

## Bericht

### Radonbelastung in der Bodenluft

Planig / „Feuerwehrgerätehaus“  
Projektnummer 20161007\_Rn222\_PLA

**GeoConsult Rein**



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

Bericht:  
Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

baucontrol  
Diplomingenieure Simon & Nowicki  
Stromberger Str. 43  
55411 Bingen

29.November 2016

**GLIEDERUNG** 2

1.	Auftrag	4
2.	Verwendete ortszogene 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	11
6.1.	Gammastrahlungsaktivität	11
6.2.	Geologie und Böden der untersuchten Flächen	11
7.	Laborergebnisse	12
7.1	Bodenfeuchte	12
7.2	Gaspermeabilität	13
7.3	Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	13
7.4	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	18
8.	Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	21

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmesspunkten.	<b>8</b>
<b>Abbildung 2</b>	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	<b>10</b>
<b>Abbildung 3</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Sprendlingen.	<b>14</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim.	<b>15</b>
<b>Abbildung 5</b>	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Planig .	<b>17</b>
<b>Abbildung 6</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.	<b>19</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>12</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	<b>20</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>21</b>

## 1. Auftrag

Baucontrol - Diplomingenieure Simon & Nowicki beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für die Grundfläche des geplanten Feuerwehrgerätehauses in Planig.

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

## 2. Verwendete ortsbbezogene Materialien

- /1/ Bebauungsplan der Stadt Bad Kreuznach / „Feuerwehrgerätehaus Planig“ (Nr. P11).
- /2/ Geologische Karte RLP GK25 6113 (1926)
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- /4/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Sprendlingen und Oppenheim
- /5/ 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 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 Bq/m<sup>3</sup>. Bei einer Rn222-Raumluftkonzentration von 800 Bq/m<sup>3</sup> 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, Mauerführungen 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 Bq/m<sup>3</sup> 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 Arbeitsstättenschutzverordnung, im Bereich privaten Wohnungsbau 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 Becquerel/m<sup>3</sup>. Ob dieser oder die Mindestanforderung der EU in nationales Recht umgesetzt wird, ist noch offen.

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

Die zu untersuchende Fläche befindet sich in südlicher Ortsrandlage von Planig. Die Fläche wurde früher ackerbaulich genutzt (s. Luftbild in Abb. 1).

Zum Zeitpunkt der Radonmessungen war die ehemalige Ackerfläche Brache und von niedrigen Kräutern und Gras bewachsen.

Die geplante Grundfläche des Gebäudes liegt bei einer topografischen Höhe von 110 Meter NN auf einen sehr flach nach Norden einfallenden Hang.

#### **5. Vorgehen**

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde ein vom Auftraggeber zur Verfügung gestellter Vorabzug des Bebauungsplanes /1/ genutzt. Der Plan wurde mit Hilfe von Flurstückeckpunkten für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert (ETRS89 UTM32N).

