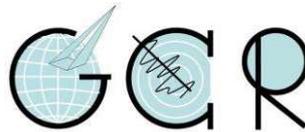


## Bericht

### Radonbelastung in der Bodenluft

BPL Hanfsland, OG Scheuerfeld, VG Betzdorf-Gebhardshain  
Projektnummer 20230215\_Rn222\_SFD

**GeoConsult Rein**



Gartenstrasse 26-28  
55276 Oppenheim  
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Ortsgemeinde Scheuerfeld  
v.d.d. VGV Betzdorf-Gebhardshain  
Rathausplatz 1  
57580 Gebhardshain

30. März 2023

Das Gutachten ist nur in seiner Gesamtheit gültig.

Die Verwendung und Weitergabe von Gutachtenteilen oder Kürzungen bedürfen der schriftlichen Genehmigung des Autors.

<b>GLIEDERUNG</b>	<b>2</b>
1. Auftrag	4
2. Verwendete ortsbezogene Materialien	4
3 Grundlagen zum Thema Radon	4
3.1. Was ist und woher kommt Radon?	4
3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden	5
3.3. Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	7
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	9
6. Ergebnisse	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	11
6.3 Bodenfeuchte	15
6.4 Gaspermeabilität	16
6.5 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	17
6.6 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in einem Meter Tiefe	22
7. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	28

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche	<b>8</b>
<b>Abbildung 2</b>	Ergebnisse der gammaspektroskopischen Kartierung	<b>11</b>
<b>Abbildung 3</b>	Aufschluss im Zuge der Erschließungsmaßnahmen zwischen den Radonmesspunkten 13 und 14 (Abb. 1).	<b>12</b>
<b>Abbildung 4</b>	Aufschluss im Zuge der Erschließungsmaßnahmen an der Gartenstraße südlich von Radonmesspunkt 1 (Abb. 1).	<b>13</b>
<b>Abbildung 5</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Isert und Elkhausen	<b>18</b>
<b>Abbildung 6</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim.	<b>19</b>
<b>Abbildung 7</b>	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Scheuerfeld.	<b>21</b>
<b>Abbildung 8</b>	Witterungskorrigierte Radon-222-Aktivitätskonzentration (kBq/m <sup>3</sup> ) in 1 Meter Tiefe.	<b>25</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	<b>14</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.	<b>15ff</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	<b>23ff</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet)	<b>28</b>

## 1. Auftrag

Die Ortsgemeinde Scheuerfeld beauftragte über die Verbandsgemeinde Betzdorf-Gebhardshain Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für die Fläche des Geltungsbereiches des Bebauungsplanes „Hanfsland“ in Scheuerfeld.

Die Radonaktivitätskonzentration im Boden sollte untersucht werden, um festzustellen, ob und in welchem Umfang Maßnahmen zum Schutz vor Radon für die Fläche des Bauvorhabens zu empfehlen sind.

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Bebauungsplan „Hanfsland“ (M 1:1000, 23.01.2020).
- /2/ LANIS RLP / Geoportal RLP / LVERMGEO RLP (©GeoBasis-DE / LVerMGeoRP (2022), dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [ergänzt 2023])
- /3/ Geologische Karte GK25 5213 (Preuß. Geol. Landesanstalt, 1934) und Geologische Übersichtskarte GÜK300 (LGB RLP, 2003).
- /4/ Wetterdaten der agrarmeteorologischen Stationen Isert und Oppenheim (Agrarmeteorologie Rheinland-Pfalz) und Niederschlagsdaten der hydrometeorologischen Station Elkhausen.

## 3. Grundlagen zum Thema Radon

### 3.1 Was ist und woher kommt Radon?

Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs mit jährlich rund 2000 auf Radon zurückzuführenden Lungenkrebstoten in Deutschland. Von allen bekannten Innenraumschadstoffen ist Radon der nachweislich Gesundheitsgefährdendste.

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumluft um  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Bei einer  $\text{Rn222}$ -Raumluftkonzentration von  $800 \text{ Bq/m}^3$  hat sich das Lungenkrebsrisiko bereits verdoppelt. Das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas, das aus dem natürlich vorkommenden, radioaktiven Schwermetall Uran über das Zwischenprodukt Radium entsteht. Uran und Radium sind, wenn auch nur in geringer Konzentration, überall in der Erdkruste vorhanden, weshalb auch Radon als dessen Folgeprodukt dort überall entsteht.

Anders als das gasförmige Radon, das mit der Bodenluft über Klüfte im Gestein in und durch den Porenraum der Gesteine und Böden in Gebäude wandern kann, sind die radioaktiven Zerfallsprodukte von Radon allesamt Feststoffe, wie Polonium, Blei und Wismut. Diese lagern sich in der Raumluft an feinste Teilchen (Aerosole) an und können lange Zeit in der Luft schweben und sich in der Lunge festsetzen.

Radioaktive Stoffe wie Radon senden ionisierende Strahlen aus, die die Zellen eines lebenden Organismus schädigen können. Beim Atmen werden die Luft-Getragenen Aerosole mit den anhaftenden Radon-Folgeprodukten hauptsächlich in den Bronchien der Lunge abgelagert. Die radioaktiven Radon-Folgeprodukte zerfallen dort in der direkten Nähe der Zellen und schädigen dadurch das empfindliche Lungengewebe. Radon und seine Folgeprodukte verursachen in bereits niedrigen Konzentrationen mindestens 40 % der Strahlenbelastung beruflich nicht besonders strahlenexponierter Personen.

### **3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden**

Die Radon(aktivitäts)konzentrationen in Gebäuden und in der Bodenluft können sehr starken täglichen und witterungsbedingten Schwankungen unterliegen.

In Gebäuden sind diese Schwankungen durch das Nutzungsverhalten der Räume, sowie im Haus entstehende Sogwirkungen (Kamineffekte) verursacht. Durch thermisch (z.B. Heizen) oder dynamisch und meteorologisch erzeugte Luftdruckunterschiede im Gebäude, kann verstärkt Radon mit der Bodenluft durch erdberührende Wände und durch die Bodenplatte ansaugt werden. Über Schächte, Mauerdurchführungen und Treppenhaus kann das Radon auch in höhere Stockwerke migrieren. Der Eintritt von Radon in ein Gebäude kann jedoch durch entsprechende Abdichtungen vermieden werden.

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von Gebäuden können aber bei fehlender Abdichtung aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise nicht unerhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden ohne sorgfältig ausgeführte Abdichtung hängt von den folgenden Faktoren ab:

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

- Dichtigkeit des Gebäudes gegen Radoneintritt durch die Bodenplatte und erdberührende Wände (v.a. Mikro- und Makrorisse, Wanddurchführungen von Rohren, Porosität des Baumaterials, um eine Größenvorstellung zu vermitteln: Durch den Querschnitt eines Haarrisses von nur 0,1 mm Breite (Stichwort Rissbreitenbegrenzung) passen 250.000 Radonatome nebeneinander aufgereiht.
- Luftdichtigkeit der Fenster und Türen sowie das Lüftungsverhalten der Benutzer.
- Vertikale Wegsamkeiten innerhalb des Gebäudes über Treppenhäuser und Schächte und Versorgungsleitungen.

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

- Radiumgehalt der Gesteine und Böden im näheren und tieferen Baugrund.
  - Radonmenge, die im Boden entsteht.
- Korngrößen- und Kornform, Spaltbarkeit und Trennflächen in den Mineralen, sowie Lage des Entstehungsortes von Radon zur Kornoberfläche und Trennflächen, Bodenfeuchte.
  - Radonmenge, die in die Bodenluft freigesetzt wird.
- Schichtlagerung und Schichtenfolge, Wegsamkeiten für Radon im Boden/Gestein wie beispielsweise über tektonische Störungen, Klüfte sowie die Porosität und Feuchte des Gesteins/Bodens im Untergrund.
  - Wie gut kann Radon im Untergrund wandern und zum Gebäude gelangen.

### 3.3 Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte

Das Thema Radon gewinnt neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie, welche durch entsprechende Abdichtmaßnahmen gewährleistet werden kann.

Mit dem Inkrafttreten des Strahlenschutzgesetzes (StrlSchG, Bundesgesetz) wurde der Schutz der Bevölkerung vor Radon erstmals geregelt. Dies ist der Mehrzahl der Planer, die es gewohnt sind sich an der jeweiligen Landesbauordnung zu orientieren, noch nicht bekannt.

Europaweit hat man sich auf einen Mindest-Referenzwert geeinigt. Danach soll eine Radonkonzentration von  $300 \text{ Bq/m}^3$  im Jahresdurchschnitt in der Raumluf nicht überschritten werden. Die WHO (Weltgesundheitsorganisation) empfiehlt eine Radonkonzentration von unter  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

In Deutschland hat man sich vorerst, anders als z.B. in Frankreich und Großbritannien ( $<200 \text{ Bq/m}^3$ ), für diesen Mindestreferenzwert entschieden. Zukünftige Verschärfungen sind jedoch nicht ausgeschlossen.

