18. Sächsische Radontage

Tagungsband zur Veranstaltung

am 3./ 4. April 2025 in Dresden

HTWD Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
University of Applied Sciences

STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDWIRTSCHAFT

Freistaat SACHSEN

Inhaltsverzeichnis

Grußwort des Rektors Prof. Dr.-Ing. Ingo Gestring 3

Grußwort des Staatssekretärs Ulrich Menke 5

Radonschutz in der Schweiz gesetzliche Regelungen und Aktionsplan 7
Fabio Barazza

Radon-Innenraumprognose für Deutschland – Methodik, Ergebnisse und Anwendungen 19
Eric Petermann

Radon-Biobanken als Schlüssel zum Verständnis langfristiger Strahleneffekte – Erforschung strahlenbiologischer Veränderungen 35
Maria Gomolka et al.

Entstehungsprozess und Konzeption der DIN/TS 18117-2 49
Walter-Reinhold Uhlig

DIN/TS 18117–2 –Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse 59
Joachim Kemski

Bautechnische Lösungen im Radonschutz 75
Gerhard Klingelhöfer

Die DIN/TS 18117-2 – Das neue Regelwerk für den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz – Lüftungstechnische Lösungen im Radonschutz 85
Thomas Hartmann

Validierung von Baukonstruktionen und Abdichtungskonzepten im baulichen Radonschutz des Wohnungsbaus 99
Jakob Klever, Arno Kohls, Thomas Naumann, Andy Bödecker

Radonschutz? Pflichten und Fehlinterpretationen 121
Karin Leicht

Baulicher Radonschutz in seiner Entwicklung – ein Rückblick und Ausblick 131
Bernd Leißring, Hans-Georg Henjes

Serielle Radonsanierung von Industrie- und Gewerbe-standorten am Beispiel eines Firmengeländes in Selb (Landkreis Wunsiedel) 147
Robert Georgi, Christian Schwenk, Nils Joosten, Markus Leitgeb

Untersuchung und Radonsanierung eines teilunterkellerten Altbaus in Bad Schlema 161
Toni Müller, Christian Schramm

Praxisbericht: Gebäude mit einem hohen Anteil der Radonaktivitätskonzentration aus den Baustoffen 183
Heiko Herold, Richard Zinken

Einfluss von Jahres- und Kurzzeitmessung auf den Sanierungserfolg - Beispiele aus der Praxis 199
Michael Westphal

Grußwort des Rektors Prof. Dr.-Ing. Ingo Gestring

Sehr geehrte Damen und Herren,

es ist mir eine große Freude, Sie zu den 18. Sächsischen Radontagen begrüßen zu dürfen. Diese Tagung, die sich dem wichtigen Thema des radonsicheren Bauens widmet, hat eine lange Tradition und spielt eine zentrale Rolle im wissenschaftlichen Austausch sowie in der praktischen Anwendung neuester Erkenntnisse.

Die Wurzeln dieser Veranstaltung reichen zurück bis ins Jahr 2005, als die Tagung erstmals unter dem Namen "Radonsicheres Bauen" vom KORA e.V. (Kompetenzzentrum für Forschung und Entwicklung zum Radonsicheren Bauen und Sanieren e.V.) ins Leben gerufen wurde. In diesem Jahr feiert der KORA e.V. sein 20-jähriges Bestehen – ein bemerkenswerter Meilenstein, den wir würdigen möchten. Ab 2007 wurde die Tagung unter dem Namen "Sächsische Radontage" gemeinsam mit dem Sächsischen Staatsministerium für Umwelt und Landwirtschaft (SMUL) durchgeführt, bevor sie 2018 von der HTW Dresden, Fakultät Bauingenieurwesen, weitergeführt wurde. Der KORA e.V. ist ein seit jeher ein wertvoller Partner der Veranstaltung.

Nach den pandemiebedingten Einschränkungen der vergangenen Jahre freuen wir uns, Sie zur dritten Präsenzveranstaltung in Folge begrüßen zu dürfen. Die Sächsischen Radontage 2025 verzeichnen etwa

175 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus dem gesamten Bundesgebiet und darüber hinaus aus dem europäischen Ausland. Dies zeigt das anhaltende Interesse und die große Relevanz dieses Themas. Besonders erfreulich ist die Teilnahme von 14 Fachausstellern aus den Bereichen Radonmesstechnik, Planung und Ausführung von Radonschutzkonzepten, Radonsanierungen, Abdichtungstechnik sowie Radonberatung, die die Tagung durch ihre Expertise bereichern.

Auch in der fachlichen Weiterentwicklung des radonsicheren Bauens gibt es Neuigkeiten: Der zweite Teil der DIN TS 18117 wurde im März dieses Jahres in einer Entwurfsform veröffentlicht. Zwar handelt es sich hierbei noch um eine technische Spezifikation, doch stellt sie einen bedeutenden Schritt für eine strukturierte Herangehensweise an das Thema radonsicheres Bauen dar. Bereits 2020 war der erste Teil der DIN TS 18117 publiziert worden. Zudem arbeitet die WTA-Arbeitsgruppe „Radonschutz im Gebäudebestand“ seit 2019 intensiv an einem neuen Merkblatt, das voraussichtlich 2025 erscheinen wird. Die HTW Dresden ist durch Prof. Naumann aktiv an diesem Prozess beteiligt.

Ich danke allen Mitwirkenden für ihr Engagement und wünsche Ihnen eine erkenntnisreiche Tagung mit wertvollen Diskussionen und neuen Impulsen für die Praxis. Durch Ihre Aktivitäten machen Sie die Welt sicherer und lebenswerter. Seien Sie dafür herzlich gedankt!

Mit freundlichen Grüßen

Prof. Dr.-Ing. Ingo Gestring

Rektor der HTW Dresden

Grußwort des Staatssekretärs. Ulrich Menke

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen zu den 18. Sächsischen Radontagen! Ich freue mich sehr, Sie zu einer weiteren interessanten und attraktiven Fachveranstaltung in diesem Rahmen begrüßen zu dürfen.

Auch in diesem Jahr können wir ein starkes Interesse an der Thematik feststellen, welches sich an der großen Anzahl der Anmeldungen als Teilnehmende und Ausstellende sowie den eingereichten Vortragsvorschlägen ablesen lässt. Das spricht für die Qualität der Veranstaltung, aber auch für den Bedarf an Information und fachlichem Austausch.

Der Schutz vor Radon ist immer noch ein Themengebiet, das sich entwickelt und Fragen bereithält, die erst mit zunehmenden Erkenntnissen und wachsender Erfahrung beantwortet werden können. Das Verständnis für die Wirkungsweisen und Effekte der verschiedenen Einflussgrößen besitzt noch Forschungspotential. Bisher sind Lösungen zum Schutz vor Radon in Gebäuden noch nicht standardisiert, sondern müssen individuell gefunden werden. In diesen Rahmen ist auch das Programm der diesjährigen „Sächsischen Radontage“ einzuordnen.

Einen Schwerpunkt stellt die Vorstellung der verschiedenen Aspekte der neuen DIN/TS 18117-2 dar. Durch erfahrene Fachleute wurde eine Norm erarbeitet, die die Auslegung von Maßnahmen zum radongeschützten Bauen unter Berücksichtigung der entscheidenden Randbedingungen standardisiert. Entstanden ist ein Regelwerk, dass Anforderungen an den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz festlegt und damit den auf diesem Gebiet Tätigen ein hilfreiches Werkzeug an die Hand gibt.

Weitere Vorträge beschäftigen sich mit Überlegungen und Praxiserfahrungen zum Radonschutz bei Neubauprojekten und bei der Sanierung bestehender Gebäude in kleinem und größerem Maßstab. Darüber hinaus kommen auch in diesem Jahr Ergebnisse neuerer wissenschaftlicher Forschungsarbeiten und analytische Betrachtungen nicht zu kurz. Ein Beitrag zur Radonsituation in der Schweiz erlaubt einen Blick über die Landesgrenze hinaus und trägt so zur Erweiterung der hier bekannten Sichtweisen bei.

Nutzen Sie die Gelegenheit, sich über den aktuellen Stand zur Thematik Schutz vor Radon zu informieren, über Erfahrungen zu berichten und den fach- und institutionsübergreifenden Austausch zu ermöglichen.

Ich bedanke mich bei allen, die zum Gelingen der 18. Sächsischen Radontage beitragen. Das sind das Team der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden um Herrn Prof. Naumann, das Kompetenzzentrum Radonsicheres Bauen und Sanieren KORA e. V. und Mitarbeitende aus dem Geschäftsbereich des Sächsischen Staatsministeriums für Umwelt und Landwirtschaft. Darüber hinaus danke ich den zahlreichen Vortragenden, Fachausstellern und schließlich allen Teilnehmenden.

Ich wünsche Ihnen eine rundum zufriedenstellende Veranstaltung mit großem Erkenntnisgewinn im Hinblick auf den baulichen Schutz vor Radon!

Ulrich Menke

Sächsischer Staatssekretär für Umwelt und Landwirtschaft

Radonschutz in der Schweiz: gesetzliche Regelungen und Aktionsplan

Fabio Barazza[1)]

[1)] Bundesamt für Gesundheit, Bern, Schweiz

Zusammenfassung

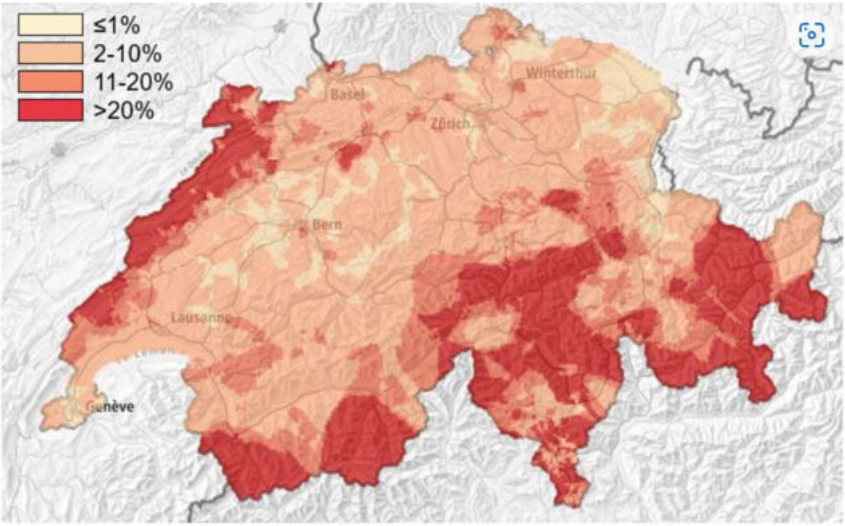
Die Schweiz ist stark von der Radonproblematik betroffen. Der Radonschutz beschäftigt unser Land deshalb bereits seit fast 40 Jahren. Die ersten gesetzlichen Regelungen wurden 1994 in die damalige Strahlenschutzverordnung aufgenommen und 2018 auf der Grundlage neuer wissenschaftlicher Erkenntnisse aktualisiert. Für den Vollzug der Bestimmungen wurde eine Radon-Wegleitung erarbeitet, die die Einzelheiten der Umsetzung definiert. Für den praktischen Radonschutz hat die Regierung 2012 einen ersten Aktionsplan Radon beschlossen. Aufgrund der daraus erzielten Erkenntnisse und der neuen gesetzlichen Grundlagen ab 2018, wurde 2020 ein neuer Aktionsplan Radon 2021-2030 verabschiedet, der jetzt umgesetzt wird.

1 Die Radonsituation in der Schweiz

Die Schweiz ist bekannt für ihre schönen Berglandschaften. Diese geologischen Eigenschaften führen jedoch auch zu hohen Radonbelastungen in den entsprechenden Regionen. Die Alpen sind ein Granitgebirge und haben einen relativ hohen Anteil an Uran, was zu einer hohen Produktion von Radon führt. Weniger klar sind die Gründe, warum es in der anderen Gebirgsregion, dem Jura, ebenfalls hohe Radonkonzentrationen gibt. Der Jura ist ein Kalksteingebirge. Die poröse Charakteristik führt vermutlich dazu, dass das Radon aus tiefen Schichten leicht nach oben strömen kann.

Die Radonkarte (Abbildung 1) illustriert diese Gegebenheiten sehr deutlich. Die Wahrscheinlichkeit, den Referenzwert von 300 Bq/m3 zu übersteigen ist in den Bergregionen im Südosten (Alpen) und im Westen (Jura) höher als im Mittelland, das dazwischen liegt. Es gibt in der

Alpenregion durchaus Gemeinden, wo die Wahrscheinlichkeit, den Referenzwert zu überschreiten über 60% liegt.



Quelle: Bundesamt für Gesundheit, 2018

Abbildung 1: Radonkarte der Schweiz. Die Prozentzahlen bezeichnen die Wahrscheinlichkeit, in den entsprechenden Regionen den Referenzwert zu überschreiten.

Eine epidemiologische Studie [1] hat gezeigt, dass in der Schweiz ca. 200-300 Lungenkrebstote auf Radon zurückzuführen sind. Dies entspricht ca. 10% aller Todesfälle an Lungenkrebs. Radon liefert auch den größten Anteil der Strahlenbelastung für die Bevölkerung in der Schweiz [2].

2 Regelungen zum Radonschutz in der Schweiz

2.1 Strahlenschutzverordnung (StSV)

Die erste wissenschaftliche Untersuchung zur Radonbelastung in der Schweiz und möglichen Sanierungsmethoden wurde in den 80er-Jahren des vorherigen Jahrhunderts durchgeführt [3]. Die daraus gewonnen Erkenntnisse führten dazu, die ersten gesetzlichen Regelungen betreffend Radon in die Strahlenschutzverordnung (StSV) von 1994 aufzunehmen. Für Wohnräume wurde ein Grenzwert von 1000 Bq/m^3

und für Arbeitsplätze ein solcher von 3000 Bq/m^3 festgelegt. Die Ergebnisse neuer wissenschaftlicher Studien [4] und die Empfehlungen der WHO [5] wurden für den nationalen Aktionsplan Radon 2012-2020 verwendet, der insbesondere die Anpassung der gesetzlichen Bestimmungen zum Ziel hatte.

Die StSV wurde 2018 revidiert und die gesetzlichen Regelungen für Radon den neuen Gegebenheiten angepasst. Vollzugbehörden sind die lokalen Behörden, d.h. die Kantone. Tabelle 1 zeigt die heute aktuellen Referenzwerte aus der StSV von 2018.

Tabelle 1: Gesetzliche Radonwerte aus der StSV 2018

	StSV von 2018		
Wohn- und Aufenthaltsräume	Referenzwert **300 Bq/m^3** (Jahresmittelwert = JMW)		
Arbeitsplätze	Referenzwert **300 Bq/m^3** JMW		
radonexponierte Arbeitsplätze	Referenzwert **300 Bq/m^3** JMW	Schwellenwert **1000 Bq/m^3** JMW	Jahresdosis **>10 mSv/Jahr → geplante Exposition**

Grundsätzlich gilt in der Schweiz ein Referenzwert von 300 Bq/m^3 in allen Räumen, in denen sich Personen regelmäßig über längere Zeit aufhalten (das wird in 2.2. genauer definiert). An Arbeitsplätzen gilt zusätzlich ein Schwellenwert von 1000 Bq/m^3. Wird dieser überschritten muss die effektive Jahresdosis für die Mitarbeitenden abgeschätzt werden. Liegt diese über 10 mSv/Jahr und kann nicht reduziert werden, gilt der Arbeitsplatz als strahlenexponiert und benötigt eine Bewilligung. Arbeitsplätze gelten als radonexponiert, wenn sie von der Aufsichtsbehörde als solche definiert werden (z.B. in Wasserwerken, Schauhöhlen oä.) oder der Jahresmittelwert der Radonkonzentration 1000 Bq/m^3 übersteigt.

Eine eigentliche Messpflicht gibt es nicht. Jedoch sollen Kantone dafür sorgen, dass die Radonbelastung in Schulen und Kindergärten regelmäßig überprüft wird. Das gleiche gilt für Betriebe mit radonexponierten Arbeitsplätzen. Bei einer Überschreitung des Referenzwerts ist der/die Gebäudeeigentümer/in für Massnahmen zur Reduktion der Radonbelastung verantwortlich. In der Regel erfolgt ausschließlich bei Schulen oder Kindergärten eine Anordnung zur Sanierung, falls die Eigentümerschaft untätig bleibt. Für Wohnräume gilt grundsätzlich das Prinzip der Eigenverantwortung.

In der Schweiz wurde bisher in rund 15‘000 Gebäuden eine Überschreitung des Referenzwerts festgestellt. Hochgerechnet auf den gesamten Gebäudebestand ergibt dies rund 75‘000 potentiell betroffene Gebäude. In wie vielen Gebäuden eine Sanierung durchgeführt wurde, ist weitestgehend unbekannt. Es gibt keine Pflicht, eine Radonsanierung zu melden. Eine nichtrepräsentative Umfrage, die 2018 durchgeführt wurde, hat aber eine Sanierungsrate von 46% ergeben [6].

Im Gegensatz zu den Sanierungen werden anerkannte Radonmessungen in einer nationalen Radondatenbank registriert. Solche Messungen, die nach spezifischen Messprotokollen ablaufen müssen, werden von dafür zugelassenen Radonmessstellen durchgeführt. Die Zulassung erfolgt durch das Bundesamt für Gesundheit, das auch eine Liste dieser Messstellen publiziert. Die Radondatenbank enthält zurzeit knapp 300‘000 Messungen in rund 200‘000 Gebäuden.

2.2 Wegleitung Radon

Die Wegleitung Radon [7] konkretisiert Anforderungen aus dem Strahlenschutzrecht und entspricht dem aktuellen Stand von Wissenschaft und Technik. Wird die Wegleitung berücksichtigt, so kann davon ausgegangen werden, dass das Strahlenschutzrecht rechtskonform vollzogen wird. Sie gilt als Vollzugshilfe für die kantonalen Behörden.

Im ersten Teil der Wegleitung geht es um die Priorisierung von Radonmessungen, d.h. um eine Abschätzung des Radonrisikos für ein bestimmtes Gebäude. Dies erlaubt es den Kantonen, ihre Messkampag-

nen in Schulen und Kindergärten nach einheitlichen Kriterien zu planen und die potentiell gefährdetsten Gebäude zuerst zu messen. Die Grundlage der Priorisierung liefert die Radonkarte. Je nach der resultierenden Wahrscheinlichkeit den Referenzwert zu überschreiten, fließen weitere Eigenschaften des Gebäudes in die Abschätzung ein (Abbildung 2).

	Welche Wahrscheinlichkeit den Referenzwert zu überschreiten ergibt sich aus der Radonkarte?			
	≤ 1%	2% – 10%	11% – 20%	> 20 %
	↓	0 (falls nicht zutrifft) oder 1 (falls zutrifft):		↓
		Gibt es mindestens einen erdberührenden Raum mit Personenaufenthalt? (z.B. bei Hanglage oder im Untergeschoss)		
		Hat das Gebäude einen Naturbodenkeller oder andere offensichtliche Undichtigkeiten gegenüber dem Untergrund ?		
		Wurde das Gebäude vor 1980 errichtet ?		
		Wurde die Dichtigkeit der Gebäudehülle gegenüber der Aussenluft im Rahmen von Renovationsarbeiten erhöht? (vor allem Fenstererneuerung)		
Priorität	0	Total	Total +1	5

Abbildung 2: Schema zur Priorisierung von Radonmessungen, bspw. bei kantonalen Messkampagnen in Schulen und Kindergärten

Die ergänzenden Fragen basieren auf Untersuchungen der stärksten Einflussfaktoren für die Radonkonzentration [8].

Die Wegleitung Radon präzisiert darüber hinaus die Anforderungen aus der StSV. Sie legt fest, in welchen Räumen der Referenzwert gilt. Gemäss der StSV gilt dieser in „Räumen, in denen sich Personen regelmäßig während mehrerer Stunden pro Tag aufhalten“ (Art. 155 StSV). Die Präzisierung dieser Anforderung in der Wegleitung Radon ist in Tabelle 2 wiedergegeben.

Tabelle 2: Kategorien von Aufenthaltszeiten

	Räume mit langem Personenaufenthalt	Räume mit kurzem Personenaufenthalt	Kein Aufenthaltsraum
Aufenthaltszeit/Woche	mehr als 30 Stunden	zwischen 15 und 30 Stunden	weniger als 15 Stunden

Der Referenzwert gilt also nur in den Räumen, in denen sich Personen mindestens 15 Stunde pro Woche aufhalten. Dies ist unabhängig von der Nutzung, d.h. dies gilt auch für Arbeitsplätze. Die weitere Unterteilung in Räume mit langem und kurzem Personenaufenthalt ist für die Bemessung der empfohlenen Sanierungsfristen massgebend. Die Sanierungsfristen richten sich ausserdem nach der Höhe der Radonkonzentration und liegen zwischen 1 Jahr und 30 Jahren [7].

Abschliessend stellt die Wegleitung ein Informationsblatt zu Radon zur Verfügung, das die Kantone bei ihrer Kommunikation verwenden können. Dies im Hinblick auf die Tatsache, dass gemäss Artikel 163 StSV die Baubewilligungsbehörde die Gebäudeeigentümerin oder den Gebäudeeigentümer oder bei Neubauten die Bauherrin oder den Bauherrn im Rahmen des Baubewilligungsverfahrens für Neu- und Umbauten auf die Anforderungen der StSV betreffend Radonschutz soweit dies sinnvoll ist aufmerksam macht. Die Kantone haben diese Bestimmung bis 2020 umgesetzt.

3 Aktionsplan Radon 2021-2030

Um die Radonsituation in der Schweiz weiter zu verbessern und Fortschritte auf allen Ebenen des Radonschutzes (Technik, Kommunikation, Ausbildung, Arbeitsschutz, Forschung etc.) zu erzielen, wurde 2020 ein zweiter Aktionsplan [9] erarbeitet, der seit 2021 umgesetzt wird. Die Grundlagen zu diesem Aktionsplan liefern die StSV, internationale Empfehlungen, insbesondere der Internationalen Strahlenschutz Kommission (ICRP), und die Erkenntnisse aus dem ersten Aktionsplan (2012-2020), der einer Evaluation unterzogen wurde.

Es wurden verschiedene Aspekte des Radonschutzes identifiziert, die in den kommenden 10 Jahren verbessert oder vertieft werden sollen. Diese Aktionsfelder wurden in vier Stossrichtungen (Immobilienpark, Gesundheitsrisiko, Radonkompetenz, Arbeitnehmerschutz) zusammengefasst. Aus diesen vier Stossrichtungen wurden 12 Ziele abgeleitet und ein Zeitplan für deren Umsetzung festgelegt.

3.1 Immobilienpark

Die sich verändernde Bautechnik hat im letzten Jahrhundert, als Nebeneffekt, dazu geführt, dass sich der Radonschutz durch den Bau

neuer Gebäude verbessert hat. Abbildung 3 zeigt, dass sich in den 70er- und 80er-Jahren, aufgrund der veränderten Konstruktion des Fundaments (durchgehende Bodenplatte anstelle eines Streifenfundaments) eine Reduktion der Gebäude mit einer Überschreitung des Referenzwertes ergeben hat.

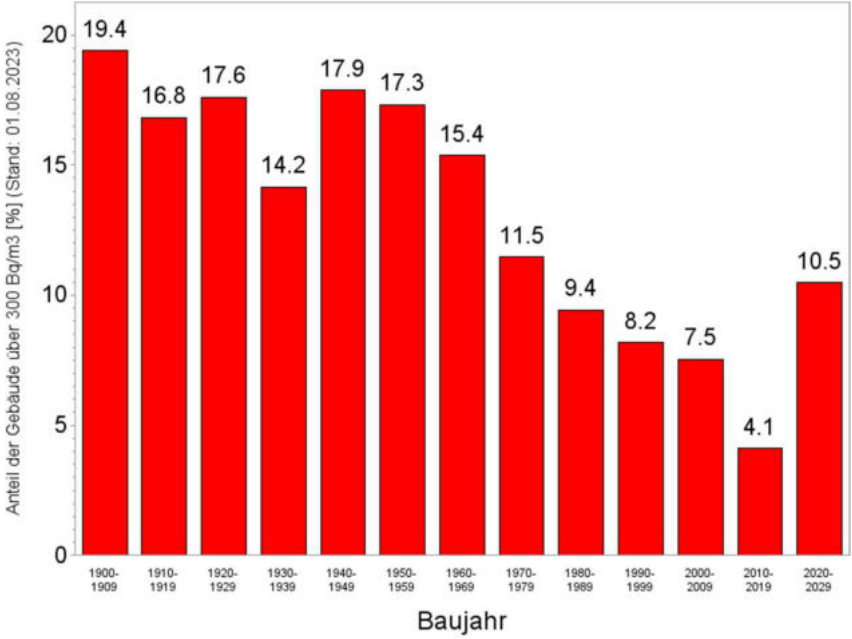


Abbildung 3: Anteil der Gebäude, die den Referenzwert überschreiten, als Funktion des Baujahrzehnts.

Der neuerliche Anstieg bei den neuesten Gebäuden (Baujahr 2020-2029) könnte an der geringen und nicht repräsentativen Anzahl der gemessenen Neubauten liegen, aber auch mit der Zunahme neuer, energiesparender Bautechniken zusammenhängen. Verschiedene Studien [10, 11] haben inzwischen gezeigt, dass energetische Massnahmen an Gebäuden, insbesondere wenn bestehende Bauten energetisch renoviert werden, zu einem geringeren Luftaustausch und damit zu einer Verschlechterung der Innenraumluftqualität führen können. Ein wichtiges Ziel dieser Stossrichtung ist es deshalb, die Zusammenarbeit mit den entsprechenden Partnern aus dem Energiebereich

zu verstärken und bei der in der Schweiz geplanten Umsetzung der Energiestrategie 2050 [12] mitzuarbeiten.

3.2 Gesundheitsrisiko

Die Kommunikation mit der Bevölkerung muss verbessert werden, um die Risikowahrnehmung hinsichtlich Radons zu steigern. Der Anteil der Bevölkerung, der noch nie von Radon gehört hat, ist weiterhin zu hoch (45%). Und selbst von denjenigen, die wissen, was Radon ist, glaubt rund ein Drittel, dass es keine Gesundheitsgefährdung darstellt [13].

Auch das Verfahren, das eigene Radonrisiko festzustellen muss vereinfacht werden. Radonmessungen sind teuer und dauern sehr lange, was eine Hürde für eine vertiefte Beschäftigung mit diesem Problem darstellt. Neue, digitale Werkzeuge sind notwendig um es der Bevölkerung einfacher zu machen, sich mit dem eventuell nötigen Radonschutz zu befassen. Die interaktive Radonkarte ist ein erster kleiner Schritt in diese Richtung, langfristig aber braucht es verlässliche digitale Lösungen, damit die Risikoabschätzung hinsichtlich Radons auch ohne Messung möglich ist.

3.3 Radonkompetenz

Die Radonkompetenz im Baugewerbe soll grundsätzlich verbessert werden, insbesondere soll das Thema Radon Teil der Lehrpläne aller relevanter Bauberufe sein. Dies soll dazu beitragen, dass beim Bau oder Umbau von Gebäuden Fehler hinsichtlich des Radonschutzes vermieden werden, die auf ein zu geringes oder völlig abwesendes Radonwissen zurückzuführen sind.

In der Zusammenarbeit mit den entsprechenden Berufsverbänden konnten bereits einige Erfolge erzielt werden. So hat der Berufsverband der Holzbauer Radon in einem eigenen Modul auf seine digitale Lernplattform [14] aufgenommen. Lernende kommen so bereits früh mit diesem Thema in Kontakt und sind im besten Falle bei ihrer zukünftigen Tätigkeit für den Radonschutz sensibilisiert.

Um die Aufnahme des Themas in die Ausbildung zu erleichtern, werden auch spezifische Werkzeuge angeboten, wie bspw. das Radon-Handbuch [15] oder das virtuelle Radonhaus (Abbildung 4), das es auf

interaktive Art erlaubt, verschiedene präventive oder nachträgliche Radonschutzmaßnahmen kennenzulernen.

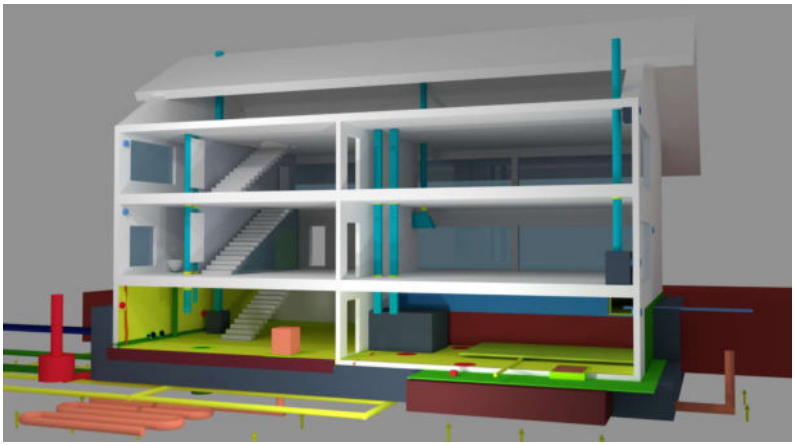


Abbildung 4: Das virtuelle Radonhaus auf www.radonhaus.ch

Für die Ausbildung von Radonfachpersonen, die die Bauherrschaft bei präventiven Radonschutzmaßnahmen und Radonsanierungen unterstützen können, sind drei regionale Radonfachstellen zuständig, die die entsprechenden Kurse in den drei Landessprachen Deutsch, Französisch und Italienisch anbieten.

3.4 Arbeitnehmerschutz

Die StSV definiert radonexponierte Arbeitsplätze und legt fest, wie der Radonschutz an diesen Arbeitsplätzen gewährleistet werden soll. Dies Stoßrichtung Arbeitnehmerschutz beschäftigt sich hauptsächlich mit der Umsetzung dieser Regelungen insbesondere der Einführung einer personenbezogenen Radonmessung.

Dafür wird ein entsprechenden Messprotokoll erarbeitet und die Radondatenbank so angepasst, dass die Daten erfasst werden können. Da diese neue Art der Radonmessungen auf Personen und nicht wie bisher auf Gebäude bezogen sind, muss die Datenbank mit einem neuen Element ergänz werden.

4 Schlussbemerkung

Der Radonschutz ist in der Schweiz gut etabliert und gesetzlich verankert. Durch die seit den 80er-Jahren durchgeführten Radonmessungen, die zudem in einer nationalen Radondatenbank gespeichert werden, sind die unterschiedlichen, regionalen Radonbelastungen bekannt, was bei der Umsetzung der Radonschutzstrategie berücksichtigt werden kann. Die Schweiz hat gut ausgebildete Radonfachpersonen, die bei Radonmessungen und -sanierungen unterstützen können.

Durch den hohen Baustandard in der Schweiz konnte der Anteil der radonbelasteten Neubauten in den letzten Jahrzehnten beträchtlich gesenkt werden. Eine neue Herausforderung entsteht durch die Umsetzung von energetischen Massnahmen, insbesondere bei bestehenden Gebäuden, die bei mangelhafter Implementierung zu einer Verschlechterung der Innenraumluftqualität und damit einer Erhöhung der Radonbelastung führen können. Die möglichen negativen Auswirkungen auf die Gesundheit der Bewohnerinnen und Bewohnern kann mit einer verstärkten Zusammenarbeit mit dem Energiesektor begegnet werden. Erste Projekte, wie eine Geschäftsstelle „Energie und Gesundheit“ sind in der Planung und werden in den kommenden Jahren realisiert.

5 Literaturverzeichnis

[1] S. Menzler & al., Attributive Risiken durch Radon in der Schweiz, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, 2005

[2] Jahresbericht 2023 der Abteilung Strahlenschutz, Bundesamt für Gesundheit, 2024

[3] Radonprogramm Schweiz «RAPROS» Bericht über die Ergebnisse der Jahre 1987 – 1991, Bern

[4] S. Darby & al., Residential radon and lung cancer-detailed results of a collaborative analysis of individual data on 7148 persons with lung cancer and 14208 persons without lung cancer from 13 epidemiologic studies in Europe, Scan. J. Work Environ. Health 32, Suppl. 1, 1–83, 2006

[5] WHO Handbook on indoor radon, a public health perspective, World Health Organization, 2009

[6] F. Barazza & al, A National Survey on Radon Remediation in Switzerland, J. Radiol. Prot. 38 25, 2018

[7] Wegleitung Radon, Bundesamt für Gesundheit, 2023

[8] Kropat et al. 2014. Major influencing factors of indoor radon concentrations in Switzerland, Journal of Environmental Radioactivity, 129, 7–22

[9] Aktionsplan Radon 2021-2030, Bundesamt für Gesundheit, 2021

[10] L. Pampuri & al, Effects of buildings refurbishment on indoor air quality. Results of a wide survey on radon concentrations before and after energy retrofit interventions Sustainable Cities and Society (42). pp. 100 – 106, 2018

[11] Yang S. & al., Radon investigation in 650 energy efficient dwellings in Western Switzerland: impact of energy renovation and building characteristics, Atmosphere, 2019

[12] Energiestrategie 2050, Bundesamt für Energie, Schweiz, Energiestrategie 2050

[13] Interface Politikstudien Forschung Beratung GmbH, Evaluation des Nationalen Radonaktionsplans 2012 – 2020, Luzern, 2019

[14] Lernvideos auf der Lernplattform von Holzbau Schweiz: Radon - YouTube

[15] Radon – Praxis-Handbuch Bau, Faktor Verlag, 2018

Radon-Innenraumprognose für Deutschland - Methodik, Ergebnisse und Anwendungen

Eric Petermann

Bundesamt für Strahlenschutz (BfS), Fachgebiet Radon und NORM, Berlin

Der vorliegende Text ist eine Kurzfassung der im September 2024 in *Environmental Health Perspectives* (Ausgabe 132, Nummer 9; https://ehp.niehs.nih.gov/doi/10.1289/EHP14171) erschienen Publikation von Eric Petermann, Peter Bossew, Joachim Kemski, Valeria Gruber, Nils Suhr & Bernd Hoffmann: „*Development of a high-resolution indoor radon map using a new machine learning based probabilistic model and German radon survey data*".

Die Publikation ist kostenlos und frei verfügbar unter:

Zusammenfassung

Hintergrund: Radon ist ein krebserregendes Gas, das sich in Innenräumen anreichern kann und nicht wahrnehmbar ist. Die genaue Kenntnis der Radonkonzentration ist entscheidend für die Bewertung von Gesundheitsrisiken. Ziel ist die Modellbasierte Abschätzung der Radon-Innenraumverteilung auf Gemeindeebene.

Methoden: Mithilfe eines Quantile Regression Forest-Modells und Monte-Carlo-Sampling wurden Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Radonkonzentration für jede Etage in Wohngebäuden Deutschlands

berechnet. Durch Berücksichtigung der erwarteten Bewohneranzahl je Gebäude und Etage erfolgte eine Wichtung.

Ergebnisse: Die Radonkonzentration folgt näherungsweise einer lognormalen Verteilung mit einem Mittelwert von 63 Bq/m³. Überschreitungswahrscheinlichkeiten für 100 Bq/m³ und 300 Bq/m³ betragen 12,5 % bzw. 2,2 %.

Diskussion: Unser Ansatz liefert eine präzisere und räumlich feiner aufgelöste Schätzung als frühere Methoden. Dies begründet sich in der Korrektur der Stichprobenverzerrung und der Nutzung hochaufgelöster Prädiktordaten.

1 Einführung

Radon (Rn-222) ist ein radioaktives Edelgas und nachgewiesenermaßen ein Risikofaktor für Lungenkrebs [1]. Neben der Betroffenheit von Bergarbeitern wurde auch ein Zusammenhang zwischen Radon in Innenräumen und Lungenkrebs nachgewiesen [1, 2]. Weltweit wird Radon für etwa 3 % aller Krebstodesfälle verantwortlich gemacht [3, 4].

Die Hauptquelle für Radon in Innenräumen ist der Boden unter Gebäuden, wo es als Zerfallsprodukt von Uran entsteht und über Risse und Spalten in Gebäude eindringt [5, 6]. Weitere mögliche Quellen sind bestimmte Baumaterialien [7, 8], Wasser (besonders aus privaten Brunnen) [9, 10] sowie Erdgasnutzung [11]. Die Radonkonzentration wird in Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m³) gemessen und ist stark variabel – beeinflusst durch geologische Gegebenheiten, Gebäudestruktur, Luftaustausch und Stockwerk. In der Regel sind die Konzentrationen in den unteren Etagen höher als in den oberen [7, 12].

Um die Radonbelastung in Innenräumen auf nationaler oder regionaler Ebene abzuschätzen, werden Messkampagnen durchgeführt. Damit die Ergebnisse repräsentativ sind, sollten Stichproben zufällig aus nationalen Registern gezogen und bevölkerungsgewichtet sein [13-15]. Dennoch kann eine Verzerrung der Stichprobe auftreten, da Menschen in stärker belasteten Gebieten möglicherweise eine höhere Bereitschaft haben an Messungen teilzunehmen. Ein wichtiger [7, 16-18], aber oft vernachlässigter [14, 19, 20] Faktor ist die Verteilung der

Bevölkerung auf verschiedene Etagen, was einen erheblichen Einfluss auf die tatsächliche Exposition hat.

Viele Studien zur Radonbelastung zielen nicht auf die Ermittlung der Radonbelastung auf nationaler Ebene ab, sondern auf die Abgrenzung von Risiko- bzw. Gefährdungsgebieten. Dazu wird häufig eine Referenzsituation definiert, die folglich nicht die Vielfalt tatsächlicher Wohnbedingungen abbilden kann [21-24]. Obwohl sie Schätzungen der Innenraum-Radonwerte für den Innenbereich liefern, können die Ergebnisse dieser Studien, nicht ohne Weiteres für die Schätzung der nationalen Radonkonzentration herangezogen werden, da die Vorhersagen für eine definierte Situation (z. B. Erdgeschoss) gelten und nicht die Variabilität der Wohnbedingungen innerhalb der Bevölkerung berücksichtigen.

Zur präziseren Abschätzung der Radonbelastung werden zunehmend Prognosemodelle eingesetzt. Diese bieten mehrere Vorteile: Sie können Stichprobenverzerrungen korrigieren, Werte für ungemessene Orte ableiten und eine feinere räumliche Auflösung ermöglichen. Besonders maschinelle Lernverfahren zeigen hierbei vielversprechende Ergebnisse [25-28].

Allerdings bestehen auch bei Verwendung maschinelle Lernverfahren weiterhin Unsicherheiten, da wichtige Einflussfaktoren wie Gebäudeabdichtung oder Lüftungsverhalten aufgrund fehlender Informationen oft nicht in den Modellen berücksichtigt werden können. Zudem glätten Prognosemodelle häufig die natürliche Variabilität der Radonwerte, was zur Unterschätzung außergewöhnlich hoher Radon-Innenraumkonzentrationen führen kann.

Ziel unserer Studie ist es, die Verteilung der Radonkonzentration in Deutschland auf verschiedenen Verwaltungsebenen zu charakterisieren. Mithilfe eines modellbasierten Ansatzes werden Umwelt- und Gebäudeeigenschaften berücksichtigt.

2 Methoden

2.1 Beschreibung des Radon-Innenraumsurveys

Von 2019 bis 2021 wurde eine deutschlandweite, bevölkerungsrepräsentative Radonmesskampagne durchgeführt (siehe Abbildung1). Die angestrebte Anzahl der Teilnehmer pro Landkreis (n = 401) wurde proportional zur Bevölkerungsgröße des jeweiligen Landkreises festgelegt. Die Adressauswahl erfolgte zufällig aus einem kommerziellen Register (Deutsche Post Direkt). Aufgrund einer geringen Rücklaufquote (ca. 1.350 Haushalte) wurde die Studie zusätzlich über Medien und das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) beworben, wodurch die gewünschte Stichprobengröße erreicht wurde.

In jedem Haushalt (insgesamt 7479) wurden mit Kernspurdetektoren über ein Jahr hinweg Messungen in zwei Wohnräumen durchgeführt (Herbst 2019 bis Frühjahr 2021). Insgesamt wurden 14.053 Detektoren mit einer Messdauer von 365 Tagen ±10 % erfolgreich ausgewertet. Ein Fragebogen erfasste gebäude- und haushaltsbezogene Merkmale wie beispielsweise Baujahr, Gebäudetyp oder auch evtl. Radonsanierungen.

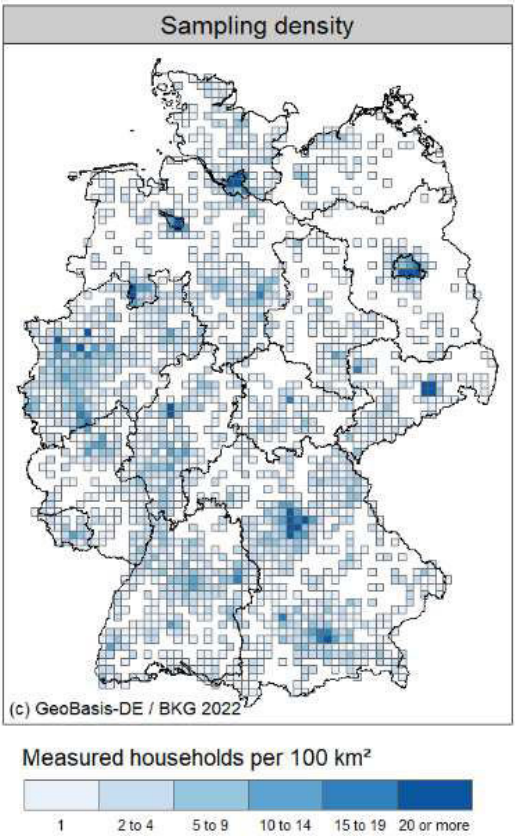


Abbildung 1: Messpunktdichte der teilnehmenden Haushalte (n=7479) bei der bundesweiten Radon-Innenraum Messkampagne im Zeitraum 2019 – 2021. Zur Erreichung einer bevölkerungsrepräsentativen Stichprobe wurde eine Stichprobengröße proportional zur Bevölkerungszahl auf Landkreiseebene angestrebt. In jedem Haushalt wurden zwei Messungen in Wohnräumen durchgeführt. (Quelle: Petermann et al. 2024, Environm. Health Persp. 132 (9))

2.2 Prädiktordaten

Verschiedene Umwelt- und Gebäudefaktoren wurden als potenzielle Einflussgrößen für die Radonkonzentration für die Modellierung verwendet. Geogene Radonverfügbarkeit gilt als Hauptquelle für Radon im Innenraum. Klima- sowie Gebäudemerkmale (Baujahr, Etage, Gebäudetyp) spielen ebenfalls eine Rolle.

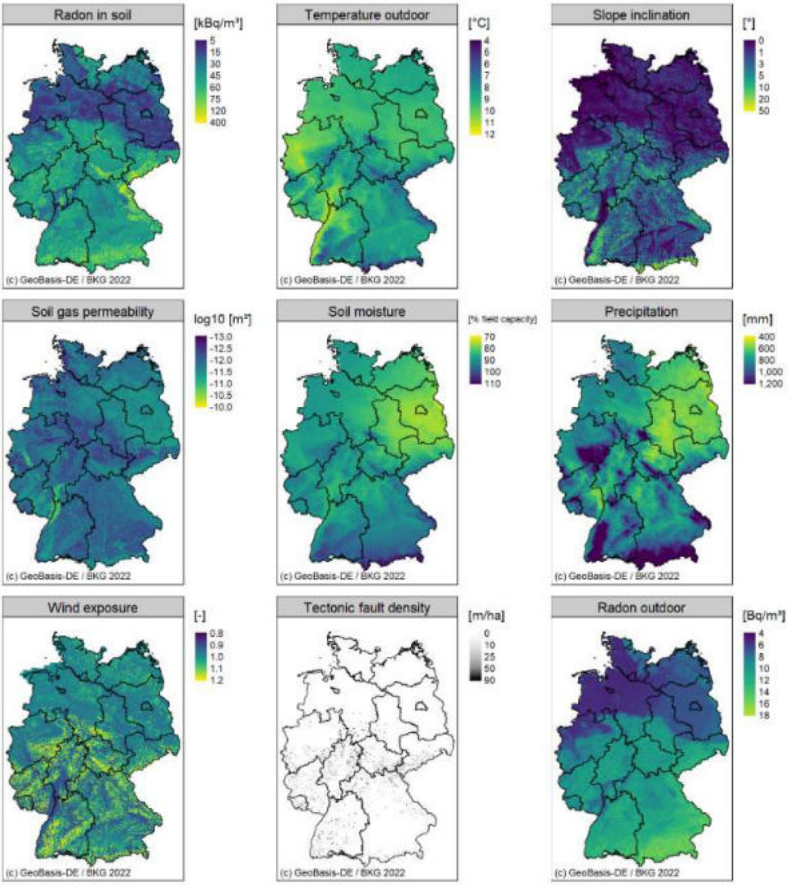


Abbildung 2: Prädiktordaten die für die Modellierung verwendet wurden. Bodeneigenschaften in Deutschland: Radon im Boden und Bodengaspermeabilität (Quelle: BfS); Klima: Außentemperatur, Bodenfeuchte und Niederschlag (Quelle: DWD); Gelände: Hangneigung und Windexposition (abgeleitet vom digitalen Höhenmodell; Quelle: BKG); Geologie: tektonische Störungsdichte (Quelle: BGR). Die Daten wurden räumlich mit den Innenradonmessungen verknüpft und als Prädiktoren in das Quantile Regression Forest Modell eingesetzt. Radon in der Außenluft wurde zur Optimierung der lokalen Schätzung der Radon-Innenraum-Verteilung verwendet. Hinweis: BfS, Bundesamt für Strahlenschutz; BGR, Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe; BKG: Bundesamt für Kartographie und Geodäsie; DWD: Deutscher Wetterdienst. (Quelle: Petermann et al. 2024, Environm. Health Persp. 132 (9))

Die Prädiktoren umfassen:

- Umweltfaktoren (siehe Abbildung 2):
  - Radonkonzentration im Boden
  - Radon in der Außenluft
  - Bodengaspermeabilität
  - Bodenfeuchte
  - Jahresniederschlag
  - Außentemperatur im Jahresmittel
  - Reliefbedingte Windexposition
  - Hangneigung
  - Dichte tektonischer Störungen
- Gebäude- und Haushaltsfaktoren:
  - Baujahr
  - Etage
  - Gebäudetyp
  - Anzahl der Haushalte

2.3 Modellierung

Zur Vorhersage der Radonkonzentration wurde ein Quantile Regression Forest (QRF)-Modell genutzt (siehe Abbildung3, Abbildung 4). Es wurde mit 12 Prädiktoren trainiert und durch räumliche Kreuzvalidierung optimiert. Die Modellierung umfasste vier Schritte:

1) Modellaufbau mit Radon-Innenraum-Messdaten und externen Prädiktordaten.
2) Vorhersage der Radonverteilung pro Etage aller Wohngebäude in Deutschland.
3) Monte-Carlo-Sampling zur Erstellung einer bevölkerungsgewichteten Wahrscheinlichkeitsverteilung.
4) Aggregation der Daten auf Verwaltungsebenen (national, Bundesländer, Kreise, Gemeinden).

Das Modell wurde in einer Webanwendung (https://model.radon-map.info) implementiert, die Vorhersagen für individuelle Gebäude innerhalb Deutschlands ermöglicht.

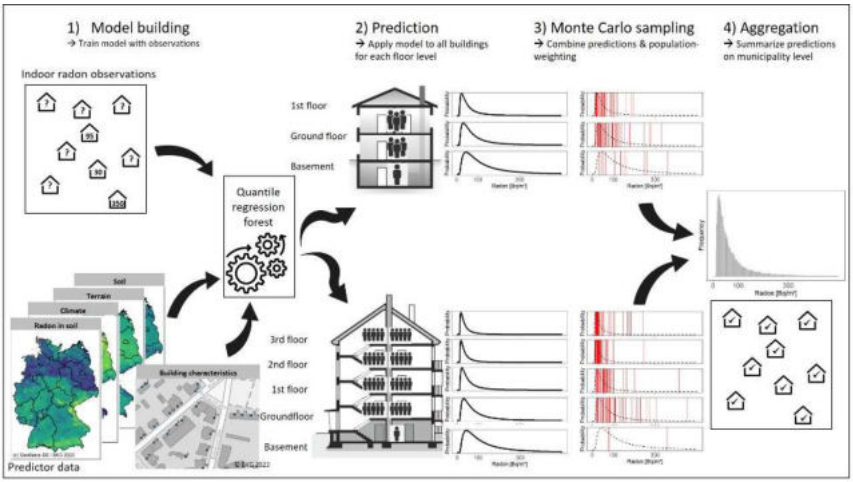


Abbildung 3: Schematische Darstellung des angewandten Modellansatzes: 1) Modellbildung: Training des Quantile Regression Forest-Modells unter Verwendung von Innenradonmessungen (n=14.053 Messungen) und 12 umwelt- und gebäudebezogenen Prädiktoren; 2) Prognose der Radonverteilung für jedes Geschoss eines jeden Wohngebäudes; 3) Monte-Carlo-Stichprobenverfahren: probabilistische Stichproben aus den geschätzten Radonverteilungen mit einer Stichprobengröße, die proportional zur Bevölkerungsverteilung ist; 4) Aggregierung der probabilistischen Stichproben auf Gemeindeebene. (Quelle: Petermann et al. 2024, Environm. Health Persp. 132 (9))

3 Ergebnisse

3.1 Ergebnisse des Surveys

Die Verteilung der beprobten Etagen wich von der allgemeinen Bevölkerungsverteilung ab: Während 35,1 % der deutschen Bevölkerung in der zweiten Etage oder höher leben, traf dies nur auf 8,1 % der Stichprobe zu. Gleichzeitig waren 46,8 % der Messungen im Erdgeschoss und 14,5 % im Keller durchgeführt, was eine Überrepräsentation niedriger Stockwerke zeigt.

Die Vergleichsanalyse zwischen den Standorten der Messungen und der geogenen Radonkonzentration ergab eine weitgehende Übereinstimmung der Stichprobe mit der Bevölkerungsverteilung bis zum 90. Perzentil.

Die Stichprobe weist damit eine gewisse Verzerrung auf, weshalb die im Folgenden genannten deskriptiven Werte nicht als repräsentativ für die Bevölkerung in Deutschland angesehen werden können. Die deskriptiven statistischen Kennwerte für die Radonmessungen in Innenräumen (n=14.053 aus 7.061 Haushalten) ergaben einen arithmetischen Mittelwert von 78 Bq/m³ (Standardabweichung: 126 Bq/m³), einen geometrischen Mittelwert von 49 Bq/m³ und eine 50. Perzentile von 44 Bq/m³. Die Werte reichten von 10 bis 2000 Bq/m³. Die Häufigkeiten für das Überschreiten von 100 Bq/m³, 300 Bq/m³, 600 Bq/m³ und 1000 Bq/m³ betrugen 18 %, 3,5 %, 0,65 % bzw. 0,35 %.

