

## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

BV Kindertagesstätte in Ockenheim  
Projektnummer 20170317\_Rn222\_OCK3

**GeoConsult Rein**



Gartenstrasse 26-28  
55276 Oppenheim  
[www.geoanalysis.eu](http://www.geoanalysis.eu)

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Rubel & Partner  
Management für Umwelt und Technologie  
Hermannstraße 65  
D-55286 Wörrstadt

2. Mai 2017

---

<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	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	7
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	10
7. Laborergebnisse	12
7.1 Bodenfeuchte	12
7.2 Gaspermeabilität	13
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	14
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	18
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	22

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmesspunkten mit Radonmessbohrungen im Bereich des geplanten Gebäudes.	<b>8</b>
<b>Abbildung 2</b>	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	<b>11</b>
<b>Abbildung 3</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Bingen-Gaulsheim	<b>16</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>17</b>
<b>Abbildung 5</b>	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Ockenheim.	<b>18</b>
<b>Abbildung 6</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.	<b>20</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	<b>12</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>13</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	<b>19</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>22</b>

## 1. Auftrag

Die Firma Rubel & Partner beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für die Fläche eines Neubaus einer Kindertagesstätte in Ockenheim.

Die Radonkonzentration im Boden sollte untersucht werden, um festzustellen, ob und in welchem Umfang Maßnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Baugebietes zu empfehlen sind.

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Katasterplanauszug mit Gebäudegrundriss
- /3/ Geologische Karte RLP GK25 6013 (1930)
- /4/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (2003)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Bingen-Gaulsheim und Oppenheim
- /6/ Google Earth

## 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 das 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 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)konzentration 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.

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von Gebäuden können aber aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise erhebliche

Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden 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).
- 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 Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte**

Das Thema Radon wird in naher Zukunft neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie gewinnen. Radonsanierungsmaßnahmen kosten in der Regel das Mehrfache von Radonpräventionsmaßnahmen.

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/m<sup>3</sup> vorsieht. Den EU-Mitgliedstaaten

bleibt es überlassen bis spätestens 1.1.2018 gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb  $300 \text{ Bq/m}^3$  festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen. Bis zur Umsetzung in nationales Recht gilt die EU-Richtlinie.

Im Bereich von öffentlich zugänglichen Gebäuden und Arbeitsplätzen greift dieser Wert über die Arbeitsstättenverordnung, im Bereich privaten Wohnungsbaus wird spätestens bei Vermietung und Verkauf einer Immobilie diese Regelung zum Tragen kommen. Radonprävention schützt deshalb nicht nur die Gesundheit der Gebäudenutzer, sondern sichert auch den Werterhalt der Immobilie.

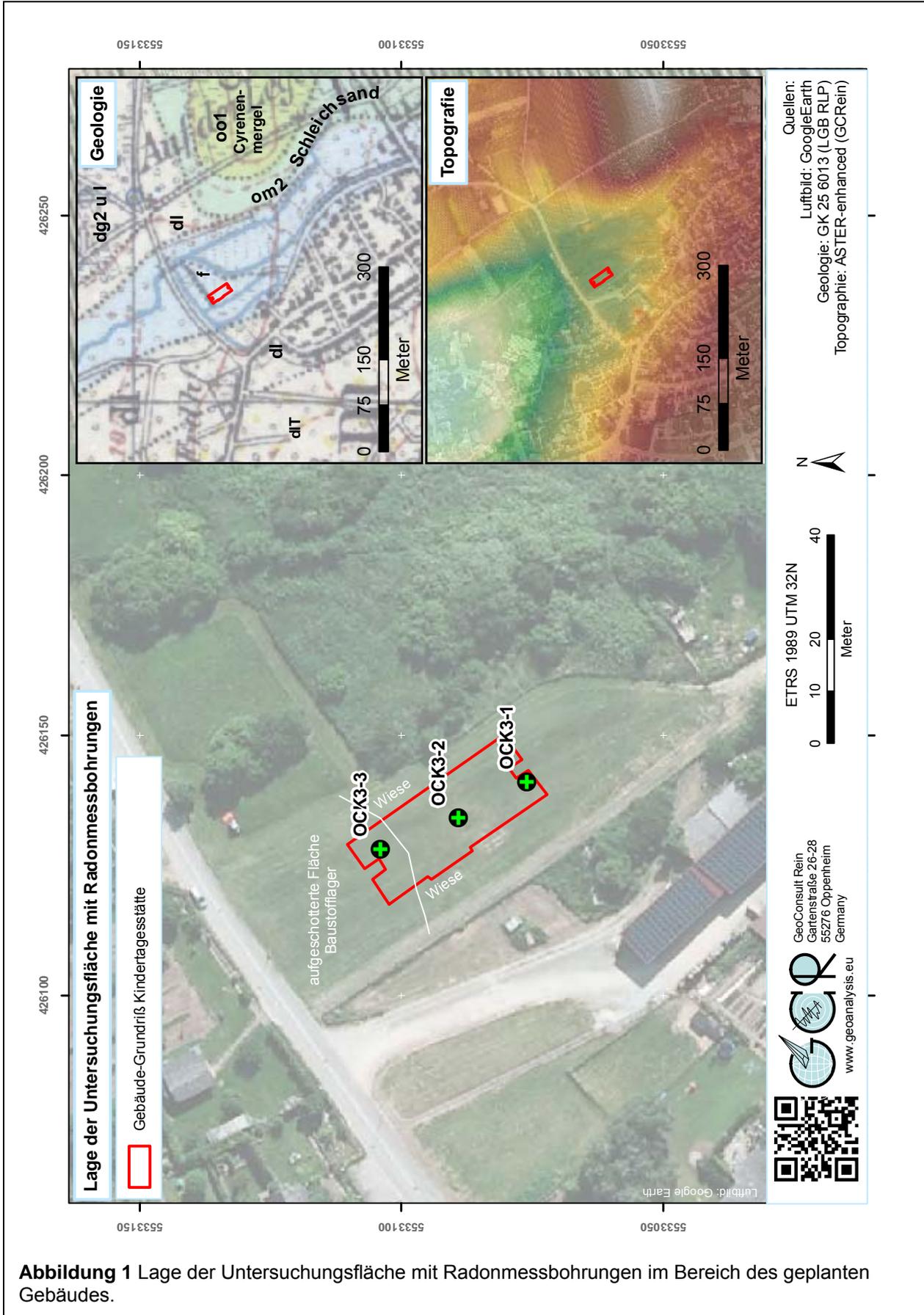
Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von  $100 \text{ Becquerel/m}^3$ . Ob dieser in nationales Recht umgesetzt wird, oder die Mindestanforderung der EU ist noch offen.

