovers diskutiert, ob in den Gebäuden ein Radon- oder Lüftungsproblem besteht. Die systematische, gleichzeitige Messung der Luftwechselrate und der Radonkonzentration hat sich zumindest in Sachsen nicht durchgesetzt. Festlegungen für erforderliche Luftwechselraten unter typischen Nutzungsbedingungen gibt es in den Bauvorschriften noch nicht.

Mit großem Aufwand wurden für Deutschland und vertiefend auch für Sachsen Bodenradon-Karten erstellt und Transferfaktoren (Bodenluftkonzentration – Innenraumluftkonzentration) abgeleitet. Für die Verringerung existierender Radonsituationen im Gebäudebestand in den Bergbauregionen Sachsens sind diese Ergebnisse wahrscheinlich nicht hilfreich.

Oft wird in letzter Zeit vergessen, dass die Strahlenexposition (Dosis) von den kurzlebigen Radonzerfallsprodukten (potenzielle Alphaenergiekonzentration) hervorgerufen wird. Die Radon-Zerfallsprodukt-Messungen und die Bewertung der Zerfallsproduktkonzentrationen wurden in den Hintergrund gedrängt. Bei technischen Belüftungssystemen in Niedrigenergiehäusern oder in öffentlichen Gebäuden ist die Annahme eines Gleichgewichtsfaktors von F = 0,4 nicht zutreffend. Der technische Fortschritt gestattet es, auch die Rn-Zerfallsprodukt-Konzentrationen kostengünstig zu messen und daraus auch die Luftwechselrate abzuleiten. In der öffentlichen Wahrnehmung wird vielfach schon das Edelgas Radon selbst für die gesundheitlichen Risiken verantwortlich gemacht, weil über den Zusammenhang zwischen der Aerosolkonzentration in der Innenraumluft und dem Verhalten der kurzlebigen Rn-Zerfallsprodukte wenig informiert wird.

Als Bewertungsgrundlage für die Radonsituation in Gebäuden werden immer noch hauptsächlich Langzeit-Messungen empfohlen. Die Quantifizierung von zeitaufgelösten Rn-Kurzzeitmessungen im Zusammenhang mit der Erfassung zusätzlicher Parameter zur Charakterisierung des System-verhaltens hat sich bisher in der Praxis noch nicht durchgesetzt.

Der Finanzaufwand für die nachhaltige, langfristige Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden wird kontrovers diskutiert. Es wird vielfach noch behauptet, dass die Radon-Situation im bestehenden Gebäudebestand durch einfache, billige Lösungen beherrscht werden kann. Dies könne dem Gebäude-Eigentümer aufgebürdet werden. Kosten-Nutzen-Analysen haben sich zur Identifikation von optimalen Sanierungslösungen noch nicht durchgesetzt. Die Beherrschung der Radonsituation durch Grubenbewetterung (Organisation eines flächendeckenden Unterdruckes) in Regionen mit tagesnahen Grubenbauen in dicht besiedelten Bergstädten fand infolge der befürchteten Langzeitaufgaben noch keine durchgehende Akzeptanz im Freistaat Sachsen.

Die retrospektiven epidemiologischen Untersuchungen haben den Zusammenhang zwischen den erhöhten Radon- bzw. Zerfallsprodukt-Konzentrationen und dem Gesundheitsrisiko (an Lungenkrebs zu erkranken) aufgezeigt und unterstreichen, dass dafür eine umfangreiche, qualitätsgesicherte Datengrundlage die notwendige Voraussetzung ist. Will man in einigen Jahren den Nachweis führen, dass die Radonschutzmaßnahmen zu einer nachweisbaren Verbesserung der Gesundheit der Bevölkerung in Sachsen geführt hat, so ist es auch erforderlich, langfristig die Gesundheitsdaten der Bevölkerung in Sachsen diesbezüglich systematisch zu verfolgen, zumal sich auch das Rauchverhalten der Bevölkerung (häufigste Ursache an Lungenkrebs zu erkranken) in den letzten Jahren deutlich verändert hat.