3.2 Modellgüte

Die wichtigsten Prädiktoren für die Radonkonzentration waren Etagenhöhe und geogenes Radon, gefolgt von Baujahr, Außentemperatur und Hanglage (siehe Abbildung4).

Das Modell zeigte eine moderate Präzision mit einem RMSE von 110,5 und einem r^2 von 0,24. Das Modell weist die für Regressionsmodelle typische Glättung auf, d.h. hohe Messwerte wurden tendenziell unterschätzt, niedrige Messwerte tendenziell überschätzt. Die Prognosesintervalle (80 % und 50 %) deckten 78,2 % bzw. 49,1 % der Testwerte ab, was als guter Gesamtfit gewertet wurde. Daraus lässt sich schlussfolgern, dass die Prognoseunsicherheit insgesamt groß ist, diese sich aber über präzise geschätzte Prognoseintervalle gut quantifizieren lässt.

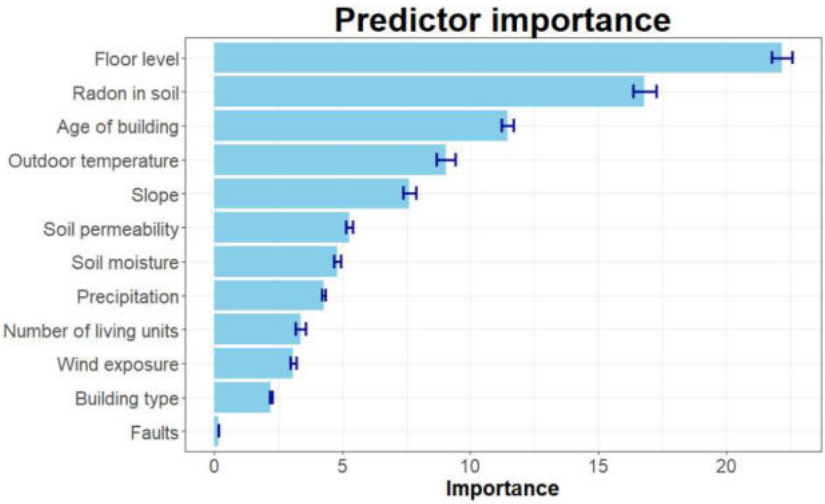


Abbildung 4: Rangfolge der Prädiktoren nach ihrer Bedeutung für die Vorhersage von Innenradon mit dem Quantile Regression Forest Modell. Die Bedeutung wurde gemessen durch die Berechnung der Zunahme des Vorhersagefehlers des Modells nach der Permutation (d.h. zufälliges Mischen von Werten) des untersuchten Prädiktors. (Quelle: Petermann et al. 2024, Environm. Health Persp. 132 (9))

3.3 Verteilung der Radonkonzentration

Die modellierte durchschnittliche Radonkonzentration betrug 63 Bq/m³ (SD: 147 Bq/m³) mit einem geometrischen Mittelwert von 41 Bq/m³. Die 90. und 95. Perzentile lagen bei 115 bzw. 180 Bq/m³.

12,5 % (10,5 Mio. Menschen) sind Konzentrationen von über 100 Bq/m³, 2,2 % von über 300 Bq/m³), 0,67 % von über 600 Bq/m³ und 0,25 % von über 1000 Bq/m³ ausgesetzt. Besonders betroffene Bundesländer sind Sachsen, Thüringen und Bayern. Städte wie München, Berlin, Köln und Hamburg hatten trotz geringer geogener Radonbelastung ein hohes kollektives Risiko (d.h. hohe absolute Anzahl betroffener Personen) aufgrund der hohen Bevölkerungsdichte.

Abbildung 5: Geschätzte durchschnittliche Radon-Aktivitätskonzentrationen (arithmetischer Mittelwert) der Raumluft, der Einwohner*innen einer Gemeinde in ihren Wohnungen ausgesetzt sind. (Quelle: Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/wohnraeume.html)

4 Diskussion

4.1 Modellansatz

Das Modell nutzt Korrelationen zwischen Innenraum-Radonkonzentration und Prädiktoren, die Umweltbedingungen und Gebäudemerkmale abbilden. Die wichtigsten Prädiktoren waren Etage und Radon-Konzentration im Boden, gefolgt von Baujahr, Außentemperatur, Hanglage, Niederschlag und Bodenfeuchte. Diese Faktoren beeinflussen Radon-Eintritt und -Transport. Die hohe Auflösung der Eingangsdaten ermöglichte eine Korrektur der Stichprobenverzerrung sowie präzisere Vorhersagen auf subnationaler Ebene. Trotz großer Unsicherheiten hinsichtlich der Schätzung des Erwartungswertes erlaubt

die angewandte Methode eine robuste Abschätzung der Prognoseintervalle.

4.2 Unsicherheiten und Einschränkungen

Die Stichprobe enthielt überproportional viele Messungen aus Kellern und aus Gebieten mit hoher Radonkonzentration im Boden, was eine Verzerrung der nationalen Schätzwerte verursacht hat. Fehlende Daten zu Gebäudeeigenschaften, Lüftungsverhalten und Kellernutzung trugen zur Vorhersageunsicherheit bei. Die Unsicherheit steigt mit zunehmender räumlicher Auflösung, insbesondere auf kommunaler Ebene, beispielsweise durch das Vorhandensein lokaler Besonderheiten, die durch den bundesweiten Prädiktorendatensatz nicht hinreichend abgebildet werden. Dennoch erlaubt die Monte-Carlo-Simulation eine realistische Abschätzung der Variabilität von Radonkonzentrationen durch explizite Berücksichtigung der Prognoseunsicherheit.

4.3 Implikationen für den Strahlenschutz

Die mittlere Radonkonzentration in Deutschland (AM=63 Bq/m^3, GM=41 Bq/m^3) liegt höher als frühere Schätzungen. Ein Grund dafür ist die Berücksichtigung der Kellernutzung. Die Ergebnisse bestätigen die Erkenntnisse aus früheren Arbeiten [21] dass in Deutschland die Mehrheit der Menschen, die in ihren Wohnungen Radonkonzentrationen von über 300 Bq/m^3 ausgesetzt sind, außerhalb der Radon-Vorsorgegebiete lebt.

Große Städte weisen oft niedrigere mittlere Radonwerte als ihre unmittelbare Umgebung auf, da in Städten mehr Menschen in höheren Etagen wohnen.

5 Fazit

Eine neue Schätzung der Radonverteilung in Wohnungen für Deutschland wurde erstellt, die statistische Kenngrößen wie den arithmetischen Mittelwert oder die Überschreitungswahrscheinlichkeit von 300 Bq/m^3 auf verschiedenen administrativen Ebenen (Bund, Bundesländer, Kreise, Gemeinden) bereitstellt. Die Ergebnisse dieser aktuellen Studie sind als Karten (https://indoor.radonmap.info) ebenso wie

das Vorhersagemodell (https://model.radonmap.info) auf interaktiven Webseiten verfügbar, um den Zugang zu den Ergebnissen zu erleichtern.

Die Anwendung eines Quantile Regression Forest Modells, das mit Messdaten einer aktuellen nationalen Radonstudie sowie hochauflösenden Umwelt- und Gebäudedaten trainiert wurde, ermöglichte eine verlässliche Charakterisierung der Prognoseintervalle und die Berechnung von Wahrscheinlichkeitsdichtefunktionen für jede Etage eines Wohngebäudes in Deutschland. Die Ergebnisse dieser Studie wurden bereits für epidemiologische Untersuchungen genutzt werden, beispielsweise zur Berechnung des Anteils von Lungenkrebsfällen, die auf Radon in Wohnräumen zurückzuführen sind [29]. Zudem könnte das Modell in Fall-Kontroll-Studien zur Vorhersage von Radonwerten für Fälle ohne Messdaten eingesetzt werden. Der vorgestellte Modellierungsansatz ist auch auf andere Länder oder Regionen übertragbar, sofern umfassende Datensätze zu Radonmessungen, relevante Prädiktordaten und detaillierte Informationen zum Wohngebäudebestand verfügbar sind.

6 Literaturverzeichnis

[1] S. Darby *et al.*, "Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies," *BMJ,* vol. 330, no. 7485, p. 223, Jan 29 2005, doi: 10.1136/bmj.38308.477650.63.

[2] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, "Sources, effects and risks of ionizing radiation," in " UNSCEAR 2019 Report, Annex B: Lung cancer from exposure to radon," United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 2020.

[3] J. Gaskin, D. Coyle, J. Whyte, and D. Krewksi, "Global Estimate of Lung Cancer Mortality Attributable to Residential Radon," *Environ Health Perspect,* vol. 126, no. 5, p. 057009, May 2018, doi: 10.1289/EHP2503.

[4] IARC, "Cancer fact sheet," All cancers, Ed., ed: The Global Cancer Observatory, 2020.

[5] B. P. Jelle, "Development of a model for radon concentration in indoor air," *Science of the total environment,* vol. 416, pp. 343-350, 2012.

[6] S. Savović, A. Djordjevich, and G. Ristić, "Numerical solution of the transport equation describing the radon transport from subsurface soil to buildings," *Radiation protection dosimetry,* vol. 150, no. 2, pp. 213-216, 2012.

[7] C. Demoury *et al.*, "A statistical evaluation of the influence of housing characteristics and geogenic radon potential on indoor radon concentrations in France," *J Environ Radioact,* vol. 126, pp. 216-25, Dec 2013, doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.08.006.

[8] C. Cosma, A. Cucos-Dinu, B. Papp, R. Begy, and C. Sainz, "Soil and building material as main sources of indoor radon in Baita-Stei radon prone area (Romania)," *J Environ Radioact,* vol. 116, pp. 174-9, Feb 2013, doi: 10.1016/j.jenvrad.2012.09.006.

[9] J. A. Casey *et al.*, "Predictors of Indoor Radon Concentrations in Pennsylvania, 1989-2013," *Environ Health Perspect,* vol. 123, no. 11, pp. 1130-7, Nov 2015, doi: 10.1289/ehp.1409014.

[10] J. Chen, "A Summary of Residential Radon Surveys and the Influence of Housing Characteristics on Indoor Radon Levels in Canada," *Health Phys,* vol. 121, no. 6, pp. 574-580, Dec 1 2021, doi: 10.1097/HP.0000000000001469.

[11] A. Abbasi and F. Mirekhtiary, "Estimation of natural gas contribution in indoor 222Rn concentration level in residential houses," *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry,* vol. 330, no. 3, pp. 805-810, 2021, doi: 10.1007/s10967-021-08024-z.

[12] G. Kropat *et al.*, "Major influencing factors of indoor radon concentrations in Switzerland," *J Environ Radioact,* vol. 129, pp. 7-22, Mar 2014, doi: 10.1016/j.jenvrad.2013.11.010.

[13] H. Friedmann, "Final results of the Austrian Radon Project," (in eng), *Health Phys,* vol. 89, no. 4, pp. 339-48, Oct 2005, doi: 10.1097/01.hp.0000167228.18113.27.

[14] P. Murphy, A. Dowdall, S. Long, B. Curtin, and D. Fenton, "Estimating population lung cancer risk from radon using a resource efficient stratified population weighted sample survey protocol - Lessons and results from Ireland," *J Environ Radioact,* vol. 233, p. 106582, Jul 2021, doi: 10.1016/j.jenvrad.2021.106582.

[15] R. Smetsers, R. O. Blaauboer, F. Dekkers, and H. Slaper, "Radon and Thoron Progeny in Dutch Dwellings," *Radiat Prot Dosimetry,* vol. 181, no. 1, pp. 11-14, Sep 1 2018, doi: 10.1093/rpd/ncy093.

[16] F. Bochicchio *et al.*, "Annual average and seasonal variations of residential radon concentration for all the Italian Regions," *Radiation Measurements,* vol. 40, no. 2-6, pp. 686-694, 2005, doi: 10.1016/j.radmeas.2004.12.023.

[17] D. E. Tchorz-Trzeciakiewicz and S. R. Olszewski, "Radiation in different types of building, human health," *Sci Total Environ,* vol. 667, pp. 511-521, Jun 1 2019, doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.02.343.

[18] H. Papaefthymiou, A. Mavroudis, and P. Kritidis, "Indoor radon levels and influencing factors in houses of Patras, Greece," *Journal of Environmental Radioactivity,* vol. 66, no. 3, pp. 247-260, 2003/01/01/ 2003, doi: https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00110-8.

[19] O. Burke, S. Long, P. Murphy, C. Organo, D. Fenton, and P. A. Colgan, "Estimation of seasonal correction factors through Fourier decomposition analysis--a new model for indoor radon levels in Irish homes," *J Radiol Prot,* vol. 30, no. 3, pp. 433-43, Sep 2010, doi: 10.1088/0952-4746/30/3/002.

[20] R. C. G. M. Smetsers, R. O. Blaauboer, and S. A. J. Dekkers, "Ingredients for a Dutch radon action plan, based on a national survey in more than 2500 dwellings," *Journal of Environmental Radioactivity,* vol. 165, pp. 93-102, 2016/12/01/ 2016, doi: https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2016.09.008.

[21] E. Petermann and P. Bossew, "Mapping indoor radon hazard in Germany: The geogenic component," *Sci Total Environ,* vol. 780, p. 146601, Aug 1 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.146601.

[22] F. Rezaie *et al.*, "Spatial modeling of geogenic indoor radon distribution in Chungcheongnam-do, South Korea using enhanced machine learning algorithms," *Environ Int,* vol. 171, p. 107724, Jan 2023, doi: 10.1016/j.envint.2022.107724.

[23] O. Alber, C. Laubichler, S. Baumann, V. Gruber, S. Kuchling, and C. Schleicher, "Modeling and predicting mean indoor radon concentrations in Austria by generalized additive mixed models," *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment,* vol. 37, no. 9, pp. 3435-3449, 2023, doi: 10.1007/s00477-023-02457-6.

[24] G. Kropat *et al.*, "Improved predictive mapping of indoor radon concentrations using ensemble regression trees based on automatic clustering of geological units," *J Environ Radioact,* vol. 147, pp. 51-62, Sep 2015, doi: 10.1016/j.jenvrad.2015.05.006.

[25] D. Vienneau *et al.*, "Residential radon - Comparative analysis of exposure models in Switzerland," *Environ Pollut,* vol. 271, p. 116356, Feb 15 2021, doi: 10.1016/j.envpol.2020.116356.

[26] A. Nikkila *et al.*, "Predicting residential radon concentrations in Finland: Model development, validation, and application to childhood leukemia," *Scand J Work Environ Health,* vol. 46, no. 3, pp. 278-292, May 1 2020, doi: 10.5271/sjweh.3867.

[27] L. Li *et al.*, "Predicting monthly community-level domestic radon concentrations in the greater boston area with an ensemble learning model," *Environmental Science & Technology,* vol. 55, no. 10, pp. 7157-7166, 2021.

[28] A. Carrion-Matta *et al.*, "Predictors of indoor radon levels in the Midwest United States," *J Air Waste Manag Assoc,* vol. 71, no. 12, pp. 1515-1528, Dec 2021, doi: 10.1080/10962247.2021.1950074.

[29] F. Heinzl, M. Schnelzer, and P. Scholz-Kreisel, "Lung cancer mortality attributable to residential radon in Germany," *Radiation and Environmental Biophysics,* vol. 63, no. 4, pp. 505-517, 2024/11/01 2024, doi: 10.1007/s00411-024-01095-y.

Radon-Biobanken als Schlüssel zum Verständnis langfristiger Strahleneffekte – Erforschung strahlenbiologischer Veränderungen

Maria Gomolka[(1)], Bernd Hoffmann[(2)], Valentin Ziel[(2)], Eric Petermann[(2)], Martin Dubslaff[(3)], Kristin Hummel[(4)], Jakob Nikolai Keller[(4)], Sara Yasemin Nußbeck[(4)], Ulrike Goedecke[(5)], Rami El Shafie[(5)], Juliane Pätzold[(1)], Sven Draheim[(1)], Saskia Pautz[(1)], Felix Kästle[(1)], Andreas Christian Woerner[(1)], Simone Mörtl[(1)]

[1)] Strahlenbiologie, Bundesamt für Strahlenschutz, Neuherberg

[2)] Radon und NORM, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

[3)] Radonmetrologie, Bundesamt für Strahlenschutz, Berlin

[4)] Zentrale Biobank UMG, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen

[5)] Klinik für Strahlentherapie und Radioonkologie, Universitätsmedizin Göttingen, Göttingen

Zusammenfassung

Der Zusammenhang zwischen Radon und Lungenkrebs ist gut belegt. Die Radon-induzierten biologischen Strahlenwirkungen sind jedoch bislang nur wenig untersucht. Molekulare Untersuchungen in einem größeren Kollektiv Radon-exponierter Personen sind die Voraussetzung, um verbesserte Kenntnisse über Radon-induzierte Mechanismen zu erlangen. Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat zu diesem Zweck eine Bioproben- und Datenbank von ehemaligen Wismut Bergarbeitern aufgebaut und ist gerade dabei mit der Universitätsmedizin Göttingen (UMG) Bioproben und Daten von Personen in hoch und niedrig exponierten Wohnungen zu sammeln, um sie zukünftig der Strahlenforschung zur Verfügung zu stellen. Die neue Bioprobenbank ermöglicht die Untersuchung biologischer Wirkungen bei Erwachsenen (Männern und Frauen) und Minderjährigen. Die Pilotphase ist abgeschlossen. Die Teilnahmerate mit 27% ist ausreichend, um die Studie erfolgreich durchzuführen. Die logistische Durchführung ist machbar und die erzielte Probenqualität sehr gut. In Folgestudien sollen dann durch Radon verursachte, biologische

Veränderungen in den Bioproben analysiert werden. Die gewonnenen Erkenntnisse sollen dazu beitragen, mögliche Zusammenhänge zwischen Radon und verschiedenen Krankheiten besser bewerten zu können und mögliche empfindliche Subgruppen zu identifizieren.

1 Hintergrund

1.1 Epidemiologische Forschung

Bisherige Forschungen haben gezeigt, dass Radon das Lungenkrebsrisiko erhöht. Eine chronische Exposition gegenüber Radon und seinen Zerfallsprodukten kann zu einer Schädigung des Lungengewebes führen und in Folge dessen Lungenkrebs auslösen. In einer kürzlich erschienen BfS Publikation wurde abgeschätzt, dass etwa 2.800 Menschen pro Jahr allein in Deutschland an den Folgen einer erhöhten häuslichen Radonexposition versterben [1]. Dies sind ca. 6,3% aller an Lungenkrebs verstorbenen Personen. Ein Zusammenhang zwischen Radon und anderen Krebserkrankungen als Lungenkrebs und Nicht-Krebserkrankung wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen ist aus epidemiologischen Studien bisher nicht belegt.

1.2 Physikalische Dosisverteilung von Radon und Radonfolgeprodukten

Radon und seine Folgeprodukte verursachen vor allem eine Strahlendosis in der Lunge. Die Strahlendosis durch Radon und Radonfolgeprodukte ist in anderen Organen, wie zum Beispiel dem blutbildenden System, dem roten Knochenmark, um Größenordnungen geringer.

1.3 Strahlen-induzierte biologische Veränderungen

Ionisierende Strahlung schädigt einzelne Zellen bereits nach geringen akuten Dosen in der Größenordnung von wenigen Milligrays. Der beobachtete DNA-Schaden durch dicht ionisierende Strahlung, wie Alpha-Teilchen, die nach Radonzerfall freigesetzt werden, unterscheidet sich erheblich vom DNA-Schaden durch sogenannte locker ionisierende Strahlung, wie Röntgenstrahlung (Abb. 1). Beim Durchqueren eines Alpha-Teilchens durch einen Zellkern werden viele Doppelstrangbrüche induziert, die sehr eng beieinander liegen. Dies hat zur

Folge, dass Zellen den Schaden nur schwer reparieren können und entweder bei der Reparatur viele Fehler machen oder absterben. Beides kann eine Tumorentwicklung initiieren bzw. begünstigen. Eine Fehlreparatur führt zu strukturellen Veränderungen im Erbmaterial und kann als Chromosomenveränderung sichtbar gemacht werden (Abb. 2). Hierbei können wichtige Gene, die z.B. die Zellteilung regulieren, verändert werden und außer Kontrolle geraten. Damit entwickeln sich normale Zellen zu Tumorzellen. Zellen die absterben, geben Signale (Zytokine und andere lösliche Stoffe), an ihre nächste Umgebung ab und stimulieren andere Zellen zur Zellteilung. Hier können sich möglicherweise Zellklone durchsetzen, die durch eine Vorschädigung einen Wachstumsvorteil haben und der Tumorprozess wird durch die freigesetzten Zytokine der absterbenden Zellen begünstigt. Zytokine und andere lösliche Faktoren können ihre Wirkung nicht nur auf ihre direkte Umgebung entfalten, sondern über den Transport im Blutplasma auch an anderen Organen biologische Effekte, wie entzündliche Prozesse, beeinflussen.

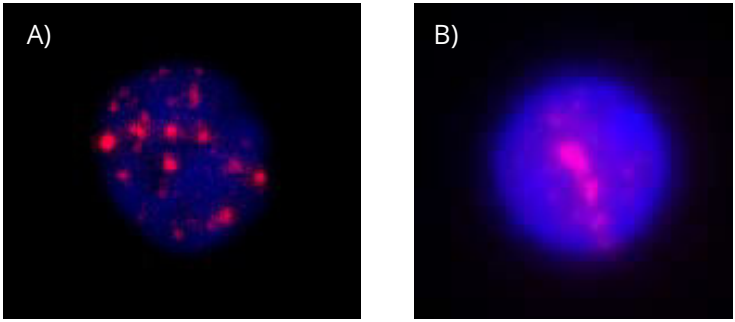


Abbildung 1: Nachweis von DNA-Doppelstrangbrüchen (rot) mittels Fluoreszenzmarkierter Antikörper in Zellkernen (blau) von Blutzellen nach A) nach 1 Gy Cs-137 Exposition (locker ionisierender Strahlung) B) nach 1 Gy Radonexposition (dicht ionisierende Strahlung, Alpha-Teilchen).

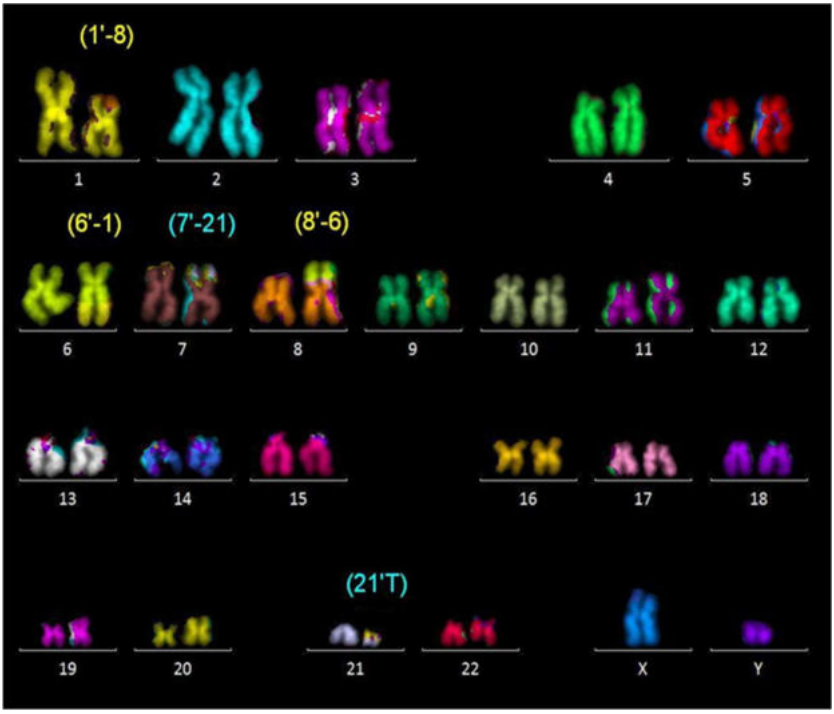


Abbildung 2: Chromosomenschäden in einer Zelle eines Uranbergarbeiters, dargestellt als Karyogramm (geordnete Chromosomenpaare). Jedes Chromosomenpaar ist nummeriert und mit einer anderen Farbe dargestellt. Chromosomenschäden werden durch Farbübergänge sichtbar gemacht.

Bioprobenbanken sind daher eine wertvolle Ergänzung für die epidemiologische Forschung, da sie zugrundeliegende Wirkmechanismen untersuchen können und eine Präzisierung und tiefere Analyse von möglichen krankheitsverursachenden biologischen Vorgängen ermöglichen.

1.4 Die deutsche Uranbergarbeiter Bioprobenbank (GUMB – German Uranium Miners Biobank)

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) hat in den Jahren 2008-2012 zusammen mit dem Institut für Prävention und Arbeitsmedizin eine Bioprobenbank von ehemaligen Beschäftigten (Männer >65 Jahre) im

Uranbergbau, der SAG/SDAG Wismut, aufgebaut [2]. In dieser Bioprobenbank des BfS sind Blut- und Blutprobenbestandteile enthalten, aber auch Erbsubstanz aus Tumorgewebe von an Lungenkrebs verstorbenen Personen. Untersuchungen der Chromosomen von Blutzellen haben gezeigt, dass auch Jahre später nach der beruflichen Exposition durch Radon und Gamma-Strahlung durch den Uranzerfall, das Genom bei hohen Expositionen geschädigt ist. Ebenfalls konnte kürzlich in Tumormaterial eine erhöhte Mutationslast im Vergleich zu anderen nicht strahlen-induzierten Tumoren nachgewiesen werden. Ebenfalls sind nach hoher chronischer beruflicher Strahlenexposition auch Jahre später in Blutzellen von Uranbergarbeitern Veränderungen in Genen nachzuweisen, die entzündliche Prozesse beeinflussen können [3]. Die Untersuchungen an Proben der GUMB erlauben jedoch keine Aussagen zu Alters- und Geschlechtsspezifischen biologischen Effekten durch Radon, da hier Blutproben von älteren Männern Jahre nach ihrer zum Teil sehr hohen beruflichen Exposition untersucht werden.

1.5 Die Radon-Biobank (RadI – Radon Inhouse)

Seit November 2023 bauen das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und die Universitätsmedizin Göttingen (UMG) eine bisher einzigartige Radon-Biobank auf, um die biologischen Wirkmechanismen einer chronischen häuslichen Radonexposition in Frauen, Männern und Minderjährigen umfassender zu untersuchen.

Ziel ist bis Ende 2026 von insgesamt 500-600 Personen, darunter 300 Personen aus hoch-exponierten Haushalten (>300 Bq/m^3) verschiedene Bioproben zu sammeln, die zukünftige Untersuchungen am Genom, an verschiedenen Biomarkern zu Gesundheitseffekten, an Entzündungsmarkern und dem Mikrobiom der Luftwege ermöglichen. In Abbildung 3 ist dargestellt, welche biologischen Proben gesammelt werden und welches biologische Material für genauere Untersuchungen gewonnen werden soll. Von Vollblutproben werden Zellen gewonnen und die Erbsubstanz auf Schädigungen, wie Brüche in der DNA (Desoxyribonukleinsäure) und in den Chromosomen untersucht. Hier soll u. a. die Frage beantwortet werden, ob der Radon-induzierte

Schaden für bestimmte Altersgruppen (wie Kinder) gegenüber Erwachsenen erhöht ist. Für niedrige Strahlendosen mit locker ionisierender Strahlung konnten wir dies bereits zeigen [4,5]. Aus den Blutzellen wird genetisches Material, wie DNA und RNA (Ribonukleinsäure) gewonnen. Hier kann mit neuartigen Methoden untersucht werden, ob bestimmte Erbanlagen (Gene) Veränderungen aufweisen, die z.B. in der Tumorentwicklung wichtig sind. Um aus Erbanlagen Effektormoleküle, Proteine, zu generieren, benötigt es einen Mittler, die sogenannte messenger RNA (Ribonukleinsäure). Veränderungen im Ablesen der Erbanlagen, können auch auf dieser Ebene untersucht werden. Forschende könnten über Untersuchungen an der RNA erkennen, ob eine chronische Radonexposition das Zusammenspiel biologischer Signalwege beeinflusst. Diese zukünftigen Untersuchungen sind nicht nur an Blutzellen geplant, sondern auch an Geweben, die möglicherweise direkt durch Radon geschädigt werden, wie Zellen der Nasen- und Mundschleimhaut. Auch aus diesen Zellen soll DNA und RNA gewonnen werden. Im Blutplasma und im Speichel können Zytokine untersucht werden, die chronische entzündliche Prozesse anzeigen, aber auch verschiedene Biomarker (z.B. Proteine), die Veränderungen im Stoffwechsel anderer Organe (Herz, Gehirn, Leber, Niere) anzeigen. Eine völlig neue Fragestellung ist, ob eine Radonexposition die Zusammensetzung von Bakterien auf der Schleimhaut in den Bronchien beeinflusst, das sogenannte Mikrobiom. Dies kann an Sputum und Speichelproben untersucht werden. Wenn aus diesen Proben ebenfalls die Erbsubstanz in diesem Fall der gesamten dort vorherrschenden Bakterien gewonnen wird, kann durch neuartige Sequenzierungsmethoden bakterienspezifischer Gene (16S RNA) und komplexen bioinformatischen Analysen, die Bakterienzusammensetzung ermittelt werden. Mikrobiomveränderungen wurden bereits in Atemwegserkrankungen beschrieben, beispielsweise bei der chronischen Bronchitis.

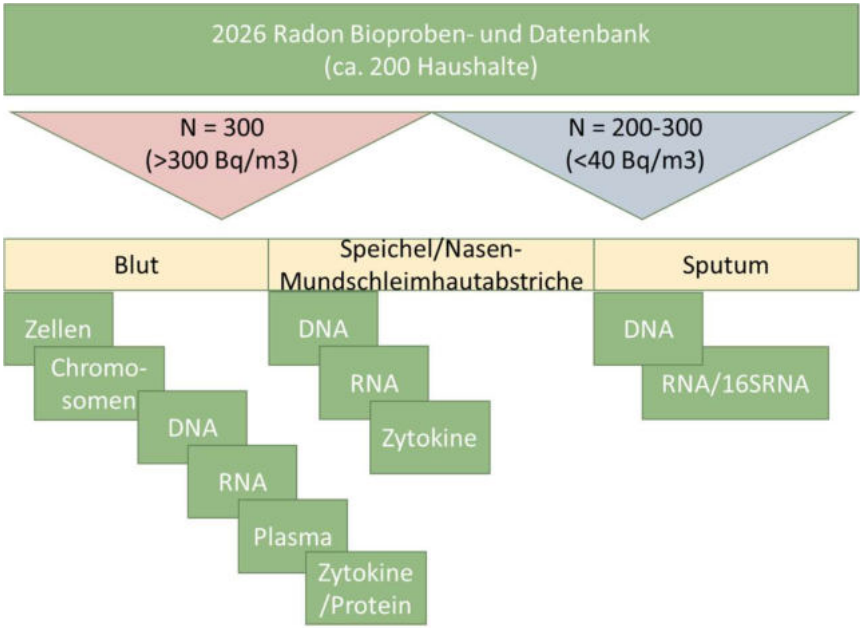


Abbildung 3: Die Abbildung zeigt die zukünftige Radon Biobank (RadI), die bis zum Jahr 2026 beim BfS eingelagert sein wird. Es ist angestrebt, verschiedene Proben (Blut-, Speichel- und Sputumproben, sowie Nasen- und Mundschleimhautabstriche) von insgesamt 500-600 Personen aus unterschiedlich Radon-exponierten Haushalten zu sammeln. Das kryokonservierte Material soll zukünftige Untersuchungen zu DNA-Schäden (Zellen, Chromosomen), genetischen Veränderungen (DNA, RNA), Veränderungen von Signalwegen (RNA, Proteine) und entzündlichen Prozessen (RNA, Zytokine), dem Mikrobiom (Untersuchung bakterienspezifischer Gene, der 16SRNA auf DNA Ebene im Sputum und Speichel) sowie Veränderungen in anderen Organen (Proteine im Blutplasma) erlauben, die mit einer chronisch häuslichen Radonexposition in Zusammenhang stehen. Durch zusätzliche Erhebung von Daten zu weiteren beruflichen Expositionen, Erkrankungen, Medikamenten und Life Style Faktoren, wie Rauchen, sollen Faktoren ausgeschlossen werden, die die biologischen Marker ebenfalls beeinflussen könnten.

Die Radon-Biobank zielt damit darauf ab, nationale und internationale Forschungsprojekte zu ermöglichen, die:

1. das Wissen über biologische Wirkmechanismen von Radon auf verschiedene Organe erweitern.
2. den Einfluss von Alter und Geschlecht auf durch Radon ausgelöste biologische Wirkmechanismen untersuchen.

2 Methodik

2.1 Ethik und Datenschutz

Ein positives Votum der Ethikkommission und des Bundesbeauftragten für den Datenschutz und die Informationsfreiheit für die Studie liegen vor.

2.2 Auswahl geeigneter Radon-exponierter Haushalte und Kontrollen

Das BfS hat im Zeitraum 2019-2020 Jahresradonmessungen in deutschen Privathaushalten durchgeführt. Anhand der Messergebnisse wurden Radon-hoch (>300 Bq/m^3) und -niedrig- (<40 Bq/m^3) belastete Haushalte kategorisiert, vom BfS angeschrieben und mit einem Informationsflyer über die Bioprobenbank informiert. Nach Teilnahmebestätigung über einen Haushaltsspezifischen Teilnahme-Link werden die Kontaktdaten an die UMG weitergegeben.

2.3 Kontaktierung der Haushalte und Aufklärung über die Studie

Die UMG kontaktiert die Teilnehmenden und vereinbart einen online Termin zur ärztlichen Aufklärung über die Studie und Probennahme.

2.4 Probensammlung vor Ort

Nach schriftlicher Einwilligung erfolgt die Beprobung der Haushalte durch ein mobiles Team (Study Nurse und gegebenenfalls Arzt) der UMG. Eine Study Nurse beprobt die Personen, erfasst Daten zur Radonexposition (Aufenthaltsdauer, Sanierungsmaßnahmen seit den Messungen), Gesundheitsdaten, Life-Style und berufliche Expositionen in einem Fragebogen.

2.5 Einverständniserklärung

Die schriftlichen Einverständniserklärungen gehen an die Treuhandstelle im BfS und werden dort erfasst, kontrolliert und mit dem Probanden- und Probensetcode abgeglichen. Ein Widerruf des Einverständnisses ist jederzeit möglich.

2.6 Probenversand

Die Blutproben und Abstriche werden direkt als Expresspakete ungekühlt über Nacht versandt und am darauffolgenden Tag im BfS verarbeitet. Die Speichel- und Sputumproben werden mobil in einer Kühlbox bei -20°C eingefroren und in der Zentralen Biobank UMG bei -80°C zwischengelagert. In regelmäßigen Abständen werden die Speichel- und Sputumproben auf Trockeneis mit einem Versanddienstleister zum BfS nach Oberschleißheim versendet.

2.7 Probenaufbereitung und Kryokonservierung

Die kodierten Proben werden bei Eintreffen am BfS elektronisch in einem Laborverarbeitungssystem (MEDEORA) erfasst. Aus Blutproben werden periphere weiße Blutzellen präpariert und in Stickstoff kryokonserviert. Blut wird für zytogenetische Analysen kultiviert und Zellkerne anschließend in Fixativ (Methanol/Essigsäure) bei -20°C konserviert. Blutplasma wird aliquotiert und in flüssigem Stickstoff oder bei -80°C kryokonserviert. EDTA Blut und PAXgene Blutproben werden bei -80°C kryokonserviert. Nasen- Mundschleimhautabstriche und Speichelproben werden bei -20°C in speziellen Probengefäßen und Konservierungsmedien kryokonserviert. Blutausstriche werden bis zur Analyse von Doppelstrangbrüchen mittels GammaH2AX-Testverfahren bei 4°C in Fixativ (PFA) konserviert.

3 Ergebnisse

3.1 Kontaktierung der Haushalte und Teilnahmerate

Aus insgesamt 7.400 Haushalten wurden 407 hoch-exponierte und 2.513 niedrig-exponierte Haushalte identifiziert. Jedem Haushalt wurde ein spezifischer Teilnahmelink zugeordnet. Dieser Link ermöglicht die Teilnahmebestätigung und die kurze Datenerfassung über teilnehmende Personen im Haushalt, deren Alter, Geschlecht und

Rauchverhalten, Adresse, email-Kontakt und Telefonnummer. Alle identifizierten Haushalte wurden vom BfS schriftlich kontaktiert. Von den hoch-exponierten Haushalten haben bis Dezember 2024 111 Haushalte mit insgesamt 257 Personen der Kontaktierung zu Studienzwecken zugestimmt.

3.2 Beprobung der Haushalte

Alle 111 Haushalte wurden bereits von der UMG kontaktiert. Es wurden Termine für Aufklärungsgespräche vereinbart, die online stattfinden. Die Beprobung der ersten Haushalte hat stattgefunden. Bis Februar 2025 konnte die Pilotphase abgeschlossen werden. Es wurden Daten von 15 Haushalten erfasst und Proben und Daten von 30 Personen genommen, darunter auch Minderjährige.

3.3 Bisher gewonnene Proben und ihre Qualität

Von 28 Spendern konnten sowohl Blutproben (Plasma, EDTA Blut, Heparin Blut, PAXgene Blut, Blutausstriche), als auch Speichel- und Sputumproben, Nasenabstriche und Mundschleimhautabstriche genommen werden. Von zwei Spendenden wurden nur Blutausstriche, Speichel- und Sputumproben, Nasenabstriche und Mundschleimhautabstriche gewonnen. Die Probenqualität, nach optischer Beurteilung der gelieferten Proben und nach Isolierung von primären Zellen aus den Heparin-Blutproben, ist mit einer Vitalität von durchschnittlich 97,6% sehr gut. Alle isolierten Blutzellen konnten mit einer Vitalität über 95% kryokonserviert werden. Damit können zum einen erfolgreich weitere Untersuchungen durchgeführt werden, zum anderen, ist dies auch ein Nachweis, dass der Probentransport die Proben nicht gravierend schädigt. Die anderen kryokonservierten Proben sind in der Regel weniger empfindlich als die Blutzellen.

Insgesamt sind in der Bioprobenbank nach der Pilotstudie (Stand 04.02.2025) bereits 776 Aliquots von 30 Spendern kryokonserviert worden (Tab. 1; Tab. 2).

3.4 Doppelstrangbruch Analysen der Erbsubstanz

Die Blutausstriche werden am BfS in monatlichen Abständen mittels eines Fluoreszenz-basierten mikroskopischen Testverfahrens (gamma-H2AX) auf DNA Doppelstrangbrüche untersucht. Die ersten

27 Probanden wurden bereits untersucht. Die Qualität der Blutausstriche erwies sich als sehr gut. Es ist möglich pro Objektträger bis zu 2.000 Zellen in einer angemessenen Zeit semi-automatisch zu analysieren. Pro Teilnehmer werden drei Objektträger analysiert. Die erzeugten Bilddaten werden sowohl automatisch (Foci-Zählung) als auch manuell (Einteilung der Zellen in Kategorien: 1) Einzelne Foci; 2) Zellkerne mit Spuren; 3) Panfluoreszierende Zellkerne (Hinweis auf strahlen-induzierten Zelltod) ausgewertet.

Tabelle 1: Kryokonservierte Proben aus Blut (Stand 04.02.2025) Radon Biobank

Teilnehmende [N]	**EDTA Blut** [N]	**PAXgene** [N]	**Plasma** [N]	**PBL** [N]	**Chromosomen fixiert** [N]	**Blutausstriche** [N]	**Heparin Blut** [N]
30	29	56	264	69	58	91	29
Geplante Untersuchung	DNA	RNA	Zytokine; Biomarker, Proteine	Zellassays	DNA-Schaden	DNA-Schaden	DNA-Schaden

Tabelle 2: Kryokonservierte Proben aus anderem Gewebe (Stand 04.02.2025) Radon Biobank

Teilnehmende [N]	**Speichel** [N]	**Mund** [N]	**Nase** [N]	**Speichel** [N]	**Sputum** [N]
30	60	30	30	30	30
Geplante Untersuchung	DNA RNA	RNA	RNA	Mikrobiom Zytokine	Mikrobiom

4 Diskussion und Ausblick

Diese Biobank ist in ihrem Probenumfang sowohl national als auch international einzigartig und wird es ermöglichen, Analysen durchzuführen, die mit bestehenden Bioproben und Daten nicht möglich sind.

Die Radon-Biobank wird ermöglichen:

1. Die biologischen Wirkmechanismen von Radon detaillierter zu untersuchen.
2. Den Einfluss von Radon auf verschiedene Bevölkerungsgruppen, insbesondere Kinder und Frauen, besser zu verstehen.
3. Biologische Langzeiteffekte der chronischen Radonexposition zu erforschen.

Die Teilnahmerate mit 27% aller angeschriebenen hoch-exponierten Haushalte zeigt das große Interesse der Bevölkerung an der Forschung zu möglichen Radon-induzierten biologischen Veränderungen. Die Rekrutierungsrate entspricht bzw. übertrifft die Erwartungen, insbesondere die Teilnahme von Kindern und Jugendlichen. Die Teilnahmebereitschaft der Bergbaubeschäftigten in der Wismut Bioprobenbank variierte in Abhängigkeit vom ärztlichen Studienzentrum zwischen 13%-73%. In der Wismutstudie wurden die Teilnehmer jedoch während der jährlichen ärztlichen Untersuchungen rekrutiert, d.h. hier fand bereits ein persönliches Gespräch in der Regel mit bekannten Ärzten vorab statt. In der Radon-Biobank hingegen, werden die Teilnehmer ausschließlich angeschrieben und müssen sich selbstständig online registrieren. Daher ist die bisher erzielte Rekrutierungsrate sehr gut. Die Pilotstudie der ersten 15 Haushalte hat gezeigt, dass auch nach der ärztlichen Aufklärung über die Probenahme, die Teilnahmebereitschaft erhalten bleibt. Das entwickelte Studienprotokoll ist machbar und die erzielte Probenqualität, welche entscheidend für zukünftige Studien ist, sehr gut. Die geplante Logistik, die Proben innerhalb von 24 h an das BfS zu liefern, funktioniert.

Die Pilotstudie belegt die Machbarkeit des Projektes. Die anvisierte Teilnehmerzahl von 300 Personen in der hoch-exponierten Gruppe wurde mit bereits 257 teilnehmenden Personen beinahe erreicht.

Damit bietet der Aufbau dieser Bioproben- und Datenbank zukünftige Forschungsmöglichkeiten über Wirkmechanismen Radon-induzierte biologische Effekte und deren Zusammenhang mit möglichen pathologischen Effekten. Die Identifizierung potentieller empfindlicherer Subgruppen hilft effektivere Schutzmaßnahmen gegen Radonexposition zu entwickeln und das Gesundheitsrisiko in der Bevölkerung zu reduzieren.

5 Literaturverzeichnis

[1] Heinzl, F.; Schnelzer, M.; Scholz-Kreisel, P. Lung cancer mortality attributable to residential radon in Germany, Radiat Environ Biophys 63, p. 505–517, 2024

[2] Gomolka, M.; Bucher, M.; Duchrow, L.; Hochstrat, B.; Taeger, D.; Johnen, G.; Moertl, S. The German Uranium Miners' Biobank—A Biobank for OMICs Radiation Research. Radiation 2, p. 62-77, 2022

[3] Ostheim, P.; Amundson,S.A.; Badie, C.; Bazyka, D.; Evans, A.C.; Ghandhi, S.A.;, Gomolka, M.; López Riego, M.; Rogan, P.K.; Terbrueggen, R.; Woloschak, G.E.; Zenhausern, F.; Kaatsch, H.L.; Schüle, S.;, Ullmann, R.; Port, M.; Abend, M. Gene expression for biodosimetry and effect prediction purposes: promises, pitfalls and future directions - key session ConRad 2021. Int J Radiat Biol. 98(5), p. 843-854, 2022

[4] Gomolka, M.; Oestreicher, U.; Rößler, U.; Samaga, D.; Endesfelder, D.; Lang, P.; Neumaier, K.; Belka, C.; Niemeyer, M.; Kiechle, M.; Hasbargen, U.; Hübener, C.; Kirlum, H.J.; Kulka, U.; Rosenberger, A.; Walsh, L.; Baatout, S.; Kesminiene, A.; Lindholm, C. Age-dependent differences in DNA damage after in vitro CT exposure. Int J Radiat Biol. 94(3):272-281, 2018

[5] Oestreicher, U.; Endesfelder, D.; Gomolka, M.; Kesminiene, A.; Lang, P.; Lindholm, C.; Rößler, U.; Samaga, D.; Kulka U. Automated scoring of dicentric chromosomes differentiates increased radiation sensitivity of young children after low dose CT exposure in vitro. Int J Radiat Biol. 94(11):1017-1026, 2018

Entstehungsprozess und Konzeption der DIN/TS 18117-2

Walter-Reinhold Uhlig

Kompetenzzentrum für radonsicheres Bauen und Sanieren, KORA e.V.

Zusammenfassung

Im Beitrag werden, aufbauend auf einem kurzen Rückblick zur Entstehung der DIN/TS sowie einer Zusammenfassung des Inhaltes von Teil 1 der DIN/TS, Aufbau und Inhalt des Teils 2 der DIN/TS 18117-2 vorgestellt. Der Beitrag bildet die Grundlage für die folgenden Tagungsbeiträge zur Vorstellung wichtiger inhaltlicher Schwerpunkte dieser DIN/TS.

1 Vorbemerkungen

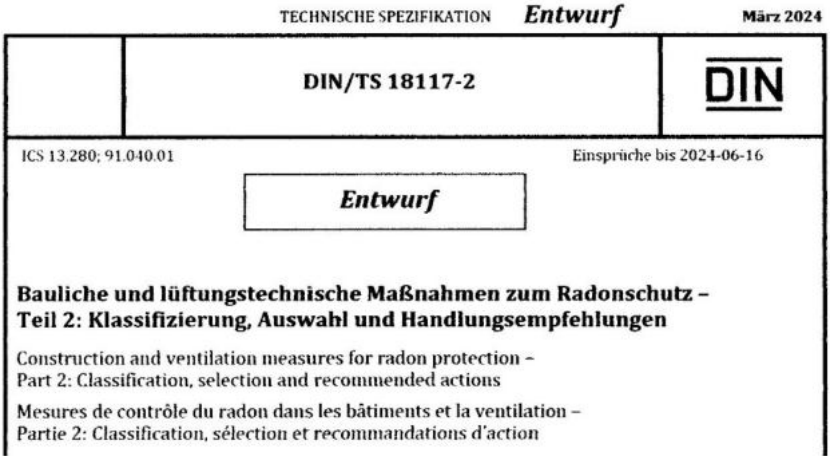
Entstehung und Inhalt der DIN/TS 18117 waren bereits mehrere Male Inhalt von Beitragen auf den Sächsischen Radontagen. [1] bis [3].

Ging es in diesen Beiträgen in erster Linie um den Entstehungsprozess der Norm [1] und [2] sowie die Vorstellung von Normenteil 1 [3], stehen heute Aufbau und Inhalt des Normenteiles 2 im Fokus der Berichterstattung.

2 Historie zur Entstehung und Zielsetzung der Norm

2015 konstituierte sich bei DIN der „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NABau/NHRS Radongeschütztes Bauen“. Dieser mit Fachleuten aus dem Bau- und Lüftungsbereich sowie aus dem Strahlenschutz fachlich breit aufgestellte Ausschuss kam nach einer ersten Bestandserfassung zu dem Schluss, dass die Verfahren und Lösungen des bau- und lüftungstechnischen Radonschutzes aktuell noch nicht als „allgemein anerkannte Regel der Technik“ gelten können, weswegen die Norm vorerst als DIN/TS erscheint. Per Definition wird eine „Technische Spezifikation“ (TS) dann erstellt, wenn bestimmte Vorbehalte zum Inhalt oder abweichende Aufstellungsverfahren vorliegen, die eine Veröffentlichung als Norm (vorerst) verhindern.

Eine TS bietet der Öffentlichkeit die Möglichkeit, frühzeitig auf Ergebnisse aus Normungsvorhaben zuzugreifen. Die Erstellung und Überprüfung erfolgt dabei nach den Grundsätzen und Regeln der Normungsarbeit und wird alle drei Jahre überprüft [4]. Entsprechend dieser Definition ist geplant, die DIN/TS 18117 nach einer ersten Anwendungsphase und ggf. nach Abschluss weiterer Untersuchungen in eine Vollnorm zu überführen. Ganz im Sinne der oben zitierten Zielstellungen für Technische Spezifikation sollen mit der nunmehr vorliegenden DIN/TS 18117 eine breite Sensibilisierung für das Thema des Radonschutzes in Planung und Bauausführung erreicht und gleichzeitig wichtige Regularien für den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz zur Verfügung gestellt werden.


TECHNISCHE SPEZIFIKATION *Entwurf* März 2024

DIN/TS 18117-2

DIN

ICS 13.280; 91.040.01 Einsprüche bis 2024-06-16

Entwurf

Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen

Construction and ventilation measures for radon protection – Part 2: Classification, selection and recommended actions

Mesures de contrôle du radon dans les bâtiments et la ventilation – Partie 2: Classification, sélection et recommandations d'action

Abbildung 1: Titelblatt von DIN/TS 18117-2 (hier noch aus der Entwurfsphase)

3 Aufbau der DIN/TS

Die DIN/TS ist in zwei Teile untergliedert mit:

- DIN/TS 18117-1: Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 1: Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen
- DIN/TS 18117-1: Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen

Die Veröffentlichung von Teil 1 erfolgte im September 2021, für Teil 2 ist als Veröffentlichungstermin März/April 2025 geplant.

Inwieweit in Zukunft weitere Normenteile ergänzt werden, ist aktuell noch offen.

4 Inhalt des Teils 1

Wie bereits erwähnt, wurde Teil 1 der DIN/TS bereits in einem früheren Beitrag auf den Sächsischen Radontagen vorgestellt [3]. Es werden hier deshalb lediglich die inhaltlichen Schwerpunkte und Grenzen in Erinnerung gebracht sowie auf Verbindungen zu Teil 2 verwiesen.

Ein erster Schwerpunkt der DIN/TS, Teil 1 geht auf allgemeine Grundlagen für Vorsorgemaßnahmen bei Neu- und Bestandsbauten ein. Im Abschnitt „Bauliche Maßnahmen“ werden die heute bekannten Lösungen vorgestellt mit:

- Reduzierung des konvektiven Radoneintritts über die erdberührte Gebäudehülle,
- Reduzierung des diffusiven Radoneintritts über die erdberührte Gebäudehülle
- Reduzierung der Radonausbreitung im Gebäude
- Reduzierung der erdseitigen Radoneinwirkung (unter dieser Gruppe sind alle im gebäudeangrenzenden Erdreich unterdruckinduzierenden Maßnahmen zusammengefasst),
- Reduzierung der Exhalation aus Baumaterialien

Im Abschnitt „Lüftungstechnische Maßnahmen“ werden die bekannten Lösungen, wie

- Manuelle Lüftung
- Freie Lüftung
- Ventilatorgestützte Lüftung

beschrieben.