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

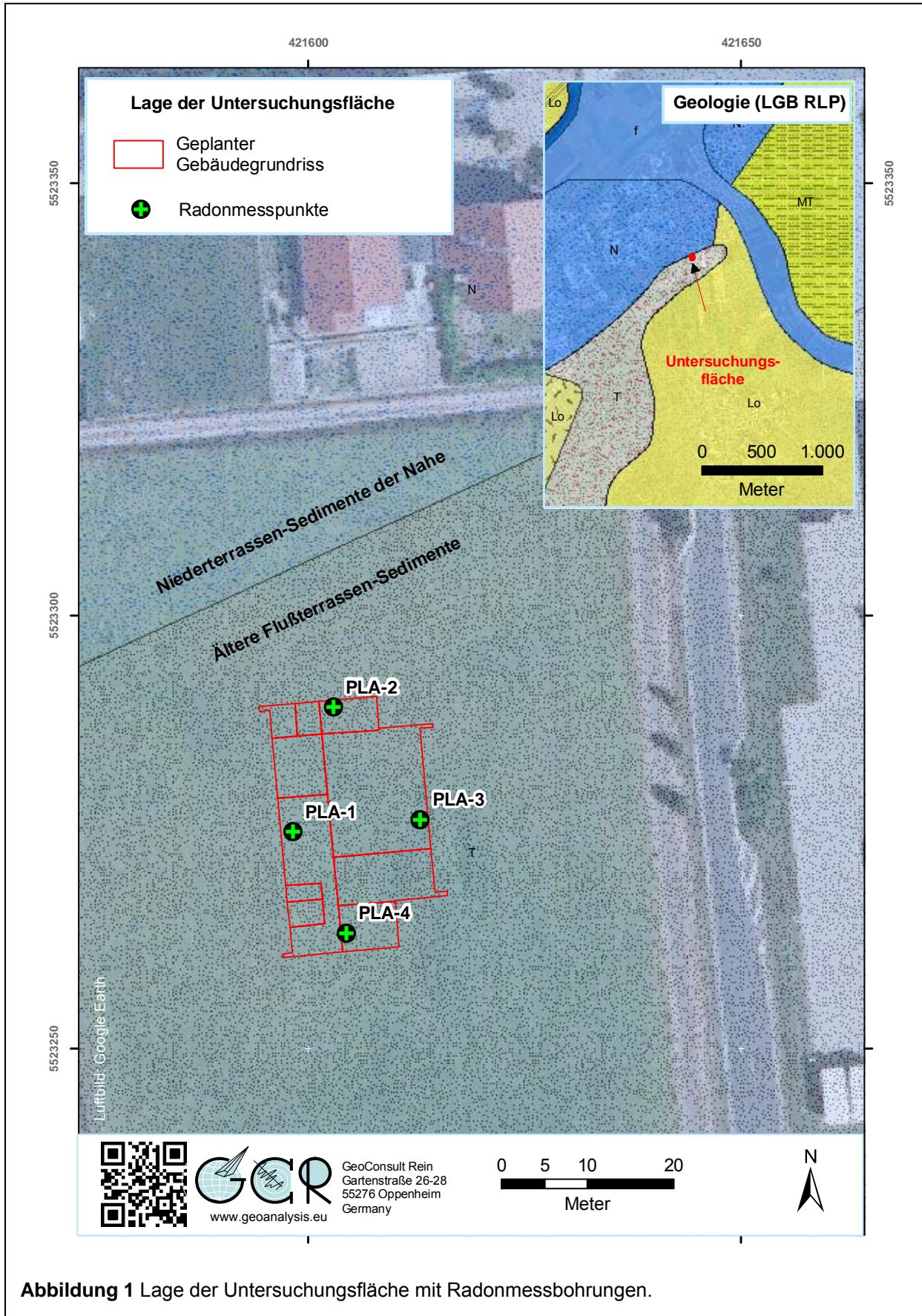


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen.

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 4. Oktober 2016 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf natürliche Gesteinswechsel, anthropogene Auffüllungen oder durch tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden am 07.Oktober 2016 mit 60 mm Durchmesser bis in einen 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.

