STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT | Freistaat SACHSEN

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

12. Sächsischer Radontag

Tagungsband

14. Tagung Radonsicheres Bauen
am 15./16.11.2018 in Bad Schlema

Kurpark Bad Schlema, Quelle: BUR Werbeagentur

STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT | Freistaat SACHSEN

HOCHSCHULE FÜR TECHNIK UND WIRTSCHAFT DRESDEN UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

12. Sächsischer Radontag

14. Tagung Radonsicheres Bauen

Tagungsband zur Veranstaltung

am 15./ 16. November 2018 in Bad Schlema

Die Veranstaltung wurde in Zusammenarbeit mit folgenden Institutionen durchgeführt:

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

100 Jahre Bergbau

WISMUT

STÄDTEBUND SILBERBERG

Inhaltsverzeichnis

Grußwort zum 12. Sächsischen Radontag 3

Grußwort des Rektors Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel 5

Grußwort des Staatssekretärs Dr. Frank Pfeil 7

Grußwort des Bürgermeisters der Gemeinde Bad Schlema 9

Regelungen und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Deutschland 13
Axel Böttger, Benjamin Klein

Radonschutz an Gebäuden - Herausforderungen für die Bauindustrie 23
Klaus Pöllath, Grit Höfer

Einflüsse der Gebäudetypologie auf die Radonkonzentration in Gebäuden 33
Thomas Heinrich, Mandy Alisch-Mark, Stefan Gatermann, Tobias Geib

Langjährige Radonmessungen in Gebäuden durch die Wismut GmbH 43
Peter Schmidt, Jens Regner, Christian Schramm

Seltene Metall- und Spat-Lagerstätten im Erzgebirge und Vogtland – Geologie, (Alt-) Bergbau, Exploration und Radon-Problematik 57
Thomas Seifert

Die DIN SPEC 18117 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz“ – Ein neues Instrument zur Unterstützung der Planung und Baupraxis 75
Walter-Reinhold Uhlig

Gesundheitliche Risiken durch Radon – Ergebnisse aus epidemiologischen Studien 89
Nora Fenske, Maria Schnelzer, Michaela Kreuzer

Projekte und Messprogramme des Freistaates Bayern zu Radon 101
Simone Körner

Radonsanierung an Beispielen 113
Bernd Leißring

Ergebnisse aktueller Radonmessungen in Gebäuden der Oberlausitz 127
Thomas Schönmuth, Uwe Heidrich

Autorenverzeichnis 139

Grußwort zum 12. Sächsischen Radontag

Im Namen des gesamten Organisationsteams der HTW Dresden ist es mir eine Freude, alle Teilnehmer, Referenten und Fachaussteller zum 12. Sächsischen Radontag ganz herzlich in Bad Schlema begrüßen zu dürfen. Wir wünschen allen Beteiligten, dass diese nun schon traditionelle Fachtagung Ihre Funktion als lebendiges Forum des fachlichen Meinungsaustausches zwischen Experten und Anwendern aus Forschung, Baupraxis und Fachbehörden beibehalten und ausbauen kann. Darüber hinaus freuen wir uns, wie viele Interessierte aus dem gesamten Bundesgebiet den Weg zu unserem diesjährigen Tagungsort in Bad Schlema (Erzgebirgskreis) auf sich genommen haben.

Das aktuelle Veranstaltungsprogramm wurde gemeinsam vom Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), von der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) als Veranstalter sowie von Mitgliedern des Kompetenzzentrums für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen und Sanieren (KORA e.V.) konzipiert. Die Themenauswahl berücksichtigt dabei, dass der bauliche Radonschutz durch das 2017 beschlossene Deutsche Strahlenschutzgesetz eine zunehmende Bedeutung erfährt, um so gesundheitliche Risiken für die Bevölkerung infolge dauerhaft hoher Radonkonzentrationen in Gebäuden zu mindern.

Der 12. Sächsische Radontag findet erstmals in Bad Schlema, einem im Hinblick auf alle Aspekte des Radonschutzes bemerkenswerten Ort, statt. Regionale Besonderheiten bezüglich des Bergbaus und der Radonproblematik finden sich sowohl im Tagungsprogramm als auch in Form der Exkursionsgruppen zum Schacht 371 am Abend des 15.11.2018, welche dankenswerterweise durch die Wismut GmbH unterstützt werden. Neben den oben genannten Organisationen haben sich zahlreiche lokale Partner in die Vorbereitung des diesjährigen Radontages eingebracht, wobei

insbesondere die Gemeinde Bad Schlema sowie die dort ansässige Kurgesellschaft zu erwähnen sind.

Ohne die intensive und beharrliche Vorbereitung des Organisationsteams wäre eine solche Fachtagung undenkbar. Deshalb gilt mein besonderer Dank meinen Mitarbeitern Dipl.-Ing. (FH) Hannes Wilke, Dipl.-Ing. Stefanie Kunze, Dr.-Ing. Sebastian Golz und Dipl.-Ing. Ralf Groh, welche jegliche Vorbereitungsarbeiten stets mit Ausdauer und Humor bewältigt haben.

Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden,
Fakultät Bauingenieurwesen,
Lehrgebiet Baukonstruktion und Bauwerkserhaltung

Grußwort des Rektors Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

Anlässlich des 12. Sächsischen Radontages freue ich mich, Sie als Teilnehmerinnen und Teilnehmer dieser Fachtagung zum Themenfeld „Radonsicheres Bauen“ in Bad Schlema begrüßen zu dürfen. Seit vielen Jahren betreibt die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden (HTW) zusammen mit dem Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen und Sanieren (KORA e.V.) gleichermaßen Forschung und Wissenstransfer zum Radonschutz in Gebäuden. Ein wesentlicher Bestandteil dessen ist auch die heutige Veranstaltung, welche nunmehr bereits zum 14. Mal stattfindet und seit 2007 gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) als „Sächsischer Radontag“ veranstaltet wird.

Seit mehr als einem Jahr ist das neue deutsche Strahlenschutzgesetz durch den Bundestag und den Bundesrat beschlossen und veröffentlicht. Im Dezember 2018 tritt es nun in Kraft. Durch die Aufnahme des Radonschutzes in dieses Gesetzeswerk rückte der bauliche Radonschutz, ursprünglich eher ein Randthema des Bauwesens, zunehmend in den Fokus der am Bau Beteiligten. Das detaillierte Wissen um den baulichen Radonschutz ist jedoch bei Planern und Bauausführenden noch nicht in hinreichendem Maße ausgeprägt. Deshalb verfolgt der 12. Sächsische Radontag das Ziel, dieses Wissen zu vertiefen und darüber hinaus die Teilnehmer über grundlegende und neueste Entwicklungen im Überschneidungsbereich der Fachgebiete des Strahlenschutzes und des Bauwesens zu informieren. Das erstmals zweitägige Tagungsprogramm bietet hierfür mehr Raum, insbesondere für inhaltliche Vielfalt und intensive Diskussionen.

Das Ziel unserer Hochschule, Forschung und Lehre mit praxisgerechten Lösungen zu verbinden, zeigt sich auch in der Zusammenarbeit zwischen

dem KORA e.V. und der HTW Dresden. So wird im Studiengang Bauingenieurwesen im Rahmen der Vertiefungsrichtung „Konstruktiver Ingenieurbau / Bauwerkserhaltung“ im 7. Studiensemester seit vielen Jahren eine eigenständige Lehrveranstaltung hierzu angeboten.

Mein Dank gilt dem Organisationsteam und den Referenten, die diese Tagung erfolgreich vorbereitet haben und ab jetzt gestalten werden. Ich wünsche der Tagung einen interessanten Verlauf und allen Teilnehmerinnen und Teilnehmern einen regen Erfahrungsaustausch.

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

Grußwort des Staatssekretärs Dr. Frank Pfeil

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen zum 12. Sächsischen Radontag und zur 14. Tagung Radonsicheres Bauen.

Die Besonderheit des diesjährigen Radontages ist, dass er dieses Mal nicht in Dresden, sondern in einer Region stattfindet, der wir schon viele Erkenntnisse zum Radonschutz zu verdanken haben. In Bad Schlema wurde die deutschlandweit erste Radonberatungsstelle eingerichtet und es wurden die ersten Radonsanierungen in dieser Region durchgeführt. Die langjährigen Messungen in einigen Gebäuden von Bad Schlema stellten eine wesentliche Grundlage für die Festlegung des nun geltenden Radon-Referenzwertes für Aufenthaltsräume und für Arbeitsplätze von 300 Bq/m³ dar. Dem Radonschutz kommt auch aufgrund des früheren Uranbergbaus in dieser Region eine besondere Bedeutung zu. Die Sanierung der Hinterlassenschaften des Uranbergbaus trug unter anderem auch zu einem Erkenntnisgewinn bezüglich der Radonmigration in Gebäude und des Radonschutzes bei.

Wir haben nun seit mehr als einem Jahr ein neues Strahlenschutzgesetz, in dem erstmals verbindliche Regelungen zum Radonschutz enthalten sind. Diese treten überwiegend Ende dieses Jahres in Kraft. Die Regelungen, die die Bevölkerung am meisten betreffen, kommen allerdings erst ab dem Jahr 2021 zum Tragen. Es handelt sich dabei einerseits um die Verpflichtung Radon im Keller und im Erdgeschoss von Arbeitsplätzen in noch auszuweisenden Gebieten zu messen. Andererseits geht es um die Verpflichtung zu Maßnahmen in diesen Gebieten, die den Schutz vor Radon bei Neubauten bewirken sollen.

Die Festlegung dieser Gebiete verunsichert viele Menschen, gerade hier in der Tourismusregion Erzgebirge. Uns war und ist es wichtig, dass die

neuen Regelungen so gestaltet und umgesetzt werden, dass die betroffene Bevölkerung nicht über Gebühr belastet wird. Das heißt, dass ein ausgewogenes Verhältnis zwischen den Anforderungen des Gesundheitsschutzes und dem Aufwand für die Radonreduzierung geschaffen wird. Bei der Entwicklung und dem Einsatz kosteneffizienter Lösungen kommt dem Handwerk eine zentrale Rolle zu. Ich wünsche mir daher, dass die einschlägigen Gewerke von den entsprechenden Weiterbildungsmöglichkeiten Gebrauch machen.

Der diesjährige Radontag enthält viele Beiträge, die diese praktischen Aspekte umfassend beleuchten. Ich möchte mich bei allen, die zur Organisation und zum Gelingen der beiden Tage beitragen, sehr herzlich bedanken.

Dr. Frank Pfeil

Staatssekretär im Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft

Grußwort des Bürgermeisters der Gemeinde Bad Schlema

Ein herzliches „Glück-Auf“, allen Teilnehmern des Sächsischen Radontages!

Zum nunmehr 12. Male findet der Sächsische Radontag in Sachsen statt. In diesem Jahr wurde vom Veranstaltungsort Dresden abgewichen und bewusst Bad Schlema als Durchführungsort ausgewählt. Bad Schlema feiert in diesem Jahr ein ganz besonderes Jubiläum - „100 Jahre Kurbetrieb im Schlematal“. Dieses Jubiläum gab uns Anlass, auf die äußerst bewegte Geschichte des Radonkurortes zurückzuschauen. Über das ganze Jahr verteilt gab und gibt es Vortragsreihen, Ausstellungen, besondere Festhöhepunkte, wie das dreitägige Festwochenende zu Pfingsten, usw.

Das beginnende 20. Jahrhundert war für Oberschlema ein entscheidendes Jahr. Bei Untersuchungen der Schlemaer Wässer stießen 1908/09 Freiberger Wissenschaftler auf einen enormen Gehalt an natürlichem Radon. Der Oberschlemaer Richard Friedrich führte die Untersuchungen fort und sicherte bis 1913 einen beachtlichen Bestand an neu gefassten Quellen, welche die höchste Radonkonzentration aller natürlichen Wässer der Erde aufweisen konnten. Oberschlema besaß damit ein einzigartiges Naturwunder, das zum Wohle der Menschheit und zum Segen des Ortes kommerziell genutzt werden sollte. Nach vielen Schwierigkeiten konnte 1918 das "Radiumbad" in Oberschlema eröffnet werden. Ein Radiumforschungsinstitut des späteren Max-Plank-Institutes aus Frankfurt/M. ermöglichte es der Wissenschaft, am Ort ihres Ursprungs die heilende Kraft der stärksten Radonquellen der Welt untersuchen zu können.

Mit dem Ende des 2. Weltkrieges geriet auch das Schlematal unter sowjetische Besatzung, die sofort eine fieberhafte Suche nach Uran aufnahm. Im Herbst 1946 entstanden die ersten Bergwerksanlagen direkt im

inneren Kurgebiet des Ortes, nach nur wenigen Monaten waren alle Heilquellen versiegt. Damit war das Ende des Radiumbades Oberschlema besiegelt. Fortan wandelte sich der Ort zu einem Zentrum des sowjetischen Uranbergbaus. Die Schäden des bodennahen Bergbaus führten nach 1952 zur Aussiedlung der Einwohner und zum Totalabbruch des Ortskerns mit dem gesamten ehemaligen Kurzentrum. Aus dem ebenfalls im Uranbergbau versunkenen Ort Niederschlema und den Resten Oberschlemas entstand 1959 die Gemeinde Schlema.

Aus ihrem Dornröschenschlaf erwachte der Ort mit der politischen Wende 1989/90. Am Rand der Ortslage konnten neue Radonwässer erschlossen werden, die 1991/92 wissenschaftlich untersucht und in einer großen Studie den Nachweis erbringen konnten, dass ihre Heilkraft ungebrochen war. Seit Ende 1993 bietet eine neu gegründete Kurgesellschaft wieder Kuren an, die seit dem ersten Tag regen Zuspruch erfahren.

Die sich zu einem Sanierungsbetrieb gewandelte WISMUT rekultivierte die Schlemaer Ortslage grundlegend und schuf damit die Möglichkeit zur "Revitalisierung der Gemeinde Schlema" - ein Leitmotiv, mit dem Schlema sich zur Weltausstellung "Expo 2000" in Hannover präsentieren konnte.

Im Bereich der alten Ortslage Radiumbad Oberschlema und ihrer Randgebiete entstanden ein in seiner Anlage einmalig großzügiger Kurpark und ein hochmodernes Kurmittelhaus mit dem Gesundheitsbad "Actinon", das täglich von durchschnittlich 750 Gästen aufgesucht wird. Die Einweihung des neuen Gesundheitskomplexes erfolgte im Oktober 1998 unter großer Anteilnahme der gesamten Öffentlichkeit.

Mit der Eröffnung des neuen Kurhauses wurde der Gemeinde das Prädikat "Ort mit Heilquellenkurbetrieb" verliehen. Nach dem Zusammenbruch der Industrielandschaft in Niederschlema und der Einstellung des Bergbaus nach 1990 hatte sich der Ort aus eigener Kraft eine Perspektive gegeben, diese gegen alle Widerstände verfolgt und das "Wunder von Bad Schlema" ermöglicht, denn den Titel "Bad" führt der Ort seit 2005 wieder in seinem Namen. Heute gehört Bad Schlema zu den aufstrebenden jungen Kurorten. Doch es hat eine große, bewegende Tradition und ein Schicksal, das in seiner Brisanz seinesgleichen suchen kann.

Und genau hier liegt „Gutes und Böses“ eng zusammen. Auf der einen Seite nutzen wir seit 100 Jahren die positiven Eigenschaften des natürlichen Edelgases Radon im Niedrigdosisbereich für balneologisch-medizinische Anwendungen und sorgen damit für Linderung bestimmter Krankheitsbilder.

Auf der anderen Seite bereitet uns das Edelgas Radon in hohen Konzentrationen Probleme in Gebäuden und Wohnungen. Durch das im Jahr 2017 beschlossene deutsche Strahlenschutzgesetz hat der bauliche Radonschutz noch mehr an Bedeutung zugenommen, um die gesundheitlichen Risiken in Gebäuden einzugrenzen.

Der Radontag bietet genau diese Plattform, um sich über Möglichkeiten des baulichen Radonschutzes zu informieren, zu diskutieren und Neues zu erfahren. Mittlerweile gibt es in Bad Schlema zahlreiche Sanierungsbeispiele für den Radonschutz.

Wir freuen uns, Sie in unserem Kurort Bad Schlema zu begrüßen.

Jens Müller

Bürgermeister der Gemeinde Bad Schlema

Regelungen und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Deutschland

Axel Böttger[1)], Benjamin Klein[1)]

[1)] Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit, Bonn

Zusammenfassung

Mit dem Beitrag werden die neuen Regelungen und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Deutschland vorgestellt. Zu Beginn wird eine Übersicht zur Behandlung von Radon im Strahlenschutzrecht gegeben. Anschließend wird auf Regelungen zu Radon in Wohngebäuden sowie am Arbeitsplatz eingegangen. Informationen zum Radonmaßnahmenplan sowie zum weiteren Vorgehen bilden den Abschluss des Beitrages.

Regulations and procedures for protection against radon in Germany

Summary

The article presents the new regulations and procedures for protection against radon in Germany. At the beginning, an overview of the treatment of radon in the radiation protection law is given. Afterwards it deals with regulations having regard to radon in residential buildings and at workplaces. Information about the radon action plan as well as the further procedure form the conclusion of the article.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Regelungen und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Deutschland

Dr. Axel Böttger, Dr. Benjamin Klein

Hinweis: Mit dem Vortrag werden die neuen Regelungen und Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Deutschland, die sich bei Abgabe der Folien noch in der Abstimmung befanden und deshalb noch ändern können, vorgestellt.

Es gilt der gehaltene Vortrag.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Übersicht

- Übersicht Radon im Strahlenschutzrecht
- Regelungen zu Radon in Wohngebäuden
- Regelungen zu Radon am Arbeitsplatz
- Radonmaßnahmenplan
- Weiteres Vorgehen

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom (1)

- **Richtlinie 2013/59/Euratom** vom 5. Dezember 2013
  - **(„… zur Festlegung grundlegender Sicherheitsnormen für den Schutz vor den Gefahren einer Exposition gegenüber ionisierender Strahlung [..]“)**
  - Anforderungen an den **Schutz vor Radon in Innenräumen und an Arbeitsplätzen**

Amtsblatt L 13
der Europäischen Union

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 3

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Umsetzung der Richtlinie 2013/59/Euratom (2)

- Im Zuge der Umsetzung der Richtlinie **neues Strahlenschutzgesetz (StrlSchG)** erarbeitet
  - **Verkündet** am **3. Juli 2017, Inkrafttreten** zum **31. Dezember 2018** (Notfallschutzregelungen zum 1. Oktober 2017)
- Detailregelungen auf **Verordnungsebene**
  - Werden ebenfalls zum 31. Dezember 2018 in Kraft treten

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 4

Regelungen zum Schutz vor Radon im StrlSchG (1)

- Festlegung eines **Referenzwertes** von **300 Bq/m³**
  - sowohl für Aufenthaltsräume als auch an Arbeitsplätzen
  - „… ein festgelegter Wert, der als Maßstab für die Prüfung der Angemessenheit von Maßnahmen dient. Ein Referenzwert ist kein Grenzwert." (§5 Absatz 29 StrlSchG)
- **Ausweisung von Gebieten** (durch Länder)
  - …in denen erwartet wird, dass eine beträchtliche Zahl an Gebäuden mit Aufenthaltsräumen und Arbeitsplätzen den Referenzwert überschreitet.
  - Kriterien und Verfahren auf Verordnungsebene (später mehr)
- Vorschriften zu **baulichen Maßnahmen** für **Neubauten**
  - Details zu ausgewiesenen Gebieten auf Verordnungsebene (später mehr)

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 5

Regelungen zum Schutz vor Radon im StrlSchG (2)

- Regelungen zu **Radon** an **Arbeitsplätzen** (später mehr)
- **Weitere Aufgaben** Bund/Länder:
  - Informationspflicht zu Radonexposition, Gesundheitsrisiken, Messung und technische Sanierungsmaßnahmen
  - Anregung von Maßnahmen zur Ermittlung von Aufenthaltsräumen mit Überschreitung des Referenzwerts und Empfehlung zur Sanierung
- Spätestens **nach 10 Jahren Bericht** über **Wirksamkeit** und Kosten von **Maßnahmen**
- Erstellung eines **Radonmaßnahmenplans** (später mehr)

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 6

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Übersicht

- Übersicht Radon im Strahlenschutzrecht
- Regelungen zu Radon in Wohngebäuden
- Regelungen zu Radon am Arbeitsplatz
- Radonmaßnahmenplan
- Weiteres Vorgehen

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

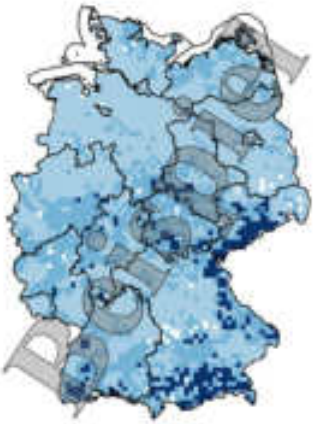
Ausweisung von Gebieten (1) Entwurf Verordnungsebene

- **Wissenschaftlich basierte Methode**, die unter Zugrundelegung geeigneter Daten Vorhersagen hinsichtlich der Überschreitung des Referenzwertes [..] ermöglicht. **Geeignete Daten** sind **insbesondere** geologische Daten, Messdaten der Radon-222-Aktivitätskonzentration in der **Bodenluft**, Messdaten der **Bodenpermeabilität**, Messdaten zur **Radon-222-Aktivitätskonzentration in Aufenthaltsräumen** oder an Arbeitsplätzen sowie Fernerkundungsdaten.
- Schätzung, dass mindestens **10 Prozent der Gebäude Referenzwert überschreiten** (ca. 3 mal häufiger als im Durchschnitt in Deutschland), Nachweis auf 75 Prozent der Fläche genügt
- Ausweisung innerhalb bestehender Verwaltungsgrenzen

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Ausweisung von Gebieten (2)

- Durch BfS entwickeltes Verfahren basierend auf Radonkonzentration in Bodenluft und Bodenpermeabilität → „Radonpotenzial"
- Beispiel einer Prognose aus Radonpotenzial und geschätzter Häufigkeit des Auftretens von Werten über 300 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen
- **Weitere Messungen erforderlich**, für **viele Gebiete können noch keine Aussagen getroffen werden**
- Ausweisung von Gebieten basierend auf Verwaltungseinheiten



15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 9

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Bauliche Maßnahmen für Neubauten (1)

- § 123 StrlSchG: Wer ein Gebäude mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen errichtet, **hat geeignete Maßnahmen zu treffen**, um den **Zutritt von Radon** aus dem Baugrund **zu verhindern oder erheblich zu erschweren.**
- Ein möglicher Weg zur Erfüllung dieser Pflicht:
  - Im gesamten Bundesgebiet: nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderliche Maßnahmen zum Feuchteschutz.
  - In auszuweisenden Gebieten zusätzliche Maßnahmen: Verordnungsebene
- **DIN SPEC** „radongeschütztes Bauen" derzeit **in Erarbeitung** (NABau/NHRS)

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 10

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Bauliche Maßnahmen in auszuweisenden Gebieten

- **Verordnungsebene:**
  - **Verringerung** der **Radon**-222-Aktivitätskonzentration **unter dem Gebäude**
  - gezielte Beeinflussung der **Luftdruckdifferenz** zwischen **Gebäudeinnerem** und **Bodenluft** an der Außenseite von Wänden und Böden mit Erdkontakt, sofern der diffusive Radoneintritt aufgrund des Standorts oder der Konstruktion begrenzt ist
  - **Begrenzung** der **Rissbildung** in Wänden und Böden mit Erdkontakt und Auswahl **diffusionshemmender Betonsorten** mit der erforderlichen Dicke der Bauteile
  - **Absaugung von Radon** an Randfugen oder unter Abdichtungen,
  - Einsatz **diffusionshemmender, konvektionsdicht verarbeiteter Materialien oder Konstruktionen**

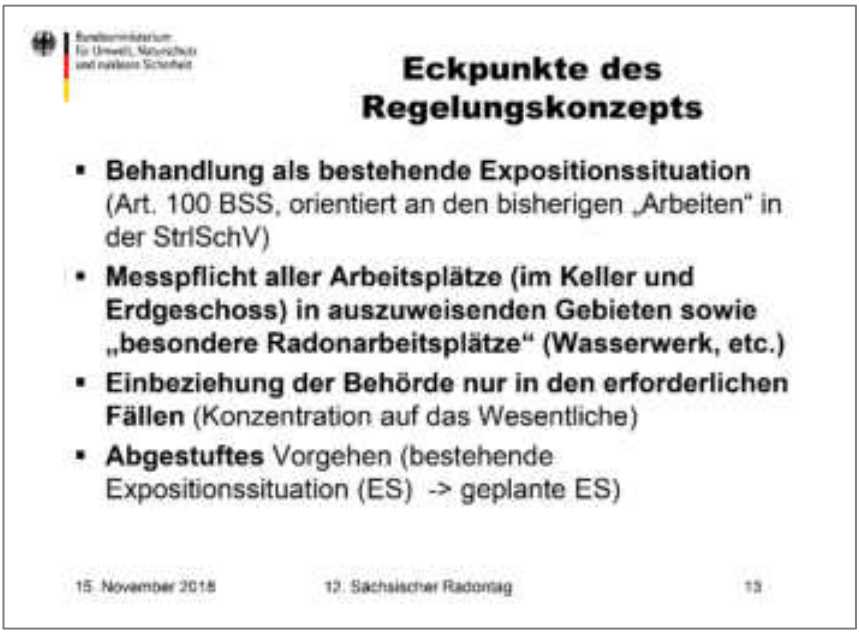
15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 11

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Übersicht

- Übersicht Radon im Strahlenschutzrecht
- Regelungen zu Radon in Wohngebäuden
- Regelungen zu Radon am Arbeitsplatz
- Radonmaßnahmenplan
- Weiteres Vorgehen

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 12


Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Eckpunkte des Regelungskonzepts
Behandlung als bestehende Expositionssituation (Art. 100 BSS, orientiert an den bisherigen „Arbeiten" in der StrlSchV)
Messpflicht aller Arbeitsplätze (im Keller und Erdgeschoss) in auszuweisenden Gebieten sowie „besondere Radonarbeitsplätze" (Wasserwerk, etc.)
Einbeziehung der Behörde nur in den erforderlichen Fällen (Konzentration auf das Wesentliche)
Abgestuftes Vorgehen (bestehende Expositionssituation (ES) -> geplante ES)
15. November 2018
12. Sächsischer Radontag
13

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Stufenkonzept im Strahlenschutzgesetz
1.
§ 127
Messungen der Konzentration
EG/UG in auszuweisenden Gebieten
besondere Arbeitsplätze
4.
Anwendung beruflicher Strahlenschutz (Grenzwerte, Red.gebot Überwachung, …)
§ 130, 131
§ 126
0.
Referenzwert: 300 Bq/m³
Dosis über 6 mSv/a möglich?
2.
§ 128
Reduzierung Konzentration (Ausnahme möglich)
Referenzwert weiterhin überschritten?
3.
Anmeldung bei Behörde, Dosisabschätzung
15. November 2018
12. Sächsischer Radontag
14

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Übersicht

- Übersicht Radon im Strahlenschutzrecht
- Regelungen zu Radon in Wohngebäuden
- Regelungen zu Radon am Arbeitsplatz
- Radonmaßnahmenplan
- Weiteres Vorgehen

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 15

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit

Radonmaßnahmenplan (1)

- § 122 StrlSchG: [..] Er **erläutert die Maßnahmen nach diesem Gesetz** und enthält **Ziele für die Bewältigung der langfristigen Risiken der Exposition durch Radon** in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen in Innenräumen hinsichtlich sämtlicher Quellen, aus denen Radon zutritt, sei es aus dem Boden, aus Bauprodukten oder aus dem Wasser.
- **Arbeitsentwurf** des Radonmaßnahmenplans wurde durch BMU unter Beteiligung der Länder erstellt und wird noch **in diesem Jahr veröffentlicht.**

15. November 2018 12. Sächsischer Radontag 16

Radonmaßnahmenplan (2)

- Themenbereiche (unter anderem):
  - Öffentlichkeitsarbeit
  - Messung von Radon / Gebietsausweisung
  - Bauliche Maßnahmen und Schaffung von Expertise im Baubereich zum Schutz vor Radon
  - Prüfung von Fördermöglichkeiten (auf Bundes- und Länderebene)
  - Radon an Arbeitsplätzen
- Einzelne Maßnahmen werden identifiziert und dann innerhalb der Gültigkeit des Radonmaßnahmenplans abgearbeitet
  - Radonmaßnahmenplan wird mindestens alle 10 Jahre aktualisiert

Weiteres Vorgehen: Zusammenfassung und Zeitplan

- Zukünftige **Strahlenschutzverordnung**
  - **Bundesrat** hat am **19. Oktober 2018** unter der Maßgabe von Änderungen **zugestimmt**
  - **Inkrafttreten 31. Dezember 2018** (zusammen mit Strahlenschutzgesetz)
- **Radonmaßnahmenplan**
  - Länder wurden beteiligt / Ressortabstimmung auf Bundesebene in Vorbereitung
  - **Veröffentlichtes Dokument Ende 2018**

Radonschutz an Gebäuden – Herausforderungen für die Bauindustrie

Klaus Pöllath[1)], Grit Höfer[2)]

[1)] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V., Berlin
[2)] Bauindustrieverband Ost e. V., Leipzig

Zusammenfassung

Die deutsche Bauindustrie ist Hauptakteur beim Radonschutz. Sie benötigt auf dem Gebiet des Radonschutzes rechtssichere Rahmenbedingungen, harmonisierte Normen und durch Aus- und Weiterbildung qualifizierte Mitarbeiter. Das Ziel muss sein, den Radonschutz in ökologisches und wirtschaftliches Bauen zu integrieren. Dazu bedarf es der Zusammenarbeit aller in Politik, Verbänden und Unternehmen. Die deutsche Bauindustrie wird sich diesen Herausforderungen stellen.

Radon protection on buildings – challenges for the construction industry

Summary

The German construction industry is a major player in radon protection. In this field it requires legally compliant framework conditions, harmonized standards and highly qualified employees through training and further education. The goal must be to integrate radon protection into ecological and economic construction. This requires the co-operation of all parties in politics, associations and companies. The German building industry is ready to face these challenges.

1 Einführung

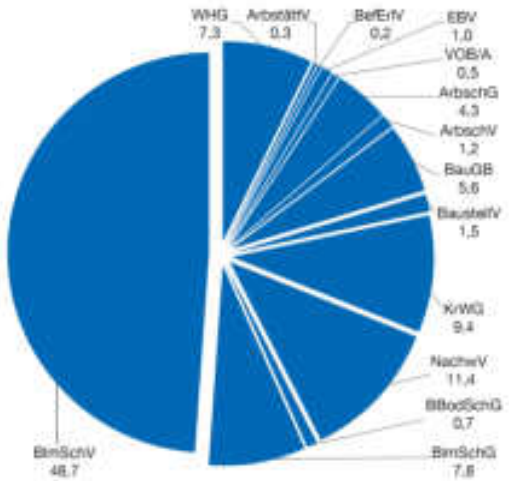
1.1 Die Bauindustrie und die Richtlinien

Trotz aller Bemühungen um weniger Bürokratie steigt die Zahl der Regulierungen stetig. Um gesetzeskonform auf dem Markt zu agieren, müssen die Unternehmen in Deutschland derzeit 15.800 rechtliche Vorgaben erfüllen, die der Bund und die EU zu verantworten haben. Allein innerhalb der letzten Dekade hat sich die Anzahl der Vorgaben um knapp 50 Prozent erhöht. [1]

Die Bauwirtschaft wird durch staatliche Regulierung besonders belastet, denn das Bauen gehört zu den besonders regulierten Bereichen. [1]

Der Bauindustrieverband Ost e. V. hat in der nachfolgenden Grafik beispielhaft dargestellt, welche vom Bund verantworteten Regelwerke von der Bauindustrie beachtet werden müssen und wie viele rechtliche Vorgaben mit diesen Regelwerken per se verbunden sind. Regelwerke der Länder, wie etwa die Landesbauordnungen, Normen des Arbeits- und Sozialrechts, der Steuern und Abgaben, der Sozialversicherung u. a. sind dabei noch nicht einmal erfasst und kommen noch on top. [1]

Zu beachtende Regelwerke mit ihrer möglichen Wirkungsstärke (Grundlage ist Anzahl ihrer rechtlichen Vorgaben, Gesamt = 100) im Bauablauf



Quelle: Statistisches Bundesamt, BIVO

Zwischen Bundesregierung und EU laufen seit Jahren Abstimmungsversuche bezüglich z.B. der Bauproduktenverordnung.

Die deutschen Bauverbände arbeiten daran, dass fehlerhafte in Europa zugelassene Bauprodukte unsere Bausicherheit, die Umwelt und Gesundheit nicht gefährden dürfen.

Vorschriften und Regelwerke binden in den Unternehmen erhebliche zeitliche und personelle Ressourcen. Die hohe Anzahl an Gesetzen, Rechtsverordnungen und Einzelvorschriften erfordert eine hohe Anzahl an Meldungen, Berichten, Anträgen, Nachweisunterlagen, Kontrollen usw. Das führt zu Mehrkosten auf Seiten der Bauherren ebenso wie auf Seiten der Wertschöpfungskette Bau.

Neue wissenschaftliche Untersuchungen führen zu neuen Erkenntnissen, die wiederum in neue Richtlinien münden. Richtlinien, deren Einhaltung arbeitsintensiv ist, die aber auch hilfreich sind und z.B. dazu beitragen, dass das Leben in Gebäuden gesundheitlich unbedenklich ist. Das ist in unser aller Interesse und deshalb beschäftigen wir uns mit Radon.

1.2 Der Radonschutz – eine neue Herausforderung für die Bauindustrie

Radon ist ein natürlich vorkommendes radioaktives Edelgas ohne Geruch, Farbe oder Geschmack. Es steigt unbemerkt aus dem Untergrund auf und kann über erdberührte Bauteile in jedes Gebäude eindringen und sich dort anreichern. Radon kommt in unterschiedlichen Konzentrationen in allen Gebäuden vor. Nach internationalen Studien gelten erhöhte Radonkonzentrationen in der Luft als mögliche Ursache für Lungenkrebs. Es ist deshalb die Aufgabe der Bauindustrie dafür zu sorgen, dass Radon innerhalb von Gebäuden in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen keine Gefahr für die Gesundheit darstellt.