Die Ausführungen zu den bau- und lüftungstechnischen Lösungen gehen in Teil 1 über allgemeine Angaben nicht hinaus, konkrete Hilfen für die planerische und bauliche Umsetzung können lediglich in be-

grenztem Maße für die lüftungstechnischen, nicht aber für die baulichen Lösungen entnommen werden. Hinsichtlich konkreter Beschreibungen und Anwendungshinweise wird auf Teil 2 verwiesen.

Die DIN/TS Teil 1 wird durch einen umfangreichen Anhang, in dem die Grundlagen der Radonbelastung, die Quellen sowie Eintrittswege von Radon ins Gebäude, Messverfahren sowie Besonderheiten, welche in Radonvorsorgegebieten zu beachten sind, vorgestellt werden. Des Weiteren wird im Anhang ein Berechnungsverfahren zur überschläglichen Abschätzung der Radonkonzentration in Innenräumen vorgestellt, für dessen Anwendung ein Berechnungsformular entwickelt worden ist. Vor allem dieses tabellarische Berechnungsverfahren hat in der baufachlichen Öffentlichkeit, aber auch in Teilen des DIN-Normenausschusses eine kritische Wertung erfahren und sollte in kommenden Überarbeitungen des Blattes Gegenstand weiterer Betrachtung sein.

5 Vorstellung von Teil 2 der DIN/TS

5.1 Überblick über den Gesamtinhalt

In diesem Abschnitt wird ein Überblick über Aufbau und Inhalt von Teil 2 der DIN/TS gegeben, daran anschließend sowie in den folgenden drei Tagungsbeiträgen werden die wesentlichen Inhalte vorgestellt.

- Die **Abschnitte 1 bis 4** enthalten die für DIN-Normen typischen allgemeinen Inhalten (Anwendungsbereich/Normative Verweise/Begriffe und Symbole/Allgemeines), auf die hier nicht weiter eingegangen werden soll.
- In **Abschnitt 5** werden verschiedene Auslegungsoptionen für den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz vorgestellt, auf die in Punkt 5.2ff näher eingegangen wird.
- Der mit „Klassifizierung des Radonrisikos in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen“ überschriebene **Abschnitt 6** ist unterteilt in Erläuterungen zu
    - Baugrund
    - Gebäudekonzeption
    - Materialkennwerten sowie

- Lüftungstechnische Randbedingungen

Die Ausführungen zur Klassifizierung des Radonrisikos aus dem Baugrund sowie zu den lüftungstechnischen Randbedingungen enthalten wichtige Grundlagen für die Auslegungsvarianten, die in den Abschnitten 7 bis 9 der DIN/TS mit

- Auslegung baulicher Maßnahmen **(Abschnitt 7)**
- Auslegung lüftungstechnischer Maßnahmen **(Abschnitt 8)** sowie
- Auslegung nach Radonpotential **(Abschnitt 9)**

Vorgestellt werden. Der kurze **Abschnitt 10** (Instandhaltung) enthält lediglich einige allgemeine Hinweise.

5.2 Überblick über die im Abschnitt 5 der DIN/TS aufgenommenen Auslegungsoptionen

Im Abschnitt 5 der DIN/TS, Blatt 2 sind insgesamt vier Auslegungsoptionen aufgenommen worden. Diese unterscheiden sich dabei zum einen durch die Vorhersagegenauigkeit sowie zum anderen durch den planerischen Aufwand bei deren Anwendung.

Die vier hier aufgenommen Auslegungsoptionen sind:

- Auslegung nach dem Strahlenschutzgesetz
- Auslegung nach dem Berechnungsverfahren nach DIN/TS 18117-1
- Auslegung durch Auswahl von baulichen Maßnahmen zum Radonschutz
- Auslegung in Abhängigkeit von den Baugrundeigenschaften

Eine weitere, in der Übersicht der Optionen in Abschnitt 5 nicht aufgenomme Auslegungsoption ist in Abschnitt 8 beschreiben mit:

- Auslegung lüftungstechnischer Maßnahmen.

5.3 Auslegung nach Strahlenschutzgesetz

Lt. Strahlenschutzgesetz [5], besteht die Pflicht, bei der Errichtung eines Gebäudes mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen geeignete Maßnahmen zu treffen, um den Zutritt von Radon aus dem Baugrund zu verhindern oder erheblich zu erschweren. Im Sinne des Gesetzes

gilt diese Forderung als erfüllt, wenn die im § 123 aufgeführten Maßnahmen eingehalten werden.

Diese Auslegungsoption erfordert planerisch den geringsten Aufwand, sie kann aber zu Lösungen führen, die entweder einen erhöhten Aufwand in der Bauausführung erfordern oder – problematischer – in seltenen Fällen die Einhaltung der Anforderungen gem. §§ 124 und 126 (Festlegung der Referenzwerte) nicht gewährleisten. Auf diese Diskrepanz wurde bereits mehrfach hingewiesen. Sie soll hier deshalb nicht noch einmal begründet werden. Eine detaillierte Erläuterung hierzu kann u.a. in [6], dort Abschnitte 7.2.4 sowie 9.2.3 nachgelesen werden.

5.4 Auslegung nach dem Berechnungsverfahren nach DIN/TS 18117-1

Mit der Anwendung des Berechnungsverfahrens nach DIN/TS18117-1 können Vorhersagen für die Radonkonzentration in den Innenräumen eines Gebäudes getroffen werden. Die Berechnung basiert auf den Ausgangswerten der Radonbelastung, wie

- dem Radonpotential in der Bodenluft bzw.
- der Radonkonzentration in der Raumluft (bei Bestandsgebäuden)

und auf den baulichen und lüftungstechnischen Randbedingungen, wie:

- der baulichen Ausbildung der erdberührten Gebäudehülle und der sich hieraus ergebenden Größe von Konvektion und Diffusion der Bodenluft ins Gebäude,
- der Radonexhalation aus den eingesetzten Baustoffen sowie
- der Luftwechselrate und weiteren lüftungstechnischen Randbedingungen.

Mit dem Berechnungsverfahren sind z.B. Grenzwertbetrachtungen zur Einhaltung von Zielwerten unterhalb des Referenzwertes oder zur Variantenuntersuchung unterschiedlicher bau- und lüftungstechnischer Lösung möglich. Die Aufzählung der in die Berechnung einfließenden Werte und Randbedingungen verdeutlicht aber auch, dass

dieses Verfahren nie losgelöst von allen weiteren in der DIN/TS aufgeführten Auslegungsoptionen eingesetzt werden kann.

Der Berechnungsansatz ist insgesamt umstritten, da bisher noch keine wissenschaftlich-technische Evaluation des Verfahrens einschließlich umfänglicher Praxisvergleiche vorgenommen worden ist und somit eine seriöse Abschätzung der Genauigkeit der Berechnung derzeit noch nicht möglich ist.

5.5 Weitere Auslegungsoptionen

Die Auslegungsoptionen nach **baulichen Maßnahmen**, den **Baugrundeigenschaften** sowie **lüftungstechnischen Maßnahmen** werden in den folgenden drei Tagungsbeiträgen vorgestellt.

5.6 Klassifizierungsoptionen des Radonrisikos in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen

Wie bereits weiter vorn erläutert, wird in Abschnitt 6 der DIN/TS das Radonrisiko für den ***Radoneintritt aus dem Baugrund*** (Abschnitt 6.1), die ***Gebäudekonzeption*** (Abschnitt 6.2), die ***verwendeten Materialien*** (Abschnitt 6.3) sowie die ***lüftungstechnischen Randbedingungen*** (Abschnitt 6.4) beschrieben. Auf das Radonrisiko aus den Baugrundeigenschaften sowie infolge lüftungstechnischer Randbedingungen wird in den anschließenden Tagungsbeiträgen näher eingegangen, sodass hier lediglich der Einfluss der Gebäudekonzeption auf das Radonrisiko betrachtet werden soll. Die in der DIN/TS enthaltenen Angaben zum Radonrisiko aus den verwendeten Baumaterialien beschränkt sich auf eine tabellarische Zusammenstellung der Diffusionskoeffizienten sowie der Exhalationsraten typischer Baustoffe.

Radonrisiko und Gebäudekonzeption

Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass bei fast allen Gebäuden die gesetzlichen Anforderungen des Radonschutzes bei Einhaltung der aktuellen Anforderungen an die Ausführung der erdseitigen Gebäudeabdichtung sowie der lüftungstechnischen Maßnahmen auch ohne zusätzliche Maßnahmen zum Radonschutz eingehalten werden (diese grundsätzliche Aussage gilt nicht für Bestandsgebäude). Ist die hier getroffene Aussage nicht sicher vorauszusetzen

oder sollen z.B. höhere Ansprüche an den Radonschutz erreicht werden (z.B. die Realisierung geringerer Radonkonzentrationen in der Raumluft), kann durch ein abgestimmtes Gebäudekonzept ein höheres Vorsorgeniveau ohne zusätzliche bau- und lüftungstechnische Aufwendungen erreicht werden.

In der DIN/TS werden hierzu konzeptionelle Maßnahmen vorgestellt, die zu einer Reduzierung der Radonbelastung beitragen sowie Konstellationen benannt, die ein erhöhten Untersuchungsbedarf begründen.

Als Maßnahmen zur Reduzierung der Radonbelastung durch das Gebäudekonzept werden erfasst:

- Aufenthaltsräume und Räume mit Arbeitsplätzen grenzen nicht an das Erdreich
- Luftdichte Abtrennung von zu schützenden Räumen von Bereichen, die ans Erdreich grenzen
- Versorgung der zu schützenden Räumen mit ausreichender Zuluft oder Überstromluft aus Bereichen mit geringer Radonkonzentration.

Im Sinne des Gebäudekonzeptes sind Arbeitsplätze und Aufenthaltsräume in Untergeschossen vor allem dann, wenn sie nicht ventilatorgestützt mit Außenluft versorgt werden, einer erhöhten Gefährdung ausgesetzt. In diesen Fällen werden ggf. zusätzliche bau- und lüftungstechnische Maßnahmen zur Reduzierung des Radonrisikos erforderlich.

5.7 Zusammenfassung

Erstmals wird mit der DIN/TS 18117-2 in Deutschland der Bauwirtschaft eine normative Grundlage für den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz an die Hand gegeben. Ziel der Erarbeitung war es, dem Planer durch die Auswahlmöglichkeit verschiedener Auslegungsoptionen eine hohe Flexibilität in der Lösungsfindung zu ermöglichen. Inwieweit dieser Ansatz mit der vorgelegten DIN/TS bereits in gewünschtem Maße umgesetzt werden konnte oder aber in den nächsten Jahren eine inhaltliche Nachschärfung erforderlich wird, wird sich aus der praktischen Anwendung sowie den sich hieraus ergebenden Rückmeldungen ergeben.

Der Fokus der DIN/TS 18117-2 liegt auf dem Neubaugeschehen. Spezifische bauliche Lösungen für die Gebäudesanierung sind nicht aufgenommen worden. Diese Lücke wird das **WTA-Arbeitsblatt „Radonschutz im Gebäudebestand“**, dessen Fertigstellung bis Ende 2025 geplant ist, schließen. Des Weiteren sind detaillierte Angaben zu den Methoden der Radonmessung in der Luft nicht enthalten. Hier wird auf DIN EN ISO 11665-11 [7] verwiesen.

Zu hoffen ist, dass die DIN/TS 18117, trotz der aktuellen Veröffentlichung in Form einer Technischen Spezifikation, den Bauschaffenden zu einer Hilfe in der Planung und Bauausführung wird. Die Mitglieder des DIN-Normenausschusses freuen sich auf ein konstruktiv-kritisches Feedback aus der Baupraxis, welches in die Weiterbearbeitung hin zur „Vollnorm“ einfließen wird.

6 Literaturverzeichnis

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

[2] W.-R. Uhlig: Die DIN SPEC 18117 “Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz” – Ein neues Instrument zur Unterstützung der Planung und Baupraxis; 12. Sächsischer Radontag, Bad Schlema 2018

[3] Roland Strubbe: Die neue DIN TS 18117-1: Entstehung, Zielsetzung und Inhalte; 15. Sächsische Radontage, Dresden 2022

[4] din.de/de/ueber-normen-und-standards/din-norm/ergebnisse

[5] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz – StrSchG) vom 27.06.2017

[6] W.-R. Uhlig, Th. Schönmuth, J. Kemski: Radongeschütztes Bauen – Grundlagen und Lösungen im Neubau sowie in der Sanierung; Springer Vieweg 2025

[7] DIN EN ISO 11665-11: „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 11: Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft

DIN/TS 18117-2 -Berücksichtigung der geologischen Verhältnisse

Joachim Kemski

Sachverständigenbüro Dr. Kemski, Bonn

Zusammenfassung

Die Radonkonzentration in der Bodenluft ist in vielen Fällen die Ursache erhöhter Radonwerte in Häusern. Mit Hilfe baulich-technischer Maßnahmen zum Radonschutz kann der Radoneintritt ins Gebäude verhindert bzw. erschwert werden. Dieser Thematik trägt die DIN/TS 18117 Rechnung. Art und Umfang der Maßnahmen orientieren sich oftmals an der Höhe der Radonwerte im Baugrund. Dementsprechend werden in der DIN/TS Vorgaben zu deren Bestimmung im Feld sowie einer Bewertung der Ergebnisse solcher Untersuchungen gegeben. Diese Vorgaben werden im vorliegenden Beitrag beschrieben.

1 Einleitung

Bekanntermaßen können erhöhte Radonkonzentrationen in der Innenraumluft zu einem Anstieg des Lungenkrebsrisikos der Bewohner und Nutzer dieser Räumlichkeiten führen. Im Strahlenschutzgesetz (StrlSchG; [1]) ist aus diesem Grund einen Referenzwert von 300 Bq/m^3 im Jahresmittel definiert, der nicht überschritten werden sollte. Dieser gilt in gleicher Höhe sowohl für Aufenthaltsräume (§ 124 StrlSchG) als auch für Arbeitsplätze (§ 126 StrlSchG).

Die Hauptquelle für erhöhte Raumluftwerte ist in den allermeisten Fällen der Baugrund, d.h. das umgebende Erdreich. Die Radonkonzentrationen in der Bodenluft variieren in Abhängigkeit von der Geologie (z.B.: Gestein) und Bodenausbildung. Bei Vorhandensein von Undichtigkeiten im erdberührten Bereich (z.B.: Risse im Fundament, Durchdringungen) kann Radon mit der Bodenluft ins Gebäude gelangen, sich in der Raumluft anreichern und somit zu einer Gesundheitsgefährdung der Bewohner und Nutzer führen. Die Bodenluftkonzentrationen sind überall ausreichend hoch, um in solchen Fällen erhöhte Radonkonzentrationen in der Raumluft zu generieren. Verursacht

wird der Eintritt der radonhaltigen Bodenluft durch einen geringen Unterdruck im Gebäude gegenüber dem Erdreich, der in der Regel einige wenige Pascal beträgt.

Auf Basis dieser Erkenntnisse wurde vor einigen Jahren mit der Erarbeitung der DIN/TS 18117 begonnen, die sich in zwei Teilen mit baulichen und lüftungstechnischen Maßnahmen zum Radonschutz beschäftigt. Näheres zur Entstehung und Zielsetzung der Norm ist dem Beitrag von Prof. Uhlig in diesem Tagungsband zu entnehmen [2].

Teil 1 der DIN/TS [3] beinhaltet Begrifflichkeiten und allgemeine Grundlagen und Beschreibungen möglicher Maßnahmen. In Teil 2 [4] werden u.a. verschiedene konkrete Auslegungsvarianten für bau- und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz beschrieben, aber auch Hinweise gegeben, wie die Radonquelle auf dem Baugrund messtechnisch erfasst und bewertet werden kann. Letzteres soll in dem vorliegenden Beitrag näher beschrieben werden.

2 Geogener Einfluss auf die Radoninnenraumkonzentration

Die Radonkonzentration in der Bodenluft stellt die Radonquelle im Untergrund dar, die bei Vorhandensein möglicher (ungewollter) Eintrittspfade für die radonhaltige Bodenluft Ursache erhöhter Radongehalten im Gebäude sein kann. Sie stellt damit eine wichtige Größe dar für Empfehlungen zum präventiven Radonschutz bei Neubauten. Überlegungen zu Art und Umfang von Radonschutzmaßnahmen orientieren sich oftmals an der Höhe der Bodenluftkonzentrationen.

Dieser Tatsache wird auch in der DIN/TS 18117 Rechnung getragen.

So beinhaltet das Berechnungsformular zur Abschätzung einer erwarteten Radonkonzentration in der Raumluft (Anhang B der DIN/TS 18117-1) als eine von zahlreichen Eingangsgrößen die Radonkonzentration in der Bodenluft. Kapitel 6.1.6. der DIN/TS 18117-2 beschäftigt sich mit der Messung der Radonbelastung im Baugrund und in Kapitel 9 der DIN/TS 18117-2 wird die Auslegung von Radonschutzmaßnahmen nach dem Radonpotenzial beschrieben.

Die Radonkonzentration in der Bodenluft variiert regional und lokal. Sie überdeckt eine große Spannbreite und kann von einigen wenigen

1 000 Bq/m^3 bis hin zu Millionen von Bq/m^3 , beispielsweise über Uranvererzungen, reichen. Mit möglichen Schwankungen über einige Größenordnungen stellt sie daher eine „sensible“ Größe für alle weiteren Überlegungen dar.

3 Baugrunduntersuchungen

Untersuchungen des Baugrundes im Vorfeld von Baumaßnahmen stellen sind jeher eine klassische Vorgehensweise, um Erkenntnisse über relevante Kenngrößen zu erlangen, die für die Errichtung eines Neubaus notwendig sind.

In der Regel sollen Informationen zur Beschaffenheit und Zusammensetzung des Bodens auf dem Baufeld gewonnen werden, die beispielsweise für die Bewertung der Tragfähigkeit des Untergrundes, des Wassergehaltes und der -durchlässigkeit oder der Frostbeständigkeit notwendig sind.

Um einen Eindruck über den vertikalen Aufbau des Bodens zu erhalten, sind Sondierungen oder Bohrungen mit unterschiedlichen Durchmessern und Tiefen oder das Anlegen (oberflächennaher) Schürfe die gängigen Untersuchungsverfahren im Feld.

Zudem können Proben genommen und im Labor analysiert werden, beispielsweise zur Ermittlung bodenmechanischer Kennwerte oder im Falle eines möglichen Altlastverdachtes. Untersuchungsumfang und -spektrum variieren in Abhängigkeit von der jeweiligen Fragestellung.

Im Anschluss an Feld- und Laboruntersuchungen wird ein Baugrundgutachten mit entsprechenden Handlungsempfehlungen erstellt. Letztere können sich beispielsweise auf die benötigte Statik bzw. die Tragfähigkeit des Untergrundes und somit die Art der Gebäudegründung, die Wasserhaltung in der Baugrube oder eine ggf. notwendige Abdichtung gegen Bodenfeuchte oder Grundwasser beziehen.

Für Fragestellungen zur Erkundung des Baugrundes existieren eine Reihe von Normen wie die DIN EN 1997-1: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 1: Allgemeine Re-

geln, DIN EN 1997-2: Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik - Teil 2: Erkundung und Untersuchung des Baugrunds oder als Ergänzung zu letzterer die DIN 4020 Geotechnische Untersuchungen für bautechnische Zwecke - Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-2.

Die Anbindung von Untersuchungen zur Radonbelastung des Untergrundes an „klassische" Baugrundfragestellungen wäre daher ein logischer Schritt. In der Praxis scheitert dies bislang in der Regel am fehlenden Kenntnisstand der Ingenieurbüros bezüglich der Radonthematik. Nichtsdestotrotz wäre es sinnvoll, zukünftig Untersuchungen zur Radonbelastung des Untergrundes routinemäßig in Überlegungen zur Planung von Baugrunduntersuchungen aufzunehmen, um für den Neubau präventive Maßnahmen zum Radonschutz planen und umsetzen zu können.

Ein möglicher Ansatz für die praktische Vorgehensweise solcher Untersuchungen wäre die Ermittlung zweier Messgrößen durch Feldmessungen auf dem jeweiligen Untersuchungsareal:

- Radonkonzentration in der Bodenluft c [kBq/m^3]
- Gasdurchlässigkeit des oberflächennahen Bodens k [m^2]

Ergänzend könnte aus diesen beiden Größen nach [5] das geogene Radonpotenzial (RP), eine dimensionslose Zahl, berechnet werden und für eine Bewertung genutzt werden. Die Berechnungsformel lautet:

$$RP = \frac{C}{-log_{10}k - 10}$$

Empfehlungen zu möglichen baulich-technischen Radonschutzmaßnahmen könnten sich an der Höhe der o.g. Messwerte orientieren. In der momentanen Praxis obliegen Art und Umfang der Untersuchungen sowie die Bewertung der Messergebnisse dem jeweiligen Gutachter, was zu durchaus unterschiedlichen Schlussfolgerungen und Empfehlungen führen kann.

Die DIN/TS 18117-2 beschreibt in Kapitel 6.1.6 Möglichkeiten für eine entsprechende standardisierte Vorgehensweise.

4 Radonkonzentrationen in der Bodenluft

Die Radonkonzentration in der Bodenluft wird durch Messungen ermittelt und kann die Basis für die Bewertung und daraus resultierende Empfehlungen zum baulichen Radonschutz darstellen.

Hintergründe und weitergehende Informationen zu Radonkonzentrationen in der Bodenluft, deren regionalen Verteilungen und zur Messtechnik sind beispielsweise in [6] und [7] beschrieben.

Die Höhe der Radonkonzentration ist vorrangig von „natürlichen" Faktoren abhängig und im Wesentlichen von

- Tiefe der Probenahme
- Geologie/Boden, z.B.: Gesteinsart, Korngröße
- Morphologie/Topographie, z.B. Hanglage, Grundwasser
- „Saison", z.B. Bodenfeuchte, Witterung

Ein wichtiger Aspekt hierbei ist die Vergleichbarkeit der Vorgehensweise bei den Feldmessungen. Erfahrungsgemäß liegt die Hauptfehlerquelle bei der Probenahme bzw. den unterschiedlichen Randbedingungen bei der Beprobung (s.o.). In diesem Zusammenhang sei auf die DIN 11665-11 (Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft) verwiesen [8].

5 Bewertung eines Baugrundes hinsichtlich einer möglichen Radonbelastung

Die DIN/TS 18117-2 beschäftigt sich in Kapitel 6 mit der Klassifizierung des Radonrisikos in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen. Im Unterkapitel 6.1. zum Baugrund wird eine Vorgehensweise bei der Bewertung eines Baugrundes beschrieben.

Demnach stellen für die Beurteilung von Art und Umfang baulicher Maßnahmen zum präventiven Radonschutz die Radonkonzentration in der Bodenluft [kBq/m^3] und die Gasdurchlässigkeit des oberflächennahen Bodens [m^2] die entscheidenden Kenngrößen dar. Diese werden am einfachsten mittels Feldmessungen vor Ort bestimmt.

Die DIN/TS nennt jedoch auch Möglichkeiten, um eine Bewertung des Baugrundes bezüglich der Radonbelastung ohne die Durchführung von Feldmessungen vornehmen zu können. Hierbei werden aber primär Informationen genutzt, die qualitativ nicht mit Ergebnissen von Feldmessungen vergleichbar und daher bezüglich einer Baugrundbewertung stets mit mehr oder weniger großen Unsicherheiten versehen sind.

Konkret werden folgende Möglichkeiten aufgeführt:

- Prüfung, ob Untersuchungsareal in einem Radonvorsorgebiet liegt
  Solche Gebiete beziehen sich auf erwartete Überschreitungshäufigkeiten des gesetzlichen Referenzwertes in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen, bezogen auf Verwaltungseinheiten. Aussagen zum Baugrund sind daraus nicht abzuleiten.
- Nutzung von Radonkarten
  Die Aussagekraft solcher Karten ist maßstabsabhängig. Zurzeit existieren vorrangig kleinmaßstäbliche Karten für Deutschland, verschiedene Bundesländer oder im besten Fall einzelne Kommunen. Sie zeigen in den meisten Fällen Informationen für Flächenelemente auf Basis von Interpolationen und erlauben daher keine belastbaren Aussagen über einzelne Baugrundstücke.
- Nutzung weiterer Karten und Informationen
  Hierdurch sind in der Regel spezifische Aussagen zum Baugrund möglich, beispielsweise zur Bodenart oder der Höhe des Grundwasserspiegelstandes. Konkrete Informationen zur Radonbelastung liefern sie nicht.
- „klassische“ Baugrunduntersuchungen
  Hiermit sind zwar Aussagen zum konkreten Baugrund möglich (s. Kap. 3). Diese werden mit einer anderen Zielsetzung durchgeführt und können daher für die Radonthematik bestenfalls nur bedingt nutzbare Informationen liefern (z.B.: Grundwassersituation).

Auch wenn die oben aufgeführten Möglichkeiten in aller Regel keine Aussagen zur Radonbelastung eines konkreten Baugrundes liefern

können, sollten sie in der Praxis genutzt werden, um sich im Vorfeld einen Eindruck über die grundsätzliche regionale Situation zu verschaffen.

Bei kleineren Bauvorhaben (z.B.: Einfamilienhaus) kann es sinnvoll sein, die Kosten für Feldmessungen und mögliche Radonschutzmaßnahmen gegeneinander abzuwägen. Ggf. kann auf Feldmessungen verzichtet werden.

Mit Hilfe eines „vereinfachten" Verfahrens kann eine Abschätzung der erwarteten Raumluftkonzentration durchgeführt werden – ohne Feldmessungen zur Bestimmung der Radonquellstärke im Untergrund vorzunehmen. Dies muss vorher in jedem Fall mit dem Auftraggeber abgestimmt werden. Im Zuge einer Aufklärung zur Radonthematik müssen Vor- und Nachteile einer solchen Vorgehensweise und die damit verbundenen möglichen Risiken erläutert werden.

Für eine Abschätzung kann der (aktuell bekannte) Maximalwert der Radonkonzentration in der Bodenluft in Deutschland von 1,15 MBq/m^3 als Rechengröße genutzt werden. Alternativ kann der Pz99-Wert der Deutschland-weiten Radonverteilung in der Bodenluft von 275 kBq/m^3 gewählt werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, den Wert aus der BfS-Bodenluftkarte [9] zu verwenden, der ggf. mit einem Erhöhungsfaktor unter Berücksichtigung höherer Werte aus den benachbarten Rasterelementen der Karte versehen wird.

Wird mit dieser Abschätzung die gewünschte Raumluftkonzentration mit den geplanten Radonschutzmaßnahmen erreicht oder unterschritten, sind nach DIN/TS keine Feldmessungen nötig. Ist dies nicht der Fall, sollten Bodenluftmessungen durchgeführt oder zusätzliche Radonschutzmaßnahmen eingeplant werden.

5.1 Tiefenverteilung von Radon im Untergrund

Wie in Kapitel 4 erläutert, spielen verschiedene Faktoren für die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft eine Rolle. Eine wesentliche Rolle nimmt hierbei die Probenahmetiefe ein. Bekanntermaßen existiert eine Abhängigkeit der Radonwerte von der Tiefe.

In größerer Tiefe im Boden halten sich Entstehung und Zerfall von Radon die Waage (radioaktives Gleichgewicht), d.h. in der Zeit wird stets

ebenso viel Radon durch den Zerfall von Radium „nachgeliefert“ wie wegen seines radioaktiven Charakters zerfällt. Die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft kann in Abhängigkeit von Gestein und Boden deutlich variieren, beträgt in der Regel aber stets mindestens einige 1 000 Bq/m³. Der Medianwert (50 % der Messwerte sind größer, 50 % kleiner) für Deutschland liegt bei ca. 36 000 Bq/m³. Wegen der deutlich geringeren Konzentrationen in der freien Atmosphäre (nur wenige 10er Bq/m³) besteht ein ausgeprägtes Konzentrationsgefälle zwischen Boden und Außenluft. Details hierzu finden sich in [6].

Vereinfacht ausgedrückt wird über eine diffusive Radonbewegung im Boden, die aus der Tiefe zur Erdoberfläche hin gerichtet ist, das Konzentrationsgefälle zwischen Boden- und Atmosphärenluft ausgeglichen. Das o.g. radioaktive Gleichgewicht wird in Abhängigkeit von der Bodenart und hier primär der Korngröße in unterschiedlicher Tiefe erreicht. Die Korngrößenabhängigkeit spiegelt sich in unterschiedlich hohen effektiven Diffusionskoeffizienten (D^*) für Radon im Porenraum des Bodens wider. Abbildung 1 zeigt eine modellhafte, tiefenabhängige Radonkonzentration in der Bodenluft für verschiedene Bodenarten. Diese Verteilungen gelten unter der Annahme eines homogenen und isotropen Untergrundes.

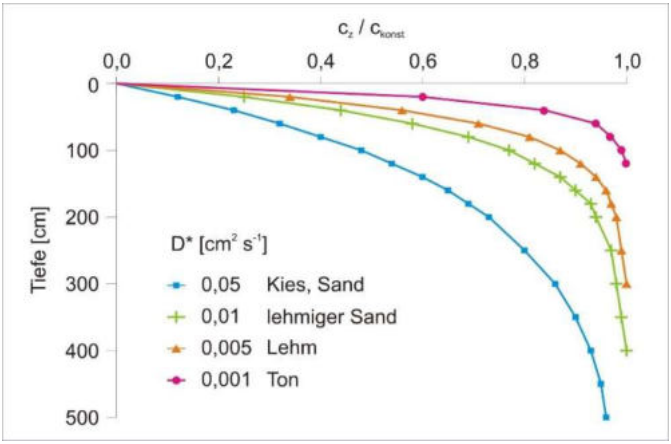


Abbildung 1: modellhafte, tiefenabhängige Radonkonzentration in der Bodenluft für verschiedene Bodenarten (Annahme: homogener, isotroper Untergrund)

In (grobkörnigen) sandig-kiesigen Böden mit einem hohen effektiven Diffusionskoeffizienten werden konstante Radonkonzentrationen erst in einigen Metern Tiefe erreicht, in (feinkörnigen) lehmig-tonigen Böden mit einem niedrigen effektiven Diffusionskoeffizienten ist dies bereits in wenigen Dezimetern Tiefe der Fall.

Für praktische Belange erlaubt diese modellierte Radontiefenverteilung eine rechnerische Abschätzung der Höhe der Radonkonzentration in „flacheren“ Bodenniveaus, sollte die Tiefe der Gleichgewichtskonzentration noch nicht erreicht sein. Quantitativ kann dies durch sogenannte Korrekturfaktoren ausgedrückt werden (s. Kap. 5.2).

In natürlich gewachsenen Böden mit einer Horizontierung und somit auch einer vertikalen Variation in Radionuklidgehalt, Gaspermeabilität, Bodenfeuchte u.a. werden die Kurven in mehr oder weniger starkem Maße moduliert und dadurch gegenüber dem modellhaften Verlauf „verzerrt“.

Feldmessungen in unterschiedlichen Böden und Tiefen bestätigen jedoch im Wesentlichen die Ergebnisse der Modellrechnungen. Ein möglicher Einfluss von Witterungsänderungen auf die Höhe der Radonkonzentration in der Bodenluft ist in der Abbildung nicht berücksichtigt. In den oberen Dezimetern des Bodens kann ein solcher Einfluss temporär existieren, mit zunehmender Tiefe nimmt dieser jedoch ab.

Ein möglicher konvektiver Radontransport im Untergrund entlang lokal erhöhter Wegsamkeiten mit Hilfe eines Trägermediums wie Grundwasser oder anderen Bodengasen (z.B.: CO_2, CH_4) wird bei diesen Überlegungen nicht berücksichtigt.

5.2 Probenahmetiefe

Die Probenahme sollte, wenn möglich, aus der Tiefe mit einer (angenommenen) konstanten Radonkonzentration in der Bodenluft erfolgen (s. Kap. 5.1). Tabelle 1 listet die korngrößenabhängigen empfohlenen Probenahmetiefen sowie die zugehörigen Korrekturfaktoren auf.

Tabelle 1: Bodenarten mit Probenahmetiefen, in denen Gleichgewichtskonzentration erwartet wird, und Korrekturfaktoren, sollte diese Tiefe nicht erreicht werden (können)

Bodenart	Korngröße [mm]	empfohlene Tiefe [m]	Korrektur
Ton	< 0,002	1,0	1
Schluff	0,002 - 0,063	1,5	1,2
Sand	0,063 - 2,0	2,5	1,45
Kies	> 2,0	5,0	2,1

Bei einem schichtig aufgebauten Untergrund ist diejenige Bodenart relevant, die zur größten Probenahmetiefe führt.

Diese Probenahmetiefe ist ins Verhältnis zur Gründungstiefe des Gebäudes zu setzen. Ist die Probenahmetiefe größer als die Gründungstiefe, sollte die Probenahme an der Unterkante der Gründungsschicht durchgeführt und ein entsprechender Korrekturfaktor (s. Tab. 1) berücksichtigt werden. Im umgekehrten Fall (Probenahmetiefe kleiner als Gründungstiefe) sollte die Beprobung aus der Gründungstiefe erfolgen.

Ist keine Probenahme aus der empfohlenen Tiefe möglich, sollte die Probenahme gemäß DIN 11665-11 aus der Mindestprobenahmetiefe von 1 m erfolgen und der bodenartabhängige Korrekturfaktor angewandt werden (Tab. 1).

Limitierende Randbedingungen für Bodenluftmessungen, wie sie in der DIN/TS beschrieben werden, sind insbesondere ein hoher Grundwasserspiegel oder Situationen, bei denen Bodenmaterial nach den Messungen ausgebaut oder eingebracht wird. In diesen Fällen sind Bodenluftmessungen entweder nicht möglich oder nicht sinnvoll.

5.3 Messpunktanzahl und -verteilung

Die Anzahl der benötigten Messpunkte orientiert sich vorrangig an der Größe der Grundfläche des neu geplanten Gebäudes (Tab. 2).

Tabelle 2: Anzahl empfohlener Messpunkte in Abhängigkeit von Gebäudegrundfläche

Grundfläche Gebäude [m^2]	Mindestanzahl Messpunkte
< 100	4
1000	8
10000	15
> 10000	> 15 (objektbezogen)

Auf einem Baufeld – gleiche Nutzung des Gebäudes und homogene Untergrundverhältnisse vorausgesetzt – sollten mindestens 4 Messpunkte beprobt werden. Diese sollten sich (möglichst) gleichmäßig auf dem Untersuchungsareal verteilen und mindestens jeweils 5 m voneinander entfernt liegen.

Neben der o.g. Abhängigkeit von der Gebäudegrundfläche sollten jedoch ggf. auch andere Faktoren bei der Festlegung der Messpunktanzahl Berücksichtigung finden. Hier sind beispielsweise die spätere Nutzung (Vorhandensein von Aufenthalts- bzw. Nicht-Aufenthaltsräumen) oder eine geplante Unterkellerung mit einer in der Regel deutlichen Vergrößerung des erdberührten Bereiches zu nennen.

5.4 Bewertung

Die Bewertung der Ergebnisse der Feldmessungen ist in der DIN/TS in Form eines Flussdiagrammes dargestellt.

Folgende Schritte sind hierbei vorgesehen:

Zunächst wird die Spannbreite der Messwertverteilung durch Ermittlung des Quotienten aus Maximal- und Minimalwert der Bodenluftkonzentration bestimmt. Ist dieser Quotient kleiner 6, kann von einem homogenen Untersuchungsareal ausgegangen werden, für das eine einheitliche Bewertung durchgeführt werden kann. Im Falle eines Quotienten größer 6, wird von einem heterogenen Areal ausgegangen. In diesem Fall muss geprüft werden, ob weitere Messungen vorgeschlagen werden oder das gesamte Untersuchungsgebiete in

zwei oder mehr Homogenbereiche (mit jeweils unterschiedlichen Bewertungen) untergliedert werden muss.

Der genannte Quotient von 6 wurde empirisch festgelegt und basiert auf den zur Zeit vorliegenden Praxiserfahrungen. Auswertungen existierender Bodenluftmessungen haben in der überwiegenden Anzahl der betrachteten Fälle einen Quotienten von höchstens 6 und oftmals deutlich niedriger ergeben.

Im zweiten Schritt wird entschieden, welche Kenngröße der Bodenluftverteilung für die Bewertung genutzt wird. Bei 6 oder weniger Messpunkten wird der Maximalwert, bei mehr als 6 Messpunkten der Pz90-Wert herangezogen. Wurde die Probenahme nicht in der empfohlenen Tiefe (s. Tab. 1) durchgeführt, ist für den Wert der jeweilige Korrekturfaktor anzuwenden.

Wie oben erwähnt, können saisonale Schwankungen der Bodenluftkonzentration – beispielsweise durch Variationen in der Bodendurchfeuchtung – auftreten. Um dem Rechnung zu tragen, wird die ermittelte Radonkonzentration in der Bodenluft abschließend mit einem „saisonalen“ Faktor von 1,3 multipliziert. Auch dieser Faktor wurde empirisch ermittelt und basiert auf zahlreichen Untersuchungen zu saisonalen Schwankungen der Radonkonzentration in der Bodenluft.

Der so ermittelte Wert stellt die maßgebliche Radonkonzentration in der Bodenluft des konkreten Baugrundes dar.

6 Auslegung von Radonschutzmaßnahmen nach Radonpotenzial

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass die DIN/TS auch eine Auslegung möglicher Radonschutzmaßnahmen bei Neubauten mit paralleler Berücksichtigung von Radonkonzentration in der Bodenluft und geogenem Radonpotenzial vorsieht (Kap. 9 in DIN/TS 18117-2). Hierzu wird eine Bewertungsmatrix mit den beiden genannten Kenngrößen vorgestellt (Bodenluft: 4 Klassen; Radonpotenzial: 3 Klassen).

Es wird einerseits zwischen Diffusion und Konvektion als mögliche Mechanismen des Radoneintrittes ins Gebäude und andererseits zwischen den Optionen „keine Maßnahmen“, „eventuell Maßnahmen“

und „Maßnahmen“ unterschieden. Den verschiedenen Matrixklassen werden dann für Diffusion und Konvektion getrennt jeweils unterschiedliche Maßnahmenoptionen zugeordnet.

7 Praxisbeispiel einer Baugrundbewertung bezüglich der Radonbelastung

Abschließend wird ein Beispiel aus der Praxis vorgestellt. Dabei soll exemplarisch die oben beschriebene DIN/TS-Bewertung für den Baugrund angewandt werden.

Abbildung 2 zeigt die Ergebnisse von Radonmessungen in einem Neubaugebiet im Hunsrück (Größe: ca. 1 ha). Es wurden 10 Radonmessungen in der Bodenluft durchgeführt, die sich gleichmäßig über den Bereich der zukünftigen Bauparzellen verteilten. Über den hier anstehenden devonischen Sand-, Silt- und Tonsteinen ließen sich sehr einheitliche Radonkonzentrationen mit Werten zwischen ca. 14 000 und 19 000 Bq/m³ beobachten.

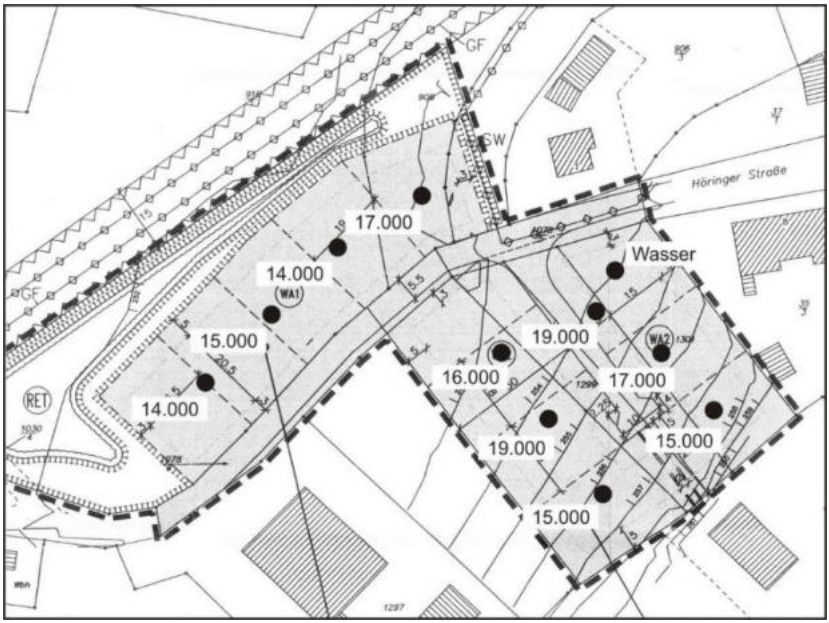


Abbildung 2: Verteilung der Radonkonzentration in der Bodenluft in einem Neubaugebiet (Größe: ca. 1 ha) ; Radonkonzentrationen in Bq/m³

Nach dem oben beschriebenen DIN/TS-Flussdiagramm wäre das Untersuchungsareal mit einem Quotienten Maximal-/Minimalwert von 1,4 als homogen einstufen. Mit mehr als 6 Messpunkten wäre der Pz90-Wert der Verteilung zu bestimmen – hier: 19 000 Bq/m^3. Unter Zuhilfenahme des saisonalen Faktors von 1,3 ergäben sich schließlich ca. 25 000 Bq/m^3 als Rechengröße für die Radonkonzentration in der Bodenluft.

8 Fazit

Die in der DIN/TS 18117 vorgeschlagene Vorgehensweise zur Bestimmung und Bewertung der Radonkonzentration in der Bodenluft stellt einen ersten Ansatz dar, mit dem eine standardisierte Vorgehensweise etabliert werden kann. Dieser Ansatz muss zukünftig durch Erfahrungen aus der Praxis mit konkreten Bauvorhaben regelmäßig überprüft und ggf. angepasst werden.

9 Literaturverzeichnis

[1] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung (Strahlenschutzgesetz - StrlSchG) vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966); zuletzt geändert durch Artikel 4 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324)

[2] Uhlig, W.-R. (2025): Entstehungsprozess und Konzeption der DIN/TS 18117-2.- Vorheriger Beitrag dieses Tagungsbandes

[3] DIN/TS 18117-1 (2021): Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 1: Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen

[4] DIN/TS 18117-2 (in Vorbereitung): Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen

[5] Neznal, M., Neznal, M., Matolín, M., Barnet, I., Miksova, J. (2004): The New Method for Assessing the Radon Risk of Building Sites.- Czech Geological Survey, Special Papers No. 16, Prague

[6] Kemski, J. (2023): Handlungsfelder des baulichen Radonschutzes Handlungsfeld III: Radonquelle Baugrund.- in: 16. Sächsische Radontage, Dresden 2023.- 81-92

[7] Uhlig, W.-R., Schönmuth, T., Kemski, J. (2025): Radongeschütztes Bauen – Grundlagen und Lösungen im Neubau sowie in der Sanierung.- Springer Vieweg

[8] DIN EN ISO 11665-11 (2020): „Ermittlung der Radioaktivität in der Umwelt – Luft: Radon-222 – Teil 11: Verfahren zur Probenahme und Prüfung von Bodenluft

[9] Bundesamt für Strahlenschutz: Karte “Radon im Boden”, 2021; https://www.bfs.de/DE/themen/ion/umwelt/radon/karten/boden.html; zuletzt besucht am 7.3.2025

Bautechnische Lösungen im Radonschutz

Gerhard Klingelhöfer

Sachverständigen&Ingenieurbüro für Bautechnik
Dipl.-Ing. Gerhard Klingelhöfer BDB, Pohlheim

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird die „Auslegung baulicher Maßnahmen“ zum Radonschutz nach neuer DIN/TS 18117-2:2025, Abs. 5.5 u. Abs. 7 ff. erläutert. Aus Autorensicht stellen diese vereinfachten Auslegungsmöglichkeiten mit, ggf. sowieso vorhandenen, baulichen Maßnahmen an erdberührten Bauteilen (z.B. Abdichtungen oder/und WU-Betonkonstruktionen ggf. mit Frischbetonverbundsystem o.ä.) in Abhängigkeit der bekannten oder zu erwartenden Radonaktivkonzentration im örtlichen Baugrund sehr gut verständliche Planungshilfen für den jeweils geeigneten Radonschutz bei der Gebäudekonzeption dar.

1 Vorbemerkungen zum neuen Teil 2 von DIN/TS 18117

1.1 Allgemeines

Die DIN/TS 18117, Teil 1 wurde bereits im September 2021 als Vornorm veröffentlicht und kürzlich in einer ersten Überprüfung soweit bestätigt, dass es vorerst keine Überarbeitung dieses Teil 1 der Vornorm geben wird, weil auch keine Einsprüche, Anregungen oder Änderungswünsche bei DIN bzw. im „Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA-Bau/NHRS Radongeschütztes Bauen“ eingegangen bzw. bei der Beratung im Frühjahr 2025 vorlägig waren. Die turnusgemäße Überprüfung findet bei derartigen „DIN/TS“-Vornormen in der Regel jährlich statt, so dass die nächste Überprüfung von Teil 1 im Frühjahr 2026 anstehen wird, wenn auch der neue Teil 2 dann zur ersten Überprüfung ansteht. Die Fachöffentlichkeit und Nutzer der DIN/TS 18117 werden höflichst gebeten Ihre Erfahrungen, Anregungen, Änderungswünsche und ggf. Probleme oder „Ungereimtheiten“ zu DIN/TS 18117 dem DIN in Berlin, zwecks Weiterentwicklung dieser Vornorm, damit man daraus eine DIN-Norm entwickeln kann.

Bei der Bearbeitung des allgemeiner gehaltenen Teil 1 von DIN/TS 18117 ergab sich bereits, dass ein Teil 2 mit konkreten Beschreibungen der Maßnahmen, Materialien und Technik, Eigenschaften sowie der jeweiligen Planungs- und Auslegungsmöglichkeiten für den baulichen und lüftungstechnischen Radonschutz von Aufenthaltsräumen oder Arbeitsstätten erforderlich sein wird, der nun nach etwa vierjähriger Bearbeitungszeit, mit einem Umfang von ca. 40 DIN A4-Seiten als fertiges Manuskript, vorliegt und in Kürze von DIN-Media veröffentlicht wird.

2 Auslegung von baulichen Maßnahmen zum Radonschutz

2.1 Grundsätzliches

Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen im Strahlenschutzgesetz und der Strahlenschutz-Verordnung (z.B. in Radonvorsorgegebiete) zum Radonschutz der Menschen in Aufenthaltsräumen oder Arbeitsstätten sowie gemäß der bauaufsichtlichen Anforderungen in den Länderbauordnungen zum „Schutz vor schädlichen Einflüssen“ in Gebäuden (vgl. MBO §13 und örtlich gültige LBO am Objektstandort) und bauaufsichtlichen Einzelanforderungen (z.B. in Bebauungsplänen, Baugenehmigungen oder durch bauaufsichtliche Auflagen u.a.) sind der Gebäudeplaner und sein Auftraggeber bzw. Gebäudeeigentümer (seit 31.12.2018 lt. StrSchG) verpflichtet einen geeigneten Radonschutz zur Einhaltung des gesetzl. Referenzwertes zu planen und entsprechend zu realisieren. Vertragsrechtlich können die Vertragspartner auch einen geringeren Auslegungswert, unterhalb des gesetzl. Referenzwertes, zum objektbezogenen Radonschutz vereinbaren, der dann bindend für die Planung und Ausführung ist.

Die Planung des Radonschutzes für zu errichtende Aufenthaltsräume oder Arbeitsstätten beginnt im Allgemeinen mit der Feststellung oder Prognose der zu erwartenden Radonaktivkonzentration im Baugrund am Objektstandort in Höhe der Gebäudesohle bzw. an den erdberührten Bauteilen. Dabei ist auch zu prüfen, ob das Gebäude in einem Radonschutzgebiet liegt und demzufolge weiterführende Vorschriften der Strahlenschutz-Verordnung zu beachten sind. Es können aber

auch in Bebauungsplänen, in Baugenehmigungen o.ä. bauaufsichtliche Auflagen oder Vorgaben zum Radonschutz von Aufenthaltsräumen oder Arbeitsstätten beinhaltet sein, die dann bei der Bauplanung und Realisation der Bauobjekte ebenfalls zu beachten und einzuhalten sind.

Die zu erwartende Radonaktivkonzentration kann auch in Baugrundgutachten exploriert und angegeben werden, sofern dies beim Baugrundgutachter beauftragt wurde. Die allgemeinen Regeln für die Erstellung von Baugrundgutachten für Bauwerkserrichtungen, wie EC 7, DIN EN 1997 oder DIN 4020 enthalten bisher keine grundsätzlichen Anforderungen zur obligatorischen Untersuchung von Radon oder anderen Bodengasen im Baugrund, weshalb bislang noch eine gesonderte Beauftragung dafür erforderlich und empfehlenswert ist.

Der Gesetzgeber hat im Strahlenschutzgesetz StrSchG §123 (1) den verpflichtenden Radonschutz für ein zu errichtendes Gebäude mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsstätten nur allgemein formuliert und gemäß Satz (1) gilt diese Pflicht als erfüllt, wenn,

Zitat aus StrSchG §123 (1):

1. die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz eingehalten werden und
2. in den nach § 121 Absatz 1 Satz 1 festgelegten Gebieten *[sog. Radonvorsorgegebiete, gem. behördlicher Ausweisung]* zusätzlich die in der Rechtsverordnung *[d.h. Strahlenschutz-Verordnung]* nach Absatz 2 bestimmten Maßnahmen eingehalten werden.

(2) Die Bundesregierung wird ermächtigt, durch Rechtsverordnung *[d.h. Strahlenschutz-Verordnung]* mit Zustimmung des Bundesrates weitere Maßnahmen zum Schutz vor Radon für zu errichtende Gebäude innerhalb der nach § 121 Absatz 1 Satz 1 festgelegten Gebiete zu bestimmen *[sog. Radonvorsorgegebiete, gem. behördlicher Ausweisung]*.

Zitatende „*[ergänzende Info des Autors im Zitat]*“

Dementsprechend könnte ein Bauplaner bei Planung und Anordnung eines „üblichen“ Feuchteschutzes nach allgemein anerkannten Regeln der Technik (Was soll das sein?) an zu errichtenden erdberührten

Bauteilen (z.B. nach DIN 18533 oder DAfStb.-Richtlinie für wasserundurchlässige Betonbauwerke o.ä.) in risikohafter Weise davon ausgehen, dass er damit den gesetzlich vorgeschriebenen Radonschutz für Aufenthaltsräume oder Arbeitsstätten pflichtgemäß für alle Randbedingungen ausreichend erfüllt. Dieser „Trugschluß“ kann am Ende sehr teuer für den Bauplaner und Gebäudeeigentümer/Auftraggeber werden, wenn nach der Errichtung der Aufenthaltsräume oder Arbeitsstätten der gesetzliche Referenzwert (von derzeit über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Raumluft ≤ 300 Bq/m^3 gemäß StrSchG §§124 u. 126) oder der vertraglich vereinbarte Auslegungswert relevant überschritten wird. Solche Überschreitungen des Referenzwertes oder des Auslegungswertes können beispielsweise durch konvektiv undichte Abdichtung (z.B. ohne Nahtfügung oder undichte Abschlüsse bzw. Übergänge) oder Bodenluft gängige Rissen in WU-Betonkonstruktionen sowie durch erhöhte oder hohe Radonkonzentration im Baugrund entstehen und sind im Nachhinein bei Mängelansprüchen meistens nur mit hohem Nachbesserungsaufwand auszugleichen.

