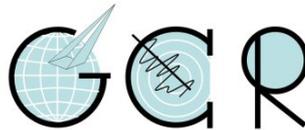


## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

BPL Südlich Wooggraben - Teilbereich Ost und West  
Projektnummer 20170529\_Rn222\_HAR

**GeoConsult Rein**



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

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

Auftraggeber:  
Ortsgemeinde Harthausen  
67376 Harthausen

26. Juni 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	9
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	12
7. Laborergebnisse	14
7.1 Bodenfeuchte	14
7.2 Gaspermeabilität	14
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	16
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	20
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	26

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Geltungsbereiche mit Radonmessbohrungen.	<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 Lustadt	<b>17</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>18</b>
<b>Abbildung 5</b>	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Harthausen.	<b>19</b>
<b>Abbildung 6</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit mit Radonvorsorgegebietsklassen in einem Meter Tiefe in Teilfläche West.	<b>24</b>
<b>Abbildung 7</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit mit Radonvorsorgegebietsklassen in einem Meter Tiefe in Teilfläche Ost.	<b>25</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	<b>12-13</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>14</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	<b>21-23</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>27</b>

## 1. Auftrag

Die Ortsgemeinde Harthausen beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan "Südlich Wooggraben – Teilflächen Ost und West" in Harthausen.

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 Geltungsbereich "Südlich Wooggraben – Teilbereich Ost"
- /2/ Katasterplanauszug Geltungsbereich "Südlich Wooggraben – Teilbereich West"
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (2003)
- /4/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Lustadt und Oppenheim
- /5/ Google Earth
- /6/ LANIS RLP

## 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

Radonraumlufkonzentration von maximal  $300 \text{ Bq/m}^3$  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 Arbeitsstättenchutzverordnung, 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.

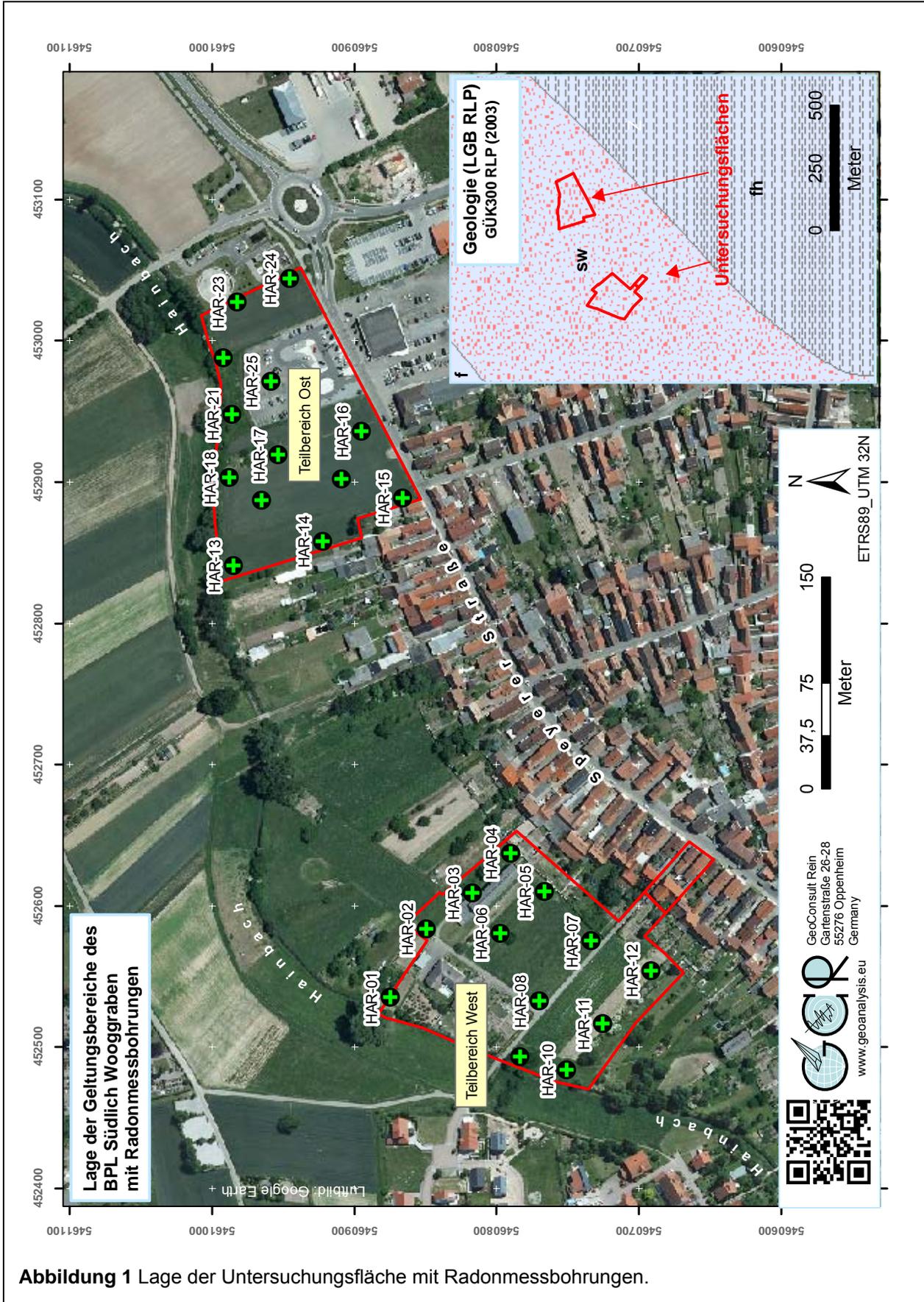
Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von  $100 \text{ Becquerel/m}^3$ . Ob dieser in nationales Recht umgesetzt wird, oder die Mindestanforderung der EU ist noch offen.