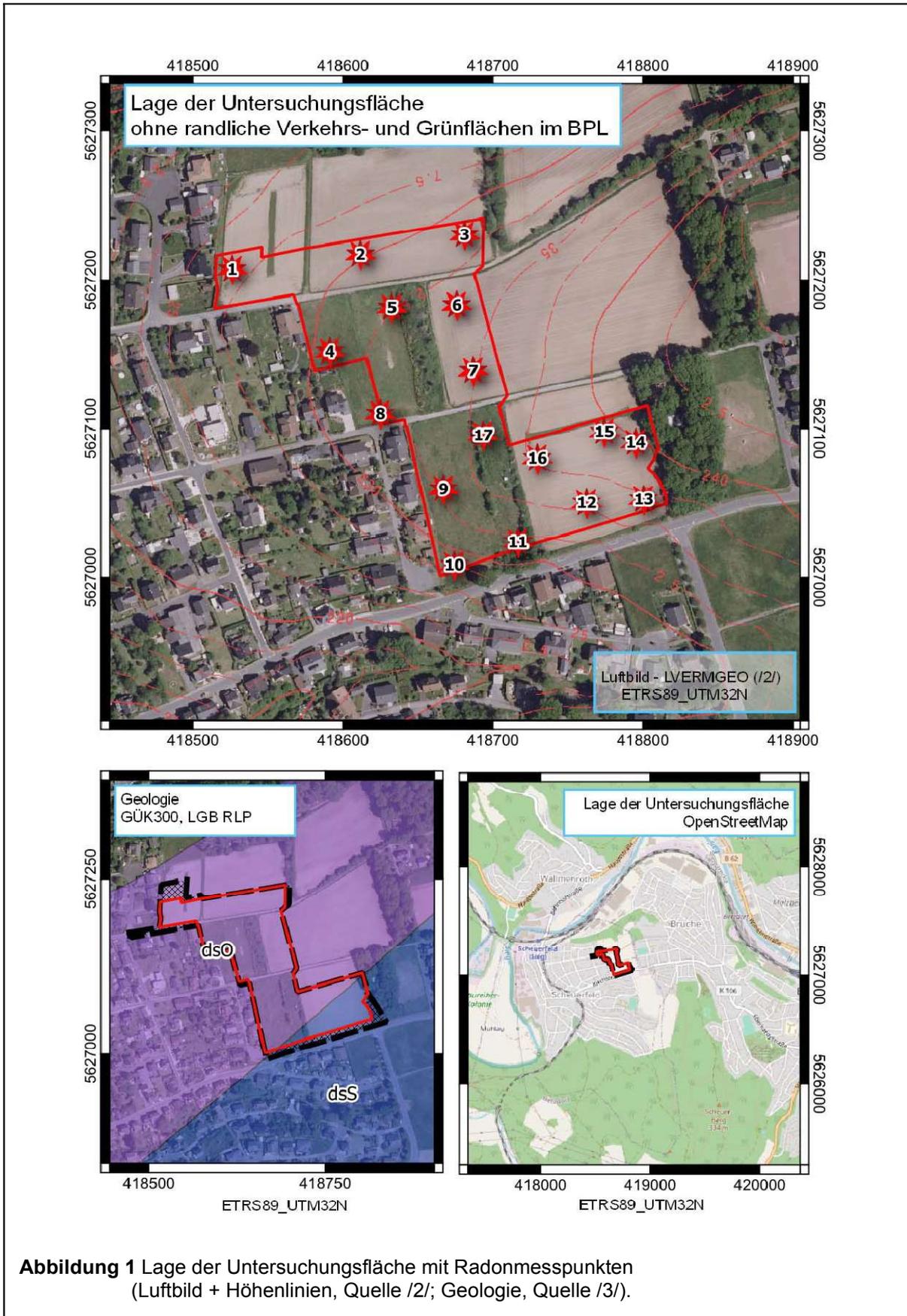
Wird der Referenzwert an Arbeitsplätzen (auch Home-Office) oder in öffentlichen Gebäuden überschritten, müssen bauliche Maßnahmen zur Senkung der Radonkonzentrationen in den Räumen ergriffen werden.

Grundsätzlich muss bei allen Neubauten sichergestellt werden, dass der Referenzwert im Jahresdurchschnitt nicht überschritten wird.

## 4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) schließt östlich an die Ortsbebauung von Scheuerfeld an. Die Vornutzung der Fläche ist aus dem Luftbild in Abbildung 1 ersichtlich. Zum Zeitpunkt der Radonmessungen hatten die Erschließungsarbeiten gerade begonnen, sodass eine freie Wahl der Radonmesspunkte nur eingeschränkt möglich war.

Die Fläche liegt auf einem nach Westen einfallenden Bergrücken. Der nördlichste Teil der Untersuchungsfläche liegt auf der Nordflanke, der südlichste Teil auf der Südflanke des Rückens. Mit Ausnahme der stark geneigten Region zwischen den Radonmesspunkten 9 - 11 ist die Geländeneigung gering.



Die topografischen Höhen liegen zwischen rund 227-240 m ü NN und sind Abbildung 1 zu entnehmen.

## 5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde die unter /1/ benannte Quelle genutzt.

Die Untersuchungsfläche wurde am 15.02.2023 in 1 Meter Höhe über dem Boden mit einem Gammaskpektrometer (RS125) auf Anomalien der Gammastrahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten, bzw. ggf. radiologische Altlasten zu detektieren. Die Einmessung der Messpunkte erfolgte mit GPS.

Die Gaspermeabilität wurde jeweils unmittelbar vor der Anfertigung der Radonmessbohrungen in einem Meter Tiefe mit einem Radon-JOK gemessen.

Die Ansatzpunkte der Gaspermeabilitätssonden wurden anschließend überbohrt, sodass Gaspermeabilitätsmessung und Radonmessung an identischem Ort und in identischer Tiefe erfolgten

Die 17 Radonmessbohrungen wurden am 22.02.2023 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in einen Meter Tiefe unter Geländeoberkante. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen erfolgte unmittelbar nach deren Aufbereitung in speziell zur Langzeit-Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Schutzsonden.

Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Kernspurdetektoren und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden aufbaut, die von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurden und das auch für die Untersuchungen zur Ausweisung der Radonvorsorgegebiete in RLP genutzt wurde (Rein & Butz, 2021; [https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Immissionsschutz/Bericht\\_Radonpotentialkarte\\_RLP\\_2021.pdf](https://lfu.rlp.de/fileadmin/lfu/Immissionsschutz/Bericht_Radonpotentialkarte_RLP_2021.pdf)).

Das Bohrgut aus der Lagerungstiefe der Dosimeter wurde als Probe für Korngrößenanalysen und zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen, des Weiteren Oberflächenproben (15-20 cm Tiefe) zur Bestimmung des Wassergehaltes.

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem gekernten Bodenmaterial rückverfüllt.

Die Bergung der Dosimeter erfolgte am 08.03.2023. Zeitgleich erfolgte eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe der Radonsonden sowie des Oberbodens. Die Expositionsdauer der Exposimeter betrug somit 14 Tage.