#### **4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche**

Die Untersuchungsfläche liegt in östlicher Ortsrandlage von Ockenheim bei 108 m NN in Tallage. Die Fläche fällt im Talverlauf leicht nach Norden ein, steigt aber ab der nördlichen Gebäudestirn des geplanten Gebäudes im nördlichen Teil zum *Sporkenheimer Weg* durch Anschüttungen wieder leicht an. Nördlich der weißen Linie in Abbildung 1 war die Fläche vegetationsfrei, südlich davon von Wiese bewachsen. Sand-/Kies- und Erdhaufen lagerten zu Beginn der Radonmessungen auf der nördliche vegetationsfreien Fläche weshalb dort auch keine Gammamessungen ausgeführt wurden. Die Fläche ist aufgrund der topografischen Situation und hochwüchsiger Vegetation nach Süden und Osten windgeschützt gelegen. Nach Westen übernimmt diese Funktion auch die Ortsbebauung

#### **5. Vorgehen**

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurden ein vom Auftraggeber zur Verfügung gestellter Katasterplanauszug mit dem Gebäudegrundriß genutzt.



**Abbildung 1** Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen im Bereich des geplanten Gebäudes.

Der Plan wurde mit Hilfe von Flurstückeckpunkten für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert wurde (ETRS89 UTM32N).

Die Einmessung der Messpunkte erfolgte mit GPS (Garmin Colorado 300). Die Positionsgenauigkeit der Koordinaten beträgt gemäß GPS–Statistik  $\pm 3$  Meter.

Die GPS-Koordinaten, der zur Kontrolle vermessenen Grundstückseckpunkte bestätigen und belegen eine ausreichende Lagegenauigkeit mit höherer als oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Untersuchungsfläche am 17. März in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden am 17.03.2017 mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe 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. Die Weiterentwicklungen betreffen vor allem den Feuchteschutz der Exposimeter.

Das Bohrgut aus der Lagerungstiefe der Dosimeter wurde als Probe für Korngrößenanalysen und zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen, des Weiteren Oberflächenproben (10-15 cm Tiefe) zur Bestimmung des Wassergehaltes.

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. Über das Sondenvolumen hinausgehende Massendefizite, aufgrund z.B. der Probennahme, wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe (100-110 cm), sowie des Oberbodens erfolgten am 7. April 2017. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 21 Tage.

## **6. Ergebnisse der Feldarbeiten**

### **6.1. Gammastrahlungsaktivität**

Die Gammastrahlungsaktivität kann als Relativmessung 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 werden über die Strahlung der Radon-Tochternuklide durch diese Kartierung meist abgebildet.

Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen beitragender Nuklide, die in keiner Verbindung zu Radon stehen, und wegen der geringen Tiefenreichweite, die zudem durch temporär wechselnde Faktoren (z.B. Bodenfeuchte) beeinflusst ist, kein direkter Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.

Die Messgröße Impulse pro Sekunde ist geräteabhängig (Detektorgröße). 100 IPS entsprechen bei dem verwendeten Instrument einer Ortsdosisleistung von 130 nSv/h (0,13µS/h).

Die gemessenen Impulsraten liegen in einem engen Wertebereich zwischen 69 – 76 Impulsen/Sekunde. Es ist ein schwacher Trend zu höheren Gammastrahlungsaktivitäten nach Norden zu beobachten.

Anomalien der Gammastrahlungsaktivität, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte besonders berücksichtigt hätten werden müssen, wurden nicht detektiert.