5 Radon in Gebäuden bei der Sanierung bergbaulicher Hinterlassenschaften

Das in Gebäuden der Gemeinden, in denen sich bergbauliche Hinterlassenschaften (Haldenaufschüttungen, tagesnahe Grubenbaue, ehemalige Schächtde, gestörtes Gebirge) befinden, besonders hohe Radonkonzentrationen zu verzeichnen sind, ist eine lange bekannte Tatsache (siehe auch Vortrag von B. Leißring (GEOPRAX) auf dieser Tagung). Da sich die Gebäude in den Gemeinden und Bergstädten heute in Privatbesitz oder in kommunalem Besitz befinden, fällt die Verbesserung der Radonsituation innerhalb der Gebäude formal scheinbar nicht in die Sanierungsverpflichtung für bergbauliche Hinterlassenschaften. Im Zusammenhang mit der Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranerzbergbaus in Bad Schlema, Schneeberg und Johanngeorgenstadt im Freistaat Sachsen wurde der experimentelle Nachweis erbracht, dass Luft mit hohen Radonkonzentrationen aus Grubenhohlräumen über Risse, Klüfte oder verfüllte Schächte bis in die Häuser gelangt [23] und der ehemalige Bergbau ein wesentlicher Verursacher der Radonsituation in Gebäuden ist.

Zur Entwicklung einer optimalen Sanierungslösung, die in Bereichen mit tagesnahen Grubenbauen flächendeckend und langfristig zur Verbesserung der Radonsituation in den Gebäuden führt, wurden in der Wismut GmbH komplexe Untersuchungsverfahren entwickelt und mehr als 20 Jahre an der praktischen Umsetzung der Beherrschung der Radonsituation in den Gebäuden durch Grubenbewetterung (Unterdruckerzeugung) gearbeitet. Hierbei wurden komplexe Messungen und Verfahren zum Einsatz gebracht.

Hervorzuheben ist die Anwendung der Tracergas-Technologie zur Untersuchung der konvektiven Radontransportprozesse aus den Grubenbauen oder Haldenaufschüttungen bis in die Häuser [25, 26]. Die Tracergas-Technologie kann ebenfalls mit hoher Effektivität zur Charakterisierung der Radonsituation in Gebäuden eingesetzt werden. Das wurde beispielhaft bei der Charakterisierung der Radonsituation in öffentlichen Gebäuden [17] oder größeren Wohngebäuden [26] demonstriert.

Die Weiterentwicklung der Interpretation und Bewertung zeitaufgelöster Messungen der Radon-Konzentrationen und zugehöriger klimatischer Parameter in Gebäuden wurde im Zusammenhang mit sanierungsbegleitenden Messungen in Häusern in Bad Schlema und Schneeberg durch die Wismut GmbH vorangetrieben [28].

Das Fazit langjähriger eigener Arbeiten zur Beherrschung der Radonsituation infolge bergbaulicher Hinterlassenschaften kann bezüglich „Radon in Gebäuden“ folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Das langjährige Monitoring von Radonkonzentrationen in Gebäuden mit integrierenden Messverfahren (Kernspurdetektoren oder Elektrete) oder wiederholendes Bodenluft-Monitoring dokumentiert zwar die jeweilig herrschende Situation, gibt jedoch kaum Impulse für optimale Ansätze zur Gebäudesanierung oder komplexe Radonschutzstrategien zur nachhaltigen Verbesserung der Radon-Situation.
- Die Radon-Situation selbst benachbarter Gebäude kann sich bei vergleichbaren Baugrundverhältnissen gravierend unterscheiden, so dass eine Übertragung der Situation von einem Objekt auf andere Objekte nicht ohne weiteres möglich ist. Für objektbezogene Sanierungslösungen muss für jedes Objekt die Radon-Situation gesondert analysiert und charakterisiert werden.
- Die Identifikation einer optimalen Sanierungslösung für ein bestimmtes Objekt oder eine bestimmte lokale Bergbausituation kann nur durch die Anwendung einer komplexen Herangehensweise erzielt werden. Allein Radonmessungen in den Räumen eines Gebäudes sind in der Regel dafür nicht hinreichend.
- Die komplexe Anwendung zeitaufgelöster Radon- und Radon-Zerfallsprodukt-Messungen in Kombination mit zeitaufgelösten Differenzdruckmessungen, Luftwechselmessungen mittels Tracergas-Technologie, Einsatz der Infrarot-Thermographie zur Auffindung von Leckagen in der bodenberührenden Gebäudehülle, Anwendung der Blower-Door-Technologie im Kombination mit Radon-Zufluss-Messungen und in situ Rn-Exhalationsmessungen an den Gebäudewänden und Fußböden führen in kürzeren Zeiten insbesondere bei größeren Gebäuden zum notwendigen Systemverständnis, wenn auch der Aufwand erhöht ist. Zusätzlich