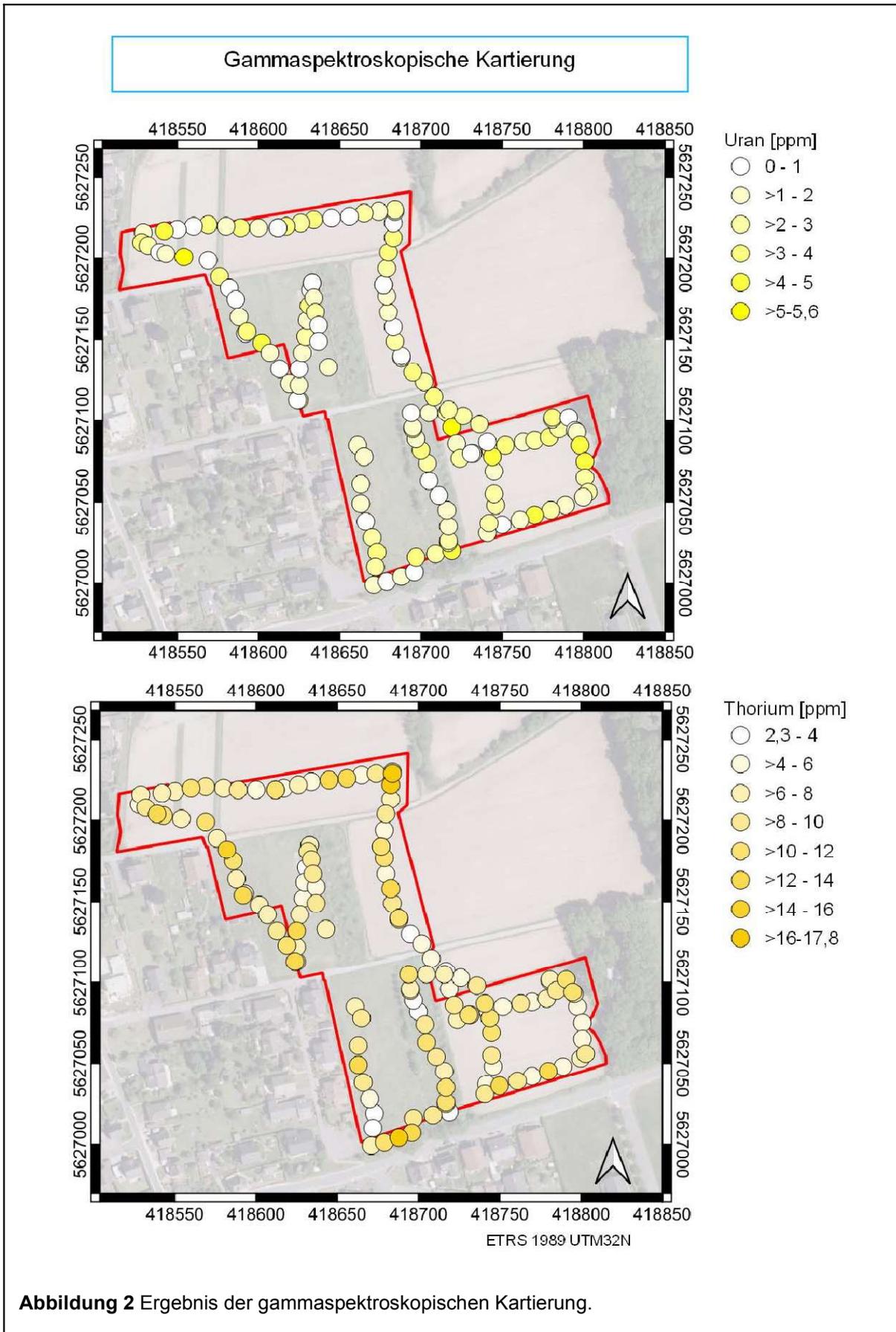
## **6. Ergebnisse**

### **6.1. Gammastrahlungsaktivität**

Die Gammastrahlungsaktivität kann Hinweise auf natürliche und anthropogen verursachte Materialwechsel/Strahlungsanomalien vor allem in den oberen 40 cm des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch – strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können. Auch in größerer Tiefe lagernde starke Radonemanenten können durch die Gammastrahlungs-Kartierung meist abgebildet werden.

Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen der geringen Tiefenreichweite, die zudem durch temporär wechselnde Faktoren (z.B. Bodenfeuchte) beeinflusst ist, kein Annäherungswert (Proxy) für die Radonkonzentration im Untergrund, sondern dient vor allem der Überprüfung der radiologischen Homogenität der Fläche.

Die Kartierung der nuklidspezifischen und Gesamt-Gammastrahlungsaktivitäten ergab keine radiologischen Auffälligkeiten, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte besonders hätten berücksichtigt werden müssen (Abb. 2).



## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen geologischen Untergrund bilden gemäß der geologischen Karten (/3/) devonische Gesteine. Durch das Untersuchungsgebiet verläuft die Siegener-Hauptüberschiebung, eine der Hauptstörungszonen in Rheinland-Pfalz, die die normalfaziellen Gesteine der Herdorf-Gruppe (dsO) im Norden gegen südfazielle Gesteine (dsS) versetzt. Die im Zuge der Erschließung entstandenen Aufschlüsse zeigen in Abbildung 3 die steilstehenden, geschieferten und oberflächennah entlang von Schieferungs- und Kluffflächen aufgeblätternen Gesteine im Bereich der tektonischen Grenze (Abb. 1) in der Südostecke der Untersuchungsfläche.



Abbildung 3 Aufschluss im Zuge der Erschließungsmaßnahmen zwischen den Radonmesspunkten 13 und 14 (Abb. 1).

Das Foto in Abbildung 4 zeigt die Gesteinslagerung und den Gesteinsverbund im Bereich der Gartenstraße in der Nordwestecke der Untersuchungsfläche.



Abbildung 4 Aufschluss im Zuge der Erschließungsmaßnahmen an der Gartenstraße südlich von Radonmesspunkt 1 (Abb. 1).

Die in den Radonmessbohrungen angetroffenen Bodenhorizonte sind in Tabelle 1 beschrieben. Im Untersuchungsgebiet lagert ein 20-40 cm mächtiger, aus grusigem Lehm bzw. lehmigem Grus bestehender Oberboden auf aufgewittertem Fels bzw. grusig-dominierter Schuttdecke, die nach unten in den aufgewitterten Fels übergeht.

**Tabelle 1:** Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 1);  
TSt=Tonstein, SiSt= Siltstein, Sst=Sandstein)

Bohrung m NN	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
			Tiefenbereich	Stratigraphie / Beschreibung
SFD-01	418526	5627210	0-30 30-100	Lehm, grusig, mittelbraun Grus, schwach lehmig, beige
SFD-02	418612	5627220	0-30 30-100	Grus, lehmig, , mittelbraun TSt, Sst, wenig lehmiger Feinanteil auf Klüften und Schichtflächen
SFD-03	418681	5627230	0-20 20-90 90-100	Sand, lehmig, grusig, mittelbraun Grus, wenig lehmiger Feinanteil Sandstein, rostfarben (eh) mit Bleichflecken
SFD-04	418591	5627150	0-35 35-90 90-100	Lehm, grusig, mittelbraun Grus + Lehm, hellbraun SiSt, schwach lehmig, beige
SFD-05	418633	5627180	0-35 35-100	Lehm, grusig bis Grus, lehmig, mittelbraun Grus (TSt, <u>SiSt</u> ), stark sandig, schwach tonig, beige bis hellbraun
SFD-06	418676	5627180	0-40 40-100	Lehm, grusig bis Grus, lehmig, mittelbraun Grus (TSt, <u>SiSt</u> ), stark sandig, schwach tonig, beige bis hellbraun
SFD-07	418687	5627140	0-40 40-100	Lehm, grusig bis Grus, lehmig, mittelbraun Grus (TSt, <u>SiSt</u> ), mit wenig lehmigem Feinanteil, beige bis helles Hellbraun
SFD-08	418625	5627110	0-40 40-100	Lehm, grusig bis Grus, lehmig, mittelbraun Grus (TSt, <u>SiSt</u> ), mit wenig lehmigem Feinanteil, beige bis helles Hellbraun
SFD-09	418667	5627060	0-20 20-40 40-100	Lehm, stark sandig, grusig, steinig, dunkelbr. Lehm, stark sandig, grusig, heller werdend (fließender Übergang) Lehm, schwach grusig, hellbraun bis beige
SFD-10	418674	5627010	0-20 20-100	Sand, grusig, schwach lehmig, dunkelbraun Sandsteingrus, sandig, gräulich-gelblich
SFD-11	418717	5627020	0-25 25-100	Sand, stark, grusig, sehr schwach tonig, dunkelbraun Sandsteingrus, sandig, gräulich-gelblich
SFD-12	418762	5627050	0-30 30-75 75-100	Grus, lehmig, dunkelbraun TSt + SiSt, gelb-grau, feinplattig ( $d << 1\text{cm}$ ) Sandstein, gelb, dünnplattig (cm)
SFD-13	418800	5627050	0-30 30-100	Lehm, stark grusig, mittelbraun, gräulich TSt+SiSt, gelb bis grau
SFD-14	418795	5627090	0-30 30-100	Lehm, stark grusig, hell-mittelbraun TSt+SiSt, gelb bis grau
SFD-15	418774	5627100	0-20 30-100	Lehm, sehr stark grusig, gräulich-braun TSt/SiSt, stärker verwittert, rostfarben (eh) Sst rostfarben (eh), wenig TSt und SiSt
SFD-16	418730	5627080	0-15 15-100	Lehm, grusig Wechselagerung TSt/SiSt/Sst (rot), nach unten zunehmender Sandsteinanteil
SFD-17	418693	5627100	0-20 20-30 15-100	Lehm, grusig Übergang Wechselagerung TSt/SiSt

### 6.3 Bodenfeuchte

Der Bodenwassergehalt beeinflusst (neben Kornform, Korngröße, Verteilung der Mutternuklide im Mineralkorn) die Radonemanationsrate (Freisetzung von Radon aus dem Mineralkorn in die Bodenluft) und die Migrationsmöglichkeiten für Radon/Bodengase im Porenraum des Bodens. Aufgrund des Radonverteilungsungleichgewichtes zwischen Wasser und Luft (in der Bodenluft) tritt Radon bei 10°C in der Bodenluft in etwa 3-fach höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Bei fehlender oder geringer Bodenfeuchte erfolgt deshalb eine temporär vermehrte Verdünnung der Radonkonzentration in der Bodenluft. Umgekehrt steigt, bei Einengung des luftgefüllten Porenraumes des Bodens durch Bodenwasser, die Radonkonzentration in der Bodenluft an. Radon kann auch mit Grund- und Hangwasser herangeführt werden und freigesetzt werden.

Nasser oder wassergesättigter Boden kann wiederum diffusionshemmend bzw. als Diffusionssperre für den Aufstieg und die Migration von Radon wirken. Die Bodenfeuchte beeinflusst in beide Richtungen, neben der Migrationsmöglichkeit, auch die Emanationsrate (Übertritt von Radon aus dem Mineralkorn in den Porenraum) und damit die gemessene, aber temporär variable Radonkonzentration.