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

Die Untersuchungsfläche besteht aus zwei Teilflächen, die zwischen Hainbach und Speyerer Straße liegen.

Die östliche Teilfläche wird mehrheitlich von Getreidefeldern eingenommen, sowie einem Parkplatz. Das Getreide stand zwischen Parkplatz und Klärwerk bis zu  $1,5 \text{ m}$  hoch. Westlich des Parkplatzes war das Getreide zum Zeitpunkt der Radonmessungen etwa einen Meter hoch. Nördlich des Parkplatzes war das Gelände von hohem Gras und Dornenranken überwuchert. Mit Ausnahme des Parkplatzes ergibt sich für die östliche Teilfläche durch das hochwüchsige Getreide in Bodennähe, die umliegende Bebauung und den das Ufer des Hainbach begleitende hochwüchsige Baumvegetation, eine windgeschützte Lage. Die topografische Höhe der Teilfläche beträgt etwa  $108 \text{ m NN}$  an der Speyerer Straße und  $106 \text{ m NN}$  entlang des Hainbaches. Im Bereich der Parkfläche ist dieser Höhenunterschied durch Aufschüttungen auf das Niveau der Straße nivelliert.

Die westliche Teilfläche ist im nördlichen Teil bereits bebaut. Östlich des Weges zum Friedhof war die Fläche ansonsten von kurzgemähem oder bis zu ein Meter hohem Gras bestanden. Westlich des Weges werden die Flächen mit Ausnahme eines



**Abbildung 1** Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen.

Heckenstreifens und dahinterliegender Koppel, ackerbaulich genutzt. Der Acker vor dem Heckenstreifen war wie auch im Luftbild in Abbildung 1 vegetationsfrei. Die westliche Teilfläche ist nahezu eben und liegt bei einer topografischen Höhe von 106-107 m NN

## 5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurden zwei vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Katasterplanauszüge mit den Geltungsbereichen des Bebauungsplanes „Südlich Wooggraben – Teilflächen West und Ost“ 1/1/2/ genutzt, der 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 z.T. höherer als oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Untersuchungsfläche am 29. Mai 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 31.05.2017 mit 60 mm Durchmesser bis in 1,05 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.

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 (105-110 cm), sowie des Oberbodens erfolgten am 14. Juni 2017. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 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 niedrigen bis moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich. Die relativ höchsten Gammastrahlungsaktivitäten im Bereich der Parkflächen sind durch geringe Anteile von vulkanischen Schottern in der Tragschicht verursacht.