Seit dem 27. Juni 2017 gibt es das „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung". Dabei

geht es um die Gefährdung durch Radon in Gebäuden und in Baumaterialien. Für die Bauindustrie relevant sind vor allem in Artikel 1, Teil 2 des Gesetzes die §§ 121 bis 132 unter der Überschrift „Schutz vor Radon“ bezüglich Radonschutz in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen“. In Kapitel 3 befassen sich die §§ 133 bis 135 mit dem „Schutz vor Radioaktivität in Bauprodukten“. Und § 140 bezieht sich auf „Weitere Pflichten im Zusammenhang mit der Durchführung von Maßnahmen“ und zeigt, dass auch der Verkehrswegebau sich mit Radonschutz beschäftigen muss.

In Kapitel 4, unter der Überschrift: „Radioaktiv kontaminierte Gebiete“, werden wir als Bauunternehmen auf eine eventuelle Hinweis- und Beratungspflicht gegenüber den Bauherren hingewiesen.

2 Handlungsfelder im Radonschutz

Das alles stellt die Bauindustrie vor große Herausforderungen. Was ist also konkret zu tun? Wie sieht z.B. der vorgeschriebene Schutz bei jedem einzelnen Bauvorhaben aus? Welche Maßnahmen müssen kombiniert werden? Welche Messverfahren werden eingesetzt? Was sind die anerkannten Regeln der Technik auf nationaler Ebene?

Folgende vier Themenfelder sind von Bedeutung:

1. Wir müssen uns um rechtssichere Rahmenbedingungen für die Bauindustrie kümmern.
2. Wir müssen die nationale und europäische Normung vorantreiben und harmonisieren.
3. Unsere Studierenden, Auszubildenden und unsere Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter müssen im Sinne des baulichen Radonschutzes ausgebildet werden.
4. Und wir müssen den Radonschutz im ökologischen und wirtschaftlichen Bauen verankern.

All diese Punkte hängen eng zusammen, durchdringen sich gegenseitig und sind nicht getrennt voneinander zu betrachten. Eine interessante Aufgabe, wenn wir doch alle diese Punkte sofort und gleichzeitig in die Tat umsetzen sollten. Vor diesen Herausforderungen steht die Bauindustrie.

2.1 Rechtssichere Rahmenbedingungen für die Bauwirtschaft

Wirtschaftlich erfolgreiches Bauen ist nur innerhalb eines rechtssicheren Rahmens möglich. Ein Beispiel: Sollte auch nach der Fertigstellung eines Bauwerks die Einhaltung der Referenzwerte durch ein Jahr umfassende

Langzeitmessungen geschuldet werden, müssen wir uns als Bauindustrie mit der Ausgestaltung von Haftung und Gewährleistung auseinandersetzen. Für die Bauwirtschaft könnten diese Referenzwerte immense Bedeutung bezüglich Haftungs- und Gewährleistungsfragen erlangen. Wesentlich wird künftig sein, inwieweit die Überschreitung des Referenzwertes einen Baumangel darstellt und welche Bedeutung der Referenzwert im Rahmen von Gerichtsbarkeiten erhalten wird. Hier benötigt die Bauindustrie dringend rechtssichere Festlegungen.

Bauen muss rentabel bleiben. Wir brauchen Investoren. Und Investoren brauchen verlässliche Wirtschafts- und Rentabilitätsrechnungen. Auch die Bauherren brauchen neben Finanzierungsprogrammen und Fördermöglichkeiten durch steuerliche Anreize Rechtssicherheit.

2.2 Nationale und europäische Normung

Innovative bauliche Lösungen und der optimierte Einsatz von Lüftungstechnik bei der Errichtung von neuen oder der Sanierung von bestehenden Gebäuden bilden beim Radonschutz eine zwingende Einheit. Der Normung kommt hierbei eine wichtige Rolle zu. Normen müssen den Stand der Technik konkret, eindeutig und verständlich darstellen. Nur wer diese Regelungen anwendet, die Anforderungen kennt, kann bei Bauprojekten sicherstellen, dass die erbrachten Planungs- und Bauleistungen dem „Stand der Technik“ entsprechen.

Beim DIN im Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS), Fachbereich Raumlufttechnik, Arbeitsausschuss „Lüftung von Wohnungen gründete sich 2013 ein interdisziplinärer Arbeitsausschuss. Da Architekten, Fachplaner und Bauunternehmen die Verantwortung für Bauwerke als Summe aller Leistungsbereiche tragen und für das Ergebnis haften, sah der Bauindustrieverband die Zuordnung für den Radonschutz bei nur einem Fachgewerk zu Recht als sehr kritisch an. Durch den intensiven Einsatz und das Aufzeigen der Problemstellung wurde beim DIN 2015 im Normenausschuss Bau (NABau) der Gemeinschaftsausschuss NABau/NHRS gegründet. Das kann als großer Erfolg gesehen werden.

Nach einer Bestandsaufnahme veröffentlichte der Gemeinschaftsausschuss ein Positionspapier zum Radonschutz mit folgenden wesentlichen Ergebnissen:

Eine DIN-Norm als allgemein anerkannte Regel der Technik ist derzeit aufgrund mangelnder Quantifizierbarkeit der Vorhersagen nicht darstellbar. Es wird die Herausgabe einer DIN SPEC im Status einer Vornorm vorgesehen. Eine pauschale Empfehlung von sicheren Maßnahmen wird

als Widerspruch zum gesellschaftlichen Ziel der Baukostensenkung gesehen, dem sich auch die Bauindustrie verpflichtet fühlt. Dies würde auch gegen eine ressourcenschonende Verwendung von Rohstoffen verstoßen. Durch eine DIN SPEC können Maßnahmen schnell bekannt gemacht und umgesetzt werden. Das ermöglicht eine schnelle Verbesserung der Situation sowie der Erkenntnisse über den Erfolg von Maßnahmen. [3]

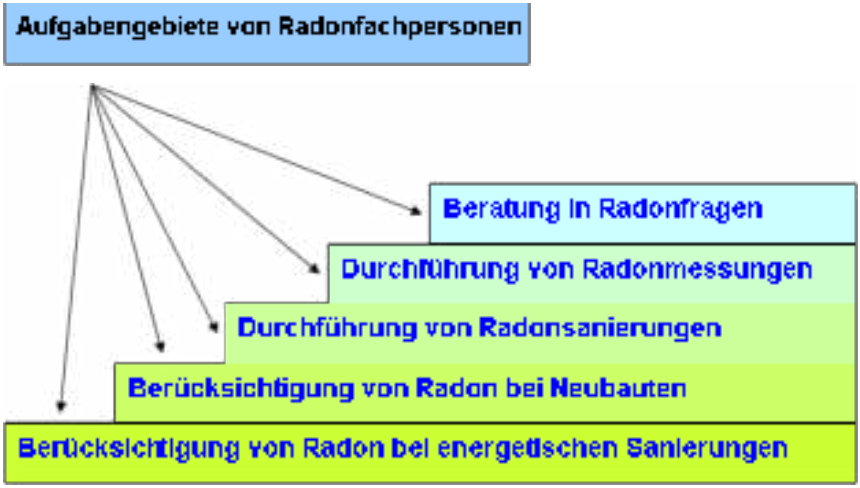
2.3 Berufliche und universitäre Aus- und Weiterbildung im Sinne des baulichen Radonschutzes

Damit künftig ausreichend qualifizierte Fachleute für den baulichen Radonschutz zur Verfügung stehen, müssen in den nächsten Jahren deutschlandweit zahlreiche Aus- und Weiterbildungsprogramme angeboten werden. In den Lehrplänen der Universitäten und Fachhochschulen wird das Thema des baulichen Radonschutzes bisher kaum berücksichtigt. Eine Ausnahme bildet die HTW Dresden, die seit einigen Jahren einen speziellen Kurs zum radonsicheren Bauen und Sanieren anbietet. Aber auch in der beruflichen Ausbildung müssen Kenntnisse zum radonsicheren Bauen vermittelt werden. Alle Beteiligten der Wertschöpfungskette Bau müssen Fachkenntnisse zum radonsicheren Bauen erwerben, vom Facharbeiter über den Polier zum Projektverantwortlichen und Planer bis hin zum Nutzer. Das betrifft natürlich auch die privaten und öffentlichen Bauherren.

Die Bundesländer Bayern und Sachsen bieten seit 2014 mit den Weiterbildungskursen zur „Radonfachperson“ ein Ausbildungsprogramm an, welches deutschlandweit in Anspruch genommen werden kann. In Zusammenarbeit mit dem Bayerischen Landesamt für Umwelt (LfU), dem Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL), dem Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen und Sanieren (KORA e. V.) und dem Bauindustrieverband-Ost e. V. (BIVO) wurden 108 Teilnehmer geschult und ausgebildet. Davon haben 88 Personen bisher die Prüfung bestanden und ein Zertifikat als Radonfachperson erhalten. Der 3. Lehrgang im Jahr 2018 läuft aktuell noch.

Jahr	2018-1	2018-2	2018-3	2017	2016	2015	2014
Teilnehmer	18	18	8	14	17	14	19

Der Kurs richtet sich als Zielgruppe an bereits im Beruf stehende Fachleute wie Architekten, Bauingenieure, Bausachverständige, Energieberater, Bautenschützer, Bautechniker, Baubiologen, Bauleiter, an das bauleitende Personal und die Bauhandwerksmeister aus Bauunternehmen und bauausführenden Handwerksbetrieben sowie an Lüftungstechniker. Angesprochen werden außerdem Hochschulen und Universitäten, Kommunen und öffentliche Verwaltungen.



2.4 Ökologisches und wirtschaftliches Bauen im Neubau und im Bestand

Das Bauen hat sich in den vergangenen Jahren stark verändert und dieser Veränderungsprozess ist noch längst nicht abgeschlossen. Energieeffizienz, Nachhaltigkeit und Lebenszyklus eines Gebäudes sind in den Fokus gerückt. Aber auch neue Arbeitsweisen wie das Building Information Modelling oder die partnerschaftliche Bauweise revolutionieren gerade unsere Arbeit. Das Bauen wird ökologischer und wirtschaftlicher. Der Radonschutz ist in diese Entwicklung zu integrieren.

Radonschutz betrifft die Bautechnik und das Baumaterial.

Bautechnisch bedeutet Radonschutz, dass vor jeder Baumaßnahme die Radonmesswerte des Bauplatzes ermittelt werden müssen. Hier muss zuerst der Planer tätig werden und der Bauherr muss informiert werden.

Bei Neubauten ist grundsätzlich ein kostengünstigerer Radonschutz möglich, da bereits vor Baubeginn in der Planungsphase für den vorgesehenen Bauplatz geeignete Maßnahmen besprochen werden können, wodurch keine bzw. nur sehr geringe Zusatzkosten entstehen. Häufig ist eine einwandfrei dichte Bodenplatte oder eine luftdichte Abdichtung gegen das Erdreich bereits ein hervorragender Radonschutz. Durch eine fachgerechte Bauausführung vor Ort, die sorgfältig überwacht wird, wird sichergestellt, dass der Radonschutz wirkt.

Bestimmte energetische Bauweisen wie z.B. ein Passivhaus mit Luftwärmetauscher wirken sich positiv auf den Radonschutz aus. Eine hohe, energieeffiziente Luftwechselrate ist eine wirksame Maßnahme aus der modernen Gebäudetechnik. Allerdings kann der Einbau dichter Fenster und Türen und die energetische Isolierung von Außenwänden und Dächern die Radonkonzentration in Gebäuden stark erhöhen. Hier kommt es ganz besonders auf Fachkenntnisse zum Radonschutz an, sowohl bei den ausführenden Unternehmen wie auch bei den Nutzern. Das Lüften der energetisch isolierten Räume ist auch zum Schutz vor Radon unerlässlich.

Die Sanierung und der Umbau von Altbauten stellt dagegen bezüglich des Radonschutzes weiterhin die größten Probleme dar.

Das Ziel vieler Bauherren ist es, aus alter Bausubstanz moderne Gebäude zu schaffen. Umweltfreundliche Materialien und energiesparende Lösungen stehen dabei im Mittelpunkt. Zum Schutz vor Radon muss nun zusätzlich der Untergrund und das Gebäudefundament nach Öffnungen, Wassereintritt und Durchlässigkeit untersucht werden. Haustechnik, Schächte, Schornsteine, Risse in Mauern, verbleibende alte Baumaterialien müssen auch in Bezug auf die Radonproblematik bewertet werden, damit sich keine gesundheitlichen Schäden aus der alten Bausubstanz ergeben.

Vorderansicht (Bild: Grit Höfer)

Rückansicht (Bild: Grit Höfer)

Es gibt verschiedene erprobte und zuverlässige bauliche Maßnahmen, die einzeln oder in Kombination den Radonschutz ermöglichen, wie z.B. das Abdichten des Bodens, eine ausgeklügelte Lüftungstechnik, eine Radondrainage, einen Radonbrunnen, eine Hohlraumabsaugung, eine Druckhaltung oder das Verschließen von Rissen. Die wichtigste Maßnahme gegen Radonkonzentrierung im Altbau ist allerdings einfach: es muss ausreichend gelüftet werden. [4]

Die Radonkonzentration in Innenräumen setzt sich aus äußerer und innerer Exposition zusammen. Mit Radon belastete Baumaterialien erhöhen die Schadstoffkontamination der Luft zusätzlich. Wichtig ist also die Verwendung gesundheitlich unbedenklicher Baumaterialen und evtl. das Entfernen von Urgestein wie beispielsweise Granit.

In europäisch harmonisierten Normen fehlen noch Regelungen zu Radonexhalationen aus Bauprodukten. Die deutsche Bauproduktenverordnung steht hier im Widerspruch zur europäischen Denkweise. Nationale Zusatzregelungen stellen eine mögliche Lösung dar und sind eine Forderung der Bauindustrie an die Politik mit den unteren Bauaufsichtsbehörden. Die Bauindustrie steht derzeit vor der Aufgabe, einen Referenzwert einzuhalten, gleichzeitig aber keine verbindlichen Angaben für die Materialauswahl zu besitzen. Dies kann insbesondere bei niedrig angestrebten Innenraumkonzentrationen problematisch werden.

Der Referenzwert ist als Jahresmittelwert definiert. Eine verbindliche technische Aussage kann nur mit Langzeitmessungen getroffen werden. Diese Langzeitmessungen lassen jedoch nur eingeschränkt Rückschlüsse zu, da auch das Verhalten der Nutzer eine entscheidende Rolle spielt. Es bedarf weiterer Forschung und Entwicklung von Messverfahren, die nur geringe Mehrkosten nach sich ziehen und Planungs- und Bauabläufe nicht oder nur geringfügig stören. Bisher sind Messungen nur anlassbezogen vorgesehen, z.B. in Verdachtsfällen.

Die Überwachung und die Kontrolle, dass nur zugelassene und zertifizierte Bauprodukte eingebaut werden und die Dokumentation der tatsächlich eingebauten Bauprodukte obliegt dem Bauunternehmen. Es wird empfohlen, jeden Bauleiter und Polier zusätzlich dafür zu schulen.

Maßnahmen zum Radonschutz sind bekannt. Es ist jedoch weiterhin ein Problem, dass qualitative Erfahrungswerte mit quantitativen Vorhersagen nicht sicher in Einklang gebracht werden können. An dieser Herausforderung wollen wir als Bauindustrie gerne mit den Fachleuten arbeiten, um die Referenzwerte zuverlässig erfüllen zu können.

Die Bauindustrie setzt sich für Termin- und Kostensicherheit, für Qualität und eine vertrauensvolle Zusammenarbeit mit den Auftraggebern und der Verwaltung ein. Diese Arbeitsweise muss auch auf den Radonschutz mit seinen speziellen Randbedingungen ausgeweitet werden.

Dazu benötigen wir sehr gut ausgebildetes Fachpersonal, gesetzliche Rahmenbedingungen, eine nationale und europäische Einbettung mit umsetzbaren Normen und die Bereitschaft, weiter zu forschen und lebenslang dazuzulernen. Die Bauindustrie steht dafür bereit.

3 Zusammenfassung

Wir können voneinander lernen. Im Freistaat Sachsen z.B. liegen bereits sehr gute Kenntnisse und praktische Erfahrungen zum Radonschutz vor, bedingt durch die geologischen Verhältnisse und den über Jahrhunderte betriebenen Bergbau im Erzgebirge.

Es kommt darauf an, zusammenzuarbeiten. Ziel muss es sein, den Schutz der Bevölkerung bezüglich Gesundheit und Hygiene, aber auch Umweltverträglichkeit zu gewährleisten. Dafür müssen alle an einem Strang ziehen.

Die deutsche Bauindustrie wird sich diesen Herausforderungen gerne stellen. Wir werden die uns zur Verfügung stehenden Techniken und unser Fachwissen zum Schutz vor Radon einsetzen. Wir werden innovative Verfahren mitentwickeln, um kostenoptimiert und qualitätsgerecht zu bauen und zu sanieren. Und wir werden als Multiplikator für den Radonschutz landauf und landab werben.

4 Literaturverzeichnis

[1] Schwarzbuch Bauwirtschaft “Bürokratiebelastung in der Bauwirtschaft”, Bauindustrieverband Ost e. V.: www.bauindustrie-ost.de

[2] Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e. V.: www.bauindustrie.de

[3] DIN SPEC Positionspapier: https://www.din.de/de/mitwirken/normenausschuesse/nabau/radongeschuetztes-bauen-113286

[4] Radonschutzmaßnahmen, Planungshilfe für Neu- und Bestandsbauten, Reiter, Wilke, Uhlig; Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft: www.publikationen.sachsen.de

Einflüsse der Gebäudetypologie auf die Radonkonzentration in Gebäuden

Thomas Heinrich[1)], Mandy Alisch-Mark[1)], Stefan Gatermann[1)], Tobias Geib[1)]

[1)] Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft, Radebeul

Zusammenfassung

Dieser Artikel berichtet Ergebnisse aus verschiedenen Messprogrammen des Freistaates Sachsen zu Radonaktivitätskonzentrationen in Gebäuden und in Böden. An drei Beispieldatensätzen werden Zusammenhänge zwischen Gebäudealter, Gebäudegröße bzw. Gebäudenutzung und Bodeneigenschaften erläutert.

Influence of building-typology on the radon concentration in buildings

Summary

This article reports results from different measurement programs on the radon activity in buildings and soils within the Free State of Saxony. Using the example of three data sets some relationships between building age, building size resp. building usage and soil characteristics are discussed.

1 Datensatz „Messprogramm zur Erweiterung der Datengrundlage zur Radonsituation in Sachsen“

Von 2009 bis 2016 wurden von der Radonberatungsstelle 42 Häuser bezüglich ihrer Radonsituation umfassend untersucht. Bei den Häusern handelte es sich überwiegend um freistehende Einfamilienhäuser. Auf den Grundstücken wurden im Abstand von einem halben Jahr zwei Messungen der Bodenradonkonzentration an typischerweise vier Messpunkten durchgeführt. In den Häusern wurden im Mittel in sechs Zimmern mit Hilfe von Kernspurexposimetern der Jahresmittelwert und mit Hilfe von zeitauflösenden Messgeräten zweimal ein Kurzzeitmittelwert über zwei bis drei Wochen ermittelt. Von allen Häusern wurden darüber hinaus in einer standardisierten Form Daten zum baulichen Zustand erfasst.

Die Häuser befinden sich überwiegend im Erzgebirge und in der Landeshauptstadt Dresden. Eine ausführliche Auswertung der Daten wurde 2016 veröffentlicht [1]. In dem Datensatz sind alle Arten der Unterkellerung von Voll- bis Nichtunterkellerung enthalten. Hier soll speziell der Zusammenhang zwischen Gebäudealter, Bodenradonkonzentration und der Überschreitung des Referenzwertes in einem Aufenthaltsraum dargestellt werden. Die nachstehende Tabelle 1 gibt die Häufigkeit der Überschreitung des Referenzwertes in Abhängigkeit von Bodenradonkonzentration und Alter des Gebäudes wieder. Tendenziell sind die Überschreitungen in alten Gebäuden (vor Beginn des ersten Weltkriegs) und auf Grundstücken erhöhter Bodenradonkonzentration (ab 100 kBq/m³) am häufigsten.

Tab. 1: Relative Häufigkeit von Häusern mit einer Überschreitung des Referenzwertes und Gesamtanzahl der untersuchten Häuser in Abhängigkeit von Baujahr und Bodenradonaktivitätskonzentration.

	Bodenradonkonzentration			Gesamt
	unter 100 kBq/m³	ab 100 kBq/m³		
vor Beginn des ersten Weltkriegs	40% (4/10)	60% (3/5)		47% (7/15)
nach Beginn des ersten Weltkrieges und vor der Wiedervereinigung	0% (0/7)	25% (1/4)		9% (1/11)
nach der Wiedervereinigung	0% (0/4)	25% (3/12)		19% (3/16)
Gesamt	19% (4/21)	33% (7/21)		26% (11/42)

Bei dieser Auswertung ist jedoch zu beachten, dass wegen der nur kleinen Anzahl von Gebäuden eine Verallgemeinerung (insbesondere der Quantitäten) nur bedingt möglich ist.

2 Datensatz „Radonprognose für den Freistaat Sachsen - Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Referenzwerten für die Radonkonzentration“

Im Jahr 2011 wurde für den Freistaat Sachsen eine Prognose zur Radonbetroffenheit von Gebäuden erstellt [2]. Diese Prognose baut einerseits auf der zuvor erstellten Bodenradonkarte für den Freistaat Sachsen und andererseits auf 3.506 Raumluftmessungen in Keller- oder Erdgeschossräumen in Sachsen auf. Da die gemessene Radonkonzentration u.a. von den Hauseigenschaften und dem Stockwerk des untersuchten Raumes abhängt, wird vom Bundesamt für Strahlenschutz als Referenzsituation für die Prognose von Überschreitungswahrscheinlichkeiten des Referenzwertes ein Aufenthaltsraum im Erdgeschoss eines unterkellerten Massivhauses betrachtet [3]. Um den sächsischen Datenbestand mit dem Vorgehen des Bundes vergleichbar zu machen, wurden aus dem Bestand von 3.506 Messungen nur Werte von Räumen im Erdgeschoss von vollunterkellerten Ein- oder Mehrfamilienhäusern selektiert. Da von besonderem Interesse neben der Geologie des Bauuntergrundes auch das Alter des Hauses ist, wurden von diesem Datenbestand wiederum nur die Datensätze mit bekanntem Hausalter verwendet. Damit verbleiben noch 513 Messwerte in der Auswertung.

Im Folgenden soll zunächst eine Auswertung bezüglich der Geologie des Untergrundes erfolgen. Die Bodenradondaten der Bodenradonkarte sind insgesamt 30 geologischen Einheiten zugeordnet. Daten einer geologischen Einheit können statistisch durch die Quantilsränge der Bodenradonkonzentrationen 40 kBq/m³ und 100 kBq/m³ (QR40 und QR100) charakterisiert werden. Da zu einigen der geologischen Einheiten nur wenige Messwerte vorliegen, wurden die Quantilsränge nur für 20 geologische Einheiten bestimmt. Von 981 vorhandenen Messwerten der Bodenradonkonzentration wurden 928 verwendet. Die mit diesen geologischen Einheiten bzw. Messwerten verbundenen Flächen repräsentieren ca. 93% der Landesfläche.

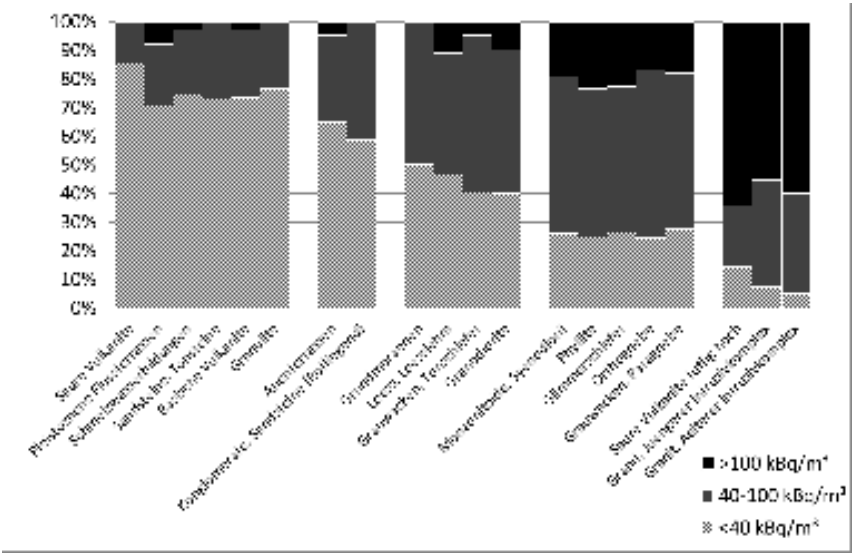


Abb. 1: Quantilsränge der Bodenradonkonzentration

Abbildung 1 zeigt eine Visualisierung der Quantilsränge in Abhängigkeit von der geologischen Einheit. Zwölf der geologischen Einheiten lassen sich bezüglich der Bodenradonkonzentration insoweit als „unauffällig“ zusammenfassen, dass der QR100 größer ungefähr 90% ist und der QR40 zwischen 40% und 100% rangiert. Weitere fünf geologische Einheiten („auffällig“) sind durch einen QR100 von ca. 80% und einen QR40 von ca. 25% charakterisiert. Bei den als „erhöht“ charakterisierten, verbleibenden Einheiten beträgt der QR100 ca. 40% und der QR40 weniger als 20%.

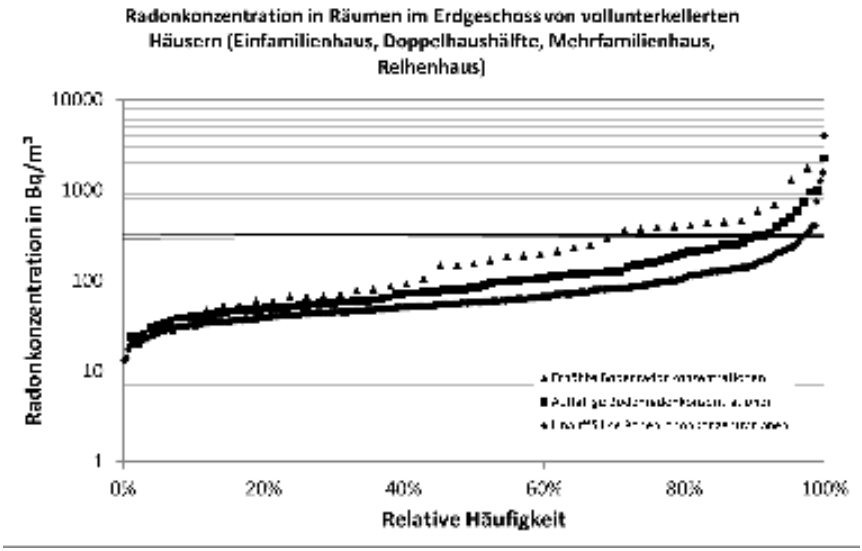


Abb. 2: Häufigkeitsverteilung von Messwerten der Radonkonzentration in Räumen im Erdgeschoss von vollunterkellerten Häusern

Von den 513 Messwerten aus Räumen in Erdgeschossen vollunterkellerter, kleinerer Wohnhäuser sind 368 Messwerte den unauffälligen Einheiten, 103 den auffälligen Einheiten und die verbleibenden 42 den erhöhten Einheiten zuzuordnen. Abbildung 2 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Raumluftkonzentration in Abhängigkeit von der geologischen Zuordnung. Die Überschreitungshäufigkeit für den Referenzwert von 300 Bq/m³ variiert in diesen Datensätzen von ca. 3% über ca. 11% bis knapp unter 30%. In den als „unauffällig“ zusammengefassten Gebieten ergibt sich mit ca. 3% etwa der bundesdeutsche Durchschnitt [3]. In den als „auffällig“ oder „erhöht“ zusammengefassten Gebieten ist die Überschreitungshäufigkeit für den Referenzwert von 300 Bq/m³ größer als 10%.

Tabelle 2 zeigt die gefundenen Überschreitungshäufigkeiten in Abhängigkeit vom Alter des Gebäudes und in Abhängigkeit von den erwarteten Bodenradonkonzentrationen. Generell wird in Altbauten aus den Jahren vor 1900 der Referenzwert häufiger überschritten als in jüngeren Häusern. Interessanterweise scheint der Referenzwert in der Altersklasse „zwischen 1949 und 1975“ tendenziell etwas häufiger überschritten zu werden.

Tab. 2: Relative Häufigkeit von Häusern mit einer Überschreitung des Referenzwertes in Abhängigkeit von Baujahr und geologischer Einheit.

	Geologische Einheiten mit erwarteten Bodenradonkonzentrationen				Gesamt
	erhöhten	auffälligen	unauffälligen		
vor 1900	**80% ***	**46%**	**14%**		**25%**
Zwischen 1900 und 1949	**25%**	**8%**	1%		**5%**
Zwischen 1949 und 1975	**50% ***	**10%**	3%		**8%**
nach 1975	**8%**	2%	1%		2%
Gesamt	**29%**	**11%**	3%		**7%**

* Datensatz beinhaltet weniger als zehn Häuser

3 Datensatz „Ausgewählte Schulgebäude in einer kreisfreien Stadt“

Seit dem Jahr 2015 haben sächsische Schulträger die Möglichkeit kostenlos ihre Schulgebäude bezüglich der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen untersuchen zu lassen. Dieses Messprogramm führt die Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft im Auftrag des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft und mit Zustimmung des Sächsischen Staatsministeriums für Kultus durch. Innerhalb dieses Programms fand eine Untersuchung von 65 Schulgebäuden einer kreisfreien Stadt statt, bei der alle Aufenthaltsräume im Keller- und Erdgeschoss untersucht wurden. Von den 65 untersuchten Gebäuden waren 53 vollunterkellert und befanden sich in Gebieten mit erwarteten unauffälligen Bodenradonkonzentrationen. Damit entsprechen diese Schulgebäude insoweit der Referenzsituation für eine Prognose der Überschreitungshäufigkeit nach dem Bericht des BfS [3]. Die Schulgebäude unterscheiden sich aber in der Größe und in der Nutzung von einem Wohngebäude, da die untersuchten Schulgebäude immer zum Aufenthalt genutzte Räume im Kellergeschoss hatten und nur außerhalb der Ferienzeit und praktisch ausschließlich tagsüber an Werktagen genutzt wurden.

Tabelle 3 zeigt die in diesem Datensatz gefundenen Überschreitungshäufigkeiten. Im Vergleich zu den in Tabelle 2 ausgewiesenen Überschreitungshäufigkeiten in geologischen Einheiten mit erwarteten, unauffälligen Bodenradonkonzentration ist die gefundene Häufigkeit im Durchschnitt höher. Auffallend ist auch die etwas erhöhte Anzahl der Überschreitungen des Referenzwertes in der Kategorie des Gebäudealters „zwischen 1949 und 1975“. Dies zeigt sich tendenziell ebenfalls in den Daten der Tabelle 2.

Tab. 3: Relative Häufigkeit von Schulgebäuden mit einer Überschreitung des Referenzwertes in Abhängigkeit vom Baujahr

	Gesamt
vor 1900	17%
Zwischen 1900 und 1949	0%
Zwischen 1949 und 1975	13%
nach 1975	6%
Gesamtergebnis	9%

Die größere Überschreitungshäufigkeit bei den Schulgebäuden ist möglicherweise durch die gegenüber Wohngebäuden charakteristisch abweichende Nutzung begründet. Ein Wohngebäude ist im Allgemeinen nur in Urlaubszeiten (weniger als sechs Wochen pro Jahr) und bei Berufstätigen tagsüber und werktags unbenutzt. Die Nutzungszeiten sind ca. 60% des Jahres. Schulgebäude sind hingegen praktisch ausschließlich tagsüber an Werktagen außerhalb der Ferienzeit genutzt. Die Nutzungszeiten sind nur ca. 20% des Jahres. In den Zeiten ohne Nutzung ist die Lüftung des Gebäudes in der Regel deutlich reduziert, was gewöhnlich zu einem Anstieg der Radonaktivitätskonzentration führt. Der Jahresmittelwert der Radonkonzentration in einem Schulgebäude wird also im Mittel höher sein als in einem vergleichbaren Wohngebäude.

Die tatsächliche Überschreitungshäufigkeit des Referenzwertes in den Aufenthaltsräumen der vorstehend beschriebenen Schulgebäude ist deutlich höher (ca. 40% statt ca. 10%). In den untersuchten, vollunterkellerten Schulgebäuden sind im Kellergeschoss immer auch Aufenthaltsräume vorhanden. Im Kellergeschoss ist im Allgemeinen die Radonkonzentration größer als im Erdgeschoss.

4 Zusammenfassende Aussagen

In allen drei dargestellten Datensätzen zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit der Überschreitungshäufigkeit des Referenzwertes von der Bodenradonkonzentration bzw. wenn nicht bekannt von der geologischen Einheit. In den eher unauffälligen Gebieten ergibt sich eine mit dem Bundesdurchschnitt vergleichbare Überschreitungshäufigkeit von ca. 3%.

Ebenfalls in allen drei Datensätzen zeigt sich auch eine Abhängigkeit der Überschreitungshäufigkeit des Referenzwertes vom Alter des Gebäudes. Altbauten weisen deutlich häufiger erhöhte Radonkonzentrationen auf als Neubauten.

Schulgebäude weisen eine gegenüber Wohngebäuden erhöhte Überschreitungshäufigkeit auf. Dies ist wahrscheinlich durch die geringere Nutzungszeit und damit verbunden längeren Phasen reduzierter Lüftung erklärbar.