Die grusigen Böden waren zu Beginn und Ende der Radonmessungen in der Radonmesstiefe erdfeucht bis trocken. Trotz zwischenzeitlicher Regenfälle (vgl. Kap. 6.5) waren die oberflächennahen Bodenproben nur wenig feuchter als zu Beginn der Radonmessungen. Bodenfeuchten wie in einem Meter Tiefe waren bereits unterhalb 40 cm Bodentiefe zu beobachten.

**Tabelle 2:** Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte (bez. auf Feuchtgewicht der Probe) zu Beginn und Ende der Radonmessungen.

Messpunkt	Beginn der Radonmessung	Ende der Radonmessung	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
			Basis Bohrung		15-20 cm	
			Beginn	Ende	Beginn	Ende
SFD-01	22.02.2023	07.03.23	9,7	10,1	18,6	20,5
SFD-02	22.02.2023	07.03.23	10,7	10,2	15,7	17,4
SFD-03	22.02.2023	07.03.23	9,6	9,2	17,3	18,9
SFD-04	22.02.2023	07.03.23	7,4	8,2	16,3	18,8
SFD-05	22.02.2023	07.03.23	10,7	10,0	17,6	20,1
SFD-06	22.02.2023	07.03.23	9,0	10,2	17,6	19,0
SFD-07	22.02.2023	07.03.23	9,3	9,4	19,5	20,7

**Tabelle 2 (Fortsetzung):** Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte (bez. auf Feuchtgewicht der Probe) zu Beginn und Ende der Radonmessungen.

Messpunkt	Beginn der Radonmessung	Ende der Radonmessung	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
			Basis Bohrung		15-20 cm	
			Beginn	Ende	Beginn	Ende
SFD-08	22.02.2023	07.03.23	9,4	8,9	17,5	17,9
SFD-09	22.02.2023	07.03.23	10,1	9,1	16,2	18,1
SFD-10	22.02.2023	07.03.23	9,0	9,4	22,0	23,5
SFD-11	22.02.2023	07.03.23	8,8	8,5	20,2	22,2
SFD-12	22.02.2023	07.03.23	7,5	8,0	18,1	20,3
SFD-13	22.02.2023	07.03.23	11,0	10,3	18,6	19,4
SFD-14	22.02.2023	07.03.23	10,0	10,6	20,3	21,0
SFD-15	22.02.2023	07.03.23	11,6	12,2	21,3	21,5
SFD-16	22.02.2023	07.03.23	7,8	7,5	12,0	15,8
SFD-17	22.02.2023	07.03.23	9,7	9,3	16,7	17,5

## 6.4 Gaspermeabilität

Die Gaspermeabilität ist eine wichtige Größe zur Abschätzung der Radonverfügbarkeit im Untergrund und der Exhalationsmöglichkeit von Bodenluft (Radon) zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Die Radonkonzentration ist ein Maß für die im Untergrund pro Raumeinheit anstehende Radonmenge. Die Gaspermeabilität gibt dagegen Auskunft darüber wie groß das potentielle Einzugsgebiet ist und wie schnell Radon in Richtung des Gebäudes strömen und dieses erreichen kann. Niedrige Radonkonzentrationen, aber hohe oder sehr hohe Gasdurchlässigkeit (Kiese/Steine/Sande) im Untergrund können zu höheren Radonkonzentrationen im Gebäude führen als in solchen Gebäuden, die auf gasdichtem Untergrund (feinkörnige, bindige Böden → tonige Lehme, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, (Schrumpf)Risse, Hohlräume und Wühlgänge können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen. Auch temporäre Variablen, wie unterschiedliche Bodenfeuchten, können bei gleicher Bodenart bereits Änderungen der Gaspermeabilität von 1-3 Größenordnungen bedingen (Gaspermeabilität ist höher in trockenen Böden). Des Weiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeit der Radonexhalation, nicht nur aufgrund geringerer Wassergehalte im

Porenraum und deshalb erhöhter Gaswegsamkeit, sondern auch wegen der Ausbildung von Schrumpfgefügen (u.a. Trockenrissen) vor allem in bindigen Böden (Lehme, Tone) bei Bodentrockenheit.

Die Gaspermeabilitäten waren aufgrund des hohen Grusanteils und aufgewitterter Gesteine, sowie aufgrund der geringen Bodenfeuchte an den Bohrpunkten hoch (Werte in einem Meter Tiefe s. Tab. 3, Spalte 5).

## 6.5 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Isert (312 m ü NN) liegt nördlich Isert in windoffener Kuppenlage, zwischen ackerbaulich genutzten Flächen. Die Entfernung zu der Untersuchungsfläche in Scheuerfeld beträgt 12,3 km.

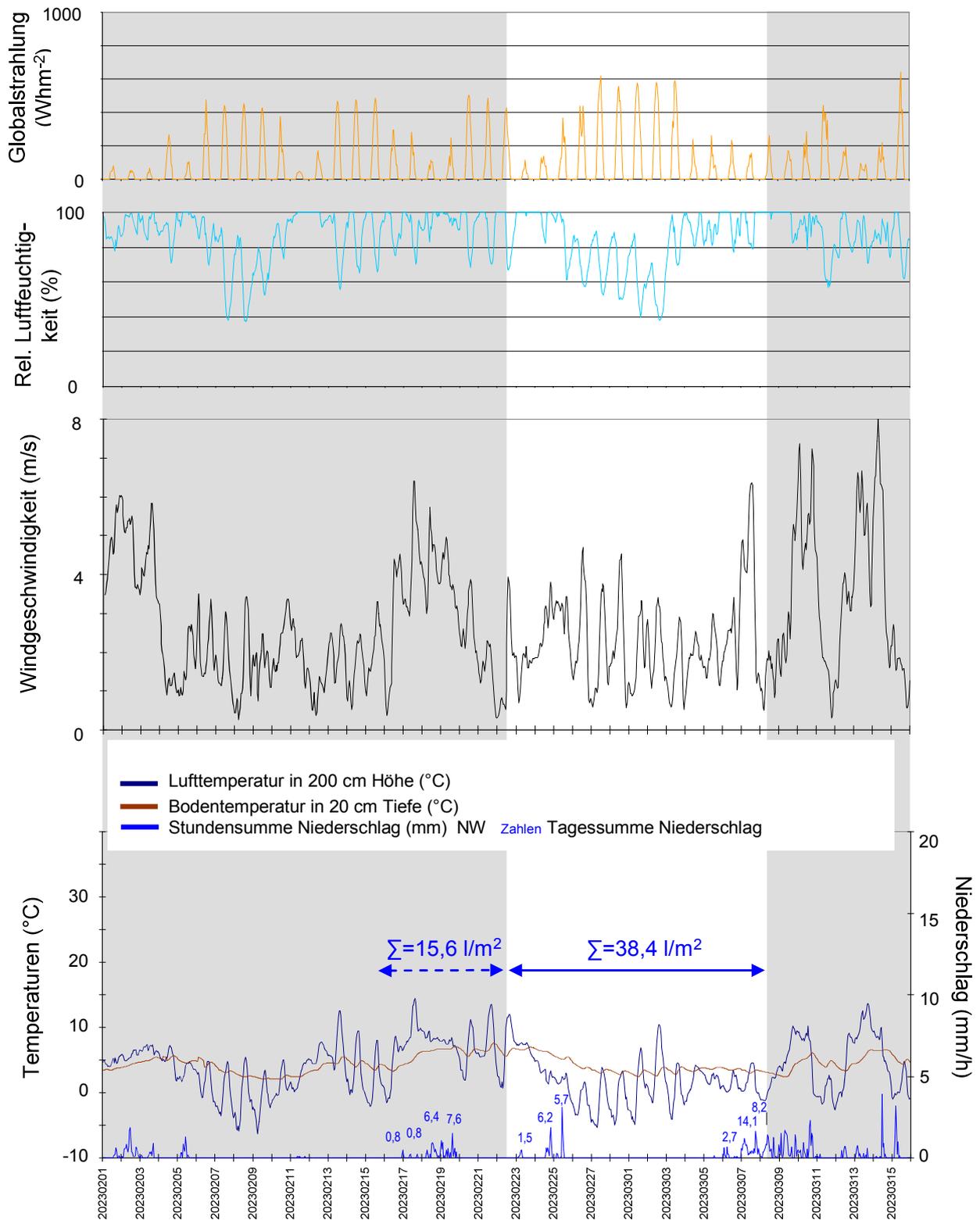
Die hydrometeorologische Station Elkhausen (225 m ü NN) liegt in Tallage über einer kleinen Grasfläche unmittelbar westlich der Kläranlage. Die Entfernung zur Untersuchungsfläche beträgt 4,3 km.

Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m ü NN. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonreferenzstation von GCR.