Das Hauptproblem bei der Auslegung des Radonschutzes nach Strahlenschutzgesetz, vgl. DIN/TS 18117-2, Abs. 5.3, ist somit die Unsicherheit, ob die unspezifizierte Maßnahme den vorgeschriebenen Referenzwert oder Auslegungswert unterschreitet bzw. einhält, weil weder die Leistungsfähigkeit der Maßnahme zum Radonschutz, noch die örtlich einwirkende Radonaktivkonzentration oder das Radonpotential im örtlichen Baugrund hierbei Berücksichtigung finden. In Anbetracht der fachkompetenten, präventiven Hinweise an den Gesetzgeber ist die zweifelhafte o.g. Gesetzesformulierung im StrSchG §123 Satz (1) aus Expertensicht nicht zu verstehen und als eher zweifelhaft im Sinne der leider häufig inkompetenten, aktuellen Regierungspolitik zu verstehen.

Im Gegensatz zur v.g. risikohaften „Auslegung des Radonschutzes nach Strahlenschutzgesetz“, ist die Auslegung durch qualifizierte „Auswahl von baulichen Maßnahmen“, gemäß Abs. 7 in DIN/TS 18117-2, auf Basis der realen Leistungsfähigkeit der jeweiligen, spezifizierten Maßnahmenart zum Radonschutz und der festgestellten bzw. prog-

nostizierten Radonkonzentration im Baugrund erfahrungsgemäß eher auf der sicheren Seite liegend. Außerdem hat es den großen Vorteil, dass der Radonschutz gegebenenfalls mit den sowieso erforderlichen Feuchteschutzmaßnahmen der erdberührten Bauteile ohne zusätzlichen Mehraufwand oder mit geringfügiger Modifikation (z.B. konvektiv dichte Abdichtung oder radondiffusionsdichte Abdichtung o.ä.) kostenneutral bis kostengünstig erledigt werden kann. Voraussetzung dafür ist aber, dass in einem frühen Planungsstadium bereits der erforderliche Radonschutz eingeplant und die anzusetzende Radonkonzentration im Baugrund objektbezogen ermittelt und bei der Maßnahmenauswahl berücksichtigt wird.

Auf die anderen Arten zur Auslegung der Radonschutzmaßnahmen durch Berechnungsverfahren nach DIN/TS 18117-1 oder nach Baugrundeigenschaften oder nach dem Radonpotential sowie durch lüftungstechnische Maßnahmen wird in diesem Beitrag nicht weiter eingegangen, weil der Autor primär die Auslegung durch bauliche Maßnahmen präferiert und in den anderen Beiträgen sowie in DIN/TS 18117-2 darauf eingegangen wird. Außerdem kommt die Auslegung baulicher Maßnahmen der Vorgabe des Gesetzgebers, dass der Radoneintritt in Aufenthaltsräume oder Arbeitsstätten soweit wie möglich vermindert oder vermindert werden soll, am Nächsten.

2.2 Bauliche Maßnahmen nach DIN/TS 18117-2

Die baulichen Maßnahmen zum Radonschutz sind in DIN/TS 18117-1 Abs. 7.1 – 7.6 allgemein beschrieben und werden hier nur informativ aufgelistet:

- Reduzierung des konvektiven Radoneintritts (BK), siehe DIN/TS 18117-1, Abs. 7.2 [BK - Baumaßnahme konvektiv dicht, z.B. luftdichte Abdichtungsflächen, luftdichte WU-Betonkonstruktionen u.a.],
- Reduzierung des diffusiven Radoneintritts (BD), siehe DIN/TS 18117-1, Abs. 7.3 [BD - Baumaßnahme diffusiv dicht bzw. radondicht, z.B. konvektiv und diffusionsdichte Abdichtungsflächen oder WU-Betonkonstruktionen o.a.],

- Reduzierung der Radonausbreitung im Gebäude (BA), siehe DIN/TS 18117-1, Abs. 7.4 [BA - Baumaßnahme gegen Ausbreitung im Gebäude, z.B. dichtschließende Türen, Abschottungen o.a.],
- Reduzierung der erdseitigen Radoneinwirkungen (BE), siehe DIN/TS 18117-1, Abs. 7.5 [BE - Baumaßnahme Einwirkungsseitig im Boden, z.B. Radonbrunnen, Bodenluftabsaugung u.a.],
- Reduzierung der Exhalation aus Baumaterialien (BM), siehe DIN/TS 18117-1, Abs. 7.6 [BM - Baumaßnahme Materialauswahl mit geringer Exhalation von Radon-222 u.a.],

Keine speziellen Maßnahmen zum Radonschutz sind im Allgemeinen bei folgenden Bedingungen hier zur Einhaltung des gesetzl. Referenzwertes (s.o.) erforderlich:

- die maßgebende Radonkonzentration in der Bodenluft des Baugrunds beträgt ≤ 20.000 Bq/m^3,
- die Radonkonzentration in der Bodenluft beträgt ≤ 40.000 Bq/m^3 und konvektivdichte Abdichtungen (nach DIN 18533) oder WU-Betonkonstruktionen nach DAfStb-Richtlinie sind vorhanden und der Raumluftwechsel beträgt mindestens 0,4 h^{-1},
- nicht zum dauerhaften Aufenthalt von Menschen nur wenig genutzte Innenräume sind betroffen,

druckwasserdichte Abdichtungen nach DIN 18533 oder WU-Betonkonstruktionen nach WU-Richtlinie des DAfStb. befinden sich unterhalb des ständigen Grundwasserpegels, weil das anstauende Grundwasser eine Radoneinwirkung auf die erdberührten Bauteile verhindert.

2.3 Unterscheidung zur Klassifizierung der Baulichen Maßnahmen

In Abhängigkeit von der Radonkonzentration im örtlichen Baugrund und dem vorgegebenen Referenzwert oder Auslegungswert werden die zugeordneten Baulichen Maßnahmen in „Grundschutz“ und „Erhöhten Schutz“ im Abs. 7.2 bis 7.4 in DIN/TS 18117-2 unterschieden. Die nachfolgenden Tabellen 1 für den „Grundschutz [GS] und Tabelle 2 für den Erhöhten Schutz [EH] erläutern die jeweiligen Unterscheidungen, Merkmale und Art der dafür erforderlichen Radonbarrieren.

Bei der Klassifizierung ist der dafür zu Grunde gelegte Musterraum und der ≥ 0,4-fache Mindestraumluftwechsel zu beachten.

Die in Tabelle 1 und 2 angegebenen Maßnahmen gelten grundsätzlich für Neubaumaßnahmen, können aber auch bei analogen Randbedingungen auf den Radonschutz im Bestand oder bei Umnutzungen angewendet werden.

Die verwendeten Begriffe sind in DIN/TS 18117 definiert.

Mit den beiden Teilen von DIN/TS 18117 liegen nun umfängliche Regewerke für den baulichen und lüftungstechnischen Radonschutz von Aufenthaltsräumen oder Arbeitsstätten vor, die von den Planern und Ausführenden nun genutzt werden können, um den gesetzlichen und ggf. vertraglichen Anforderungen des Radonschutzes gerecht zu werden. Dafür ist ein intensives Studium der Normeninhalte und der einschlägigen Fachliteratur im Allgemeinen erforderlich (z.B. das aktuelle Fachbuch „Radon und Radonschutz im Bauwesen“). Bis wann sich die beiden neuen, o.g. Regelwerke als anerkannte Regeln der Technik eingeführt haben können, ist nach Ansicht des Autors heute noch nicht abzusehen.

Tabelle 1: Maßnahmen zum GRUNDSCHUTZ [GS]

Konvektivdichte Radonbarrieren für den Grundschutz (GS)

Radonbarrieren (BK) als bauliche Maßnahmen	**Radonkon-zentration im Boden [Bq/m³]**	**Einzuhaltende bautechnische Voraussetzungen**
Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton nach DAfStb WU-Richtlinie	≤ 100.000	Entwurfsgrundsätze (EGS) bezüglich eventueller Trennrisse Allgemein: EGS a), EGS c) oder EGS b) mit $w_k \leq 0{,}15$ mm (nur in Beanspruchungsklasse (BKL) 2)
	≤ 40.000	EGS Trennrisse Allgemein: EGS-a, EGS-c, EGS b mit $w_k \leq 0{,}20$ mm (in BKL 2)
Erdberührte Abdichtungen nach Normenreihe DIN 18533 oder gleichwertige nachträgliche Abdichtungen nach WTA-MB 4-6	≤ 100.000	Feuchtedicht bei Bahnen mit abgedichteten Bahnennähte oder vollflächig wasserdicht
	≤ 40.000	feuchtedicht aber lose Bahnenüberlappungen mit spez. Dichtheitsnachweis sind zulässig
Frischbetonverbundsystem nach DBV-Merkblatt FBVS auf wasserundurchlässigem Bauwerk aus Beton	≤ 100.000	EGS Trennrisse Allgemein: EGS a), EGS c) FBVS mit abP nach PG-FBV (siehe DBV-Merkblatt FBVS und DBV Heft 54)

Siehe hierzu auch Hinweis unter Tabelle 2.

Tabelle 2: Maßnahmen zum ERHÖHTEN SCHUTZ [ES]

Radondichte Radonbarrieren für den Erhöhten Schutz (ES)

Radonbarrieren (BK und BD) als bauliche Maßnahmen	**Radonkonzentration im Boden [Bq/m³]**	**Einzuhaltende bautechnische u. physikalische Voraussetzungen**
Wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton nach DAfStb. WU-Richtlinie	> 100.000	radondicht; Entwurfsgrundsätze (EGS) bezüglich eventueller Trennrisse Allgemein: EGS a), EGS c)
Erdberührte Abdichtungen nach Normenreihe DIN 18533 oder gleichwertige nachträgliche Abdichtungen nach WTA-MB 4-6	> 100.000	radondicht
Frischbetonverbundsystem nach DBV-Merkblatt FBVS auf wasserundurchlässigem Bauwerk aus Beton	> 100.000	radondicht; Entwurfsgrundsätze (EGS) bezüglich eventueller Trennrisse Allgemein: EGS a), EGS c)

Hinweise zu beiden Tabellen:

Für die Anwendung der Tabellenangaben ist die Einhaltung des Mindestluftwechsels von 0,4-fach/h im zu schützenden Raum und der Spezifikationen zu den Bauarten und Produkten zu beachten. Es können auch Kombinationen von Maßnahmen analoger Kategorie für das gleiche Schutzziel vorgenommen werden.

Grundsätzlich beziehen sich die Angaben auf Vergleichsrechnungen mit einem Musterraum bestimmter Abmessungen mit drei erdberührten Flächen wie in DIN 18117-2 im Abs. 7 ff. angegeben ist. Mit dem Grundschutz können auch abtrennende Maßnahmen (BA) im Gebäude integriert werden.

Zur Reduzierung der Radonkonzentration im Boden (BE) können auch Radonbrunnen, Bodenluftabsaugungen, Radondränagen o.ä. eingesetzt und mit Maßnahmen zum Grundschutz oder Erhöhten Schutz kombiniert werden. Zur weiteren Information wird auf DIN/TS 18117-2 Abs. 7 verwiesen.

3 Literaturverzeichnis

[1] Strahlenschutzgesetz (StrSchG) vom 27.06.2017

[2] Strahlenschutzverordnung (StrSchVO) vom 29.11.2018

[3] DIN/TS 18117-1 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Grundlagen und Beschreibungen von Maßnahmen“

[4] DIN/TS 18117-2 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen“

[5] Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) „Radon-Handbuch Deutschland“ Link: https://www.bfs.de/SharedDocs/Downloads/BfS/DE/broschueren/ion/radon-handbuch.html

[6] DIN 18205 „Bedarfsplanung im Bauwesen“

[7] MVTTB Musterverwaltungsordnung techn. Baubestimmungen des DIBt

[8] DIN 18195 „Abdichtung von Bauwerken – Begriffe“

[9] DIN 18533 „Abdichtung von erdberührten Bauteilen“

[10] DIN/TS 20000-202„Anwendung von Bauprodukten in Bauwerken – Teil 202: Anwendungsnorm für Abdichtungsbahnen von erdberührten Bauteilen, ...“

[11] Deutscher Ausschuß für Stahlbeton „Richtlinie wasserundurchlässige Bauwerke aus Beton“ und Erläuterungen im Heft 555 (zukünftig 666)

[12] Deutscher Beton und Bautechnik Verein Merkblatt FBVS und Heft 54 „Frischbetonverbundsysteme“

[13] WTA-Merkblatt 4-6 „Nachträgliche Abdichtung erdberührter Bauteile“

[14] „Radon und Radonschutz im Bauwesen“ Hrsg. G.Klingelhöfer und K.Leicht, Reguvis Köln u. Fraunhofer IRB Verlag Stuttgart

Die DIN/TS 18117-2 – Das neue Regelwerk für den bau- und lüftungstechnischen Radonschutz - Lüftungstechnische Lösungen im Radonschutz

Thomas Hartmann

ITG Institut für Technische Gebäudeausrüstung Dresden - Forschung und Anwendung GmbH

Zusammenfassung

Neben den baulichen Maßnahmen können lüftungstechnische Lösungen wesentlich zu einem adäquaten Radonschutz beitragen. Inhalt dieses Beitrages ist die Auswahl und die Auslegung von lüftungstechnischen Maßnahmen im Zusammenspiel der beiden Teile von DIN/TS 18117 sowie unter Beachtung des weiteren Regelwerkes. Basierend auf dem Überblick möglicher Maßnahmen werden die in DIN/TS 18117-2 enthaltenen Hinweise zu wesentlichen Randbedingungen und zur systemabhängigen Auslegung besonders beleuchtet.

1 DIN/TS 18117-2: Einordnung ins Regelwerk

Mit dem Erscheinen von DIN/TS 18117-2 : 2025 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen“ [1] wird im Zusammenspiel mit Teil 1 der DIN/TS 18117 [2], der sich mit den Begriffen, Grundlagen und der Beschreibung von Maßnahmen im Radonschutz beschäftigt, das Normenwerk zum Radonschutz komplettiert. Vom DIN veröffentlichte Technischen Spezifikationen (TS), können als eine Art Vorstufe zu regulären DIN-Normen verstanden werden. Nach einer Phase der praktischen Anwendung ist zu einem späteren Zeitpunkt die Umwandlung in DIN-Normen möglich.

Ziel der DIN/TS 18117 mit den beiden Teilen 1 und 2 ist es, bau- und lüftungstechnische Maßnahmen zu beschreiben, mit denen der Radoneintritt in Gebäude reduziert werden kann und die Einhaltung von

gesetzlichen Anforderungen aus dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zu ermöglichen.

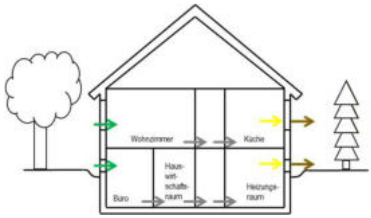
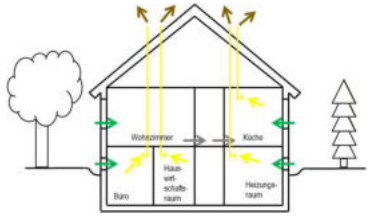
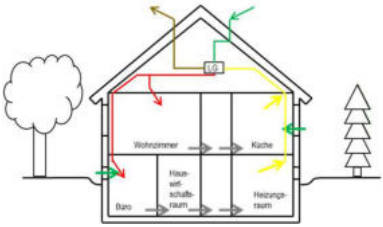
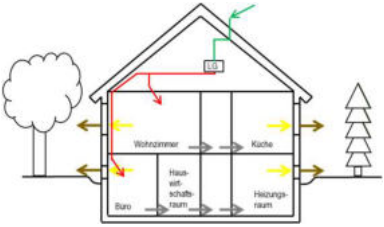
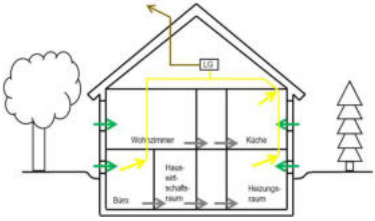
Speziell für lüftungstechnische Lösungen im Radonschutz sind Schnittstellen zum einschlägigen Regelwerk im Bereich der Lüftung von Gebäuden zu beachten (u.a. [3] und [3]).

2 Lüftungstechnische Maßnahmen im Radonschutz

Einen Überblick über mögliche lüftungstechnische Maßnahmen im Radonschutz nach DIN/TS 18117-1 [2] zeigt Tabelle 1. Zu beachten ist, dass die Möglichkeiten zur manuellen Fensterlüftung generell eingeschränkt sind, da im Kellerbereich aufgrund der geringen Größe und Höhe der Fenster über Grund praktisch nur sehr geringe Windeffekte zu erwarten sind und unter sommerlichen Verhältnissen die Raumluft kaum getrocknet werden kann.

Mit freier Lüftung wird auf Basis eines zeitweise erhöhten Luftwechsels die Ableitung von Radon aus dem Gebäude und die Reduzierung der Radonkonzentration im Gebäude realisiert. Die freie Lüftung basiert auf Druckdifferenzen durch Wind (Querlüftung) oder thermischen Auftrieb (Schachtlüftung). In dichten Gebäuden sind für die Durchströmung der außenluftberührten Gebäudehülle definierte Öffnungen, so genannte Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD) erforderlich.

Tabelle 1: Überblick über lüftungstechnische Maßnahmen im Radonschutz nach DIN/TS 18117-1 [2] und DIN 1946-6 [3], Quelle: ITG Dresden

Lüftungs-system	Lüftungs-techn. Maß-nahme	Umsetzung	Schema
Freie Lüftung	Querlüftung	Außenbau-teilluftdurch-lässe (ALD)	
	Schachtlüf-tung	Lüftungs-schacht	
Ventilator-gestützte Lüftung	Zu-/Abluft-system (Gleichdruck)	Zuluft- und Ab-luftventilatoren, auch leichter Überdruck möglich	
	Zuluftsystem (Überdruck)	Zuluftventilato-ren und ALD für Abströmung	
	Abluftsystem (Unterdruck)	Abluftventilato-ren und ALD für Nachströmung	

Die Reduzierung der Radonkonzentration durch ventilatorgestützte Lüftung basiert auf der Erzeugung eines definierten Luftwechsels und von definierten Druckverhältnissen. Bei ventilatorgestützter Lüftung werden die Systeme anhand der Anordnung der Ventilatoren und der daraus resultierenden Druckverhältnisse unterschieden:

Zu-/Abluftsystem mit Luftabführung und -zuführung

- Gleichdruck bei balancierter Fahrweise
- Überdruck mit geringem Zuluftüberschuss

Zuluftsystem mit Luftzuführung durch Ventilatoren

- Überdruck im Gebäude durch Zuluftüberschuss

Abluftsystem mit Luftabführung durch Ventilatoren

- Unterdruck im Gebäude durch Abluftüberschuss

Mit Überdrucksystemen wird das Eindringen von Radon aus dem Erdreich in das Gebäude verringert, auf mögliche bauphysikalische Auswirkungen infolge der Durchströmung der Gebäudehülle von innen nach außen ist unter Beachtung der Normenreihe DIN 4108 zu achten.

Mit Unterdrucksystemen wird das Eindringen von Radon aus dem Erdreich in den Räumen mit Unterdruck erhöht, allerdings verhindert der auch gegenüber Nachbarräumen entstehende Unterdruck die weitere Ausbreitung des Radons im Gebäude. Eine solche Lösung bietet sich also nur in praktisch ungenutzten Kellerräumen an, um benachbarte Aufenthaltsräume vor einer kritischen Radonexposition zu schützen.

3 Druckdifferenzen an erdberührten Bauteilen

3.1 Thermischer Auftrieb

Ein wesentlicher lüftungstechnischer Aspekt im Radonschutz ist die Druckdifferenz an den erdberührten Bauteilen, die für den konvektiven Radoneintritt aus der Bodenluft maßgeblich ist. Insbesondere bei niedrigeren Außentemperaturen herrscht dabei wegen des thermischen Auftriebs im unteren Gebäudebereich ein Unterdruck, der nach DIN/TS 18117-2 [1] wie folgt bestimmt werden kann:

$\Delta p = \Delta T \cdot h_{po} \cdot f_{\Delta p-TA}$ (1)

mit

Δp… Druckdifferenz, in Pa

ΔT… Temperaturdifferenz zwischen außen und innen, in K

h_{p0}… Höhe bis zur „druckneutralen Zone“, in m

$f_{\Delta p\text{-}TA}$ … Faktor für die Druckdifferenz durch thermischen Auftrieb, in Pa/(mK), Standardwert: $f_{\Delta p\text{-}TA}$ = 0,04 Pa/(mK)

Zur Bestimmung der maßgeblichen Höhe h_{p0} muss zuerst die Höhe des gesamten Luftverbunds geklärt werden. Verfügt das Gebäude über ein Untergeschoss und ein ausgebautes Dach und kann von einem Luftverbund ausgegangen werden (keine dauerhaft luftdicht verschlossenen Türen zwischen Untergeschoss und Dach) kann die gesamte Höhe vom Boden gegen Erdreich bis zum First als Höhe des Luftverbundes angesetzt werden Aufgrund des thermischen Auftriebs herrscht im unteren Gebäudebereich Unterdruck und im oberen Gebäudebereich Überdruck, die „druckneutrale Zone“ ohne Druckdifferenz gegenüber außen liegt dazwischen. Da die Verteilung der Leckagen in der Gebäudehülle im Regelfall nicht bekannt ist, kann näherungsweise von einer Gleichverteilung der Leckagen über die Gebäudehöhe ausgegangen werden, die „druckneutrale Zone“ liegt dann etwa in der Mitte.

Das kann am Beispiel eines Einfamilienhauses bei mittleren winterlichen Verhältnissen konkretisiert werden:

Außentemperatur θ_a = 0°C

Innentemperatur θ_a = 20°C

Temperaturdifferenz ΔT = 20K

Höhe Dachfirst über Boden gegen Erdreich h = 10m

Höhe bis zur „druckneutralen Zone“ h_{p0} = 5m

Druckdifferenz $\Delta p = 20\,K \cdot 5\,m \cdot 0{,}04\,\frac{Pa}{m \cdot K} = 4{,}0\,Pa$

Diese thermisch induzierte Druckdifferenz wirkt am Boden gegen Erdreich als Unterdruck (- 4,0 Pa) und im Bereich des Dachfirstes als Überdruck (+ 4,0 Pa).

3.2 Wind

Neben dem Unterdruck durch thermischen Auftrieb kann auch durch Wind Unterdruck an den erdberührten Bauteilen entstehen. Maßgeblich sind neben dem Luftverbund und der Verteilung der Leckagen die Windgeschwindigkeit, die Windrichtung und die Gebäudegeometrie, wobei die beiden letzteren durch Winddruckbeiwerte berücksichtigt werden können:

$$\Delta p = \frac{\rho}{2} \cdot v^2 \cdot \Delta C_p \qquad (2)$$

mit

Δp... Druckdifferenz, in Pa

ρ... Dichte der Luft, in kg/m³: Näherungswert: $\rho \approx 1{,}2$ kg/m³

v... Windgeschwindigkeit, in m/s

C_p... mittlerer Winddruckbeiwert, in -

Für die Winddruckbeiwerte kann auf die Literatur (z.B. [5], [6]) zurückgegriffen werden. Um auf dieser Basis einen mittleren Unterdruck im Gebäude bestimmen zu können, können die Winddruckbeiwerte für die einzelnen Fassaden näherungsweise gemittelt werden.

Das kann wiederum am Beispiel eines Einfamilienhauses bei mittleren Windgeschwindigkeiten konkretisiert werden:

Windgeschwindigkeit v = 4 m/s

Winddruckbeiwert Luvseite C_p = +0,25

Winddruckbeiwert Leeseite C_p = -0,50

Winddruckbeiwert Seitenwände C_p = -0,30

Winddruckbeiwert Dach (Neigung 10 bis 30°) C_p = -0,50

Mittlerer Winddruckbeiwert $C_p = \frac{+0{,}25-0{,}5-2\cdot 0{,}3-0{,}5}{5} = -0{,}27$

Druckdifferenz $\Delta p = \frac{1{,}2}{2}\frac{kg}{m^3} \cdot \left(4\frac{m}{s}\right)^2 \cdot (-0{,}27) = -2{,}6\ Pa$

Diese windinduzierte Druckdifferenz wirkt im Gebäude im mittel als Unterdruck (- 2,6 Pa).

3.3 Lüftungsanlagen

Werden im Gebäude Abluft- oder WC-Entlüftungsanlagen, raumluftabhängige Feuerstätte oder Dunstabzugshaube im Abluftbetrieb eingesetzt, ergibt sich der entstehende Unterdruck aus der Planung der Gebäudetechnik. Zur Orientierung können für den entstehenden Unterdruck folgende Werte angesetzt werden:

- Abluftanlage oder WC-Entlüftung ohne Feuerstätte oder mit raumluftunabhängiger Feuerstätte: $\Delta p = -8{,}0\ Pa$
- Abluftanlage oder WC-Entlüftung mit raumluftabhängiger Feuerstätte: $\Delta p = -4{,}0\ Pa$

3.4 Überlagerte Effekte

In der praktischen Anwendung ist zu beachten, dass die in den vorhergehenden Abschnitten beschriebenen Effekte sehr häufig gleichzeitig auftreten. Für die daraus resultierende Überlagerung und die sich daraus ergebenden Unterdrücke kann bei einer konservativen Abschätzung folgendes angenommen werden:

- thermischer Auftrieb und Wind: Addition der Unterdrücke
- natürliche Druckdifferenzen (Thermischer Auftrieb und Wind) und Abluftanlagen: Maximum der Unterdrücke

Betrachtet man wiederum das Beispiel Einfamilienhaus ergeben sich die folgenden resultierenden Unterdrücke:

- Gebäude ohne Lüftungsanlage
  - Thermisch induzierter Unterdruck: $\Delta p = -4{,}0\ Pa$
  - windinduzierter Unterdruck: $\Delta p = -2{,}6\ Pa$
  - gesamter (natürlich induzierter) Unterdruck:

    $$\Delta p = -2{,}6\ Pa - 4{,}0\ Pa = -6{,}6\ Pa$$

- Gebäude mit Abluftanlage und ohne Feuerstätte
  - natürlich induzierter Unterdruck:

    $$\Delta p = -2{,}6\ Pa - 4{,}0\ Pa = -6{,}6\ Pa$$

  - Unterdruck durch Abluftanlage: $\Delta p = -8{,}0\ Pa$

  - gesamter Unterdruck:
    $\Delta p = \max(-6{,}6; -8{,}0) = -\ 8{,}0\ Pa$
- Gebäude mit Abluftanlage und mit raumluftabhängiger Feuerstätte
  - natürlich induzierter Unterdruck:
    $\Delta p = -2{,}6\ Pa - 4{,}0\ Pa = -6{,}6\ Pa$
  - Unterdruck durch Abluftanlage: $\Delta p = -4{,}0\ Pa$
  - gesamter Unterdruck:
    $\Delta p = \max(-6{,}6; -4{,}0) = -\ 6{,}6\ Pa$

4 Luftwechsel

4.1 Harmonisches Mittel

In DIN/TS 18117-1 [2] ist ein Verfahren zur rechnerischen Abschätzung der Radonkonzentration beschrieben. Bei wechselnder Größe des Luftwechsels und sonst gleichen Randbedingungen ergibt sich die mittlere Radonkonzentration allerdings nicht aus dem sonst üblicherweise genutzten arithmetischen Mittel des Luftwechsels, sondern aus dem mit der Dauer gewichteten harmonischen Mittel, das kleiner ist als das arithmetische Mittel. Die im Prinzip zusätzlich zu berücksichtigende Zerfallskonstante kann vernachlässigt werden:

$$\bar{n}_{harm} = \frac{t_1 + t_2 + t_3 + \cdots}{t_1/n_1 + t_2/n_2 + t_3/n_3 + \cdots} \qquad (3)$$

mit

$\bar{n}_{harm}$ ...gewichtetes harmonisches Mittel des Luftwechsels, in h^{-1}

t_1, t_2, t_3...Dauer des (Luftwechsel-)Zustands 1, 2, 3, ..., in h

n_1, n_2, n_3...Luftwechsel im Zustand 1, 2, 3, ..., in h^{-1}

Die Verwendung des harmonischen Mittelwertes führt (anders als bei der Verwendung des arithmetischen Mittels) dazu, dass sich Zeiten mit niedrigem Luftwechsel besonders stark auf den Mittelwert der Radonkonzentration auswirken.

Auch hier hilft ein Beispiel unter Verwendung von Bild 2 aus DIN/TS 18117-1 [2], für das bessere Verständnis:

Zustand 1:

Luftwechsel n_1 = 0,2 h^{-1}

Dauer t_1 = 4380 h (halbes Jahr)

Radon-Innenraumkonzentration 400 Bq/m³

Zustand 2:

Luftwechsel n_2 = 0,9 h^{-1}

Dauer t_2 = 4380 h (halbes Jahr)

Radon-Innenraumkonzentration 100 Bq/m³

harmonisches Mittel: $\bar{n}_{harm} = \frac{4380\ \mathrm{h} + 4380\ \mathrm{h}}{4380\ h/_{0{,}2\ h^{-1}} + 4380\ h/_{0{,}9\ h^{-1}}} = 0{,}32\ h^{-1}$

arithmetisches Mittel: $\bar{n} = \frac{0{,}2\ h^{-1} \cdot 4380\ \mathrm{h} + 0{,}9\ h^{-1} \cdot 4380\ \mathrm{h}}{8760\ h} = 0{,}55\ h^{-1}$

Nach Abbildung ergeben sich daraus folgende Radonkonzentrationen:

- Mit harmonisch gemitteltem Luftwechsel: 250 Bq/m³
- Mit arithmetisch gemitteltem Luftwechsel: 170 Bq/m³

Dabei ist der Wert von 170 Bq/m³ als zu optimistisch einzuschätzen, da er die Zeiträume mit hohem Luftwechsel überschätzt bzw. die hinsichtlich der gesundheitlichen Auswirkungen kritischen Zeiträume mit niedrigem Luftwechsel unterschätzt.

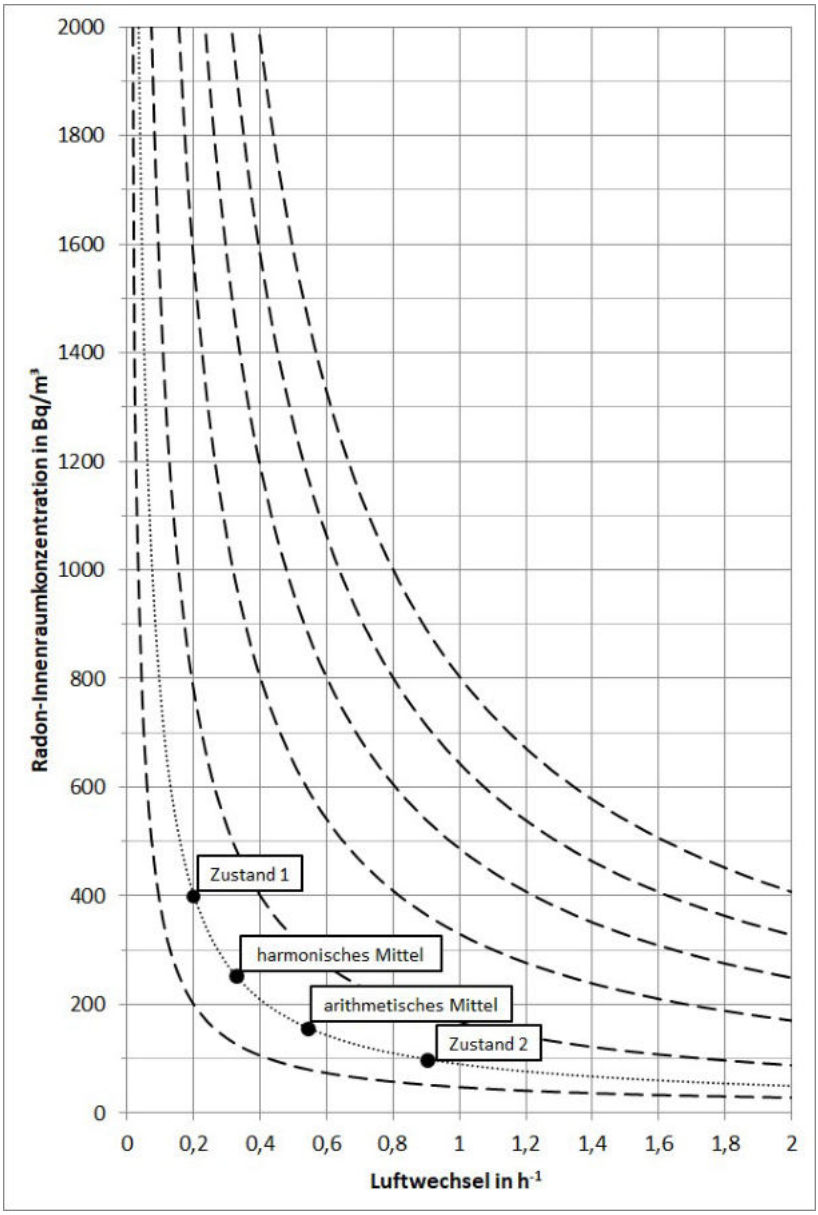


Abbildung 1: Auswirkungen des Luftwechsels auf die resultierende Radonkonzentration – Beispiel

4.2 Luftwechsel im Neubau

Zu den Wechselwirkungen zwischen Radonschutz und Lüftung im Neubau enthält DIN/TS 18118-2 [1] noch folgende Hinweise:

- Planung des Radonschutzes und Lüftungsplanung abstimmen
- Abschätzung der Radonkonzentration auf Basis des Anlagenbetriebs der Lüftung Bunter realen Bedingungen (Schaltzeiten, Regelungen) und nicht auf Basis der Auslegung der Lüftung (maximal möglicher Luftwechsel
- bei Lüftungsanlagen, die außerhalb der Nutzungszeiten ausgeschaltet werden sollen, auch die Nichtbetriebszeiten nur mit Infiltrationsluftwechsel berücksichtigen
- bei freier Lüftung Zeiten mit geschlossenen Fenstern und Lüftungsöffnungen nur mit Infiltrationsluftwechsel berücksichtigen
- Abschätzung des Jahresmittelwerts der Radonkonzentration mit dem (harmonisch gemittelten) Luftwechsel
- im Wohnungsbau bei Planung nach DIN 1946-6 Lüftungsstufe „Lüftung zum Feuchteschutz“ für Radonschutz
- bei Wohnungen in einem Untergeschoss und bei eingeschossigen Wohnungen, die nur an eine Außenfassade grenzen, maßgeblicher mittlerer Luftwechsel meist unter dem Auslegungswert für die Lüftung zum Feuchteschutz
- bei Nichtwohngebäuden mit kleinem Oberflächen-Volumen-Verhältnis (A/V) Infiltrationsluftwechsel häufig noch kleiner als bei Wohngebäuden (z. B. unter 0,05 h^{-1})

4.3 Luftwechsel im Bestand

Für das Zusammenspiel von Radonschutz und Lüftung im Gebäudebestand verweist DIN/TS 18118-2 [1] auf folgende Punkte:

- Bei Kombination von zeitaufgelösten Messungen der Radonkonzentration in der Raumluft und Messungen des Luftwechsels Quellstärke des Radoneintrags in die Raumluft berechenbar
- Auswirkungen von lüftungstechnischen Maßnahmen berechenbar bzw. nach DIN/TS 18117-1 [2] abschätzbar, wenn Druckverhältnisse an erdreichberührten Bauteilen unverändert

5 Radonkonzentration und lüftungstechnische Randbedingungen

5.1 Auswahl von Lüftungssystemen

In DIN/TS 18117-1 [2], ist ein Überblick über Lüftungsmaßnahmen, deren Wirksamkeit und Einsatzbedingungen enthalten, siehe Tabelle 1. Darüber hinaus gelten folgende Hinweise für die Lüftungstechnik aus DIN/TS 18117-2 [1].

Lüftungstechnische Trennung mit separater Kellerlüftung:

Zur Installation nicht balancierter Lüftungssysteme (Abluft- oder Zuluftsysteme) muss der separat gelüftete Raum lüftungstechnisch vom Rest des Gebäudes getrennt sein, d. h. es dürfen keine offenen oder im geschlossenen Zustand undichten Verbindungen bestehen.

Lüftungstechnische Verbindung und Einbindung in Gebäudelüftung:

Besteht eine direkte lüftungstechnische Verbindung zwischen Untergeschoss und übrigem Gebäude, kann die Lüftung des Untergeschosses in ein zentrales oder im Raumverbund arbeitendes dezentrales Lüftungssystem des Gebäudes eingebunden werden.

Zu- sowie Zu-/Abluftsysteme mit Zuluftüberschuss können zur Überdruckerzeugung genutzt werden. Dabei ist auf mögliche bauphysikalische Auswirkungen aufgrund des Überdrucks zu achten.

Einsatz von Erdreich-Luft-Wärmeübertragern:

Werden ventilatorgestützte Lüftungssysteme mit einem Erdreich-Luft-Wärmeübertrager kombiniert, sind in Gebieten mit hoher Radonkonzentration in der Bodenluft folgende Punkte zu beachten:

- Gefälle des Erdreich-Luft-Wärmeübertragers immer in Richtung Gebäude und Kondensatabführung über Lüftungsgerät
- Kondensatwasserablauf direkt über Sickerschacht oder über Siphon ins Erdreich nicht zulässig
- im Erdreich ausschließlich gasdichte Rohrmaterialien verwenden

5.2 Auslegung von Lüftungssystemen

Zunächst sollte mit baulichen Maßnahmen die Radonquellstärke in zu schützenden Räumen so klein gehalten werden, dass die zur Abfuhr

von Kohlendioxid und Feuchtigkeit sowieso notwendige Lüftung auch für den Radonschutz ausreichend ist.

Beim Einbau einer ventilatorgestützten Lüftung, die dauerhaft betrieben wird, können Zustände mit sehr niedrigem Luftwechsel vermieden werden. Gegenüber der freien Lüftung durch Fugen und Außenbauteilluftdurchlässe (ALD) besteht der Vorteil, dass praktisch keine wetterbedingten Schwankungen des Luftwechsels auftreten.

Zu-/Abluftanlagen bieten darüber hinaus den Vorteil, dass mittels Wärmerückgewinnung aus der Abluft die Lüftungswärmeverluste erheblich reduziert werden können.

6 Literaturverzeichnis

[1] DIN/TS 18117-2 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz — Teil 2: Klassifizierung, Auswahl und Handlungsempfehlungen“, 2025-04, Beuth-Verlag, Berlin

[2] DIN/TS 18117-1 „Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz — Teil 1: Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen“, 2021-09, Beuth-Verlag, Berlin

[3] DIN 1946-6 „Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung“, 2019-12; Beuth-Verlag, Berlin

[4] Technische Regeln für Arbeitsstätten, ASR 3.6 „Lüftung“, Ausgabe: Januar 2012, zuletzt geändert 2018, Ausschuss für Arbeitsstätten – ASTA-Geschäftsführung – BAuA – www.baua.de

[5] DIN EN 16798-7 „Energetische Bewertung von Gebäuden — Lüftung von Gebäuden — Teil 7: Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Luftvolumenströme in Gebäuden einschließlich Infiltration“, 2015-01; Beuth-Verlag, Berlin

[6] K. Gertis: Radon in Gebäuden – eine kritische Auswertung vorhandener Literatur, Fraunhofer IRB, 2008

Validierung von Baukonstruktionen und Abdichtungskonzepten im baulichen Radonschutz des Wohnungsbaus

Jakob Klever[1)] Arno Kohls[2)], Thomas Naumann[1)], Andy Bödecker[2)]

[1)] Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden

[2)] Saint-Gobain Weber GmbH, Düsseldorf

Zusammenfassung

Mit der Neufassung des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) im Jahr 2017 bzw. 2018 wurden verschärfte Anforderungen an den baulichen Radonschutz festgelegt. In diesem Kontext untersucht die vorliegende Studie die Wirksamkeit verschiedener Baukonstruktionen und Abdichtungskonzepte zur Reduktion der Radonexposition in Wohngebäuden. Im Rahmen einer Kooperation zwischen der HTW Dresden und der Saint-Gobain Weber GmbH wurden dabei Referenzobjekte des Neubaus im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge analysiert. Diese Gebäude wurden hinsichtlich der Radonaktivitätskonzentration in der Boden- und Raumluft messtechnisch bewertet, um mögliche Verbesserungspotentiale im Planungs- und Ausführungsprozess insbesondere der Bauwerksabdichtung zu identifizieren.

1 Vorstellung des Forschungsprojekts und der Beispielobjekte

1.1 Forschungsprojekt

Aus den zum Jahresende 2018 in Kraft getretenen Neufassungen des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG) sowie der zugehörigen Strahlenschutzverordnung (StrlSchV), mit dem Ziel einer Senkung der Radonexposition in Gebäuden, ergeben sich Konsequenzen für den Radonschutz in neu zu errichtenden Gebäuden. Parallel zum bis Ende 2020 andauernden Prozess der Ausweisung von Radonvorsorgegebieten, und verstärkt seit deren verbindlicher Ausweisung, liegt nun über Jahre hinweg ein besonderer Arbeitsschwerpunkt auf der Bereitstel-

lung einer fundierten Wissensbasis zum radonsicheren Bauen, welche anhand aktueller Publikationen, Normen und Regelwerke erkennbar wird. Von besonderer Bedeutung ist in diesem Zusammenhang eine objektive Beratung, die sich stets an den Gegebenheiten des konkreten Bauvorhabens orientiert.

Innerhalb der charakteristischen Planungs- und Bauprozesse von Ein- und Mehrfamilienhäusern in Deutschland ist es durchaus üblich, dass die Planer und Bauausführenden den Einsatz geeigneter Baumaterialien sowie die diesbezüglichen Qualitätsanforderungen projektspezifisch mit ausgewählten Baustoffherstellern abstimmen. Im Zusammenhang mit dem Anspruch einer konvektionsdichten erdberührenden Gebäudehülle werden deshalb häufig die Hersteller von Produkten der Bauwerksabdichtung, darunter die Saint-Gobain Weber GmbH, zur Beratung kontaktiert.

Das Ziel der hier beschriebenen Untersuchungen, gemeinsam konzipiert von der Saint-Gobain Weber GmbH und der HTW Dresden, lag darin, aus einer Vielzahl angefragter Wohnungsneubauten (Ein- bzw. Mehrfamilienhäuser) zunächst drei Referenzobjekte zur messtechnischen Untersuchung im Hinblick auf das radonsichere Bauen auszuwählen. Bei diesen Objekten handelt es sich um Wohngebäude, deren Planungsprozess im Zeitraum 2019/20 anlief und deren Bauausführung zwischen 2020 und 2023 stattfand. Weitere relevante Auswahlkriterien bildeten (1) der Anspruch, möglichst typische Gebäudeformen und baukonstruktive Gefüge des Neubaus abzubilden, (2) die Berücksichtigung von Standorten mit einer zu erwartenden erhöhten bis hohen Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft und nicht zuletzt (3) die Mitwirkungsbereitschaft aller am Bau Beteiligten zum Planungs- und Datenaustausch zu den Referenzobjekten. Im Ergebnis des Auswahlprozesses wurden ein Einfamilien- und zwei Mehrfamilienhäuser im Landkreis Sächsische Schweiz – Osterzgebirge als Referenzobjekte definiert, wobei zwei dieser Objekte innerhalb eines ausgewiesenen Radonvorsorgegebiets und ein weiteres knapp außerhalb dieses Radonvorsorgegebietes liegen.

Für alle 3 Referenzobjekte wurden dabei, in individueller Abfolge und Verknüpfung, folgende Untersuchungsmethoden angewandt:

- messtechnische Bestimmung und Klassifizierung der Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft, für Baugrundstücke des Neubaus vor Baubeginn,
- messtechnische Erfassung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft als aktive Kurzzeit-Messungen, zur Beurteilung „frisch genutzter“ Gebäude bzw. für validierende Wiederholungsmessungen,
- messtechnischer Nachweis wirksamer Eintrittswege für Radon (insbesondere Konvektion) mittels „Sniffing“, etwa im Bereich von Medieneinführungen, Fugen oder Querschnittsschwächungen erdberührender Bauteile, ggf. zur Priorisierung baulicher Handlungsoptionen für die Absenkung von Radonkonzentration in der Raumluft;
- messtechnische Bewertung der Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft als passive Jahresmessungen, zur finalen Beurteilung der jungen Neubauten sowie teilweise zur Erfolgskontrolle umgesetzter Optimierungsmaßnahmen;

Mit diesem Arbeitsprogramm, sowie ergänzenden Voruntersuchungen an anderen in Betracht kommenden Beispielgebäuden, wurde ein Untersuchungsablauf konzipiert, welcher die Erfolgschancen einer zeitgemäßen und wirtschaftlichen Bauwerksabdichtung im Hinblick auf den Radonschutz typischer kleinerer Wohnungsneubauten – unter Berücksichtigung durchschnittlicher Randbedingungen für die Planung und Bauausführung sowie des unvermeidlichen Kostendrucks – beispielhaft betrachtet.

1.2 Objekt 1 - Einfamilienhaus in Hanglage

Beim Referenzobjekt 1 handelt es sich um ein 1-geschossiges Einfamilienhaus mit ausgebautem Dachgeschoss in ländlicher Mittelgebirgslage, dessen Wohnfläche insgesamt etwa 150 m² beträgt. Während das Erd- und das Dachgeschoss vollständig zu Wohnzwecken genutzt werden, befinden sich im Untergeschoss neben einem ergänzenden Wohnraum auch der HA-Raum sowie Wirtschaftsräume. Aufgrund der Hanglage des Grundstücks ist eine Hälfte des Untergeschosses erdberührend ausgebildet, während die andere Hälfte über einen ebenerdigen Zugang verfügt.

Das Objekt wurde im Jahr 2019 geplant, 2021 errichtet und befindet sich in einem ausgewiesenen Radonvorsorgegebiet. Die Gründung erfolgt über eine Stahlbeton-Bodenplatte. Sowohl die Innen- als auch die Außenwände im Kellergeschoss bestehen aus zementgebundenen Blähton-Steinen. Das Erd- und das Dachgeschoss wurden in Holzständerbauweise ausgeführt. Die Fenster bestehen aus Holzrahmen mit 2-facher Isolierverglasung. Das Dach ist als vollständig ausgebauter Pfetten-Dachstuhl konstruiert. Die Beheizung erfolgt über einen Scheitholzkessel im Untergeschoss und kann bedarfsweise durch Holzöfen in den Wohnräumen unterstützt werden. Als mögliche Schwachpunkte in Hinblick auf den Radonschutz kommen die zahlreichen Durchdringungen in der Bodenplatte in Betracht.

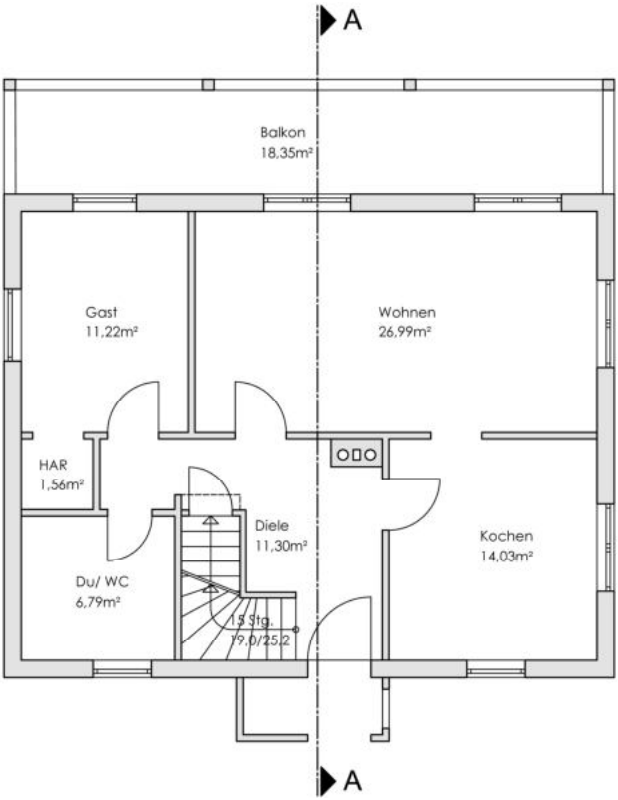


Abbildung 1: Grundriss - Erdgeschoss, Objekt 1

Abbildung 2: Schnitt A – A, Objekt 1

1.3 Objekt 2 - Mehrfamilienhaus mit Gewerbeeinheit

Referenzobjekt 2 ist ein Mehrfamilienhaus, das zwischen 2020 und 2021 im Landkreis Sächsische Schweiz-Osterzgebirge errichtet wurde. Das Gebäude verfügt über zwei Wohneinheiten und eine Gewerbeeinheit mit einer Gesamtwohnfläche von ca. 250 m². Das Objekt befindet sich direkt an der Grenze zu einem ausgewiesenen Radonvorsorgegebiet, liegt jedoch außerhalb dessen Geltungsbereichs.

Das Gebäude wurde auf einer Stahlbeton-Bodenplatte gegründet. Die erdberührten Außenwände bestehen aus Stahlbeton mit XPS-Dämmung, während die luftberührten Außenwände aus Wärmedämm-Planziegeln gefertigt sind. Im Inneren kommen Hochlochplanziegel als Trennwände zum Einsatz. Die Fenster bestehen aus Holzrahmen mit 2-facher Isolierverglasung. Das Dach wurde als vollständig ausgebauter Pfetten-Dachstuhl realisiert. Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe.