kann es erforderlich sein, die Luftverteilung im Gebäude über mehrere Etagen und Räume mit Tracergas-Untersuchungen zu quantifizieren. Nur so können fundierte Sanierungsentscheidungen, die mit einem erhöhten finanziellen Aufwand verbunden sein können, begründet werden. Die Anwendung einer solchen komplexen Vorgehensweise wurde beispielhaft demonstriert.

- Die wettertechnische Lösung (Unterdruckbewetterung offener Grubenbaue, geschlossene Tagesöffnungen) zur Beherrschung der Radon-Situation in Bereichen mit tagesnahen Grubenbauen hat sich mehrfach als wirksam erwiesen.
- Die Wirkung von Radonbrunnen in Aufschüttungen mit grobem Gestein (hohe Gaspermeabilität) außerhalb der Gebäudehülle erscheint zur Beherrschung der Radonsituation in Gebäuden erfolgversprechend, bedarf jedoch der genauen ingenieurtechnischen Dimensionierung und messtechnischen Bestimmung der Gaspermeabilität des Untergrundes.
- Die Kanalisation in den Gemeinden ist in der Regel zwar wasserdicht, jedoch nicht „luftdicht". Es wurde nachgewiesen, dass Bodenluft mit erhöhten Radonkonzentrationen in die Kanalisation gelangen und dort über weite Strecken bis in die Gebäude transportiert werden kann [28].
- Im Zusammenhang mit den vorbereitenden oder sanierungsbegleitenden Kontroll-Messungen in Häusern wurden im größeren Umfang Gespräche mit der betroffenen Bevölkerung geführt. Das hat einerseits das hohe Verständnis und Vertrauen der Bevölkerung hinsichtlich der Bemühungen zur Beherrschung der Radon-Situation im Zusammenhang mit der Sanierungstätigkeit des Bergbauunternehmens aufgezeigt und andererseits die hohe Bedeutung der Kommunikation unter Einbeziehung der Bevölkerung und der Vertreter öffentlicher Belange in die Entscheidungsfindung zur Umsetzung einer Radonschutzstrategie unterstrichen.

6 KORA e.V. – Persönliche Erfahrungen und Eindrücke

Die Gründung des Kompetenzzentrums Radon (KORA e.V.) an der HTW Dresden in Sachsen, in dem Vertreter von Hochschulen, Ingenieurbüros, der Industrie und Architekten Mitglied sind, sollte einerseits die Thematik „Radon in Gebäuden" besser in die Ausbildung junger Bau-Ingenieure integrieren und die bisher gesammelten Erfahrungen der Radon-Experten zur Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden bündeln. Deshalb fand KORA auch meine Unterstützung.

Der jährlich durchgeführte Sächsische RADONTAG und die gleichzeitige Tagung „radonsicheres Bauen" waren Wissensvermittlung durch KORA-Mitglieder und Fachleute aus angrenzenden Fachgebieten aus dem In- und Ausland und gleichzeitig Erfahrungsaustausch zwischen den Radon-Experten und mit den Behörden. Wenn auch die Breitenwirkung und Ausstrahlung des Radontages auf die betroffenen Kommunen mit Radon-Problemen in Gebäuden ihrer Stadt oder Gemeinde in Sachsen eher begrenzt war, so können diese Veranstaltungen gemeinsam mit den Behörden als Erfolg verbucht werden.

Es begannen Weiterbildungsaktivitäten für Baufachleute und auf Wunsch der Behörden die Qualifizierung von sog. Radon-Fachpersonen. Die Weiterbildung von Baufachleuten auf dem Gebiet des radonsicheren Bauens und des Radonschutzes wird auch zukünftig für notwendig und nützlich gehalten. Das sollte mit den Entwicklungen des energiesparenden Bauens koordiniert werden.