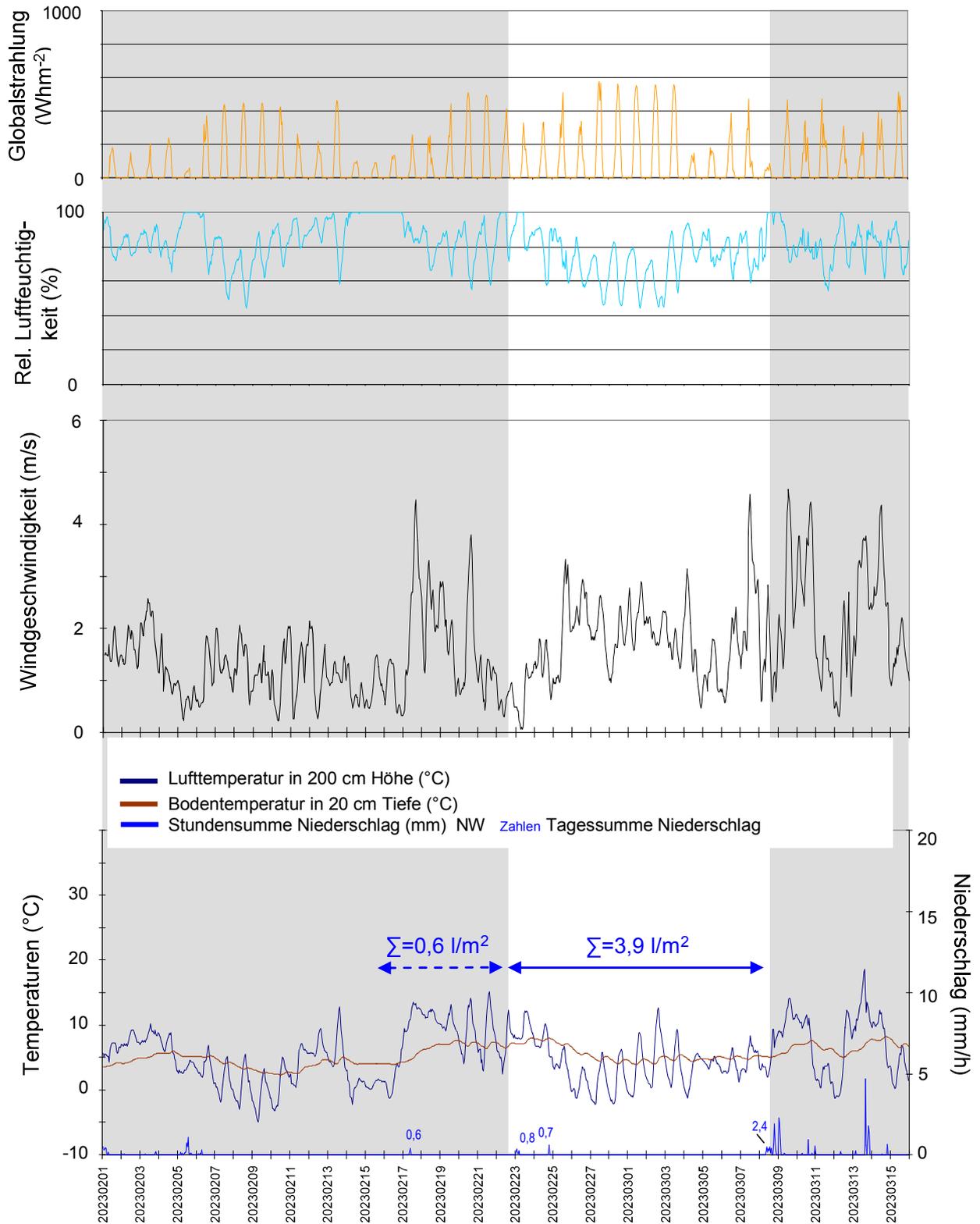
Die Abbildungen 5-6 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an den Wetterstationen Isert, Elkhausen und Oppenheim während des Zeitraums der Radonlangzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche in Scheuerfeld.

Die in einer Höhe von 2 m über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in einer Tiefe von 20 cm ermittelten Bodentemperaturen (Oppenheim, Isert) sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls (Oppenheim, Elkhausen) dargestellt. Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages in Oppenheim und Elkhausen an.

In dem darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit dargestellt (Isert, Oppenheim). Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung (Isert, Oppenheim). Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.



**Abbildung 5** Ausgewählte Wetterdaten für die agrarmeteorologische Station Isert (312 m ü NN) und die hydrometeorologische Station Elkhausen (Niederschlag) (225 m ü NN)(Agrarmeteorologie RLP).



**Abbildung 6** Ausgewählte Wetterdaten für die agrarmeteorologische Station Oppenheim (128 m NN) (Agrarmeteorologie RLP)

In den sieben Tagen vor Beginn der Radonmessungen fielen in Elkhausen 15,6 Liter Regen je Quadratmeter (Abb. 5). Sollten auf der Untersuchungsfläche vergleichbare Regenmengen gefallen sein, dann waren diese aber offensichtlich nicht in der Lage nennenswerte Wassermengen in Bodentiefen unterhalb 40 cm Tiefe einzutragen. In Oppenheim fiel über den gleichen Zeitraum weniger als ein Liter Regen je Quadratmeter.

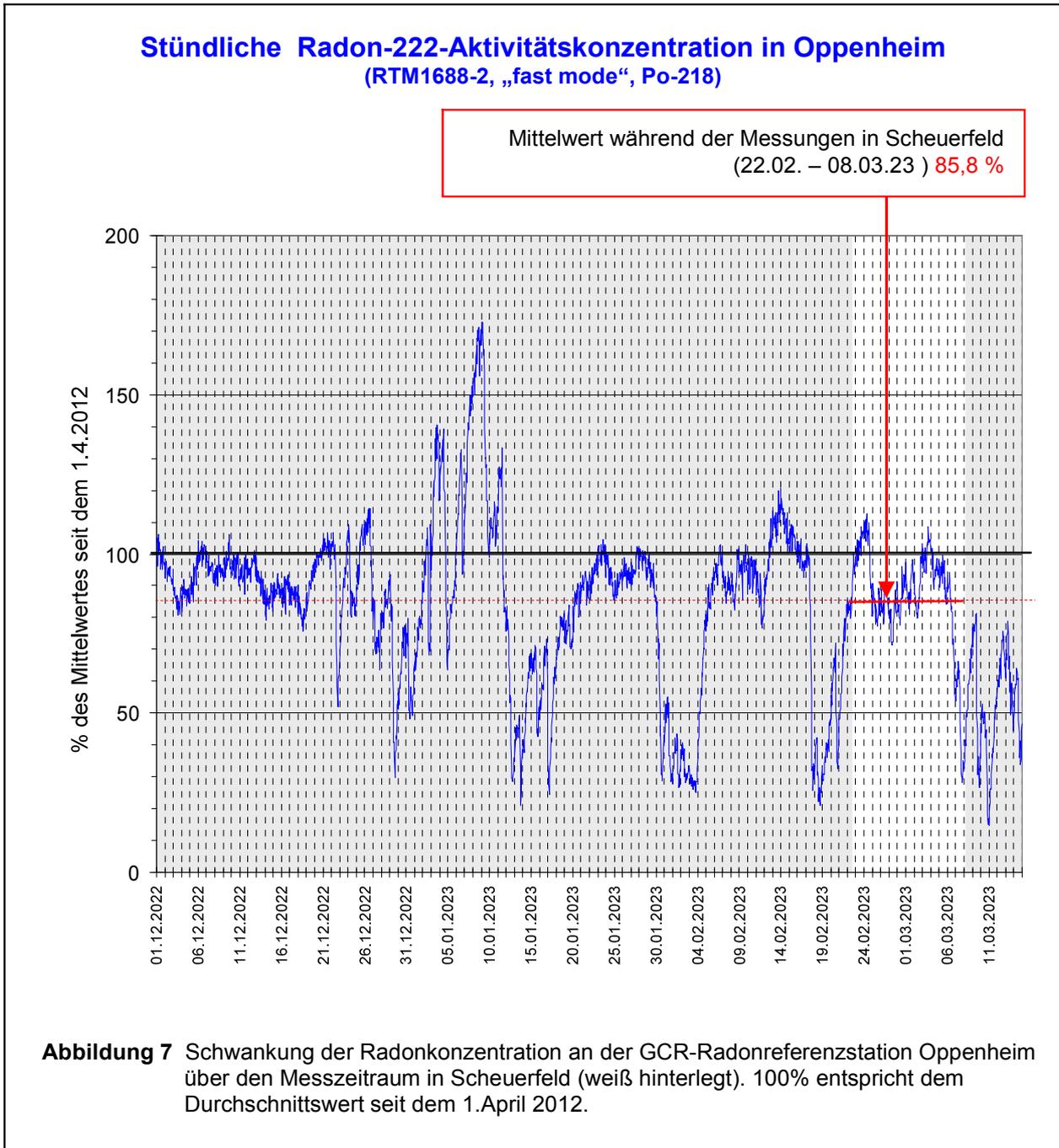
Während der 14-tägigen Periode der Radonmessungen in Scheuerfeld fielen in Oppenheim nur geringe Niederschlagsmengen ( $3,9 \text{ l/m}^2$ ), in Scheuerfeld aber  $38 \text{ l/m}^2$ , wie in Oppenheim über zwei Niederschlagsperioden verteilt. Die meisten Niederschläge fielen als Schnee an den letzten anderthalb Tagen der Radonmessungen. Eine merkliche Durchfeuchtung der Böden durch die beginnende Schneeschmelze war am 8. März in Scheuerfeld nur in den obersten 20-30 cm festzustellen.