5 Literaturverzeichnis

[1] M. Alisch-Mark, D. Keck, W. Preuße, A. Taube, H. Busch, T. Heinrich; „Erstbewertung zur Radonsituation von Häusern im Freistaat Sachsen mittels langzeitintegrierenden Messungen, Vergleich der Ergebnisse mit Kurzzeitmessungen und Erfassung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft der Grundstücke“ in STRAHLENSCHUTZ FÜR MENSCH UND UMWELT – 50 JAHRE KOMPETENZ IM FACHVERBAND Jahrestagung 2016; FS-2016-172-T; Herausgeber: Fachverband für Strahlenschutz e.V.; S. 231 ff. https://www.fs-ev.org/fileadmin/user_upload/Jahrestagungen-Symposien/FS_2016-Tagungsband_k.pdf

[2] Abschlussbericht zum Fremdleistungsvorhaben „Prognose zur Radonbetroffenheit von Gebäuden in Sachsen – Kartierung der Überschreitungswahrscheinlichkeiten von Referenzwerten“ (Auftraggeber: Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft; Auftragnehmer: Kemski & Partner) vom 28. März 2011; unveröffentlicht

[3] Peter Bossew, Bernd Hoffmann: Die Prognose des geogenen Radonpotentials in Deutschland und die Ableitung eines Schwellenwertes zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten; BfS-SW-24/18 (Stichtag der Prognoserechnungen: August 2017) urn:nbn:de:0221-2017122814454; Salzgitter, Januar 2018

Langjährige Radonmessungen in Gebäuden durch die Wismut GmbH

Peter Schmidt[1)], Jens Regner[1)], Christian Schramm[1)]

[1)] Wismut GmbH, Chemnitz

Zusammenfassung

Die Wismut GmbH verfügt über langjährige Erfahrungen zu Radonmessung in Häusern. Die Erfahrungen zeigen, dass die Vorgehensweise als auch der Umfang der erforderlichen Messungen objektspezifisch sind. Des Weiteren werden die Vorgehensweise und der Umfang von der Zielstellung der jeweiligen Messungen bestimmt. So wurde in Vorbereitung der Umsetzung des neuen Strahlenschutzgesetzes durch die Wismut ein zweistufiges Messprogramm, mit dem Ziel des Nachweises der Einhaltung des 300 Bq/m³-Referenzwertes für Aufenthaltsräume, angewandt. In Häusern, in denen der Einfluss bergbaulicher Hinterlassenschaften abzuklären war, kamen komplexere Messverfahren zum Einsatz, die neben der eigentlichen Radonmessung auch unterstützende Verfahren wie Differenzdruckmessungen und Tracergas-Anwendungen beinhalteten. Nur auf der Grundlage einer derart komplexen Vorgehensweise lassen sich Vorschläge zur Verbesserung der Radonsituation in komplizierter Ursachenlage ableiten.

Long-term indoor radon measurements by Wismut

Summary

Wismut GmbH has many years of experience in indoor radon measurement. The experience shows that the approach for as well as the scope of the required measurements are object-specific. Furthermore, the approach as well as the scope are triggered by the measurements goal. Thus, in preparation for the implementation of the new Radiation Protection Act, by Wismut a two-stage measuring program was applied with the aim of demonstrating compliance with the 300 Bq/m³ reference value for indoor radon. In houses where the influence of mining legacies had to be clarified, more complex measuring methods were used which, in addition to the actual radon measurement, also included supporting methods such as differential pressure measurements and tracer gas applications. Only

on the basis of such a complex approach, proposals for improving the radon situation in a complicated cause situation can be derived.

1 Einleitung

Die Wismut GmbH saniert seit 1990 die Hinterlassenschaften des Uranbergbaus in Sachsen und Thüringen. Darüber hinaus ist sie Projektträger des Freistaates Sachsen für die Sanierung bergbaulicher Altstandorte. Im Rahmen dieser Aufgaben sind Messungen in Häusern eher die Ausnahme. Sie werden jedoch zum Thema, wenn ein Einfluss der Bergbauobjekte, insbesondere tagesnaher Grubenbaue und Halden in unmittelbarer Nähe von Wohnhäusern, auf die Radonsituation in Häusern nicht ausgeschlossen werden kann. Darüber hinaus hat die Wismut GmbH dem neuen Strahlenschutzgesetz folgend bereits jetzt begonnen, an ausgewählten Arbeitsplätzen in Innenräumen Radonmessungen durchzuführen. Im Folgenden werde ausgewählte Ergebnisse der Radonmessungen der Wismut in Häusern vorgestellt.

2 Messungen zum Einfluss tagesnaher Grubenhohlräume in Schneeberg und Bad Schlema

2.1 Aufgabenstellung und Randbedingungen

In Schneeberg und Bad Schlema sind seit Anfang der 1990er Jahre hohe Radonkonzentrationen in Gebäuden bekannt, die sowohl hinsichtlich ihrer Höhe als auch hinsichtlich ihrer Verbreitungsdichte als weltweit einzigartig gelten. Zu einem erheblichen Teil sind die hohen Konzentrationen auf einen Einfluss oberflächennaher Grubenhohlräume zurückzuführen. Der Nachweis dieses Sachverhaltes gelang der Wismut GmbH durch komplexe Tracergasuntersuchungen. Seit Mitte der 1990er Jahre wird geprüft, inwieweit wettertechnische Maßnahmen geeignet sind, den grubenbedingten Beitrag zur Radonkonzentration in Häusern zu minimieren. In diesem Zusammenhang wurden in großem Umfang Messungen in Gebäuden begonnen, die z. T. bis heute andauern.

2.2 Vorgehensweise und Ergebnisse

Die in wechselnder Auftraggeberschaft (LfULG, BfS, SOBA, BfUL, PT-Alt) von Wismut und GEOPRAX durchgeführten Radonmessungen fanden bzw. finden bevorzugt in Kellerräumen statt, die die Schnittstelle zwischen dem bergbaulich beeinflussten Untergrund und den Gebäuden darstellen. Hierbei kommen vorwiegend Festkörperkernspurdetektoren

mit einmonatiger Expositionszeit zum Einsatz, so dass die Ergebnisse Monatsmittelwerte der Radonkonzentration darstellen. Am Standort Schneeberg wurden insgesamt 157 Gebäude und am Standort Bad Schlema 13 Gebäude langjährig messtechnisch überwacht. Die Daten bilden eine gute Grundlage für

- die Einschätzung der Höhe und Verteilung der Radonkonzentrationen in den Kellern grubenbeeinflusster Gebäude,
- die Einschätzung saisonaler Schwankungen der Konzentrationen,
- die Bewertung des Effektes langfristiger Maßnahmen in der Grube und in den Gebäuden.

Aussagen über die Strahlenexposition der Hausbewohner, über tageszeitliche Schwankungen der Radonkonzentration, über Effekte des spontanen Nutzungsverhaltens der Hausbewohner sowie über die genauen Ursachen und die Eintrittspfade des grubenbürtigen Radons lassen sich mit Hilfe dieser Daten nicht oder nur bedingt ableiten. Daher wurden in 14 Gebäuden am Standort Schneeberg sowie in 15 Gebäuden am Standort Bad Schlema z. T. über mehrere Jahre zeitaufgelöste Radonkonzentrationsmessungen mittels aktiver Radonmonitore vorgenommen.

Am Standort Schneeberg wird in Auswertung von Tracergasuntersuchungen angenommen, dass etwa 50 % der Gebäude einem mehr oder weniger starken Grubeneinfluss unterliegen. Der Mittelwert der Radonkonzentration über alle gemessenen Keller liegt bei ca. 5.100 Bq/m³. Abb. 1 zeigt die Häufigkeitsverteilung nach Radonkonzentrationsklassen für langjährig gemessene Gebäude am Standort Schneeberg.

Es wird deutlich, dass in lediglich 28 % der untersuchten Gebäude die Radonkonzentration im Keller unter 1.000 Bq/m³ liegt. In 13 % der Gebäude wurden Werte > 10.000 Bq/m³ gemessen. In 59 % der untersuchten Gebäude lagen die Radonkonzentrationen im Keller zwischen 1.000 Bq/m³ und 10.000 Bq/m³. Es muss angenommen werden, dass in einem erheblichen Teil der Gebäude mit hohen Radonkonzentrationen im Keller auch erhöhte Radonkonzentrationen in Wohnräumen vorliegen. Dies stützen auch die Ergebnisse des Screening-Messungen des BfS in Schneeberg aus den Jahren 1991-1995, nach denen in 52 % der untersuchten Wohnungen Radonkonzentrationen > 250 Bq/m³ vorlagen.

Das nachfolgende Beispiel eines Gebäudes im Scheitelbereich des Stadtberges von Schneeberg illustriert die langjährig nachgewiesenen saisonalen Schwankungen der Radonkonzentration infolge des Einflusses oberflächennaher Grubenhohlräume unter natürlichen Auftriebsbedingungen (Abb. 2). Das plötzliche Eintreten niedriger Konzentrationen

ist auf den Beginn einer lokalen Unterdruckbewetterung in den Grubenhohlräumen zurückzuführen.

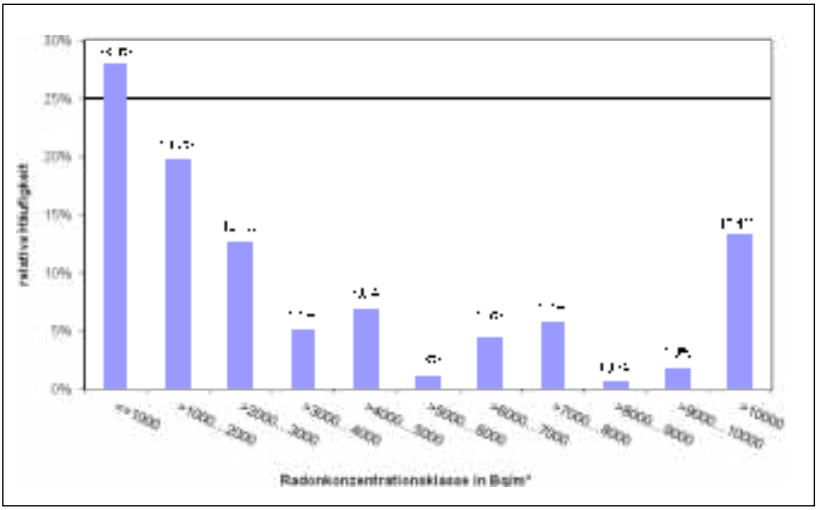


Abb. 1: Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration für langjährig gemessene Häuser in Schneeberg unter natürlichen Auftriebsbedingungen

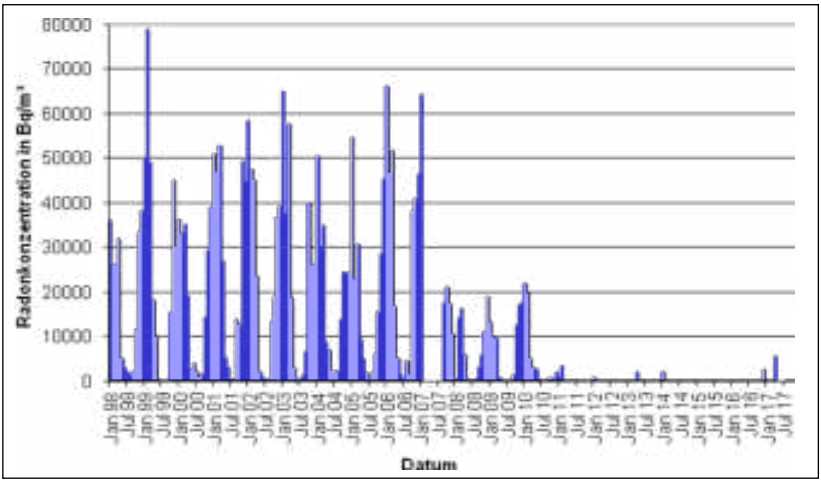


Abb. 2: Radonkonzentration im Keller eines Gebäudes auf dem Kirchplatz in Schneeberg

In einem benachbarten Gebäude wurden im Rahmen wettertechnischer Untersuchungen zeitaufgelöste Radonkonzentrationsmessungen mittels Radonmonitoren durchgeführt. Die Ergebnisse einer relativ kurzen Messperiode zeigt die folgende Abb. 3.

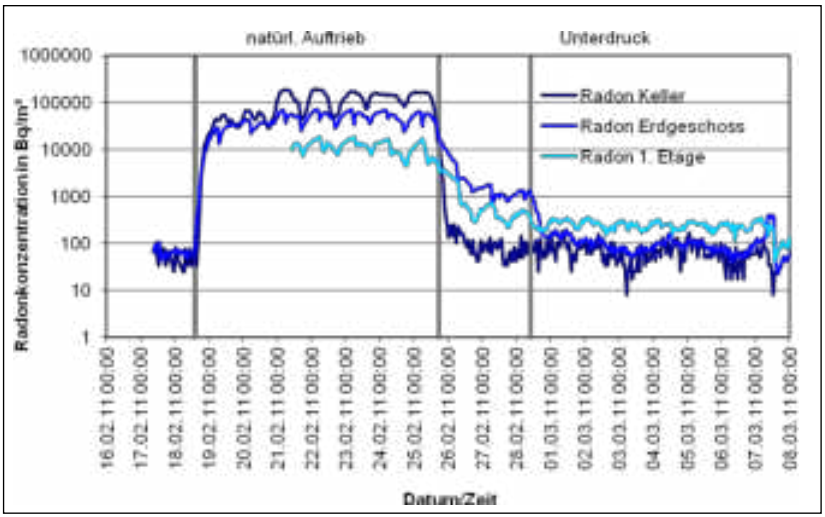


Abb. 3: Radonkonzentration im Keller eines Gebäudes auf dem Kirchplatz in Schneeberg; natürlicher Auftrieb vs. Unterdruckbewetterung

Zum einen wird ersichtlich, welch positiven Einfluss die Unterdruckbewetterung auf die Radonsituation im Gebäude hat, zum anderen verdeutlicht die Abbildung die durch Grubeneinfluss erreichbare Höhe der Radonkonzentration bis hin ins Obergeschoss des Gebäudes.

3 Messungen zur Entwicklung objektbezogener Sanierungslösungen

3.1 Aufgabenstellung und Randbedingungen

Ganz anders gestalten sich die Messaufgaben, wenn an einem konkreten Gebäude eine objektbezogene Radonsanierungsmaßnahme konzipiert werden soll. Langjährige Messreihen der Radonkonzentration im Keller mit einer bspw. monatlichen Zeitauflösung sind in jedem Falle von Vorteil, aber weder für die Klärung der Ursachen der erhöhten Radonkonzentration noch für die Ableitung einer geeigneten Sanierungsmaßnahme ausreichend. Es bedarf hierzu gesonderter Messungen.

3.2 Vorgehensweise und Ergebnisse

3.2.1 Messungen zur Ursachenaufklärung

Zur Aufklärung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Gebäuden sind zeitaufgelöste Radonmessungen mittels Radonmonitor möglichst in der Nähe des vermuteten Eintrittspunktes erforderlich. Aus der Dynamik der Radonkonzentration können in Kombination mit Informationen zum Untergrund/Baugrund und zur baulichen Situation Rückschlüsse auf die Transportmechanismen (Diffusion, Konvektion) sowie erste Hinweise auf mögliche Quellen (Grubenbaue, Halden/andere anthropogene Aufschüttungen im Untergrund, Kanalisation, Baumaterial) gewonnen werden. Messungen über den Konzentrationsverlauf eines Jahres sind anzustreben.

Bei komplizierten Verursachungssituationen sind zu einer eindeutigen Aufklärung der Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen Tracergasuntersuchungen hilfreich. Hierbei werden an den mutmaßlichen Herkunftsorten Tracergase aufgegeben und deren Ankunft im Gebäude messtechnisch erfasst. Für die Wahl des richtigen Zeitpunktes von Traceruntersuchungen ist es erforderlich, die Wetterverhältnisse, unter denen Radon ins Gebäude eintritt, zu kennen. Abb. 4 zeigt die Ankunft von in der Grube impulsförmig aufgegebenem Tracergas im Keller eines Gebäudes.

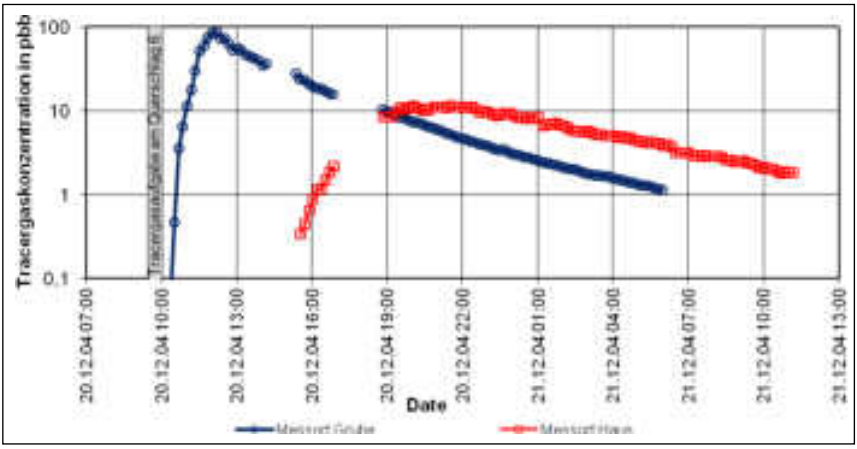


Abb. 4: Nachweis der konvektiven Gastransportprozesse von der Grube in ein Gebäude auf dem Stadtberg von Schneeberg mittels Tracergas

Zur Klärung der Wirkungsmechanismen des Radoneintritts sind ggf. auch Differenzdruckmessungen hilfreich.

3.2.2 Messungen zur Lokalisierung der Radoneintrittspfade

Zur Lokalisierung der Radoneintrittspfade sind gleichzeitige Messungen in verschiedenen Räumen bei geschlossenen Türen erforderlich. Am Konzentrationsanstieg nach dem Lüften und an der Höhe der Konzentration von Radon und ggf. von Tracergasen sind die Räume mit dominanten Radoneintritten erkennbar. Quantitative Aussagen in Vorbereitung einer Sanierungslösung sind möglich, indem der Radonzufluss bestimmt wird.

3.2.3 Messungen zur Klärung des Radontransportes im Gebäude

Die Aufklärung des Radontransportes im Gebäude ist kompliziert und erfordert ein strömungstechnisches Gebäudemodell, welches mit den Ergebnissen von zeitaufgelösten Radonmessungen, Luftwechselmessungen und ggf. Tracergasmessungen gespeist wird. Für die Konzeption von Radonsanierungsmaßnahmen ist es daher sinnvoll, den Fokus auf die Lokalisierung der Radoneintrittspfade und die Unterbindung des Radoneintritts in das Gebäude zu legen.

3.2.4 Messungen zur Entwicklung lüftungstechnischer Lösungen

Werden aufgrund der Beeinflussungssituation und der baulichen Verhältnisse aktive lüftungstechnische Lösungen konzipiert, so sind diese strömungstechnisch zu dimensionieren. Bei Drainagelösungen sind zur Auswahl eines geeigneten Lüfters (Leistung, Druckerzeugung, Volumenstrom) sowie zur Festlegung der Dimension verwendeter Rohrleitungen folgende Fragen zu klären:

- Wie groß muss der Unterdruck gewählt werden, um die Radonzutritte stabil zu unterbinden bzw. zu reduzieren,
- Welche Luftmenge muss gefördert werden, um den Unterdruck dauerhaft sicherzustellen?
- Mit welchem Radonzufluss und demzufolge mit welcher Radonableitung ist bei verschiedenen Unterdrücken zu rechnen?

Die hierzu notwendigen Messungen erfordern experimentelle lüftungstechnische Untersuchungen nach entsprechenden Vorbereitungsarbeiten, bspw. abgewandelte Blower-Door-Versuche. Hier sind zeitaufgelöste Radonmessungen, Differenzdruckmessungen und Volumenstrommessungen erforderlich. Die Abb. 5 zeigt ein Beispiel für eine solche Versuchsanordnung.

Abb. 5: Anordnung für einen Lüfterversuch in einem Gebäude in Bad Schlema

3.2.5 Messungen zum Nachweis der Funktionsfähigkeit

Im Rahmen der Fertigstellung bzw. der Inbetriebnahme von objektbezogenen Sanierungslösungen sind Messungen zum Nachweis der Funktionsfähigkeit erforderlich. Auch hier sind Radonmessungen in relevanten Räumen auszuführen. Bei Abdichtungsmaßnahmen werden integrierende Messungen über den Zeitraum eines Jahres durchgeführt. Bei aktiven lüftungstechnischen Maßnahmen sind zeitaufgelöste Messungen bei Wetterverhältnissen von Vorteil. Es besteht hier die Möglichkeit, durch gezieltes An- und Abschalten des Lüfters die unmittelbare Reaktion der Radonkonzentration in den Räumen zu testen. Diese Messungen sind darüber hinaus auch für die Feinjustierung des Belüftungs- bzw. Drainagesystems notwendig.

4 Messungen an Arbeitsplätzen in Innenräumen der Wismut GmbH

4.1 Aufgabenstellung und Randbedingungen

In Vorbereitung der Umsetzung des neuen Strahlenschutzgesetzes, das den Referenzwert von 300 Bq/m³ in Innenräumen vorgibt, wurde ein zweistufiges Messprogramm entwickelt und als Pilotprojekt im Verwaltungsgebäude des Schachtes 371 im ersten Halbjahr 2018 umgesetzt. Das zweistufige Messprogramm bestand aus Screening- und Langzeitmessungen der Radonkonzentration in Innenräumen.

4.2 Vorgehensweise und Ergebnisse

Die Screeningmessungen erfolgten unter winterlichen Bedingungen, die für die Radonsituation in Gebäuden in der Regel als konservativ angesehen werden können. Anhand der Ergebnisse wurde dann eine Auswahl von Räumen für Langzeitmessungen der Radonkonzentration vorgenommen. Das zweistufige Verfahren hat den Vorteil, dass die aufwendigeren Langzeitmessungen auf die Räume beschränkt werden können, in denen Überschreitungen des Referenzwertes von 300 Bq/m³ als wahrscheinlich angesehen werden. Die winterliche Screeningmessung wurde zusätzlich durch eine Screeningmessung im Sommer in allen Räumen ergänzt. Danach erfolgte ein Vergleich mit Ergebnissen der Langzeitmessungen.

Das Verwaltungsgebäude Schacht 371 besteht aus einem erdberührenden Sockelgeschoss, dem teilweise erdberührenden Erdgeschoss sowie zwei Obergeschossen. Es wurden alle 195 Räume des Gebäudes untersucht, d.h. auch die Räume, in denen ein ständiger Aufenthalt von Personen nicht stattfindet. Für die Einschätzung der Gesamtsituation in einem Gebäude ist die Information über die Radonsituation in solchen Räumen nützlich, wenn Migrationswege des Radons zu identifizieren sind.

Abb. 6 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Radonkonzentration als Ergebnis der Screeningmessung unter winterlichen Bedingungen und zum Vergleich der Wiederholung unter sommerlichen Bedingungen.

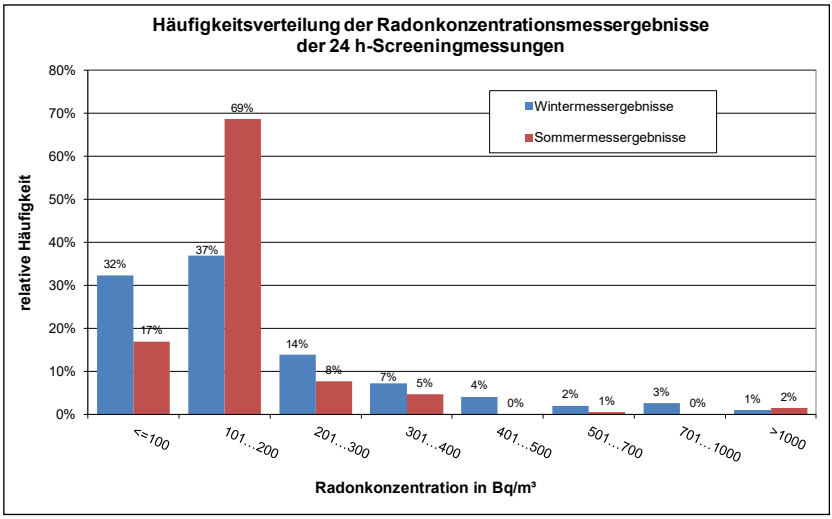


Abb. 6: Relative Häufigkeit der Radonkonzentration in den Räumen des Verwaltungsgebäudes Schacht 371 unter winterlichen und sommerlichen Bedingungen als Ergebnis von 24 h-Screeningmessungen

Anhand der Ergebnisse der Screeningmessung ist erkennbar, dass unter winterlichen Bedingungen 33 Räume (etwa 17 %) Radonkonzentrationen oberhalb 300 Bq/m³ aufwiesen. Arbeitsplätze mit einem ständigen Aufenthalt von Arbeitnehmern während der Arbeitszeit sind in 6 Räumen (etwa 3 %) vorhanden. In diesen Räumen, sowie auch in Büroräumen mit Radonkonzentrationen > 200 Bq/m³ wurden Langzeitmessungen der Radonkonzentration vorgenommen. Darüber hinaus wurden auch in einem Teil der Räume ohne ständige Arbeitsplätze Langzeitmessungen durchgeführt, deren Ergebnisse dem Systemverständnis der Radonsituation im Gebäude dienen sollten.

Für die Langzeitmessungen wurden aktive Radonmonitore des Typs Home Scout der Fa. SARAD eingesetzt. Die relativ geringe Nachweisempfindlichkeit dieser Geräte ist an Langzeitmessungen angepasst. Beim Auftreten von höheren Radonkonzentrationen sind diese Geräte aber auch bedingt geeignet, tageszeitliche Änderungen der Radonkonzentration abzubilden. Die Radonmonitore wurden vom 23.02.2018 bis Ende Juli 2018 betrieben, wobei die Hälfte der 30 Geräte außerhalb relevanter Büroräume nur bis zum 09.04.2018 im Einsatz war.

Abb. 7 zeigt als Beispiel das Ergebnis der 5-monatigen Langzeitmessung in einem Büroraum im Erdgeschoss des Gebäudes Schacht 371.

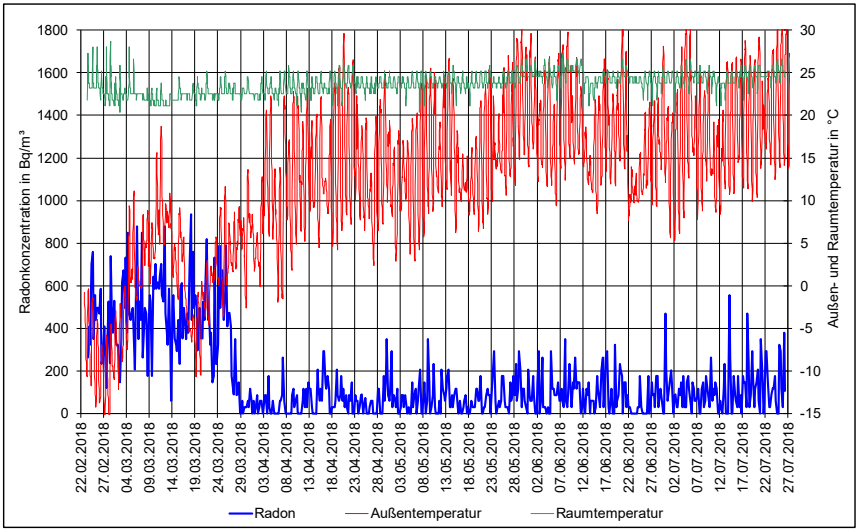


Abb. 7: Ergebnisse der kontinuierlichen Messungen der Radonkonzentration mit einem Radonmonitor vom Typ Scout Home und die zugehörigen Außenluft- und Innenlufttemperaturen in einem Raum mit Zwangsbelüftung im Erdgeschoss des Verwaltungsgebäudes Schacht 371

Der betreffende Raum liegt in einem Gebäudeteil, in dem eine Zwangsbelüftung installiert ist. Bereits während der Untersuchungsperiode konnte durch eine geringfügige Änderung der Druckverhältnisse der Belüftungsanlage am 28.3.2018 eine Reduktion der mittleren Radonkonzentration von etwa 450 Bq/m³ auf <100 Bq/m³ erreicht werden.

Die folgende Abb. 8 zeigt den Vergleich der Radonkonzentrationen, die anhand der 24 h-Screeningmessungen im Winter ermittelt wurden, mit den Ergebnissen der kontinuierlich messenden Radonmonitore für einen 5-wöchigen Zeitraum unter winterlichen meteorologischen Bedingungen. Es handelt sich dabei um eine Auswahl der Räume, die nicht zwangsbelüftet wurden.

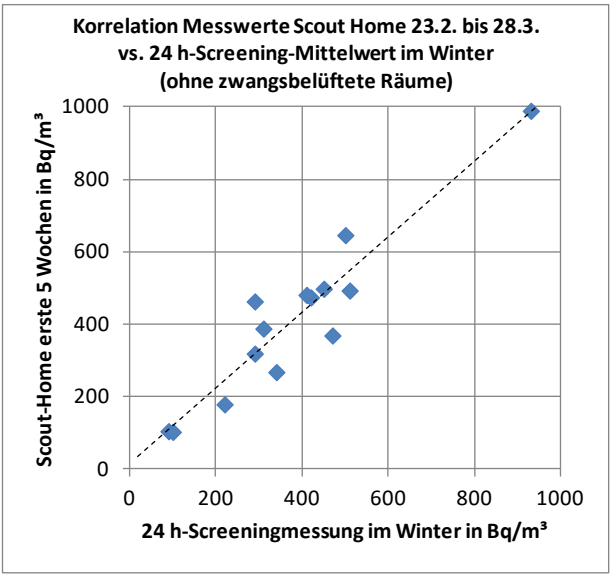


Abb. 8: Vergleich der Messergebnisse der 24 h-Screeningmessung im Winter mit den Messergebnissen der kontinuierlichen Aufzeichnung des jeweils zugehörigen Radonmonitors im Zeitraum 23.02.-28.03.2018

Die Abbildung zeigt eine überraschend gute Übereinstimmung der Ergebnisse der 24-stündigen Screeningmessungen der Radonkonzentration im Winter (mittlere Lufttemperaturen: -2 °C) mit den Ergebnissen der kontinuierlichen Langzeitmessung über die ersten 5 Wochen unter winterlichen Bedingungen (mittlere Lufttemperatur: 0 °C).

Vergleichsweise hohe Radonkonzentrationen traten überwiegend in Räumen des Sockel- und Erdgeschosses auf.

Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass eine Messung über einen vollständigen Jahreszeitraum nicht in jedem Fall erforderlich ist. Bei entsprechender Wahl des Start- und Endzeitpunktes der Messung können auch alle typischen meteorologischen Bedingungen innerhalb eines Halbjahres erfasst werden. Selbst mit 24-stündigen Screeningmessungen wurden unter konservativen Bedingungen Ergebnisse erzielt, die nur relativ gering von den Ergebnissen der Langzeitmessungen abwichen. Die zweistufige Kombination von Screening- und Langzeitmessungen hat sich im vorgenommenen Pilotversuch als effizient erwiesen und wird von der Wismut GmbH weiter verfolgt, um die Radonsituation an Arbeitsplätzen fachgerecht einschätzen zu können.

5 Gesammelte Erfahrungen und Schlussfolgerungen

Das Resümee, welches die Wismut GmbH aus ihren mittlerweile langjährigen Messungen der Radonkonzentration in Häusern ableitet, kann vereinfacht lauten: Haus ist nicht gleich Haus (!), und die Suche nach den Ursachen erhöhter Radonkonzentrationen in Innenräumen kann je nach Ursachenlage einfach oder auch aufwendig werden!

Sicherlich ist es notwendig, in Richtlinien zur Bestimmung der Radonkonzentration in Innenräumen Mindeststandards festzulegen, wie etwa die Forderung nach Langzeitmessungen unter Berücksichtigung repräsentativer saisonaler Witterungsbedingungen. Die Erfahrungen der Wismut GmbH belegen aber auch, dass in einer komplizierten Ursachenlage für erhöhte Radonkonzentrationen standardisierte Messverfahren oftmals nicht ausreichen, um die Quellen der Radonfreisetzung zu identifizieren, den Radontransport ins Haus zu verfolgen und um Vorschläge zur Verbesserung der Radonsituation abzuleiten. Der Sachverstand der Ausführenden der Messungen ist deshalb gefragt, wenn es darum geht, die Art und den Umfang der erforderlichen Messungen und Untersuchungen festzulegen.

Seltene Metall- und Spat-Lagerstätten in der Lagerstättenprovinz Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland – Geologie, (Alt-)Bergbau, Exploration und Radon-Problematik

Thomas Seifert[1)]

[1)] Institut für Mineralogie, TU Bergakademie Freiberg, Freiberg

Zusammenfassung

Die Region Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland ist eine der wichtigsten Seltenen Metall-Lagerstättenprovinzen in Europa. Die spät-Variszischen Sn-, W-, Mo-, Li-, In-, Bi- und Ag-Mineralisationen sind vermutlich räumlich und zeitlich mit "small intrusion" Li-F-Graniten sowie Rhyolith- und Lamprophyr-Intrusionen assoziiert. Einige dieser Magmatite weisen relativ hohe bis sehr hohe U- oder Th-Gehalte auf. In der Lagerstättenprovinz Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland zeigen verschiedene Mineralabfolgen der Sn(-W-As-Mo-Bi-Li-F)-Assoziation ein hohes Potential für Sn(-W-Mo-Bi-Li-In)-, Li-Sn- und W-Polymetall-Greisen-, Trümerzug- und Skarn-Erzkörper (z.B. Zobes, Gottesberg, Pöhla, Ehrenfriedersdorf, Pobershau-Marienberg, Seiffen, Sadisdorf, Altenberg, Zinnwald-Cínovec, Krupka, Falkenhainer Greisenzone). Neue mineralogische und geochemische Daten von jüngeren spät-Variszischen Sn-In-Cu-Zn-Ag-Polymetall-Sulfid-Gängen und gangförmigen Metasomatiten belegen ein hohes Potential für Indium-Vererzungen in verschiedenen Altbergbaudistrikten (Freiberg, Marienberg, Annaberg, Hora Svaté Kateřiny). Die o.g. Sn-W-Li- und Polymetallsulfid-Mineralisationen werden in der gesamten Lagerstättenprovinz von hydrothermalen Uranerz-Gängen durchschlagen. Bedeutende Fluorit- und Baryt-Lagerstätten sind an post-Variszische Mineralisationen der Quarz-Adular-Fluorit-, Fluorit-Quarz- und Baryt-Fluorit-Assoziation gebunden (z.B. Schönbrunn, Brunndöbra), die ebenfalls bereichsweise von Uran-Mineralisationen überprägt wurden. Erzgänge mit hydrothermalen Mineralisationen der Bi-Co-Ni-As-U-Ag-Assoziation waren ab dem 15. Jh. Gegenstand eines bedeutenden Silber- und später Kobalt-Bergbaus (z.B. Schneeberg-Oberschlema, Johanngeorgenstadt, Jáchymov, Annaberg, Marienberg) und in der zweiten Hälfte des 20. Jh. auch Gegenstand eines umfangreichen Uran-Gangbergbaus (z.B. Johanngeorgenstadt, Jáchymov, Schneeberg-Oberschlema-Niederschlema).