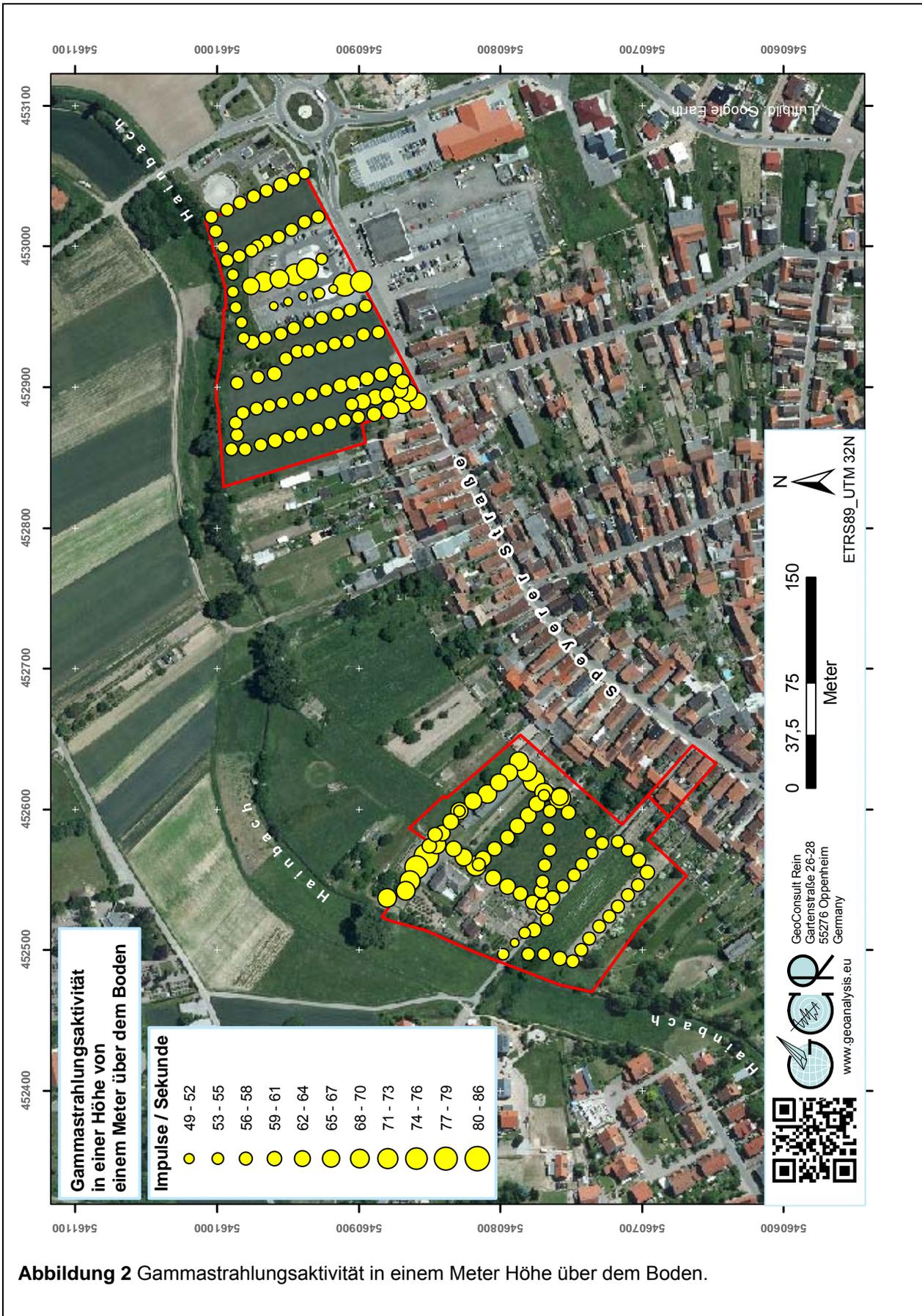


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

Auch auf der westlichen Teilfläche stehen die relativ höchsten Gammastrahlungsaktivitäten mit bestehender oder ehemaliger Bebauung im Zusammenhang.

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

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Die Untersuchungsflächen liegen auf sandigen Schwemmfächersedimenten des Haardtrandes über sandig-kiesigen Niederterrassensedimenten /3/ (Abb. 1).

Dies belegen auch die bis in 105 (110) cm Tiefe reichenden Bohrungen für die Radonmessungen, die den in Tabelle 1 beschriebenen Bodenaufbau zeigen.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
HAR-01	452535	5460875	0-70 70-105	Fein- bis Mittelsand, schwarzbraun-graubraun Feinsand, schwarzbraun-graubraun
HAR-02	452584	5460849	0-30 30-80 80-105	Feinsand, kiesig, schwach schluffig, graubraun Feinsand, kiesig, schwach schluffig, mittelbraun Mittelsand, rötlich braun
HAR-03	452609	5460817	0-20 20-85 85-105	Feinsand, schwach mittelsandig, grau Feinsand, schwach mittelsandig, beige Feinsand, schwach schluffig bis schluffig
HAR-04	452637	5460790	0-20 20-90 90-103	Sand, grau Fein- bis Mittelsand, schwach schluffig, hellbraun Mittelsand, rotbraun
HAR-05	452610	5460766	0-25 25-60 60-105	Fein- bis Mittelsand, schwach schluffig Fein- bis Mittelsand, gelblich Mittelsand, rotbraun
HAR-06	452581	5460797	0-35 35-75 75-98 98-105	Feinsand, graubraun Fein- bis Mittelsand, gelblich braun Mittelsand, Steinchen, rotbraun Feinsand, gebleicht
HAR-07	452575	5460733	0-80 80-105	Mittelsand, beige Sand, rot
HAR-08	452532	5460770	0-30 30-70 70-95 95-105	Sand, braun Sand, graubraun Sand, mittelbraun (feucht) Sand, mittelbraun mit hellen und braunen Lehm- /Tonlinsen, rost- und manganfleckig
HAR-09	452493	5460783	0-55 55-90 90-105	Feinsand, graubraun, z.T. mit bauschutt Fein- bis Mittelsand, graubraun, rostfleckig Mittelsand, grau, rostfleckig
HAR-10	452484	5460751	0-30 30-80 80-105	Sand, dunkelgraubraun Sand, graubraun Sand, graubraun, rostfleckig