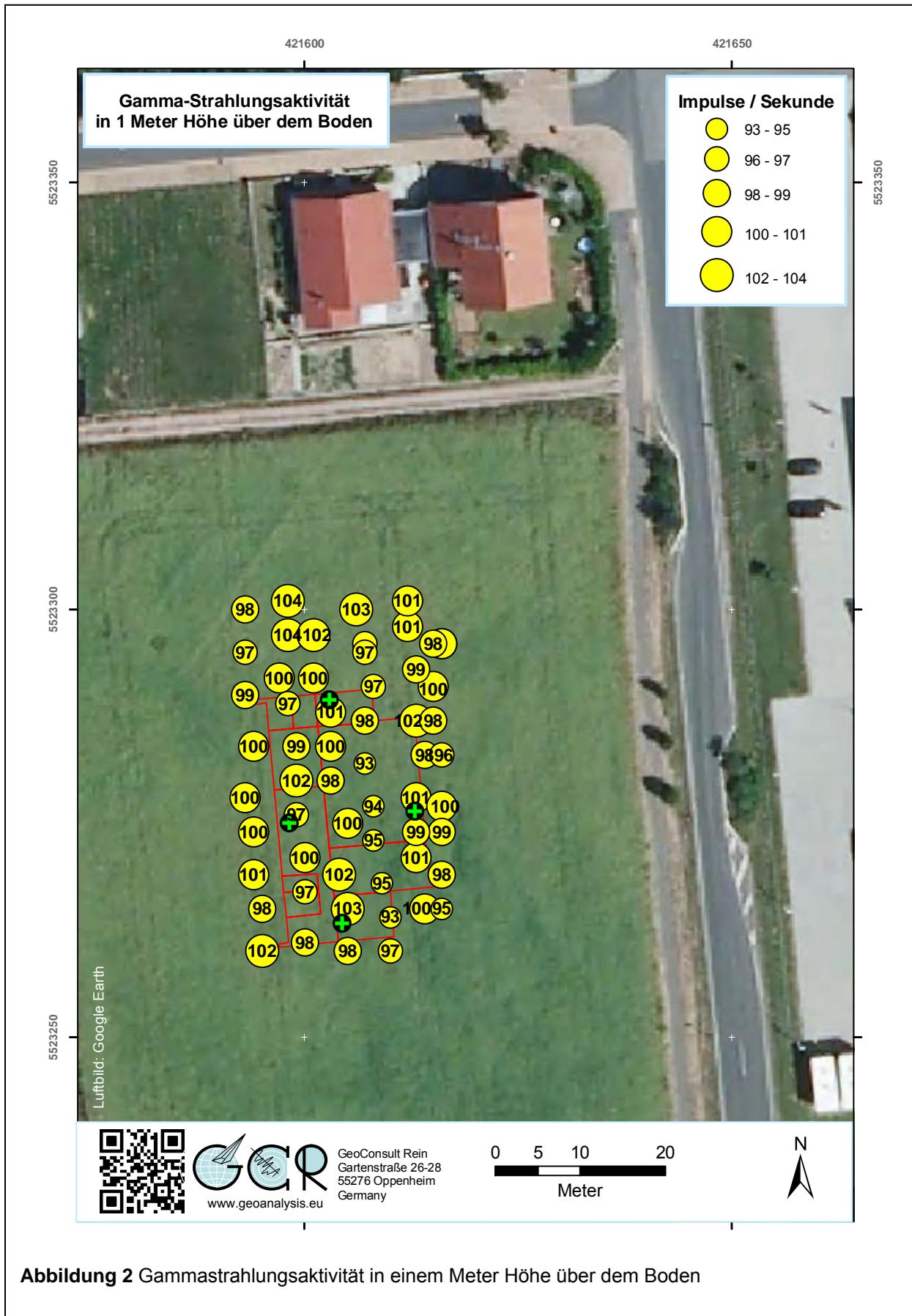
Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Kernspurdetektoren und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden aufbaut, die von GeoConsult 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 Korngrößenbestimmung 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 (105-110 cm), sowie des Oberbodens erfolgten am 21. Oktober 2016.

Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 Tage.



**Abbildung 2** Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden

## 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) beeinflusste 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 Ortsdosisisleistung von 130 nSv/h (0,13 $\mu$ S/h).

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem engen Wertebereich von 93-103 Impulsen pro Sekunde (IPS) (Abb. 2). Ein räumlicher Trend ist nicht erkennbar, ebensowenig Anomalien, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte hätten berücksichtigt werden müssen.

### 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Im natürlichen Untergrund der Bauplätze stehen gemäß den geologischen Karten quartäre Flußablagerungen der Nahe und des Rheines an.

Die bis in 105/110 cm Tiefe reichenden Radonbohrungen haben die Flußterrassenablagerungen bestehend aus Sanden und Kiesen durchgängig in den Bohrungen angetroffen. Die darunter lagernden tertiären Tone wurden in keiner der flachen Bohrungen erreicht.

## 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 1 dargestellt.

Die Wassergehalte der Böden waren nach ergiebigen Regenfällen am vorletzten Tag der Radonmessungen (vgl. Kap. 7.3) zum Ende der Radonmessperiode feuchter als zu Messbeginn und feuchter als während der ersten 12 Tage der Radonmessungen.

Aufgrund der Bodenfeuchte während der Radonmessungen sind unterdurchschnittliche Emanationsraten in der Lagerungstiefe der Radonsonden nicht gegeben. Die Radonexhalation (Entgasung) war aufgrund der geringen Bodenfeuchtwerte aber überdurchschnittlich. Nach Überbauung der Exhalationspfade werden deshalb die Radonkonzentrationen im Baugrund deutlich ansteigen.

**Tabelle 1:** Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-105 / 100-105 cm		10-15 cm	
				07.10.16	21.10.16	07.10.16	21.10.16
PLA-01	421598	5523275	100/105	11,4	11,6	4,3	9,3
PLA-02	421603	5523289	100/105	10,0	9,8	5,1	9,2
PLA-03	421613	5523276	100/105	9,8	10,7	4,6	8,9
PLA-04	421604	5523263	100/105	12,1	11,8	6,7	7,8