Rare metal and fluorspar/barite deposits in the Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland region – Geology, old mining activities, exploration and radon problem

Summary

The Erzgebirges-Krušné hory-Vogtland region is one of the most important rare metal provinces in Europe. The late-Variscan Sn, W, Mo, Li, In, and Ag mineralization show spatial and temporal relationships to small intrusion Li-F granites and rhyolitic and lamprophyric dike intrusions. Some of these magmatic rocks show relatively high to very high U or Th contents. In the Erzgebirge-Vogtland different successions of the Sn(-W-As-Mo-Bi-Li-F) association show a high potential for Sn(-W-Mo-In) greisen-, stringer zone- and skarn-type ore bodies (e.g., Gottesberg, Pöhla, Ehrenfriedersdorf, Pobershau-Marienberg, Seiffen, Altenberg, Zinnwald, Falkenhainer Greisenzone, Sadisdorf). New mineralogical and geochemical data for relatively younger late-Variscan Ag-Sn-In-base metal vein-type and vein-like metasomatic zone-type mineralization confirm older data and indicate a high potential for indium in different old mining districts (Freiberg, Marienberg, Annaberg). These Sn-W-Li and polymetallic sulfide mineralization are crosscutting by hydrothermal U veins across the whole Erzgebirge-Vogtland. Important fluorite and barite deposits are associated with post-Variscan mineralization of the quartz-adular-fluorite, fluorite-quartz- and barite-fluorite association (e.g., Schönbrunn, Brunndöbra). Ore veins with Bi-Co-Ni-As-U-Ag mineralization were mined from the 15th century for silver and later for cobalt (e.g., Schneeberg-Oberschlema, Johanngeorgenstadt, Jáchymov, Annaberg, Marienberg) and in the second half of the 20th century extensive for uranium (e.g., Johanngeorgenstadt, Jáchymov, Schneeberg-Oberschlema-Niederschlema).

1 Einleitung

Die Region Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland ist eine der wichtigsten metallogenetischen Einheiten des Variszischen Faltengürtels mit einem hohen Explorationspotential für seltene Metalle, wie Sn, W, Li, In, Mo, Bi, Nb, Ta und Sc sowie Fluorit- und Baryt-Lagerstätten [1, 2, 3]. Diese auch als Hochtechnologie-Rohstoffe bezeichneten Metalle sind in der Erdkruste sehr selten und für die Elektro- und High Tech-Industrie von fundamentaler Bedeutung. Der Bergbau im Erzgebirge begann mit dem Abbau von Silbererz-Gängen im Raum Freiberg im 12. Jahrhundert und Zinnseifen im späteren Revier Krupka/CZ im 13. Jahrhundert. Seitdem wurden im Erzgebirge-Krušné hory und Vogtland bis 1991 bedeutende Mengen an Silber, Zinn, Kobalt, Kupfer, Blei, Zink, Wolfram, Uran, Flussspat und Schwerspat sowie kleinere Mengen an Indium, Germanium und Gold gewonnen [1].

2 Geologie und metallogenetische Bedeutung des Permo-Karbonen Magmatismus

Der Kernteil des Erzgebirges (Erzgebirgszentralzone) besteht aus präkinematischen Rotgneisgraniten, Paragneisen und Anatexiten der Antiklinalstrukturen von Freiberg, Fürstenwalde-Lauenstein, Sayda, Marienberg-Annaberg und Schwarzenberg (Abb. 1). Im Bereich der Erzgebirgsnordrand-Zone sowie im Osten und Westen wurden Metamorphosesprünge mit Übergängen der Gneise in Glimmerschiefer und Phyllite nachgewiesen, wie z.B. im Sn-W-Li-In-Distrikt Ehrenfriedersdorf-Geyer. Im westlichsten Teil der Erzgebirgsnordrand-Zone und im Vogtländischen Synklinorium dominieren Phyllite und quarzitische Gesteine, die dem Ordovizium zugeordnet werden. Gneise und Schiefer zeigen bereichsweise Einschaltungen von Metakarbonaten, Metatuffiten, Pyrit-führenden Metaschwarzschiefern und Metabasiten, an die z.T. Skarn-gebundene Fe-Zn-Sn-In-Lagerstätten und hydrothermaler Ag-Bi-Co-Ni- und U-Ganglagerstätten gebunden sind [1].

Im gesamten betrachteten Gebiet sind relativ große und kleinere Massive postkinematischer Leukogranite sowie Rhyolith- und Lamprophyr-Dikes aufgeschlossen (Abb. 1), die vor ca. 330-300 Millionen Jahre in die o.g. metamorphen Serien (sub-)vulkanisch intrudierten [3, 4].

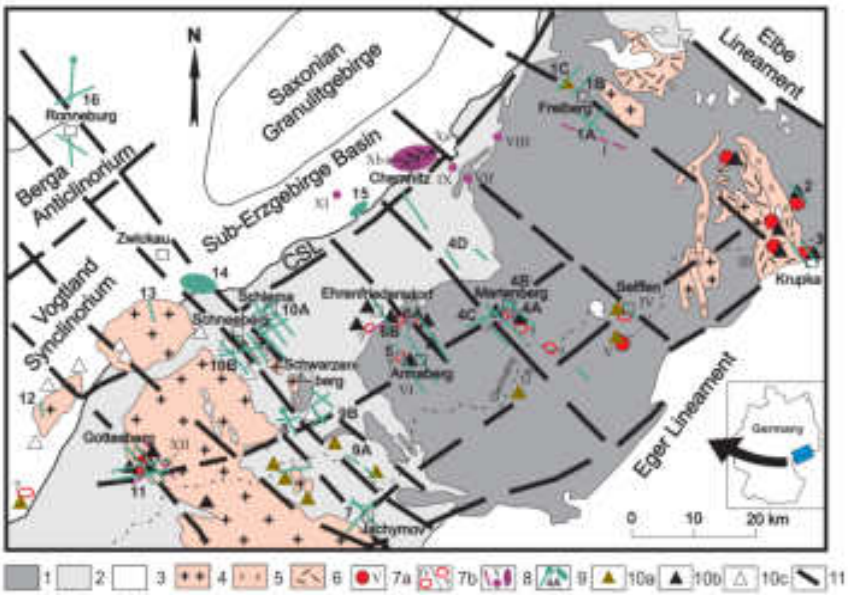


Abb. 1: Stark vereinfachte Geologie des Erzgebirges-Krušné hory mit Lage der wichtigsten Sn-, Sn-W- und W-Lagerstätten und ihre Beziehung zu „small Intrusion“ Li-F-Graniten (aus [3], ergänzt und modifiziert nach [4]). Legende: 1 - Erzgebirgszentralzone (vorwiegend Gneise und Migmatite); 2 - Erzgebirgsnordrand-Zone (vorwiegend Glimmerschiefer und Phyllite); 3 - geologische Einheiten außerhalb des Erzgebirges-Krušné hory; 4 - postkinematische Granite (Oberkarbon); 5 - Granitporphyr von Altenberg und Flaje-Frauenstein; 6 – Rhyolith (Teplice und Tharandter Wald); 7 - „small intrusion“ Li-F-Granit: 7a – anstehend, 7b - durch Bergbau oder Bohrung aufgeschlossen; 8 - Zinn- und Wolframvererzungen: 8a - Zinn, 8b - Zinn-Wolfram, 8c – Wolfram

Die Bildung von Seltenen Metall-Lagerstätten (Sn, W, Mo, Li, In, Sc, Nb, Ta) ist vermutlich zeitlich und räumlich mit post-kollisionalen Kleinintrusionen der o.g. Li-F-Granite („small intrusions“) und Rhyolithen assoziiert, die innerhalb von NNW-SSE bis NW-SE- und z.T. auch E-W-streichenden Strukturen vorkommen [3, 4]. Einige der o.g. Lagerstättendistrikte sind an den Vergitterungsbereich von überregionalen Tiefen-Störungszonen gebunden, wie z.B. Gottesberg-Mühlleithen, Pöhla und Marienberg, in denen auch eine relativ hohe Dichte spät-Varizischer Lamprophyr-Dikes nachgewiesen wurde (Abb. 1, [3]). Die lamprophyrischen Intrusionen können nach ihren relativen Altersverhältnissen zu den postkinema-

tischen Granitintrusionen (sog. Teilplutone des West- und Mittelerzgebirges [1]) und der Sn(-W-As-Mo-Bi-Li-F)-Assoziation drei Haupttypen (LD1, LD2, LD3) zugeordnet werden [3]. Die LD2- und LD 3-Lamprophyre und ihre räumliche und zeitliche Beziehung zu Sn(-W-As-Mo-Bi-Li-F)- und Sn-As-Zn-Cu-In-Mineralisationen sprechen für tektonomagmatische Aktivierungsprozesse im oberen Erdmantel und der unteren Erdkruste, die in einem post-kollisionalen Stadium vermutlich mit der Genese von Seltenen Metall-Lagerstätten verbunden sind [3, 5, 6].

3 Rohstoffpotential und Exploration von Seltenen Metall-Lagerstätten, Radonproblematik bei der Erkundung und Gewinnung

In der Lagerstättenprovinz Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland zeigen verschiedene Mineralabfolgen der Sn(-W-As-Mo-Bi-Li-F)-Assoziation ein hohes Potential für Sn(-W-Mo-Bi-Li-In)-, Li-Sn- und W-Polymetall-Greisen-, Trümerzug- und Skarn-Erzkörper (z.B. Zobes, Gottesberg, Pöhla, Ehrenfriedersdorf, Pobershau-Marienberg, Seiffen, Sadisdorf, Altenberg, Zinnwald-Cínovec, Krupka, Falkenhainer Greisenzone). Neue mineralogische und geochemische Daten von jüngeren spät-Variszischen Sn-In-Cu-Zn-Ag-Polymetall-Sulfid-Gängen und gangförmigen Metasomatiten belegen ein hohes Potential für Indium-Vererzungen in verschiedenen Altbergbaudistrikten (Freiberg, Marienberg, Annaberg, Hora Svaté Kateřiny). Wirtschaftlich interessante Fluorit- und Baryt-Lagerstätten mit Gangmächtigkeiten von bis zu 15 m sind an post-Variszische Mineralisationen der Quarz-Adular-Fluorit-, Fluorit-Quarz- und Baryt-Fluorit-Assoziation gebunden (Schönbrunn-Bösenbrunn, Brunndöbra, Niederschlag, Marienberg, Moldava).

Die o.g. Sn-W-Li-, Polymetallsulfid- und Fluorit-Baryt-Vorkommen werden in der gesamten Lagerstättenprovinz z.T. von hydrothermalen Uranerz-Gängen der uqk-, mgu- und Bi-Co-Ni-U-Ag-Assoziation durchschlagen [1], wodurch z.T. stark erhöhte Radonkonzentrationen im Altbergbau bedingt sein können. Dieser Sachverhalt ist bei Erkundungs- und Gewinnungsarbeiten stets zu beachten. Erhöhte Radonkonzentrationen könnten auch durch relative hohe bis sehr hohe Uran- und Thorium-Gehalte von Permo-Karbonen Magmatiten verursacht werden (z.B. Kirchberger Granit in der W-Mo-Lagerstätte Pechtelsgrün: bis 40 ppm U; z.B. Eibenstocker Granit (Wismutbohrung bei Sosa): bis 45 ppm U; z.B. Mikrogranit Explorationsbohrung Bohrung Gottesberg: 60 ppm Th; z.B. Rhyolith- / Lamprophyr-Dike Silberaltbergbau Brand-Erbisdorf: bis 50 ppm / bis 120 ppm Thorium [3]). Eine mögliche Migration von Radon

im Bereich von überregionalen Tiefenstörungszonen sollte in diesem Zusammenhang ebenfalls beachtet werden.

Für zukünftige Explorationskampagnen in der Lagerstättenprovinz Erzgebirge-Krušné hory-Vogtland ist die Suche und Erkundung von tiefliegenden Rohstoffkörpern von besonderem Interesse. Eine flächendeckende geophysikalische Untersuchung des gesamten Gebietes mit modernsten Verfahren sollte Grundlage zukünftiger Explorationsarbeiten sein. Die kalkulierten Vorräte seltener Metalle umfassen im bisher erkundeten Bereich ca. 1 Mio. t Sn, 230.000 t W, 350.000 Li, 2.500 t In und 20.000 t Bi [2, 7, 8]. Mit einer Erweiterung der Vorräte durch gezielte Tiefenerkundung ist zu rechnen.

Screening der Rohstoffnachfrage — Hightech Metalle

Veränderung des Rohstoffbedarf für die untersuchten Zukunftstechnologien im Verhältnis zur heutigen Weltproduktionsmenge

Rohstoff	Zukunftstechnologien	2035
Lithium	Lithium-Ionen-Akku, Leichtbau	390 %
Schwere Seltene Erden	Magnete, E-PKW, Windkraft	310 %
Rhenium	Superlegierungen	250 %
Leichte Seltene Erden	Magnete, E-PKW, Windkraft	170 %
Kobalt	Lithium-Ionen-Akku	90 %

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GEOZENTRUM HANNOVER

27

Heimische Rohstoffe für Schlüsseltechnologien

Rund 90 % der weltweit gefertigten Solarzellen bestehen aus Silizium.

Rohsilizium wird durch Reduktion von **Quarzrohstoffen** mit Kohlenstoff in elektrischen Lichtbogenöfen bei rund 2.000° C gewonnen.

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GEOZENTRUM HANNOVER

41

Kein Ausbau ohne mineralische Rohstoffe

Modere WKA benötigen mineralische Rohstoffe – „viel(e) davon"

- **Kupfer** für Leitungen und Spule
- **Seltene Erden** in Hochleistungs-Permanentmagnete der Generatoren

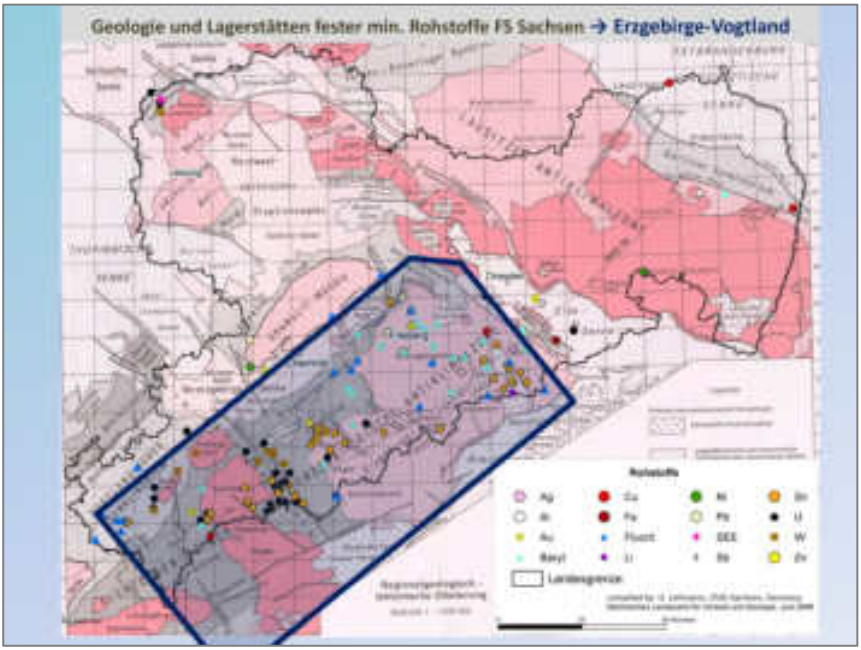
Aber auch:

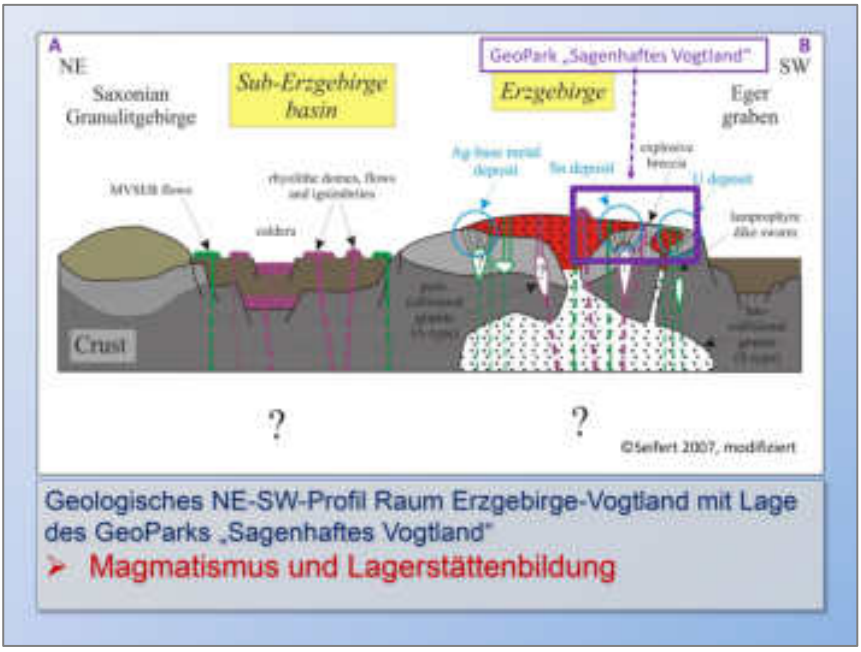
- **Zink und Molybdän** gegen Korrosion
- **Nickel** für Temperaturbeständigkeit
- **Verbundwerkstoffe** für Rotoren

1 Windrad Offshore braucht bis zu **30 t** Kupfer und bis zu 1 t Seltene Erden

BGR Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe
GEOZENTRUM HANNOVER

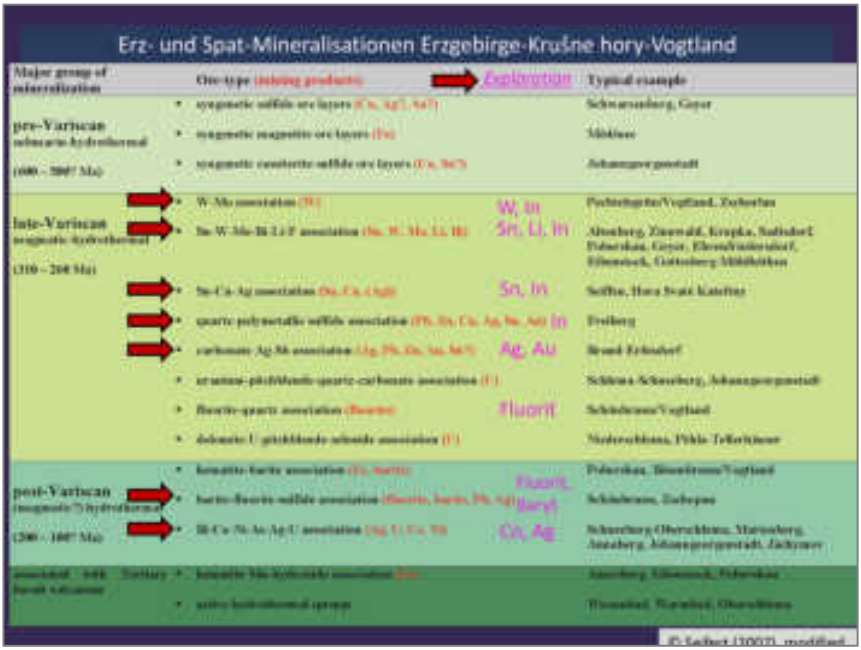
15

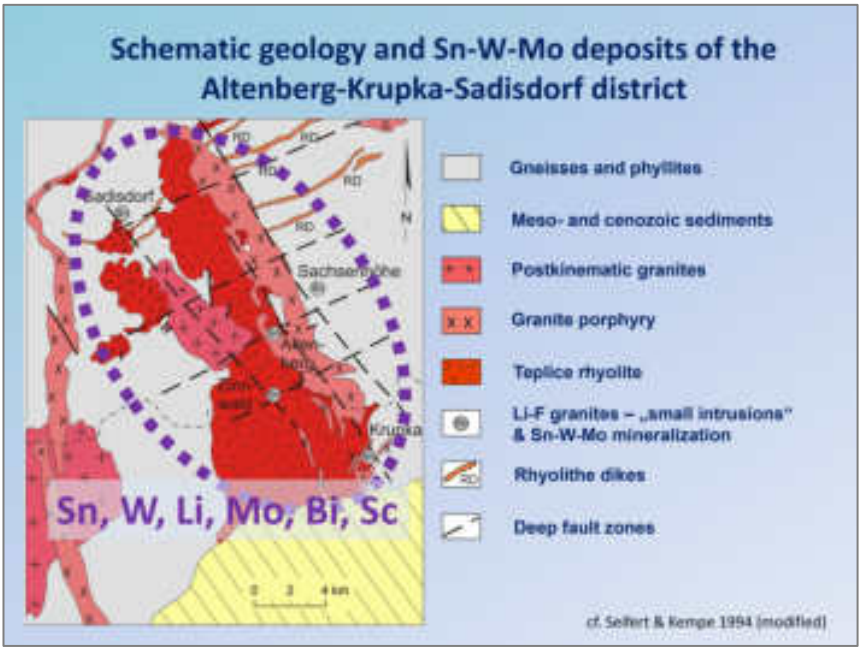




Geologisches NE-SW-Profil Raum Erzgebirge-Vogtland mit Lage des GeoParks „Sagenhaftes Vogtland"

➢ Magmatismus und Lagerstättenbildung

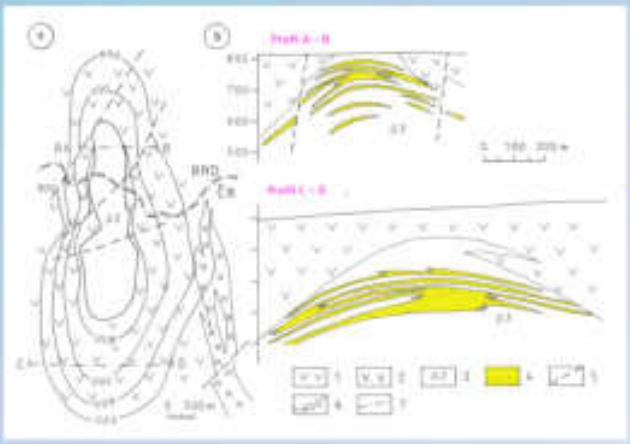

Erz- und Spat-Mineralisationen Erzgebirge-Krušne hory-Vogtland
Major group of mineralization
Ore-type (mining products)
Exploration
Typical example
pre-Variscan
(480 – 380? Ma)
late-Variscan
(310 – 260 Ma)
W, In
Sn, Li, In
Sn, In
Ag, Au
fluorit
post-Variscan
(260 – 160? Ma)
Fluorit, Baryt
Cu, Ag


Schematic geology and Sn-W-Mo deposits of the Altenberg-Krupka-Sadisdorf district
Sadisdorf
Sachsenhöhe
Altenberg
Krupka
Sn, W, Li, Mo, Bi, Sc
N
0 2 4 km
Gneisses and phyllites
Meso- and cenozoic sediments
Postkinematic granites
Granite porphyry
Teplice rhyolite
Li-F granites – „small intrusions" & Sn-W-Mo mineralization
Rhyolithe dikes
Deep fault zones
cf. Seifert & Kempe 1994 (modified)

18. Jahrhundert – intensiver Zinnbergbau und Lagerstättenkenntnisse
Zinnwald: Li, Sn
1736 & 1751: älteste gedruckte montanistische Beschreibungen
1788 Grubenriss (Greisen- und Flözabbau, 3 Hauptgruben)
OTIA METALLICA
Abhandlungen
Berg-Sachen
Aufstand
Zinnwälder-Berg-
Böhmen
Sachsen
Reicher Trost
Vereinigt Feld
Wunderlich Köpfen
Förster Zeche
TBU: 1788 (rot)

Li-Sn-W-Grube Vereinigt Zwitterfeld Zinnwald, Tiefer Bünau-Stollen
Start des Li-Projektes der TUBAF: 11/2009
Zinnwaldit-Quarz-
Topas-Greisen -
ein neuer Li-Rohstoff?
„Flöz"
Greisen

Geologie des Li-Sn-W-Erzfeldes Zinnwald-Cinovec



1 = Teplice rhyolite;
2 = Granite porphyry dike;
3 = Albite granite (G3);
4 = Mica-albite granite greisen (Li-Glimmer-Greisen);
5 = Faults;
6 = Level of granite surface;
7 = Locations of cross sections.

(cf. Baumann, Kuschka & Seifert 2000)

Li-Projekt TU BA Freiberg

Fakultät 2
- Anorganische Chemie (Prof. Voigt)
- Technische Chemie (Prof. Bertau)

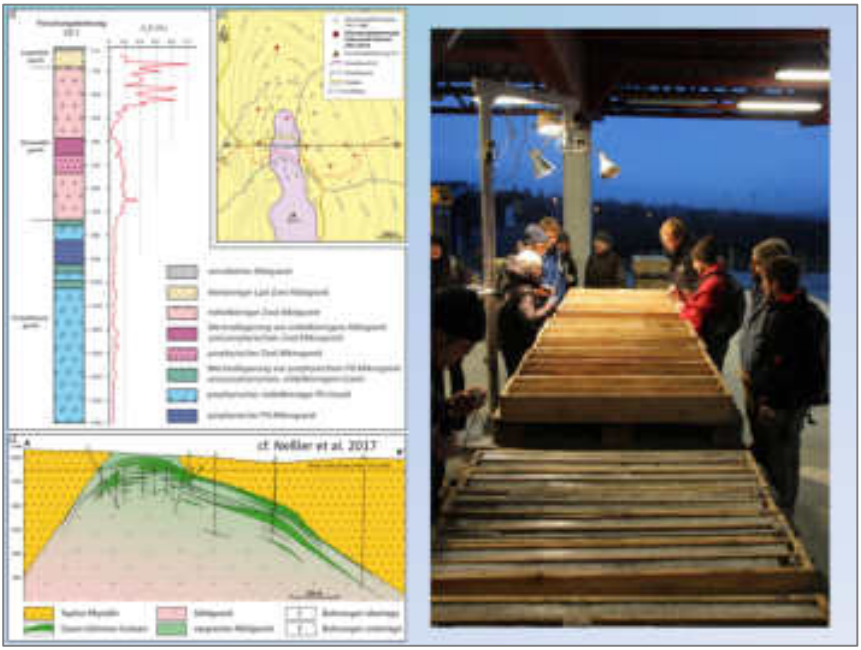
Fakultät 3
- Geologie (Prof. Ratschbacher)
- Mineralogie/Lagerstättenforschung (Prof. Gutzmer, Prof. Seifert)

Fakultät 4
- Mechanische Verfahrenstechnik und Aufbereitungstechnik (Prof. Peuker)
- Aufbereitungsmaschinen (Dr. Folgner)

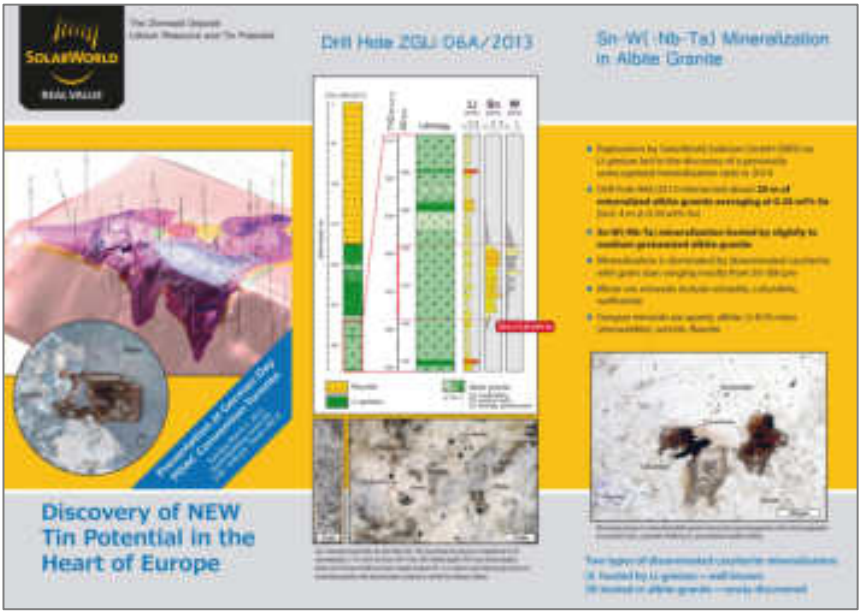
Fakultät 5
- NE Metallurgie und Reinststoffe (Prof. Stelter)

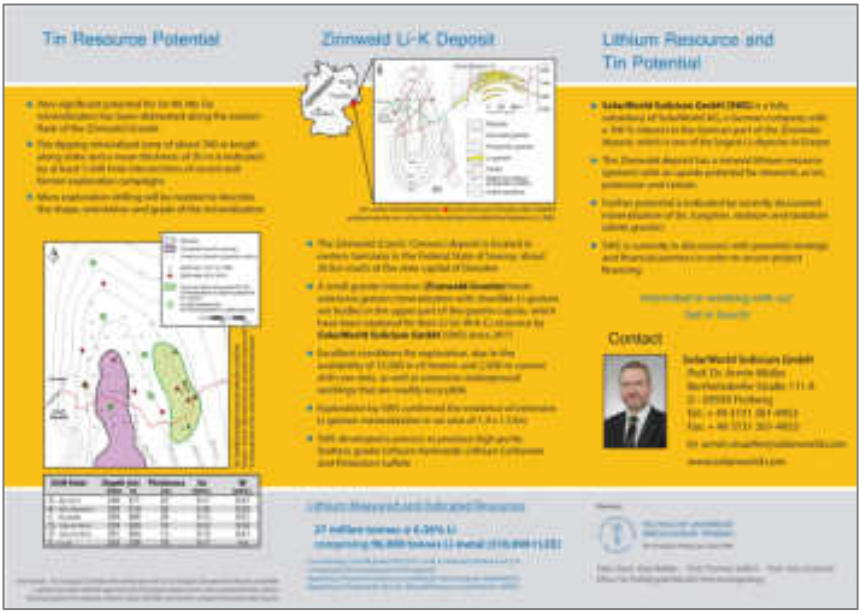
An-Institut UVR-FIA (Dr. Morgenroth)
Gründernetzwerk SAXEED (Dr. Fuhrland)

Sampling in Zinnwald
2009+2010: three big Li-rich greisen samples in total about 30 t (Bergsicherung Freital)
2 samples Bünau adit level, 1 sample Tiefe Hilfe Gottes adit level

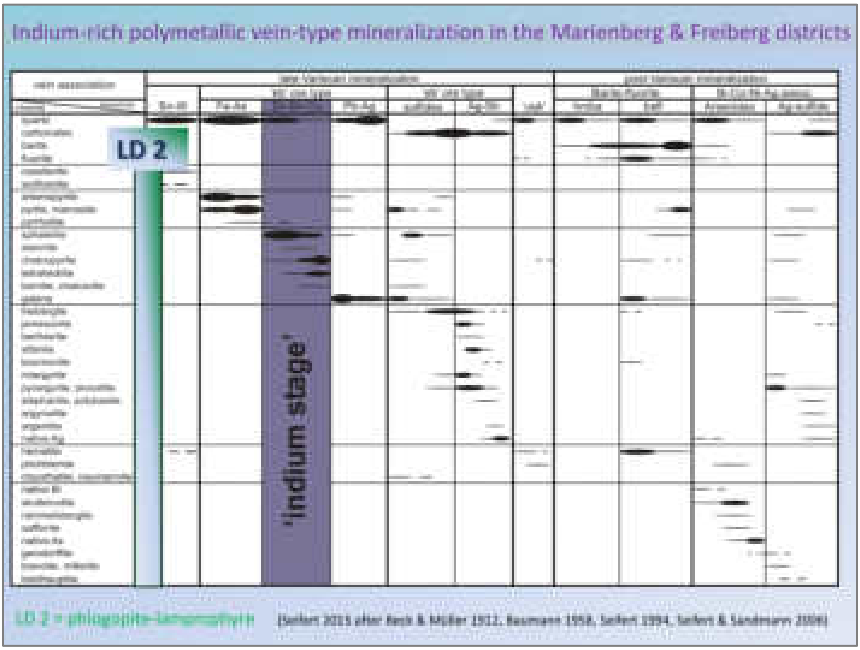

cf. Neßler et al. 2017

Exploration work Zinnwald (2013)
Drill hole UGLi 07-2013
Discovering of a new Sn-ore type:
disseminated cassiterite mineralization hosted by albite granite

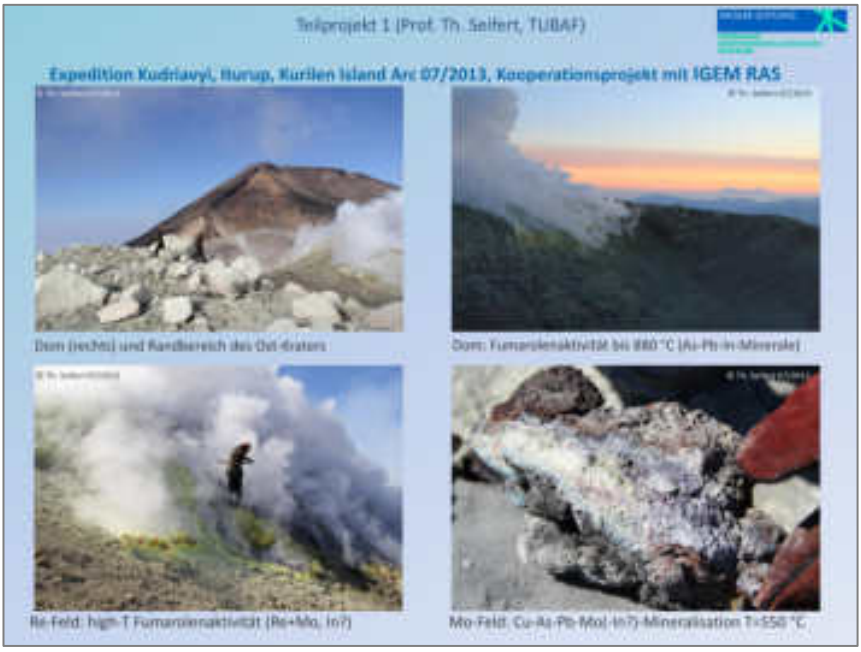

SOLARWORLD
Drill Hole ZGLi 06A/2013
Sn-W(-Nb-Ta) Mineralization in Albite Granite
Discovery of NEW Tin Potential in the Heart of Europe


Tin Resource Potential
Zinnwald Li-K Deposit
Lithium Resource and Tin Potential
Contact

Indium – ein kritisches Metall für Hochtechnologien
Teilprojekt 1 (Geologie, Mineralogie, Metallogenie): Prof. Th. Seifert, M. Sc. M. Bauer


Indium-rich polymetallic vein-type mineralization in the Marienberg & Freiberg districts
LD 2
'indium stage'
LD 2 = phlogopite-lamprophyre
[Seifert 2015 after Beck & Müller 1912, Baumann 1958, Seifert 1994, Seifert & Sandmann 2006]

Pöhla-Hämmerlein: Sn, In
Skarn-Typ – Chalkopyrit-Sphalerit- Magnetit-Kassiterit-Mineralisation in Kalksilikat-Lagern (Indium-reich)
Foto: Th. Seifert 11/2015


Teilprojekt 1 (Prof. Th. Seifert, TUBAF)
Expedition Kudriavyi, Iturup, Kurilen Island Arc 07/2013, Kooperationsprojekt mit IGEM RAS
Dom (rechts) und Randbereich des Ost-Kraters
Dom: Fumarolenaktivität bis 880 °C (As-Pb-In-Minerale)
Re-Feld: high-T Fumarolenaktivität (Re+Mo, In?)
Mo-Feld: Cu-As-Pb-Mo(-In?)-Mineralisation T<550 °C

4 Literaturverzeichnis

[1] Baumann, L., Kuschka, E., Seifert, Th.: Lagerstätten des Erzgebirges. Stuttgart, New York: Enke im Georg Thieme Verlag, 2000

[2] U. Lehmann, Reserves and resources of ores and fluorite/barite in Saxony / Erz- und Spatvorräte in Sachsen, World of Mining, 62, pp. 38-47, 2010

[3] Seifert, Th.: Metallogeny and Petrogenesis of Lamprophyres in the Mid-European Variscides – Post-Collisional Magmatism and Its Relationship to Late-Variscan Ore Forming Processes (Bohemian Massif). Amsterdam: IOS Press BV, 2008

[4] Th. Seifert, U. Kempe, Zinn-Wolfram-Lagerstätten und spätvariszische Magmatite des Erzgebirges, Beihefte zum European Journal of Mineralogy, vol. 6, No. 2, pp. 125-172, 1994

[5] Th. Seifert, Plume-related lamprophyric intrusions and their association to indium and rare metal mineralization in the internal Variscides (Germany, Czech Republic) — indications for late-Variscan mantle-derived hydrothermal pulses, Proceedings of the 34th International Geological Congress 2012, Brisbane, abstract #2082, 2012

[6] Th. Seifert, Paragenesis, geochemistry and age of late-Variscan Sn, In and Ag mineralization in the Marienberg district and its relationship to mafic and acidic magmatic events, Erzgebirge, Germany. “Mineral Resources in a Sustainable World”, 13th SGA Biennial Meeting 2015, Nancy. Proceedings, Volume 2, pp. 843-846, 2015

[7] Seifert, Th.: Beitrag zur Typisierung von Sn-Lagerstätten im Erzgebirge. Unveröffentliche Diplomarbeit, Bergakademie Freiberg, Sektion Geowissenschaften, 1985

[8] Saxore Bergbau GmbH: www.vbgu.de/fileadmin/news/2017-10/ Jahrestagung/ Saxore_VBGU2017.pdf

Die DIN SPEC 18117 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz“ – Ein neues Instrument zur Unterstützung der Planung und Baupraxis

Walter-Reinhold Uhlig[1)]

[1)] Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen (KORA) e.V.