### **6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen**

Die Untersuchungsfläche liegt gemäß der geologischen Karte GK25 6013 (1930) /2/ in quartärer Talfüllungen über tertiären Sedimenten (oligozäne Schleichsande) (Abb. 1).

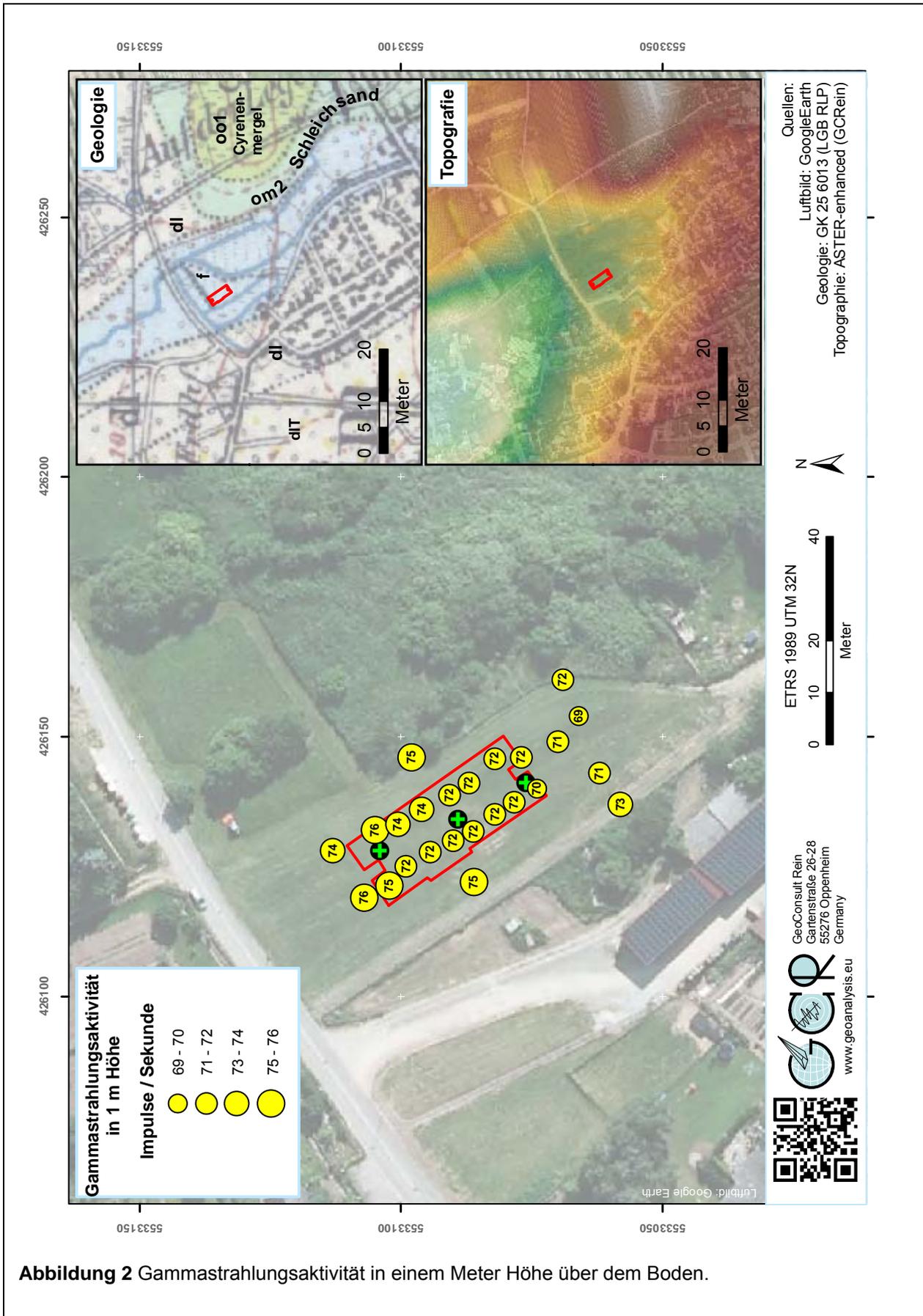


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

Einzelne Schichtglieder der Schleichsande können lokal sehr stark Radon-emanierend sein, mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen über 200 kBq/m<sup>3</sup>.

Die Radonmessbohrungen haben den in Tabelle 1 beschriebenen Bodenaufbau im obersten Bodenmeter ergeben.

**Tabelle 1:** Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 1)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
OCK3 - 1	426141	5533076	0-10 10-50 50-110	Sand, mittelbraun Sand, hellbraun, z.T. rostfarben Mergel/Lehm, stark sandig und rostfleckig
OCK3 - 2	426134	5533089	0-10 10-70 70-110	Sand, mittelbraun Sand, hellbraun bis rostfarben Mergel/Lehm, stark sandig, rostfleckig
OCK3 - 3	426128	5533104	0-20 20-65 65-110	Sand, hellbraun Sand, schluffig, dunkelbraun Sand, grau

## 7. Laborergebnisse

### 7.1 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 in der Bodenluft in etwa 3-fach höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Deshalb kann bei erhöhten Wassergehalten die Radonkonzentration in der Bodenluft ansteigen. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser 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 Werte für den Wassergehalt der Böden sind in Tabelle 2 dargestellt.