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
HAR-11	452516	5460725	0-50 50-75 75-105	Sand, graubraun Mittelsand, orangebraun bis rotbraun Feinsand, feinkiesig, schwach schluffig
HAR-12	452554	5460692	0-30 30-70 70-95 95-105	Mittelsand, dunkelbraun Mittelsand, mittelbraun Sand, hell mit fast weißen Partien (fleischfarben) Feinstsand, fleischfarben, z.T. gebleicht, Siltlinsen
HAR-13	452841	5460985	0-50 50-105	Sand, sehr schwach schluffig, graubraun Mittelsand, grau, schwach rostfleckig
HAR-14	452858	5460922	0-45 45-105	Feinsand, graubraun Mittelsand, grobsandig, zunehmend rostbraun
HAR-15	452889	5460866	0-50 50-70 70-105	Feinsand, steinig, graubraun Feinsand, mittelsandig, steinig (Ziegelrestchen), graubraun Feinsand bis Mittelsand, orangebraun
HAR-16	452936	5460895	0-30 30-95 95-105	Sand, schwach schluffig, graubraun Feinsand, hellbraun Mittelsand bis Grobsand, rosa
HAR-17	452919	5460954	0-25 25-60 60-105	Feinsand, schluffig, graubraun Feinsand, schluffig, mittelsandig, beigebraun Mittelsand, grobsandig, rehbraun,
HAR-18	452903	5460988	0-30 30-80 80-105	Feinsand, schwach schluffig graubraun Mittelsand, graubraun Mittelsand, schwach grobsandig, graubraun, rötlich, anthrazit
HAR-19	452887	5460965	0-40 40-60 60-105	Feinsand, schluffig, hellgrau Feinsand, schwach schluffig, hellgrau Feinsand, schwach schluffig, rötlich grau bis graurot
HAR-20	452902	5460909	0-30 30-40 40-50 50-60 60-80 80-90 90-105	Feinsand, graubraun Fein- bis Mittelsand, hell Mittelsand, orange Schluff, feinsandig, gelblich orange Feinsand Feinsand, fast weiß Feinsand- bis Mittelsand
HAR-21	452948	5460986	0-75 75-105	Fein- bis Mittelsand, graubraun Dominant Mittelsand, rötlich braun
HAR-22	452988	5460992	0-25 25-50 50-105	Feinsand, schwach schluffig bis schluffig, graubraun Fein- bis Mittelsand, schwach schluffig, graubraun Mittelsand, graubraun
HAR-23	453028	5460982	0-40 40-60 60-105	Sand, schwach schluffig bis schluffig, graubraun Feinsand, grobsandig, feinkiesig, orangebraun Sand, grobsandig, feinkiesig, rötlich braun
HAR-24	453044	5460946	0-40 40-45 45-65(70) 65-105	Sand, schwach schluffig bis schluffig, graubraun Sand, mittelbraun, orangestichig Sand, mit hellen Schlufflinsen Sand, orangebraun
HAR-25	452971	5460958	0-10 10-95	Schotter Grobsand, Kies, Steine (Auffüllung)

## 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.

Die Böden waren zu Beginn und Ende der Radonmessungen in einem Meter Tiefe trocken (<10%) bis mäßig feucht, in seltenen Fällen gut durchfeuchtet (>16%). Aufgrund der Bodenfeuchte während der Radonmessungen sind weit unterdurchschnittliche Emanationsraten im Umfeld der Messsonden wahrscheinlich nicht gegeben. Jedoch muß an den sehr trockenen Standorten (<7%) eine überdurchschnittliche Exhalationsrate aus dem Boden in die Atmosphäre berücksichtigt werden. Deshalb wird vor allem an den sehr trockenen und trockenen Standorten die Radonkonzentration nach Überbauung unter der Bodenplatte im Vergleich zur Messung in den unversiegelten Flächen ansteigen.