Die an der Wetterstation Isert gemessenen Windgeschwindigkeiten sind aufgrund der windoffenen Kuppenlage systematisch höher als in Oppenheim. Das zeitliche Muster der Windtätigkeit ist aber zwischen beiden Stationen vergleichbar. Eine Starkwindphase in Oppenheim, vor Beginn der Radonmessungen in Scheuerfeld, hatte dort zu einer starken Erniedrigung der Radonkonzentration im Boden geführt (Radonreferenzstation von GCR in Oppenheim, s. Abb. 7). Geringere Windgeschwindigkeiten innerhalb der Messperiode in Scheuerfeld haben einen Wiederanstieg der Radonkonzentration im Boden zugelassen. Erst am vorletzten Tag der Radonmessungen in Scheuerfeld sind die Windgeschwindigkeiten wieder stark angestiegen und haben zu einer erneuten starken Absenkung der Radonkonzentration im Boden geführt (Abb. 7).

Die Temperaturverläufe und Temperaturgradienten mit überwiegend höheren Boden- als Lufttemperaturen an beiden Wetterstationen sind nahezu identisch.

Für die Untersuchungsfläche in Scheuerfeld kann aufgrund des ähnlichen Witterungsverlaufes eine vergleichbare zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen im Boden wie in Oppenheim angenommen werden.

Die Wetterstation Oppenheim liegt nur wenige hundert Meter entfernt von der Radonreferenzstation GCR-Oppenheim. Abbildung 7 zeigt die Zeitreihe der Radon-



konzentrationen an der von GeoConsult Rein betriebenen Radonreferenzstation, wo stündlich die Radonkonzentration in einem Meter Tiefe seit dem 1. April 2012, somit seit fast 11 Jahren, gemessen wird. Es ist die längste derartige Messreihe weltweit.

Innerhalb der Radonmessperiode in Scheuerfeld betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation 85,8% des fast 11-jährigen Mittelwertes (Abb. 7).

Die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wird durch die Messungen im Februar/März 2023 somit witterungsbedingt unterschätzt. Deshalb war eine Witterungskorrektur, der in Scheuerfeld gemessenen Radonkonzentrationen erforderlich.

## 6.6 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Die ermittelten Radon-222-Aktivitätskonzentrationen im Boden sind in Tabelle 3 dargestellt. Es ist zu beachten, dass die Angabe des Referenzwert (Kap. 3) der Radonkonzentration für Innenräume, der im Jahresmittel in Räumen nicht überschritten werden darf, in  $\text{Bq/m}^3$  erfolgt. Die Radonkonzentration im Boden (Baugrund) erfolgt aber gemäß Konvention in  $\text{kBq/m}^3$  ( $1 \text{ kBq/m}^3 = 1000 \text{ Bq/m}^3$ , entspricht 1000 Radon-222-Zerfällen/Sekunde).

Die gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem Aktivitätskonzentrationsbereich von  $23,1 \text{ kBq/m}^3 \pm 15\%$  bis  $69,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 15\%$  (2sigma) (Tab. 3, Spalte 2).

Nach der Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte 3 dargestellten höheren als gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{\text{Rn wk}}$ ) mit Werten zwischen  $27,0 \pm 15\%$  bis  $81,7 \text{ kBq/m}^3 \pm 15\%$  (2sigma).

Innerhalb der Untersuchungsfläche sind somit überwiegend deutlich erhöhte Radonkonzentrationen im Boden zu beobachten.

Bei Betrachtung der Radonkonzentration (Spalte 3) als alleinigem Kriterium, wie es lange Zeit üblich war, ergibt sich bei einem weniger anspruchsvollen, aber veralteten Zielwert der Radonkonzentration von  $400 \text{ Bq/m}^3$  (400 Radon-222-Zerfälle pro Sekunde und Kubikmeter Raumluft) in Innenräumen und gemäß der ebenfalls veralteten, aber im Internet allgegenwärtigen Einordnung wie in Tabelle 4, eine Zuordnung der witterungskorrigierten Radonkonzentrationen der Radonmesspunkte zu den Radonvorsorgegebietsklassen RVKI und RVK II (Spalte 3, Tabelle 3).

Eine ältere Empfehlung des BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) sieht in einem stark vereinfachten Ansatz für Böden hoher Gaspermeabilität eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe im Vergleich zu der Zuordnung in Tabelle 4 vor. Nach dieser stark simplifizierten Vorgehensweise müssten alle Radonmesspunkte einer höheren

**Tabelle 3:** Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe.

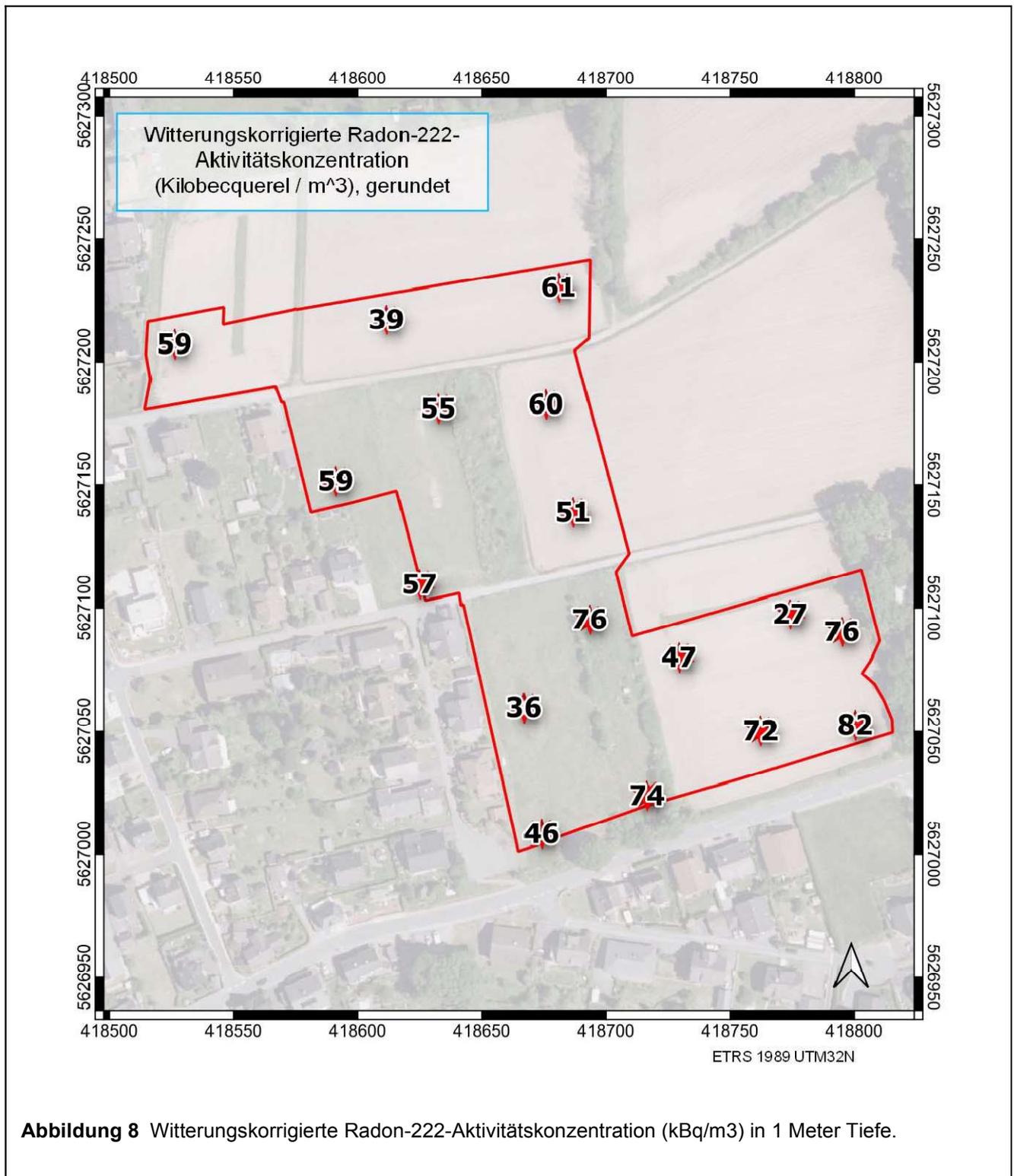
Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] ±15% (2sigma)		Gasperm [m <sup>2</sup> ]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential) Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>		Radonpotenzial Bundesamt f. Strahlenschutz (BfS/Neznal)
	(2)	BfS-Klassifizierung (veraltet) auf Zielwert 400Bq/m <sup>3</sup>		RVI (Bq/m) (Surbeck) (6)	Rna (dimensionslos) (Slunga) (7)	Radonrisiko (dimensionslos) (8)
		(3)	(4)	(5)		
	C <sub>Rn</sub> +/-15% (ohne Witterungskorrektur) ohne RVK-Wertung	C <sub>Rn wk</sub> +/-15%	C <sub>Rn wk</sub> +/-15%		RVI (C <sub>Rn wk</sub> )	Rna (C <sub>Rn wk</sub> )
		C <sub>Rn wk</sub> +15%	Wertung unter Berücksichtigung höher Gaspermeabilität	RVI (C <sub>Rn wk</sub> +15%)	Rna (C <sub>Rn wk</sub> +15%)	RP (C <sub>Rn wk</sub> +15%)
SFD-01	50,4	58,9	58,9	5,00E-11	2,95E-06	196
		67,8	67,8		3,39E-06	
SFD-02	33,4	39,0	39,0	6,00E-11	2,34E-06	176
		44,9	44,9		2,68E-06	
SFD-03	51,8	60,6	60,6	2,00E-11	1,21E-06	87
		69,7	69,7		1,39E-06	
SFD-04	50,6	59,2	59,2	2,00E-11	1,18E-06	85
		68,1	68,1		1,36E-06	
SFD-05	46,6	54,6	54,6	6,00E-11	3,27E-06	246
		62,7	62,7		3,76E-06	
SFD-06	50,9	59,6	59,6	5,00E-11	2,98E-06	198
		68,5	68,5		3,43E-06	
SFD-07	43,2	50,5	50,5	6,00E-11	3,03E-06	228
		58,0	58,0		3,48E-06	
SFD-08	48,4	56,6	56,6	6,00E-11	3,39E-06	255
		65,0	65,0		3,90E-06	
SFD-09	31,1	36,4	36,4	9,55E-12	3,47E-07	36
		41,8	41,8		3,99E-07	