**Tabelle 2:** Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-100 / 100-105 cm		10-15 cm	
				17.03.17	07.04.17	17.03.17	07.04.17
OCK3 - 1	426141	5533076	110	20,8	23,0	18,0	14,7
OCK3 - 2	426134	5533089	110	23,7	14,9	12,9	10,9
OCK3 - 3	426128	5533104	110	15,1	17,0	13,5	13,1

Die Böden waren zu Beginn und Ende der Radonmessungen in einem Meter Tiefe feucht. Oberflächennah waren die Böden trockener und zum Auslageende trockener als zu Auslagebeginn.

Die Bodenfeuchte in der Messtiefe war ausreichend um unterdurchschnittliche Radonemanation zu verhindern. Ebenso müssen aufgrund der Bodenfeuchte keine dauerhafte überhöhten Exhalationsraten angenommen werden.

## 7.2 Gaspermeabilität

Die Gaspermeabilität ist eine wichtige Größe zur Abschätzung der Radonverfügbarkeit im Untergrund. 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, aus dem Radon in Richtung des Gebäudes strömen und dieses erreichen kann. Niedrige Radonkonzentrationen, aber hohe Gasdurchlässigkeit (Kiese/Steine/Sande) im Untergrund können zu höheren Radonkonzentrationen im Gebäude führen als in solchen Gebäuden, die auf gasdichtem Untergrund (sehr feinkörnige Böden → tonige Lehme, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume und Wühlgänge oder Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen. Des Weiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den Kiesen/Sanden bis überwiegend stark sandigen Mergeln liegen die Gasdurchlässigkeiten bei  $k=3 \cdot 10^{-11}$  bis  $k=10^{-14} \text{ m}^2$ . Aufgrund dünner sandiger Lagen in

den Mergel müssen für diese etwas höhere Gaspermeabilitäten angesetzt werden. Den Berechnungen der Radonverfügbarkeit wurde in den sandigen Mergeln ein Wert von  $k=5 \cdot 10^{-13}$  zu Grunde gelegt (Kap. 7.4).

### 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Bingen Gaulsheim (88 m ü NN) liegt 1,2 Kilometer nordnordwestlich der Untersuchungsfläche (108 m NN) in der Rheinebene. Die Wetterstation liegt auf einer von landwirtschaftlichen Flächen umgebenen kleinen Wiese.

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

Die Abbildungen 3-4 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Radonlangzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche.

Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen (nur Oppenheim), sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls dargestellt.

Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages an.

Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung.

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An den Wetterstationen sind die zeitlichen Änderungen (Witterungsverläufe; nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen ähnlich.

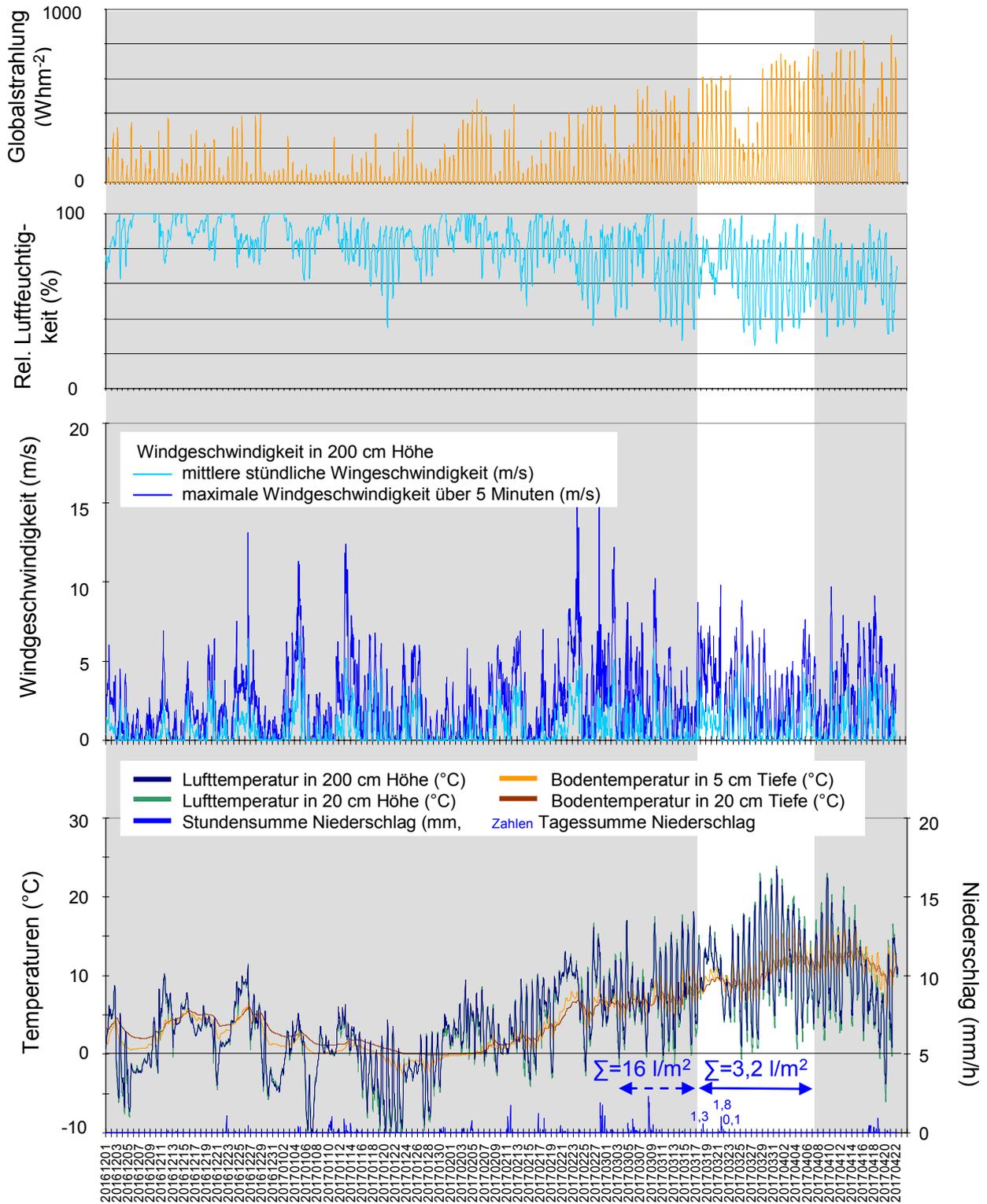
Die Niederschläge waren in den 14 Tagen vor Beginn der Radonmessungen an beiden Wetterstationen vergleichbar (Gaulsheim  $16 \text{ l/m}^2$ , Oppenheim  $18,3 \text{ l/m}^2$ ), wobei