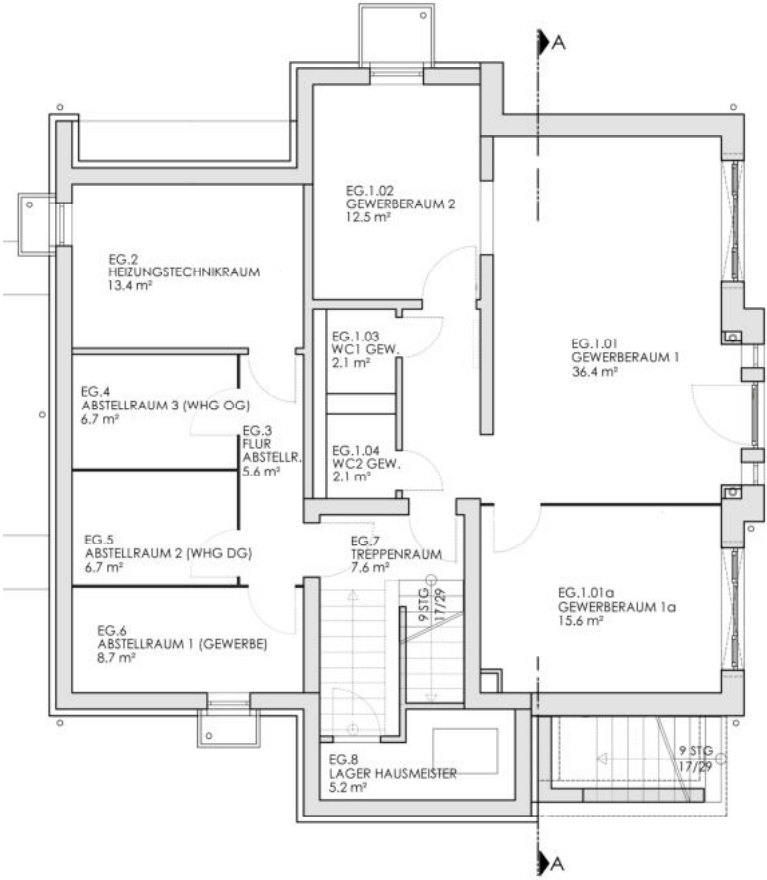


Abbildung 3: Grundriss - Untergeschoss, Objekt 2

Abbildung 4: Schnitt A – A, Objekt 2

1.4 Objekt 3 - Mehrfamilienhaus im Bergbau-Einflussbereich

Beim Referenzobjekt 3 handelt es sich um ein vollunterkellertes Mehrfamilienhaus mit sechs Wohneinheiten. Das Gebäude wurde zwischen 2022 und 2023 unweit des Dresdner Stadtgebietes errichtet. Die Gesamtwohnfläche beträgt ca. 700 m². Es befindet sich in einem ausgewiesenen Radonvorsorgegebiet und liegt zudem im Einflussbereich eines ehemaligen Bergbaustollens.

Das Gebäude wurde auf einer Stahlbeton-Bodenplatte gegründet. Die Außenwände im Kellergeschoss bestehen aus Halbfertigteilen aus Stahlbeton mit einer Perimeterdämmung, während die Außenwände im Erd- und Obergeschoss aus Blähtonsteinen mit Hartschaumfül-

lung gefertigt sind. Die Innenwände bestehen ebenfalls aus Stahlbeton (Keller) und aus Blähtonmauerwerk (Erd- und Obergeschosse). Das Gebäude ist mit Kunststofffenstern mit 3-facher Isolierverglasung ausgestattet. Das Dach ist als Flachdach aus Stahlbeton mit einer Abdichtung aus Bitumenschweißbahnen ausgeführt. Die Beheizung erfolgt über eine Fußbodenheizung, die von einem Gasbrennwertkessel mit Wärmepumpenunterstützung gespeist wird.

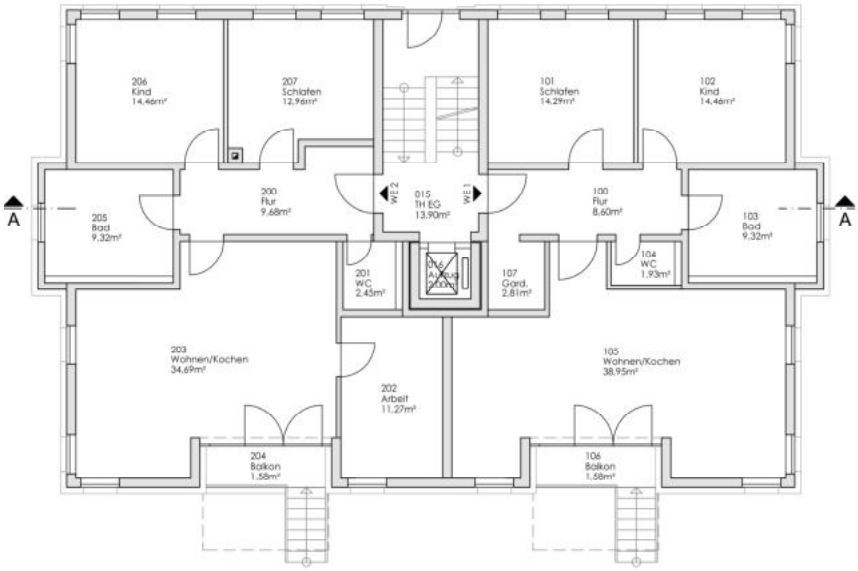


Abbildung 5: Grundriss - Erdgeschoss, Objekt 3

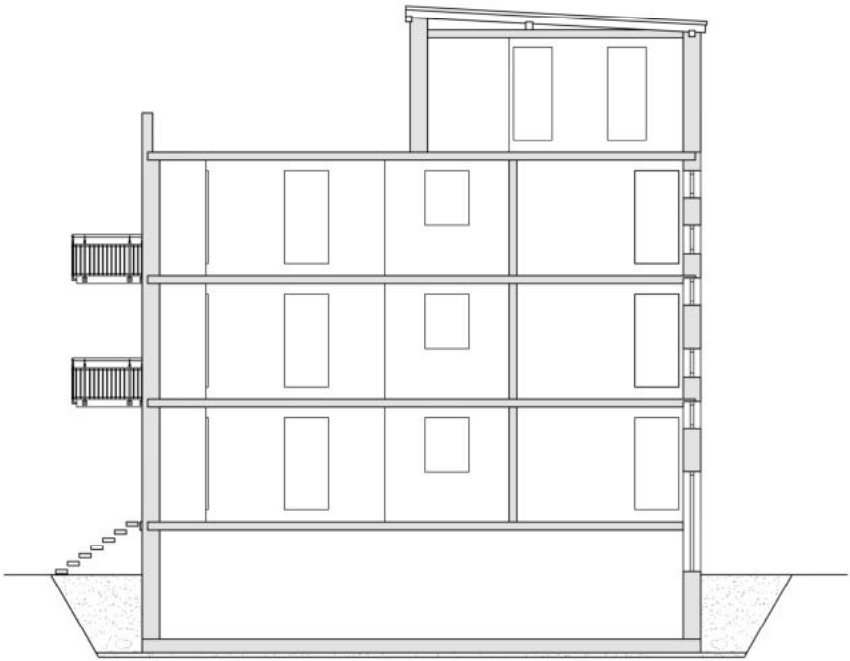


Abbildung 6: Schnitt A – A, Objekt 3

2 Abdichdungskonzept und eingesetzte Produkte

Die Abdichtungskonzepte für die drei untersuchten Referenzobjekte basieren auf dem Grundprinzip einer druckwasserdichten wannenartigen Abdichtungsebene (z.B. Prinzip „schwarze“ oder „graue“ Wanne), hier in Form einer kombinierten Variante aus WU-Bodenplatten und erdberührenden Wänden mit flüssig zu verarbeitenden Abdichtungen. Auch wenn die tatsächliche Wassereinwirkung auf das Bauvorhaben jeweils geringer als drückendes Wasser war, wurde eine Abdichtung entsprechend der Wassereinwirkungsklasse W2.1-E nach DIN 18533 gewählt, um einen ausreichenden Radonschutz zu erreichen.

Da bei dieser Wassereinwirkungsklasse hydrostatischer Wasserdruck angenommen wird, sind insbesondere alle Details wie zum Beispiel Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse sowie Fugen druckwasserdicht zu planen und auszuführen. Diese Ausführung ist bei Abdichtungen gegen W1-E Bodenfeuchtigkeit und nicht drückendes Wasser, bei denen z. B. Bauarten aus lose verlegten und überlappenden Abdichtungsbahnen möglich sind, nicht gegeben.

Bei der in der Baupraxis häufig vorkommenden Wassereinwirkungsklasse W 2.1 -E (mäßige Einwirkung von drückendem Wasser ≤ 3 m Eintauchtiefe) werden vielfach flüssig zu verarbeitende Abdichtungsstoffe wie zum Beispiel kunststoffmodifizierte Bitumen-Dickbeschichtungen (PMBC) oder flexible polymermodifizierte Dickbeschichtungen (FPD) eingesetzt. Sie zeichnen sich durch eine gute Haftung zum Untergrund aus und werden flüssig in Spachteltechnik naht- und fugenlos auf das Bauwerk aufgetragen. Mit diesen Dickbeschichtungen werden die Detaillösungen, wie zum Beispiel Fugenabdichtungsbänder und Flansche von Durchdringungen, eingespachtelt und druckwasserdicht abgedichtet.

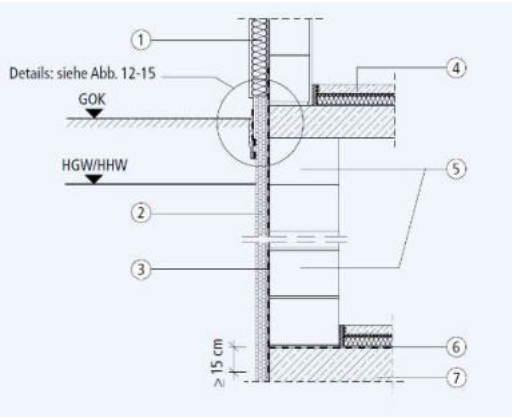
Die in DIN 18533 beschriebenen Abdichtungsstoffe werden je nach Rissneigung des Untergrundes ausgewählt. Im Bereich drückendes Wasser werden für den Kellerbau in der Regel aus statischen Gründen Beton oder Betonfertigteil-Konstruktionen geplant, diese sind der Rissklasse R1-E zuzuordnen. Aus Zuverlässigkeitsgründen fordert die Norm die Verwendung von Abdichtungsstoffen, welche mindestens RÜ3-E (Rissüberbrückung mind. 2 mm) besitzen. Dies wird zum Beispiel von PMBC oder FPD erfüllt.

Ein besonderer Vorteil der gewählten Abdichtungskonzepte liegt darin, dass die in den drei untersuchten Bauvorhaben verwendeten Abdichtungsprodukte von Saint-Gobain Weber auch einen Prüfnachweis für die Radondichtigkeit besitzen.

Neben DIN 18533 (Entwurf aus 2023) gibt die Richtlinie für die Planung und Ausführung von Abdichtungen mit flexiblen Polymermodifizierte Dickbeschichtungen (RILI- FPD) der Deutschen Bauchemie wertvolle Planungshilfen für die in der Praxis häufig verwendete Abdichtungsbauart FPD, wie zum Beispiel weber.tec Superflex D 24.

Ferner wurde Ende 2024 das überabeitete WTA-Merkblatt 4-6 „Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile“ der Fachöffentlichkeit vorgestellt. Es enthält wichtige Planungsinformationen für die Bauwerksabdichtung bei Bauvorhaben im Bestand.

In der Baupraxis, insbesondere im Wohnungsbau, werden bei erdberührten Kellern abweichend von der Bauweise „schwarze Wanne“ sogenannte Mischkonstruktionen aus einer Bodenplatte bestehend aus wasserundurchlässiger Stahlbeton-Konstruktion und einer Wandabdichtung aus einer flexiblen Abdichtungsebene (zum Beispiel PMBC oder FPD) ausgeführt. Diese Abdichtungsbauart ist wasserundurchlässig, sie muss aber auf der Innenseite der wasserundurchlässigen Bodenplatte mit einer Abdichtungsebene gegen Radongas ergänzt werden. Hier haben sich besonders Kaltselbstklebebahnen (KSK Bahnen) bewährt.



1. Wärmedämmverbundsystem (WDVS)
2. Schutzschicht nach DIN 18533-1 (z. B. Perimeterdämmung)
3. FPD
4. Estrich auf Dämmschicht
5. Wahlweise im Keller:
   - Mauerwerk mit Dünnbettmörtel in den Lagerfugen mit/ohne Stoßfugenvermörtelung
   - Mauerwerk mit Normalmörtel in den Lagerfugen mit/ohne Stoßfugenvermörtelung
   - Beton
6. ggf. Abdichtung, wenn bauphysikalisch erforderlich
7. WU-Betonkonstruktion

Abbildung 7: Mischkonstruktion aus WU-Bodenplatte und FPD-Wandabdichtung gegen drückendes Wasser W 2.1-E [6]

Abdichtungsübergänge, Fugen, Durchdringungen und Anschlüsse werden bei falscher Ausführung schnell zum Schwachpunkt in der Bauwerks- oder der Radonabdichtung. Trenn- und Bewegungsfugen an Gebäuden lassen sich mit bitumenverträglichen Fugenabdichtbändern sicher radondicht ausbilden. Für die Abdichtung von Gebäudetrennfugen und Bewegungsfugen haben sich Bänder aus vlieskaschierten Kunststoffdichtungsbahnen, die im Randbereich in die Abdichtung aus PMBC oder FPD integriert werden, bewährt. Diese Bänder können im Stoßbereich mittels Heißlufttechnik geschweißt werden, spezielle Endstück-Bänder ermöglichen den Übergang zu wasserundurchlässigen Betonkonstruktionen.

Abbildung 8: Einbau Fugenendstückband weber.tec Superflex B240 in PMBC Abdichtung weber.tec Superflex 10 [7]

Praxisnahe Beispiele für radondichte Durchdrindungen zeigt der FHRK Fachverband Hauseinführungen für Rohre und Kabel e. V. in seiner Broschüre „Initiative radondichtes Bauen“ [6]

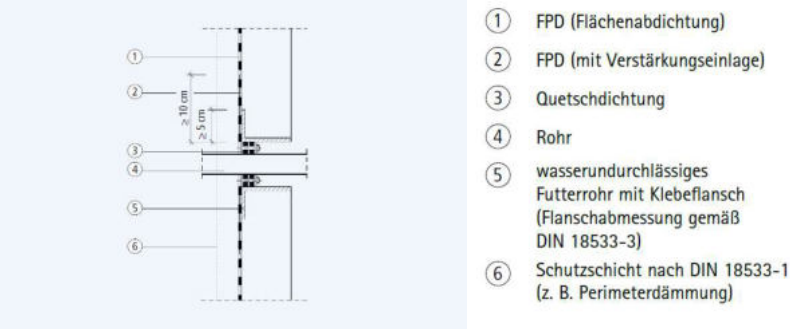


Abbildung 9: Durchdringung mit Futterrohr [6]

2.1 Ausführungsbeispiele:

Objekt 1:

Massivkeller mit einer Bodenplatte aus einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion, Dicke 0,25 m bemessen nach der WU-Richtlinie des DAfStb. Der Wandbildner besteht aus zementgebundenem Blähton-Mauerwerk, Dicke 0,36 m.

Die vorliegenden Boden- und Wasserverhältnisse sind der Wasserein-wirkungsklasse W1.2-E zuzuordnen.

Die Horizontalsperre unter dem Mauerwerk und die erdberührte Wandabdichtung wurden aus einer flexiblen polymermodifizierten Dickbeschichtung (FPD) weber.tec Superflex D24 in einer Schichtdicke von 4 mm ausgeführt. Diese wirkt sowohl als Bauwerksabdichtung als auch als Radonschutz. Im Bereich der Bodenplatte übernimmt die Kaltselbstklebebahn (KSK-Bahn) weber.tec 913 den Radonschutz auf der wasserundurchlässigen Bodenplatte (WU-Konstruktion).

Objekt 2:

Massivkeller mit einer Bodenplatte aus einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion, Dicke 0,30 m bemessen nach der WU-Richtline des DAfStb. Die Wände bestehen aus Stahlbeton-Elementwänden und Wär-medämmziegeln. Die Horizontalsperre unter dem Mauerwerk und die

erdberührte Wandabdichtung erhielten ebenfalls eine Abdichtung aus einer flexiblen polymermodifizierten Dickbeschichtung (FPD) weber.tec Superflex D24 (Schichtdicke 4 mm). Auf der Bodenplatte kam eine KSK Bahn weber.tec 913 zur Anwendung.

Vorliegende Wassereinwirkungsklasse W 2.1-E.

Objekt 3:

Abdichtungsplanung nach Wassereinwirkungsklasse W1.2-E, nichtdrückendes Wasser mit Dränung. Bodenplatte aus einer wasserundurchlässigen Betonkonstruktion mit einer Aufzugsgrube, bemessen nach der WU-Richtlinie des DAfStb. Die Wände wurden aus Elementwänden mit Ortbetonfüllung hergestellt. Horizontalsperre unter Innen- und Außenwänden mit weber.tec Superflex D 24, 4 mm, Vertikalabdichtung der Außenwände mit weber.tec Superflex D 24, 4 mm. Horizontalsperre auf WU-Betonbodenplatte mit KSK-Bahn weber.tec 913. Innenabdichtung der Aufzugsgrube mit weber.tec Superflex D 24, 4 mm.

3 Messung der Radonaktivitätskonzentration

3.1 Objekt 1

Vor Beginn der Baumaßnahmen wurde, ausgehend von der Ebene der Baugrubensohle, an fünf Messpunkten die Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft gemessen.

Tabelle 1: Messergebnisse der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft

Messpunkt	Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft
MP 1	53.978 Bq/m³
MP 2	221.061 Bq/m³
MP 3	160.707 Bq/m³
MP 4	32.138 Bq/m³
MP 5	**362.109 Bq/m³**

Die Messergebnisse bestätigen annähernd die Erwartungswerte des geogenen Radonpotentials, welche im Geoportal des Bundesamtes für Strahlenschutz [1] für den Standort vorliegen. Der höchste Messwert von 362 kB/m³ liegt im oberen zwei-Promille-Bereich der im Geoportals für ganz Deutschland angegebenen Werte.

Nach der Fertigstellung und dem Nutzungsbeginn des Gebäudes wurden im Gebäude zunächst orientierende Kurzzeitmessungen durchgeführt.

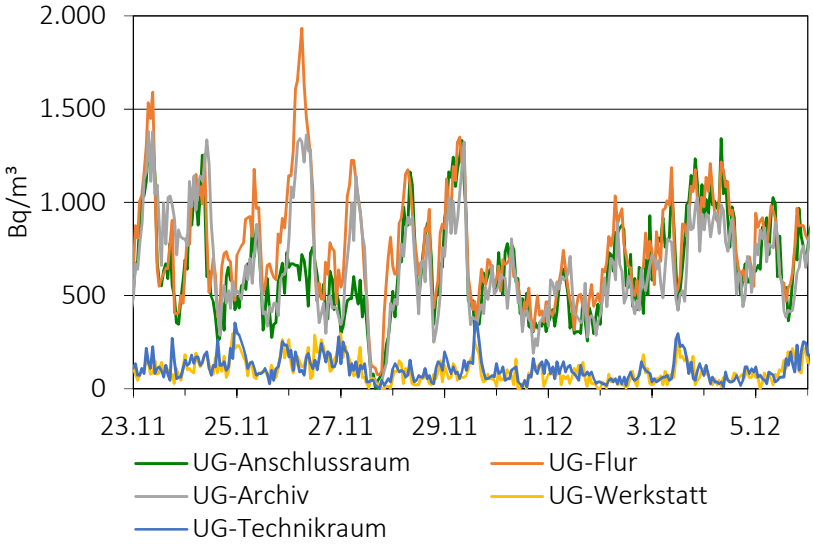


Abbildung 10: Zeitaufgelöste Messung der Radonaktivitätskonzentration im Untergeschoss

Die Messungen im Untergeschoss zeigen, dass auf der Talseite (gelb, blau) keine kritischen Anstiege der Radonaktivitätskonzentration zu verzeichnen sind und sich während der Kurzzeitmessung Mittelwerte von 95 bzw. 108 Bq/m³ ergeben. An den drei Messpunkten auf der Hangseite des Gebäudes (grün, grau, orange) ist die Radon-Belastung hingegen deutlich höher und es kommt zu Maxima von fast 2.000 Bq/m³.

Basierend auf der Analyse der Kurzzeitmessungen und der baukonstruktiven Gegebenheiten des Gebäudes wurden initial die erdberührten Außenwände, insbesondere die Anschlüsse zwischen Wand und Bodenplatte, sowie die Durchdringungen der Bodenplatte auf potenzielle Eintrittspfade für radonhaltige Bodenluft überprüft. Die Ergebnisse zeigten jedoch keine erhöhte Radonkonzentration in den vermuteten Eintrittsbereichen. Durch die systematische Überprüfung weiterer Öffnungen und Durchdringungen konnte die Revisionsöffnung des Schornsteins in der Diele des Untergeschosses eindeutig als Eintrittspfad identifiziert werden.

Abbildung 11: Revisionsöffnungen am Schornstein im Untergeschoss

Dieser Schornstein verfügt über einen Kondensat-Abfluss, der direkt in eine, ca. 30 m vom Gebäude entfernt gelegene, Sickergrube führt. Radonhaltige Bodenluft kann sich in dieser Sickergrube sammeln und wird, insbesondere während der Heizperiode, durch den vorherrschenden Unterdruck ins Gebäude geführt.

Ungeachtet der beschriebenen Randbedingungen liegt der Mittelwert der Radonkonzentration in allen gemessenen Räumen unter dem Referenzwert von 300 Bq/m^3. Durch den Einbau eines gasdichten Siphons oder besser noch das Kappen der Verbindung zwischen

Schornstein und Sickergrube kann die Radonkonzentration in den anliegenden Räumen des Untergeschosses voraussichtlich weiter reduziert werden.

3.2 Objekt 2

Die Messung der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft vor Baubeginn ergab Werte von bis zu 67 kBq/m³.

Nach der Fertigstellung und dem Beginn der Nutzung des Gebäudes wurden zunächst orientierende Kurzzeitmessungen zur Radonaktivitätskonzentration im Untergeschoss, in den Gewerberäumen sowie im Heizungsraum, durchgeführt. Im Gewerberaum wurden über 2 Wochen im März Werte zwischen 20 und 300 Bq/m³ mit einem Mittelwert von 150 Bq/m³ aufgezeichnet.

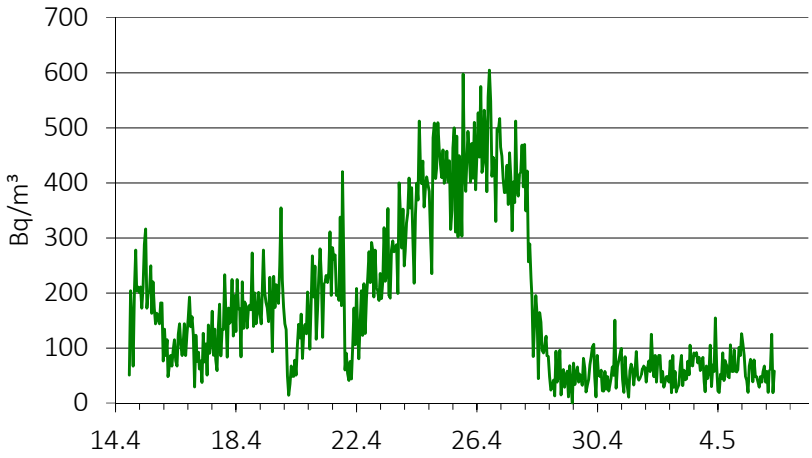


Abbildung 12: Aktive Kurzzeitmessung der Radonkonzentration im Heizungsraum

Die Messung im Heizungsraum zeigt, dass die Radonkonzentration zwar zeitweise deutlich über den Referenzwert hinaus ansteigt, jedoch allein durch regelmäßiges Öffnen der Tür des Heizungsraums stark reduziert werden kann.

Bei einer Begehung wurde festgestellt, dass eine der Mehrsparteneinführungen im Heizungsraum nicht korrekt installiert wurde. Im Rahmen einer Sniffing-Messung konnten keine weiteren Eintrittspfade für

radonhaltige Bodenluft festgestellt werden. Während der weiteren Bearbeitung wurde dieser Mangel beseitigt und zusätzlich eine Fensterfalzlüftung im betroffenen Raum eingebaut.

Die Ergebnisse der finalen Jahresmessung mittels Dosimetern ergaben Jahresmittelwerte von 57 Bq/m³ im Heizungs- sowie 120 Bq/m³ im Gewerberaum des Objektes und liegen somit deutlich unter dem Referenzwert.

3.3 Objekt 3

Tabelle 2: Messergebnisse der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft

Messpunkt	Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft
MP 1	**442.288 Bq/m³**
MP 2	352.313 Bq/m³
MP 3	22.313 Bq/m³
MP 4	157.341 Bq/m³
MP 5	430.871 Bq/m³

Am Standort von Referenzobjekt 3 übersteigt die gemessene Radonaktivitätskonzentration den im Geoportal [1] angegebenen Erwartungswert ca. um das 2,5-fache. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies mit der unmittelbaren Nähe zu einem stillgelegten Bergbaustollen zusammenhängt. Der höchste Messwert von 442 kB/m³ liegt im oberen Promille-Bereich der im Geoportal für ganz Deutschland angegebenen Werte.

Die zeitaufgelösten Messungen in Abbildung 13 zeigen, dass insbesondere im Erdgeschoss zunächst eine erhöhte Radonbelastung vorliegt. Die Werte der Radonaktivitätskonzentration an allen Messpunkten des Erdgeschosses (grau, blau, grün) folgen einem ähnlichen Verlauf. Die lokalen Maxima übersteigen 1.100 Bq/m³ und treten in der Regel um 8 Uhr morgens auf. Dies lässt darauf schließen, dass die Räume morgens gelüftet werden.

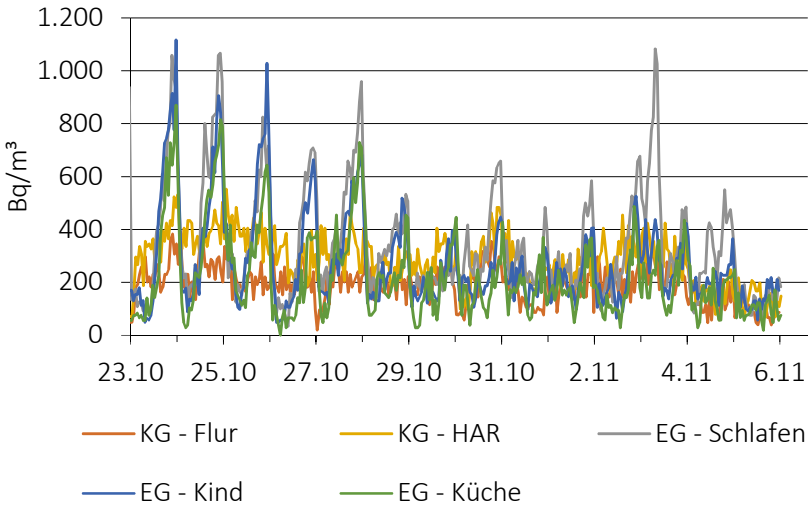


Abbildung 13: Aktive Kurzzeitmessung der Radonkonzentration im Keller- und Erdgeschoss von Referenzobjekt 3

Der Verlauf der Messwerte für das Kellergeschoss (orange, gelb) weist, zumindest in der ersten Hälfte des Messzeitraums deutlich geringere Amplituden auf. Während der Ortstermine konnte festgestellt werden, dass die Türen zu den Kellerräumen meist offen standen, so dass, zumindest zeitweise, ein kontinuierlicher Luftwechsel zwischen Keller und Treppenhaus bestand. Dies erklärt die vergleichsweise niedrigen Messwerte im Kellergeschoss.

Tabelle 3: Jahresmittelwert der Radonaktivitätskonzentration in Objekt 3

Messpunkt	**Radonaktivitätskonzentration**
KG Flur	170 Bq/m³
KG Haustechnik	180 Bq/m³
EG Küche	140 Bq/m³
EG Schlafen	180 Bq/m³

Die Jahresmittelwerte der Radonkonzentrationen lagen an vier Messpunkten im Keller- und Erdgeschoss deutlich unter dem Referenzwert (siehe Tabelle 3).

An Standorten mit derart hoher Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft bestehen verschiedene Verbesserungspotentiale hinsichtlich des Radonschutzes. Die Installation einer Radondrainage unter dem Gebäude, welche bei Bedarf aktiviert werden kann stellt im Neubau eine vergleichsweise aufwandsarme Lösung dar.

Zudem sollte auf eine kompakte Ausführung der Bodenplatte geachtet werden. Im vorliegenden Fall stellt der, tiefer liegende, Aufzugsschacht eine mögliche Schwachstelle dar. Zudem sollten Flankenwege über die Außenseite der Kelleraußenwand zum kerngedämmten Mauerwerk vermieden werden.

4 Fazit

Die beschriebenen Validierungsergebnisse betrachten charakteristische Beispielobjekte von Wohnungsneubauten an sächsischen Standorten mit erhöhten bis sehr hohen Radon-Aktivitätskonzentrationen in der Bodenluft, welche im Zeitabschnitt nach dem Inkrafttreten von Strahlenschutzgesetz und Strahlenschutzverordnung ab 2018 konzipiert, geplant und umgesetzt wurden. Auch wenn die mittels Langzeitmessung nachgewiesenen Jahresmittelwerte der Radonaktivitätskonzentration in allen betrachteten Wohnräumen, auch in Untergeschossen und Kellerräumen, stets unterhalb des Referenzwertes von 300 Bq/m^3 liegen, so liegt damit aus Sicht der Bearbeiter noch keine vollständig zufriedenstellende Gesamtsituation vor. Bei den hier dargestellten Beispielobjekten, deren Planungs- und Bauphase zwischen 2019 und 2023 zu datieren ist, sind zunächst kaum grundlegende planerische Vorkehrungen zu erkennen, welche die erdberührende Gebäudestruktur an die gegebene Gefährdung durch Radon in der Bodenluft anpassen. Hier zeigt sich nach wie vor ein hoher Bedarf zur beruflichen Qualifizierung und Sensibilisierung von planenden Architekten und Ingenieuren zum radonsicheren Bauen, die wohl nur in Zusammenarbeit mit den berufsständischen Vertretungen (Kammern) gelingen kann.

Zu den wesentlichen Empfehlungen für robuste erdberührende Gebäudestrukturen zum Zwecke des Radonschutzes zählen dabei

- kompakte Baukörper und einfache Geometrien im erdberührenden Bereich,
- die möglichst wannenförmige Ausführung homogener Planungslösungen der Bauwerksabdichtung, bemessen für die Wassereinwirkungsklasse W2.1-E nach DIN 18533 (07/2017),
- die planerische Minimierung der Anzahl von Durchdringungen in erdberührenden Bodenplatten bzw. Kelleraußenwänden sowie der dortige Einsatz konvektionsdichter Medieneinführungen,
- sowie bei besonders hohen Radon-Aktivitätskonzentrationen in der Bodenluft (Kategorie $\geq$ 100 kBq/m^3) eine Hybrid-Lösung aus (A) einer konvektionsdichten, wannenförmigen Bauwerksabdichtung ohne geometrische Imperfektionen und (B) einer zusätzlich angeordneten, in der Regel flächigen Radondrainage.

Die bereits in diversen Quellen (z. B. [8], [9], [10], [11]) formulierte Empfehlung zur Berücksichtigung der Wassereinwirkungsklasse W2.1-E gilt auch für solche Fälle, in denen die im Baugrundgutachten beschriebene Wasserbeanspruchung unterhalb dieses Lastfalls liegt. Die dargestellten Beispielobjekte zeigen weiterhin, dass flexible, rissüberbrückende Abdichtungen eine taugliche Lösung des radonsicheren Bauens bilden. In der Ausführungspraxis haben sich hier vor allem flüssig zu verarbeitende Dickbeschichtungen (zum Beispiel PMBC oder FPD) für diesen Anwendungsfall bewährt. An keinem der betrachteten Beispielobjekte wurden signifikante Eintrittspfade an flächigen Bauteilen der erdberührenden Gebäudehülle diagnostiziert.

Abschließend ist anzumerken, dass die Ziele des radonsicheren Bauens auch bei Neubauten an Standorten mit erhöhter bis hoher Radon-Aktivitätskonzentration in der Bodenluft eine für die Gesamtplanung und insbesondere das Abdichtungskonzept wesentliche Herausforderung darstellen. Dies gilt zunächst unabhängig davon, ob sich das jeweilige Bauvorhaben in einem ausgewiesenen Radonvorsorgegebiet befindet. Bei der Abwägung geeigneter Konzepte des Radonschutzes sollten robuste und wartungsarme Lösungen im Vordergrund stehen, welche die

im praktischen Bauwesen üblichen Technologien, Toleranzen und Arbeitsabläufe berücksichtigen, so dass radonsichere und wirtschaftliche Baukonstruktionen von hoher Akzeptanz entstehen. Zu diesem Zweck ist die systematische Validierung ausgeführter Projekte des Neubaus und der Bestandssanierung im Hinblick auf die mittel- und langfristige Bewährung verschiedener Baukonstruktionen und Radonschutzkonzepte eine zielführende Methodik.

5 Literaturverzeichnis

[1] vgl. BfS Geoportal (https://www.imis.bfs.de/geoportal/)

[2] DIN 18533 Teil 1-3 - 2017-7, Beuth Verlag

[3] DIN 18533 Teil 1-3 - 2023-10 (Entwurf), DIN Media

[4] Richtlinie FÜR DIE PLANUNG UND AUSFÜHRUNG von Abdichtungen mit flexiblen polymermodifizierten Dickbeschichtungen – FPD 2020-2, Deutsche Bauchemie e. V., Mainz

[5] WTA- Merkblatt 4-6-24/D: Nachträgliches Abdichten erdberührter Bauteile, Fraunhofer IRB Verlag

[6] FHRK Fachverband Hauseinführungen für Rohre und Kabel e.V. Broschüre „Initiative radondichtes Bauen“

[7] Kohls, 3-D Darstellung, Firmenliteratur Saint Gobain Weber Schnittstelle dicht, Ausbau und Fassade, 02/2008, Firmenliteratur Saint Gobain Weber

[8] Uhlig, Schönmuth, Kemski. 2025, Radongeschütztes Bauen - Grund-lagen und Lösungen im Neubau sowie in der Sanierung, Springer Vieweg, Wiesbaden

[9] Klingelhöfer, Leicht. 2023, Radon und Radonschutz im Bauwesen, Reguvis, Köln

[10] Kunze, Klever, Naumann, Golz. 2021, Minderung der Radonaktivitäts-konzentration in denkmalgeschützten Gebäuden, Dresden

[11] 2024, 17. Sächsische Radontage – Tagungsband zur Veranstaltung, HTW Dresden

Radonschutz? Pflichten und Fehlinterpretationen

Karin Leicht

LEICHT Sachverständige, Würzburg

Zusammenfassung

Auch über sechs Jahre nach Gültigkeit des Strahlenschutzgesetzes bestehen flächendeckend noch Unkenntnisse und Fehlinterpretationen im Zusammenhang mit der Realisierung von baulichem Radonschutz. Der Beitrag beleuchtet die wichtigsten Missverständnisse und gibt einen Überblick über einfache bauliche Lösungen zum Radonschutz bei Neubauten.

Der gesunde Menschenverstand ist auch bei der Beurteilung der Radonproblematik im Bauwesen niemals außer Acht zu lassen.

1 Vorbemerkungen

Die grundsätzliche Verpflichtung zum Radonschutz für alle Neubauten ergibt sich aus dem bereits seit 31.12.2018 gültigen Strahlenschutzgesetz [1], kurz StrlSchG, dort im § 123 Abs.1:

»(1) 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. Diese Pflicht gilt als erfüllt, wenn 1. die nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik erforderlichen Maßnahmen zum Feuchteschutz eingehalten werden und 2. In den nach §121 Absatz 1 Satz 1 festgelegten Gebieten zusätzlich die in der Rechtsverordnung nach Absatz 2 bestimmten Maßnahmen eingehalten werden.«

Besondere, zusätzliche Maßnahmen zum ohnehin vorzusehenden baulichen Radonschutz sind demnach noch für Neubauvorhaben in sog. Radonvorsorgegebieten zu treffen.

Für Bestandsgebäude hat die Gesetzgebung vorgesehen, dass Radonschutzmaßnahmen bei Vornahme von energetischen Sanierungen in Betracht gezogen werden sollen, vgl. § 123 Abs. 4 (wie vor): (4) »Wer

im Rahmen der baulichen Veränderung eines Gebäudes mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen Maßnahmen durchführt, die zu einer erheblichen Verminderung der Luftwechselrate führen, soll die Durchführung von Maßnahmen zum Schutz vor Radon in Betracht ziehen, soweit diese Maßnahmen erforderlich und zumutbar sind.«

Die bekannte juristische Wertung des Begriffs »Soll« wird an dieser Stelle nicht vertieft, nur kurz zusammengefasst im Sinne von »Soll bedeuten wenn man kann, dann muss man auch«.

Zu beachten ist dabei die Maxime, dass es um das Schutzziel »Mensch« geht. Vor schädlichen Einwirkungen durch Radon ist demnach nicht die Baukonstruktion zu schützen, anders als z. B. bei der Einwirkung durch Wasser, Frost, Klima und dergleichen, sondern Radonschutzmaßnahmen sind als Gesundheitsprävention demnach dort zu treffen, wo das Schutzziel Mensch sich aufhält und/oder arbeitet. So ist auch zwischen Gebäuden mit Aufenthalts- und Wohnräumen in Untergeschossen und solchen, in denen dort lediglich untergeordnete, zeitlich kaum genutzte Abstellräume vorgesehen sind, zu unterscheiden. Inwiefern Untergeschosse dann durch offene oder geschlossene Treppenhäuser erschlossen sind und möglicherweise ein Luftverbund zu den Aufenthalts- und Arbeitsräumen in den darüber liegenden Geschossen besteht, kann demnach einen wesentlichen Unterschied für die Radonbelastung der Menschen darstellen. Mehrfamilienwohnhäuser und Gewerbegebäude mit abgeschlossenen Treppenhäusern können hier gegenüber offenen Einfamilienhäusern im Vorteil sein.

Es folgt eine nicht abschließend vollständige, exemplarische Auflistung möglicher Fehlinterpretationen im Zusammenhang mit der Beurteilung von Radon und dem baulichen Radonschutz.

2 Fehlinterpretationen

2.1 Fehlinterpretation Nr. 1: Radonaktivitätskonzentration

Häufig besteht Unkenntnis darüber, dass die Radonkonzentration (eigentlich: Radonaktivitätskonzentration) im Tagesverlauf und auch im Jahresverlauf nicht konstant ist, sondern deutlichen Schwankungen unterliegt. Somit spielt es also bei Radonmessungen eine wesentliche

Rolle, wann im Jahr und vor allem auch wie lange gemessen wird. Dies hatte auch die Gesetzgebung im Blick, indem zur Ermittlung der Radonaktivitätskonzentration in Innenräumen – in Aufenthaltsräumen und an Arbeitsplätzen – der Jahresmittelwert zu erfassen ist. Kurzzeitige Messungen sind zur Ermittlung eines möglichen Radonproblems in Innenräumen nicht geeignet. Im StrlSchG [1] sind mit den §§ 124 und 126 jeweils die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentrationen zu bewerten, was konsequenterweise für die Beurteilung einer möglichen Radonproblematik eine einjährige Messung erfordert. Abweichend kürzere Messungen erfordern eine genaue fachliche Beurteilung des Messzeitraums maßgeblich unter Bezugnahme auf die jahreszeitliche Variabilität der Radonkonzentration und der Ungenauigkeit infolge der verkürzten Messdauer.

Abb. 1 soll dies verdeutlichen, und zeigt sowohl die mögliche Schwankungsbreite innerhalb eines Tageszyklus, als auch im Jahresverlauf.

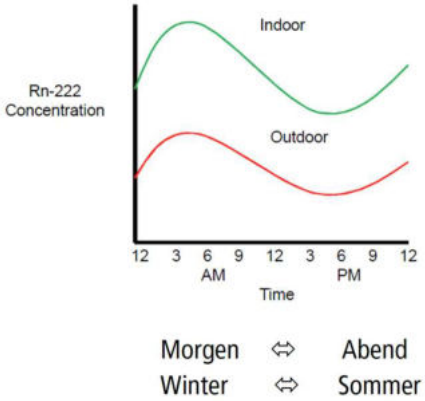


Abbildung 1: Quelle nach Prof. Mehner, Hochschule Zittau/Görlitz, mit Ergänzungen der Verfasserin

2.2 Fehlinterpretation Nr. 2: Feuchteschutz

Der Eintritt von Radongas erfolgt potentiell über alle erdberührten Bauteile infolge der Transportmechanismen Konvektion und Diffusion. Zu beachten sind somit hinsichtlich konvektivem Radoneintrag mögliche Luftdruckunterschiede zwischen der tendenziell im Überdruck befindlichen Bodenluft und der tendenziell aufgrund von Kaminsogeffekten im Unterdruck befindlichen Luft im Gebäude. Die

konvektive Barriere stellt somit eine konvektions-/luftdicht hergestellte Gebäudehülle gegenüber den erdberührten Flächen dar.

Hinsichtlich diffusivem Radoneintrag kommt es auf die Konzentrationsunterschiede von Radongas in der tendenziell hochkonzentrierten Bodenluft und der gering-konzentrierten Luft im Gebäude. Die diffusive Barriere stellt somit eine ausreichend diffusionsdichte, gering-kapillaraktive Baukonstruktion mittels geeigneter Baustoffe dar. Im oben zitierten § 123 Abs. 1 [1] hat die Gesetzgebung die Fiktion vorgesehen, dass der »Feuchteschutz nach den anerkannten Regeln der Technik« bereits ausreichend sei, um einen geeigneten baulichen Radonschutz zu erzielen. Im Rahmen der fachkundigen Leserschaft braucht an dieser Stelle nicht erwähnt zu werden, dass sich der Feuchteschutz wesentlich komplexer gestaltet, als »entweder man hat ihn, oder nicht«. Vertreter der damaligen Gesetzgebung darauf angesprochen, dass sich in dieser gesetzlich verankerten Fiktion ein echtes Damoklesschwert für die Bauschaffenden befindet, kam die Antwort (wörtliches Zitat) »Ja gibt's denn dieses drückende Wasser wirklich?!«

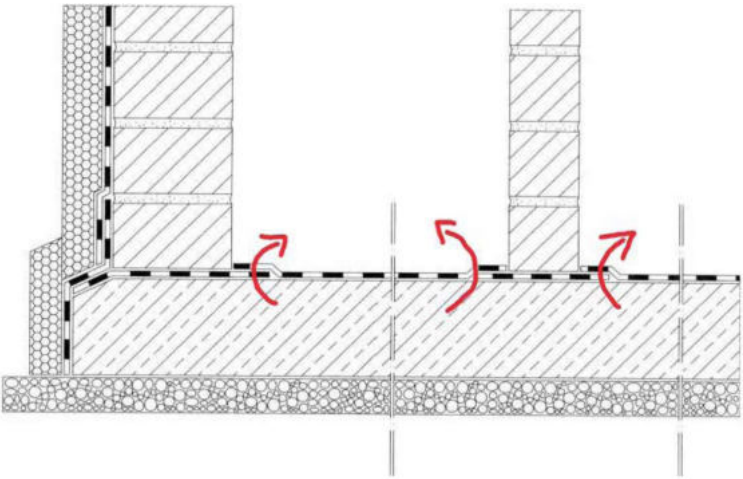


Abbildung 2: Keine zwingend konvektionsdichte Verlegung der Abdichtung bei Wasserbeanspruchung W1-E; Quelle: DIN 18533:2017-07, BWA-Richtlinien für Bauwerksabdichtungen Teil 1, mit Markierungen der Verfasserin

Abdichtungsbauweisen nach der Einwirkungsklasse W1-E sind demnach nicht zwingend geeignet, einen funktionalen baulichen Radonschutz herzustellen, da die Bauweisen mit lose sich überlappenden Bahnen und Stößen nicht in allen Fällen auch Konvektionsdichtheit vorsehen, sodass ein Durchtritt von Radongas aus dem Untergrund möglich wird. Abb. 2 soll dies skizzenhaft verdeutlichen.

2.3 Fehlinterpretation Nr. 3: Bodenluftmessungen

Zunächst: Bodenluftmessungen sind keine gesetzliche Verpflichtung. Der zugedachte Zweck der Beurteilung der Radonsituation eines Baugrundstücks ist für das konkrete Bauvorhaben jeweils zu hinterfragen. Da die Radonkonzentration schwankt und Radon im Boden selbst kleinräumig auf einem einzigen Baugrundstück nicht homogen verteilt ist, ist die Aussagekraft von Bodenluftmessungen stark eingeschränkt. Ähnlich wie man den heterogenen Aufbau des Baugrunds bereits aus Rammsondierungen und Bohrkernen im Rahmen von Baugrunduntersuchungen kennt. Derartige Bodenluftmessungen können so bestenfalls eine indikative Aussage liefern, in welchen etwaigen Mengen Radon in diesem Baugrund vorhanden sein könnte. Welche Konsequenz will man anhand derartiger heterogener Ergebnisse dann für den zu planenden und auszuführenden baulichen Radonschutz ziehen? Der zeitliche und monetäre Aufwand für Bodenluftmessungen kann vielfach sinnvoller bereits in Produkte für den baulichen Radonschutz investiert werden.

Eine Ausnahme können Bauvorhaben mit sehr großen Grundrissdimensionen und demzufolge einer größeren abzudichtenden Fläche darstellen.

Zur Varianz möglicher Messwerte bei 10 Radonbodenluftmessungen im Vorfeld des Neubaus eines Gewerbeobjekts in Würzburg wird im Vortrag ein Beispiel gezeigt.

2.4 Fehlinterpretation Nr. 4: Radonprognose

Mit Bezug auf das technisch hierzulande bislang nicht durch entsprechende Beispielfälle und Berechnungen validierte Berechnungsformular in DIN/TS 18117, Anhang A und B [2] erübrigt sich der Aufwand

für die Prognoseberechnung einer möglichen, sich später im Gebäude einstellenden Radonkonzentration. Jeder, der jemals eine Baustelle betreten hat, geschweige denn regelmäßig in die Beurteilung bautechnischer Defizite ein gebunden ist, weiß, dass eine theoretische Bauplanung häufig nichts mit der praktischen Bauausführung zu tun haben muss. Das geht über den Einsatz anderer als der geplanten Baustoffe, in anderer als der geplanten Qualität, in anderer als der geplanten Schichtstärke und mit anderen als der geplanten Fugenbreiten, um nur eine Auswahl möglicher bautechnischer Abweichungen vom geplanten Soll-Zustand exemplarisch aufzulisten. All diese Parameter sind jedoch in die Berechnung nach o. g. DIN/TS einzugeben. Um bei einer mathematischen Gleichung letztlich als Ergebnis die Einheit Bq/m³ zu erhalten, muss auch vorne in der Berechnung ein solcher Wert eingegeben werden. Dieser Wert soll nun aus dem Ergebnis einer Bodenluftmessung generiert werden, welche, wie oben dargelegt, punktuell bereits auf kleinräumigen Grundstücken stark heterogen sein kann. Zudem findet die sog. Fehlerfortpflanzung (»Taylor Polynom«) keinerlei Berücksichtigung in dieser Berechnungsprognose. Mögliche Fehler der Eingangsdaten setzen sich daher unberücksichtigt bis zum Ende der Gleichung fort, was im Prognoseverfahren wie in DIN TS vorgeschlagen, gänzlich entgegen physikalischer Gesetzmäßigkeiten ignoriert wurde. So kann die Radonbodenluft mindestens um den Faktor 100 in der Fläche und mindestens um den Faktor 10 zeitlich im Jahresgang variieren. Diese relativen Fehler legen den relativen Fehler des Ergebnisses der Gleichung fest.

Die Verfasserin kann hier aufgrund naturwissenschaftlicher Vorbildung keine Empfehlung abgeben, dem Aufwand derartiger Berechnungen zu verfallen. Drei bis vier Spielwürfel können unter Umständen realistischere Ergebnisse hinsichtlich möglicher, sich später im Gebäude einstellender Radonkonzentration liefern.

2.5 Fehlinterpretation Nr. 5: Radonvorsorgegebiete

Aktuell gestaltet sich das Gesetz [1] auch nach über sechs Jahren Gültigkeit (31.12.2018) als zahnloser Tiger, der von den Behörden mit keiner Exekutive verfolgt wird. Dies kann sich jederzeit ändern, wie man am Erlass und der strengen Exekutive in den letzten Jahren bei Gesetzen aus

dem Gesundheitswesen nachvollziehen konnte. Deutschland bekleckert sich bei der Umsetzung des Radonschutzes nicht mit Ruhm und hat im Europavergleich anteilig zur Fläche die wenigsten Radonvorsorgegebiete ausgewiesen – mit nur rund 2,4 % Flächenanteil am Bundesgebiet. Selbst das nicht so dicht besiedelte Alpenland Österreich hat immerhin 4 % seiner Fläche als Radonvorsorgegebiete ausgewiesen, Belgien als weiterer Nachbar hat rund 20 % der Landesfläche ausgewiesen.

3 Beispiele für baulichen Radonschutz

Baulicher Radonschutz ist gerade im Neubau vielfach mit einfachen Mitteln und Maßnahmen zu erreichen [3]. So können Rechteckaussparungen in Bodenplatten, die für die Verlegung von Entwässerungsrohren vorgesehen sind, mit entsprechenden kostengünstigen Einbauteilen ausgestattet werden, die von den Herstellern auf Radondichtheit geprüft wurden. Abb. 3 und 4 zeigen beispielhaft die Verlegung von sog. Klebe-Dichtmanschetten, die mit Kosten von rund 45,00 € netto ein preiswertes Bauteil für den Radonschutz darstellen.

Auch sog. Mauerkragen stellen mit rund 15,00 € netto pro Stück ein preiswertes Beispiel für den baulichen Radonschutz von Durchdringungen im erdberührten Bereich dar, siehe Abb. 5 und 6.

Um Durchdringungen durch Wände radonsicher abzudichten, eignen sich auf Radondichtheit geprüfte Ringraumdichtungen, siehe Abb. 7 und 8.