## 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 → 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.

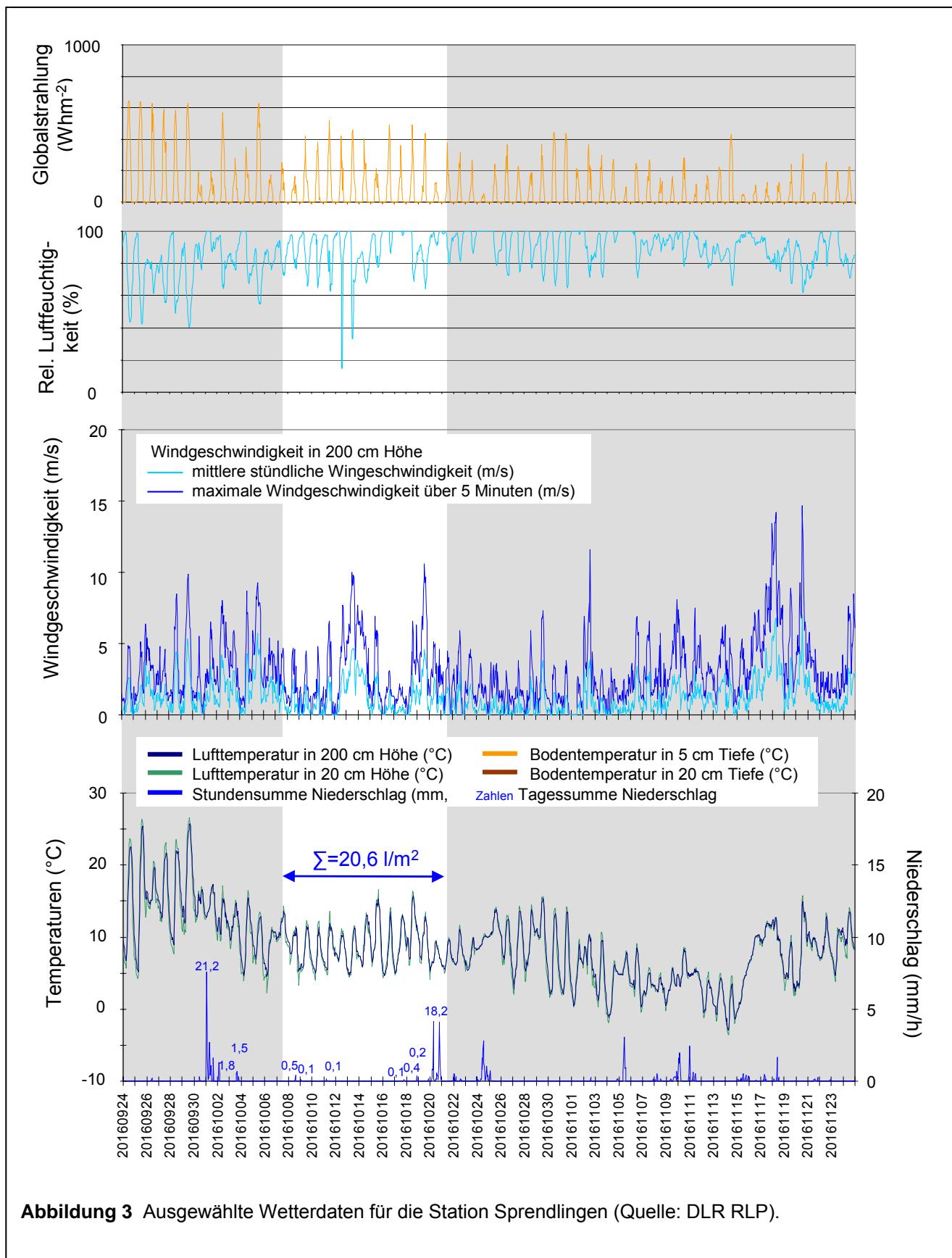
In den sandig-kiesigen Böden sind die Gasdurchlässigkeiten hoch und nehmen Werte für  $k$  von mindestens  $5 \cdot 10^{-10} \text{ m}^2$  an. In kiesreichen und sandärmeren Horizonten können die Gaspermeabilitäten auch um 1-3 Größenordnungen (10-1000-mal) höher sein. In gut gasdurchlässigen Böden wie auf der Untersuchungsfläche wird diese bei entsprechenden Radonkonzentrationen zur bestimmenden Größe zur Einschätzung des Radonrisikos.