Die Dynamik der KORA-Aktivitäten, insbesondere bei Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist in den letzten Jahren nach meiner Auffassung ins Stocken geraten. Dies wurde einerseits durch die begrenzten finanziellen Mittel, die dafür in Sachsen zur Verfügung standen, und andererseits durch ein fehlendes Konzept des Freistaates Sachsen für zukünftige längerfristige Anforderungen zur Umsetzung einer Radon-Schutzstrategie in Sachsen (Identifikation der noch zu lösenden fachlichen Fragestellungen) bedingt. Der Bedarf eines Kompetenzzentrums „Radonsicheres Bauen und Sanieren" in Sachsen sollte ggf. im Zusammenhang mit der Konzeptfindung in den zuständigen Behörden und Hochschul-Bildungseinrichtungen noch einmal auf den Prüfstand gestellt werden.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit hat die Forschungsinitiative "ZukunftBAU" ins Leben gerufen, um die Energiewende im Bereich Bauen und Wohnen voranzubringen. Ziel des Bundesministeriums ist es, nicht nur einmalige „Leuchtturmprojekte“ zu realisieren, sondern in einem Netzwerk von unterschiedlichen Lösungen verschiedene Technologien auszuprobieren und weiter zu optimieren. Einen solchen Arbeitsansatz kann KORA e.V. aus eigenen Kräften nach meiner Auffassung nicht schultern. Das Effizienzhaus –Plus-Netzwerk demonstriert, mit welchem hohen Ressourceneinsatz unter heutigen wirtschaftlichen Bedingungen in kurzen Zeiträumen innovative Lösungen entwickelt werden, damit vielversprechende Ideen, Technologien und Materialien schneller den Weg in die Praxis finden.

7 Zukünftige Aufgaben zur Verbesserung der Radon-Situation in Sachsen (- persönliche Auffassungen -)

Die Anforderungen, die sich aus den Empfehlungen der ICRP 126 und der Richtlinie 2013/59/Euratom ergeben, machen deutlich, dass in Deutschland, aber auch im Freistaat Sachsen, eine langfristige Radonschutz-Strategie (nachhaltiges Management) erforderlich ist, deren Ergebnisse in einigen Jahren öffentlichkeitswirksam kontrollierbar sein sollten.

In Auswertung des erreichten Arbeitsstandes zur Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden des Freistaates Sachsen und der zur Verfügung stehenden Methoden und Ressourcen sollten die Kenntnisdefizite, fehlenden Werkzeuge und das benötigte Fachpersonal zur Umsetzung der zukünftigen Radonschutz-Strategie identifiziert werden.

Von der Veröffentlichung und breiten Diskussion des Management-Konzeptes der zuständigen Behörde zur Verbesserung der langfristigen Radonsituation in den Gebäuden werden neue Impulse für die zukünftige praktische Umsetzung erwartet.

Die positiven Beispiele zur kosteneffektiven, nachhaltigen Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden des Freistaates sollten im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit noch breiter bekannt gemacht werden, um die Beispielwirkung für zukünftige Initiativen der Hauseigentümer zu erhöhen.

Folgende Themen bedürfen u. a. einer weiteren Bearbeitung:

- Nachweisführung über eingetretene Situationsverbesserungen in Verbindung mit Gesundheitskontrollen (Lungenkrebsentwicklung) und Konzepten für entsprechende Langzeitstudien,
- Kontrollen der Wirksamkeit, des Langzeitverhaltes und des Unterhaltungsaufwandes realisierter Sanierungslösungen,
- Nachweisführung der Trendentwicklung der Strahlenexposition der Bevölkerung von Sachsen (30-Jahresprogramm),
- Standardisierung des randonsicheren Bauens (Berechnungsvorschriften, Planungs-vorschriften, Bauvorschriften),
- Implementierung von Methoden der Qualitätssicherung (für Messverfahren, Neubau, Sanierung),
- Interventionen zur Situationsverbesserung in ausgewählten öffentlichen Gebäuden (Einsatz bewährter Verfahren, Nachweisführung und Nachsorgepläne),
- Verbesserung/Intensivierung der Bildungs- und Weiterbildungsarbeit an Schulen, Berufsschulen und Hochschulen (Schwerpunkt Radonschutz-Weiterbildung im Bauwesen).