Abbildung 3 und 4: Vorgerüstete Klebe-Dichtmanschetten für unterschiedliche Durchdringungen

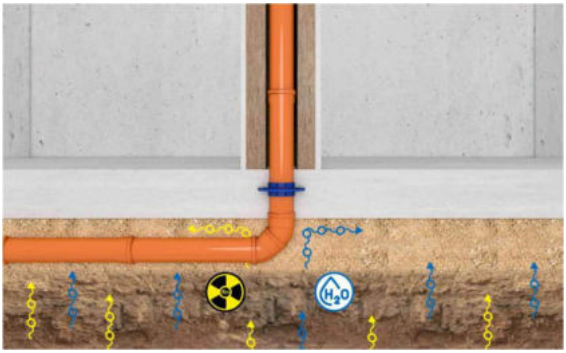


Abbildung 5: Schemaskizze Mauerkragen, Quelle: Hauff GmbH & Co. KG

Abbildung 6: Einbaubeispiel Mauerkragen

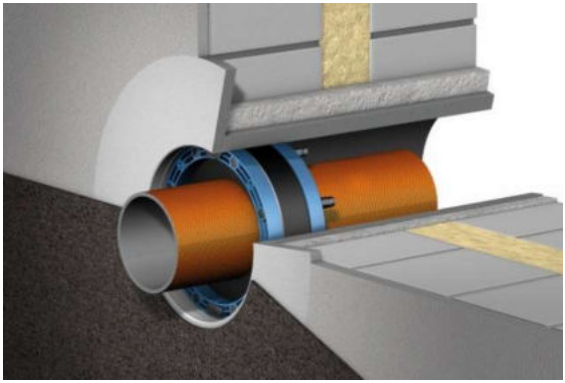


Abbildung 7: Schemaskizze Ringraumdichtung, Quelle: Doyma GmbH & Co. KG

Abbildung 8: Einbaubeispiele für Ringraumdichtungen

4 Literaturverzeichnis

[1] Gesetz zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung »Strahlenschutzgesetz«, kurz StrlSchG

[2] DIN/TS 18117-1:2021-09 Bauliche und lüftungstechnische Maßnahmen zum Radonschutz – Teil 1: Begriffe, Grundlagen und Beschreibung von Maßnahmen

[3] K. Leicht und G. Klingelhöfer: Radon und Radonschutz im Bauwesen, Köln: Reguvis Fachmedien GmbH / Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2023

[4] Bilder: Quellenangabe am Bild, wo nicht anders angegeben: Bilder von Karin Leicht

[5] Der Beitrag beruht auf der Veröffentlichung „Radonschutz? Pflichten und Fehlinterpretationen“ der Autorin im Heft 1/2025 Bausachverständige, https://doi.org/10.60628/1614-6123-2025-1

Baulicher Radonschutz in seiner Entwicklung-ein Rückblick und Ausblick

Bernd Leißring[1)]

Hans-Georg Henjes[2)]

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

[2)] KORA e.V., Dresden

Zusammenfassung

Ausgehend von den Erfahrungen bei der Radonsanierung in Schneeberg ab 1990 werden weitere richtungsgebende Anwendungsbeispiele zur Berücksichtigung der gegebenen Radonbelastung in Bestandsgebäuden, die Bebauung im bergbaulich beeinflussten Untergrund und Sanierungsobjekte mit komplexen Ausgangsbedingungen erläutert. Die dabei gewonnenen Erfahrungen und Schlussfolgerungen werden aufgezeigt und Empfehlungen für die Berücksichtigung der Radonbelastung bei unterschiedlichen Gegebenheiten vorgestellt und Hinweise für die Überwachung des Radonschutzes gegeben.

1 Rückblick

1.1 Aspekte der Ausführung des Radonschutzes in Sachsen nach 1990

Um einen Rückblick über die damaligen Empfehlungswerte zu geben wird in Tabelle 1 eine Übersicht über die damaligen Vorgaben gegeben.

Tabelle 1: Empfehlungswerte verschiedener Institutionen zur Radonaktivitätskonzentration in Wohnräumen (Jahresmittelwerte in Bq/m³)

Empfehlende Institution	**Empfehlungswert in Bq/m³**	
	bestehende Gebäude	**Neubau**
Weltgesundheitsorganisation (WHO), 2009[1]	300	
Internationale Strahlenschutzkommission (ICRP), 2009	300	
Deutsche Strahlenschutzkommission (SSK), 1994	250	
Kommission der Europäischen Union (EU), 2010[2]	300	200
IAEA Safety Standards 2010[3]	300	200

Die Radonbelastung als auch eine Folge der Uranerzgewinnung war eines der bestgehüteten Geheimnisse in der DDD-Zeit. Grund dafür war in erster Linie nicht etwa die Angst vor den spezifischen Gefahren

1 WHO-Radon-Handbuch, September 2009

2 Draft Euratom Basic Standards Directive – Version 24 February 2010, Article 74 and 100

3 IAEA Safety Standards, Draft 4.0, International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources. Draft Safety Requirements DS 378, 9 September 2012

der Radoninhalation, die erst nach und nach erforscht wurden, sondern die strenge Geheimhaltung des Uranbergbaus und der Lagerstätten. Überlegungen zum baulichen Radonschutz sind aus dieser Zeit nicht zu ermitteln. Erst nach der politischen Wende nach 1989 begannen in Schneeberg im Erzgebirge, befördert durch scharfmacherrische Berichte in den Medien über das „todbringende“ Edelgas, umfangreiche Untersuchungen zu Radonbelastungen der Gebäude. Das Magazin „Der Spiegel“ schrieb in seiner Ausgabe 13/1995 in einem Artikel von Bruno Schrep: …“Kurz vor der ersten gesamtdeutschen Wahl im Jahr 1990 reiste der damalige Bundesumweltminister Klaus Töpfer nach Schneeberg. Der Christdemokrat besichtigte verstrahlte Keller, beruhigte besorgte Bürger und spendierte der Stadt sechs Millionen Mark zur Erprobung verschiedener Sanierungsmethoden…“ Dies war der Start für das Projekt „Modelhafte Sanierung von radonbelasteten Wohnungen in Schneeberg“ im Jahre 1990.

1.2 Das Pilotprojekt „Modellhafte Sanierung von radonbelasteten Wohnungen in Schneeberg“

Schneeberg nimmt mit seinem intensiven Bergbauumgang, insbesondere durch oberflächennahe Auffahrungen, des Alt- und Wismut-Bergbaus direkt im Stadtgebiet bezüglich der Radonquellen und –quellstärken eine Sonderstellung ein. Durch diese Besonderheit waren keine nationalen und internationalen Quellen zu Sanierungsmaßnahmen mit vergleichbarer Situation zur ermittelbar. Im Pilotprojekt [1] wurden zunächst in 720 von damals ca. 2250 Wohngebäuden in Schneeberg über 24 Stunden Screening-Messungen vorgenommen. Dabei zeigten sich in 35% der Gebäude Radonkonzentrationen >600 Bq/m³ bis 120.000 Bq/m³ im Erdgeschoss. Daraus wurden 30 Objekte für eine Sanierung innerhalb des Pilotprojektes ausgewählt.

Die damalige Vorgehensweise bestand in der selektiven Erkenntnisgewinnung für bauliche Maßnahmen mittels lüftungstechnischen Versuchen für Kellerabsaugungen oder Unterdruckerzeugungen im Baugrund über punktuelle wie flächige Abdichtungen ganzer Gebäudebauteile. Dabei entstand teils erheblicher Bauaufwand zur Gebäudeertüchtigung aufgrund der vorherrschenden maroden Gebäudesubstanz für die Sicherung der Gebäudestandsicherheit und dem

nachträglichen Einbau von Bodenplatten zur flächigen Sperrung des Radoneintritts. Dem entsprechend entstanden Baukosten bis zu 190.000 DM pro Gebäude, die nach heutigem Baupreis-Niveau sicher zur Aufgabe von Sanierungsvorhaben führen würden. Das gesetzte Sanierungsziel von < 250 Bq/m³ wurde nur bei 37% der baulich sanierten Gebäude erreicht.

Zusammenfassend entwickelten sich folgende Sanierungsmethoden:

- punktuelle Abdichtung sichtbarer Konvektionswege (Riss- und Rohrdurchführungs-Abdichtungen)
- aktive Belüftung einzelner Räume (mechanische Kellerbelüftung)
- Raumabkopplung (gasdichte Türen)
- Bodenluftdrainage unter radondichter Bodenplatte, Radonbrunnen innerhalb von Gebäuden (Unterdruckhaltung durch permanente Absaugung von Bodenluft)
- horizontale und vertikale Flächenabdichtung (Wand –und Deckensperrung mit Folien und Dichtschlämmen)

Dies entspricht im Wesentlichen den heute angewendeten, baulichen Sanierungstechnologien, wobei im Gegensatz zu den damals erreichten Reduzierungen der Radonkonzentrationen aktuell vor allem durch Produktinnovationen der Baustoffhersteller deutlich besserer Ergebnisse erzielt werden. Hervorzuheben sind in diesem Rahmen die Produkte der Lüftungstechnik wie auch die Abdichtungsmaterialen.

In 28 von den 30 Sanierungsobjekten wurden mechanische Absaugungen eingesetzt. Dies resultiert hauptsächlich aus der Sondersituation, dass die Quellen des Radoneintritts in die Gebäude oberflächennahe Grubenbau waren.

Das Pilotprojekt wurde 1994 bei einer Mittelausschöpfung von ca. 3 mio. Euro mit der Begründung beendet, dass keine weitere Innovation bei der Radonsanierung der ausgewählten Vorhaben feststellbar sei. Mit dieser Entscheidung kam die weitergehende Radonsanierung des ermittelten Bestandsgebäude-Umfanges in Schneeberg zum Erliegen.

Im Jahre 2015 erfolgte eine Untersuchung zur Nachhaltigkeit der damals sanierten Gebäude im Zusammenhang mit einer Entscheidungsvorbereitung mittels Aufwandsvergleich von Einzelgebäudesanierungen und einer Bewetterungslösung von Grubenbauen unter der Stadt. Diese Überprüfung konnte nur bei ca. 60% der Sanierungsobjekte erfolgen, da die restlichen 40% unbewohnt, abgerissen oder nicht zugänglich waren. Hierbei zeigte sich, dass weniger als die Hälfte der Sanierungslösungen in den untersuchten Gebäuden sich nicht mehr in intaktem bzw. funktionsfähigem Zustand befanden. Die Gründe dafür waren

- der Eintritt von Bauschäden durch die Kondensation von Luftfeuchtigkeit bei längerem Betrieb der Lüfter,
- Rückbau von Sanierungselementen bei nachfolgenden Gebäudeumbauten,
- Abschaltung von Lüftern zur Vermeidung von Betriebskosten
- Unverständnis der Eigentümer zur Funktionalität der Sanierungslösung,
- Fehlende Wartung technischer Lösungsbestandteile (z.B. Ersatz ausgefallener Lüfter),
- Abriss und Neubebauung über der Bodenplatte
- Fehlende Weitergabe der Sanierungsdokumentation bei Veräußerung an den neuen Eigentümer.

Daraus erwächst die Schlussfolgerung, dass heute wie in Zukunft bei baulichen Radonsanierungen im Bestand wie auch für den Radonschutz bei Neubauten Überprüfungen der Wirksamkeit wie auch Pflege und Wartungsmaßnahmen mit der Festlegung von Zyklen sowie Verantwortlichkeiten unerlässlich zur Erhaltung der Wirksamkeit und somit der Nachhaltigkeit des Radonschutzes sind.

Aus der damals geringen Erreichung des Sanierungsziels bei den hier betrachteten Pilotprojekten zeigt sich weiter, dass die Kenntnisse der Bauplaner und Bauausführenden zum Phänomen Radon zur damaligen Zeit nicht oder nicht immer ausreichten, zielführende und fachlich kompetente Lösungen zu planen und auszuführen. Dies hat aktuell noch Bedeutung und bedarf künftig weiterer Qualifizierungen für

Planung und Bauausführung sowie auch des Nachweises der Eignung von Planern und Bauausführenden im Radonschutz.

1.3 Wetterprojekt zur Senkung der bergbaulichen Radonbelastung

In zahlreichen Gebieten von Sachsen sind bergbaubedingte Radonbelastungen nachgewiesen Abb. 1. Deshalb wurde nach Lösungen gesucht, eine flächenhafte, maßgebliche Beeinflussung durch die Grubenwetter zu verhindern.

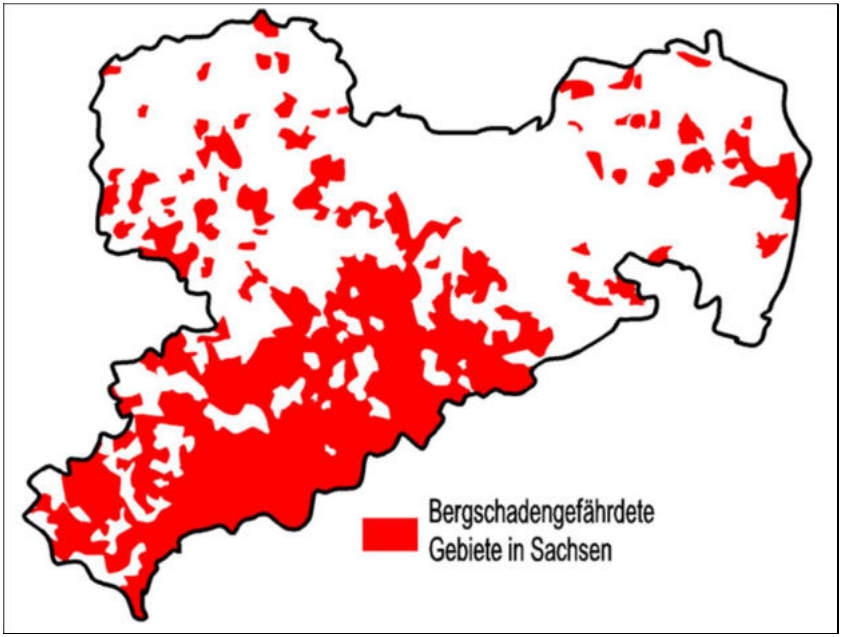


Abbildung 1: Bergschadengebiete in Sachsen

Für das Stadtgebiet von Schneeberg wurde deshalb als Alternative zur Einzelgebäudesanierung nach 1994 ein Wetterprojekt erarbeitet und schrittweise realisiert [2].

Durch Tracergasversuche in den Häusern wurde der maßgebliche Einfluss der migrierenden Grubenwetter auf die Radonkonzentration in den Häusern nachgewiesen. Zudem werden durch laufende Messungen der Radonkonzentration in über 100 Häusern die Einflüsse der Grubenwetter kontinuierlich monatlich erfasst. Da die

Grubenbaue unter Schneeberg weitestgehend unter dem gesamten Bebauungsareal flächendeckend verlaufen, ist der Grubenwettereinfluss in der überwiegenden Zahl der Häuser nachgewiesen.
Das in der relevanten Umsetzung befindliche Wetterprojekt für Schneeberg ist beispielgebend für ähnliche Gegebenheiten in Annaberg, Johanngeorgenstadt und weiteren Bergstädten.

1.4 Langzeitkontrolle der Raddonkonzentration im Einkaufszentrum Schlema

Das Einkaufszentrum in Schlema wurde 1993 auf einem Gelände mit hoher Radonbelastung des Untergrundes erbaut [3].

Mit der Bebauung eines Teils der innerörtlichen, ehemaligen Absetzhalde der Uranerzaufbereitung der SDAG Wismut sollte den infrastrukturellen Notwendigkeiten des Orts Bad Schlema unter der Prämisse des Strahlenschutzes entsprochen werden.

Zudem sollte mit dem Projekt gezeigt werden, dass mit der Planung des Radonschutzes auch für einen solchen Standort eine Bebauung unter den relevanten Empfehlungen der Radonbelastung in Innenräumen entsprochen werden kann.

Mit der Fertigstellung der Marktpassage (siehe Abbildungen 2, 3 und 4) wurden kontinuierliche Messungen zur Prüfung des Langzeitverhaltens der Radonkonzentration in den verschiedenen Gebäudeteilen eingeordnet.

Die seit über 15 Jahren vorliegenden Messdaten werden diskutiert und Schlussfolgerungen für die notwendige technische Überwachung solcher Objekte abgeleitet.

SÄCHSISCHES STAATSMINISTERIUM FÜR UMWELT UND LANDESENTWICKLUNG

PRESSEMITTEILUNG

78/93
Dresden, den 6.7.1993

Auch bei hohen Radonaustritten kann gebaut werden
- Beispielhaftes Marktzentrum entstand in Schlema
- Sächsisches Umweltministerium sieht neues Verfahren in der Erzgebirgsgemeinde

Ein beispielhaftes Verfahren für umweltgerechtes Bauen sieht der Sächsische Staatsminister für Umwelt und Landesentwicklung, Arnold Vaatz, bei der Anlage des neuen Marktzentrums in der Erzgebirgsstadt Schlema. In der Gemeinde wurde das Gewerbegebiet auf einem Standort angelegt, an dem hohe Konzentrationen an Radongasen dem Boden entwichen. Es ist das erste große radonsichere Bauvorhaben im Freistaat Sachsen.

Das Sächsische Umweltministerium und das Bundesumweltministerium sahen sich bei dem Vorhaben erheblichen Problemen ausgesetzt. Nach mehreren Ortsbegehungen wurde eine gründliche Analyse der Belastung mit radioaktiven Gasen vorgenommen. Auf einer umfangreichen Datenbasis wurde ein Gutachten erstellt; außerdem wurden von den Ministerien Kriterien erarbeitet, die später den Bauherren zur Auflage gemacht wurden.

Eine Arbeitsgruppe "Radonberatungsstelle Schlema" hat in allen Etappen des Bauvorhabens den Gasaustritt gemessen und dokumentiert. Im Juni wurde mit dem neuen Marktzentrum das erste Bauvorhaben in Sachsen abgeschlossen, das einen Schutz vor ausströmenden Radongasen bietet. Alle Erwartungen an die Bodenabdichtung und die Dränage wurden übertroffen: In den Räumen wurden Radonwerte zwischen 50 und 150 Bq/m³ festgestellt. Die Strahlenschutzkommission empfiehlt, den Richtwert von 250 Bq/m³ als obere Grenze des Normalbereiches anzusehen. Ungewöhnlich sind die Resultate auch , weil in der Region Schlema wegen der hohen natürlichen Radioaktivität Werte oberhalb von 250 Bq/m³ die Regel sind, wenn nicht radongeschützt gebaut wird. Die Baukosten von 36 DM je m² sind in Schlema außerdem als zumutbar anzusehen, schätzt das Sächsische Umweltministerium. Zweimal jährlich wird ein Bericht über die Radonbelastung in diesen Räumen an die Baubehörde übergeben.

Umweltminister Arnold Vaatz: "In Schlema wird gezeigt, wie auch an Standorten mit hoher Radonbelastung gebaut werden kann, wenn wichtige Bedingungen eingehalten und ständige Kontrollen zur Auflage gemacht werden. Das ist beispielhaft. Nun sollte noch geprüft werden, ob beim privaten Bau von Wohnungen noch kostengünstigere Varianten angewandt werden können."

Abbildung 2: Pressemitteilung des SMUL vom 6.7.1993

Das Prinzip der bautechnischen Realisierung ist in den folgenden zwei Abbildungen ersichtlich.

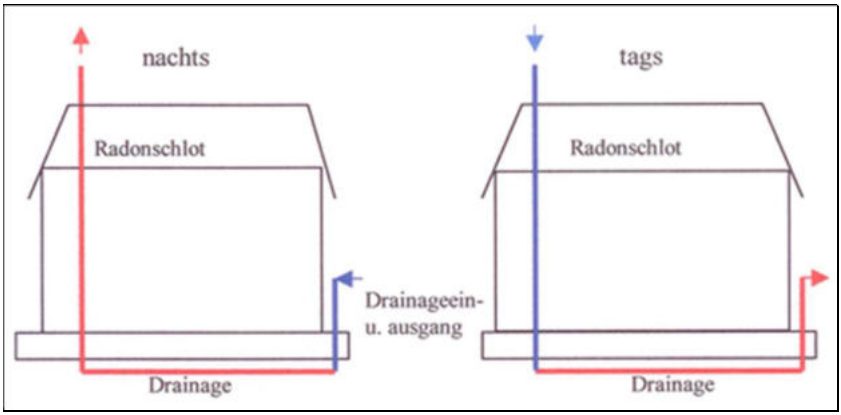


Abbildung 3: Wirkung des Drainagesystems mittels natürlicher Bewetterung

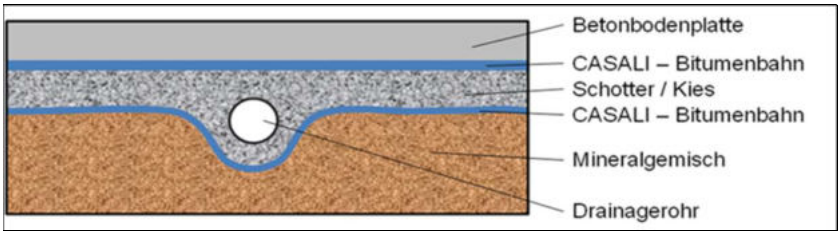


Abbildung 4: Prinzipieller Aufbau der Drainage

Mit den Messungen konnte die Einhaltung der Zielwertvorstellung und der Nachweis der Funktionstüchtigkeit des bautechnischen Radonschutzes nachgewiesen werden.

Entsprechend den Auflagen des damaligen SMUL erfolgt die Kontrolle der Radonkonzentrationsverhältnisse durch zwei Kurzzeitmessungen im Jahresverlauf.

Ab dem Jahr 1996 wurden statt der Kurzzeitmessungen repräsentative Langzeitmessungen mit einem Expositionszeitraum von ca. 6 Monaten eingeordnet.

Dabei zeigten sich, wie schon in 1.2 erkannt, die in der folgenden Abbildung 5 dargestellten Schlussfolgerungen.

Zwangspunkte für die Kontrolle und Erhaltung des Radonschutzes in Gebäuden

- Mit Langzeitmessungen muss die auftretende Radonkonzentration nach Abschluss der Baumaßnahmen erfasst werden, um gegeben falls die Ursache für Erhöhungen zu klären.
- Meist sind die Sanierungsmaßnahmen mit technischen Anlagen gekoppelt. Eine turnusgemäße Prüfung der technischen Anlagen ist Voraussetzung für eine dauerhafte Radonsenkung (Wartungspflicht).
- Die ausgeführten baulichen Maßnahmen müssen dokumentiert werden (Hausakte), bei Modernisierungsmaßnahmen, Umbauten u. ä. im Objekt müssen die vorhandenen Radonschutzgegebenheiten unbedingt beachtet werden, damit es nicht durch Zerstörungen zu negativen Auswirkungen kommt.

Abbildung 5: Schlussfolgerungen aus den mehrjährigen Messungen

1.5 Radonsanierung in einem komplexen Schulgebäude

In den über 30 Jahren seiner Unternehmensgeschichte wurden durch das Bergtechnische INGENIEURBÜRO GEOPRAX verschiedene Objekte bezüglich der Radonsanierung bearbeitet.

Als ein weiteres Beispiel werden die Tätigkeiten an einer Schule in Zwickau aufgeführt [4].

Bei diesem denkmalgeschützten Objekt, einem früheren, geschichtsträchtigen Schloss, was zur Schule umgebaut wurde und jetzt als Gymnasium genutzt wird, wurden durch Langzeitmessungen im Jahr 2017 Radonbelastungen festgestellt. Die Messwerte zeigten Radonaktivitäskonzentrationen, die über den Empfehlungswerten des Strahlenschutzgesetzes lagen.

Dabei musste beachtet werden, dass die schulische Nutzung, Denkmalschutz und die Spezifik des Bauzustandes bei den Sanierungsschritten zu berücksichtigen waren. Ziel war die Erreichung des gesetzlich vorgegebenen Referenzwertes in allen Räumen mit Schulbetrieb, bzw. an Arbeitsplätzen. Dies wurde in Zusammenwirken mit der Stadtverwaltung, von Fachfirmen und der autorisierten Messbegleitung realisiert.

Durch iterative, schrittweise technische Realisierung wurden folgende Lösungen gefunden:

- Eliminierung der Radonquelle durch Abdichtung der erdberührten Gebäudeteile oder Absaugung der radonbehafteten Bodenluft,
- Erhöhung der Luftwechselrate bis zur Senkung der Radonkonzentration unter 300 Bq/m³.

Nach Fertigstellung der Sanierungsarbeiten bezüglich des Radonschutzes im Clara-Wieck-Gymnasium in Zwickau wurden zur Überprüfung der Wirksamkeit, Kontrollmessungen in allen Klassenräumen des Erd- und Obergeschosses durchgeführt.

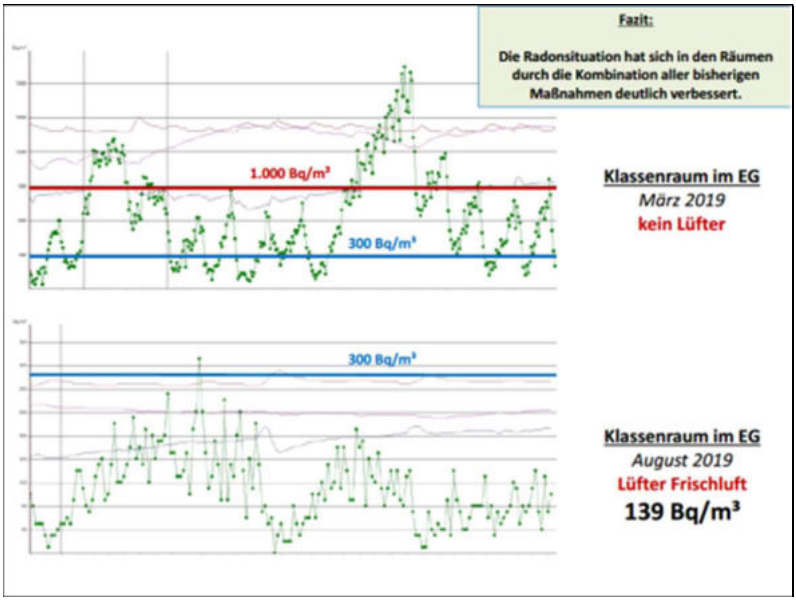


Abbildung 6: Beispiel einer Messung

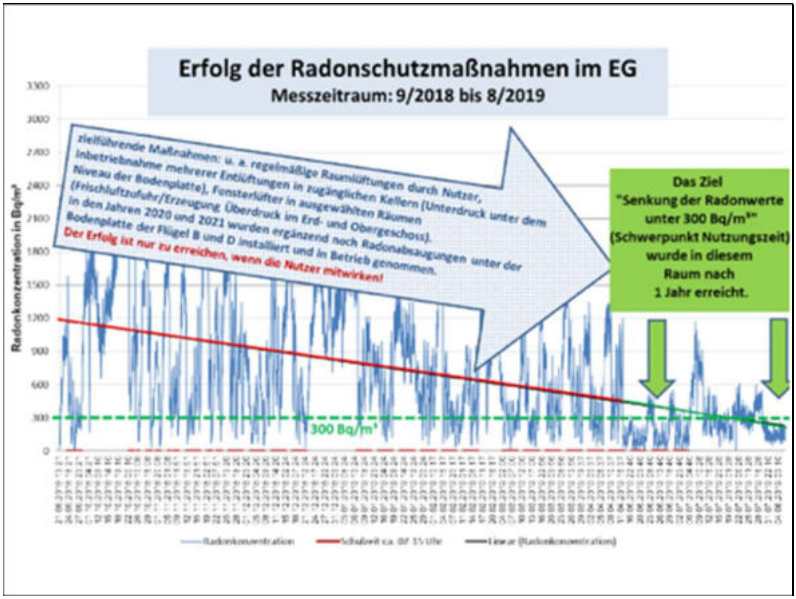


Abbildung 7: Erfolgskontrolle nach Sanierung

Der Zeitraum lag in einer meteorologischen Übergangszeit (Herbst). Die Messungen zeigen in allen Räumen das Erreichen des Referenzwertes von 300 Bq/m³. In Abb. 7 wird die erreichte Zielstellung vorgestellt.

2 Erfahrungen und Empfehlungen

In den folgenden Abbildungen wird ein Überblick für eine erfolgversprechende Vorgehensweise zur Lösung von Aufgaben des Radonschutzes abgeleitet aus den eigenen, umfangreichen Erfahrungen vorgeschlagen [5].

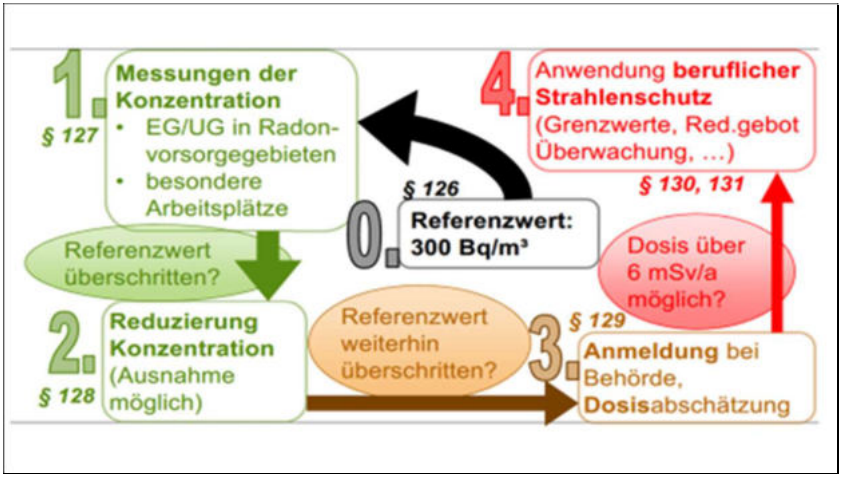


Abbildung 8: Schematische Darstellung der Vorgehensweise beim Radonschutz

Die komplexen Ursachen von Radonmigration werden dargestellt. Darin enthalten sind auch die unterschiedlichen Herangehensweisen für ursachenbezogene Sanierungskonzepte (Radonschutz für Einzelgebäude oder die Bewetterung unterirdischer Hohlräume).

Die Einordnung der Radonsanierung auf bergbaulich beeinflussten Flächen wird in Abb. 9 vorgestellt.

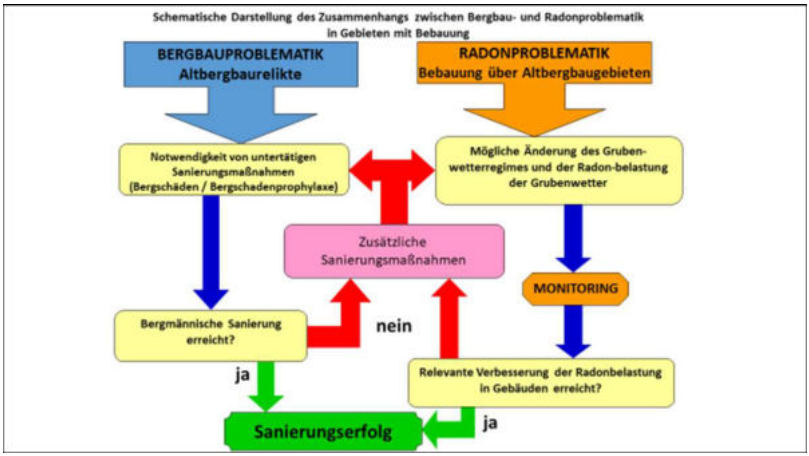


Abbildung 9: Radonsanierung auf bergbaulich beeinflussten Flächen

Betrachtet man die Ziele des radongeschützen Bauenes, werden die Zwangspunkte bei der Beauftragung deutlich (siehe Abb. 10).

Abbildung 10: Vorgehensweise bei der Radonsanierung

- Es wird empfohlen die einzelnen Schritte der Radonsanierung messtechnisch zu erfassen und zu kontrollieren.
- Ansonsten kann nur schwer über den Erfolg der baulichen oder lüftungstechnischen Maßnahmen entschieden werden.
- Eine abschließende Bewertung der Sanierung sollte in allen relevanten Räumen des jeweiligen Gebäudes gleichzeitig vorgenommen werden und über eine repräsentativen Zeitraum erfolgen.
- Die jeweiligen Nutzungsbedingungen (Arbeitszeit, Lüftung, metrologische Daten) müssen dokumentiert werden.

Abbildung 11: Messbegleitung

Das Sanierungskonzept sollte iterativ konzipiert werden (siehe Abb. 12). Die dazu technisch ausgeführten Arbeiten zur Radonsanierung sollte unbedingt dokumentiert werden (Hausakte) und turnusgemäß überprüft werden.

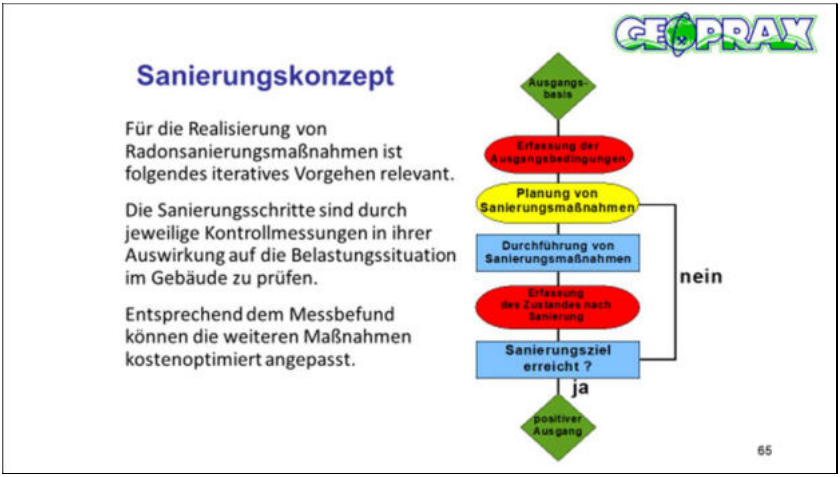


Abbildung 12: Sanierungskonzept

3 Literaturverzeichnis

[1] H.-G. Henjes, Recherche im Stadtarchiv Schneeberg 2015

[2] B. Leißring, Untersuchung über Möglichkeiten der natürlichen Bewetterung im Schneeberger Grubenfeld zur Senkung der Radonbelastung der Bevölkerung. Schneeberg 1994

[3] G. Grundmann, B. Leißring, Langzeitkontrolle der Radonkonzentration im Einkaufzentrum Schlema, 3. Sächsischer Radontag. Dresden 2009

[4] B. Leißring, G. Leißring, G. Meyer, Radonschutzmaßnahmen an einem komplexen Schulgebäude,15.Sächsische Radontage Dresden 2022

[5] B. Leißring, Radonsanierung komplexer Gebäude, Fachtagung des Radon-Forums Baden-Württemberg, 2023

Serielle Radonsanierung von Industrie- und Gewerbestandorten am Beispiel eines Firmengeländes in Selb (Landkreis Wunsiedel)

Robert Georgi[1]

Christian Schwenk[1)]

Nils Joosten[1)]

Markus Leitgeb[1)]

[1)] EXradon GmbH (Selb/Plauen/München/Bindlach)

Zusammenfassung

Das Fallbeispiel beschreibt die Radonsanierung eines vier Hektar großen Industrie- und Gewerbekomplexes im Landkreis Wunsiedel, einer Region mit extrem hohem Radonpotential (>150.000 Bq/m³ Bodenluft). Langzeitmessungen in dem Zeitraum 2022-2023 zeigten in der Hälfte der 51 Messstellen Überschreitungen des Referenzwerts von 300 Bq/m³ [1][2]. Die objektübergreifende gewählte Unterbodenabsaugung reduzierte Radonkonzentrationen auf unter 100 Bq/m³. Der Ansatz einer seriellen Umsetzung ermöglichte Lernkurveneffekte mit bis zu 25 % kürzerer Bauzeit bei Folgeobjekten. Das Konzept ist insbesondere für großvolumige, standardisierte Industriebauten geeignet, bei denen alternative Sanierungstechnologien unwirtschaftlich wären.

1 Allgemeines

Radon, ein radioaktives Edelgas aus der Uran-238-Zerfallsreihe, stellt ein ubiquitäres Umweltrisiko dar, dessen gesundheitliche Relevanz erst in den letzten Jahrzehnten vollständig erkannt wurde. Mit einer Halbwertszeit von 3,8 Tagen emittiert Radon-222 α-Strahlung, die bei Inhalation das Lungengewebe schädigt und laut WHO für 3-14% aller Lungenkrebsfälle verantwortlich ist [1]. In Deutschland gilt seit der

Novellierung des Strahlenschutzgesetzes 2017 ein verbindlicher Referenzwert von 300 Bq/m³ in Aufenthaltsräumen, dessen Überschreitung Sanierungsmaßnahmen erforderlich macht [2] [3].

Die Karte des Bundesamts für Strahlenschutz (BfS) identifiziert Regionen mit Bodenluftkonzentrationen > 100.000 Bq/m³, darunter der Landkreis Wunsiedel mit Werten bis > 150.000 Bq/m³. In der Spitze sind in dieser Region jedoch Bodenluftkonzentrationen von 500.000 Bq/m³ und mehr angetroffen worden und bilden damit Grundlage für ein objektunabhängiges signifikantes Radonpotential.

Im Rahmen der für Arbeitgeber verpflichtenden Messungen von Radon an Arbeitsplätzen sowie in Aufenthaltsräumen [2] [3] hat ein Industriekunde der Fa. EXradon GmbH Langzeitmessungen von Radon im gesamten Gebäudebestand eines ca. 4 Hektar großen Industriestandortes ausgeführt. Dabei wurden eine Vielzahl von Überschreitungen des Referenzwertes von 300 Bq/m³ [2] festgestellt, die sich über den Großteil des Gebäudebestands verteilen.

Die Präsentation der Ergebnisse der Radon-Langzeitmessungen fiel zusammen mit dem Beginn einer umfassenden Generalsanierung des Industrie- und Gewerbestandortes zu einem Produktionsstandort für technische Keramik und Hochleistungskeramik. In diesem Zusammenhang wurde die EXradon GmbH mit der Vorbereitung, Planung und Durchführung einer gebäudeübergreifenden Radonsanierung beauftragt. Die Umsetzung dieser Maßnahme musste in die bereits laufende Standortsanierung reibungslos integriert werden.

Ziel der Sanierung war die Übertragung einer skalierbaren Ausführungstechnologie auf den Gesamtstandort vor dem Hintergrund der geplanten Umnutzung, des zur Verfügung stehenden Bauzeitfensters und der Umsetzung einer prozesssicheren Sanierungsvariante bei einem sehr stark ausgeprägten Radonpotential am Standort.

1.1 Standort- und Objekteigenschaften

Das ca. 4 Hektar große Industrie- und Gewerbegrundstück wurde um 1980 erstmals bebaut und seitdem sukzessive erweitert. Neben dem Verwaltungsgebäude sind insgesamt vier Produktionshallen und eine

Versandhalle mit einer Gesamtbruttogrundfläche von ca. 8.500 m² vorhanden (siehe Abbildung 1).

Abbildung 1: Übersichtslageplan des Projektgebietes (rot umrissen) und dem Gebäudebestand des Sanierungsgebietes (lila umrissen).

Die Hallen sind in Betonsystembauweise errichtet und nicht unterkellert. Die zu überspannenden Tragwerksbreiten von 25 bis 35 m machen innenliegende Betonständer notwendig, die mittels Hülsenfundamente gegründet sind. Die Bodenplatten bestehen aus Ortbeton mit einer mittleren Betonstärke von 18 bis 25 cm. Die Bauwerke sind mit einem in der Regel fünf Meter breiten Randdämmstreifen versehen. Die Fundamente der Hallenbauwerke bestehen aus Frostschutzmaterial aus Granit. Das vorhandene Dehnfugenraster beträgt im Mittel 6 x 6 m. In den Hallen 1 bis 3 sind zentrale Lüftungsanlagen vorhanden, die während der Langzeitmessung in Betrieb waren. Im Rahmen der Objektsanierung wurden diese jedoch ersatzlos entfernt.

Das Verwaltungsgebäude ist in massiver Betonbauweise errichtet und auf einer Fläche von ca. 280 m² teilunterkellert. Aufgrund der relativ komplexen Bauwerksstruktur ist eine Vielzahl von Streifenfundamenten vorhanden, die im Rahmen der weiteren Sanierungskonzeption zu berücksichtigen waren.

Die Radon-Langzeitmessungen am Standort wurden im Zeitraum 2022 bis 2023 durchgeführt. Insgesamt wurden 51 Messstellen betrachtet, von denen etwa 50 % den Referenzwert von 300 Bq/m³ [2] überschritten. Die Zusammenfassung der Messergebnisse sowie gebäudespezifische Kenngrößen sind in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Zusammenfassung wesentlichen Parameter des Gebäudebestandes

Objekt-ID	Bruttogrundfläche [m²]	C_{Rn}-Langzeitmessung 2022-2023 [Bq/m³]	Objektdetails
Produktionshalle 1	1.530	130 - 529	Nicht unterkellert Beton-Systembau Baujahr 1981
Produktionshalle 2	1.270	76 - 940	Nicht unterkellert Beton-Systembau Baujahr 1985
Produktionshalle 3	1.520	219 - 690	Nicht unterkellert Beton-Systembau Baujahr 1990
Produktionshalle 4	2.070	75 - 116	Nicht unterkellert Beton-Systembau Baujahr 1992
Versandhalle	1.330	380 - 1.940	Nicht unterkellert Beton-Systembau Baujahr 1990
Verwaltung	740	144-810	Teilunterkellert Betonmassivbau Baujahr 1981

1.2 Systematische Gebäudediagnostik als Planungsgrundlage

Vor dem Hintergrund der geplanten Standortsanierung wurde eine umfassende systematische Gebäudediagnostik zur Ermittlung der Radoneintrittspfade sowie der Radonverteilungsmechanismen in den Bauwerken durchgeführt. Diese dient als Grundlage für eine verfahrenssichere Sanierungsplanung des Bestandes. Dabei wurde grundsätzlich zwischen den nicht unterkellerten Gebäuden sowie dem teilweise unterkellerten Verwaltungsgebäude unterschieden.

Über einen Zeitraum von 14 Tagen wurde der gesamte radonbelastete Gebäudebestand mittels Sniffing-Messungen sowie zeitaufgelösten Radonmessungen untersucht. Als Auswertezeitraum wurde die Winterperiode 2023 gewählt, da mit entsprechend hohen Radoneinträgen zu rechnen war. Dieser Sachverhalt ist von übergeordnetem Interesse, da der Verdünnungseffekt von Radon in den großvolumigen Produktionshallen ausgeprägt ist und eine Blower-Door-Messung (Rn50-Methode) als nicht verhältnismäßig bewertet wurde.

Im Ergebnis der Radon-Sniffing-Messungen wurden innerhalb des Verwaltungsgebäudes auffällige Radonkonzentrationen (Werte > 5.000 Bq/m^3) bis stark auffällige (Werte > 10.000 Bq/m^3) festgestellt. Diese Belastungsschwerpunkte wurden an der umlaufenden Randdämmfuge des Fußbodens zum aufgehenden Mauerwerk im Erdgeschoss (nicht unterkellert) und im Kellergeschoss gemessen (siehe Abbildung 2).

Die Radon-Sniffing-Messungen an potentiellen Undichtigkeiten innerhalb der Produktionshallen sowie der Versandhalle belegten systematisch stark auffällige Radonmesswerte entlang der umlaufenden Randfugen der Bodenplatte, an Randfugen von innenliegenden Betonpfeilern und Bodeneinläufen. Die Radoneintritte umfassten Messwerte von 6.500 bis ca. 73.000 Bq/m^3 (siehe Abb. 3).

Abbildung 2: Sniffing-Messungen im Erd- und Kellergeschoss des Verwaltungsgebäudes mit punktuellen Radon-Kurzzeitmesswerten > 27.000 Bq/m³.

Abbildung 3: Sniffing-Messungen in Produktionshallen mit punktuellen Radon-Kurzzeitmesswerten > 70.000 Bq/m³.

2 Standort-Sanierungskonzept

Im Ergebnis der Gebäudediagnose wurden gemeinsam mit dem Auftraggeber potentiell relevante Sanierungsvarianten hinsichtlich ihrer Machbarkeit, Skalierbarkeit, Nachhaltigkeit sowie Kosten und Zielvorgabe (dauerhaft < 300 Bq/m³ [2] als Sanierungsziel) geprüft und bewertet. Neben Abdichtungsvarianten (punktuell, linear, flächig) und zentraler Lüftungstechnik wurde auch die Durchführung einer Unterbodenabsaugung untersucht und bewertet. Im Ergebnis dieser Bewertung wurden Abdichtungsmaßnahmen verworfen, da diese nicht den technologischen Anforderungen der geplanten Nutzung entsprechen und auch die Zielvorgabe der Absenkung unter 300 Bq/m³ in ihrer Umsetzbarkeit in Frage gestellt wurde. Aufgrund der gesamten Raumluftkubatur von mehr als 75.000 m³ und der Zergliederung der Produktionshallen durch die geplante Umnutzung wurde der Einbau einer bauseitigen zentralen Lüftungsanlage ebenfalls verworfen. Am Ende der Bewertung wurde die bauliche Umsetzung einer Unterbodenabsaugung über alle relevanten Objekte favorisiert, da diese alle voran genannten Prüfkriterien einhält.

Die Auslegung der Unterbodenabsaugung erfolgte zum einen anhand der geplanten Nutzung der Gebäude (Minimierung von Nutzungseinschränkungen), der brandschutztechnischen Randbedingungen sowie der objektspezifischen Besonderheiten (Vermeidung von Zolllagern als Installationsbereiche). Zum anderen erfolgte die Auslegung der Sanierungsvariante anhand von Druckdifferenzmessungen zwischen Bauwerk und Erdreich. Durch eine Referenz-Bohrung in einer der Produktionshallen wurde natürlich einströmendes Radon gemessen (bis zu 500 kBq/m³), sodass hier eine genauere Bestimmung der Bodenradonkonzentration erfolgen und der Zusammenhang zwischen Volumenstrom und Unterdruck unter dem Bauwerk ermittelt werden konnte.

3 Sanierungsausführung Versandhalle

Das Sanierungskonzept sah eine serielle Sanierung des radonbelasteten Gebäudebestandes vor. Der bauliche Ablauf orientierte sich an

den Gegebenheiten vor Ort, so dass im ersten Bauabschnitt die Unterflurabsaugung in der Versandhalle dimensioniert und ausgeführt wurde. Insgesamt wurden neun Absaugstellen mit einem Volumenstrom von jeweils 40 m^3/h errichtet. Die Anordnung erfolgte entsprechend dem Nutzungskonzept, so dass eine Verlagerung der Absaugstellen an die Außenwände sowie an die raumtrennenden Innenwände erfolgte (siehe Abb. 4). Die Verlegung der Unterdruckleitung erfolgte unter Dach, um die Hochregallagerung nicht zu beeinträchtigen. Bei der Ausführung wurde auf DIN-gerechte Gebäudedurchführungen, den Einsatz geprüfter gasdichter Rohrsysteme (siehe Abb. 6) und die Verwendung von Brandschutzmanschetten gemäß den Vorgaben des Brandschutzkonzeptes geachtet.

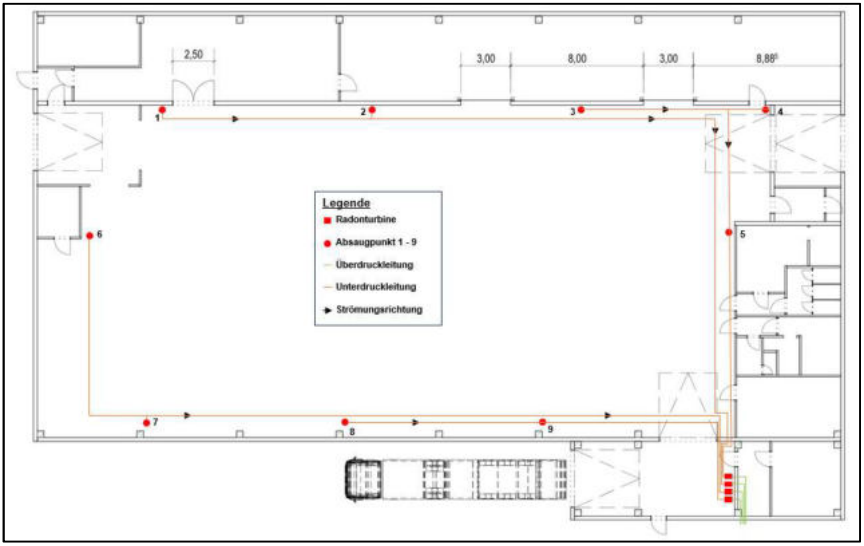


Abbildung 4: Gebäudegrundriss der Versandhalle mit Planung der Unterdruck- und Überdruckleitung inkl. Anordnung der Radonsauger.

Mit der Inbetriebnahme der Unterbodenabsaugung wurde eine begleitende zeitauflösende Messung von Radon durchgeführt. Diese dient dem Nachweis der Wirksamkeit der Anlage sowie der Feinjustierung der einzelnen Absaugpunkte. Vor Inbetriebnahme der Anlage wurde eine mittlere Radonkonzentration von ca. 1.100 bis 2.350

Bq/m³ gemessen. Nach der Sanierung beträgt die mittlere Radonkonzentration in der Versandhalle < 100 Bq/m³ (siehe Abb. 5), so dass im Ergebnis eine Radonkonzentrationsminderung von etwa 90 bis 95 % erreicht wurde.

Die Gesamtdauer der Bauausführung inkl. Kernbohrungen, Leitungsverlegung, Installation der Radonturbinen (inkl. Elektroinstallation) sowie Berücksichtigung der Brandschutzmaßnahmen betrug insgesamt 10 Arbeitstage. Die Sanierungskosten bezogen auf die zu sanierende Grundfläche betrugen etwa 16 Euro pro Quadratmeter. Die Sanierungsdauer kann mit etwa sechs bis sieben Minuten pro zu sanierendem Quadratmeter angesetzt werden.

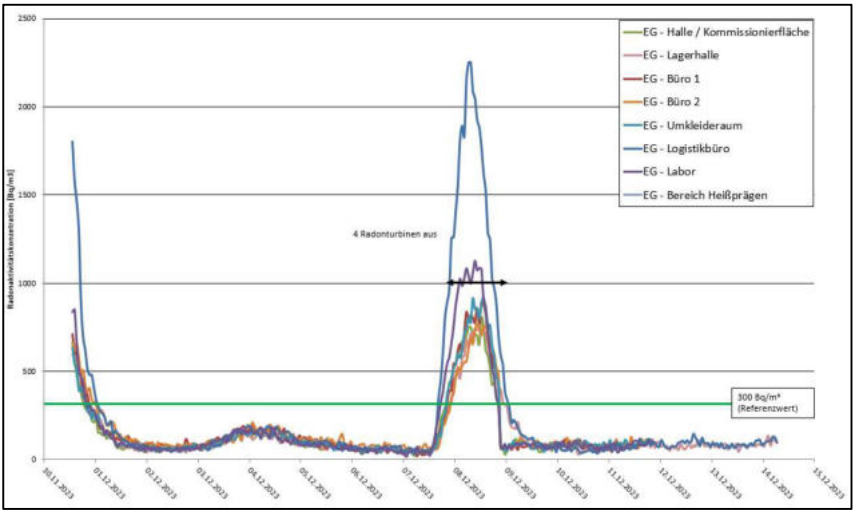


Abbildung 5: Messtechnische Begleitung der Inbetriebnahme der Unterbodenabsaugung in der Versandhalle. Zur Bewertung der Minderungseffizienz wurde die Anlage für einen Tag deaktiviert, um die Wiederanstiege von Radon über das Bauwerk zu ermitteln.

Abbildung 6: Unterbodensanierung Versandhalle mit Radonturbinen (Bild A), Unterdruckleitung (Bild B), Absaugpunkt außerhalb Zollbereich inkl. Anfahrschutz (Bild C), Anfahrschutz nach BGR 234/DIN4844 (Bild D).

4 Synergieeffekte durch serielle Sanierung

Die Bewertung von Synergieeffekten serieller Radonsanierungen unterliegt einer Reihe von standort- und objektspezifischen Randbedingungen. Eine standortübergreifende Vergleichbarkeit von Schlüsselparametern ist daher stets kritisch zu bewerten und ggf. anzupassen. Relevante Randparameter können sein:

- Geogene Ausgangssituation (u.a. Bodenradonpotential, Gaspermeabilität, etc.),
- Gebäudetypen und -eigenschaften,
- gebäudespezifische Nutzungseigenschaften,
- Auswahl der Sanierungstechnologie,
- Sanierungsreihenfolge in Abhängigkeit vom Gebäudetyp und der Sanierungstechnologie.