## 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

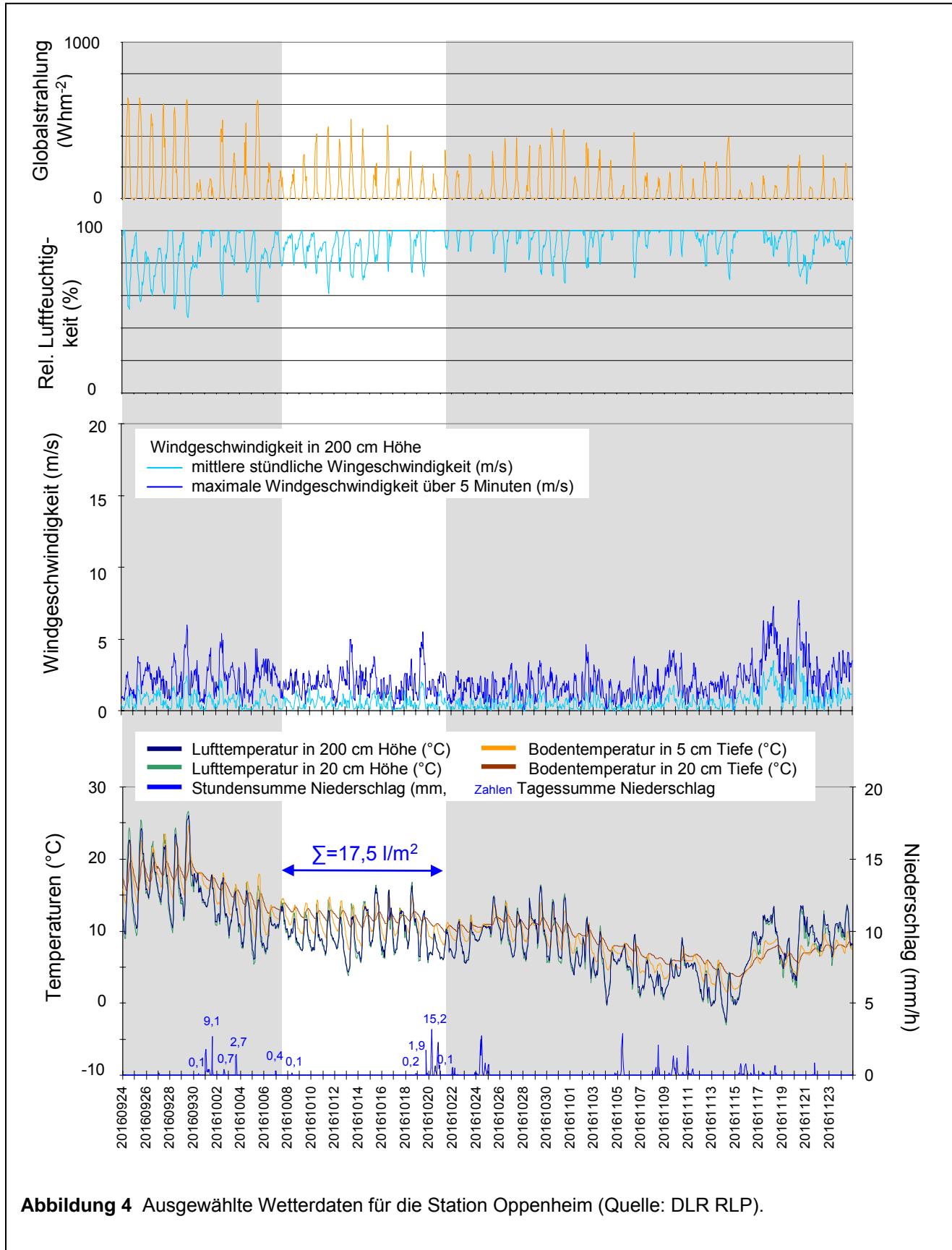
Die nächstgelegene Wetterstation liegt westlich von Sprendlingen in einer ebenen Wiese bei einer topografischen Höhe von 128m ü NN. Die Entfernung zu der Untersuchungsfläche in Planig (110 m NN) beträgt 5000 m.

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 und 4 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Radonlangzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche.



**Abbildung 3** Ausgewählte Wetterdaten für die Station Sprendlingen (Quelle: DLR RLP).



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

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 beiden Wetterstationen sind die Witterungsverläufe hinsichtlich Einstrahlung, Luftfeuchte und Temperaturverlauf, wie auch der täglichen Temperaturamplituden nahezu identisch. Die zeitliche Dynamik der Windgeschwindigkeitänderungen ist ebenfalls an beiden Stationen vergleichbar, obwohl die Windgeschwindigkeiten in Sprendlingen, wegen der sehr windoffenen Lage der Station, fast doppelt so hoch sind wie in Oppenheim. Auch die zeitliche Verteilung der Niederschläge und die Menge der gefallenen Niederschläge ist vergleichbar. Diese liegen in der Summe über den Radonmesszeitraum in Planig bei 17,5 Litern/Quadratmeter an der Station Oppenheim und 20,6 l/m<sup>2</sup> an der Station Sprendlingen. Nennenswerte Regenmengen fielen nur an einem Tag, am 20. Oktober 2016, einen Tag vor Ende der Radonmessperiode.