8 Perspektiven für junge Strahlenschützer und Ingenieure

Es ist die Zeit gekommen, wo Erfahrungsträger auf dem speziellen Gebiet der Strahlenschutzes (Strahlenexposition der allgemeinen Bevölkerung durch Inhalation von Radon und seinen kurzlebigen Zerfallsprodukten) und des Ingenieurwesens mit Spezialrichtung des radonsicheren Bauens und Sanierens aus dem Berufsleben ausscheiden und sich für junge Strahlenschützer und Ingenieure die Frage stellt, ob auf dem Gebiet des radonsicheren Bauens und des Sanierens der bestehenden Bausubstanz im Freistaat Sachsen noch genügend berufliche Perspektiven bestehen. Aus den obigen Darlegungen wird deutlich, dass die Arbeit auf dem Gebiet des Radonschutzes keineswegs getan ist und auch nicht in kurzen Zeiträumen, d. h. in naher Zukunft abgeschlossen werden kann. Es wird zukünftig jedoch notwendig werden, die Arbeiten zur Verbesserung der Radonsituation in Gebäuden immer wieder neu an die aktuellen Entwicklungen zum energieeffizienten Bauen und Wohnen anzupassen. Aus heutiger Sicht werden folgende Perspektiven für zukünftiges, innovatives, gemeinsames Handeln von Strahlenschützern und Ingenieuren im Bauwesen und für anspruchsvolle Aufgaben gesehen:

- Interdisziplinäre Ausbildung an Hochschulen und Technischen Universitäten auf hohem wissenschaftlichen und technischem Niveau (Ausbildungsverbund),
- Schaffung einer Ausbildungs- bzw. Weiterbildungs-Infrastuktur (Labore, Technika, Experimentalbauten),
- Modellierung der grundlegenden Prozesse des Schadstofftransportes in das Gebäude und innerhalb des Gebäudes im Rahmen von ingenieurtechnischen Planungen von neuen Gebäuden mit innovativer Gebäudetechnik,
- Modernisierung/Aktualisierung der Berechnungsvorschriften zur Abschätzung der Strahlenexpositionen für den Aufenthalt in Gebäuden,
- Ausarbeitung von Strategien der Nachhaltigkeit im Radonschutz,
- Optimierung von Vorsorgemaßnahmen,
- Entwicklung und Praxiseinführung neuer Messmethoden:

  für die Baugrundcharakterisierung,

  für die Quantifizierung des Luftaustausches in Gebäuden während der bestimmungsgemäßen Nutzung,

  netzbasierte komplexe Kontroll-Messungen zur Charakterisierung der Radon-Situation

  für die Innenraumluft-Qualitätsüberwachung und –Steuerung (ventilation on demand),

  zeitaufgelöste Radonzerfallsprodukt-Messverfahren zur gleichzeitigen Luftwechsel-bestimmung,
- Praxiseinführung von Methoden der Kosteneffektivitätsanalyse für Optimierungen,
- Langzeitstudien zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Radonsituation in Gebäuden im Ergebnis von durchgeführten Radonschutzmaßnahmen,

Für Ingenieure und Architekten besteht weiterhin die Aufgabe, den Radonschutz in die Bauplanung, Bauausführung und Materialauswahl am Bau zu integrieren:

- Neue Bauweisen (Energieeffizienzhaus und Radonschutz),
- Neue Baumaterialien (Entwicklung von Prüfständen und Verfahren der Qualitätssicherung bzw. Eignungsprüfung)
- Technische Lösungen zur Verbindung von Energieeinsparung und Radonschutz,
- Modellierung der Gebäudekonstruktionen zur Gewährleistung des Radonschutzes in der Planungsphase,
- Komplexe Untersuchungen an Testgebäuden und Pilotprojekten.

Der Radonschutz in Gebäuden ist zukünftig nicht nur als Strahlenschutzproblem zu verstehen, sondern erfordert die Zusammenarbeit von Fachleuten verschiedener Disziplinen, wobei die Federführung zunehmend auf die Fachleute in der Baubranche übergehen sollte.

9 Literaturverzeichnis

[1] Bundesamt für Strahlenschutz: Strahlenthemen Radon in Häusern, Flyer für die Öffentlichkeit.

[2] Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten: Langfristige Risiken der Exposition gegenüber Radon, Drucksache der Bundesregierung 18/3384 (2015).

[3] Strahlenschutzkommission (SSK): Zur Radon-Exposition der Bevölkerung, Empfehlungen der Strahlenschutzkommission, Bundesanzeiger Nr. 208 vom 06.11.1980.