Durch den Ansatz einer seriellen Sanierung des radonbelasteten Gebäudebestandes eines Standortes können wirtschaftliche Vorteile serieller Fertigung genutzt werden, wie z. B.:

- Kostensenkung durch Skaleneffekte und Prozessoptimierung,
- Vorteile bei der Materialbeschaffung,
- Erhöhung der Arbeitsproduktivität durch repetitive Tätigkeiten,
- Reduzierung von Nacharbeitskosten durch effiziente Qualitätssicherung.

In Abstimmung mit dem Auftraggeber wurde der Ansatz einer seriellen Sanierung des Gesamtstandortes in Selb gewählt und bei der Vorbereitung und Umsetzung konsequent verfolgt. Alle radonbelasteten Objekte sollten mittels Unterbodenabsaugung als Sanierungstechnologie saniert werden, um eine weitere Effizienzsteigerung anzustreben. Bezogen auf die Radonsanierung des vorgestellten Gebäudeinventars wurden parallel zur Bauausführung der Unterbodenabsaugung in der Versandhalle die Ausführungsplanungen für die übrigen radonbelasteten Gebäude vorbereitet und mit dem Auftraggeber abgestimmt. In diesem Zusammenhang wurden alle erforderlichen Nebengewerke für die weiteren Sanierungsmaßnahmen vertraglich gebunden, terminiert und ein koordinierter objektübergreifender Bauablaufplan inkl. Objektprioritäten erarbeitet. Anschließend erfolgte die Radonsanierung durch die EXradon GmbH einschließlich der Koordination der Nebengewerke in einem abgestimmten Sanierungsfahrplan.

Bereits beim ersten Folgeobjekt (Produktionshalle 3) konnte eine Verbesserung der Arbeitsproduktivität über alle Gewerke und eine Reduzierung der Nachbesserungsquote der ausgeführten Arbeiten festgestellt werden. Daraus konnten Synergieeffekte für die Umsetzung des Sanierungsfahrplans am Gesamtstandort abgeleitet werden, deren Bewertung in Tab. 2 zusammengefasst ist.

Tabelle 2: Bewertungsmatrix der Sanierungseffizienz je Objekt.

Sanierungs-abfolge	Bruttogrund-fläche [m²]	Sanierungs-dauer [min./m²]	Sanierungskos-ten [Euro/m²]
1-Versand-halle	1.330	6,5	16,1
2-Produkti-onshalle 3	1.520	5,4	14,8
3-Verwaltung	740	7,7	16,8
4-Produkti-onshalle 2	1.270	5,2	14,1
5-Produkti-onshalle 4	2.070	4,9	12,8

Als Ergebnis der abschließenden Bewertung der Sanierungseffizienz der sanierten Gebäude (Radonkonzentration nach Sanierung < 100 Bq/m³) lässt sich ableiten, dass die Sanierungsdauer und die Sanierungskosten pro Quadratmeter um bis zu 25 % bzw. 20 % reduziert werden konnten. Diese Abschätzung bezieht sich auf die baugleichen Objekte der Versandhalle sowie der drei relevanten Produktionshallen. Im Gegensatz dazu weist die Radonsanierung der Verwaltung im Vergleich zur Versandhalle (1. Sanierungsobjekt am Standort) eine erhöhte Sanierungsdauer sowie erhöhte Sanierungskosten je Quadratmeter auf. Diese Erhöhung wurde von der EXradon GmbH sowie vom Auftraggeber im Vorfeld erwartet, da der Gebäudetyp vom übrigen Bestand abweicht und eine komplexere Gründungssituation aufweist.

5 Fazit

Die konsequente Übertragung der gewählten Sanierungstechnologie auf das gesamte Areal erwies sich als Schlüsselfaktor für den Projekterfolg. Die Kombination aus präziser Gebäudediagnostik mittels

Sniffing-Messungen und flexibler Anpassung der Unterbodenabsaugung an unterschiedliche Gebäudetypen ermöglichte eine effiziente Radonreduktion trotz extrem hoher Bodenradonkonzentrationen über 500.000 Bq/m³. Die Integration in laufende Generalsanierungsmaßnahmen belegt die Praxistauglichkeit der seriellen Radonsanierung mittels Unterbodenabsaugung. Vergleichbare Großprojekte sollten die zu erwartenden Synergieeffekte serieller Sanierungen, insbesondere durch standardisierte Planungsvorlagen und gewerkeübergreifende Bauablaufkoordination, nutzen.

6 Literaturverzeichnis

[1] Ionizing Radiation, Part 2: Some Internally Deposited Radionuclides, ARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans Volume 78, 2001.

[2] Strahlenschutzgesetz vom 27. Juni 2017 (BGBl. I S. 1966), das zuletzt durch Artikel 4 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324) geändert worden ist.

[3] Strahlenschutzverordnung vom 29. November 2018 (BGBl. I S. 2034, 2036; 2021 I S. 5261), die zuletzt durch Artikel 10 des Gesetzes vom 23. Oktober 2024 (BGBl. 2024 I Nr. 324) geändert worden ist.

Untersuchung und Radonsanierung eines teilunterkellerten Altbaus in Bad Schlema

Toni Müller

Christian Schramm

Wismut GmbH, Abt. Strahlenschutz /Umweltbewertung, Chemnitz

Zusammenfassung

Thema des Beitrages ist die Untersuchung und Radonsanierung eines Wohngebäudes im Radonvorsorgegebiet Aue-Bad Schlema. Im Zusammenhang mit der Untersuchung der Beeinflussung der Radonsituation in Wohngebäuden durch Grubenbaue erfolgten erste zeitaufgelöste Messungen der Radonaktivitätskonzentrationen (im Folgenden kurz Radonkonzentration) im Winterhalbjahr 2020/2021. Dabei wurden im Wohnbereich (EG und OG) und Keller Werte im Mittel von etwa 8.700 Bq/m³ festgestellt (Spitzenwerte bis etwa 20.000 Bq/m³). Die Messungen erfolgten im Keller, sowie im Erdgeschoss und Flur/Treppenhaus. Als Ursache wurde ein möglicher Radontransport aus dem durch Altbergbau beeinflussten Untergrund vermutet und schließlich nachgewiesen.

Basierend auf den Ergebnissen der Erstuntersuchungen erfolgte ein gestaffelter Lüfterversuch. Im Ergebnis des Versuches wurde eine lüftergestützte Radondrainage im Keller des Objektes geplant. Der Mittelwert der Radonkonzentration im Wohnbereich und im Keller liegt seit Inbetriebnahme der Drainage im Sommer 2022 im Mittel unter 300 Bq/m³ und konnte demzufolge um über 90 % reduziert werden.

Das beschriebene Objekt ist im Rahmen des Wetterprojekts Schneeberg weiterhin in der Überwachung und es erfolgen Messungen der Radonkonzentrationen im Keller und Wohnbereich.

1 Einleitung und Beschreibung des Objektes

1.1 Veranlassung

Erste Untersuchungen im betrachteten Wohnhaus in Aue-Bad Schlema wurden 2020 durchgeführt. Der Verdacht bestand, dass die Radonsituation im Gebäude durch untertägige Grubenbaue beeinflusst werden könnte. Die Wismut GmbH wurde hierzu kontaktiert, da das Gebäude am Rand der Uranerzlagerstätte Schlema-Alberoda liegt, in welcher ein intensiver Abbau erfolgte. Unweit des Objektes liegt der Schacht 15IIb der Wismut GmbH, welcher heute der Hauptschacht für Sanierungsarbeiten in der Grube Schlema dient. Eine erste Betrachtung der Altbergbausituation ergab aber, dass das Objekt nicht in den Zuständigkeitsbereich der Kernsanierung der Wismut GmbH fällt. Zwar befindet sich das Objekt in Bad Schlema, liegt aber im Bereich der Lagerstätte Schneeberg, welche weiter nach Nordosten durch die Störungszone „Roter Kamm“ geologisch von der Lagerstätte Schlema-Alberoda getrennt wird. Die Grube Schneeberg fällt als Altbergbaustandort unter die Zuständigkeit des sächsischen Oberbergamtes. Aufgrund dessen wurden Messungen der Radonkonzentrationen und weitere Untersuchungen im Rahmen des Wetterprojekts Schneeberg durchgeführt.

Im Auftrag des sächsischen Oberbergamtes erfolgen am Standort Schneeberg/Neustädtel Sanierungsarbeiten zur Beherrschung des grubenbürtigen Radonproblems in Gebäuden. Ziel des Wetterprojektes ist es, die grubenbedingte Radonbelastung in Gebäuden, diffuse Radonfreisetzungen aus dem Untergrund sowie unkontrollierte Radonaustritte an ehemaligen Tagesöffnungen durch eine wettertechnische Lösung dauerhaft zu unterbinden bzw. mit größtmöglichem Effekt zu verringern. Bei einzelnen Objekten, bei denen der Grubeneinfluss auf die Radonsituation durch wettertechnische Maßnahmen nicht reduziert werden kann, werden individuelle Maßnahmen zur Radonsanierung geplant. Mit den Planungsaufgaben und der Bauüberwachung wurde die Wetterprojekt Schneeberg GbR, bestehend aus den Firmen Taberg Ost GmbH und GEOPRAX Bergtechnisches Ingenieurbüro GbR beauftragt. Die Abteilung Strahlenschutz und Umweltbewertung der Wismut GmbH ist vertraglich in diese Planungs- und Überwachungsaufgaben eingebunden.

Die laufenden Messungen der Radonkonzentrationen im Objekt werden im Rahmen der Häusermessungen im Wetterprojekt durch GEOPRAX und Wismut durchgeführt und das Objekt ist Teil eines laufenden Messprogramms, weshalb Messdaten der Radonkonzentration von 2020 bis einschließlich 2025 vorliegen. Durch die Abteilung Strahlenschutz und Umweltbewertung der Wismut GmbH erfolgten weitergehende Untersuchungen und Lüfterversuche im Objekt. Diese dienten zur Planung einer lüftergestützten Radondrainage im Keller des Objektes.

1.2 Objektbeschreibung

Bei dem vorliegenden Objekt handelt es sich um ein zweistöckiges, altes Wohngebäude mit anliegender Garage und einer Teilunterkellerung (Abbildung 1 und Abbildung 2).

In Abbildung 1 sind die Messpunkte der Radonkonzentration im Erdgeschoss markiert. Der Treppenabgang im Treppenhaus ist mit einer Tür und Wand vom Flur abgetrennt, jedoch ist die Tür und die Holztreppe in das Obergeschoss nicht dicht und ermöglichte so einen Luftaustausch zwischen Erdgeschoss und Kellergewölbe.

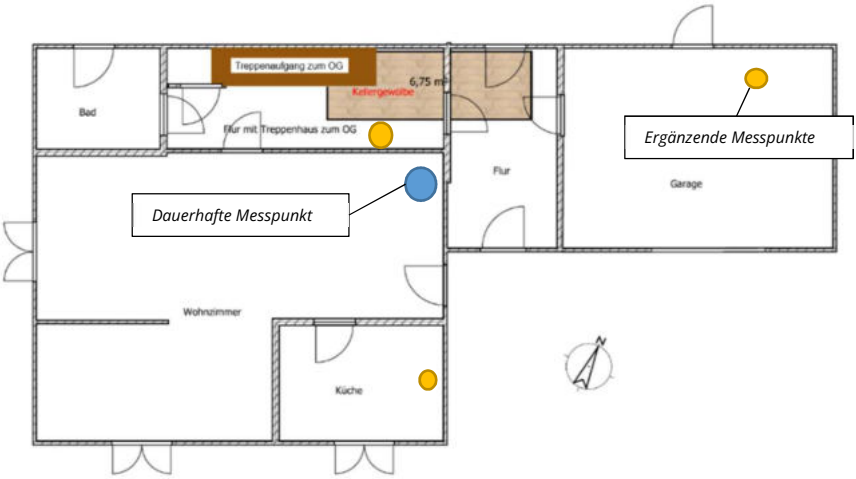


Abbildung 1: Grundriss des Wohngebäudes (Erdgeschoss) mit darunterliegendem Keller und eingezeichneten Messpunkten der Radonkonzentration

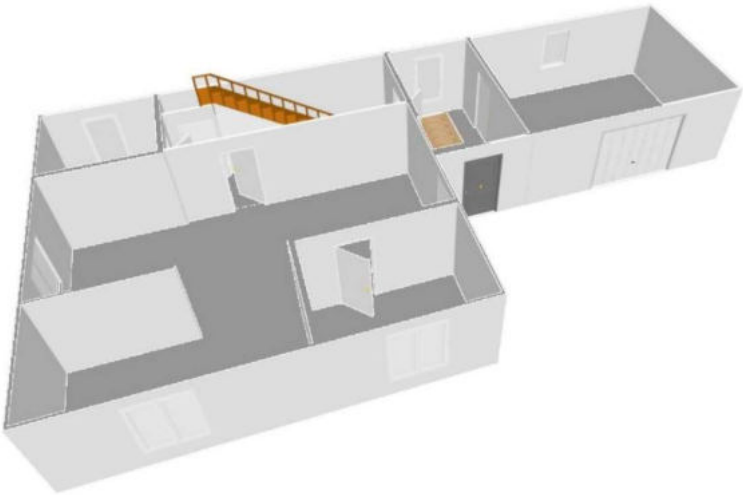


Abbildung 2: Isometrische Darstellung der Räume des Erdgeschosses

Die Oberfläche des Grundstücks fällt nach Norden hin stark ab, wobei die Sohle des Kellerfußbodens etwa auf dem Niveau der Bodenoberfläche des nördlich anschließenden Nachbargartens liegt (Abbildung 3).

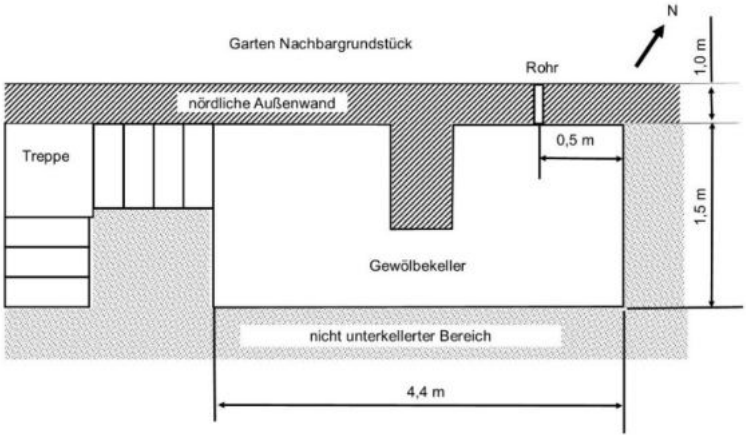


Abbildung 3: Schematischer Grundriss des Kellers

Abbildung 4 zeigt einen Blick in den Gewölbekeller. Der Raum wird durch ein Mauerstück in zwei Teile getrennt. Die linke Mauer stellt die Außenmauer zum Nachbargrundstück dar.

Während der Versuche durchgeführte Untersuchungsbohrungen in die rechte Mauer (in den nicht unterkellerten Bereich) zeigten, dass der Untergrund unter dem Gebäude mit Haldenmassen angefüllt/terrassiert wurde. Dabei handelt es sich um grobkörniges Schüttgut.

Abbildung 4: Blick von der Zugangstreppe in den Gewölbekeller

Nordöstlich des Objektes streicht der Erzgang König David Stehende. Im 15. Und 16. Jahrhundert erfolgte hier ein intensiver (auch oberflächennaher) Abbau von Kupfererzen. Im 19. Jahrhundert wurde dieser Bergbau noch einmal auf tiefen Sohlen kurzzeitig aufgenommen, aber rasch wieder eingestellt. [1]

Die während des früheren Abbaus angefallenen Haldenmassen wurden oft zum Anschütten des Untergrunds genutzt und breitgezogen und/oder zum Terrassieren genutzt. Ein Einfluss untertägiger Hohlräume auf die Radonsituation im Objekt kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden. Vorliegende Haldenmassen sind in der Regel durchströmbar und können über die Ausmauerung alter Schächte ebenso strömungsgängige Verbindungen zu Grubenbauen aufweisen. Die oberflächennahen Abbaubereiche wurden nach Tagesbrüchen durch Betonversatz gesichert. Für einen wettertechnischen Lösungsansatz stellt diese Verwahrung mit Beton ein wettertechnisches Hindernis dar, so dass der Unterdruck der bewetterten Grube nicht im ausreichenden Maß durchgreifen kann.

1.3 Untersuchung der Radonsituation im Haus im Ausgangszustand

Zum Zeitpunkt der Messungen der Radonkonzentration im Ausgangszustand und auch während der späteren Lüfterversuche war das Objekt unbewohnt und leergezogen, so dass die Messungen weitestgehend ungestört vom Nutzungsverhalten erfolgen konnten. Allerdings wurde in regelmäßigen Abständen einmal am Tag von der Objekteigentümerin gelüftet. Darüber hinaus war die Heizung des Objektes auf „Frostsicherung“ gestellt, um ein Zufrieren von Leitungen zu vermeiden.

Die Messungen zur Ermittlung des Ausgangszustandes wurden im Zeitraum November 2020 bis März 2021 durchgeführt. Die Radonkonzentrationen wurden im Keller, Erdgeschoss (Flur/Treppenhaus und Wohnzimmer) gemessen. Die Messungen im Treppenhaus können auch stellvertretend für Messungen im Obergeschoss angenommen werden, da es zu den Räumen im OG keine lüftungstechnische Trennung gibt.

Diese Messungen erfolgten mit Radonmonitoren vom Typ TESLA TSR4 und wurden von GEOPRAX durchgeführt. Neben der Radonkonzentration wurden Lufttemperatur und Luftfeuchte aufgezeichnet. Zur Charakterisierung der meteorologischen Situation in der Außenluft wurden Daten der Wetterstation der Wismut GmbH am Schacht 208 einbezogen.

Das Diagramm in Abbildung 5 veranschaulicht den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration im Wohnbereich und im Keller des Gebäudes. Dargestellt ist der gesamte Datensatz der Messung der Ausgangssituation als Tagesmittelwerte. Die Radonkonzentration im gesamten Objekt ist stark erhöht und beträgt im Mittel etwa 8.700 Bq/m³. Der Konzentrationsverlauf zeigt in allen Bereichen des Gebäudes ein ähnliches Verhalten, wobei die Konzentrationen im Wohnbereich meist sogar größer sind als im Keller.

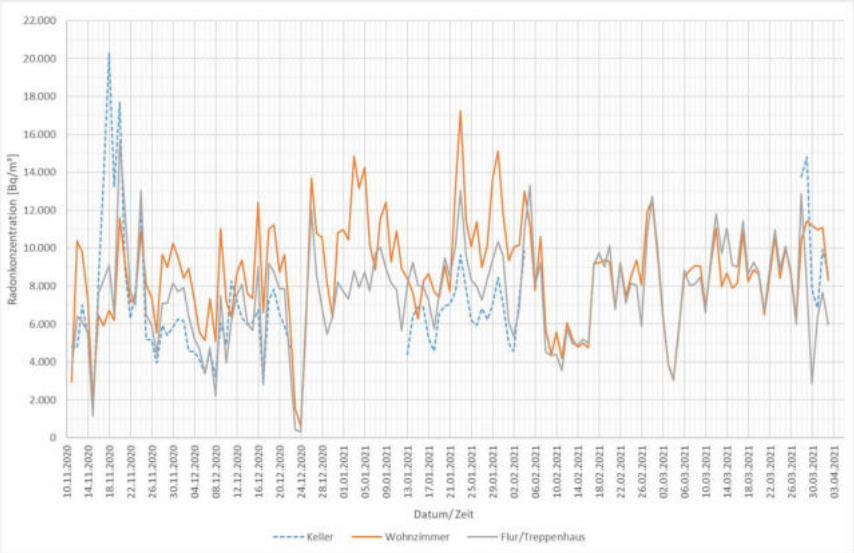


Abbildung 5: Zeitliche Verlauf der Radonkonzentration als Tagesmittelwerte, Ausgangssituation

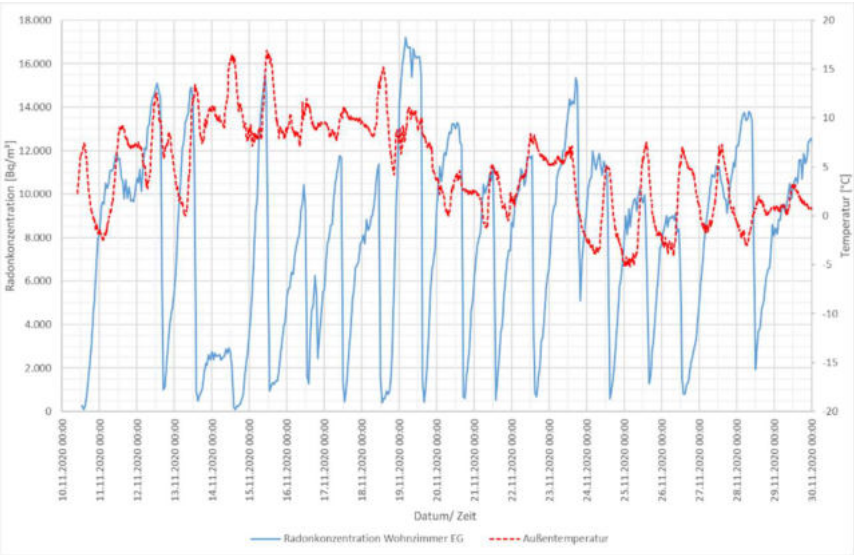


Abbildung 6: Radonkonzentration im Wohnzimmer im Vergleich zur Außentemperatur im Zeitraum November 2020

Abbildung 5 verdeutlicht bereits die starke Dynamik der Radonkonzentration im Objekt. Dargestellt sind die Tagesmittelwerte aller Messpunkte.

Um diese Dynamik besser zu verstehen, wurde dem Verlauf der Radonkonzentration die Außentemperatur in einem 3-wöchigem Zeitausschnitt gegenübergestellt und in Abbildung 6 dargestellt. Etwa gegen Mittag nimmt die Radonkonzentration rapide ab, womöglich begünstigt durch regelmäßiges Lüften. Allerdings steigt die Radonkonzentration ebenso schnell wieder an und erreicht Niveaus wie vor dem Lüften. In diesem Zeitraum sank die Außentemperatur in der Nacht auf bis zu -5°C ab und stieg am Tag nur vereinzelt auf >10°C an. Ein entsprechender Tagesgang kann bei der Radonkonzentration beobachtet werden (wenn auch verzögert). Mit abnehmender Temperatur am Nachmittag nimmt die Radonkonzentration zu. Die Schwankungen der Radonkonzentration liegen zwischen 200 Bq/m³ bis 17.000 Bq/m³ in nur wenigen Stunden. Ein ähnliches Verhalten wurde im Keller und im Treppenhaus registriert.

1.4 Ergebnisse der Untersuchung des Ausgangszustandes

Im Ergebnis der Untersuchungen ist davon auszugehen, dass der Untergrund des nicht unterkellerten Bereiches des Objektes als flächenhafte Radonquelle fungiert. Hierbei unterliegt die Radonquellstärke im Objekt temperaturbedingt starken tageszeitlichen Schwankungen, denn die starken Konzentrationsschwankungen über zwei Größenordnungen sind nicht durch Änderungen der Luftwechselverhältnisse erklärbar. Auch ist die Radonkonzentration im Keller im Messzeitraum geringer als im Erdgeschoss und ist damit nicht als alleiniges Quellgebiet und Ursache der sehr hohen Konzentrationen im Wohnbereich zu benennen. Über das Treppenhaus gelangt das Radon ebenso ins Obergeschoss.

Neben der Messung der Radonkonzentrationen in verschiedenen Räumen des Objektes wurden des Weiteren bei Begehungen ergänzende Untersuchungen und Messungen vor Ort durchgeführt, um mögliche Radoneintrittspfade ausfindig zu machen. Dabei wurde etwa mittels Strömungsprüfröhrchen an Medienkanälen, Abwasserleitungen und ähnlichem mögliche Zutrittspfade gesucht. Fassaden

und Kellerwände wurden darüber hinaus mittels Wärmebildkamera auf mögliche Zutrittspfade untersucht. Es konnten keine Hinweise auf weitere Eintrittspfade gefunden werden.

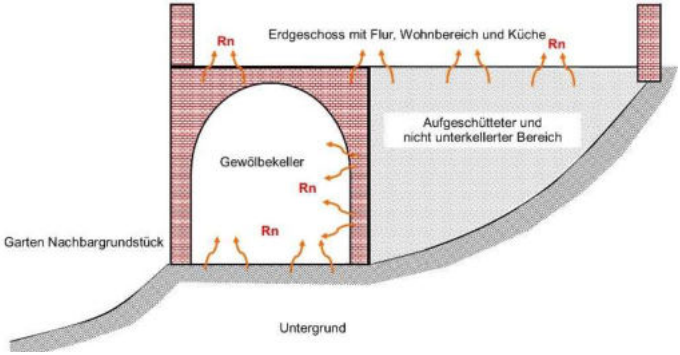


Abbildung 7: Schematische Darstellung des Radontransportes aus dem Untergrund und über den Keller

Der Auftrieb infolge von Temperaturunterschieden kann als treibende Kraft angesehen werden. Gerade niedrige Außentemperaturen und gleichzeitiges Heizen begünstigen den konvektiven Radontransport aus dem durchströmbaren Untergrund und dem bergbaubedingt gestörten Gebirge.

2 Aufbau und Durchführung des Lüfterversuches

Mit dem Ziel eines besseren Verständnisses der Dynamik des Radontransportes im Objekt und des Einflusses des Kellers wurde ein Lüfterversuch im Gebäude geplant. Der Versuch zielte darauf ab, den konvektiven Radontransport in den Wohnbereich durch einen entsprechenden Druckgradienten möglichst zu unterbinden und umzuleiten und setzte dabei im Keller als Schnittstelle zum Untergrund an. Dabei wurde für mehrere Tage ein möglichst konstanter Unterdruck im Keller gehalten und die Radonsituation im Gebäude messtechnisch überwacht.

Der Versuch erfolgte in zwei getrennten Phasen. In der ersten Phase wurde durch den Unterdruck die generelle Wirkung auf die Radonsituation geprüft und in der zweiten Phase wurde versucht, durch Bohrungen in der Kellerwand die Durchströmbarkeit des Untergrundes

zu verbessern und den Untergrund effektiver an den Unterdruck anzuschließen.

Die Überwachung umfasste die Messungen der Radonkonzentrationen und Klimawerte im Gebäude (Keller, EG und OG an mehreren Stellen), die Messung von Außentemperatur und Feuchte, sowie die Druckerzeugung am Lüfter und die Druckdifferenzen zwischen Atmosphäre und mehreren Innenräumen.

Die Tatsache, dass das Objekt zum Zeitpunkt der Versuche unbewohnt war und weitestgehend leer stand, konnte sich zunutze gemacht werden. Für den Versuchsaufbau wurde der Lüfter im Flur zum Treppenhaus aufgebaut und über eine Flexrohrleitung als Saugleitung mit dem Keller verbunden. Der Zugang zum Keller wurde mittels Folie abgedichtet, in welche die Saugleitung eingebunden war. Auch die Holztreppe ins Obergeschoss wurde, soweit möglich, abgedichtet. Die am Lüfterauslass angebrachte Ausblasleitung wurde über das Treppenhaus geführt und in ein Außenfenster in eine Folie eingebunden. Die über den Keller abgesaugte Luft wurde so nach draußen befördert. Dieser Aufbau ist in der Abbildung 8 und der Abbildung 9 dargestellt.

Am 26.03.2021 erfolgte der Aufbau der Versuchsanordnung und die Installation der Messgeräte. Bis zum Versuchsbeginn wurde der Zustand des natürlichen Auftriebs erhalten. Die Versuche wurden dann im Zeitraum vom 01.04.2021 bis zum 18.06.2021 durchgeführt. Versuchsphase 1 dauerte vom 01.04. bis zum 07.05.2021, Versuchsphase 2 vom 21.05. bis 18.06.2021. Anschließend erfolgte der Rückbau der Versuchsanlage und der Messtechnik bis auf die Radonmonitore im Keller und im Wohnbereich des Gebäudes.

In jeder Phase wurde durch einen Lüfter Unterdruck an den Keller angelegt und es wurden mehrere Druckstufen gefahren. Zur Anwendung kamen zwei Lüftersysteme:

- S&P Rohrlüfter TD-500/150 SILENT ECOWATT
- Lüftertyp BlowerDoor Standard

In Abbildung 8 ist noch der anfänglich verwendete S&P Rohrlüfter TD-500/150 zu sehen, dieser wurde am 15.04. durch den leistungsstärkeren Blower Door Lüfter ersetzt, der ebenfalls in die Lutte eingebunden wurde.

Abbildung 8: Erster Versuchslüfter im Flur

Abbildung 9: Treppenhaus mit Luttenleitung

In Vorbereitung der Versuchsphase 2 wurde zunächst die Folie der Tür zum Keller geöffnet und die Bewetterung umgedreht, um den Keller mit Frischluft auszuspülen. Anschließend wurden 4 Bohrungen fächerförmig in der Kellerwand in Richtung des nicht unterkellerten Bereiches eingebracht. Dabei wurde festgestellt, dass der nicht unterkellerte Bereich des Gebäudes mit Haldenmassen aufgefüllt ist. Bei verschlossener Folie und erneutem saugendem Lüfterbetrieb wurden die Bohrlöcher mittels Strömungsprüfröhrchen auf eine Luftbewegung geprüft und es wurde an allen Bohrlöchern ein starker Bodenluftzustrom in den Keller hinein festgestellt. Die Versuchsreihe wurde anschließend erneut gestartet.

3 Messergebnisse des Lüfterversuches

Im Folgenden werden die wesentlichen Messergebnisse der Lüfterversuche wiedergegeben. Abbildung 10 stellt den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentrationen im Verhältnis zur Druckerzeugung des Lüfters dar. Zu Beginn der Versuche erfolgte ein Lüfterbetrieb bei etwa 130 Pa. Die teils sehr hohen Radonkonzentrationen nahmen in Folge rapide ab, wobei es im Wohnzimmer in der Phase 1 noch zu erheblichen Schwankungen kam. Auch nach anfänglicher Wiederinbetriebnahme zu Beginn von Phase 2 traten noch Schwankungen auf, bis sich das System stabilisiert hat.

Bei Abschaltung des Lüfters am 07.05.2021 kam es dann erneut zum Anstieg der Radonkonzentration in allen Gebäudeteilen.

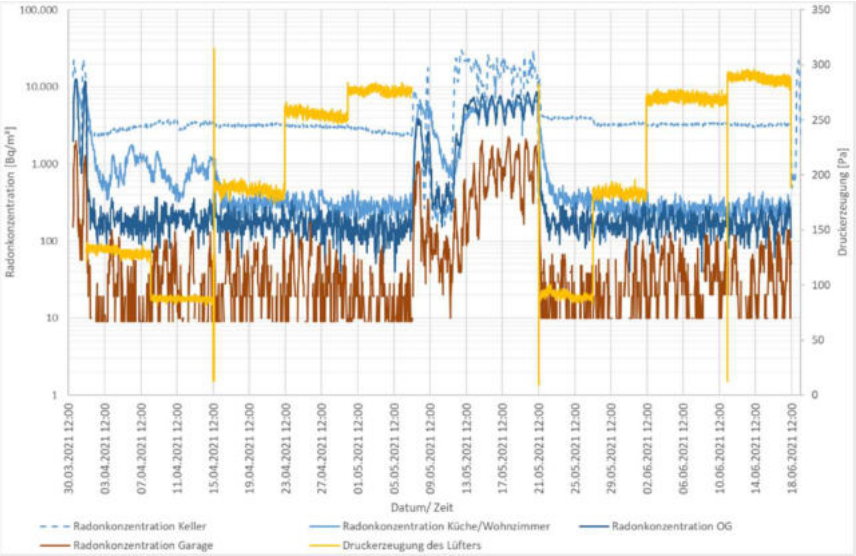


Abbildung 10: Zeitlicher Verlauf der Radonkonzentrationen im Gebäude im Verlauf der Lüfterversuche

Tabelle 1 und Tabelle 2 fassen die Eckdaten und Mittelwerte der Radonkonzentrationen der Versuchsphasen 1 und 2 zusammen und geben die statische Druckerzeugung des Lüfters sowie den im Keller gemessenen statischen Unterdruck gegenüber der freien Atmosphäre

an. Die Tabellen enthalten die Radonkonzentrationen des Messpunktes Wohnzimmers/Küche ($C_{Rn\text{-}222,WoZi}$), Abstellraum Obergeschoss ($C_{Rn\text{-}222,OG}$) und in der Garage ($C_{Rn\text{-}222,Gar}$). Dabei kann bereits festgestellt werden, dass nach erfolgter Durchbohrung der Kellerwand in den nicht unterkellerten Bereich bereits ein deutlicher Unterschied im Verlauf der Radonkonzentration zu beobachten ist. Bei einem Unterdruck im Keller von -10 Pa ist die Radonkonzentration im Erdgeschoss in Phase 1 (ohne Bohrungen) noch gut doppelt so hoch wie in Phase 2.

Tabelle 1: Mittlere Radonkonzentration im Wohnzimmer während der Versuchsphase 1

Datum	01.04. bis 08.04.	08.04. bis 15.04.	15.04. bis 23.04.	23.04. bis 07.05.
$p_{Druckerz}$	130 Pa	85 Pa	170 Pa	255 - 275 Pa
p_{Diffdr}	-20 Pa	-10 Pa	-30 Pa	-40 Pa
$C_{Rn\text{-}222,WoZi}$	1.205 Bq/m³	776 Bq/m³	347 Bq/m³	290 Bq/m³
$C_{Rn\text{-}222,\ OG}$	200 Bq/m³	197 Bq/m³	189 Bq/m³	157 Bq/m³
$C_{Rn\text{-}222,\ Gar.}$	22 Bq/m³	31 Bq/m³	31 Bq/m³	26 Bq/m³

Tabelle 2: Mittlere Radonkonzentration im Wohnzimmer während der Versuchsphase 2

Datum	21.05. bis 27.05.	27.05. bis 02.06	02.06. bis 18.06.
$p_{Druckerz}$	90 Pa	180 Pa	270 - 290 Pa
p_{Diffdr}	-10 Pa	-20 Pa	-33 bis -30 Pa
$C_{Rn\text{-}222,Wozi}$	425 Bq/m³	269 Bq/m³	262 Bq/m³
$C_{Rn\text{-}222,\ OG}$	214 Bq/m³	171 Bq/m³	177 Bq/m³
$C_{Rn\text{-}222,\ Gar.}$	25 Bq/m³	24 Bq/m³	39 Bq/m³

Der in Abbildung 10 dargestellte Verlauf der Radonkonzentrationen im Wohnbereich wird generell durch die Ergebnisse in der Garage und im Obergeschoss untermauert. Zur besseren Vergleichbarkeit und Darstellbarkeit und auch aufgrund der höheren Ausgangswerte im Wohnzimmer wird für die Auswertung des Lüfterversuches der Fokus auf die Radonkonzentrationen im Erdgeschoss und, wenn erforderlich, im Keller gelegt.

Das Diagramm in Abbildung 11 stellt den zeitlichen Verlauf der Differenzdrücke zwischen den einzelnen Gebäudeteilen und der Außenluft und der Druckerzeugung dar. Der Betrag der Druckdifferenz zwischen

Atmosphäre und Wohnzimmer beträgt im Mittel nur 2 Pa, wobei die Druckdifferenz zwischen Keller und Wohnzimmer nahezu identisch ist mit der Druckdifferenz zwischen Keller und Atmosphäre. Die provisorische Abdichtung des Kellers kann daher als gelungen angesehen werden.

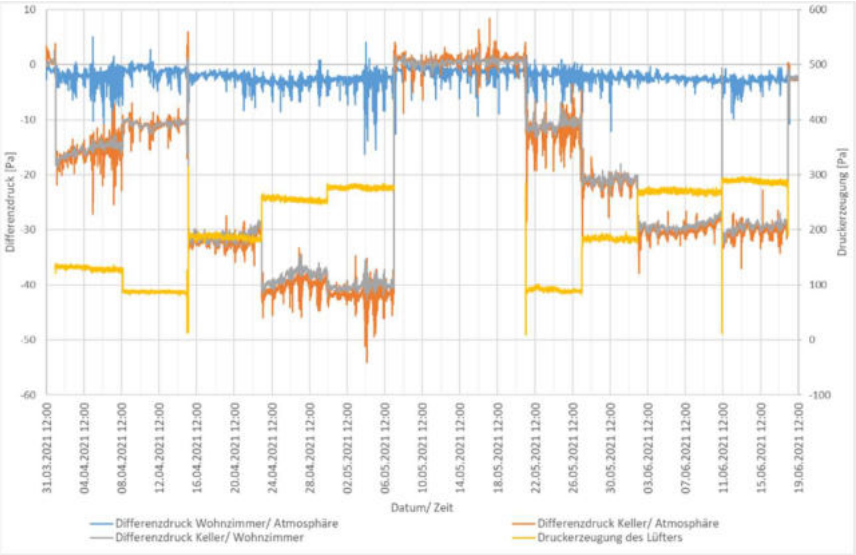


Abbildung 11: Druckerzeugung des Lüfters und Differenzdrücke während der Versuchsphasen 1 und 2

Im Zeitraum der Lüfterabschaltung kam es im Keller zur Herausbildung eines geringen Überdruckes von durchschnittlich 0,7 Pa. Dieser Überdruck herrscht ebenso im Untergrund. Er ist das Resultat des natürlichen Auftriebs und bewirkt in diesem Zeitraum eine Radonkonvektion aus dem Untergrund heraus in den Wohnbereich.

Abbildung 12 veranschaulicht noch einmal den Verlauf der Druckerzeugung, des Differenzdruckes zwischen Keller und Atmosphäre und der resultierenden Radonkonzentrationen im Keller und im Wohnzimmer. Die Erhöhung der Druckerzeugung auf 275 Pa in der Phase 1 und auf 290 Pa in Phase 2 führt nicht zu einer merklichen Verstärkung des Unterdruckes.

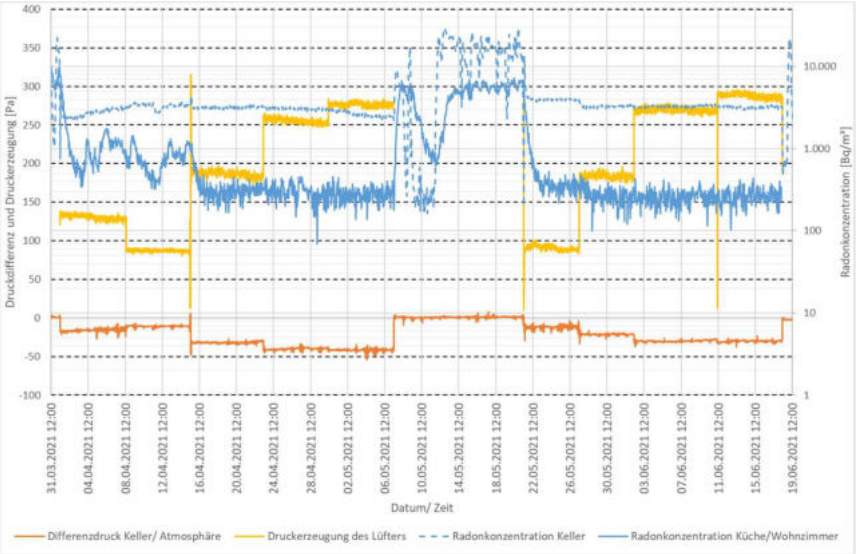


Abbildung 12: Zeitliche Darstellung des Druckverlaufs und Verlaufs der Radonkonzentrationen in der Wohnung und im Keller

Die Ergebnisse der statistischen Auswertung der Radonkonzentration im Wohnzimmer für die einzelnen Versuche sind in Form von Box-Whisker Diagrammen in Abbildung 13 wiedergegeben und machen die Unterschiede in den Messergebnissen und deren Streuung zwischen den Versuchsphasen sehr deutlich. In Phase 2 konnten bei einem Unterdruck von -30 Pa sehr gute Ergebnisse erzielt werden. Tabelle 3 fasst die einzelnen Handmessungen des Luftvolumenstroms in der Versuchsphase 1 und 2 zusammen. Bei einer erzielten Druckdifferenz zwischen Keller und Atmosphäre von -20 Pa und -30 Pa ist der Volumenstrom der Phase 2 unter vergleichbaren Messbedingungen um rund 45 % höher. Durch die 4 Bohrungen nimmt die Undichtigkeit des Systems zu und über die Bohrlöcher ziehen etwa 0,024 m^3/s radonbelastete Wetter aus dem Untergrund in den Keller ein. Die Luftströmungen wurde zudem mit Dräger Strömungsprüfröhrchen bei laufendem Lüfter nachgewiesen.

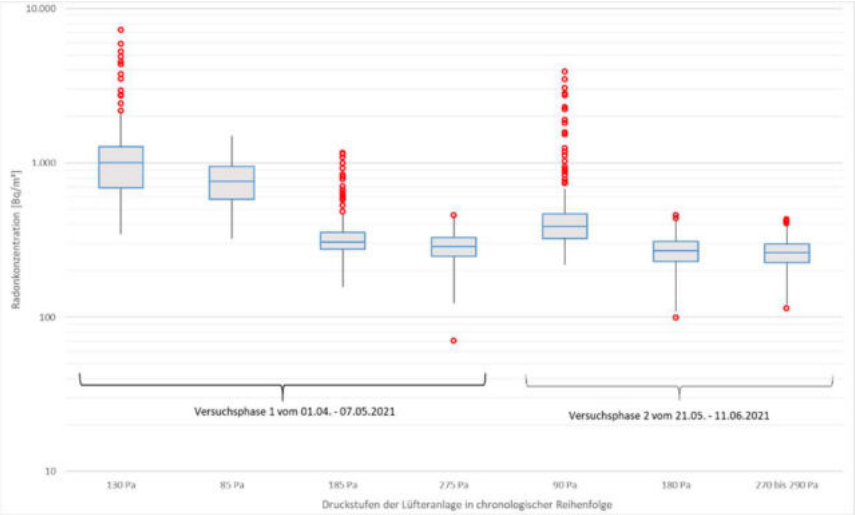


Abbildung 13: Box-Whisker Darstellung der Messergebnisse der Radonkonzentration während der einzelnen Druckstufen in beiden Versuchsphasen

Tabelle 3: Ergebnisse der einzelnen Messungen des Volumenstroms

Versuchsphase	Druckerzeugung Δp_{Druck}	Druckdifferenz Δp_{Diff}	Volumenstrom Q
Phase 1	130 Pa	-20 Pa	0,174 m³/s
	170 Pa	-30 Pa	0,219 m³/s
Phase 2	90 Pa	-10 Pa	0,172 m³/s
	180 Pa	-20 Pa	0,254 m³/s
	270 Pa	-30 Pa	0,316 m³/s

Für die Dimensionierung der Radondrainage wird basierend auf den Messergebnissen ein Differenzdruck von -30 Pa am Eintritt der Mauerbohrungen als hinreichend angesehen. Die entsprechenden Werte der Druckerzeugung und des Volumenstroms werden als Berechnungsgrößen veranschlagt.

4 Planung einer Radonsanierung und Überwachung

4.1 Auslegung und Umsetzung

Grundlage für die Auslegung der Radondrainage sind die zuvor beschriebenen Ergebnisse aus den Versuchen. Die bereits gesetzten Bohrungen wurden aufgeweitet und vertieft und durch ein weiteres Bohrloch ergänzt. Anschließend wurde ein Rohrleitungssystem aus KG-Rohren als Sammelleitung eingebunden und über eine Bohrung durch die Außenwand zu einem Ableitrohr geführt. Ein entsprechend dimensionierter Rohrlüfter setzt das Rohrleitungssystem und den nicht unterkellerten Bereich des Gebäudes unter Unterdruck.

Für die Dimensionierung des Rohrleitungssystems und des Lüfters wird die Zielgröße von -30 Pa als Differenzdruck zwischen Rohrleitung am Eintritt der Mauerbohrungen und Atmosphäre angesetzt. Für diese Zielgröße wird ein Sicherheitsfaktor von S= 1,5 pauschal veranschlagt. Daraus ergibt sich eine Druckdifferenz von p_{Diff_S}=-45 Pa.

Die Abstände der Bohrlöcher und die Maße des Kellers geben die wesentlichen Größen des möglichen Rohrleitungssystems vor. Aus den Ergebnissen der Lüfterversuche lassen sich weitere Kenngrößen ableiten. Der Luftvolumenstrom zur Berechnung des Systems ergibt sich aus den über die einzelnen Bohrlöcher zutretenden Volumenströmen. In Versuchsphase 2 zogen bei einem Unterdruck von -30 Pa über die 4 Bohrlöcher in Summe 0,097 m^3/s, also etwa 0,024 m^3/s an jedem einzelnen Bohrloch. Für 5 geplante Bohrlöcher ergibt sich ein Luftvolumenstrom von Q_{ges}= 0,12 m^3/s.
Zusammengefasst ergeben sich die Zielgrößen:

- Q_{ges}= 0,12 m^3/s
- p_{Diff_S}=-45 Pa

Die Berechnungsgrundlage bildet die Bestimmung der einzelnen Strömungswiderstände über die Druckverluste im Rohrleitungssystem. Aus dem Gesamtströmungswiderstand lässt sich eine äquivalente Systemweite $A_{äqu}$ [m^2] berechnen und damit eine mögliche Systemkennlinie ableiten, welche mit der Lüfterkennlinie abgeglichen werden können, welche durch den Hersteller angegeben wird. Die äquivalente Systemweite ist der Flächeninhalt einer gedachten kreis-

förmigen Öffnung einer dünnen Blende, welche einem Lüfter denselben Widerstand wie das Gesamtsystem entgegensetzt. Für die Berechnungen sind verschiedene Kennwerte aus der Literatur erforderlich. [2], [3]

Zur Auslegung und späteren Erprobung wurde den Berechnungen die Lüfterkennlinien der Rohrlüfter der Reihe TD-SILENT ECOWATT zugrunde gelegt. [4]

Berechnungen wurden für verschiedene Rohrinnendurchmesser durchgeführt, wobei KG DN 150 mm aufgrund der begrenzten Platzverhältnisse im Keller als noch sinnvoll umzusetzende Obergrenze eingeschätzt wurde. Widerstände wurden für verschiedene Durchmesser berechnet (DN 100 mm, 125 mm und 150 mm). Die resultierenden Widerstände bei kleineren Durchmessern als DN 150 sind für die projektierten Rohrlüfter zu groß und die Zielkriterien wurden rechnerisch nicht erfüllt. Aus diesem Grund wurde für die Umsetzung DN 150 mm gewählt.

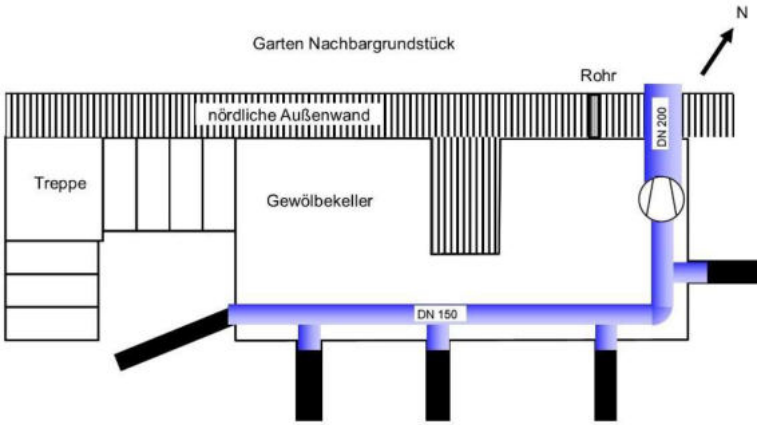


Abbildung 14: Rohrleitungssystem der Drainage im Keller

Abbildung 14 veranschaulicht schematisch das geplante Rohrleitungssystem der Drainage im Keller mitsamt den eingebundenen Bohrungen in den nicht unterkellerten Bereich. Anschließend wurde eine Erprobung der Drainage mit dem vorhandenen Lüfter vom Typ

TD-500/150 SILENT ECOWATT durchgeführt. Dies diente der Überprüfung der realen Kennlinien und der finalen Festlegung der Lüfterkennwerte für dessen Beschaffung. Dieser Probebetrieb und die fertige und eingebundene Drainageleitung sind in Abbildung 15 dargestellt.

Abbildung 15: Probebetrieb mit Versuchslüfter

Das Ergebnis der Messungen am Versuchslüfter ist in Abbildung 16 dargestellt. Dabei wird die zuvor berechnete Systemkennline (für A= 0,01397 m^2) für den Betriebspunkt mit der Zielgröße Q_{ges}= 0,12 m^3/s der realen Kennlinie aus den Messungen (A= 0,01171 m^2) gegenübergestellt.

Dargestellt wird auch die aus den Produktdatenblättern entnommene Lüfterkennlinie des Rohrlüfters TD 500/150 ECO Silent bei einem Betrieb auf maximaler Stufe (10 V), was einer Eingangsleistung von 39 W entspricht. Erreicht wurden dabei Q_{real}= 0,115 m^3/s, wobei ein Differenzdruck zwischen Bohrlocheintritt und Atmosphäre von p_{Diff}= -25 Pa gemessen wurde.

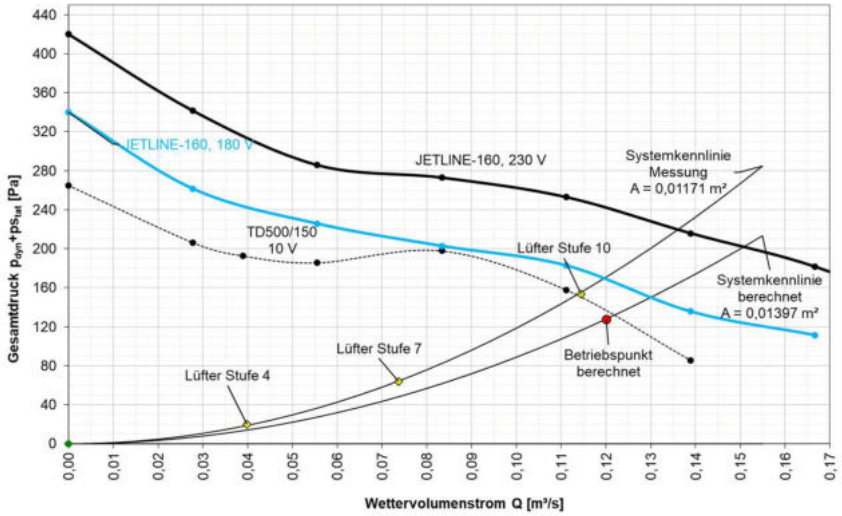


Abbildung 16: Anlagen- und Lüfterkennlinie der Radondrainage

Zum Erreichen der Zielvorgabe ist der ebenso dargestellte Rohrlüfter JETLINE-160 der Firma S&P geeignet. Dieser erreicht bei gedrosseltem Betrieb mit einer Eingangsleistung von etwa 60 W einen Volumenstrom von Q= 0,12 m^3/s. [5] Der ausgewählte Rohrlüfter S&P JETLINE-160 wird bei einer Spannung von 180 V betrieben und verfügt über eine ausreichend große Leistungsreserve.