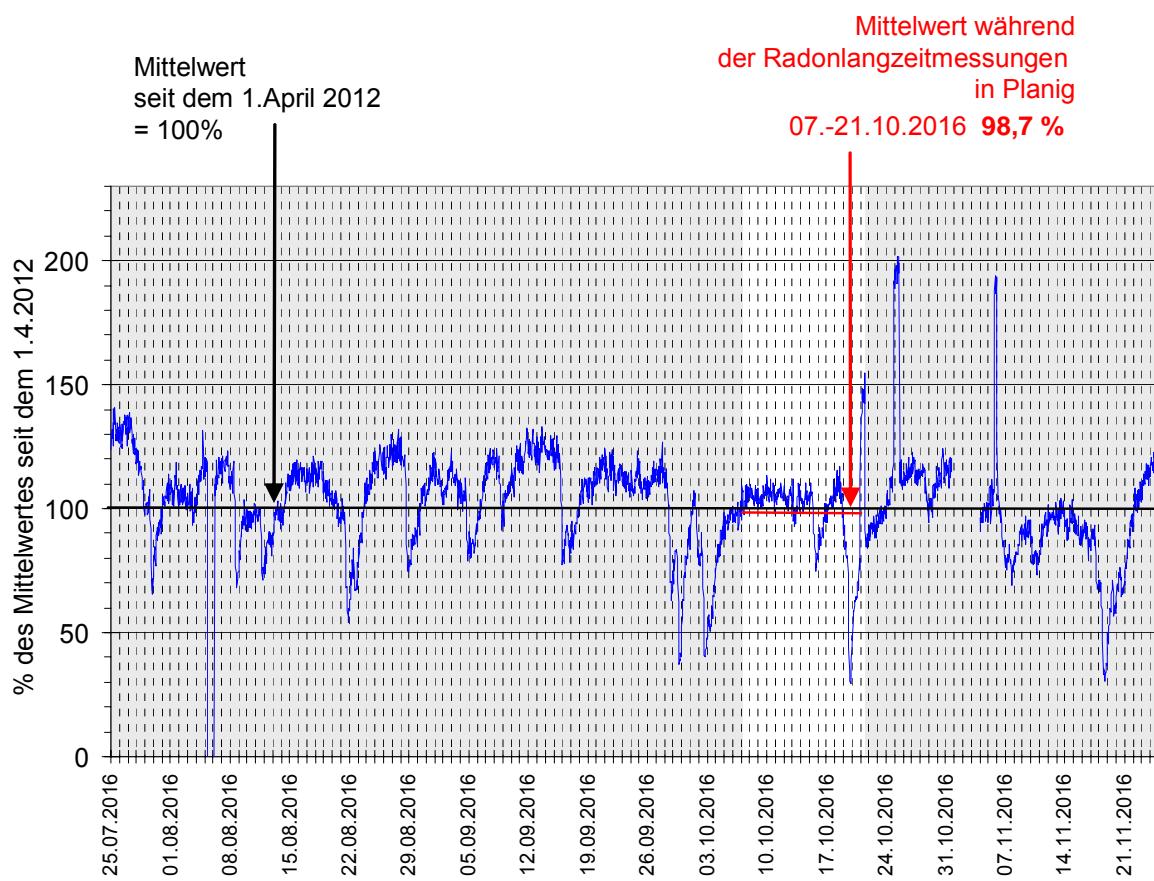
Die Wetterstation Oppenheim liegt nur wenige hundert Meter entfernt von der Radonreferenzstation GCR-Oppenheim.

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.

Während des Messzeitraumes in Planig ist die zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen im Boden (Referenzstation Oppenheim) bemerkenswert invariant. Bedeutsam für die Interpretation der gemessenen Radonkonzentrationen sind aber die Regenfälle des 20. Oktober (s. Abb. 3) und die den Regenfällen des 20. Oktober vorausgegangenen windstarken Zeiten einen Tag

zuvor. In Oppenheim haben die böigen Winde am 19. Oktober zu einer Absenkung der Radonkonzentration im Boden auf 30% des 4,5-jährigen Mittelwertes geführt. Die Starkregen des 20.Oktobe hatten eine gegenteilige Wirkung. Die Radonkonzentrationen stiegen aufgrund der Oberflächenversiegelung durch die Starkregen auf >150% des 4,5-jährigen Mittelwertes.