[4] Strahlenschutzkommission (SSK): Strahlenschutzgrundsätze zur Begrenzung der Strahlenexposition der Bevölkerung durch Radon und seine Zerfallsprodukte, Empfehlung vom 30.06.1988, Bd. 15, Gustav fischer Verl., Stuttgart, 1991.

[5] Nazaroff, W.W., A.V./Nero: Radon and its Decay Products in Indoor Air, Wiley&Sons, Oxford, 1988.

[6] Jacobi, W.: Possible lung cancer risc from indoor exposure to radon daughters. Radiation Protection Dosimetry, Vol. 7, S. 395-401, 1984.

[7] Porstendörfer, J.: Properties and Behaviour of Radon and Thoron an Their Decay Products in the Air., J. Aerosol Sci Vol. 25,No. 2, S. 219-263, 1994.

[8] Keller, G., Schütz, M.: Radonsanierung in Häusern, Publikationsreihe Fortschritte im Strahlenschutz, Umweltradioaktivität, Radioökologie, Strahlenwirkung, Band 1, S. 119-124, 1993.

[9] Bundesamt für Strahlenschutz: Radonhandbuch-Deutschland, Braunschweig-Druck GmbH, Braunschweig, Stand: September 2001, letzte Aktualisierung: 2010.

[10] H. Zeeb, F. Shannoun (ed.): WHO Handbook on Indoor Radon: A Public Health Perspective, World Health Organisation, Geneva, 2009.

[11] Pepper, D.W., D. Carrington: Modeling Indoor Air Pollution, Imperial College Press, London, 2009.

[12] Preuße, W., S. Hurst: Radonpotenzial in Sachsen, Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, www.umwelt.sachsen.de/umwelt/strahlenschutz/3331.htm.

[13] SSK: Die Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte in Wohnungen in der Bundesrepublik Deutschland und deren Bewertung, Veröff. der SSK Bd.19, gustav Fischer Verl., Stuttgart, 1992.

[14] Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Forschung zum Problemkreis „Radon“, Vortragsmanuskripte des 15. Statusgespräches Berlin Okt. 2002, Bonn, 2003.

[15] Bundesamt für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Forschung zum Problemkreis „Radon“, Vortragsmanuskripte des 16. Statusgespräches Okt. 2003, Bonn, Jan. 2004.

[16] Burkart, W., M. Sohrabi, A. Bayer: High Levels of Natural Radiation and Radon Areas: Radiation Dose and Health Effects, Elsevier, Amsterdam-Boston-London-New York, 2002.

[17] Löbner, W., H. Schulz, E. Hermann, B. Leißring: Radon in öffentlichen Gebäuden, 1. Sächsischer Radontag, Dresden, 2007. (Forschungsprojekt im Auftrag des LfULG).

[18] [18]Taube, A., Staatliche Umweltbetriebsgesellschaft, Bad Schlema/Chemnitz: Radonberatung des Freistaates Sachsen, 1. Sächsischer Radontag, Dresden, 2007.

[19] Schramm, C.: Beiträge tagesnaher Grubenbaue und weiterer unterirdischer Hohlräume zur Radonbelastung in Häusern - Grundlagen und Lösungsansätze, 6. Sächsischer Radontag, Dresden, 2012.

[20] Geringswald, K., N. Leißring, W. Löbner, C. Schramm: Ergebnisse eines wettertechnischen Pilotprojektes zur Beherrschung der grubenbedingten Radonfreisetzung in Häusern am Altbergbaustandort Schneeberg, 11. Altbergbaukolloquium, Wroclaw, 2011.

[21] Löbner, W., J. Regner, C. Schramm, P. Schmidt: Radonsituation und Reduzierung radonbedingter Expositionen in Schlema und Schneeberg, Veröff. der Strahlenschutzkommission, Bd. 65, H. Hoffmann Fachverl., Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn, 2010.

[22] RADPAR WP 7: Final Report, Analysis of cost effectiveness and health benefits of radon control strategies, May 2012., web.jrc.ec.europa.eu/radpar/docview.cfm.

[23] Fornalski, K.W., L. Dobrzynski: Pooled Bayesian analysis of twenty-eight studies on radon induced lung cancers, Health Physics, 101(2011)3, pp. 265-273.

[24] Conrady, J., K.Martin: Weniger Modelle – spezifische analytische Studien zum Radonrisiko in Wohnungen sind notwendig, Bundesgesundheitsblatt 19(1996), S. 106-110.