Zusammenfassung

Die DIN SPEC 18177 wird nach Fertigstellung viele wichtige bauliche und lüftungstechnische Lösungen beschreiben und Hilfsmittel enthalten, mit denen die Wirksamkeit verschiedener Lösungen in Abhängigkeit von der Radonbelastung sowie von weiteren Aspekten abgeschätzt werden kann. Die Norm wird in zwei Teile untergliedert. Der erste Teil „Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen“ soll im 1. Quartal 2019 als Entwurf zur Kommentierung durch die Öffentlichkeit vorgelegt werden. Die Bearbeitung des zweiten Teils „Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen“ wird im Anschluss an die Fertigstellung des Teiles 1 bearbeitet. Im folgenden Beitrag werden die geplante inhaltliche Struktur sowie der aktuelle Bearbeitungsstand vorgestellt.

DIN SPEC 18117 „Structual and ventilation measures for radon protection“ - A new instrument to support planning and construction practice.

Summary

After completion, the DIN SPEC 18117 will describe all important structural and ventilation solutions and contain rules as to which solutions are to be used depending on the radon load and other aspects. The standard is divided into two parts. The first part "Terms, basics and descriptions of measures" I to be presents in the 1st quarter of 2019 at the latest. The processing of the second part "Classification, selection and recommendations for action" will be processed following the completion of Part 1. The article presents the planned content as well as the current processing status.

1 Einführung

Im Februar 2015 wurde der Normenausschuss zur Erarbeitung einer DIN-Norm „Radongeschütztes Bauen“ als Gemeinschaftsausschuss von Bau und Lüftungstechnik gegründet. Auf dem 10. Sächsischen Radontag hat der Obmann des Ausschusses, Herr Strubbe, die Arbeit des Normenausschusses erstmals vorgestellt [1]. Im heutigen Beitrag soll über die seitdem erreichten Fortschritte in der Erarbeitung der Norm berichtet werden. Ergänzt werden die Ausführungen durch einen Ausblick auf Normen europäischer sowie überseeischer Länder.

2 Einordnung der Norm in den aktuellen Prozess zur gesetzlichen Regelung des Strahlenschutzes

Über die aktuelle Gesetzgebung zum Radonschutz im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes [2] ist auf den Radontagen der letzten Jahre sowie zuletzt in den gestrigen Beiträgen der diesjährigen Tagung mehrfach berichtet worden. Das Strahlenschutzgesetz gibt den Rahmen für den Radonschutz in Aufenthaltsräumen sowie an Arbeitsplätzen, für die Erstellung eines Radonmaßnahmenplans sowie die Ausweisung von Radonvorsorgegebieten vor. Eine weitere wichtige Festlegung im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes ist zudem die Ausweisung von Referenzwerten. Das am 3. Juli 2017 beschlossene Strahlenschutzgesetz tritt gemeinsam mit den in Verordnungen aufgenommenen Detailregelungen zum 31. Dezember 2018 in Kraft. Ausdrücklich ausgeschlossen sind in dem gesetzlichen Regelungsprozess Fragen der baulichen und lüftungstechnischen Umsetzung des Radonschutzes sowie zu Messverfahren. Entsprechende Regelungen sind über Normen sowie evtl. weitere Verordnungen zu formulieren. Die Einhaltung dieser klaren Abgrenzung ist sinnvoll und unbedingt einzuhalten.

3 Die Arbeit des DIN-Normenausschusses

Der DIN-Normenausschuss „Radongeschütztes Bauen“ setzt sich aus Fachleuten aus dem Bau- und Lüftungsbereich sowie dem Strahlenschutz zusammen. Der Ausschuss ist somit in seiner fachlichen Kompetenz breit aufgestellt. Wichtig ist, dass durch die Mitarbeit eines Vertreters des BfS die informative Abstimmung zwischen Gesetzgeber und dem Normenausschuss gegeben ist.

Die Arbeit des Normenausschusses begann im Jahr 2015 mit einer Bestandserfassung sowie der Formulierung von Zielstellungen für die inhalt-

liche Gestaltung der Norm sowie die Durchführung des Normenverfahrens. Sehr bald reifte im Normenausschuss die Erkenntnis, dass noch umfangreiche Untersuchungen zur Ermittlung der einzuhaltenden Randbedingungen beim Radonschutz, insbesondere bei der Wahl geeigneter Bauweisen, der zu verwendenden Materialien sowie beim Umfang und der Art der notwendigen Messungen der Radonkonzentration notwendig sind. Darüber hinaus bleibt abzuwarten, welche gesetzlichen Regelungen im Zuge der nationalen Umsetzung der EURATOM hinsichtlich der Einhaltung von Referenzwerten zukünftig einzuhalten sind. Vor dem Hintergrund dieser Fragestellungen sieht der Arbeitsausschuss derzeit keine Basis für eine DIN-Norm, da der Stand „allgemein anerkannter Regeln der Technik“ zurzeit nicht abbildbar ist. Daher ist zum jetzigen Zeitpunkt die Erarbeitung einer DIN SPEC nach dem Verfahren einer Vornorm vorgesehen. Diese soll in einem zweiten Schritt, unter Einbezug hoffentlich vielfältiger Erkenntnissen aus der Arbeit mit dieser DIN SPEC, zu einer vollwertigen DIN-Norm weiterentwickelt werden soll.

Weitere Erläuterungen zur Erarbeitung und Wirksamkeit von DIN SPEC können bei DIN nachgelesen werden [3].

4 Ausblick auf die Normentätigkeit in anderen Ländern

4.1 Überblick

Die vielfältigen inhaltlichen Fragen, die sich dem Normungsausschuss stellten, führten zur Frage, inwieweit in anderen Ländern Europas sowie Nordamerikas Normen zum radonsicheren Bauen bereits eingeführt und welche Regelungen in diesen aufgenommen sind. Eine erste Recherche ergab, dass in Europa mit Österreich und Tschechien lediglich zwei Länder eine entsprechende Norm eingeführt haben, außerhalb Europas gibt es in Kanada eine Radon-Norm. Im Rahmen dieses Beitrages kann eine detaillierte Beschreibung der hier aufgeführten Normen nicht erfolgen. Vielmehr wird eine kurze Zusammenfassung des Regelungsumfanges sowie der Vorgehensweise der beiden europäischen Normen dargestellt

4.2 Ö-Norm S 5280-Radon

Die Ö-Norm S 5280 [4]. ist in drei Teile untergliedert:

- Teil 1: Messverfahren und deren Anwendung
- Teil 2: Bautechnische Vorsorgemaßnahmen bei Gebäuden
- Teil 3: Sanierungsmaßnahmen an Gebäuden.

Im **Teil 1** werden die Aufgaben im Zusammenhang mit den Messungen beschrieben, eine umfängliche Beschreibung der möglichen Messmethoden ist im Anhang zu diesem Normenteil zusammengefasst.

Teil 2 enthält die Beschreibung von Mindestanforderungen an den Radonschutz sowie von zweckmäßigen und erprobten Verfahren für Neubauten. Aufbauend auf der Klassifizierung des Radonrisikos in Abhängigkeit vom Radonpotential bzw. Bodenradonmessungen sowie unter Berücksichtigung baulicher Aspekte (Unterkellerung) werden bauliche und lüftungstechnische Lösungen vorgeschlagen.

Die im **Teil 3** vorgeschlagene Vorgehensweise bei Sanierungsmaßnahmen wird in Abhängigkeit von der Radonkonzentration in den Räumen in vier Radonbeurteilungsklassen (A bis D) untergliedert. Um die Eingliederung in diese Gruppen zu ermöglichen, sind Messungen der Radonkonzentration in den Räumen vor Beginn der Planung und Bauausführung zwingend erforderlich. Der Normenteil enthält eine Erfassung und Kurzbeschreibung aller bekannten Verfahren der Radonsanierung sowie ein Ablaufdiagramm für die Abwicklung von Sanierungsmaßnahmen, welches in Abb. 1 beispielhaft gezeigt wird.

Schlussfolgerungen/Erkenntnisse für die Erarbeitung der DIN-Norm:

Die Norm versucht, alle Aspekte des Radonschutzes einschließlich der Messungen zu erfassen. Die Untergliederung in Neubau sowie Sanierung erscheint logisch und sinnvoll. Das Prinzip, Radonschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Radonrisiko (Neubau) bzw. von Radonbeurteilungsklassen (Sanierung) zu setzen und in Ablaufdiagrammen einzuordnen, erscheint sinnvoll und logisch. Im Gegensatz zur Ö-Norm beschränkt sich die DIN-SPEC-Norm auf die Beschreibung von bereits geregelten Messverfahren (s. Abschnitt 5).

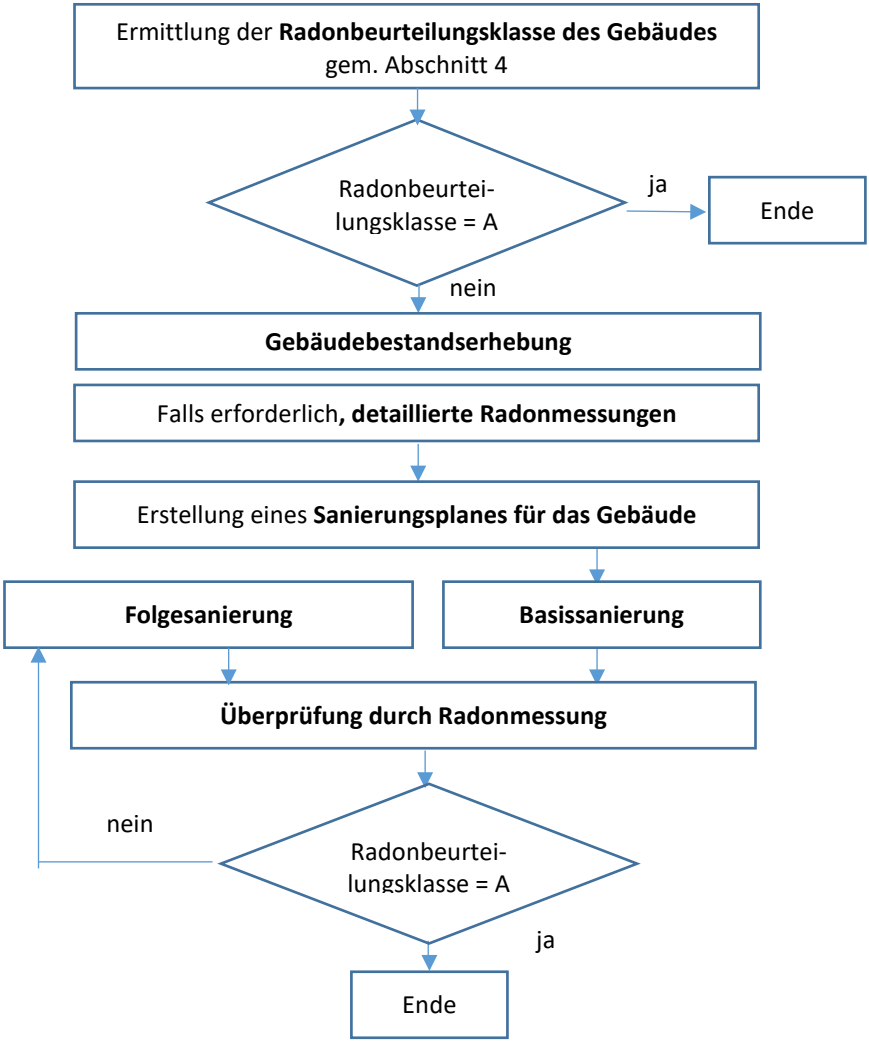


Abb. 1: Darstellung des Ablaufes einer Sanierungsmaßnahme nach Ö-Norm S 5280

4.3 Tschechische Norm CSN 73 0601

In dieser Norm [5] wird ebenfalls darauf gezielt, eine umfassende Handreichung zur Planung und Ausführung von Radonschutzmaßnahmen im Neubau und Bestand zu geben. Es wird keine Untergliederung in Normenteile vorgenommen, allerdings sind innerhalb der Abschnitte die Maßnahmen für Neubau und Sanierung getrennt beschrieben. Auch in dieser Norm werden als Grundlage für alle Maßnahmen Ausgangswerte eingeführt. Für den Neubau ist das der Radonindex (des Bodens, eines Bauplatzes sowie eines Gebäudes), der in Abhängigkeit von der Radonkonzentration im Boden sowie der Gasdurchlässigkeit des Bodens bestimmt wird. Für Sanierungen ist es die Radonkonzentration in den genutzten Räumen. Somit wird auch in dieser Norm eine Messung der Radonkonzentration in Räumen als Grundlage aller weiteren Schritte zwingend erforderlich, für die Bestimmung des Radonindexes bei Neubauten sind verschiedene Möglichkeiten, die nicht unbedingt die Messung der Radonkonzentration in der Bodenluft erfordern, beschrieben.

Als eine weitere Grundlage für die Planung und Ausführung von Neubauten werden drei Kategorien der Luftdichtheit der erdberührten Gebäudehülle eingeführt. Aus der Kombination von Radonindex (niedrig, mittel und hoch) und der Kategorie der Luftdichtheit werden mögliche bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen vorgeschlagen.

Beispielhaft ist dieser Zusammenhang für Neubauten und einen mittleren Radonindex in Abb. 2 dargestellt.

NEUBAU, MITTLERER RADONINDEX

Regelfall: **1. Kategorie der Luftdichtheit**

Alternativen:
2. Kategorie der Luftdichtheit ausreichend, wenn:
- Zwangslüftung ***oder***
- Im Kontaktbereich keine bewohnten Räume ***und*** folgende Bedingungen erfüllt sind:
- Im Kellergeschoss ist zuverlässig Luftwechselrate gewährleistet
- Decke über Keller mind. **3. Kategorie der Luftdichtheit**
- Luftdichte Türen zwischen Keller und OG mit automatischer Schließvorrichtung (Rauchdichte Türen)

Abb. 2: Bestimmung der Maßnahmen für Neubauten nach der tschechischen Radonnorm am Beispiel eines mittleren Radonindexes

Für Sanierungen ist als Ausgangswert die sogenannte Radonvolumenaktivität (RVA) zu bestimmen, die der in Deutschland üblichen Radonkonzentration in Räumen in Bq/m³ entspricht. Auch hier sind drei Stufen definiert, für die jeweils bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen vorgeschlagen werden.

Neben den hier beispielhaft vorgestellten Grundprinzipien für radonsenkende Maßnahmen werden alle bekannten bau- und lüftungstechnischen Verfahren, die im Radonschutz zur Anwendung kommen, detailliert erläutert. Weitere Abschnitte sind den eingesetzten Materialien, der Überprüfung der Wirksamkeit (einschließlich der Einführung eines Radonlabels – vergleichbar den hier in Deutschland üblichen Energieeffizienzklassen) sowie der Dauerhaftigkeit von Maßnahmen gewidmet.

4.4 Schlussfolgerungen für die Arbeit im DIN-Normenausschuss

Trotz des unterschiedlichen Aufbaues sowie unterschiedlicher inhaltlicher Schwerpunkte und Tiefe der beiden hier kurz vorgestellten nationalen Normen lassen sich doch einige Aspekte herauskristallisieren, die auch für die Arbeit des DIN-Normenausschusses interessant sind und in die Diskussion zur inhaltlichen Gestaltung der Norm einfließen:

- In beiden Normenpaketen wird das Verfahren des Radonschutzes sowohl für den Neubau als auch die Sanierung vorgegeben. So sind für beide Aufgaben die jeweiligen Ausgangssituationen in Abhängigkeit von der Radonbelastung aus Boden (Neubau) bzw. in den genutzten Räumen (Sanierung) klassifiziert und dienen als Grundlage für die anzuwendenden baulichen und lüftungstechnischen Maßnahmen. Ebenso sind in beiden nationalen Normen Kontrollmessungen nach Abschluss der Maßnahmen zwingend vorgeschrieben.
- In beiden Normen werden die bekannten bau- und lüftungstechnischen Lösungen und Strategien sowie Kriterien für die im Radonschutz einzusetzenden Baumaterialien erfasst und - mit unterschiedlicher Tiefe – beschrieben.
- Für Neubauten wird in beiden Normen die unbedingte Verhinderung von konvektiven Luftströmungen über die erdberührte Gebäudehülle als absolut wichtigste Maßnahme beschrieben. Allen weiteren Quellen von Radon in der Raumluft, wie die Diffusion durch die erdberührte Gebäudehülle, die Exhalation aus Baustoffen sowie weiteren Quellen wird nur eine sehr untergeordnete Bedeutung zugemessen oder sie werden überhaupt nicht berücksichtig.

5 Die DIN SPEC 18 117

5.1 Grundlegende Überlegungen und Festlegungen

Ziel der Norm ist es, allen im Bau- und Lüftungsbereich Tätigen, also Planern, Bauausführenden, der Baustoffindustrie, aber auch öffentlichen und privaten Bauherren eine sichere und eindeutige Grundlage für alle notwendigen Entscheidungen im Zusammenhang mit dem Radonschutz zu geben. Dabei werden als Grundlagen die im Rahmen des Strahlenschutzgesetzes getroffenen Festlegungen, wie die Ausweisung von Vorsorgegebieten sowie die Festlegung von Referenzwerten übernommen. Mit den Festlegungen der Norm soll allen hier genannten Gruppen die dringend notwendige rechtliche Sicherheit gegeben werden, die im Zusammenhang mit der Umsetzung des Strahlenschutzgesetzes einen deutlich höheren Stellenwert erhält.

Die Überlegung, die Ergebnisse vorläufig als DIN SPEC zu veröffentlichen, sind bereits im Abschnitt 3 vorgestellt und begründet worden. Die Mitglieder des DIN-Normenausschusses sind sich darin einig, dass bereits diese Zwischenstufe zur vollgültigen Norm eine breite Wirkung entwickeln kann.

Weitere grundlegende Festlegungen sind:

1. Die Beschreibung von Messverfahren wird vorerst nicht in die DIN-Norm aufgenommen, da hierfür bereits mit der Normengruppe DIN 25 706 [6] und [7], der DIN EN 61 577 [8] und insbesondere der DIN 11 665 [9] ein umfassendes Kompendium vorliegt. Inwieweit die Festlegungen der hier aufgeführten Normen aus dem Strahlenschutzbereich durch konkrete Handlungsanweisungen oder ähnliches in der hier betrachteten Bau- und Lüftungsnorm ergänzt werden müssen, ist noch nicht abschließend geklärt.
2. Die Norm wird in zwei Teile mit den folgenden Spezifikationen untergliedert:

   - **Teil 1: Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen**

   sowie

   - **Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen**

5.2 Termine

Aktuell wird im Normenausschuss Teil 1 bearbeitet. Dieser soll zum Ende des Jahres 2018 bzw. spätestens im 1. Quartal des kommenden Jahres vorgelegt und veröffentlicht werden. Die Bearbeitung des Teils 2 erfolgt im Anschluss. Ein Fertigstellungstermin kann heute noch nicht benannt werden.

5.3 Inhalt des Normenteiles 1 „Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen“

Dieser Normenteil erhält die folgende Gliederung:

1 Anwendungsbereich

2 Normative Verweise

3 Begriffe

4 Allgemeines

5 Messungen

6 Grundlagen für Vorsorgemaßnahmen bei Neu- und Bestandsbauten

7 Bauliche Maßnahmen

8 Lüftungstechnische Maßnahmen

9 Hinweise zur Instandhaltung

Anhang A (informativ) Grundlagen

Anhang B (informativ) Beispielformular zur Abschätzung der Radonkonzentration in Innenräumen

Die **Abschnitte 1 bis 3** enthalten üblicherweise in allen DIN-Normen die erforderlichen Einführungen, Verweise und Definitionen.

Im **Abschnitt 4** werden die Grundlagen des Radonschutzes in gestraffter Form beschrieben. Da allgemeiner Konsens darüber besteht, dass das Wissen um die Wirkung von Radon sowie die Methoden des Radonschutzes in den Zielgruppen für diese Norm noch nicht in genügendem Maße ausgeprägt ist, hat der DIN-Normausschuss beschlossen, in **Anhang A** des Normenteiles 1 eine umfassende Darstellung der Grundlagen aufzunehmen. **Anhang B** enthält ein vereinfachtes Berechnungsmodell einschließlich Verfahrensschema zur groben Abschätzung der Innenraumkonzentration von erdberührten Räumen.

Der **Abschnitt 5** enthält nach aktuellem Bearbeitungsstand entsprechend der weiter oben beschriebenen grundsätzlichen Festlegung, keine detaillierte Beschreibung von Messverfahren, sondern lediglich Hinweise auf die Messnormen. Es ist geplant, in einem noch zu bearbeitenden Anhang spezifische Ausführungen zu den im Bauprozess notwendigen Messungen zu ergänzen.

Im **Abschnitt 6** werden die Grundlagen des radonsicheren Bauens und Sanierens beschrieben.

Nach einer allgemeinen Einführung (Punkt 6.1) werden die grundlegenden Strategien für Neubauvorhaben und Sanierungen sowie Hinweise zur Abgleichung der Ziele des Wärmeschutzes mit den Lösungen des Radonschutzes genannt.

Inhalt des **Abschnittes 7** ist ein Überblick über die möglichen baulichen und technischen Lösungen im Radonschutz. Dieser Abschnitt ist in Anlehnung an das Berechnungsformular zur Konzentrationsabschätzung nach den Eintrittswegen (Konvektion, Diffusion), der Ausbreitung im Gebäude, der Exhalation aus Baumaterialien sowie der Möglichkeiten zur Reduzierung der Radonkonzentration untergliedert. Im Einzelnen werden die folgenden Maßnahmen beschrieben:

- *Abdichtung erdberührter Bauteile oder andere Dichtungsmaßnahmen*

  In diesem Unterabschnitt wird nach einem allgemeinen Überblick auf die folgenden Lösungen eingegangen:

  - Luftdichte Abdichtung nach DIN 18 533
  - Grundschutz mittels wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen nach WU-Richtlinie des DAfStb
  - Sonstige Abdichtungsmaßnahmen
  - Nachträgliche Abdichtung im Bestand
  - Erhöhter Schutz mittels diffusionsbremsender Abdichtungen
  - Erhöhter Schutz mittels WU-Konstruktion
  - Erhöhter Schutz mit sonstigen Abdichtungsmaßnahmen

- *Radondränagen und Radonbrunnen*

  In diesem Unterabschnitt werden nach einigen grundlegenden Ausführungen zu den Lösungen die Wirkprinzipien mit Angaben zur Auslegung der lüftungstechnischen Teile einschließlich der

Dimensionierung der Rohranlagen und weiterer Teile erläutert. Im Anschluss wird auf Besonderheiten von Radondränagen sowie punktuellen Absaugungen (Radonbrunnen) eingegangen.

- *Unterboden- und Zwischenwandabsaugung*

Im **Abschnitt 8** werden die lüftungstechnischen Maßnahmen im Radonschutz beschrieben. Nach einem Überblick über die Möglichkeiten geht die Norm auf die folgenden Lösungen detailliert ein:

- Manuelle Lüftung
- Freie Lüftung
- Ventilator gestützte Lüftung

Im **Abschnitt 9** werden Hinweise zum Betrieb und zur Instandhaltung der für den Radonschutz relevanten Bau- und Anlagenteile aufgenommen.

5.4 Inhalt des Normenteiles 2

In diesem Normenteil werden nach aktuellem Bearbeitungsstand nach den drei einführenden Abschnitten (Anwendungsbereich / Normative Verweisungen / Begriffe, Abkürzungen, Symbole) u.a. folgende Themen aufgenommen:

- Klassifizierung der baulichen und lüftungstechnischen Maßnahmen in Abhängigkeit vom Radonrisiko
- Ablaufschema und Handlungsempfehlungen in Abhängigkeit vom Radonrisiko
- Verfahren zur Auswahl von Radonschutzmaßnahmen in Abhängigkeit vom Radonrisiko

Da, wie weiter oben beschrieben, die detaillierte inhaltliche Beschäftigung mit Teil 2 erst nach Abschluss des Teiles 1 geplant ist, kann mit heutigem Datum noch nicht über die konkrete inhaltliche Ausgestaltung dieses Normenteils berichtet werden.

6 Zusammenfassung und Ausblick

Die Arbeit im DIN-Normenausschuss sowie vielfältige weitere Anregungen haben in großer Deutlichkeit gezeigt, dass normelle Regelungen des baulichen und lüftungstechnischen Radonschutzes außerordentlich wichtig sind. Vor allen Dingen ist im Zusammenhang mit der Umsetzung des deutschen Strahlenschutzgesetztes die Einführung technischer Regelungen zum Radonschutz dringend erforderlich. Insofern sieht sich der Ausschuss nicht in der Rolle, dem Planer und Bauausführenden durch zusätzliche Regelungen ihr Schaffen zu erschweren und ggf. eine weitere Verteuerung des Bauens zu initiieren. Vielmehr kann mit der Anwendung der Norm – bzw. in der ersten Stufe der DIN SPEC – erreicht werden, dass der so wichtige Schutz vor den gesundheitsschädlichen Auswirkungen einer erhöhten Radonkonzentration abgeschätzt und mit den geringstmöglichen Kosten verbessert werden kann. Die Ausführungen dieses Beitrages zeigen auch, dass eine Reihe von Fragestellungen noch offen oder zumindest noch nicht abschließend geklärt ist. Die Erarbeitung der Norm ist noch nicht abgeschlossen und wird auch mit der ersten Veröffentlichung der DIN SPEC nicht abgeschlossen sein. Wir erhoffen aber, dass mit der Veröffentlichung ein aktiver Diskussionsprozess mit allen Betroffenen in Gange kommt und dass durch diesen sowie durch – teilweise bereits laufende – Forschungsvorhaben die noch offenen Fragen in nächster Zeit gelöst werden können.

7 Literaturverzeichnis

[1] Strubbe, Roland: Stand der Erarbeitung der DIN-Norm “Radongeschütztes Bauen”, 10. Sächsischer Radontag, Dresden 2016

[2] Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz) vom 27. Juni 2017, Bundesgesetzblatt 2017, Teil I Nr. 42

[3] https://din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-spec

[4] Ö-Norm S 5280-Radon

[5] Czech Technical Standard CSN 73 0601: Protection of Buildings against Radon from the Soil (Schutz von Gebäuden gegen Radon aus dem Boden)

[6] DIN 25 706-1, Passive Radonmessungen – Teil 1: Kernspurmeßverfahren

[7] DIN 25 706-2, Passive Radonmessungen – Teil 2: Aktivkohlemessverfahren

[8] DIN EN 61 577 (alle Teile), Strahlenschutz-Messgeräte – Geräte für die Messung von Radon und Radon-Folgeprodukte

[9] DIN ISO 11 665-8, Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 8: Methodik zur Erstbewertung sowie für zusätzliche Untersuchungen in Gebäuden

Gesundheitliche Risiken durch Radon – Ergebnisse aus epidemiologischen Studien

Nora Fenske[1)], Maria Schnelzer[1)], Michaela Kreuzer[1)]

[1)] Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Abteilung Wirkungen und Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung, Neuherberg bei München

Zusammenfassung

Epidemiologische Studien zu Radon in Wohnräumen und bei Uranbergarbeitern haben klar gezeigt, dass Radon und seine Zerfallsprodukte Lungenkrebs verursachen können. Bergarbeiter-Studien ergaben einheitlich einen signifikanten linearen Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit zunehmender beruflicher Gesamtradonexposition. Dieser Zusammenhang sinkt mit Zunahme von Zeit seit Exposition, Alter bei Exposition und Expositionsrate. Gepoolte Studien zu Radon in Innenräumen zeigten konsistent einen signifikanten linearen Expositions-Wirkungs-Zusammenhang ohne Hinweis auf einen Schwellenwert. Die Lungenkrebsrisiken durch Radon und Rauchen verstärken sich wechselseitig. Daher ergibt sich für Raucher und Ex-Raucher im Vergleich zu lebenslangen Nichtrauchern ein besonders hohes Lungenkrebsrisiko durch Radon. Noch unklar ist, ob Radon andere Krebserkrankungen als Lungenkrebs verursachen kann. Wenn überhaupt, ist das Risiko deutlich geringer als für Lungenkrebs und nur bei sehr hohen Expositionen beobachtbar. Dies muss in größeren Studien weiter untersucht werden.

Health effects of radon - Results from epidemiological studies

Summary

Epidemiological studies on indoor radon and uranium miners have clearly shown that radon and its decay products can cause lung cancer. Uranium miner studies consistently showed a significant linear increase in lung cancer risk with increasing cumulative radon exposure. This association decreases with increasing time since exposure, age at exposure and exposure rate. Pooled case-control studies on indoor radon consistently

showed a significant linear exposure-response relationship without indication of a threshold value below which radon exposure presents no risk. Lung cancer risks from radon and smoking are interacting multiplicatively. Therefore, smokers and ex-smokers have a considerably higher risk for lung cancer from radon compared to lifelong non-smokers. It has not yet been conclusively clarified whether radon can cause diseases other than lung cancer. If present at all, the risk is considerably lower than the risk for lung cancer and can only be observed at very high radon exposures. Therefore, this has to be further investigated in large studies.

1 Hintergrund

Es ist nachgewiesen, dass Radon und seine Zerfallsprodukte Lungenkrebs verursachen können. Bereits im Jahr 1988 wurde Radon vom Internationalen Krebsforschungszentrum (IARC) der Weltgesundheitsorganisation (WHO) als Karzinogen für den Menschen eingestuft. Eine erhöhte Sterblichkeit an Lungenkrebs durch Radon wurde zunächst anhand von epidemiologischen Studien bei Uranbergarbeitern nachgewiesen. Vor diesem Hintergrund stellte sich die Frage, ob auch wesentlich geringere Radonkonzentrationen, wie sie normalerweise in Wohnräumen vorkommen, ein Gesundheitsrisiko für die Bevölkerung mit sich bringen. Daher wurden seit den 1980er-Jahren zahlreiche Studien zu Radon und Lungenkrebs in Wohnräumen bei der Allgemeinbevölkerung durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Studien zeigten, dass auch die langfristige Radonexposition in Wohnräumen das Risiko für Lungenkrebs erhöht. Andere gesundheitliche Auswirkungen von Radon wurden bisher nicht konsistent belegt.

2 Epidemiologische Studien bei Bergarbeitern

Bereits im 16. Jahrhundert wurde bei unter Tage arbeitenden Bergarbeitern in Schneeberg im Erzgebirge eine ungewöhnliche Häufung von Lungenerkrankungen beobachtet und als "Schneeberger Lungenkrankheit" bezeichnet. Damals war noch unbekannt, dass es sich bei der Erkrankung um Lungenkrebs handelt und was die Ursache hierfür war. Etwa vier Jahrhunderte später, seit den 1960er-Jahren, wurden epidemiologische Kohortenstudien bei Bergarbeitern – vorwiegend Uranerz-Bergarbeitern – zur Untersuchung von gesundheitlichen Risiken durch Radon durchgeführt.