### 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

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

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-110 / 100-110 cm		10-20 cm	
				31.05.17	14.06.17	31.05.17	14.06.17
HAR-01	452535	5460875	105/110	16,6	20,3	11,0	11,4
HAR-02	452584	5460849	105/110	9,0	9,2	5,2	6,1
HAR-03	452609	5460817	105/110	11,2	8,1	4,8	5,3
HAR-04	452637	5460790	105/110	9,3	7,8	5,7	7,6
HAR-05	452610	5460766	105/110	11,0	8,2	4,1	7,2
HAR-06	452581	5460797	105/110	7,8	7,6	6,8	7,2
HAR-07	452575	5460733	105/110	13,9	11,2	9,8	11,3
HAR-08	452532	5460770	105/110	14,9	19,0	6,6	9,6
HAR-09	452493	5460783	105/110	13,6	16,5	12,3	14,8
HAR-10	452484	5460751	105/110	10,7	11,9	11,3	16,2
HAR-11	452516	5460725	105/110	9,2	10,6	11,2	12,1
HAR-12	452554	5460692	105/110	8,4	9,8	9,1	10,0
HAR-13	452841	5460985	105/110	7,4	5,7	5,8	8,3
HAR-14	452858	5460922	105/110	7,5	8,5	6,4	5,0
HAR-15	452889	5460866	105/110	13,5	10,4	4,6	6,8
HAR-16	452936	5460895	105/110	5,3	7,1	6,0	6,2
HAR-17	452919	5460954	105/110	7,0	5,8	4,1	7,2
HAR-18	452903	5460988	105/110	5,2	7,8	5,4	7,9
HAR-19	452887	5460965	105/110	7,1	5,9	3,9	5,3
HAR-20	452902	5460909	105/110	6,3	12,6	5,5	10,9
HAR-21	452948	5460986	105/110	9,1	9,9	7,1	10,0
HAR-22	452988	5460992	105/110	5,6	4,3	5,1	6,1
HAR-23	453028	5460982	105/110	6,2	7,1	3,5	7,8
HAR-24	453044	5460946	105/110	10,9	11,1	6,8	10,2
HAR-25	452971	5460958	95/100	6,9	9,1	7,9	9,1

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 Mittel- und Grobsanden sind die Gaspermeabilitäten sehr hoch ( $k \geq 1E-10$ ), hoch in den Feinsanden ( $1E-11$ ) und moderat in den gemischkörnigen ( $1E-12$ ) und schluffigen Sanden ( $1E-13$ ) (Werte s. Tab. 3).

Die Gaspermeabilitäten (Tab. 3) überstreichen somit mindestens 5 Größenordnungen (Faktor  $10^5$ ). Die Gaspermeabilität wird damit in dem geplanten Baugebiet zur der bestimmenden Größe bei der Berechnung und Bewertung des Radonpotenzials (der Radonverfügbarkeit).

### 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Lustadt (129 m ü NN) liegt 6,8 bis 7,3 Kilometer südwestlich der Untersuchungsfläche (Teilfläche West 106-107 m NN, Teilfläche Ost 106-108 m NN). Der Messgarten der Station liegt östlich Lustadt in einer ebenen 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.

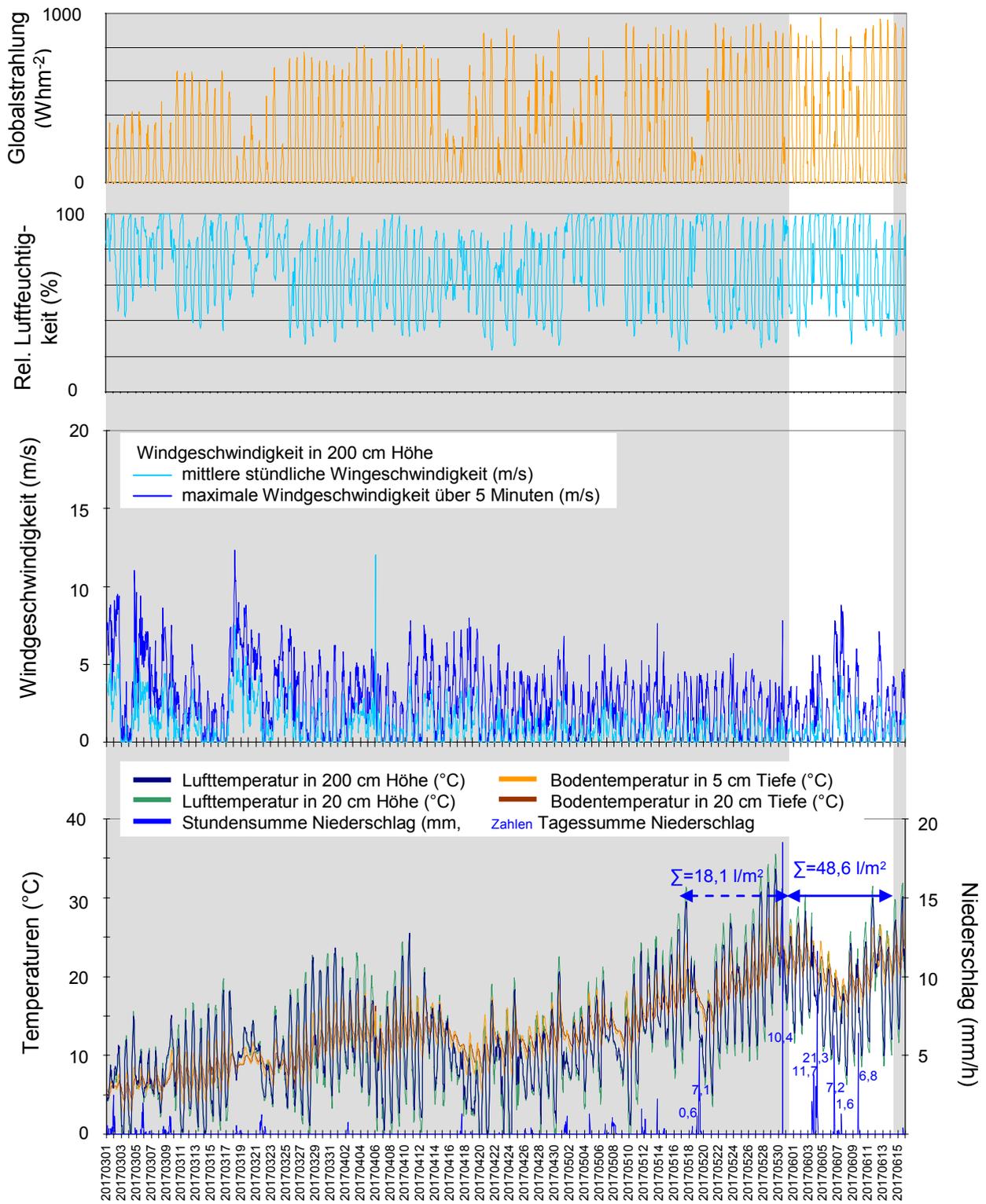
Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen, sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalles dargestellt.