an beiden Stationen in der letzten Woche vor Beginn der Radonmessungen keine Niederschläge fielen. Während der Radonmessungen in Ockenheim fielen an beiden Stationen nur geringfügige Niederschläge (Gaulsheim 3,2 l/m<sup>2</sup>, Oppenheim 5,4 l/m<sup>2</sup>), die sich zudem auf mehrere Niederschlagsereignisse verteilten. Eine Behinderung der Radonexhalation war somit zu keinem Zeitpunkt während der Messungen gegeben.

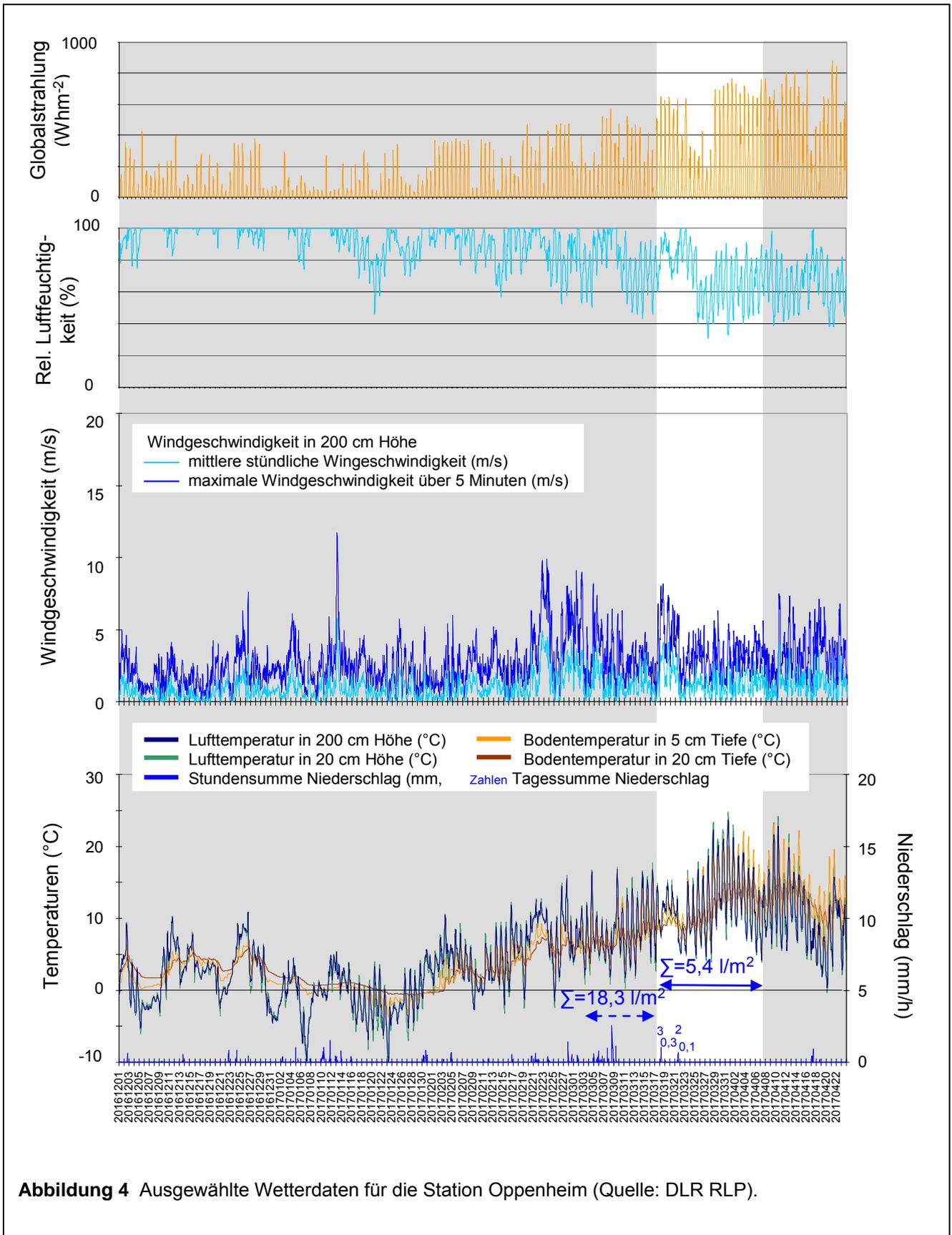
Die Wetterstation Oppenheim liegt nur wenige hundert Meter entfernt von der Radonreferenzstation GCR-Oppenheim.