**RVK – Wertung Radonkonzentrationen ohne Witterungskorrektur (Spalte 2) ohne Wertung**

RVK 0	Keine über den Feuchteschutz hinausgehenden speziellen Radonschutzmaßnahmen erforderlich
RVK I	Radonvorsorgegebietsklasse I - <b>grundlegende</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II - <b>umfangreiche</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III - <b>sehr umfangreiche</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich
	Randbedingungen nicht gegeben
<b>RP-Wertung</b>	
0-20	Radonrisiko - wahrscheinlich gering
>20-44	Radonrisiko - indifferent, eventuell hoch
>44	Radonrisiko – hoch

**Tabelle 3 (Fortsetz.):** Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe.

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] ±15% (2sigma)			Gasperm [m <sup>2</sup> ]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential) Klassifizierung auf Zielwert <b>250Bq/m<sup>3</sup></b>		Radonpotenzial Bundesamt f. Strahlenschutz (BfS/Neznal)
	BfS-Klassifizierung (veraltet) auf Zielwert <b>400Bq/m<sup>3</sup></b>				RVI (Bq/m) (Surbeck)	Rna (dimensionslos) (Slunga)	Radonrisiko (dimensionslos)
	(2)	(3)	(4)				
	C <sub>Rn</sub> +/-15%	C <sub>Rn</sub> wk +/-15%	C <sub>Rn</sub> wk +/-15%	(5)	RVI (C <sub>Rn</sub> wk)	Rna (C <sub>Rn</sub> wk)	RP (C <sub>Rn</sub> wk)
	(ohne Witterungs- korrektur)  ohne RVK- Wertung	C <sub>Rn</sub> wk +15%	Wertung unter Berücksichti- gung hoher Gaspermea- bilität		RVI (C <sub>Rn</sub> wk+15%)	Rna (C <sub>Rn</sub> wk+15%)	RP (C <sub>Rn</sub> wk+15%)
SFD-10	39,2	45,8 52,7	45,8 52,7	6,00E-11	2,75E-06 3,16E-06		207 238
SFD-11	63,5	74,2 85,4	74,2 85,4	6,00E-11	4,45E-06 5,12E-06		335 385
SFD-12	61,6	72,0 82,8	72,0 82,8	2,00E-11	1,44E-06 1,66E-06		103 119
SFD-13	69,8	81,7 93,9	81,7 93,9	1,60E-11	1,31E-06 1,50E-06		103 118
SFD-14	65,1	76,1 87,5	76,1 87,5	1,60E-11	1,22E-06 1,40E-06		96 110
SFD-15	23,1	27,0 31,1	27,0 31,1	6,00E-11	1,62E-06 1,86E-06		122 140
SFD-16	40,1	46,9 54,0	46,9 54,0	6,00E-11	2,81E-06 3,24E-06		212 243
SFD-17	64,7	75,7 87,1	75,7 87,1	5,00E-11	3,79E-06 4,35E-06		252 289
<b>RVK – Wertung Radonkonzentrationen ohne Witterungskorrektur (Spalte 2) ohne Wertung</b>							
RVK 0	Keine über den Feuchteschutz hinausgehenden speziellen Radonschutzmaßnahmen erforderlich						
RVK I	Radonvorsorgegebietsklasse I - <b>grundlegende</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich						
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II - <b>umfangreiche</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich						
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III – <b>sehr umfangreiche</b> Radonschutzmaßnahmen erforderlich						
	Randbedingungen nicht gegeben						
<b>RP-Wertung</b>							
0-20	Radonrisiko - wahrscheinlich gering						
>20-44	Radonrisiko - indifferent, eventuell hoch						
>44	Radonrisiko – hoch						



Radonvorsorgegebietsklasse, und die meisten der Radonmesspunkte sogar der höchsten Radonvorsorgegebietsklasse RVK III zugeordnet werden.

Die für die Bemessung der Radonpräventionsmaßnahmen **wichtigere Radonverfügbarkeit** im Baugrund ist im Wesentlichen von drei Faktoren abhängig

- der Radonkonzentration im Boden,
- der Gasdurchlässigkeit des Bodens,
- dem Unterdruck, den das Gebäude im Baugrund erzeugt.

Durch diese Untersuchungen liegen Erkenntnisse zu den beiden ersten Faktoren vor, die zur Berechnung von Radonverfügbarkeitsindizes genutzt werden können.

Bei den durch die Untersuchungen beobachteten hohen Gaspermeabilitäten wird der Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck als Bewertungsmaß verwendet.

Der Zielwert der Klassifikation der Radonverfügbarkeitsindizes von  $250 \text{ Bq/m}^3$  liegt unterhalb der derzeitigen Mindestanforderungen des Gesetzgebers von  $<300 \text{ Bq/m}^3$ , aber über dem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Wert von  $<100 \text{ Bq/m}^3$ . Eine zukünftige Verschärfung des Referenzwertes, wie in anderen europäischen Ländern, ist nicht ausgeschlossen.

Nach dieser, neben der Radonkonzentration auch die Gaspermeabilität berücksichtigenden Klassifikation und dem EU-Referenzwert von  $<300 \text{ Bq/m}^3$  in der Raumluft, **werden mit Ausnahme des Messpunktes SFD-09 alle anderen Radonmesspunkte einheitlich in der Radonvorsorgegebietsklasse RVK II eingeordnet.**

Eine vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) erstellte, deutschlandweite Karte der Radonpotentiale, berücksichtigt über einen vereinfachten Term ebenfalls die Gaspermeabilität und Radonkonzentration bei der großräumigen (meist Landkreise oder in RLP Verbandsgemeinden) Radonrisikoabschätzung für den Baugrund von Bestandsgebäuden und Neubauten. Verwaltungseinheiten mit einem hohen Radonrisiko (**Radonvorsorgegebiet**) sind nur solche, innerhalb derer 75% der Fläche mit einem hohen Radonrisiko behaftet sind, sodass erwartet werden kann, dass in mindestens 10% der Gebäude der gesamten Verwaltungseinheit mit Überschreitungen des Referenzwertes von  $300 \text{ Bq/m}^3$  zu rechnen ist. Wenn auf z.B. 9,99 % der Fläche einer Verwaltungseinheit 100 % der dort stehenden Gebäude diesen Referenzwert überschreiten (unabhängig von der Besiedlungsdichte), weil Sie auf einem ungünstigen geologischen Untergrund stehen, dann würde wegen der

Mittelung über den gesamten Landkreis/Verbandsgemeinde, diese Verwaltungseinheit trotzdem nicht als Radonvorsorgegebiet ausgewiesen.

In Rheinland-Pfalz liegt der Risikoabschätzung der Medianwert aller Messpunkte der geologischen Großeinheiten (GÜK300) zugrunde. Das Radonrisiko ist deshalb als gemeinschaftliches durchschnittliches Risiko innerhalb der jeweiligen geologischen Einheit zu betrachten.