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.



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

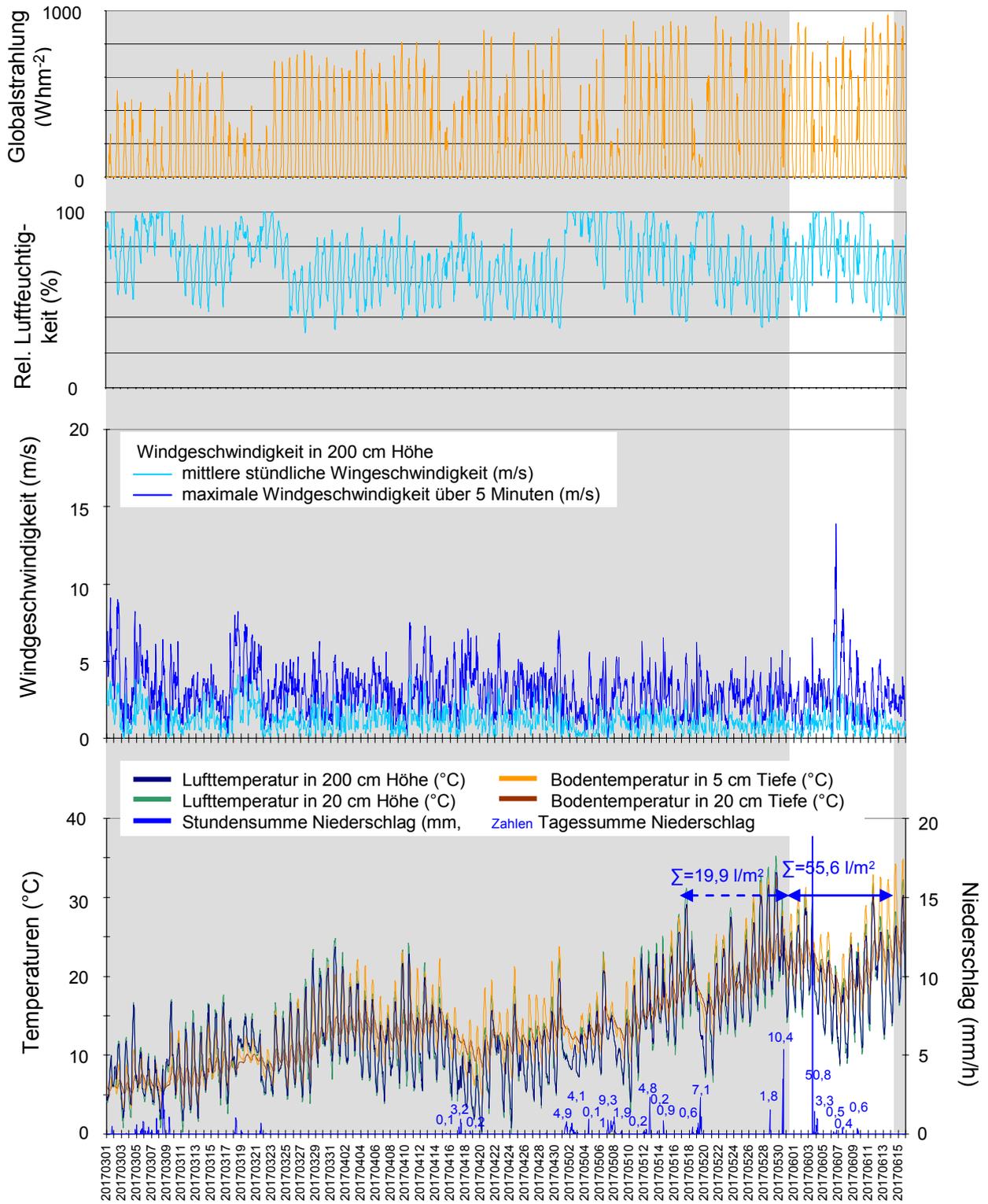
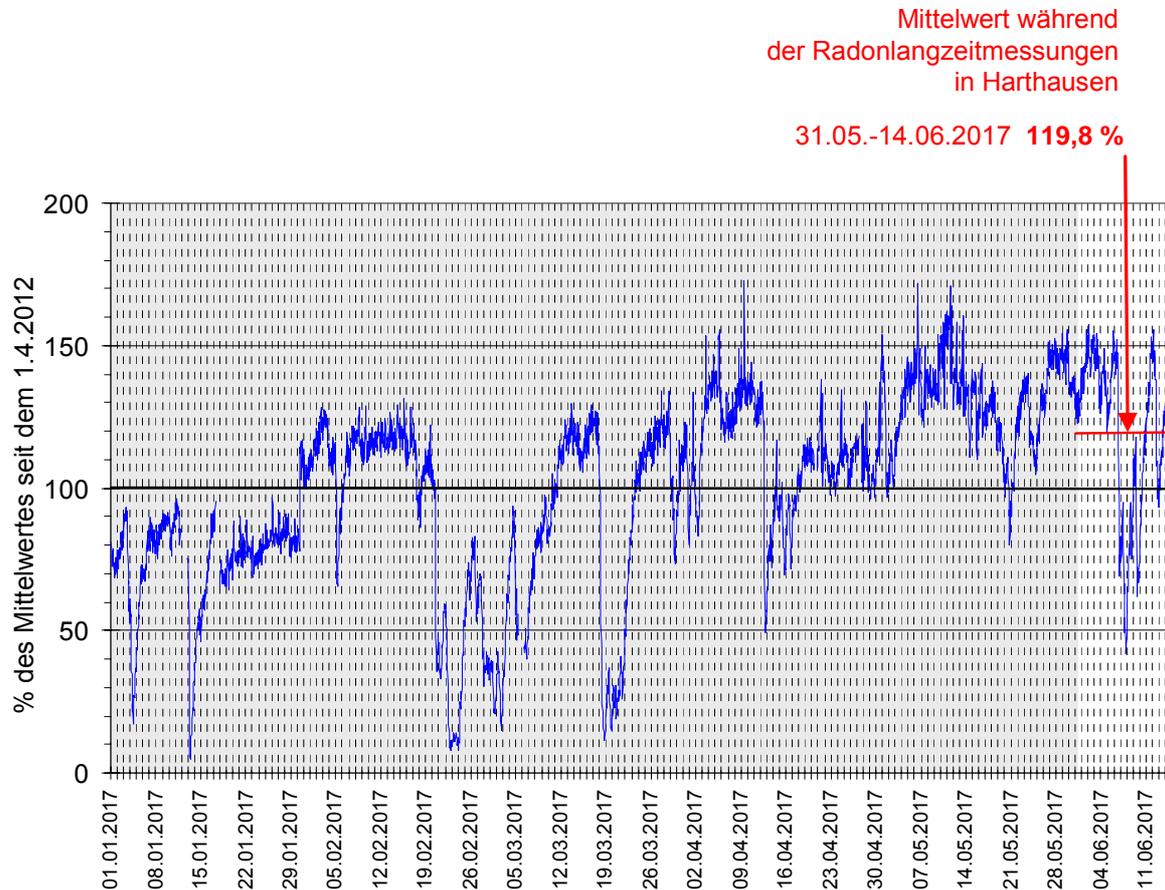