### 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 Planig (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1.April 2012.

Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 98,7% (07.-21.10.16) des 4,5-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die

Langzeitmessungen im Oktober 2016 somit repräsentativ erfasst. Kurzzeitmessungen innerhalb der Periode der Langzeitmessung in der Planig hätten je nach Messtag Werte zwischen 30->150% der Langzeitkonzentration ergeben. Eine Witterungskorrektur von Kurzzeitmessungen ist nicht möglich.

## 7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 2 und Abbildung 6 dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 14 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem Aktivitätskonzentrationsbereich von 27,6 kBq/m<sup>3</sup> ±20% bis 41,5 kBq/m<sup>3</sup> ±20% (2sigma) (Tab. 2).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rn}$  wk) mit Werten zwischen 28 kBq/m<sup>3</sup> ±20% bis 42 kBq/m<sup>3</sup> ±20% (2sigma).

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 Gaspermeabilitäten von  $k \geq 10^{-12} \text{ m}^2$  wird hier der Radonverfügbarkeitindex (RVI, Bq/m) von Surbeck angewandt. Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit ist die Bodenart-bezogene Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe zugrunde gelegt.

Aufgrund der Radonkonzentration ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von <400 Bq/m<sup>3</sup> in Innenräumen eine heterogene Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen über zwei Radonvorsorgegebietsklassen RVK I bis RVK II (Tab. 2).

Durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit und einem Zielwert von 250 Bq/m<sup>3</sup> (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte) ergibt sich wegen der hoch