**Die Verwendung des Medianwertes bedeutet aber auch, dass jeweils die Hälfte aller Messwerte der jeweiligen geologischen Einheit (der dargestellten Flächen) ein niedrigeres, z.T. beträchtlich niedrigeres, aber auch ein höheres und z.T. auch beträchtlich höheres Radonrisiko haben als in der Radonpotentialkarte von Rheinland-Pfalz dargestellt.**

Aufgrund der Mittelung über eine große Fläche und der tatsächlich aber kleinräumigen Variabilität der Radonkonzentration und Gaspermeabilität im Boden, kann deshalb **keine** der Radonprognosekarten für die Bewertung eines Bauplatzes herangezogen werden. **Die lokalen Begebenheiten** (Bauplatz, Baugebiet) **können**, wie auch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) in seinem Begleittext zur Deutschlandkarte der Radonpotenziale und Radonaktivitätskonzentrationen und auch in den Legenden der Karten hinweist, **deutlich von den regionalen Prognosen in den Karten abweichen**. In der Diskussion ist auch noch, welche Schwellwerte des Radonpotentials zukünftig in Anwendung zu bringen sind und ob für Baugründe mit hoher Gaspermeabilität das Radonpotential (BfS) als Bewertungsmaß verwendbar ist. Vorgeschlagen wird z.Zt. vom BfS, dass Untergründe mit Radonpotentialen  $\leq 20$  eher unwahrscheinlich Verwaltungsbezirks-weite hohe Überschreitungsrate ( $>10\%$ ) des Radonreferenzwertes von  $300 \text{ Bq/m}^3$  in Gebäuden verursachen. Bei Radonpotentialen  $>20 - 44$  ist keine gesicherte Aussage zu treffen und bei Werten  $> 44$  und bei negativen Werten wird ein hohes bis sehr hohes Überschreitungsrisiko innerhalb des jeweils betrachteten Verwaltungsbezirks angenommen.

Informativ sind in Spalte 8 der Tabelle 3 auch diese Radonpotenziale der Radonmesspunkte auf der Untersuchungsfläche wiedergegeben. Die Werte in Spalte (8) dokumentieren ein hohes bis sehr hohes Radonrisiko. Aufgrund der für die Untersuchungsfläche festgestellten hohen aber nicht sehr hohen Gaspermeabilitäten, kann das Radonpotential als Bemessungsgrundlage eingeschränkt verwandt werden. Eingeschränkt deshalb, weil bei, wie auf der Untersuchungsfläche teilweise

bestimmten Gaspermeabilitäten  $\geq 5 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$ , bereits eine deutliche Nichtlinearität für die Berechnung der Radonpotentiale gegeben ist. Für Untersuchungsgebiete mit sehr hohen Gaspermeabilitäten kann das Radonpotential aber keine Aussage treffen, weil sich für diesen Fall physikalisch nicht begründete extreme Nichtlinearitäten und Definitionslücken für die Berechnung des Radonpotentials ergeben.

**Für die Bemessung der Radonpräventionsmaßnahmen werden im Folgenden die Ergebnisse aus der Spalte (6) der Tabelle 3 verwendet.**

## 7. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfahlen in der Vergangenheit, die in Tabelle 4 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung der geogenen Radonkonzentration mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem diskreten Zeitpunkt gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes und anderer Einflussfaktoren auf die Radonkonzentration zum Messzeitpunkt blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung vom BfS schon früh explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit hingewiesen wurde. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 4 weit zurückdatiert und höhere Zielwerte (max.  $400 \text{ Bq/m}^3$  in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und seit Juni 2017 auch durch ein Bundesgesetz geregelt ( $300 \text{ Bq/m}^3$ ) als Bemessungsgrundlage verwandte.

**Tabelle 4** Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (**veraltet\***, bisher ohne Ersatz, bei erhöhter Gaspermeabilität wird die sich aus der Radonkonzentration ergebende Vorsorgestufe um eine Stufe erhöht).

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration $< 400 \text{ Bq/m}^3$ )	Radonaktivitätskonzentration ( $\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$ )
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	$< 20 \text{ kBq/m}^3$ ( $< 20\,000 \text{ Bq/m}^3$ )
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	$> 20 - 40 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	$> 40 - 100 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	$> 100 \text{ kBq/m}^3$

Für die zukünftige Erst-Bewertung des mittleren Radonrisikos von Bestandsgebäuden eines Landkreises oder einer sonstigen Verwaltungseinheit schlägt das BfS das Radonpotential vor, das die Gaspermeabilität des Bodens und die Radonkonzentration berücksichtigt.

Temporäre Effekte (z.B. Bodenfeuchte, Witterungseinflüsse) werden aber weiterhin mangels Datenerhebung nicht berücksichtigt.

Zudem ist der Term zur Berechnung des Radonpotentials für Böden hoher Gaspermeabilität (Kiese oder trockene Sande etc) wegen physikalisch nicht begründbarem exponentiellem Anstieg des Radonpotentials und Nullstelle nicht anwendbar.

Die Einordnung der Radonmessbohrungen in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch die gleichzeitig gemessenen bodenphysikalischen Faktoren, die Gaspermeabilität, den Bodenaufbau, temporäre Variablen wie Bodenfeuchte und Witterungseinflüsse, die die innerhalb eines Zeitraums gemessene Radonaktivitätskonzentration beeinflussen und die Einfluss auf die Radonverfügbarkeit im Boden haben, sowie die zukünftige Versiegelung der Fläche durch die Bauvorhaben.

Für die Bauvorhaben werden Radonschutzmaßnahmen der **Präventionsstufe RVK II** empfohlen.

**Es wird nachfolgende Kombination an Präventivmaßnahmen empfohlen.**

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke:  $\geq 20$  cm). Sollte eine durchgehende Bodenplatte aufgrund der Bauart, der Notwendigkeit von Dehnfugen etc. nicht möglich sein, ist auf die gasdichte Ausführung der Fugen zu achten. Durch den Querschnitt eines Haarrisses von nur 0,1 mm Breite (auch Stichwort „Rissbreitenbegrenzung“) passen 250.000 Radonatome nebeneinander aufgereiht.
2. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes oder im Innenbereich mit gasdichter Anbindung an alle erdberührten Mediendurchführungen. Die Kombination einer innenliegende

Folien-Abdichtung der Bodenplatte (ersetzt auch die Dampfsperre) und eine außen auf die erdberührten Wänden aufgebraachte radondichte Beschichtung ist denkbar.

Konstruktionen mit WU-Beton sind nur dann eine Alternative, wenn sicher gestellt werden kann, dass alle erdberührten Gebäudeteile dauerhaft bodenseitig durchfeuchtet sind, sodass Haarrisse sich durch Umkristallisation wieder schließen können. Rissbegrenzungen auf 0,2 mm oder 0,1 mm sind hinsichtlich Radonprävention wirkungslos (s. Punkt 1).

3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien, bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.  
Durchführungen durch die Bodenplatte und durch erdumlagerte Wände sind für den Radonschutz von besonderer Bedeutung, weil bereits kleinste Leckagen zu einem bedeutenden Zustrom von Bodenluft und Radon führen können. Diese Abdichtungsmaßnahmen umfassen sowohl die gasdichte Abdichtung des Anschlusses von Rohrdurchführungen zum Mauerwerk, aber auch die häufig unterschätzten, freibleibenden Wegsamkeiten innerhalb der, durch die Leitungen nur teilgefüllten Leerrohre. Auch wenn diese nur einen kleinen Durchmesser besitzen, können Sie unsachgemäß abgedicht, bedeutende Radonmengen in das Gebäude liefern.
4. Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und Gewährleistung, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillarbrechende Schicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.
5. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes. Bei Häusern mit geregelter Be- und Entlüftung ist auf eine ausreichende Luftwechselrate zu achten und dass kein permanenter Unterdruck im Haus erzeugt wird.
6. Eine passive oder aktive Bodengasdrainage in der Tragschicht, zur Erzeugung eines leichten Unterdruckes unter dem Gebäude, zur Druckgradientenumkehr und Ableitung von Bodengas in die Drainage, ist eine weitere optionale und ergänzende Maßnahme. Vor Installation einer Bodengasdrainage ist aber zu prüfen, dass diese auch nicht nur zeitweise im Einflussbereich von Schicht-,

Hang- oder Grundwasser liegt. Sie würde damit zum Teil auch dauerhaft ihre Funktion verlieren.

Sorgfalt bei der Radonabwehr sollte ganz besonders für Gebäude und Gebäudeteile ohne Unterkellerung gelten, weil in diesen im statistischen Mittel die Radonkonzentrationen im Erdgeschoss höher als in unterkellerten Gebäuden sind.

Welche zusätzlichen Maßnahmen ggf. in Anpassung an das Bauprojekt erforderlich werden, bzw. durch welche anderen Maßnahmen ein kostengünstigerer und gleichermaßen effektiver Radonschutz erreicht wird, kann nach Vorliegen der Details mit dem Radongutachter abgestimmt werden.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch Baugrunduntersuchungen oder bauvorbereitende Arbeiten andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Sollte das Gebäude auf ortsfremden Aufschüttungen errichtet werden, wird empfohlen vor Einbau diese Auffüllungen hinsichtlich ihres Radonpotentials zu prüfen.



GeoConsult Rein  
Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein  
Gartenstraße 26-28  
55276 Oppenheim  
06133-9242-41  
www.geoanalysis.eu

Privat-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Oppenheim, 30.03.2023