2.1 Gepoolte Analyse von 11 Bergarbeiter-Studie

Ein wichtiger Meilenstein war in den 1990er-Jahren die Veröffentlichung der gemeinsamen Analyse von 11 Bergarbeiter-Studien [1-3]. Diese Analyse umfasste insgesamt 68.000 Bergarbeiter in Europa, Nordamerika, Asien und Australien, von denen fast 2.800 an Lungenkrebs verstorben waren. Die wesentlichen Ergebnisse waren ein linearer Anstieg des Lungenkrebsrisikos mit zunehmender kumulierter Radonexposition; konkret wurde ein statistisch signifikanter Anstieg des zusätzlichen relativen Risikos (Excess Relative Risk, ERR) für die Sterblichkeit an Lungenkrebs pro Einheit kumulierter Radonexposition in Working Level Month (WLM) gezeigt. Weiterhin ergab sich eine Modifikation dieses linearen Zusammenhangs durch Alter, Zeit seit Exposition und Expositionsrate, d.h. der lineare Anstieg des Lungenkrebsrisikos nimmt mit zunehmender Zeit seit Exposition, zunehmendem Alter und zunehmender Expositionsrate ab.

Wie können diese Ergebnisse konkret interpretiert werden? Bei jüngeren Beschäftigten erhöht die Radonexposition das Lungenkrebsrisiko stärker als bei älteren Beschäftigten. Außerdem nimmt das Risiko für Lungenkrebs ab, je länger die Radonexposition zurückliegt. Für die Expositionsrate gilt, dass bei insgesamt gleicher kumulierter Radonexposition niedrige Expositionsraten zu einem höheren Lungenkrebsrisiko führen als hohe Expositionsraten. Das bedeutet, dass niedrige Radonexpositionen über einen längeren Zeitraum hinweg mit einem höheren Lungenkrebsrisiko behaftet sind als eine einmalige hohe Exposition (bei insgesamt gleicher kumulierter Radonexposition).

2.2 Deutsche Uranbergarbeiter-Kohortenstudie

Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung der gemeinsamen Analyse der 11 Bergarbeiter-Studien existierte die deutsche Uranbergarbeiter-Kohortenstudie noch nicht. Sie wird seit den 1990er-Jahren vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (BMU) durchgeführt. Die „Wismut-Studie“ umfasst fast 60.000 männliche Beschäftigte, die zwischen 1946 und 1990 im Uranerzbergbau der DDR tätig waren. Im aktuellen Beobachtungszeitraum 1946 – 2013 sind davon 3.942 Personen an Lungenkrebs verstorben. Damit ist sie die weltweit größte Kohortenstudie mit beruflich radonbelasteten Bergarbeitern. Hauptziele der Studie sind die Aufarbeitung der gesundheitlichen Folgen einer Beschäftigung bei der Wismut sowie die Abschätzung gesundheitlicher Risiken durch Strahlung und Staub. [4]

Für die Personen in der Kohorte liegen Daten zu Vitalstatus und ggf. zur Todesursache vor, die durch ein Mortalitäts-Follow-up regelmäßig aktualisiert werden. In dieser Vitalstatus- und Todesursachen-Recherche wird alle fünf Jahre festgestellt, ob die Personen in der Kohorte verstorben sind und wenn ja, an welcher Todesursache. Die berufliche Strahlenexposition der Personen in der Kohorte wurde nachträglich anhand einer detaillierten Job-Exposure-Matrix (JEM) abgeschätzt. Hierfür wurden die Arbeitsanamnesen der Beschäftigten mit den Daten der JEM verknüpft und die jährliche Exposition durch Radon und seine Zerfallsprodukte sowie die kumulierte Exposition über den gesamten Beschäftigungszeitraum in Working Level Month (WLM) berechnet.

Die Wismut-Kohortenstudie ist insgesamt fast genauso groß wie die 11 Bergarbeiter-Studien zusammen und ermöglichte eine erneute, unabhängige Abschätzung des Lungenkrebsrisikos durch Radon. Insgesamt konnten die Ergebnisse aus der gemeinsamen Analyse der 11 Bergarbeiter-Studie bestätigt werden [5, 6]. Es zeigte sich wiederum ein linearer Anstieg des Risikos, an Lungenkrebs zu versterben, mit zunehmender kumulierter Radonexposition, welcher durch Alter und Zeit seit Exposition sowie durch die Expositionsrate modifiziert wird. Zudem ermöglichte die Wismut-Studie aufgrund ihrer Größe eine genauere Untersuchung des Lungenkrebsrisikos bei moderaten und relativ niedrigen Radonexpositionen [6, 7], wie sie heutzutage im Bergbau vorkommen. Auch hier wurden signifikant erhöhte Lungenkrebsrisiken durch Radon gefunden. Diese Erkenntnisse sind relevant für die Berechnung von Lebenszeitrisiken, welche zum Beispiel bei der Umrechnung von Radonexposition in eine effektive Dosis („Radon-Dose-Conversion“) einfließen können und für die Berechnung von Verursachungswahrscheinlichkeiten. Letztere spielen in Verfahren zur Anerkennung von Berufskrankheiten eine wichtige Rolle.

3 Epidemiologische Studien zu Lungenkrebs durch Radon in Wohnräumen

3.1 Weltweite Fall-Kontroll-Studien

Der Zusammenhang zwischen Radon in Wohnräumen und dem Risiko für Lungenkrebs wurde in einer Reihe von Fall-Kontroll-Studien untersucht. In diesen Studien wurde die individuelle Radonexposition retrospektiv durch Messung von Radon in den aktuellen und zuvor bewohnten Wohnungen bzw. Häusern aller Studienteilnehmer ermittelt. Darüber hinaus wurden detaillierte individuelle Informationen zum lebenslangen

Rauchverhalten und zu anderen Risikofaktoren für Lungenkrebs gesammelt. Obwohl die Mehrheit der Studien einen positiven Zusammenhang zwischen der Radonexposition und dem Risiko für Lungenkrebs ergab, erreichten die geschätzten Risikokoeffizienten in den einzelnen Studien oft keine statistische Signifikanz und unterschieden sich teilweise deutlich. Daher wurden mehrere gemeinsame bzw. gepoolte Analysen durchgeführt [8-12].

3.2 Gepoolte europäische Studie

Die größte dieser gepoolten Studien ist die 2005 publizierte gemeinsame Auswertung von 13 europäischen Studien [8, 9]. Sie umfasst insgesamt 7.148 Lungenkrebspatienten und 14.208 Kontrollpersonen ohne diese Erkrankung. Für jeden Studienteilnehmer wurde die individuelle Exposition als zeitgewichteter Mittelwert der Radonkonzentrationen in allen Wohnungen, die in den letzten 5 bis 34 Jahren bewohnt wurden, berechnet. Dabei wurde die Radonkonzentration in den jetzigen und früheren Wohnungen über mindestens ein halbes Jahr gemessen. Zusätzlich wurde bei der Risikoschätzung die Unsicherheit der gemessenen Radonkonzentrationen in den Wohnungen berücksichtigt.

Die Analyse ergab einen statistisch signifikanten, annähernd linearen Anstieg des Lungenkrebsrisikos von 16 % pro Anstieg der langfristigen Radonkonzentration um 100 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3). Das 95 %-Konfidenzintervall umfasst dabei die Werte von 5 % bis 31 %.

Der ermittelte Anstieg unterschied sich nicht signifikant zwischen den Studien oder nach Alter, Geschlecht oder Rauchstatus. Zudem gab es keinen Hinweis auf einen Schwellenwert, unterhalb dessen kein erhöhtes Risiko besteht. Selbst bei Einschränkung der Analyse auf Studienteilnehmer mit Radonkonzentrationen unter 200 Bq/m^3 oder auf lebenslange Nichtraucher blieb die Expositions-Wirkungs-Beziehung statistisch signifikant.

Diese Ergebnisse sind konsistent mit denjenigen aus anderen gepoolten Studien aus Nordamerika [10, 11] und China [12].

3.3 Absolutes Lungenkrebsrisiko durch Radon

Ein weiteres wesentliches Ergebnis der gepoolten europäischen Studie zu Lungenkrebs und Radon in Wohnräumen ist die Abschätzung des absoluten Lungenkrebsrisikos bzw. des Lebenszeitrisikos durch Radon.

Tabelle 1 zeigt für lebenslange Nichtraucher und Raucher (täglich ca. eine Packung Zigaretten) getrennt die Wahrscheinlichkeit, bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs zu versterben, in Abhängigkeit von der Langzeit-Radonkonzentration in ihren Wohnräumen (aus Darby et al. 2005 [8]).

Dabei wurde von den beiden folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Ein Raucher, der täglich ca. eine Packung Zigaretten raucht, hat ein ca. 25-fach höheres Lungenkrebsrisiko als ein lebenslanger Nichtraucher.
- Der lineare Risikoanstieg beträgt 16 % pro Anstieg der Radonkonzentration um 100 Bq/m^3, unabhängig vom Raucherstatus.

Tab. 2: Wahrscheinlichkeit (angegeben als Anzahl Todesfälle pro 1.000 Personen), bis zum Alter von 75 Jahren an Lungenkrebs zu versterben, in Abhängigkeit von der Langzeit-Radonkonzentration für lebenslange Nichtraucher und für Raucher, die täglich ca. eine Packung Zigaretten rauchen.

Radonkonzentration (Bq/m^3)	Todesfälle je 1.000 lebenslange Nichtraucher	Todesfälle je 1.000 aktuelle Raucher
0	4,1	101
100	4,7	116
200	5,4	130
400	6,7	160
800	9,3	216

In Tabelle 1 lässt sich erkennen, dass in einer Gruppe von 1000 Rauchern (täglich ca. eine Packung Zigaretten) bei einer Radonkonzentration von 800 Bq/m³ bis zum 75. Lebensjahr mit 216 Lungenkrebstodesfällen zu rechnen ist, im Vergleich zu 101 Lungenkrebstodesfällen bei 0 Bq/m³ (hypothetisch). Bei 1000 lebenslangen Nichtrauchern steigt die Anzahl der vorhergesagten Lungenkrebstodesfälle in der gleichen Situation von vier auf neun. Für Ex-Raucher liegen die Werte dazwischen.

3.4 Bevölkerungs-attributables Lungenkrebsrisiko durch Radon

Basierend auf den Ergebnissen der gepoolten europäischen Studie wurde der Anteil und die Anzahl an Lungenkrebstodesfällen abgeschätzt, der durch Radon in Wohnräumen in der Bevölkerung verursacht wurde.

Nach Angaben von UNSCEAR (Wissenschaftlicher Ausschuss der Vereinten Nationen zur Untersuchung der Auswirkungen der atomaren Strahlung) beträgt der bevölkerungsgewichtete Mittelwert der Radonkonzentration in Wohnungen in der Europäischen Union etwa 59 Bq/m^3. Geht man von einem linearen Risikoanstieg von 16 % pro 100 Bq/m^3 aus, so verursacht Radon in Wohnräumen in Europa etwa 9 % aller Lungenkrebstodesfälle und etwa 2 % aller Krebstodesfälle. Absolut gesehen heißt dies, dass in der Europäischen Union ca. 20.000 Lungenkrebstodesfälle pro Jahr auf Radon zurückzuführen sind [8].

In Deutschland beträgt die durchschnittliche Radonkonzentration in Wohnungen 49 Bq/m^3. Nach Abschätzungen aus dem Jahr 2006 werden in Deutschland ungefähr 5 % aller Lungenkrebstodesfälle pro Jahr durch Radon in Wohnungen verursacht. Dies entspricht in absoluten Zahlen ungefähr 1.900 durch Radon verursachten Todesfällen pro Jahr [13].

4 Weitere Ergebnisse

4.1 Rauchen, Radon und Lungenkrebs

Rauchen ist der wichtigste Risikofaktor für Lungenkrebs. Bei der Untersuchung der gemeinsamen Wirkung von Rauchen und Radon auf das Lungenkrebsrisiko zeigten sowohl Bergarbeiter-Studien als auch Studien zu Radon in Wohnräumen konsistente Ergebnisse.

Zusammengefasst erhöht Radon das Risiko für Lungenkrebs bei aktuellen Rauchern, Ex-Rauchern und lebenslangen Nichtrauchern. Der relative Anstieg des Lungenkrebsrisikos pro Einheit Radonexposition wird bei Nichtrauchern tendenziell leicht höher geschätzt als bei Rauchern und Ex-Rauchern; diese Unterschiede sind jedoch in keiner Studie statistisch signifikant. Aktuelle Ergebnisse aus Bergarbeiter-Studien deuten darauf hin, dass sich die Lungenkrebsrisiken von Rauchen und Radon nicht nur addieren, sondern annähernd multiplizieren [6]. Das heißt, dass das gemeinsame Vorliegen der beiden Risikofaktoren das Lungenkrebsrisiko besonders stark erhöht.

Wie in Abschnitt 3.3 beschrieben, ist das absolute Risiko für Lungenkrebs pro Einheit Radonexposition für Raucher und ehemalige Raucher viel höher als für lebenslange Nichtraucher, da das Ausgangsrisiko (bzw. die Hintergrundraten) für Lungenkrebs bei Rauchern und Ex-Rauchern deutlich höher ist als bei lebenslangen Nichtrauchern. Die Mehrheit der Lungenkrebstodesfälle durch Radon treten deshalb bei Rauchern und Ex-Rauchern auf.

4.2 Andere Erkrankungen als Lungenkrebs

Auch andere Organe als die Lunge sind von der Exposition durch Radon und seine kurzlebigen Zerfallsprodukte betroffen, jedoch ist die aufgenommene Dosis um mindestens ein bis zwei Größenordnungen niedriger als für die Lunge. Ausnahmen stellen die extrathorakalen Atemwege wie der Hals-Nasen-Rachenraum und die Haut [14] dar. Hier liegt die geschätzte Dosis höher, aber unterhalb der Lungendosis.

Bisher konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden, dass Radon andere Erkrankungen als Lungenkrebs verursachen kann. In einigen Studien wurden Zusammenhänge zwischen der Radonexposition in Wohnräumen und dem Risiko für verschiedene Erkrankungen beobachtet. Die meisten dieser Studien waren jedoch ökologische Studien, die den Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen Radonexposition und der durchschnittlichen Krankheitsrate in verschiedenen geografischen Gebieten untersuchten. Diese Art von Studien liefern oft verzerrte oder sogar irreführende Schätzungen des radonbedingten Risikos, da in diesen Studien andere potenzielle Risikofaktoren nicht ausreichend kontrolliert werden können. Bislang konnte keiner dieser Zusammenhänge in einer qualitativ hochwertigen Fall-Kontroll- oder Kohortenstudie bestätigt werden.

Das Risiko für andere Krebsarten als Lungenkrebs durch Radon wurde auch in einigen Bergarbeiter-Studien untersucht. Derzeit sind die Ergebnisse nicht konsistent, d. h. es wurden in verschiedenen Kohortenstudien verschiedene Zusammenhänge gefunden. In der Wismut-Kohortenstudie gibt es Hinweise auf einen statistisch signifikanten Zusammenhang zwischen der kumulierten Radonexposition und dem Sterblichkeitsrisiko für die Gruppe aller Krebsarten außer Lungenkrebs [15], für Krebs der extrathorakalen Atemwege [16] und bei bestimmten Leukämie-Subtypen [17]. Die beobachteten Risiken sind allerdings viel geringer als das Risiko für Lungenkrebs. Zudem kann der Einfluss von Zufall und Confounding durch unkontrollierte Risikofaktoren, wie Alkohol, nicht ausgeschlossen werden.

Insgesamt gibt es bis heute keine eindeutigen Nachweise für andere gesundheitliche Auswirkungen durch Radon als Lungenkrebs. Derzeit wird eine gemeinsame Analyse von acht Uranbergarbeiter-Kohortenstudien aus fünf Ländern (Frankreich, Deutschland, Kanada, Tschechien und USA) mit fast 130.000 Beschäftigten durchgeführt. Die Ergebnisse dieses Projektes versprechen ein noch besseres Verständnis der Radonrisiken.

5 Zusammenfassung und Schlussfolgerungen

Die Gesundheitsgefahr durch Radon entsteht vor allem durch seine kurzlebigen Zerfallsprodukte und besteht in einer möglichen Schädigung des Lungengewebes, die die Entstehung von Lungenkrebs verursachen kann.

Epidemiologische Studien bestätigen, dass Radon in Wohnräumen das Risiko von Lungenkrebs in der Allgemeinbevölkerung erhöht. Dabei gibt es keinen Hinweis auf einen Schwellenwert, unterhalb dessen kein Risiko besteht. Selbst kleine Radonkonzentrationen können das Risiko für Lungenkrebs geringfügig erhöhen. [18]

Radon ist in vielen Ländern nach dem Rauchen der zweitwichtigste Risikofaktor für Lungenkrebs. Radon verursacht bei Personen, die rauchen oder in der Vergangenheit geraucht haben, mit höherer Wahrscheinlichkeit Lungenkrebs als bei lebenslangen Nichtrauchern. Es ist jedoch die Hauptursache für Lungenkrebs bei Personen, die noch nie geraucht haben.

Die Mehrheit (ca. 90 %) der Lungenkrebstodesfälle durch Radon werden durch geringe oder moderate Radonkonzentrationen (< 200 Bq/m^3) hervorgerufen, und nur wenige durch hohe Radonkonzentrationen. Deshalb ist es wichtig, nicht nur hohe Radonkonzentrationen zu vermeiden, sondern auch moderate Radonkonzentrationen zu verringern.

Bisher gibt es keinen Beleg, dass andere Erkrankungen als Lungenkrebs durch Radon verursacht werden können. Hinweise, dass bei sehr hohen Radonexposition wie in den frühen Jahren unter Tage im Bergbau evtl. ein leicht erhöhtes Risiko für andere Krebsarten als Lungenkrebs auftritt, müssen weiter untersucht werden.

6 Literaturverzeichnis

[1] Lubin JH. Radon and lung cancer risk: A joint analysis of 11 underground miners studies. US Dept of Health and Human Services, Public Health Service, National Institutes of Health Publication;1994.

[2] Lubin JH, Boice JD, Edling C, Hornung RW, Howe GR, Kunz E, et al. Lung cancer in radon-exposed miners and estimation of risk from indoor exposure. J Natl Cancer Inst. 1995; 87(11):817-27.

[3] National Research Council. Health effects of exposure to radon: BEIR VI. Washington, DC: The National Academy Press. 1999.

[4] Kreuzer M, Grosche B, Dufey F, Schnelzer M, Tschense A, Walsh L. The German Uranium Miners Cohort Study (Wismut cohort), 1946-2003 : Technical Report, Bundesamt für Strahlenschutz. 2011. Internet: http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:0221-201102185211

[5] Walsh L, Tschense A, Schnelzer M, Dufey F, Grosche B, Kreuzer M. The influence of radon exposures on lung cancer mortality in German uranium miners, 1946-2003. Radiation Research. 2010; 173(1):79-90.

[6] Kreuzer M, Sobotzki C, Schnelzer M, Fenske N. Factors modifying the radon-related lung cancer risk at low exposures and exposure rates among German uranium miners. Radiation Research. 2018; 189:165-76.

[7] Kreuzer M, Fenske N, Schnelzer M, Walsh L. Lung cancer risk at low radon exposure rates in German uranium miners. Br J Cancer 2015; 113(9): 1367-1369.

[8] Darby S, Hill D, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, et al. Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies. BMJ. 2005; 330(7485):223-8.

[9] Darby S, Hill D, Deo H, Auvinen A, Barros-Dios JM, Baysson H, Bochicchio F, et al. Residential radon and lung cancer – detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14,208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe. Scand J Work Environ Health. 2006; 32 Suppl 1:1-83.

[10] Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, et al. Residential radon and risk of lung cancer: a combined analysis of 7 North American case-control studies. Epidemiology. 2005; 16(2):137-45.

[11] Krewski D, Lubin JH, Zielinski JM, Alavanja M, Catalan VS, Field RW, et al. A combined analysis of North American case-control studies of residential radon and lung cancer. J Toxicol Environ Health A. 2006; 69(7):533-97.

[12] Lubin JH, Wang ZY, Boice JD, Xu ZY, Blot WJ, De Wang L, Kleinerman RA. Risk of lung cancer and residential radon in China: pooled results of two studies. Int J Cancer. 2004; 109(1):132-37.

[13] Menzler S, Schaffrath-Rosario A, Wichmann HE, Kreienbrock L. Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Reihe „Fortschritte in der Umweltmedizin“, Ecomed Verlag Landsberg, S.1-101; 2006.

[14] Kendall GM, Smith TJ. Doses to organs and tissues from radon and its decay products. Journal of Radiological Protection 2002; 22(4): 389-406.

[15] Kreuzer M, Walsh L, Schnelzer M, Tschense A, Grosche B. Radon and risk of extrapulmonary cancers: results of the German uranium miners' cohort study, 1960-2003. British Journal of Cancer. 2008; 99(11):1946-53.

[16] Kreuzer M, Dufey F, Marsh J, Nowak D, Schnelzer M, Walsh L. Mortality from cancers of the extra-thoracic airways in relation to radon progeny in the Wismut cohort, 1946–2008 Int J Radiat Biol 2014; 90: 1030-1035.

[17] Kreuzer M, Sobotzki C, Fenske N et al. Leukaemia mortality and low-dose ionising radiation in the WISMUT uranium miner cohort (1946-2013). Occup Environ Med 2017b, 74(4): 252-258.

[18] WHO (2009). WHO Handbook on Indoor Radon 2009, World Health Organization, Geneva.

Projekte und Messprogramme des Freistaates Bayern zu Radon

Simone Körner[1])

[1]) Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg

Zusammenfassung

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) hat mehr als 20 Jahre Untersuchungserfahrung im Bereich Radon in Gebäuden. Das LfU hat deshalb einen vollständigen Überblick über die Radonsituation in der Wasserversorgung in Bayern. Weitere Untersuchungen des LfU haben ergeben, dass eine energetische Sanierung die Radonsituation in Gebäuden beeinflussen kann. Deshalb empfiehlt das LfU Radonmessungen vor und nach einer energetischen Sanierung. Darüber hinaus hat das LfU die Fortbildung zur Radon-Fachperson in Deutschland etabliert und für Bayern 37 Radon-Fachpersonen ausgebildet. Derzeit wird die Radonsituation in öffentlichen Gebäuden erfasst. Diese Erkenntnisse und Ergebnisse der unterschiedlichen Untersuchungsvorhaben fließen heute in das Konzept zur Radon-Kommunikation des LfU ein.

Projects and surveys of the Free State of Bavaria concerning Radon

Summary

The Bavarian Environment Agency (LfU) has over 20 years of experience in the field of radon in buildings. Therefore the LfU has a full overview over the exposure in Bavarian water supply facilities. Another study of the LfU showed that energy saving measures can influence the radon situation in a building. Therefore the LfU recommends radon measurements before and after energy saving measures. Furthermore the LfU established the further education of radon professionals in Germany and educated 37 radon professionals for Bavaria. At present the radon situation in public buildings is evaluated. Those findings and results of the various projects run in the concept of the LfU for radon communication.

1 Einleitung

Das Bayerische Landesamt für Umwelt (LfU) untersucht seit mehr als 20 Jahren Radon in Gebäuden. Angefangen bei Radon an radonexponierten Arbeitsplätzen, wie in Wasserversorgungsunternehmen, über Radon in Innenräumen und die Auswirkung von Gebäudeabdichtungen sowie einem Forschungsvorhaben zur Fortbildung von Radon-Fachpersonen bis hin zur Radonsituation in öffentlichen Gebäuden und zielgruppengerechter Radon-Kommunikation. Dank dieser fundierten Grundlage und der bisher geleisteten Arbeit in der Radon-Kommunikation ist das LfU sehr gut auf das neue Strahlenschutzgesetz vorbereitet.

2 Abgeschlossene Projekte

2.1 Projekt Radonexposition an radonexponierten Arbeitsplätzen

In den Jahren 1997 bis 2004 wurden umfangreiche Untersuchungen zu Radon in Wasserversorgungsunternehmen, in Radonheilbädern und an untertägigen Arbeitsplätzen durchgeführt [1, 2]. Die Ergebnisse bilden die Grundlage des Vollzugs der Strahlenschutzverordnung an radonexponierten Arbeitsplätzen.

An alle damals etwa 2.600 Wasserversorgungsunternehmen in Bayern wurden 1998 Erhebungsbögen versandt und Daten über Anzahl und Art der Wassergewinnungsanlagen sowie Art und Dauer der Arbeitsabläufe erhoben. Danach wurden etwa 550 Wasserversorgungsunternehmen für Messungen des Radongehalts im Rohwasser, in der Raumluft in den Anlagen und der Radonexposition der Beschäftigten ausgewählt. Für die Erfassung der Radonexpositionen wurden Kernspurdetektoren (Exposimeter) verwendet, die über zwei Monate immer bei den Begehungen in den Anlagen mitgeführt wurden. Anhand der gemessenen Exposition wurde auf die Jahresexposition hochgerechnet. Diese Hochrechnung ergab für die Beschäftigten in bayerischen Wasserversorgungsunternehmen, dass etwa 10 % der etwa 4.500 Wasserwarte eine Jahresexposition über dem Eingreifwert von 6 mSv/a und 3 % eine Exposition über dem Grenzwert von 20 mSv/a erhalten. Besonders häufig wurden im ostbayerischen Raum und den Gebieten des Bayerischen Walds sowie Oberpfälzer- und Frankenwalds, erhöhte Radonexpositionen erfasst. Extrem hohe Werte des Radongehaltes in der Raumluft wurden im Fichtelgebirge gemessen.

Für den Vollzug der im August 2001 in Kraft getretenen Strahlenschutzverordnung wurde im Rahmen des Untersuchungsvorhabens ein Konzept zur Überwachung von Personen mit erhöhter Radonexposition entwickelt. Dafür wurden im Dezember 2001 alle Wasserversorgungsunternehmen schriftlich aufgefordert, Radonmessungen durchzuführen, dem LfU die Messergebnisse mitzuteilen und gegebenenfalls Maßnahmen zur Reduktion der Exposition ihrer Beschäftigten zu ergreifen.

Daraufhin gab es viele Anfragen zum Ablauf der Messungen. Diese wurden überwiegend telefonisch beantwortet mit Bezug auf die konkrete Situation des Anrufers. Die telefonische Beratung war somit ein wichtiges Mittel zur Information der Beschäftigten der Wasserversorgungsunternehmen. Weitere Wege der Information waren Vorträge auf Schulungstagen und eine Informationsveranstaltung zum Thema „Radon in Wasserwerken".

Eine erhöhte Radonexposition des Personals (über 6 mSv/a) wurde bei der Erhebung in 88 von insgesamt circa 2.500 Wasserversorgungsunternehmen festgestellt. Dabei wurden etwa 5.000 Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft und rund 2.000 Messungen der Radonexposition der Beschäftigten durchgeführt. In allen betroffenen Wasserversorgungsunternehmen wird die Exposition des Personals mit Exposimetern kontinuierlich überwacht.

Es wurde ein Konzept entwickelt, wie nach erfolgreichen Reduktionsmaßnahmen (organisatorische Maßnahmen, Belüftungsmaßnahmen oder Maßnahmen zum Abtrennen und Abdichten) der Erfolg auf Dauer gesichert werden und das Wasserversorgungsunternehmen aus der ständigen Überwachung „entlassen" werden kann.

Dank dieses Konzepts lag Ende 2015 nur noch bei sechs der ursprünglich 88 Wasserversorgungsunternehmen die Radonexposition des Personals über dem Eingreifwert.

Die Untersuchungen in der Wasserversorgung haben gezeigt, dass es Fälle mit Handlungsbedarf sowie wirksame Reduktionsmaßnahmen gibt.

2.2 Projekt Radon in Innenräumen – Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern

Das Untersuchungsvorhaben „Radon in Innenräumen – Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern" [3] begleitete von 2009 bis 2011 die energetische Sanierung verschiedener öffentliche Gebäude mit Messungen der Radonkonzentration, um Aussagen über die Auswirkungen

von energetischen Sanierungen auf die Radonkonzentration in Innenräumen treffen zu können. Dazu wurden 31 Gebäude ausgewählt, umfassende Radonmessungen vor und nach deren Sanierung durchgeführt und Gebäudezustand sowie Sanierungsmaßnahmen erfasst.

Die Auswahl der Gebäude erfolgte unter denjenigen, die im Rahmen des bayerischen Klimaprogramms Fördergelder für eine umfangreiche energetische Sanierung erhielten. Die Sanierung musste innerhalb des Jahres 2010 stattfinden, um Messungen vor und nach der Sanierung zu ermöglichen.

Die Messung der Radonkonzentration erfolgte mittels ortsgebundener Exposimeter, die über einen Zeitraum von mindestens drei Monaten aufgestellt wurden. Die Messungen vor der Sanierung erfolgten überwiegend im Herbst und im Winter 2009/2010. Die Messung nach der Sanierung hätte im folgenden Jahr möglichst zur gleichen Jahreszeit stattfinden sollen, um vergleichbare Bedingungen zu ermöglichen. Dies war aufgrund von Verzögerungen bei der Sanierung und dem begrenzten Projektzeitraum nur in wenigen Fällen möglich. Viele Messungen erfolgten daher zwischen Frühjahr und Spätherbst 2011. Nach der Sanierung wurden in einigen Fällen Kontrollmessungen mit zeitauflösenden Messgeräten durchgeführt.

Eine Abhängigkeit der Radonkonzentrationen in den einzelnen Gebäuden von der Radonkonzentration in der Bodenluft ist nicht ersichtlich. Bei den Gebäuden stellen daher Zustand, Baujahr und Nutzung die größeren Einflüsse dar.

Die Gebäudesubstanz und das Nutzungsverhalten in den gemessenen Räumen wurden mittels Fragebogen erhoben. Bei fast allen Gebäuden wurden bei einer Ortseinsicht die vorgenommenen Sanierungsmaßnahmen aufgenommen. Die meisten Gebäude wurden mit neuen Fenstern, Außendämmung und Dachdämmung versehen. Nur bei drei dieser Gebäude wurden keine weiteren Maßnahmen durchgeführt, wie z. B. Einbau dichterer Außentüren, Änderungen des Innengrundrisses sowie Einbau neuer Kabelschächte oder einer neuen Heizung. Die Vielzahl der erfolgten Kombinationen von Maßnahmen bei nur 31 Gebäuden lässt damit keinen Rückschluss auf den Einfluss einer Einzelmaßnahme zu. Zusätzlich hat sich bei vielen Gebäuden das Lüftungsverhalten der Beschäftigten nach der Sanierung intensiviert.

Die Messungen nach der energetischen Sanierung erfolgten tendenziell in der wärmeren Jahreszeit. Sie sind daher oft geprägt von intensiverem Lüften. Die Radonkonzentration nach der Sanierung wird in diesen Fällen

nicht nur von den Sanierungsmaßnahmen, sondern auch von den geänderten Lüftungsgewohnheiten beeinflusst. Unabhängig von den durchgeführten Sanierungsmaßnahmen, dem Messzeitraum, der Intensität des Lüftens und dem Geschoss ist jedoch bei gleichem Lüftungsverhalten nach der Sanierung ein Anstieg der Radonkonzentration zu erkennen.

Die energetischen Sanierungsmaßnahmen beinhalteten neben den klassischen Sanierungsmaßnahmen wie Fenstertausch, Außen- und Dachdämmung, die üblicherweise in Kombination angewendet werden, auch kleinere Maßnahmen, die gerade für eine Senkung der Radonkonzentration oft sehr wichtig sind: z. B. der Einbau dichter Türen oder neuer raumluftabhängiger Heizsysteme mit hohen Anforderungen an die Luftzufuhr sowie die Abtrennung von Treppenhäusern vom restlichen Gebäude.

In fast allen Räumen mit deutlich niedrigeren Radonkonzentrationen nach der Sanierung wurde auch intensiver gelüftet. In den meisten Fällen weisen nach der Sanierung intensiv gelüftete Räume Radonkonzentrationen unter 100 Bq/m³ auf. Sehr wenige der Räume mit deutlich niedrigeren Radonkonzentrationen werden nach der Sanierung ähnlich oder weniger gelüftet.

Nach den bisherigen Erfahrungen bei den Ortseinsichten war das Thema Radon in der Bevölkerung und besonders unter den Baufachleuten nur wenig bekannt. Baufachleute wie Architekten, Planer, Energieberater, kommunale und staatliche Bauverwaltungen sollten zukünftig für das Thema Radon sensibilisiert werden und Radon bei Sanierungsmaßnahmen oder Neubauvorhaben berücksichtigen.

2.3 Projekt Fortbildung zur Radon-Fachperson

Seit über 25 Jahren werden in Deutschland Untersuchungen zu Radonkonzentrationen in Gebäuden und im Freien durchgeführt. In Deutschland liegt die Radonkonzentration in Innenräumen im Mittel bei etwa 50 Bq/m³ Luft, wobei die Werte zwischen wenigen bis zu über Tausend Becquerel pro Kubikmeter schwanken können. In Gebäuden, die energetisch saniert werden, kann die Radonkonzentration deutlich ansteigen, da beispielsweise die Abdichtung der Gebäudehülle zu einer Reduzierung des Luftaustauschs im Gebäude führen kann, siehe auch Kapitel 2.2. Das zeigt, dass es notwendig ist, den Eigentümerinnen und Eigentümern von Gebäuden praktische Hilfe durch Radon-Fachpersonen anbieten zu können.

Diese Radon-Fachpersonen brauchen gute Kenntnisse zu Radon und zu Radonsanierungen, damit sie qualifiziert beraten, messen und Sanierungen begleiten können. Andere Länder, beispielsweise die Schweiz, bilden

bereits seit vielen Jahren Baufachleute erfolgreich zu Radon-Fachpersonen aus.

Im Projekt „Fortbildung zur Radon-Fachperson“ [4] wurde zwischen 2013 und 2015 ein Fortbildungskonzept in Form eines viertägigen Kurses nach Schweizer Vorbild entwickelt. In diesem Kurs wurden Kenntnisse über Radon, Strahlenschutz, Radonprävention bei Neubauten, Durchführung von Radonsanierungen, Messtechnik und Messmethoden vermittelt. Der Kurs besteht aus einem zweitätigen Theorieteil sowie einem Praxistag und schließt mit einer schriftlichen und einer mündlichen Prüfung ab.