4.2 Radonsituation im Gebäude nach der Sanierung

Das Wohngebäude ist auch nach erfolgter Radonsanierung Teil eines Messprogramms und es erfolgen zeitaufgelöste Messungen der Radonkonzentrationen im Keller und im Wohnzimmer. Das Diagramm in Abbildung 17 stellt den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration im Wohnzimmer als Tagesmittelwerte seit Inbetriebnahme der Radondrainage am 27.08.2022 dar. Der saisonale Charakter des Verlaufs der Radonkonzentration ist noch erkennbar, allerdings beträgt der Mittelwert der Radonkonzentration im Zeitraum August 2022 bis Januar 2025 nur noch 258 Bq/m^3.

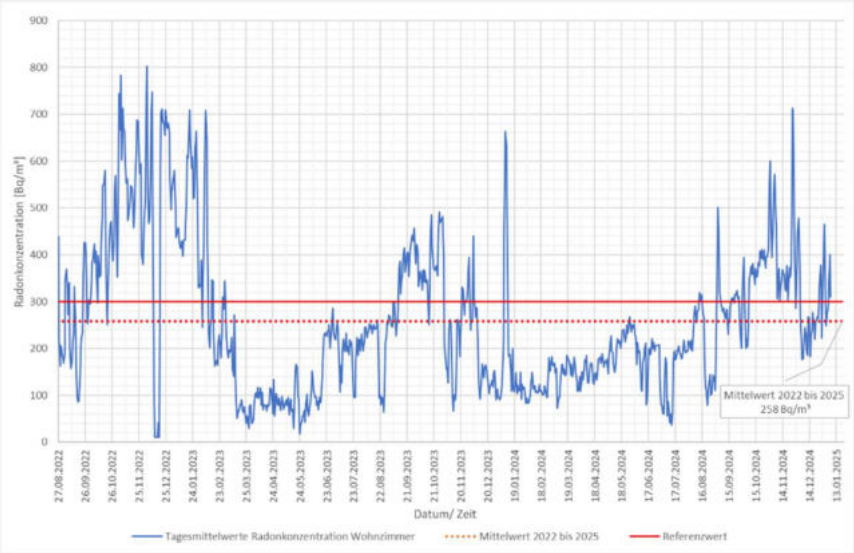


Abbildung 17: Zeitliche Verlauf der Radonkonzentration im Wohnbereich seit Inbetriebnahme der Radondrainage August 2022

5 Wesentliche Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Das untersuchte und sanierte Gebäude befindet sich im Ausbissbereich eines stark gebauten Erzganges König David Stehender. Ein Grubeneinfluss ist nicht eindeutig nachgewiesen, kann aber nicht ausgeschlossen werden. Erstuntersuchungen ergaben stark erhöhte Radonkonzentrationen im gesamten Gebäude, auch im Wohnbereich. Dabei ermittelte Radonkonzentrationen lagen im Mittel bei etwa 8.700 Bq/m³. Als mögliches Quellgebiet wurde der mit Haldenmaterial aufgeschüttete Untergrund erkannt. Angesichts der sehr hohen Radonkonzentrationen wurden weitere Untersuchungen im Gebäude veranlasst und auf Grundlage der Ergebnisse eine Radondrainage geplant.

Diese Drainage setzt am nicht unterkellerten Bereich des Gebäudes als Radonquellgebiet an. Über Bohrungen und ein Rohrleitungssystem wird durch einen saugenden Rohrlüfter ein Unterdruck im nicht

unterkellerten Bereich des Gebäudes angelegt. Lüfter und Rohrleitungssystem wurden entsprechend der Messergebnisse der Versuche ausgelegt.

Die Inbetriebnahme der Radondrainage erfolgte im August 2022 und hatten eine deutliche Senkung der Radonkonzentrationen zur Folge. Seither liegen die die Radonkonzentrationen im Wohnbereich auf einem hinreichend niedrigen Niveau und der Referenzwert von 300 Bq/m³ wird im Jahresmittel unterschritten. Durch die Maßnahmen konnte die mittlere Radonkonzentration von etwa 8.700 Bq/m³ auf rund 260 Bq/m³ reduziert werden, was einer Senkung von 97 % entspricht.

6 Literaturverzeichnis

[1] „Mineralienatlas, Grube König David," Geolitho Stiftung gemeinnützige GmbH, [Online]. Available: https://www.mineralienatlas.de/index.php. [Zugriff am 05 03 2025].

[2] Roschlau/Heintze, Wissensspeicher Bergbau, Leipzig: VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, 1986.

[3] A. Schweizer, „Zeta Werte von Rohrleitungskomponenten," [Online]. Available: https://www.schweizer-fn.de/zeta/start_zeta.php. [Zugriff am 05 03 2025].

[4] S&P, *Produktdatenblatt Ultra-Quiet Circular Duct Fans TD-Silent ECOWATT Series,* S&P Soler & Palau Ventilation Group, 2021.

[5] S&P, *Produktdatenblatt Rohrventilatoren JETLINE,* S&P Soler & Palau Ventilation Group, 2022.

Praxisbericht: Gebäude mit einem hohen Anteil der Radonaktivitätskonzentration aus den Baustoffen

Heiko Herold[1)]

Richard Zinken[2)]

[1)] GROUND-LOG Geowissenschaftliche Dienstleistungen, Rehau

[2)] RADEA Stammhaus GmbH, Hilpoltstein

Zusammenfassung

Die Grundlage für eine erfolgreiche Radonsanierung in Bestandsgebäuden ist stets eine gründliche Analyse des Gebäudes. Hierzu gehört eine Untersuchung der Konstruktionsdetails (welche nicht immer zeichnerisch festgehalten sind), eine Messung der Radonkonzentration in der Raumluft und die Ermittlung des Radon-Eindringverhaltens. Die Exhalation von Radon aus dem Baumaterial ist in den meisten Gebäuden im Vergleich zum konvektiven Eintrag von Radon-haltiger Bodenluft untergeordnet. Im Rahmen der bisherigen Projekte sind mehrere Objekte aufgefallen, bei denen die Höhe der Radonbelastung insbesondere in den oberen Stockwerken durch den konvektiven Eintritt in das erdberührende Geschoss und den weiteren Transport Radon-haltiger Luft in die oberen Etagen nicht erklären ließ. Die Ursachen wurden genauer untersucht, um diese im Rahmen weiterer Projekte im Rahmen der Gebäudeanalyse berücksichtigen zu können.

1 Systematische Gebäudeanalyse

Das Ziel der systematischen Gebäude-Analyse ist es, die Wirkmechanismen und Ursachen der Radonproblematik eines Gebäudes mit umfangreichen Messungen im Vorfeld genau zu bestimmen und einzugrenzen. Diese Vorgehensweise wird zu einem vergrößerten Leistungsumfang im Bereich der Voranalyse und damit auch zu gewissen Kosten in diesem vorgelagerten Prozessschritt führen. Die Erfahrung aus über 850 Sanierungen zeigt aber, dass dieser erhöhte Aufwand in der Analyse zu einer Kosten-Einsparung im Rahmen der Sanierung führen kann, die einem Vielfachen der Analysekosten entsprechen

können. Gleichzeitig wird erst auf diese Weise eine signifikant erhöhte „Prozesssicherheit“ in der Fachplanung und im Ergebnis der Sanierung erreicht.

Trial-and-Error kann auch zum Ziel führen – aber das ist nicht unser Anspruch.

1.1 Untersuchung des Gebäudes und Bewertung der Bausubstanz

Die detaillierte Analyse eines Gebäudes setzt umfangreiche Kenntnis der Bauweisen der unterschiedlichen Bauepochen voraus. Ohne dieses Fachwissen fehlt das für ...

1.2 Messung der Radonkonzentration in der Raumluft

Die Ermittlung von durchschnittlichen Radonkonzentrationen in Aufenthaltsräumen ist für die Belastung der Gebäudenutzer relevant. Diese Messung erfolgt in der Regel auf der Ebene von Konformitätsbereichen gleicher Nutzung. Diese Daten sind für die Bestimmung erforderlicher Sanierungsmaßnahmen nicht ausreichend. Hier ist vielmehr eine gleichzeitige Messung in allen erdberührenden Räumen und darüber hinaus noch in Räumen weiterer Geschosse des Gebäudes erforderlich. Die Vorgehensweise dazu setzt eine entsprechende Anzahl von zeitauflösenden Messgeräten zur Bestimmung der Radonkonzentration und eine homogene Ausgangssituation (z.B. sehr gut belüftet) in allen Räumen voraus. Die nach einer definierten Zeit erreichten Radonkonzentrationen in den einzelnen Räumen haben nur bedingt mit den in einzelnen Räumen bekannten Jahresmittelwerten zu tun, geben aber einen deutlichen Hinweis auf die Relevanz einer weiteren Untersuchung in den jeweiligen Räumen.

1.3 Weitere erforderliche Messungen

Die Ermittlung der Eintrittspfade und auch die Radonkonzentrationen an diesen Eintrittsstellen erfordert eine gründliche und geradezu akribische Vorgehensweise. Die Verteilung dieser Werte in einem Gebäude ist ein wichtiger Hinweis für die spätere Auswahl und die Auslegung der Sanierungslösung.

Neben dieser Messung setzen wir weitere Messverfahren ein, um die Erkenntnisse der zuvor beschriebenen Messungen abzusichern. Beispielhaft sei die Bestimmung der Bodenluftkonzentration an definierten Stellen mittels Sondierungsbohrungen unter der Bodenkonstruktion des Gebäudes genannt.

2 Radonmessungen an Wandaufbauten

Neben der Messung des Radoneintritts über ein konvektives Eindringen von Bodenluft wird in vielen, insbesondere älteren Gebäuden, ein erheblicher Anteil des Radons über die Wandoberflächen eingetragen. In diesen Gebäuden fällt zunächst auf, dass die Radonkonzentration in der Raumluft nicht vom Untergeschoss zu den Obergeschossen signifikant abnimmt – sondern in einigen Fällen sogar zunimmt. Hierzu wurde in diesen Gebäuden näher untersucht, wie dieser Effekt zustande kommt und es wurden zwei gänzlich unabhängige Ursachen festgestellt.

2.1 Konvektiver, vertikaler Radontransport Transport in den Wänden

Dieser Effekt wurde bei historischen Gebäuden bereits mehrfach untersucht und messtechnisch nachgewiesen. Die Radonkonzentration in teilweise sehr dicken Naturstein, aber auch Ziegelstein-Wänden entspricht dabei nahezu der Bodenluftkonzentration. Selbst im zweiten Obergeschoss wurden konvektiv eintretende Radonkonzentrationen von teilweise über 100kBq/m^3 nachgewiesen. Ein wesentlicher erkannter Transportweg ist dabei in „Auffüllungen“ erkannt worden (s. Abb. 1). Dieser Effekt kann an Außenwänden, aber auch an Innenwänden historischer Gebäude auftreten.

Der Effekt ist dabei aber nicht auf sehr alte Gebäude begrenzt, sondern insbesondere an Stampfbeton-Gebäuden aus der Gründerzeit und in Regionen mit Verwendung von Bims-Hohlblock-Steinen auch an Gebäuden bis Baujahr ca. 1980 erkannt worden.

Insbesondere die Auflager-Bereiche von Holzbalkendecken sind in der Regel nicht zur Gebäude-Innenseite hin abgedichtet, so dass dort Radon in erheblichem Maß eindringen kann.

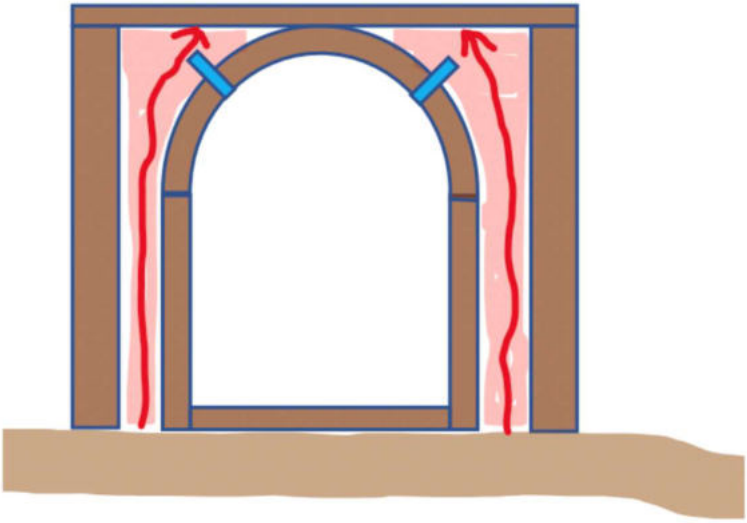


Abbildung 1: Schematische Skizze zum konvektiven Radontransport am Beispiel eines Gewölbe-Kellers

Ein wichtiges Detail der Radonmessung in solchen Auffüllungen ist die differenzierte Radfon-Thoron-Messung.

2.2 Radon-Exhalation aus dem Baumaterial

In anderen Gebäuden konnte kein konvektiver, vertikaler Transport von Radon-haltiger Bodenluft in den Wänden nachgewiesen werden. Dennoch zeigte sich in einigen Gebäuden nach Inbetriebnahme einer Unterdruck-Haltung unter der Bodenplatte (vgl. das ANSI-AARST – SSD – sub slab depressurization – Verfahren) eine verbleibende Radonkonzentration, die noch über dem Referenzwert lag. Durch eine Überprüfung der Wirksamkeit der SSD-Anlage mittels Unterdruck-Messung konnte festgestellt werden, dass die verbleibende Radonkonzentration nicht auf etwa verbleibenden Eintrag radonhaltiger Bodenluft zurüchzuführen sein konnte.

Entgegen bisherigen Berichten konnte in diesen Fällen eine teils erhebliche Radon-Emanation aus den Baumaterialien selbst und eine Exhalation dieses Gases in den Raum nachgewiesen werden.

Folgende Faktoren tragen dazu bei, dass diese Radon-Exhalation eine kritische Höhe erreichen kann:

- Radionuklidkonzentration des verwendeten Baustoffes
- Radonfreisetzung aufgrund flächenspezifischer oder massenspezifischer Radonexhalationsrate
- Die „Wandspezifische Exhalationsrate“

Diese Faktoren und deren Relevanz werden von Prof. H. von Philipsborn et al. [1] beschrieben. Es werden hier Messmethoden vorgestellt, die auch vor Ort in Gebäuden durchgeführt werden können. Bei der Bestimmung der Radonfreisetzung aus Baustoffen sind für deren Zulassung aufwendige Messungen im Labor nach standardisierten genormten Verfahren nötig. Dr. Oliver Jahn et al. [2] „Entwicklung einer praxisnahen Prüfmethode zur Bestimmung der Radon-Exhalation aus Bauprodukten“ zeigen in ihrem Forschungsbericht, wie aufwendig sich diese Messungen gestalten können. Bei Messungen zur Abschätzung der Radonexhalation aus der Wandfläche sind derart genaue Messungen auch nicht nötig.

Labormessungen, wie im Forschungsbericht von Dr. Oliver et al. dargestellt, sind in dieser Form in Bestandsgebäuden nicht durchführbar. In der Regel wird es auch schwierig sein, gerade in historischen Gebäuden eine Probe aus dem Natursteinmauerwerk zu gewinnen. Die Radionuklidkonzentration in Natursteinen ist meist auch sehr heterogen verteilt, weshalb die Messung einer Einzelprobe nur eine Abschätzung des Potenzials zulässt, wie stark der Einfluss der Exhalation von Radon aus der Natursteinwand im gesamten Gebäude ist.

Da die Exhalationsrate bei Natursteinen vom Verhältnis Oberfläche zu Masse, sowie der Porosität des Gesteins abhängt, sollte auch der Aufbau der Mauer untersucht werden, falls dies bei verputztem Mauerwerk überhaupt möglich ist. Wurden eher große meist gleichförmige Quader bis in obere Stockwerke verwendet, oder wie in alten Bauernhäusern nur im unteren Bereich bis ein Meter Höhe große Blöcke verbaut und nach oben eher mit kleinen Steinen verjüngt. Dies ist an verputzten Wänden oft nicht feststellbar. Daher ist eine Abschät-

zung der Radonexhalation aus der Wand in die Raumluft maßgeblich- von der „wandspezifischen Exhalationsrate“ an der Oberfläche des Putzes abhängig.

Die Radonexhalation von der Wand ins Gebäude ist auch abhängig vom Druckgefälle der Wände zur Innen- und Außenseite. Einen weiteren Einfluss hat auch die Gestaltung der Außenwände. Sind diese verputzt oder wie bei vielen historischen Gebäuden naturbelassen. Durch verschiedene In-Situ Messungen muss daher festgestellt werden, liegt konvektiver Transport aus dem Untergrund, Exhalation aus dem Baustoff oder beides in einem Verhältnis vor.

Abbildung 2: Wandaufbau Bauernhaus Fichtelgebirge

2.3 Unterscheidung von konvektivem Transport und Exhalation

Zur sicheren Unterscheidung der beschriebenen Mechanismen unter 2.1 und 2.2 wurden verschiedene Messungen und Messverfahren vorgenommen. Diese Messverfahren sind nicht geeignet für eine wissenschaftlich genaue Bestimmung von Material-Kennwerten. Liegt der Verdacht vor, dass Radon in nicht unerheblicher Weise über die Wände ins Haus eindringt, sollte von Beginn der Untersuchung an das Ziel sein festzustellen, ob das Radon aus dem Untergrund konvektiv in den Wänden aufsteigt oder evtl. direkt in der Natursteinwand, z.B. aus Graniten oder Sandsteinen, emaniert.

Bei einer gemeinsamen Sanierungsmaßnahme von RADEA Stammhaus GmbH und Ground-LOG an einem Gebäude im Landkreis Wunsiedel wurden die in Abschnitt 2.2 beschriebenen auffälligen Messwerte nach Einbau einer SSD-Anlage festgestellt. Das erst kürzlich komplett renovierte Gebäude ohne Keller wurde auf den ehemaligen Mauerresten eines Bauernhofes gegründet. Es war auch der Wunsch des Kunden, so gering wie möglich in die Bausubstanz einzugreifen. Eine Erkundungsbohrung auf 2m Tiefe im Heizungsraum ergab, dass zur Gründung die Bereiche zwischen den ehem. Kellerräumen mit Schotter aus feinkörnigem Granit verfüllt waren. Darunter befanden sich sandige, kiesige und tonige quartäre Talsedimente. Wegen anstehenden Grundwassers bei 1,30m wurde das Bohrloch bis 1,0m abgedichtet und von 1,0m bis zur Bodenplatte zum Radonbrunnen ausgebaut. Ein weiterer Absaugpunkt ergänzte den Radonbrunnen mit einer 45-Grad Schrägbohrung, ebenfalls vom Heizungsraum ausgeführt. Diese Bohrung war notwendig, da eine massive Mauer im Untergrund die gleichmäßige Vakuumausbreitung in diesem Bereich störte. Nach Inbetriebnahme der Anlage verbesserten sich die Werte im Erdgeschoß deutlich, blieben aber im Obergeschoß hoch.

Zwischenzeitlich wurde festgestellt, dass das gesamte Gebäude mit Granitsteinen aus dem naheliegenden Steinbruch „Fuchsbau“ erbaut wurde. Dieser sehr helle mittelkörnige Granit ist auch unter dem Namen Zinngranit bekannt. Bei diesen Randgraniten handelt es sich um Spätintrusionen, in denen sich gerade die Mantelinkompatiblen Elemente wegen ihres Ionenradius stark anreichern. Zu diesen gehören

auch die Elemente Uran und Thorium. Bei Radonmessungen an Quellen von 2002-2007, während meiner Tätigkeit am BayLfU, in diesem Bereich, gaben schnelle Abklingkurven der Wässer einen Hinweis auf hohe Thorongehalte. Uran und Thorium wurde an diesen Quellen Massenspektrometrisch bei der Spurenelementanalyse gemessen. Heute habe ich auch nur auf Anfrage begrenzt Zugriff auf die von mir erhobenen Daten. Dennoch waren diese geologischen Vorkenntnisse der Ideengeber zur Vorgehensweise bei den Messungen und den eingesetzten Messmethoden.

2.4 Screening Messungen im Mauerwerk

Im ersten Schritt sind für ein Screening der Wände kleine Sondierungsbohrungen in Wandaufbauten auszuführen. Kernbohrungen mit kleinem Durchmesser können sicher bessere Erkenntnisse über die Struktur der Wand liefern, sind aber auch ein deutlich massiver Eingriff in die Bausubstanz. In der Regel sind kleine Sondierungsbohrungen zur Feststellung des Aufbaus und des Zustandes des Natursteinmauerwerks ausreichend. In diese Löcher können Silikonschläuche eingeführt und Messungen direkt in der Wand vorgenommen werden. Die Messungen wurden alle mit Radon-Thoron-Diskriminierung durchgeführt. Gemessen wurde mit dem RTM 1688 von Sarad. An verschiedenen Punkten vom Erdgeschoss aufsteigend bis ins Dachgeschoss wurde die Radon-Thoron-Konzentration direkt in der Wand gemessen.

2.5 Messung von Proben im geschlossenen System

Bei einer Bohrung im geologisch ungestörten Umfeld des Gebäudes (ca. 10m Abstand) sollte bei einer Bodenluftmessung in ein Meter Tiefe mit einer Packersonde ebenfalls die Radon-Thoron-Konzentration bestimmt werden. Durch die hohe Permeabilität der Sedimente im Bereich des Packers war die Messunsicherheit durch angesaugte Oberflächenluft leider zu groß. Eine Sedimentprobe aus dieser Tiefe konnte, abgefüllt in einem 1-Liter-PE-Becher, entnommen werden.

Eine weitere Probe wurde aus einem Steinhaufen eines ehem. eingerissenen Gebäudeteils entnommen. Hier reichte die Probenmengen zum Befüllen eines 5-Liter_PE-Eimer. In den Deckel der Gefäße wurde

ein Einlass- und ein Auslass Schlauch eingeklebt, die Gefäße verschlossen und an den RTM zur Messung angeschlossen.

Abbildung 3: Wandprobe und Messung Bodenprobe

2.6 Bestimmung der Radon-Thoron-Exhalation an einer verputzten Natursteinwand mit einem Sammler für Zu- und Abluftanschluss.

Der eingesetzte Sammler wurde ursprünglich von der Firma UGT für Permeabiltätsmessungen an der Oberfläche von Böden entwickelt. Aufgrund seiner scharfen Unterkante kann er, mit Dübeln verschraubt, dicht an der Wand angebracht werden. Bei rauen Untergründen kann zusätzlich mit Fensterkitt abgedichtet werden. Der Sammler wird am RTM 1688 angeschlossen und im Pumpendauerbetrieb im Kreislauf gemessen.

Ziel der Messung ist lediglich der Nachweis eines nicht unerheblichen Radoneintrages am verputzen Mauerwerk. Das Radon-Thoron Verhältnis kann einen Hinweis zur Entfernung der Quelle des Radons liefern. Diese Messungen eignen sich nicht für eine Berechnung einer zu erwartenden Radonaktivitätskonzentration der Luft in diesem Raum.

Abbildung 4: Radonsammler Abmessungen Sammler: Ø: 7,5cm h: 3,5cm V = 154,55 cm³

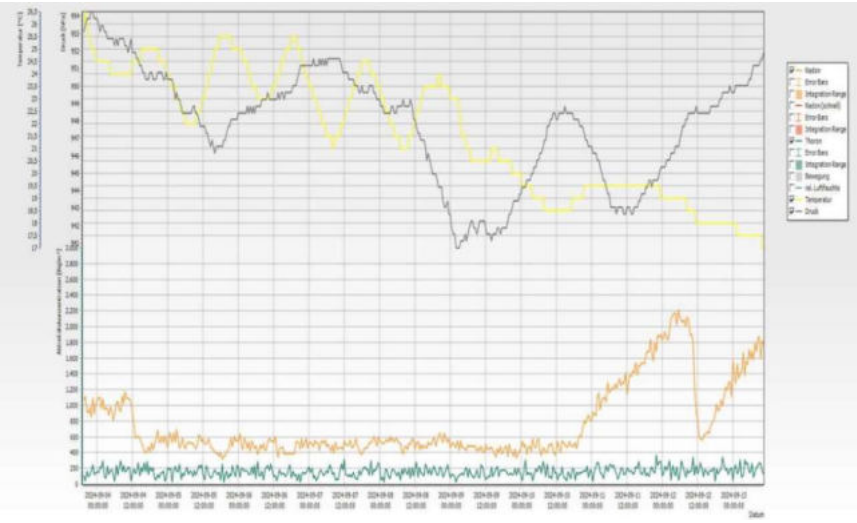


Abbildung 5: Messung mit Radonsammler (3.9.24-19.9.24)

2.7 Messergebnisse und Interpretation.

Zur besseren Übersicht sind die Messergebnisse als Einzelwerte tabellarisch zusammengestellt. Die Messpunkte (Aufsteigend von Bodenluft, EG, 1.OG, Dachgeschoß und Proben) sind zur leichteren Zuordnung farblich unterlegt.

Tabelle 1: Messergebnisse

Datum/Uhrzeit	Messung	Rn222	Rn220 (Thoron)
03.09.2025 11:40	Abluft Absaugung	~9000 Bq/m³	~3500 Bq/m³
03.09.2025 14:40	Bohrung Packersonde	~7600 Bq/m³	~285 Bq/m³
08.10.2025 17:00	Bodenprobe 1L-Becher	~3800 Bq/m³	~1800 Bq/m³
03.09.2025 10:40	Sondierloch1 Außenwand EG	~510 Bq/m³	~8300 Bq/m³
03.09.2025 11:20	Sondierloch2 Außenwand EG	~440 Bq/m³	~4200 Bq/m³
03.09.2024 19:00	Wandsammler 1.OG	~1700 Bq/m³	~370 Bq/m³
03.09.2025 12:00	Sondierloch Fenster DG	~25900 Bq/m³	~7900 Bq/m³
30.08.2025 05:00	Wandprobe 5L-Eimer	~62400 Bq/m³	~3100 Bq/m³
07.10.2025 16:30	Wandprobe 5L-Eimer	~82300 Bq/m³	~3900 Bq/m³

Bei den Messungen am Gebäude fällt auf, das der sehr hohe Radon- und Thoron-Wert im Dachgeschoß gemessen wurde. Dieser Wert wurde weder in der Bodenluft gemessen noch an Messpunkten in darunter liegenden Stockwerken. Es wurde zwar am Sondierloch 1 im Erdgeschoß ein annähernd ähnlicher Wert festgestellt, aber in den verschiedenen Bodenluftmessungen lagen die Thoronwerte deutlich darunter. Auch keiner der Radon Bodenluftwerte erreichte den Spitzenwert im Dachgeschoß. Da weder in der Bodenluft noch in den darunter liegenden Stockwerken ein derart hoher Radonwert gemessen wurde ist dies schon ein deutlicher Hinweis, dass ein großer Anteil aus der Emanation in der Hauswand stammen muss. Der sehr hohe Thoron-Wert (vgl. Tab. 1) lässt aber darauf schließen, dass der überwiegende Teil aus dem Mauerwerk stammen muss. Aufgrund der sehr kurzen Halbwertszeit von Thoron (55s) spielt ein konvektiver Aufstieg aus der Bodenluft in diesem Fall eine untergordnete Rolle.

Das Ergebnis der Wandproben war allerdings erstaunlich. Die Messung im geschlossenen System liefen jeweils über mehrere Tage und in der Tabelle 1 ist jeweils der Spitzenwert dargestellt. Dieser Wert darf nicht repräsentativ für die Exhalation von Radon über die ge-

samte Gebäudewand verstanden werden, allein schon wegen der unter Kap. 2.3 beschriebenen heterogenen Nuklidverteilung. Diese Messung sagt lediglich aus, dass dieses Potenzial in der Wand anstehen kann.

Ähnliches gilt für die Wandmessung mit dem Sammler. Auch hier wurde schon darauf hingewiesen, dass diese Messung lediglich den Nachweis erbringen sollte, in welchen Größenordnungen mit flächigen Einträgen aus der verputzten Natursteinwand zu rechnen ist. Diese Methode ist in etwa vergleichbar mit der von Prof. H. von Philipsborn et al. [1] beschriebenen „Schwarze Loch Methode". Hier wird einfach eine radondichte Folie, mit einem in der Mitte für den Adsorber geschnittenem Loch, an der Wand dicht befestigt. Als Adsorber kann Aktivkohle, welches Radon und Thoron adsorbiert, oder Glasfaserfilter, welcher die Radontochternuklide adsorbiert, verwendet werden. Der Adsorber kann am Ende des Versuchs mit einem Alpha-Monitor gemessen werden. Dieser Versuch sollte nur erwähnt werden und zeigen, dass es manchmal mit einfachen u.v.a. günstigen Methoden möglich ist, reproduzierbare und für die entsprechende Fragestellung belastbare Ergebnisse zu erhalten.

Bei den im Forschungsbericht von Dr. Oliver Jahn et al. [2] „Entwicklung einer praxisnahen Prüfmethode zur Bestimmung der Radon-Exhalation aus Bauprodukten" beschriebenen Messungen in Prüfkammern wurde auf den Einfluss des Volumens der Prüfkammer im Verhältnis zur Masse der Probe hingewiesen. Wenn Radon nicht ungehindert in den „Quasi"-Unendlichen Raum entweichen kann ist vermutlich durch Rückstaueffekte mit Minderbefunden zu rechnen. Schon dieses Ergebnis zeigt, wie schon am Anfang des Kapitels darauf hingewiesen, dass die vorgestellten Methoden und Messverfahren nicht geeignet sind wissenschaftlich genaue Bestimmung von Material-Kennwerten zu ermitteln. Für die Berechnung einer möglichen Radonaktivitätskonzentration in der Raumluft des Gebäudes sind diese Methoden ebenfalls nicht ausreichend.

3 Geeignete Sanierungsverfahren bei erhöhter Radonkonzentration aus den Wänden

Wenn auf Basis der beschriebenen Messverfahren die Ursache der erhöhten Radonkonzentration bestimmt wurde, kann auch die erfolgversprechende Sanierungsmethode festgelegt werden. Da die Ursachen völlig unabhängig voneinander sind, ist die Auswahl des einen oder des anderen Verfahrens, wie im Folgenden beschrieben, dann auch eindeutig. Theoretisch könnten auch in einer Konstruktion beide Ursachen gleichzeitig auftreten, z.B. wenn eine zweischalig gemauerte Wand aus einem Material mit sehr hoher Radionuklidkonzentration und einem hohen Emanationskoeffizienten hergestellt wurde und gleichzeitig im inneren der Wand eine Schüttung mit hoher Permeabilität oder gar eine Luftschicht vorhanden ist.

3.1 Sanierungsempfehlung bei konvektivem Radontransport in Außenwänden

In diesem Fall handelt es sich um Radon-haltige Bodenluft, welche insbesondere bei historischen Gebäuden aus „zweischalig gemauertem“ Naturstein über die als Fundamente ohne Mörtel verlegten großen Steine in den darüber liegenden (mehr oder weniger gefüllten) Hohlraum eindringen kann.

Eine sehr wirksame Methode kann dann die Schaffung eines Unterdrucks im Bereich des Steinfundaments sein. Die Wirkungsweise kann unmittelbar mittels Differenzdruckmessung oder Radon-Sniffing-Messung an Kontrollbohrungen in der den konvektiven Radontransport erlaubenden Wand überprüft werden.

Eine Abdichtung der Fundamente nach unten erscheint unmöglich oder zumindest technisch sehr aufwändig und das Ergebnis ist doch sehr zweifelhaft.

Eine weitere Möglichkeit besteht bei Gebäuden, bei denen die Bodenplatte deutlich über dem Bodenniveau der Umgebung darin, sogenannte Entlastungsbohrungen zwischen der luftführenden Schicht und der Außenluft zu schaffen. Eine Ausführung solcher Bohrungen

bedarf weiterer bauphysikalischer Kenntnisse und sollte ohne spezifische Kenntnisse nicht angewendet werden. Es sei angemerkt, dass eine erfolgreiche Umsetzung dieser Technik bereits erfolgt ist.

In einem weiteren Beispiel wurde (unabhängig von der Radonthematik ein neuer Betonboden eingebracht. Anstelle der vom Architekten vorgesehenen Abdichtung des Natursteinfundamentes vor dem Einbringen einer kapillarbrechenden Schicht und des Betons wurde hier ganz im Gegenteil darauf geachtet, dass eben dort keine Abdichtung erfolgt. Mittels Stichbohrungen wird der durch eine SSD-Anlage erzeugte Unterdruck auf die erkannte luftführende Schicht in der Wand übertragen und so wird der vertikale Eintrag von Radon in die Wand wirkungsvoll unterbunden.

Eine Abdichtung solcher Konstruktionen an der Außenfassade erhöht die Radon-Konzentration in der Wand, verhindert ein teilweises entweichen von Radon nach außen und erhöht damit gleichzeitig die Radonkonzentration im Gebäude.

Besondere Aufmerksamkeit verlangen in diesem Fall etwaige Balkenauflager von Holzbalken-Decken, da innerhalb der Holzdecken die Innenwandflächen in der Regel in keiner Weise abgedichtet wurden. Hier kann also eine direkte (konvektive) Verbindung des Hohlraumes der Wand zum Innenraum bestehen.

Ein weiteres bauliches Detail ist die häufig im Obergeschoss deutlich abnehmende Wanddicke, sowohl bei Außen- als auch bei Innenwänden. In einem Beispiel waren die Wanddicken im UG und EG etwa 1,2 bis 1,8m, diese nahmen aber im OG auf 0,4 bis 0,5m ab. Die Reduzierung der Wanddicke ist in der Regel im Bereich einer Holzbalkendecke realisiert, und in genau dieser Ebene wird dann sehr viel Radon-haltige Bodenluft freigesetzt.

3.2 Sanierungsempfehlung bei erkannter Radonexhalation aus dem Baumaterial, z.B. der Wände

Wenn entsprechend den genannten Messergebnissen festgestellt wurde, dass tatsächlich eine sehr hohe Radionuklidkonzentration der Bauwerkstoffe und ein hoher Emanationskoeffizient vorliegen, eine

konvektive Übertragung Radon-haltiger Bodenluft hingegen ausgeschlossen werden kann, dann können logischerweise die unter 3.1 beschriebenen Lösungsansätze in keiner Weise zum Erfolg führen.

Bei den bisher vorgefundenen Gebäuden mit dieser Diagnose war entweder aus Gründen einer „rustikalen Optik“ die Innenseite der Natursteinmauern als Sichtmauerwerk bearbeitet worden – oder es war eine (nach innen) hinterlüftete Vorsatzschale zur Verblendung der Wand eingebaut worden. Gleichzeitig waren die Außenfassaden der Gebäude sehr gut (sehr dicht) renoviert worden.

Eine Lösung zu diesem Ergebnis der Gebäudeuntersuchung kann dann nur über das Anbringen einer Beschichtung auf alle Innenwandflächen, die zur Radonexhalation beitragen sein. Die ausgewählte Beschichtung muss einerseits so gut wie möglich radondicht sein, andererseits auch lückenlos aufgebracht werden. Natürlich sind auch in diesem Fall weitere bauphysikalische Effekte, wie z.B. eine mögliche Taupunktverschiebung zu beachten.

Eine sinnvolle und bei Baumaterialien mit sehr hoher Radionuklidkonzentration erforderliche ergänzende Maßnahme kann natürlich eine Lüftungsanlage sein, welche die Konzentration durch Verdünnung entsprechend reduziert. Hier ist zu beachten, dass in Regionen, in denen Bauwerke aus örtlichem Naturstein mit hoher Radionuklidkonzentration gebaut wurden mit hoher Wahrscheinlichkeit auch sehr hohe Bodenluftkonzentrationen vorliegen. In diesem Fall ist unter Umständen dann eine Kombination aus einem SSD-System (zur Unterbindung des Bodenlufteintritts) und einer Lüftungsanlage (zur Reduzierung der aus der Exhalation der Baustoffe resultierenden Radonkonzentration) erforderlich. Eine SSD-Anlage kann die Exhalation aus den Baustoffen nicht beeinflussen, während eine Lüftungsanlage bei häufig infolge hoher Bodenluftkonzentrationen in Verbindung mit Undichtigkeiten der erdberührenden Konstruktion auftretenden Radon-Raumluftkonzentrationen von mehreren tausend Bq/m^3. in keinem Fall ausreichend dimensioniert werden können.

4 Fazit

Die vorgestellten vereinfachten, baustellentauglichen Messverfahren reichen aus, um bereits im Rahmen der Gebäudeanalyse vor Ort die Relevanz der beschriebenen Ursachen einer erhöhten Radonkonzentration zu erkennen.

Selbst bei gleichzeitig auftretender sehr hoher Radonkonzentration durch eindringende Bodenluft kann somit die Fachplanung die erforderlichen Maßnahmen bereits einplanen und die Sanierung schon „im ersten Versuch zum Erfolg bringen".

Unserer Zielsetzung einer systematischen Radonsanierung, bestehend aus:

- einer detaillierten Messung, die nach Möglichkeit alle Radonquellen erfassen sollte
- einer darauf basierenden Fachplanung
- einer Sanierungsdurchführung
- einer gleichzeitigen Qualitätskontrolle durch Messungen bei der Inbetriebnahme

sind wir durch diese Erkenntnisse wieder ein Stück nähergekommen.

5 Literaturverzeichnis

[1] Prof. H. von Philipsborn et al.: Vortrag am 12. Statusgespräch des BMU – Forschung zum Problemkreis Radon

[2] Dr. Oliver Jahn, Dr. Matthias Richter, Dr. Joachim Kemski, Dr. Ralf Klingel, Uwe Schneider, Christian Krocker; Forschungsbericht „Entwicklung einer praxisnahen Prüfmethode zur Bestimmung der Radon-Exhalation aus Bauprodukten"; Bundesamt für Materialforschung; 2012

Einfluss von Jahres- und Kurzzeitmessung auf den Sanierungserfolg - Beispiele aus der Praxis

Dr. rer. nat. Ing. Michael Westphal,

RadonTracer, Dresden

Zusammenfassung

Sowohl Langzeit- als auch Kurzzeitmessungen sind essenziell und leisten einen unverzichtbaren Beitrag zur Bewertung der Radonbelastung. Jede Messmethode liefert wertvolle Erkenntnisse, die zusammen ein fundiertes Gesamtbild ergeben und somit die bestmögliche Lösung für den Auftraggeber ermöglichen.

Eine präzise Gebäudeanalyse, die eine ganzheitliche Einschätzung der Radonsituation erlaubt, bildet die Grundlage für effektive Maßnahmen. Nur so lassen sich optimale Lösungen entwickeln, um den Arbeits- und Gesundheitsschutz nachhaltig zu gewährleisten.

1 Vergleich Jahresmessung und Kurzeitmessung

Jahresmessungen erfolgen in der Regel mithilfe passiver Radonsensoren, die auch als Exposimeter oder Detektoren bezeichnet werden. Kurzzeitmessungen hingegen werden nahezu ausschließlich mit aktiven Radonsensoren durchgeführt. Dabei unterscheidet man zwischen stationären Aktivgeräten und sogenannten Sniffing-Geräten, die speziell zur Identifikation von Radonquellen eingesetzt werden. Im Folgenden bezieht sich der Begriff **Jahresmessung** ausschließlich auf passive Messverfahren, während **Kurzzeitmessung** stets aktive Verfahren bezeichnet.

Die Messdauer der Radon-Konzentration hat einen großen Einfluss auf die Qualität von Radonschutzmaßnahmen. Was sind die grundsätzlichen Unterschiede zwischen Jahresmessung und Kurzeitmessung?

- **Jahresmessung**: Die Jahresmessung liefert einen Wert der durchschnittlichen Radonbelastung über den Messzeitraum. Jahres- und tageszeitliche Schwankungen sind nicht mehr erkennbar, sondern nur als Integral im Mittelwert enthalten. Die passive Jahresmessung ist überdies kostengünstig, benutzerfreundlich, erfordert keinen elektrischen Strom und ist mit wenig Aufwand realisierbar. Ein wesentlicher Punkt ist aber die Vergleichbarkeit. Die meisten Studien zur Gesundheitsrelevanz von Radon basieren auf Jahresmittelwerten. Weiter können so Gebäude verglichen und eingeordnet werden.
- **Kurzzeitmessung**: Die Kurzzeitmessung erfolgt über wenige Tage bis hin zu einigen Wochen. Messwerte sind sofort ablesbar. Schnell können Stichproben gezogen werden, um Hinweise auf die mögliche Radonsituation bzw. einen Handlungsbedarf zu erhalten, z. B. auch im Vorfeld einer Langzeitmessung oder um die Messzeit zu verkürzen (vgl. § 155 StrlSchV). Der Verlauf der Radon-Konzentration über den Tag oder die Woche kann abgebildet werden. Außerdem können Radonspitzen sichtbar gemacht werden. Eine grundsätzliche Aussage zur Repräsentativität bzgl. des Jahresmittelwertes ist aber kaum möglich.

Abbildung 1: Exposimeter für die Langzeitmessung

Abbildung 2: Aktivgerät für die Kurzzeitmessung

Welchen Einfluss hat jeweils die Jahresmessung und die Kurzzeitmessung auf die Planung und Bewertung von Radonschutzmaßnahmen?

- **Jahresmessung:** Aufgrund der Jahresmessung wird meist die Entscheidung über die Notwendigkeit von Schutzmaßnahmen getroffen (s. Strahlenschutzgesetz und Arbeitsschutz in Radon-Vorsorgegebieten)
- **Kurzzeitmessung:** Es erfolgt die Analyse der Verteilung und Bewegung von Radon im Gebäude und das Aufspüren der Zugangswege. Weiter wird der Einfluss des Nutzungsverhaltens sichtbar. Schließlich kann die Wirksamkeit umgesetzter Maßnahmen schnell geprüft werden.

Welche Auswirkungen haben Jahres- und Kurzzeitmessungen auf den Erfolg von Radonschutzmaßnahmen?

- **Jahresmessung:** Diese Messung ist wenig aussagekräftig bzgl. der Wahl der geeigneten Reduzierungsmethode sowie die effektive Ausrichtung dieser Methode. Die Zweitmessung ist allerdings die Erfolgsbestätigung der Radonschutzmaßnahme.
- **Kurzzeitmessung:** Die Kurzzeitmessung hilft Fehlinvestitionen zu vermeiden, durch eine präzise Gebäudeanalyse (ineffektive Schutzmaßnahmen). Hierbei ist eine Kombination aus stationären Aktivgeräten sowie Sniffinggeräten zielführend. Es ermöglicht, das Optimum von Aufwand und Nutzen zu finden.

1.1 Zwischenfazit

Langzeitmessungen sind für eine verlässliche Bewertung der Radonbelastung und für die Erfolgskontrolle von Schutzmaßnahmen unerlässlich. Langzeitmessungen geben ein realistisches Durchschnittsbild und sind für eine fundierte Bewertung unerlässlich.

Kurzzeitmessungen sind für eine präzise Gebäudeanalyse unabdingbar, da bauliche Schwachstellen und kurzfristige Einflussgrößen sichtbar gemacht werden. Die Kombination beider Methoden und die gewonnen Daten geben ein vollständiges Bild der Radonbelastung und tragen so zur Entwicklung einer optimalen Lösung bei.

2 Beispiele aus der Praxis

2.1 Gemeindeamt Bobritzsch-Hilbersdorf

Im Gemeindeamt der Gemeinde Bobritzsch-Hilbersdorf zeigte die gesetzlich vorgeschriebene Jahresmessung (Radon-Vorsorgegebiet) stark erhöhte Radonwerte. Es wurde in vier Räumen mit Exposimetern gemessen.

Es handelt sich um ein altes Gebäude, dass im Lauf der Jahrzehnte mehrfach umgebaut wurde. Darüber hinaus wurden Gebäudeteile angebaut. Baupläne dieser Baumaßnahmen waren nicht mehr vorhanden.

Ausgehend von den Jahresmittelwerten wurde der Gemeinde vorgeschlagen, eine Lüftungsanlage einzubauen. Aufgrund der Größe des Gebäudes, der Raumverteilung sowie der hohen Radonwerte wäre eine leistungsstarke Lüftungsanlage notwendig gewesen. Das zu fördernde Luftvolumen hätte einen erheblichen Energieverbrauch zur Folge gehabt, und trotz eines Wärmetauschers wären beträchtliche Wärmeverluste nicht zu vermeiden gewesen.

Abbildung 3: Gemeindeamt Bobritzsch-Hilbersdorf

Durch eine präzise Gebäudeanalyse mit stationären Aktiv- und Sniffinggeräten konnten die maßgeblichen Zugangswege identifiziert werden, sodass ein umfassendes Bild von der Bewegung des Radons im Gebäude ermittelt werden konnte.

Mit den gewonnenen Daten konnte ein Konzept für eine Unterbodenabsaugung mit lediglich 4 Absaugpunkten entwickelt werden. Die

Kontrollmessung, nach Umsetzung der Maßnahme, bestätigte Radonwerte im niedrigen zweistelligen Bereich. Die Zweitmessung zur Bestätigung des Sanierungserfolgs konnte begonnen werden.

Die Unterbodenabsaugung konnten zu einem 20 % günstigeren Preis installiert werden, einschließlich der Gebäudeanalyse. Im Gegensatz zur geplanten Lüftungsanlage benötigt die installierte Unterbodenabsaugung nur einen Bruchteil der Elektroenergie und verursacht keine Wärmeverluste. Zudem konnten die Radonwerte auf ein viel niedrigeres Niveau reduziert werden. Der Gemeinde Bobritzsch-Hilbersdorf konnten so erhebliche Kosten gespart werden.

2.2 Grundschule Stützerbach

Für die Grundschule Stützerbach, die sich ebenfalls in einem Radon-Vorsorgegebiet befindet und für die ebenfalls die Messpflicht an Arbeitsplätzen gilt, zeigte die Jahresmessung stark erhöhte Werte. Wie gesetzlich gefordert, fand die Jahresmessung an Arbeitsplätzen im Keller und im Erdgeschoss statt. Die Exposimeterwerte waren sehr unterschiedlich.

Durch die Gebäudeanalyse mit stationären Aktivgeräten und einem Sniffinggerät im gesamten Gebäude zeigte sich, dass im Dachgeschoß Radonwerte weit über dem Referenzwert vorlagen, obwohl die beiden Stockwerke unterhalb des Dachgeschosses keine hohen Radonwerte aufwiesen.

Als Ursache wurde ein stillgelegter Kaminschacht in der Gebäudemitte identifiziert, durch den Radon ungehindert bis in das Dachgeschoss aufsteigen konnte (s. Abb. 5). Ohne eine gezielte Messung in diesem Bereich wäre dieser entscheidende Faktor unentdeckt geblieben. Auf Basis dieser Erkenntnis wurde eine Absaugbohrung neben dem Kaminschacht geplant und erfolgreich umgesetzt.

Durch eine gründliche Gebäudeanalyse gelang es im gesamten Gebäude, die Radonwerte erheblich zu senken und so den Gesundheitsschutz für die Mitarbeiter nachhaltig zu gewährleisten. Die Zweitmessung konnte begonnen werden.

Abbildung 4: Grundschule Stützerbach

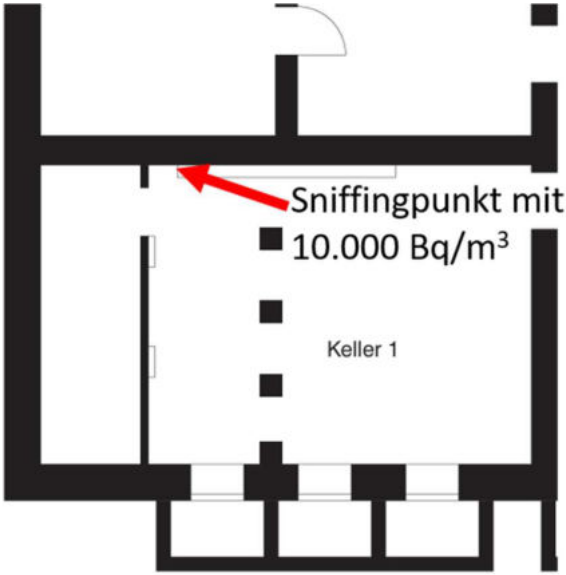


Abbildung 5: Ausschnitt Gebäudegrundriss Grundschule Stützerbach

2.3 Jugendherberge Hormersdorf

Gemäß Strahlenschutzgesetz wurden in der Jugendherberge Hormersdorf im Erzgebirge Arbeitsplatzmessungen in Keller und Erdgeschoss durchgeführt. Durch die Feinanalyse mit Aktivgeräten im gesamten Gebäude zeigte sich ein heterogenes Bild.

Abbildung 6: Jugendherberge Hormersdorf (Quelle: DJH Lvb Sachsen e. V)

Der Hausmeisterraum wies stark erhöhte Radonwerte auf. Ursache waren Risse in Fundament und Sockel. Durch die Feinanalyse zeigte sich aber, dass die benachbarten Räume keine erheblichen Radonwerte aufwiesen (s. Abb. 7). Bisher wurden diese Räume lediglich als Lagerräume genutzt und wurden deshalb bei der gesetzlich geforderten Jahresmessung nicht berücksichtigt.

Als Lösung wurde daher eine Umnutzung der Räume vorgeschlagen. Da die angrenzenden Räume über dieselbe Größe und Lage innerhalb des Gebäudes verfügten, ergaben sich für die Nutzung keinerlei Einschränkungen.

Eine Sanierung auf Basis der Jahresmessung würde hingegen einen erheblichen baulichen Aufwand bedeuten. Aufgrund einer präzisen Gebäudeanalyse konnte jedoch eine effiziente Alternative gefunden werden, die dem Auftraggeber hohe Mehrkosten und Umstände erspart.

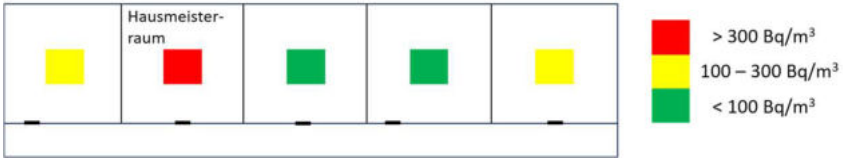


Abbildung 7: Prinzip-Skizze der Radon-Raumluftwerte in benachbarten Räumen

Herausgeber

Dipl.-Ing. Jakob Klever
Dr.-Ing. Sebastian Golz
Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann

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

Redaktionsschluss: 19. März 2025

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.