Abbildung 5 zeigt die Zeitreihe der Radonkonzentrationen an der von GeoConsult Rein betriebenen Radonreferenzstation, wo stündlich die Radonkonzentration in einem Meter Tiefe seit dem 1. April 2012 gemessen wird. Für die Untersuchungsfläche kann aufgrund der ähnlichen Witterung eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen angenommen werden.

Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 97% des 5-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im März/April 2017 somit repräsentativ erfasst.

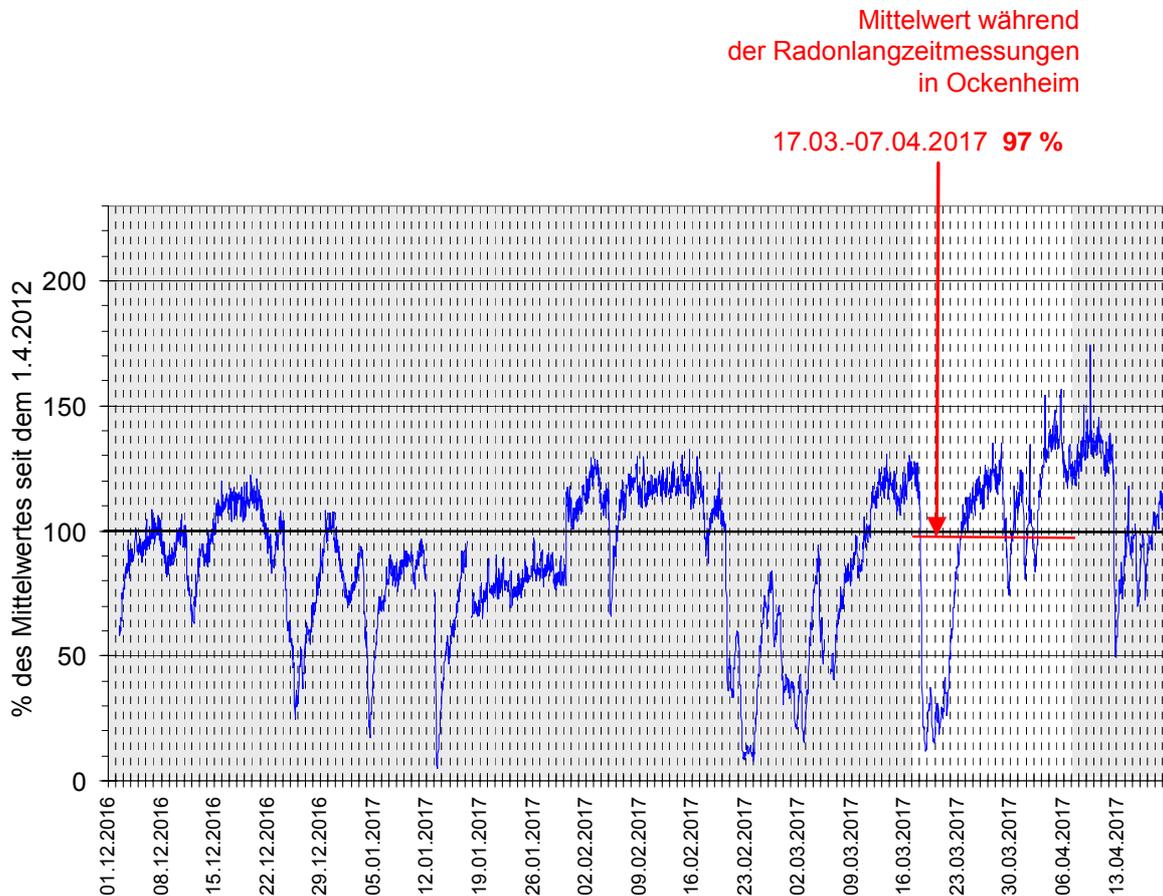


**Abbildung 3** Ausgewählte Wetterdaten für die Station BIN-Gaulsheim (Quelle: DLR RLP).



**Abbildung 4** Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

### Stündliche Radon-222-Aktivitätskonzentration in Oppenheim (RTM1688-2, „fast mode“, Po-218)



**Abbildung 5** Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Ockenheim (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1. April 2012.