Zu Projektbeginn stand der enge fachliche Austausch mit Fachkollegen aus Sachsen, Österreich und der Schweiz im Vordergrund. Zum einen zur Einarbeitung in das Thema Radon in Gebäuden und zum anderen, um das Konzept für die Fortbildung zur Radon-Fachperson des LfU zu erstellen. Diese Kontakte haben noch immer Bestand und werden beispielsweise bei den Treffen des Bayerischen Radon-Netzwerkes gepflegt.

Die Fortbildung zur Radon-Fachperson wurde über die Presse und das Internetangebot des LfU beworben und zwei Fortbildungen wurden erfolgreich abgeschlossen. So konnten innerhalb eines halben Jahres 37 Radon-Fachpersonen für Bayern fortgebildet werden.

Das LfU bietet die Fortbildung zur Radon-Fachperson heute nicht mehr an. Sie wird inzwischen von der Bauakademie Sachsen weitergeführt.

Zu Projektbeginn wurde auch das Bayerische Radon-Netzwerk gegründet, mehr hierzu in Kapitel 4.

3 Projekt Radonsituation in öffentlichen Gebäuden

Ziel des seit 2013 laufenden Projektes ist es, radonrelevante Parameter von öffentlich zugänglichen Gebäuden im Besitz des Freistaates Bayern zu erfassen und eine Messstrategie zur Feststellung der Radonsituation in öffentlich zugänglichen Gebäuden zu entwickeln und zu testen.

Sowohl die Anzahl, als auch die unterschiedlichen Arten von öffentlich zugänglichen Gebäuden sind beträchtlich. Deshalb wird zunächst nur eine begrenzte Anzahl an öffentlich zugänglichen Gebäuden erfasst, zum gegenwärtigen Zeitpunkt die öffentlich zugänglichen Gebäude im Besitz des Freistaates Bayern.

Für mehrere Testphasen wurden jeweils vier Gebiete anhand ihres geologischen Radonpotentials ausgewählt. Innerhalb dieser Testgebiete

wurden die Gebäude anhand ihres Alters, ihrer Bauweise und ihrer Größe ausgesucht.

Bei jeder Testphase wurden zunächst Abfragen radonrelevanter Daten mit Hilfe eines Fragebogens und danach Testmessungen der Radonkonzentration in den jeweiligen Gebäuden vorgesehen. Mit dem Fragebogen werden unter anderem gebäude- und nutzerspezifische Daten erhoben. Zur Beantwortung der nutzerspezifischen Daten müssen die Liegenschaftsverwaltungen und das örtliche Personal mit einbezogen werden. Dies ist auch bei den dann folgenden Messungen zum Gelingen des Projektes unerlässlich.

Insgesamt wurden in 102 Gebäuden 2.015 Messungen mit Exposimetern durchgeführt. 70 % der Messwerte liegen unter oder bei 100 Bq/m³, 20 % zwischen 100 und 300 Bq/m³. 2 % der Messwerte liegen zwischen 300 und 400 Bq/m³ und weitere 6 % zwischen 400 und 1.000 Bq/m³. 2 % der Messwerte liegen über 1.000 Bq/m³.

Mit Hilfe dieser Daten soll eine Mess- und Bewertungsstrategie entwickelt werden. Die Ergebnisse dieses Untersuchungsvorhabens sollen wesentlich dazu beitragen, dass die Träger von öffentlich zugänglichen Gebäuden in Bayern bei ihren künftigen Aufgaben zum Radonschutz unterstützt werden können.

4 Projekt zielgruppengerechte Radon-Kommunikation

4.1 Hintergründe zum Projekt

Mit dem neuen Strahlenschutzgesetz stehen die zuständigen Behörden vor der Aufgabe, die Bevölkerung über Radon und dessen Auswirkungen zu informieren. Da wir uns den größten Teil des Tages in Innenräumen aufhalten, geht Radonschutz uns alle etwas an. Mit diesem Projekt werden seit 2016 Strategien erarbeitet, um die Bevölkerung zielgruppengerecht über Radon in Gebäuden zu informieren.

4.2 Zielgruppenanalyse: Das Fundament der bayerischen Radon-Kommunikation

Am Anfang des Projekts stand die Frage: Wer muss über Radon in Gebäuden Bescheid wissen? Um einen Überblick über mögliche Einzelzielgruppen zu erhalten, wurden zunächst alle Einzelzielgruppen aus dem Themenfeld Radon in Gebäuden und anschließend aus angrenzenden Themenbereichen, wie Bauen und Gebäude, Handwerk und Berufe, Bildung, Gesundheitswesen, ungeordnet gesammelt. Dabei lag der

Schwerpunkt bei Einzelzielgruppen aus Bayern. Einzelzielgruppen auf Bundesebene wurden nur aufgenommen, wenn es keine bayerische Entsprechung gibt. Heute umfasst diese Sammlung weit mehr als 100 Einzelzielgruppen.

Bei dieser großen Zahl war klar, dass nicht für alle individualisierte Informationen erstellt werden können. Deshalb wurden die Einzelzielgruppen anhand ihres Hauptinteresses in Bezug auf Radon in Gebäuden zu Gruppen zusammengefasst (siehe Abbildung 1).

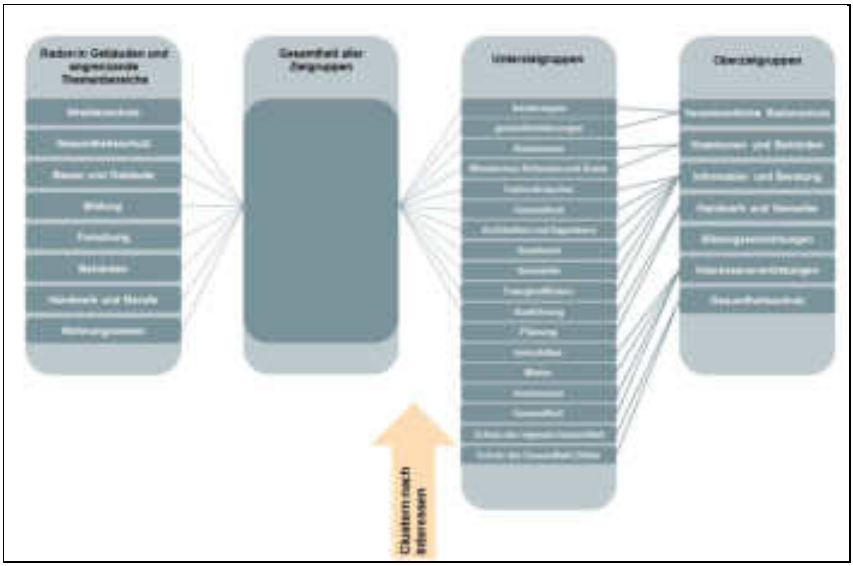


Abb. 2: Zielgruppenanalyse: Von Einzelzielgruppen zu Oberzielgruppen

Das Ergebnis sind sieben Oberzielgruppen, die zum Teil auch Unterzielgruppen haben. Für die Ober- und Unterzielgruppen wurden Unterscheidungsmerkmale, wie Interesse in Bezug auf Radon, Einstellung zu Radon und benötigtes Wissen um handlungsfähig zu sein, definiert. Anhand dieser Unterscheidungsmerkmale können neue Einzelzielgruppen jederzeit einer Ober- beziehungsweise Unterzielgruppe zugeordnet werden. Diese Analyse ist kein linearer Prozess, sondern verläuft in sich wiederholenden Zyklen. Für jede Oberzielgruppe wird ein Paket aus unterschiedlichen Kommunikationsmaßnahmen zusammengestellt, aufbauend auf den Merkmalen der Oberzielgruppe. Es wurden bereits einige Kommunikationsmaßnahmen erfolgreich umgesetzt.

4.3 Radon-Kommunikation in Bayern

4.3.1 Das Bayerische Radon-Netzwerk

Das Bayerische Radon-Netzwerk

- ist in Bayern Anlaufstelle für das Thema Radon in Gebäuden.
- veranstaltet jährliche Radon-Netzwerk-Treffen für den fachlichen Austausch und zum Netzwerken.
- führt eine Liste mit Radon-Fachpersonen in Bayern und Deutschland.
- informiert seine Mitglieder regelmäßig mit einem kostenlosen Newsletter über Aktuelles aus dem Radonschutz.

Die jährlichen Radon-Netzwerk-Treffen finden im Frühjahr statt. Ziel der Radon-Netzwerk-Treffen ist die Förderung des Austausches zwischen den Akteuren des Radonschutzes sowie die Vermittlung aktueller Themen rund um den Radonschutz. Deshalb wird das Programm immer so gestaltet, dass es eine ausgewogene Mischung aus aktuellen Inhalten und genügend Zeit für fachlichen Austausch bietet. Das nächste Radon-Netzwerk-Treffen findet am 27. März 2019 in Augsburg statt.

4.3.2 Newsletter „Radon-Info“

Der kostenlose Newsletter „Radon-Info“ informiert rund um das Thema Radon in Gebäuden. Er weist auf Fachtagungen und Projekte hin, stellt Aktuelles aus dem Radonschutz, neue Internetangebote sowie Publikationen zu Radon in Gebäuden vor. Er erscheint vier bis sechs Mal im Jahr.

Der Newsletter kann online bestellt werden unter: www.lfu.bayern.de: Publikationen > Newsletter

4.3.3 Publikationen – Visitenkarte, Flyer, UmweltWissen

Das LfU bietet zu Radon in Gebäuden verschiedene Publikationstypen mit unterschiedlicher Informationstiefe an.

Die Visitenkarte – Informationen für die Hosentasche

Auf Messen, Fachtagungen und Veranstaltungen werden Interessierte häufig mit Informationsmaterial überschwemmt. Diese Visitenkarte fasst alle wichtigen Fakten zu Radon in Gebäuden zusammen. Mit dem Hinweis auf die Informationen im Internetangebot des LfU ist die Kurzinformation für die Hosentasche komplett (siehe Abbildung 2).

Abb. 2: Erstinformation im Visitenkartenformat

Der Flyer – für alle, die mehr wissen möchten

Der kompakte Flyer „Radon in Gebäuden“ erklärt kurz und bündig was Radon ist, wo es herkommt, wie es auf Menschen wirkt und wie man sich davor schützen kann. Außerdem enthält er Hinweise auf Ansprechpartner in der Nähe, Bezugsquellen für Exposimeter und eine Planungshilfe für Maßnahmen.

Über www.bestellen.bayern.de (Suchbegriff „Radon“) kann der Flyer kostenlos bestellt oder heruntergeladen werden.

UmweltWissen: Radon in Gebäuden – für Beratungsstellen, Bürgerinnen und Bürger

Die Reihe UmweltWissen des LfU erklärt alltagsrelevante Umweltthemen praxisorientiert und allgemeinverständlich. Hinweise auf weiterführende Literatur und Internetangebote sowie eine gute crossmediale Verzahnung mit dem LfU-Internetangebot zu Radon in Gebäuden machen dieses Infoblatt zu einem alltagstauglichen Begleiter.

4.3.4 Das Radon-Haus – Das Unsichtbare sichtbar machen

Das Radon-Haus ist ein Blickfang auf Veranstaltungen, Fachtagungen und Messen und macht auf das Thema Radon in Gebäuden aufmerksam. Flackernde, rote Lichtpunkte stehen für das eigentlich unsichtbare Radongas. Die eine Hälfte des Radon-Hauses zeigt mögliche Eintrittsstellen für Radon und die andere Hälfte einige Beispiele für Sanierungsmaßnahmen (siehe Abbildung 3).

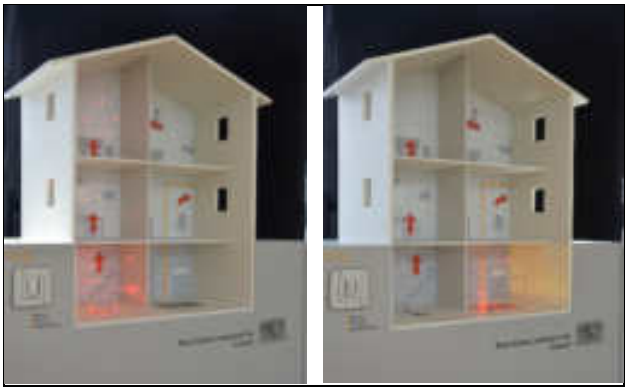


Abb. 3: Das Radon-Haus – Das Unsichtbare sichtbar machen

4.3.5 FAQ – die wichtigsten Fragen zu Radon kurz beantwortet

Mit dem Inkrafttreten des neuen Strahlenschutzgesetzes erwartet das LfU mehr Anfragen zu Radon in Gebäuden. Die FAQs beantworten die am häufigsten gestellten Fragen kurz, übersichtlich und allgemeinverständlich.

Die FAQs sind in das Internetangebot zu Radon in Gebäuden eingebettet unter: www.lfu.bayern.de: Strahlung > Radon in Gebäuden > FAQ: Radon in Gebäuden

5 Literatur

[1] M. Trautmannsheimer, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Radonexponierte Arbeitsplätze in Wasserwerken in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 01.05.2002.

[2] S. Körner, A. Buchanzow, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Strahlenexposition durch natürliche Radioisotope aus gewerblichen Betrieben in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, 30.12.2004

[3] M. Heidler, M. Loch, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Radon in Innenräumen – Auswirkungen von Gebäudeabdichtungen in Bayern“. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Januar 2012

[4] C. Himmelhan, A. Kunte, Abschlussbericht des Forschungsvorhabens „Fortbildungskonzept zur Radon-Fachperson und Aufbau des Bayerischen Radon-Netzwerks“. Bayerisches Landesamt für Umwelt, November 2015

Radonsanierung an Beispielen

Bernd Leißring[1)]

[1)] Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX Bernd Leißring und Nick Leißring GbR, Chemnitz

Zusammenfassung

Mit dem neuen deutschen Strahlenschutzgesetz (2017) und den damit vorgegebenen Maßnahmen zum Radonschutz werden bauliche Sanierungsmaßnahmen bei belasteten Gebäuden zunehmend notwendig und verbindlich.

Die aktuelle Zunahme von Anfragen auf autorisierte Messungen und kalibrierte Messgeräte und auf gutachterliche Aussagen zur Klärung des Handlungsbedarfs zeigt auch die zwingende Notwendigkeit Sanierungsvorschläge zu unterbreiten.

An Beispielen werden erfolgreiche Maßnahmen zur Senkung der Radonbelastung erläutert. Dabei zeichnen sich zwei Hauptwege, zum einen der Senkung des Quelleinflusses durch Ableitung der radonbelasteten Bodenluft und damit der Verhinderung der Belastung der Gebäudeinnenluft und die Erhöhung des Luftwechsels ab.

Auf die Erfordernisse der turnusgemäßen Prüfung der technischen Anlagen zur dauerhaften Sicherung des Sanierungserfolges wird verwiesen.

Radon rehabilitation with help of examples

Summary

With the new German law for radiation protection (2017) architectural rehabilitation measures of buildings, which are polluted, will be more and more necessary and binding.

The current increase of enquiries for authorized measurements with calibrated measuring instruments and for expert statements concerning the clarification of the call for action shows also the urgent necessity to put forward rehabilitation suggestions.

Examples of successful measures to decrease the radon pollution will be illustrated. We can see two main ways for the decrease of the source

influence by drainage of the radon polluted ground air and with it in combination with the pollution of the building air circulation and the increase of the air exchange.

It will be referred to the requirements of a rotational inspection of the technical systems for a long term protection of rehabilitation success.

1 Einführung

Seit dem 27. Juni 2017 gibt es das neue Strahlenschutzgesetz. Die Teile zu Radon in Gebäuden treten jedoch erst am 31.12.2018 in Kraft. Und was machen wir in der Zwischenzeit? Informieren – messen – handeln. Wir denken, dass dies der richtige Zeitpunkt ist, sich weiter intensiv über das Thema Radon in Gebäuden zu informieren. Denn nur wer weiß, worum es geht, kann zukünftige Radon-Messungen planen und je nach den Messergebnissen zielgerichtet handeln. Mit den gewonnenen Erfahrungen bei dem Problemkreis der Senkung der Radonkonzentration in Innenräumen durch angepasste technische Maßnahmen [3] und zunehmend mit der Aufgabe des radongeschützten Bauens, liegenumfangreiche Kenntnisse über sich daraus ergebende Probleme vor. An Beispielen aus der Praxis sollen mit dem Vortrag Wege zur Einhaltung und Erreichen des Referenzwertes für Radon erläutert werden.

War noch vor Jahren das Sanierungsziel für die Radonbelastung in Innenräumen bei 1.000 Bq/m³, sind jetzt insbesondere mit dem neuen Strahlenschutzgesetz anspruchsvolle Zielstellungen für den Radonschutz in Wohn- und in Arbeitsräumen gegeben. Der Referenzwert zum Schutz vor Radon in Innenräumen für Aufenthaltsräume und an Arbeitsplätzen beträgt jetzt aktuell 300 Bq/m³.

So wird vom Bundesamt für Strahlenschutz in [3] ausgeführt:

„Mit dem neuen Strahlenschutzgesetz werden nun erstmals klare Maßnahmen zur Radonminderung eingeführt. So wird unter anderem ein Referenzwert zur Bewertung der Radonkonzentration in Aufenthaltsräumen festgelegt. Dieser sollte nicht überschritten und wenn möglich nach dem Minimierungsgrundsatz des Strahlenschutzes unterschritten werden. Hierzu sollen Schutzmaßnahmen ergriffen werden, um den Zutritt von Radon in Innenräumen zu vermeiden oder zumindest zu erschweren. Um welche es sich handelt, wird in einem regelmäßig zu aktualisierenden Maßnahmenplan erläutert.

Abb. 1: Radonkonzentration in der Umwelt und beim Eindringen des Radons in ein Haus (Quelle SMUL 2009)

Darüber hinaus werden bis 2020 Gebiete in Deutschland ermittelt, in denen eine hohe Radonkonzentration in Gebäuden zu erwarten ist. In diesen Gebieten sind besondere Maßnahmen zum radonsicheren Bauen zu beachten.

Gestärkt wird durch das neue Gesetz insbesondere auch der Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen. Bisherige Schutzvorschriften galten nur für bestimmte Arbeitsplätze etwa in Bergwerken oder Höhlen. Mit dem neuen Strahlenschutzgesetz fallen in den Gebieten mit hoher Radonkonzentration alle Arbeitsplätze in bodennahen Stockwerken unter die Vorschriften zum Schutz vor Radon an Arbeitsplätzen.“

2 Zielstellungen und Notwendigkeiten zur Senkung der Radonbelatungen in Bestandsgebäuden

Mit dem vorliegenden Referenzwert für die Radonkonzentration in Innenräumen und an Arbeitsplätzen ist der Anhaltspunkt für die Zielrichtung gegeben. Allein durch ein neues Gesetz werden aber die Voraussetzungen für die Quellen der natürlichen Radioaktivität und die Gegebenheiten von der Belastung des Baugrundes bis hin zu den möglichen Eintritten in ein Gebäude nicht geändert. Aus dem Fundus der Erfahrungen bei der Aufgabe eine Senkung der Radonbelastung zu realisieren, wird deutlich,

dass jedes Objekt seine eigene Charakteristik in Bezug auf die Quellen des Radonzutrittes in das Gebäude aufweist. Es ist deshalb wichtig, die Wirkung der Radonquellen durch gezielte Messungen zu ermitteln und den Systemcharakter der Radonausbreitung im Gebäude zu erkennen, um daraus Wege zur Sanierung abzuleiten.

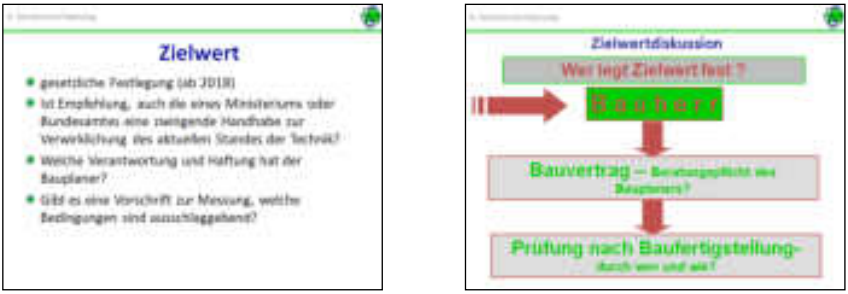


Abb. 2: Zielwertdiskussion

Schon die Frage „Wo ist radongeschütztes Bauen notwendig?“ zeigt für die Praxis bei vielen Bauprojekten, dass eine zielgerichtete Untersuchung, welche für die Planung relevant und notwendig ist, oft nicht ausreichend berücksichtigt wird, da keine entsprechenden radiologischen Untersuchungen des Baugrundes und der Baumaterialien vorgenommen werden. Auch die Frage des vorliegenden und geplanten Luftwechsels im Gebäude ist von generellem Interesse.

Auch sind Fehler, die trotz festzulegendem Radonschutz im Baugesehen auftreten können Ursache von Radonbelastungen, die womöglich erst nach der Fertigstellung, wenn eine abschließende Kontrollmessung des Gebäudes erfolgt, festgestellt werden und dann zu Nachbesserungen zur Einhaltung der vorgegebenen Zielstellung führen.

Somit kommt den baubegleitenden Messungen eine wichtige prophylaktische Bedeutung zu.

Auch eine notwendige, abschließende Messung nach Fertigstellung des Objektes sollte unbedingt eingeplant werden. Zudem ist es notwendig, dass in den Bauunterlagen die Gegebenheiten des baulichen Radonschutzes dokumentiert werden, um auch einen fehlerhaften Eingriff in die baulichen und technischen Maßnahmen in der Folgezeit der Nutzung der Gebäude zu verhindern.

Erfahrungsgemäß wird dies selten vorgesehen, so dass letztlich kein Beweis für den erfolgreich realisierten Radonschutz vorliegt. Dies betrifft insbesondere die Prüfung und turnusgemäßen Wartung von technischen Anlagen zur Senkung der Radonbelastung.

3 Beispiele für realisierte Maßnahmen an Objekten zur Erreichung der Empfehlungswerte für die Radonkonzentration in Innenräumen

Die zu erläuternden Beispiele umfassen zwei Gruppen der Möglichkeiten zur Senkung der Radonkonzentration in der Innenluft von Gebäuden:

1. Minderung der Quelle radonbelasteter Bodenluft
2. Erhöhung der Luftwechselrate durch gezielte Belüftung

Geht man bei der Planung der Radonschutzmaßnahmen davon aus, hohe Sanierungskosten zu vermeiden, ist es unerlässlich schon zu Beginn die o. g. radiologischen Messungen auszuwerten und daraus die Strategie für die Radonsanierung abzuleiten. Bewährt hat sich ein iteratives Herangehen an das Sanierungskonzept entsprechend Abbildung 3.

Abb. 3: Iteratives Sanierungskonzept

Die praktische Erfahrung zeigt, dass der Radonschutz beim Bau der Gebäude zum Teil vollständig vernachlässigt oder vergessen, wurde oder dass die Bauüberwachung und die abschließende Kontrollmessung (Dokumentation) nicht eingeplant oder durchgeführt wurden.

Hier ist unbedingter Nachholbedarf auch in Hinblick auf das vorliegende neue Strahlenschutzgesetz gegeben.

Eine Auswahl aus der großen Vielzahl von realisierten Radonsanierungen (aus verschiedenen geografischen Gegenden wie dem Raum Dresden, dem Fichtelgebirge und Johanngeorgenstadt) zeigen die unterschiedlichen Wege zur Senkung der Radonbelastung von den radiologischen Messungen zur Ursachensuche ausgehend, über die Sanierungsschritte bis zur Erfolgskontrolle.

3.1 Objekt im Raum Dresden

Bei dem Gebäude handelt es sich um einen nichtunterkellerten Altbau mit sechs Räumen. Es lagen keine Informationen über eine Abdichtung im Fußbodenaufbau vor.

Über Undichtigkeiten im Fußbodenaufbau kann Bodenradon (Maximum 180 kBq/m³) in das Gebäude eindringen und zu erhöhten Radonkonzentrationen in Abhängigkeit von der Luftwechselrate in den einzelnen Zimmern, mit Spitzen von über 1.000 Bq/m³ führen.

Als Sanierungskonzept wurde die Erzeugung eines definierten Unterdruckes in den einzelnen Segmenten des Gebäudes realisiert. Folgende Arbeitsschritte wurden konzipiert:

- Charakterisierung des Baugrundes bezüglich Gastransporteigenschaften
- Bestimmung der Gaspermeabilität des Baugrundes
- Dichtheit der Gebäudehülle
- Lokalisierung von Schwachstellen für konvektiven Bodenlufttransport
- Dimensionierung und Anzahl der Absaugungen
- Bohrarbeiten im Nahfeld des Gebäudes,
- Errichtung eines Ableitbauwerkes und Abluftkamins,
- elektronische Kontrolle des Unterdruckes.

Nach der Umsetzung der Absaugung wurde mittels Dosimeter- und Monitormessungen die Erfolgskontrolle messtechnisch durchgeführt.

Tab. 1: Dosimetermessungen nach der Sanierung

Nummer	Expositionszeit				Rn-Konz.	Messort
	Beginn		Ende			
	Datum	Uhr-zeit	Datum	Uhr-zeit	Bq/m³	
T32747	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**39**	**Zi. 004**
T32745	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**34**	**Zi. 003**
T32748	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**24**	**Zi. 005**
T32737	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**68**	**Zi. 007a**
T32738	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**< 23**	**Zi. 007**
T32736	21.01.16	13:00	18.03.16	8:30	**49**	**Zi. 006**

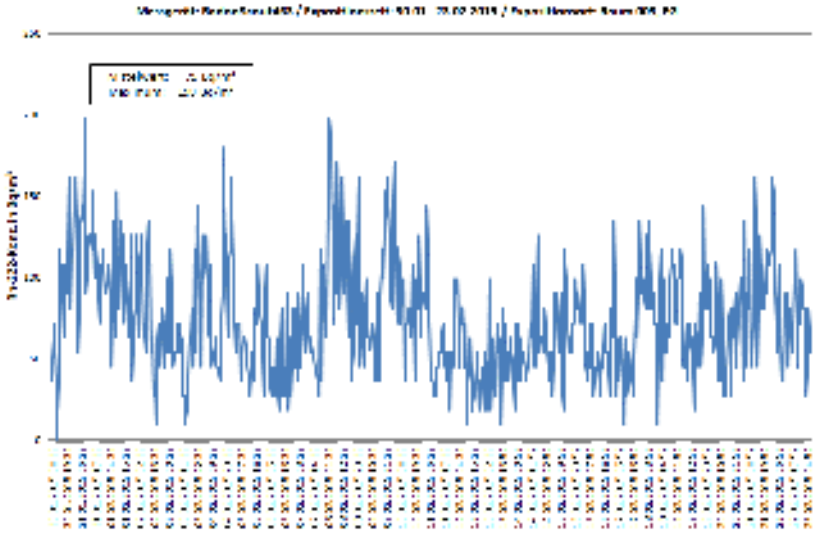


Abb. 4: Beispiel der erfolgreichen Sanierung durch Monitormessungen

3.2 Objekte im Fichtelgebirge

Die untersuchten Gebäude liegen in der Region Fichtelgebirge in Bayern. Oberflächenhafter Bergbau ist in dem Gebiet bekannt, aber an den direkten Standorten der Gebäude nicht nachweisbar. In Tabelle 1 werden die Radonkonzentrationswerte nach der erfolgreichen Sanierung gezeigt. Die Werte vor der Sanierung überschritten den Empfehlungswert von 300 Bq/m³ deutlich.

Zum Einsatz kam im ersten Gebäude ein Lüftungssystem, welches den Keller des Gebäudes kontinuierlich absaugt und die radonhaltige Luft nach außen transportiert. An den Arbeitsplätzen wurde nach der Sanierung eine Radonkonzentration < 100 Bq/m³ nachgewiesen.

Tab. 2: Radonkonzentrationen nach der Sanierung

Monitor	Expositionsort	C-Rn in Bq/m³	[illegible]
AlphaE 460	KG, [illegible] Archiv	251	
AlphaE 447	KG, Flur	66	
AlphaE [illegible]	KG [illegible]	[illegible]	Radonquelle
AlphaE 450	EG, Flur	331	
AlphaE 463	EG, Besprechungsraum	733	liegt über Radonquelle
AlphaE 474	EG, Zi. 14	133	
AlphaE [illegible]	EG, Zi. 18	[illegible]	
AlphaE 450	OG, Zi. 22	66	
AlphaE 470	OG, Zi. 24	72	
AlphaE 475	OG, Zi. 25	68	
RadonScout 1414	OG, Zi. 24	[illegible]	
RadonScout 1100	OG, Zi. 26	61	
RadonScout 1118	DG, Flur	333	
RadonScout 1421	DG, Flur	342	

Das zweite Gebäude zeigte den Umstand, dass die radonhaltige Luft nicht aus dem erdberührenden Kellergeschoss kam.

Tab. 3: Werte der Radonkonzentration vor der Sanierung

Monitor	Expositionsort	C-Rn
DoseMan	Lehrmittelzimmer, OG	Mittelwert 475 Bq/m³
RadonScout	Klassenraum 4, OG	Mittelwert 1.272 Bq/m³
RadonScout	Klassenraum 2, OG	Mittelwert 589 Bq/m³
RadonScout	Klassenraum 3, OG	Mittelwert 586 Bq/m³
AG 1828	Klassenraum, EG	Mittelwert Lüftung 1.800 Bq/m³
AG 1998	Gruppenraum, EG	Mittelwert 2.706 Bq/m³
AG 1049	Dach	Mittelwert 204 Bq/m³
AG 1049	Keller, Heizung	Mittelwert 246 Bq/m³

Die Untersuchungen erbrachten, dass die Radonkonzentration von den verbauten Materialien herstammen musste. Die Böden der Zimmer im Erdgeschoss und Obergeschoss wurden geöffnet und von dem als Dämmmaterial verwendeten Sand befreit. Zudem wurden in diesen Zimmern Lüfter installiert.

Tab. 4: Werte der Radonkonzentration nach der Sanierung

Monitor	Expositionsort	Ø Rn-Konz. in Bq/m³	Ø Rn-Konz. an Schultagen in Bq/m³
AlphaE 450	Klassenraum EG	367	**238**
AlphaE 473	Klassenraum OG	441	**186**

Die Lüfter werden nur in den Betriebsstunden verwendet, was den geringen Anstieg im Mittelwert der Gesamtzeit der Messungen erklärt.

3.3 Objekt in Johanngeorgenstadt

Das Gebäude liegt in Johanngeorgenstadt. Oberflächennaher Bergbau ist am Standort und in der weiteren Umgebung bekannt.

Die Ergebnisse der Radonmessungen vor der Sanierung zeigten zusammenfassend folgendes Bild:

Tab. 5: Radonkonzentrationen vor der Sanierung

Monitor	Expositionsort	Beginn	Ende	Ø C-Rn
AlphaGuard 1928	Büro, EG	10.02.2015 12:00	22.02.2015 20:00	8.915
AlphaGuard 1049	Kasse, EG	10.02.2015 12:00	24.02.2015 12:00	4.848
DoseMan 044	Technikraum, EG	10.02.2015 13:00	23.02.2015 07:00	18.976
DoseMan 138	Vortragsraum, OG	10.02.2015 13:00	12.02.2015 19:00	5.785

Die Monitormessungen vor und nach der Sanierung im Lager des Erdgeschosses sind in Abbildung 5 dokumentiert.

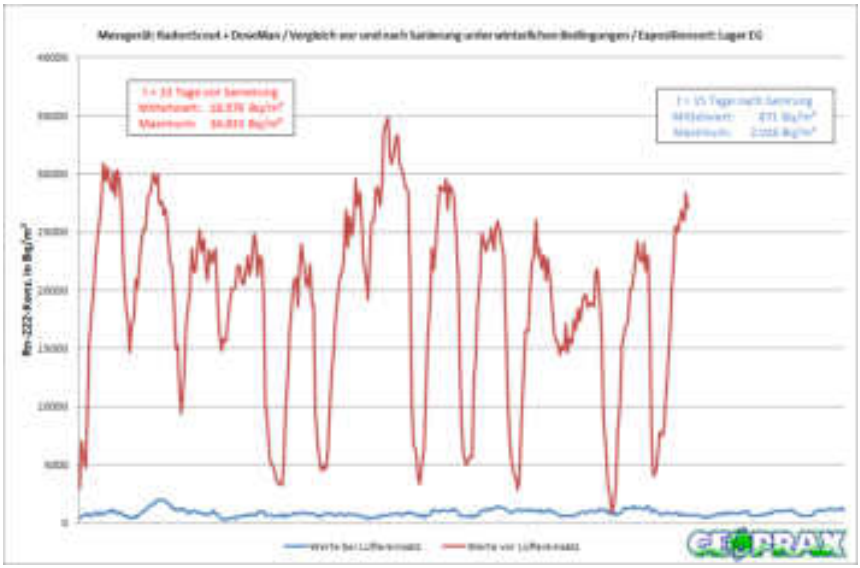


Abb. 5: Vergleich vor und nach Sanierung

Die Sanierung bestand in der Realisierung einer Luftabsaugung (Lüfter Typ Helius) unter dem Fußboden des Erdgeschosses. Dazu wurde unter Berücksichtigung der Lage der Streifenfundamente drei Bohrungen zu Absaugung vorgenommen und durch Verbindungselemente verbunden und auf Höhe der Dachtraufe abgeführt.

4 Thesen für messtechnische Kontrolle und Dokumentation des Radonschutzes nach [5]

Ausgangssituation Baugrund:

- radiologisches Gutachten zur Feststellung der Gegebenheiten zum vorbeugenden Radonschutz
- Ableitung der notwendigen Radonschutzmaßnahmen
    - Einflussgrößen: radiologische Situation des Baugrundes, Bauwerksdimensionierung, Nutzungsabsichten und Luftwechselstrategie

Bauwerk:

- Prüfung der bautechnisch realisierten Radonschutzmaßnahmen im Bauablauf
    - Abdichtungen erdberührender Bauteile
    - Medienzuführungen
- Prüfung des erreichten Standes des Radonschutzes nach Abschluss der Baumaßnahmen (abschließende Kontrollmessung)
- Dokumentation des baulichen Radonschutzes (Haus- bzw. Bauakte)

Nach [2] sind folgende Prämissen für den nachhaltigen Radonschutz zu beachten:

- gesetzliche Festlegung (ab 2018)
- Ist Empfehlung, auch die eines Ministeriums oder Bundesamtes eine zwingende Handhabe zur Verwirklichung des aktuellen Standes der Technik?
- Welche Verantwortung und Haftung hat der Bauplaner?
- Gibt es eine Vorschrift zur Messung, welche Bedingungen sind ausschlaggebend?