[25] Raatschen, W., R.A. Grot, W. Löbner: Quantification of radon migration from uranium mine through the soil into buildings by use of tracer techniques, 10th World Clean air Congr. Espoo, finland May 28-June 2, 1995.

[26] Löbner, W., C. Schramm, J. Regner, K. Geringswald, F. Leichsenring, P. Schmidt: Application of the tracer gas technology to investigate convective radon transport processes between mine workings an houses, Kerntechnik 77(2012)3, S. 187-190.

[27] Geringswald K., C. Schramm, W. Löbner, M. Förster, H. Räder, E. Sternkopf: RADONSANIERUNG AN EINEM ALTBAU ALS ERGEBNIS EINER KOMPLEXEN URSACHENAUFKLÄRUNG, 7. Sächsischer Radontag, Dresden, 2013.

[28] Geringswald, K., W. Löbner, Ch. Schramm: Zeitreihenanalyse der Ergebnisse von Radon-Konzentrationsmessungen in Häusern, 7. Sächsischer Radontag, Dresden, 2013.

Referentenverzeichnis

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

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

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

Dipl. Geol. Dr. Stephanie Hurst
Referentin, Desk Officer
Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft
D-01097 Dresden, Archivstraße 1
Telefon: 0351 / 564 - 6542, Telefax: 0351 / 564 - 2069
www.smul.sachsen.de email: stephanie.hurst@smul.sachsen.de

Guido Kleve
DLA Piper UK LLP
Rechtsanwalt - Counsel
D-50672 Köln, Hohenzollernring 72
Telefon: 0221 / 277 277 351 Telefax: 0221 / 277 277 111
www.dlapiper.com email: guido.kleve@dlapiper.com

Spela Kastelec
Rechtsanwältin / Associate
DLA Piper UK LLP
D-50672 Köln, Hohenzollernring 72
Telefon: 0221 / 277 277 355 Telefax: 0221 / 277 277 111
www.dlapiper.com email: spela.kastelec@dlapiper.com

Winfried Meyer
Bundesamt für Strahlenschutz, Fachgebiet Radon in Gebäuden
D-10318 Berlin, Köpenicker Allee 120 - 130
Telefon: 030 / 18333 - 42 29
www.bfs.de email: wmeyer@bfs.de

Martha Palacios
Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Bundesamt für Gesundheit (BAG), Sektion Radiologische Risiken
CH-3003 Bern, Schwarzenburgstrasse 165
Telefon: 031 / 324 - 61 83, Telefax. 031 / 322 - 83 83
www.ch-radon.ch e-mail: martha.palacios@bag.admin.ch

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

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

Nick Leißring
Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX
D-09114 Chemnitz, Max-Planck-Str. 18
Telefon: 0371 / 336 - 2788 Telefax: 0371 / 336 - 2789
www.geoprax-leissring.de email: nick@leissring.de

Dipl.-Ing. Roland Baumann
Technischer Aufsichtsbeamter
BG Energie Textil Elektro Medienerzeugnisse, Präventionszentrum Nürnberg
D-90403 Nürnberg, Winklerstr. 33
Telefon: 0911 / 2499 - 1650 Telefax: 0375 / 296 - 468
www.bgetem.de email: baumann.roland@bgetem.de

B.Sc. Thomas Neugebauer
wissenschaftlicher Mitarbeiter
Technische Hochschule Mittelhessen, Gießen Institut für Medizinische Physik und Strahlenschutz
D-35390, Gießen Wiesenstraße 14
Telefon: 0641 /309 – 2338 Telefax: 0641 / 309 - 2973
http://www.thm.de email: thomas.neugebauer@mni.thm.de

Jan Gottwald
Stoller Ingenieurtechnik GmbH
D-01277 Dresden, Bärensteiner Straße 27–29
Telefon: 0351 / 212 39 30 Telefax: 0351 / 212 39 59
www.stoller-dresden.de email: info@stoller-dresden.de

Dr. rer. nat. Walfried Löbner
Mitglied KORA e.V.
D-Limbach-Oberfrohna
email: w.loebner@gmail.com

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 2015

Redaktionelle Bearbeitung: M.Sc. Ronny Sachse

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

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.

Druck und Bindung:
Lichtpaus- und Kopierstudio Dresden