#### 7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 und Abbildung 6 dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1 kBq = 1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 2 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem Aktivitätskonzentrationsbereich von  $31,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  bis  $50,7 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma) (Tab. 3).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die, wegen der repräsentativen Messbedingungen während der Beobachtungsperiode, in Tabelle 3 dargestellten ähnlichen Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rn}$  wk) mit Werten zwischen  $32,8 \pm 20\%$  bis  $52,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma).

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

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] ±20% (2sigma)		Gasperm [m <sup>2</sup> ]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		$C_{Rn}$ +/-20%	$C_{Rn}$ wk +/-20%		Rna (dimensionslos) (Slunga) $C_{Rn}$ $C_{Rn}$ wk $C_{Rn}$ wk +20%	RVI (Bq/m) (Surbeck) $C_{Rn}$ $C_{Rn}$ wk $C_{Rn}$ wk +20%
		Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m <sup>3</sup>	Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m <sup>3</sup>		Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>	Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>
OCK3-1	17.03.- 07.04.17	31,9	<b>32,8</b>	5E-13	<b>1,64</b> <b>1,65</b> <b>1,73</b>	
OCK3-2	17.03.- 07.04.17	50,7	<b>52,3</b>	5E-13	<b>1,84</b> <b>1,85</b> <b>1,93</b>	
OCK3-3	17.03.- 07.04.17	48,3	<b>49,8</b>	3E-11		<b>1,5 E-06</b> <b>1,5 E-06</b> <b>1,8 E-06</b>

\* wk witterungskorrigiert (approximiert);

<b>RVK 0</b>	Keine Radonschutzmassnahmen erforderlich
<b>RVK I</b>	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
<b>RVK II</b>	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
<b>RVK III</b>	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar

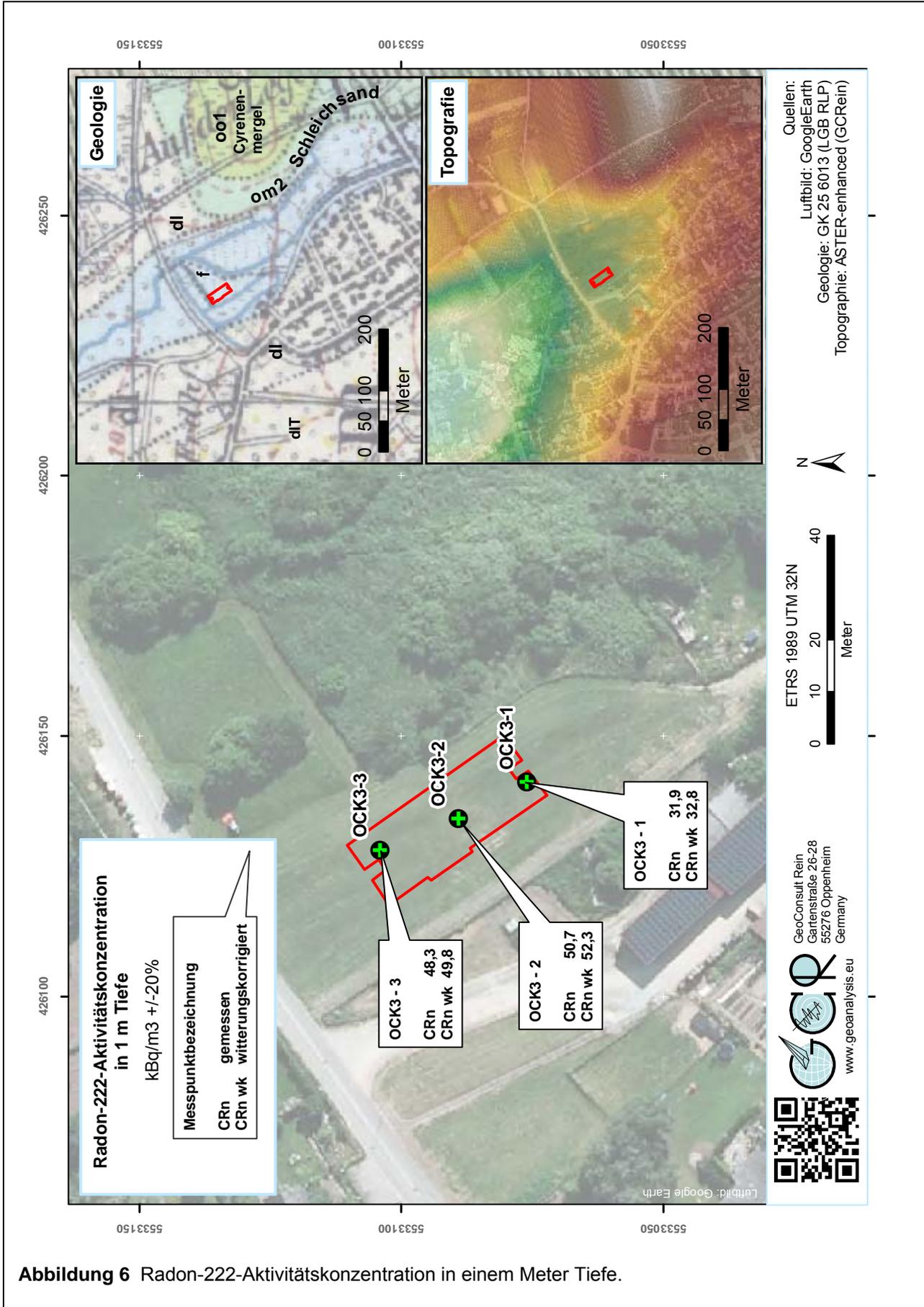


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.

Die 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 auf der Untersuchungsfläche festgestellten Gasdurchlässigkeiten werden hier die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit von Slunga und Surbeck angewandt.

Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit wurde die Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe zu Grunde gelegt.

Aufgrund der Radonkonzentration ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von  $<400 \text{ Bq/m}^3$  in Innenräumen eine heterogene Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK I und RVK II (Tab. 3).

Durch die Indizes für die Radonverfügbarkeit, die die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachten und bei einem Zielwert von  $250 \text{ Bq/m}^3$  (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte), ergibt sich ebenfalls eine Eingruppierung der Radonmesspunkte in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK I und RVK II.

Der Zielwert der Klassifikation von  $250 \text{ Bq/m}^3$  liegt knapp unter den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie ( $<300 \text{ Bq/m}^3$ ), aber über dem Zielwert von  $<100 \text{ Bq/m}^3$ , der in Deutschland noch alternativ diskutiert wird.

## 8. 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 gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Die Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sieht eine Erhöhung der RVK um eine Stufe vor. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m<sup>3</sup> in Innenräumen) als von der EU seit 2013 mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.

**Tabelle 4** Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration <400 Bq/m <sup>3</sup> )	Radonaktivitätskonzentration (kBq/m <sup>3</sup> = Kilo-Becquerel/m <sup>3</sup> )
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	<20 kBq/m <sup>3</sup> (<20 000 Bq/m <sup>3</sup> )
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	>20 – 40 kBq/m <sup>3</sup>
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	>40 – 100 kBq/m <sup>3</sup>
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	>100 kBq/m <sup>3</sup>

Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht dagegen auf einem Zielwert von maximal 250 Bq/m<sup>3</sup> in der Raumluft.

Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise. Eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser oder vergleichbar energieeffiziente Gebäude, in denen die Radonkonzentration bei

unsachgemäß eingestellter Lüftung („Nachregeln“ durch Bewohner) das Mehrfache dessen in Häusern konventioneller Bauart erreichen kann, liegt bisher nicht vor.

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

**Die empfohlenen Massnahmen orientieren sich am derzeit gültigen EU-Richtwert von 300 Bq/m<sup>3</sup>, weil eine Entscheidung über einen eventuell schärferen nationalen Richtwert in Deutschland von 100 Bq/m<sup>3</sup> noch aussteht.**

Aufgrund der vorgenannten Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen werden für das Bauvorhaben Radonpräventionsmassnahmen gemäß der Radonvorsorgegebietsklasse II (RVK I) empfohlen.

**Empfehlung** - Typische Präventivmassnahmen in einer **Radonvorsorgegebietsklasse RVK II (2)** umfassen:

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 deren gasdichte Ausführung zu achten.
2. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes oder im Innenbereich.
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. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.
5. 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.
6. Unter Umständen eine passive oder aktive Bodengasdrainage zur Erzeugung eines Unterdruckes unter dem Gebäude zur Druckgradientenumkehr und Ableitung von Bodengas in die Drainage, vor allem, wenn das Gebäude nicht unterkellert geplant ist und Frostschrünzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern.

Sollten Frostschrünzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern, wird dringend empfohlen passive oder aktive Entlüftungsmöglichkeiten im Schotterbett unter dem Fundament vorzusehen, um erhöhte Radonkonzentrationen durch mangelnde Exhalationsmöglichkeiten abzubauen.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten 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.

Solange Gebäudepläne nicht vorliegen, ist obiger Massnahmenkatalog als allgemeine Empfehlung zu betrachten. Welche Radonpräventionsmassnahmen davon am konkreten Bauprojekt umgesetzt werden sollten, bzw. durch welche anderen Massnahmen ein kostengünstigerer und gleichermaßen effektiver Radonschutz erreicht wird, kann nach Vorliegen der Pläne abgestimmt werden, um einen optimierten Wirkungs-/Kosteneffekt bei der Radonprävention zu erreichen. Der Radongutachter kann in diesen Prozess beraten, bei der Auswahl geeigneter

Materialien bzw. Kombinationen von Massnahmen zur Radonprävention unterstützen und die Ausführung der Arbeiten ggf. begleiten/überwachen.

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, 02.05.2017