Es besteht die Notwendigkeit den zu erreichenden Zielwert für den Radonschutz festzulegen. Dies wird vom Bauherrn bestimmt. Folgende Gesichtspunkte sind nach [5] zu berücksichtigen:

- Bei einer Planung nach HOAI ist in der Leistungsphase 1 (Grundlagenermittlung) in Gebieten mit erhöhter Radonbelastung in der Bodenluft die Radonkonzentration zu ermitteln.
- In den Leistungsphasen 2-5 (Planungsleistungen) sind die darauf abgestimmten Maßnahmen zur Minimierung der Radonkonzentration in der Innenraumluft planerisch zu treffen. Werden keine Messungen vorgenommen, sind vorsorglich erhöhte bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Radoneintritt zu treffen. „Werden keine Messungen vorgenommen, ist dies zu begründen und es sollten vorsorglich erhöhte bauliche Sicherungsmaßnahmen gegen Radoneintritt getroffen werden.“

- „Gleichwertig zu einem Brandschutznachweis ist das Planungsergebnis des Radonschutzes in einem ‚Radonschutz-Nachweis' zu erstellen."
- In der Leistungsphase 8 (Bauüberwachung) ist die luftdichte Ausführung der Bauteile mit Erdkontakt zu überwachen.

Zudem ist es empfehlenswert, im Bauvertrag festzulegen, wie die abschließende Kontrollmessung erfolgt.

Auch sollte bei Umnutzung der Gebäude oder Änderungen an der Gebäudesubstanz eine turnusgemäße kontrollierende Radonmessung erfolgen. Dies wird insbesondere auch bei einem realisierten Radonschutz durch Absaugung oder Belüftung jährlich empfohlen. Damit werden mögliche Veränderungen des Bauwerkes bezüglich einer veränderten Radonzufuhr auch durch Setzungen oder Rissbildung erfasst.

5 Quellen

[1] Bundesgesetzblatt Jahrgang 2017:
Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung.
Bonn am 3.Juli 2017

[2] Leißring, B.:
Zielstellungen und Erfahrungen bei aktuellen Fragen des radonsicheren Bauens und Sanierens
Vortrag zum 8. Sächsischen Radontag 2014

[3] BfS:
Gesetzliche Regelungen zum Schutz vor Radon.-
www.bfs.de

[4] SMUL Sachsen:
Radonschutzmaßnahmen für Neu- und Bestandsbauten.-
Dresden 2013

[5] Leißring, B.:
Warum bei Neubauten die Kontrolle der Radonkonzentration in Wohn- und Arbeitsräumen notwendig ist - Beispiele aus der Praxis

[6] 11. Sächsischer Radontag, Tagungsband
Dresden 2017

Ergebnisse aktueller Radonmessungen in Gebäuden der Oberlausitz

Thomas Schönmuth[1)], Uwe Heidrich[1)]

[1)] Hochschule Zittau/Görlitz

Zusammenfassung

Durch das Labor ‚Strahlentechnik' der Hochschule werden seit 2016 Messungen der Radon-Konzentration in Aufenthaltsräumen der Hochschule und auch in weiteren Gebäuden durchgeführt. Die Messungen bestätigen die prinzipiellen Voraussagen der Radonkarten. In mehr als 90 % aller untersuchten Gebäude wird der Richtwert von 300 Bq/m³ sicher unterschritten; einfache Lüftungsmaßnahmen sind für eine wirksame Reduzierung der Aktivitätskonzentrationen oft ausreichend. Im Einzelfall wurden auch Messwerte oberhalb von 1000 Bq/m³ dokumentiert – hier sind weitere Maßnahmen angebracht.

Results of current radon measurements in the Oberlausitz region

Summary

The Radiation Lab has been carrying out radon concentration measurements in the University's common rooms and other buildings since 2016. The measurements confirm the basic predictions of radon maps. In more than 90 % of all buildings examined, the guideline value of 300 Bq / m³ is safely undercut; simple ventilation is often sufficient to effectively reduce activity levels. In individual cases, measured values above 1000 Bq / m³ were documented - further steps are appropriate.

1 Zielstellung

In Deutschland konzentrieren sich die Gebiete mit hohen Radonbodenwerten auf einige Mittelgebirgs- und Alpenregionen insbesondere in den Bundesländern Sachsen und Bayern [1]. Auch für den Bereich der Oberlausitz geben die Radonkartierungen Hinweise auf möglicherweise erhöhte Werte der Radonkonzentrationen in Wohn- und Arbeitsräumen (siehe Abb. 1).

Ziel der Messungen war es daher, Informationen über tatsächliche Konzentrationen von Radon (222-Rn) in der Raumluft zu erhalten. Dabei standen zunächst Messungen in den Gebäuden der Hochschule selbst (öffentliche Gebäude) im Vordergrund; weiterhin erfolgten auch Messungen in Privathaushalten im und auch außerhalb des Landkreises Görlitz. Zusätzlich lag ein weiterer Schwerpunkt auf der Abschätzung von Thoron (220-Rn)-Konzentrationen bei einzelnen Objekten.

Von Anfang an wurde versucht, sowohl bei der Planung und Vorbereitung als auch bei der Durchführung und Qualitätssicherung der Messungen die Studierenden aktiv einzubeziehen.

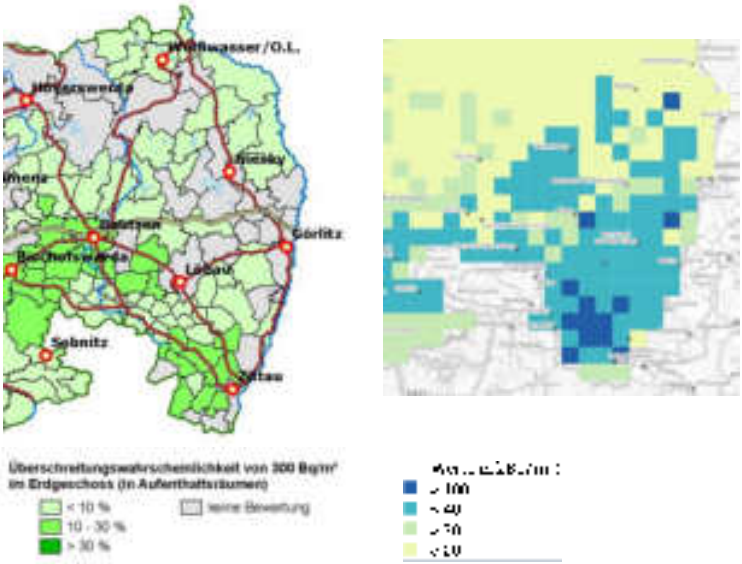


Abb. 1: Ausschnitte aus Radonkartierungen
Links: Überschreitungswahrscheinlichkeit von 300 Bq/m³ im Erdgeschoss von Gebäuden (SMUL [2])
Rechts: Radon in der Bodenluft (Geoportal des BfS [3])

2 Vorbereitung und Qualitätssicherung

Alle Messergebnisse sollen in einer einheitlichen Form dokumentiert und archiviert werden. Dabei sind alle relevanten Informationen über:

- Lage des Gebäudes
- Informationen zur Bausubstanz (soweit verfügbar)
- Lage der auszumessenden Räume
- Messgerät und Messwerte

zu erheben. Im Sinne einer Vereinheitlichung wurde dabei der Fragebogen der Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft inkl. Einverständniserklärung verwendet.

Es erfolgte vorrangig eine Orientierung auf aktive Messgeräte; die Messzeiten lagen i.a. zwischen drei bis vier Wochen. Damit war es sehr gut möglich, Studierende im Rahmen von Projekt- oder hilfswissenschaftlichen Arbeiten aktiv einzubeziehen. Zugleich konnten Einflüsse durch An- oder Abwesenheit von Personen oder einfache Lüftungsmaßnahmen dokumentiert werden. Die Ergebnisse sind damit nicht unmittelbar aussagekräftig im Sinne des § 155 (1) Satz 1 StrlSchV [4], können jedoch als Hinweis für mögliche Überschreitungen des Referenzwertes von 300 Bq/m³ interpretiert werden [4,5].

Für die Qualitätssicherung wurden zunächst Stammblätter für alle verfügbaren Messgeräte erstellt. Für die Messungen selbst wurden i.a. Geräte der Serie RadonScout bzw. ThoronScout der Fa. Sarad verwendet, die mit einer bereitgestellten Software ausgelesen werden können. Zusätzlich werden auf den Stammblättern neben den Einsatzzeiten und –orten Geräteparameter (z.B. aktuelle Batteriespannung) vermerkt.

Alle Geräte wurden vor Ihrem Einsatz einer Prüfung unterzogen (Kontrolle Betriebsspannung und gegebenenfalls Wechsel der Batterie; Test Betriebssystem; Löschung von Altdaten).

Zusätzlich erfolgte in regelmäßigen Abständen eine Kontrollmessung in einer definierten Radonkonzentration von ca. 1200 Bq/m ³ (siehe Abb. 2). Die Anlage wurde im Rahmen einer Diplomarbeit konstruiert, aufgebaut und getestet [6].

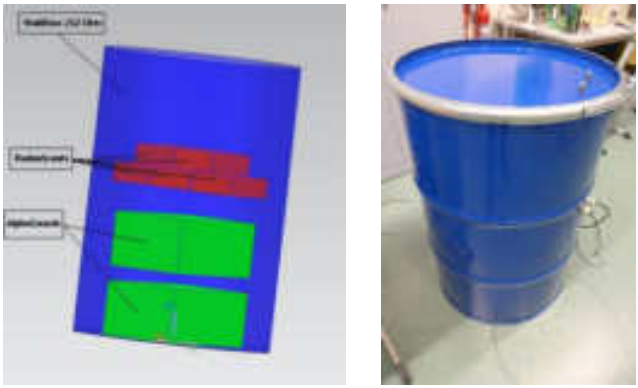


Abb. 2: Messeinrichtung zur Überprüfung des Ansprechvermögens (Fass)
Links: Prinzipdarstellung Rechts: Außenansicht

Insgesamt wurden seit 2016 ca. 170 Messungen an Gebäuden der Hochschule bzw. 75 Messungen außerhalb der Hochschule durchgeführt (jeweils Erstmessungen und Wiederholungsmessungen; davon etwa 10 % außerhalb des Landkreises Görlitz).

3 Ergebnisse ausgewählter Gebäude

3.1 Öffentliche Gebäude der Hochschule

Die Auswahl der auszumessenden Räume erfolgte anhand der jeweiligen Grundrisse. Dabei wurde versucht, i.d.R. alle Aufenthaltsräume im Kellergeschoss bzw. – sofern nicht unterkellert – Erdgeschoss zu erfassen. Zusätzlich erfolgten zum Vergleich auch Messungen in Räumen die nur sporadisch betreten wurden (Betriebsräume) bzw. nach einer ersten Auswertung der Messungen in einzelnen darüber liegenden Räumen.

In den Abb. 3 und 4 sind ausgewählte Ergebnisse einzelner Räume dargestellt. Die Räume befinden sich in einem nicht unterkellerten Funktionsbau der 80er Jahre.

In Abb. 4 sind zusätzlich Tageswerte (d.h. Zeiten zwischen 7-16 Uhr) eingezeichnet und ausgewertet. Sowohl aus Abb. 3 als auch Abb. 4 ist ersichtlich, dass eine zeitaufgelöste Betrachtung der Ergebnisse sinnvoll ist. In beiden Fällen geben die Gesamtmittelwerte die während der Aufenthaltszeit tatsächlich vorhandenen Aktivitätskonzentrationen nur unvollständig wieder. Während im Fall 1 (Abb. 3) der Richtwert insgesamt unterschritten wird, kann dies im Fall 2 (Abb. 4) nur durch die Betrachtung der Tageswerte sicher gewährleistet werden.

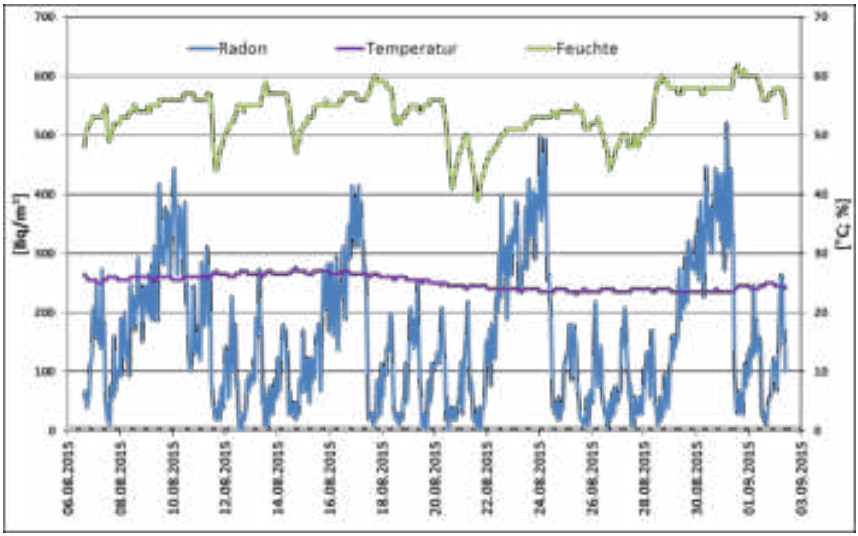


Abb. 3: Ergebnisse der Radon-Aktivitätskonzentration (Erdgeschoss, Zeitdauer: 4 Wochen) - Mittelwert 160 Bq/m³ - Maximalwert 520 Bq/m³

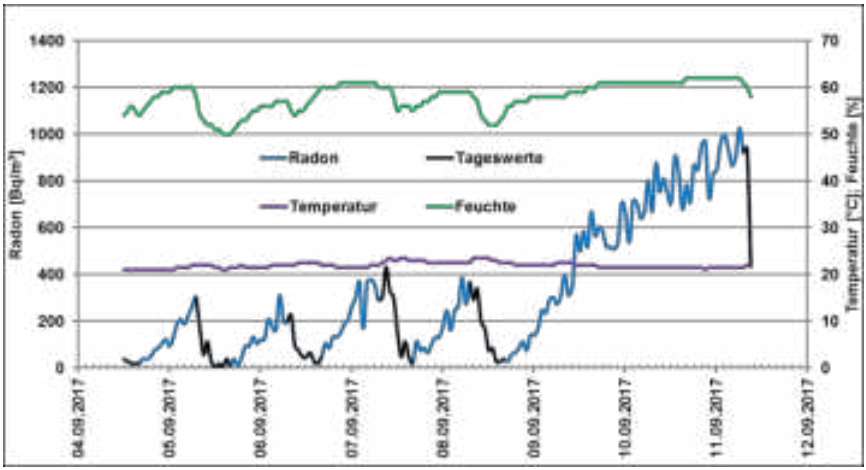


Abb. 4: Ergebnisse der Radon-Aktivitätskonzentration (Erdgeschoss, Zeitdauer: 1 Woche) - zusätzlich sind die Tageswerte (d.h. 7-16 Uhr) separat markiert: Mittelwert 320 Bq/m³ - Tages-Mittelwert 160 Bq/m³

Insgesamt konnten bis zum jetzigen Zeitpunkt (die Messung aller Gebäude an beiden Standorten in Zittau und Görlitz sind noch nicht abgeschlossen) – bis auf wenige Ausnahmen – keine signifikanten Überschreitungen des Richtwertes festgestellt werden. Insbesondere bei einer täglichen, zwischenzeitlichen bzw. mehrmaligen Lüftung des Arbeitsraumes kann der Referenzwert sicher eingehalten werden. Nach längerer Abwesenheit und nach Wochenenden sollten die Arbeitsräume in Erd- und Kellergeschossen umgehend nach deren Betreten gelüftet werden.

Alle Messergebnisse und weitere Schlussfolgerungen (z.B. zum Lüftungsregime) wurden zunächst mit den Betroffenen direkt und individuell besprochen. Hinsichtlich einer (gewünschten) Bekanntgabe aller Daten wurde jedoch ein Ampelsystem verwendet (Beispiel siehe Abb. 5). Damit soll betont werden, dass die erhaltenen Ergebnisse hinsichtlich ihrer Aussagekraft noch eingeschränkt zu bewerten sind (keine Jahresmessung). Zudem muss beachtet werden, dass die vorhandenen Kenntnisse zum Thema ‚Natürliche Radioaktivität' eher als gering eingeschätzt werden. Eine dezidierte Bewertung der direkten Zahlenwerte inklusive Messunsicherheiten bzw. Schwankungen erscheint daher unsicher. Mögliche Annäherungen an oder mögliche Überschreitungen des Richtwertes können jedoch mit dem Ampelsystem sehr gut und schnell eingeschätzt werden.

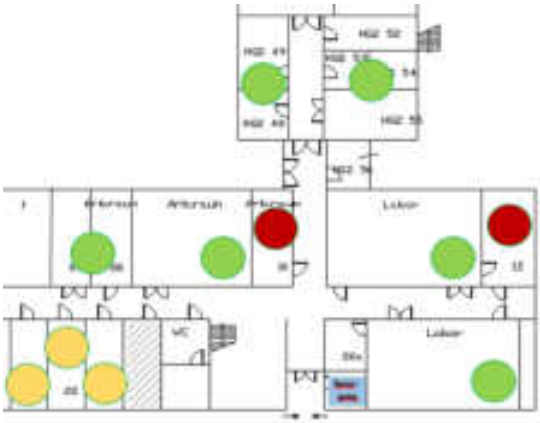


Abb. 5: Beispiel für ein Ampelsystem (Ausschnitt Grundriss)
Grün: Messwerte Aktivitätskonzentration Radon (Mittel) < 200 Bq/m³;
Gelb: 200…300 Bq/m³ ; Rot: > 300 Bq/m³

Als Schlussfolgerung aus den bisherigen Messwerten wurde entschieden, die Ergebnisse bzw. effektive Maßnahmen (Lüftung) in die regelmäßigen Unterweisungen zum Arbeitsschutz aufzunehmen. Ergänzt wird dies durch ein entsprechendes Rundschreiben der Kanzlerin an die Angehörigen der Hochschule [7]. Weiterführende Informationen werden auf der Internet-Site des Labors ‚Strahlentechnik' bzw. durch Verlinkung mit den Seiten des SMUL bzw. BfS bereitgestellt.

3.2 Gebäude im Landkreis Görlitz

Messungen außerhalb der Hochschulgebäude selbst wurden auf Anregung bzw. Bitten von Studierenden, Mitarbeitern und Privatpersonen durchgeführt; Messzyklen bzw. Datenerfassung erfolgten entsprechend Kap. 2. Im Folgenden werden stellvertretend zwei Beispiele aufgeführt:

Beispiel 1:

Gebäude ohne Keller, auf ebener Erde stehend, unter der Gebäudeaußenmauer (Feldsteine, ca. 65 cm dick) liegt ein Streifenfundament aus Sandsteinquadern (siehe Abb. 6)

Lage: Bertsdorf (OL); Baujahr: 1780; befindet sich im Bereich ehemaliger Grubenbaue bzw. Hohlraum- und Verdachtsgebiete [8]

Abb. 6: Gebäude in Ortslage Bertsdorf (OL) (nicht unterkellert)

Messzeitraum:	17.06.-07.07.2016
Messräume:	Tagesaufenthaltsraum, 15,2 m²
	Abstellraum, 4,2 m², Zutritt ca. 1 x / Tag
	Angaben zur Lüftung vorhanden
	(Ergebnisse siehe Abb. 7 und 8)

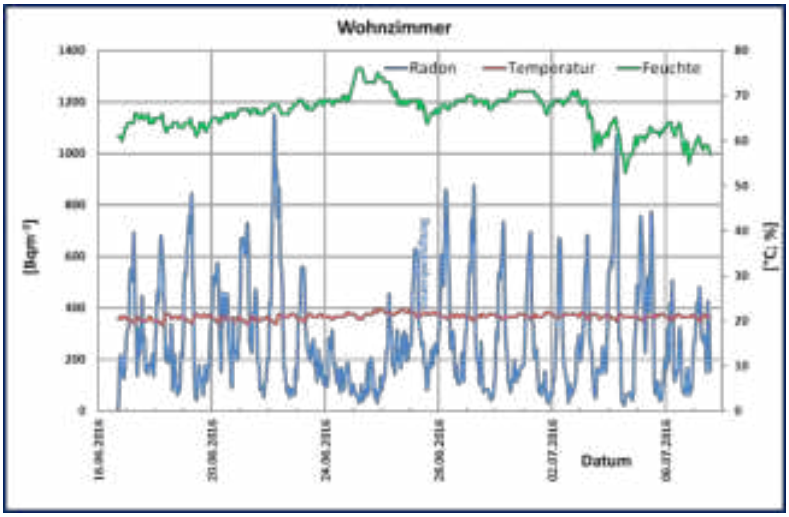


Abb. 7: Aktivitätskonzentrationen Radon in Bq/m³, Gebäude Bertsdorf (OL);
Aufenthaltsraum: Mittelwert 260 Bq/m³
(Schwankungsbereich 20…1150 Bq/m³)

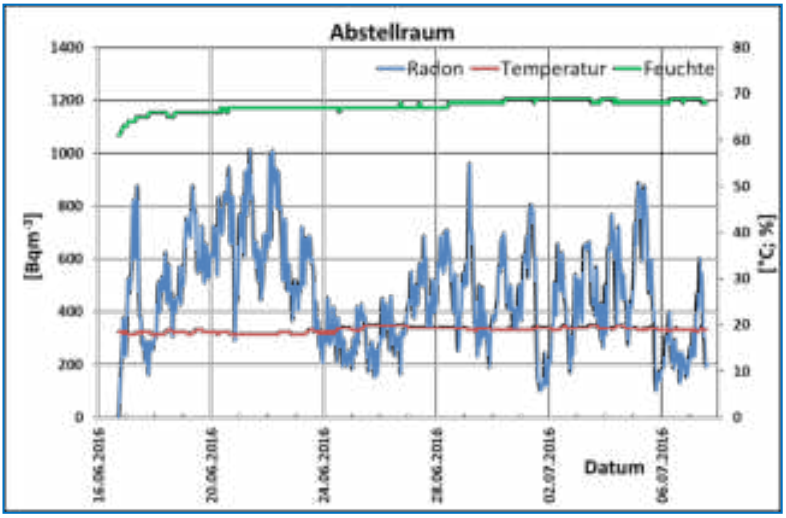


Abb. 8: Aktivitätskonzentrationen Radon in Bq/m³, Gebäude Bertsdorf (OL);
Abstellraum: Mittelwert 470 Bq/m³
(Schwankungsbereich 100…1020 Bq/m³)

Beispiel 2:

Einfamilienhaus, nicht unterkellert in Spitzkunnersdorf

Messzeitraum: 12.04.-03.05.2016

Messräume: Baustelle Bad (Fußboden ausgehoben, Untergrund Lehm und Granitsteine; Tür zum Flur; Granittürschwellen; Flur (Ergebnisse siehe Abb. 9)

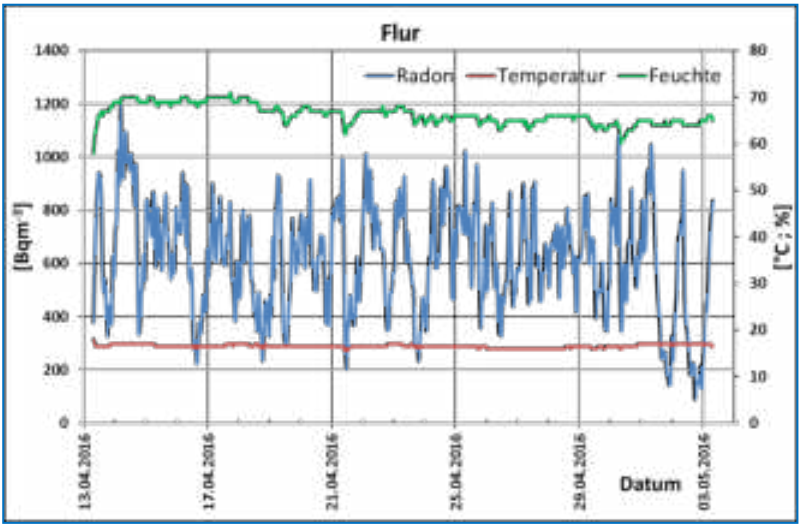


Abb. 9: Aktivitätskonzentrationen Radon in Bq/m³,
Gebäude Spitzkunnersdorf;
Flur: Mittelwert 620 Bq/m³
(Schwankungsbereich 90…1200 Bq/m³)

3.3 Ergebnisse weiterer Messungen

Weitere Messungen erfolgten z.B. in Bautzen (Stadthaus Baujahr 1681, Tiefkeller – siehe Abb.10). Dabei ist deutlich der Einfluss eines vorhandenen Lüfters zu erkennen (siehe Abb. 11).

Darüber liegende Räume wurden ebenfalls (allerdings nicht zeitgleich) gemessen: Aktivitätskonzentrationen lagen im Mittel bei bis zu ca. 2500 Bq/m³. Thoron-Werte wurden ebenfalls registriert; diese liegen aber deutlich unter den Radon-Werten.

Abb. 10: Stadthaus Bautzen, Tiefkeller, Gewölbe mit Ziegel/Granit
Kellerboden: vermutlich Schutt aus Zeit des 30jährigen Krieges

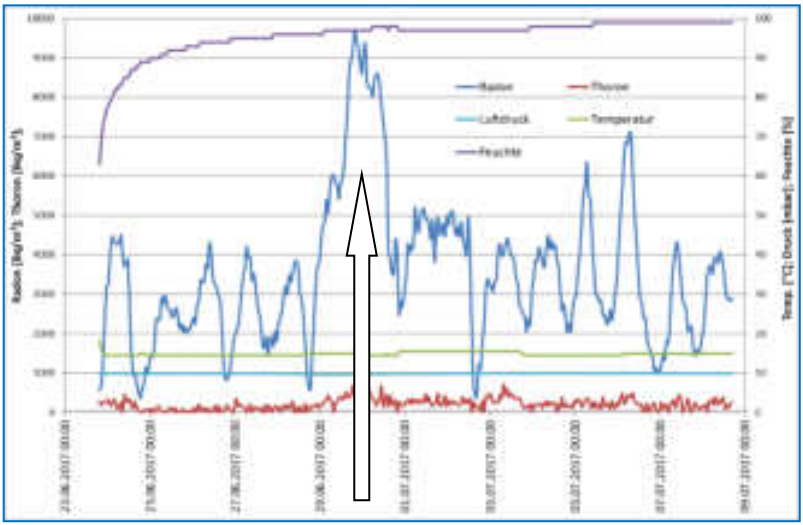


Abb. 11: Aktivitätskonzentrationen Radon und Thoron in Bq/m³, Stadthaus Bautzen – Tiefkeller: Lüfter aus am 29.06. für ca. 24 h;
Radon: Mittelwert 3680 Bq/m³
(Schwankungsbereich 360…9180 Bq/m³)
Thoron: Mittelwert 210 Bq/m³
(Schwankungsbereich <50…710 Bq/m³)

4 Zusammenfassung

Die bisher durchgeführten Messungen konzentrierten sich auf den Bereich der öffentlichen Gebäude der Hochschule Zittau/Görlitz. Zum jetzigen Zeitpunkt können hier in den Aufenthaltsräumen im Erd- bzw. Kellergeschoss Überschreitungen des Richtwertes für die Radon-Aktivitätskonzentration von 300 Bq/m³ nicht ausgeschlossen werden. Allerdings lassen sich durch Lüftung (ein – oder mehrfach) diese Werte effektiv reduzieren.

Weitere untersuchte Gebäude weisen durchaus im Einzelfall signifikante Überschreitungen dieses Richtwertes auf und bestätigen die prinzipiellen Vorhersagen der Radonkarten. In diesen Fällen sollten die tatsächlichen Aufenthaltszeiten berücksichtigt werden bzw. sind Messungen nach erfolgten Renovierungsarbeiten noch nicht abgeschlossen. Im Einzelfall könnten auch weitere Sanierungsarbeiten erforderlich sein.

Bewährt hat sich eine Einbeziehung der Studierenden in die entsprechenden Messkampagnen bzw. Projekte. Grundlegende Kenntnisse sollen dabei bereits im physikalischen Grundlagenpraktikum vermittelt werden: hier gibt es seit 2017 einen Pflichtversuch zur Radioaktivität für Studierende der Fakultäten Elektrotechnik/Informatik bzw. Maschinenwesen.

Die Messungen werden fortgesetzt – zum einen als Wiederholmessungen zur Bestätigung bisheriger Abschätzungen und zum anderen an bisher noch nicht betrachteten Gebäuden. Insbesondere betrifft dies auch Untersuchungen, inwieweit Thoron in Gebäuden (vor allem im typischen Baustil der Lausitz) nachweisbar ist.

Auch weiterhin unterstützt die Hochschule interessierte Mitarbeiter, Studierende, private Personen oder Firmen bei der Feststellung von Aktivitätskonzentrationen und steht als Ansprechpartner zur Verfügung.

5 Literaturverzeichnis

[1] http://www.asse.bund.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/boden/radon-karte.html [Zugriff 2018-10-10]

[2] https://www.umwelt.sachsen.de/umwelt/download/uewa_300_egauf_Gem_gr-v_CDL_mR.jpg [Zugriff 2018-10-10]

[3] http://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/luft-boden/geoportal/geoportal.html [Zugriff 2018-10-10]

[4] Verordnung der Bundesregierung: Verordnung zur weiteren Modernisierung des Strahlenschutzrechts Artikel1: Verordnung zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzverordnung – StrlSchV), Stand: 03.09.2018

[5] Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung, Bundesgesetzblatt Teil I 2017 Nr. 42 vom 03.07.2017

[6] F. Buttig, „Aufbau und Test einer Einrichtung zur Qualitätssicherung bei der Verwendung aktiver Radonmessgeräte“, Diplomarbeit, HSZG, 30.09.2016

[7] Hochschule Zittau/Görlitz: RUNDSCHREIBEN Information Radonschutz in Arbeitsräumen Nr.: 2018/02 Datum: 13.03.2018

[8] Geoportal Landkreis Görlitz, https://gis-lkgr.de/ [Zugriff 2018-10-10]

Autorenverzeichnis

Mandy Alisch-Mark

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Geschäftsbereich 2 Immissions- und Strahlenschutz
Altwahnsdorf 12
01445 Radebeul

Dr. Axel Böttger

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn

Dr. Nora Fenske

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Abteilung Wirkungen und Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim/Neuherberg

Stefan Gatermann

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Geschäftsbereich 2 Immissions- und Strahlenschutz
Altwahnsdorf 12
01445 Radebeul

Tobias Geib

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Geschäftsbereich 2 Immissions- und Strahlenschutz
Altwahnsdorf 12
01445 Radebeul

Uwe Heidrich

Hochschule Zittau/Görlitz
Fakultät Maschinenwesen
Theodor-Körner-Allee 16
02763 Zittau

Dr. Thomas Heinrich

Staatliche Betriebsgesellschaft für Umwelt und Landwirtschaft
Geschäftsbereich 2 Immissions- und Strahlenschutz
Altwahnsdorf 12
01445 Radebeul

Grit Höfer

Bauindustrieverband Ost e. V.
Geschäftsstelle Leipzig
Heiterblickstr. 35
04347 Leipzig

Dr. Benjamin Klein

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn

Dr. Simone Körner

Bayerisches Landesamt für Umwelt
Referat 41 Strahlenschutz in Gewerbe, Transport und bei natürlicher Radioaktivität
Bürgermeister-Ulrich-Str. 160
86177 Augsburg

PD Dr. Michaela Kreuzer

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Abteilung Wirkungen und Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim/Neuherberg

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

Bergtechnisches Ingenieurbüro GEOPRAX Bernd Leißring und Nick Leißring GbR
Max-Planck-Straße 18
09114 Chemnitz

Jens Müller

Gemeinde Bad Schlema
Bürgermeisteramt
Joliot- Curie- Straße 13
0830 Bad Schlema

Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Dr. Frank Pfeil

Sächsisches Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft
Staatssekretär
Archivstraße 1
01097 Dresden

Klaus Pöllath

Hauptverband der Deutschen Bauindustrie e.V.
Vizepräsident Technik
Kurfürstenstraße 129
10785 Berlin

Jens Regner

Wismut GmbH
Abteilung Monitoring/Strahlenschutz
Jagdschänkenstrasse 29
09117 Chemnitz

Dr. rer. nat. Peter Schmidt

Wismut GmbH
Abteilung Monitoring/Strahlenschutz
Jagdschänkenstrasse 29
09117 Chemnitz

Dr. Maria Schnelzer

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)
Abteilung Wirkungen und Risiken ionisierender und nichtionisierender Strahlung
Ingolstädter Landstraße 1
85764 Oberschleißheim/Neuherberg

Prof. Dr. rer. nat. Thomas Schönmuth

Hochschule Zittau/Görlitz
Fakultät Maschinenwesen
Theodor-Körner-Allee 16
02763 Zittau

Christian Schramm

Wismut GmbH
Abteilung Monitoring/Strahlenschutz
Jagdschänkenstrasse 29
09117 Chemnitz

Prof. Dr. habil. rer. nat. Thomas Seifert

TU Bergakademie Freiberg
Institut für Mineralogie
Professur für Lagerstättenlehre und Petrologie
Brennhausgasse 14
09599 Freiberg

Prof. Dr.-Ing. habil. Roland Stenzel

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Rektor
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Prof. Dr.-Ing. Walter-Reinhold Uhlig

Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum radonsicheren Bauen (KORA) e.V.
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Herausgeber

Dipl.-Ing. Stefanie Kunze
Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann
Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen
Lehrgebiet Baukonstruktion und Bauwerkserhaltung
Friedrich-List-Platz 1
01069 Dresden

Redaktionsschluss: 30. Oktober 2018

Für die Inhalte sind die jeweiligen Verfasser verantwortlich.
Ohne ausdrückliche Genehmigung der Verfasser ist es nicht gestattet, dieses Werk oder Teile daraus auf fotomechanischem Wege (Fotokopie, Mikrokopie) zu vervielfältigen sowie die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen vorzunehmen.
Angaben ohne Gewähr.