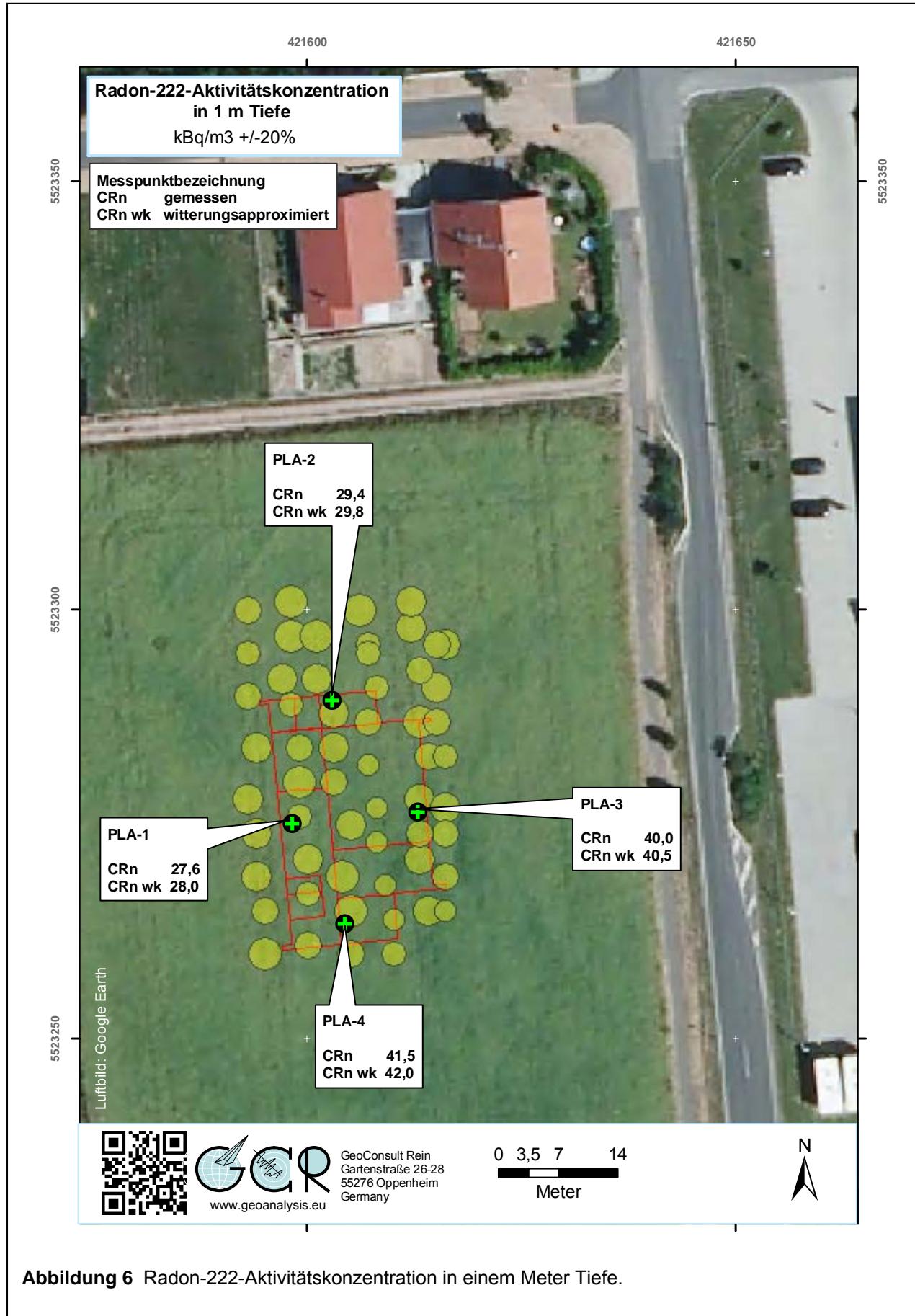


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.

**Tabelle 2:** 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 <sub>Rn</sub>	C <sub>Rn</sub> wk C <sub>Rn</sub> wk +20%		Rna (dimensionslos) (Slunga)	RVI (Bq/m) (Surbeck)
			Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m <sup>3</sup>		C <sub>Rn</sub> C <sub>Rn</sub> wk C <sub>Rn</sub> wk +20%	C <sub>Rn</sub> C <sub>Rn</sub> wk C <sub>Rn</sub> wk +20%
PLA-01	07.- 21.10.16	27,6	28,0 33,6	10 <sup>-10</sup>		Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>
PLA-02	07.- 21.10.16	29,4	29,8 35,7	10 <sup>-10</sup>		Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>
PLA-03	07.- 21.10.16	40,0	40,5 48,6	10 <sup>-10</sup>		1,47E-05 1,49 E-05 1,79E-05
PLA-04	07.- 21.10.16	41,5	42,0 50,4	10 <sup>-10</sup>		2,00E-05 2,02E-05 2,43E-05

\*wk witterungskorrigiert (approximiert);

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

gaspermeablen Böden eine einheitliche Einordnung aller Radonmesspunkte in die Radonvorsorgegebietsklasse **RVK III**.

Der Zielwert der Klassifikation von 250 Bq/m<sup>3</sup> liegt knapp unter den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie (<300 Bq/m<sup>3</sup>), aber über dem Zielwert von <100 Bq/m<sup>3</sup>, 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) empfehlen die in Tabelle 3 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung der geogenen Radonkonzentration mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ist nur die gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben 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 3 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.

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, mit bei unsachgemäß eingestellter Belüftung zum Teil deutlich höheren Radonkonzentrationen in der Raumluft, liegt bisher nicht vor.

**Tabelle 3** 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 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, 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.

**Für die Bebauung werden nachfolgende Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgeklasse III (RVK III) 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 unbedingt 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 abgedichtet, 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 Kellerwänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.

6. 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 Frostschürzen eine passive Entlüftung des Bodens unter dem Gebäude verhindern.
7. Sollte das Gebäude voll- oder teilunterkellert geplant sein, sollte die Tür zum Keller gasdicht abschließen, oder der Keller sollte nur von außen zugänglich sein.

Sorgfalt bei der Radonabwehr sollte gerade auch für Gebäude ohne Unterkellerung deshalb gelten, weil in diesen im statistischen Mittel die Radonkonzentrationen im Erdgeschoss höher als in unterkellerten Gebäuden sind.

Ohne Kenntnis zu der Bauweise des zu errichtenden Gebäudes können nur diese allgemeinen Empfehlungen gegeben werden. Liegen konkrete Gebäudeplanungen vor sind objektbezogene und aufeinander abgestimmte Baumassnahmen zum Radonschutz sowohl zur Kostenreduzierung als auch zur Optimierung und Gewährleistung eines effektiven Radonschutzes zu empfehlen.

Entsprechende objekt-optimierte Konzepte können durch den Radongutachter in Zusammenarbeit mit dem Bauherren/Architekten entwickelt werden.

Sollte das Gebäude keine Aufenthaltsräume enthalten können evtl. geringere Schutzmassnahmen getroffen werden.



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, 29.11.2016