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

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

An den Wetterstationen sind die zeitlichen Änderungen (Witterungsverläufe; nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen und Temperaturamplituden ähnlich. Nur die Temperaturamplituden der oberflächennahen Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe waren an der Wetterstation in Oppenheim aufgrund der stärker sonnenexponierten SE- Hanglage starker ausgeprägt als in Lustadt und sicher auch höher als an der beschattet gelegenen Radonreferenzstation von GCR in Oppenheim (s. Kap. 7.4).

Die Niederschläge waren in den vierzehn Tagen vor Beginn der Radonmessungen an beiden Wetterstationen vergleichbar (Lustadt 18,1 l/m<sup>2</sup>, Oppenheim 19,9 l/m<sup>2</sup>), während der Radonmessungen in Oppenheim geringfügig höher, weil dort ein

Starkregenereignis mit über 50 Liter Regen je Quadratmeter kräftiger ausgefallen ist als in Lustadt. Trotzdem sind aufgrund der insgesamt auch schon im Vorfeld der Messungen gefallenen Niederschlagsmengen die meteorologischen Rahmenbedingungen für die Radonmessung in Oppenheim und Harthausen vergleichbar.

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 119,8% des mehr als 5-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im Mai/Juni 2017 somit überschätzt. Deshalb wurde eine Witterungskorrektur der gemessenen Radonkonzentrationen vorgenommen. Aufgrund der höheren Gaspermeabilität der Böden in Harthausen, stellt diese Witterungskorrektur aber sehr wahrscheinlich eine leichte Überkorrektur da. Im Ergebnis sind die Ergebnisse trotzdem eindeutig, weil im vorliegenden Fall die Verwendung der gemessenen und der witterungskorrigierten Radonkonzentrationen zum gleichen Ergebnis führen (Kap. 7.4 und Kap. 8)

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

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 und in den Abbildungen 6-7 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 weiten Aktivitätskonzentrationsbereich von  $11,1 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  bis  $38,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma) (Tab. 3).

**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 <sub>Rn</sub> +/-20%	C <sub>Rn</sub> wk +/-20%		Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C <sub>Rn</sub> Rna C <sub>Rn</sub> wk Rna C <sub>Rn</sub> wk +20%	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C <sub>Rn</sub> RVI C <sub>Rn</sub> wk RVI C <sub>Rn</sub> 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>
HAR-01	31.05.-14.06.17	34,2	28,5	1E-11		3,42E-07 2,85E-07 3,43E-07
HAR-02	31.05.-14.06.17	24,2	20,2	1E-09		2,42E-05 2,02E-05 2,42E-05
HAR-03	31.05.-14.06.17	26,4	22,1	1E-13	1,5 1,42 1,5	
HAR-04	31.05.-14.06.17	23,8	19,9	1E-09		2,38E-05 1,99E-05 2,39E-05
HAR-05	31.05.-14.06.17	26,6	22,2	5E-10		1,33E-05 1,11E-05 1,33E-05
HAR-06	31.05.-14.06.17	21,4	17,9	1E-10		2,14E-06 1,79E-06 2,15E-06
HAR-07	31.05.-14.06.17	28,9	24,1	1E-10		2,89E-06 2,41E-06 2,89E-06
HAR-08	31.05.-14.06.17	38,8	32,4	1E-13	1,67 1,59 1,67	
HAR-09	31.05.-14.06.17	19,1	16,0	1E-10		1,91E-06 1,60E-06 1,91E-06
HAR-10	31.05.-14.06.17	24,3	20,3	1E-10		1,21E-05 1,01E-05 1,22E-05
HAR-11	31.05.-14.06.17	37,0	30,9	1E-12		3,70E-08 3,09E-08 3,71E-08
HAR-12	31.05.-14.06.17	21,8	18,2	1E-12		2,18E-08 1,82E-08 2,18E-08

**Tabelle 3 (Fortsetzung): 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> +/-20%	C <sub>Rn</sub> wk +/-20%		Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C <sub>Rn</sub> Rna C <sub>Rn</sub> wk Rna C <sub>Rn</sub> wk +20%	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C <sub>Rn</sub> RVI C <sub>Rn</sub> wk RVI C <sub>Rn</sub> 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>
HAR-13	31.05.-14.06.17	16,4	13,7	1E-10		1,64E-06 1,37E-06 1,64E-06
HAR-14	31.05.-14.06.17	20,6	17,2	1E-09		2,06E-05 1,72E-05 2,06E-05
HAR-15	31.05.-14.06.17	16,4	13,7	1E-11		2,24E-07 1,87E-07 2,24E-07
HAR-16	31.05.-14.06.17	14,8	12,4	2E-09		2,97E-05 2,48E-05 2,97E-05
HAR-17	31.05.-14.06.17	19,0	15,9	2E-09		3,80E-05 3,18E-05 3,81E-05
HAR-18	31.05.-14.06.17	21,2	17,7	5E-10		1,06E-05 8,83E-06 1,06E-05
HAR-19	31.05.-14.06.17	15,9	13,3	1E-13	1,28 1,20 1,28	
HAR-20	31.05.-14.06.17	17,0	14,2	1E-11		1,70E-07 1,42E-07 1,71E-07
HAR-21	31.05.-14.06.17	27,5	22,9	5E-11		1,37E-06 1,15E-06 1,38E-06
HAR-22	31.05.-14.06.17	18,0	15,1	2E-09		3,61E-05 3,01E-05 3,61E-05
HAR-23	31.05.-14.06.17	11,1	9,3	1E-09		1,11E-05 9,25E-06 1,11E-05
HAR-24	31.05.-14.06.17	20,8	17,4	1E-11		2,08E-07 1,74E-07 2,08E-07

**Tabelle 3 (Fortsetzung): 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> +/-20%	C <sub>Rn</sub> wk +/-20%		Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C <sub>Rn</sub> Rna C <sub>Rn</sub> wk Rna C <sub>Rn</sub> wk +20%	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C <sub>Rn</sub> RVI C <sub>Rn</sub> wk RVI C <sub>Rn</sub> 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>
HAR-25	31.05.-14.06.17	18,3	15,3	5E-09		9,15E-05 7,64E-05 9,17E-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

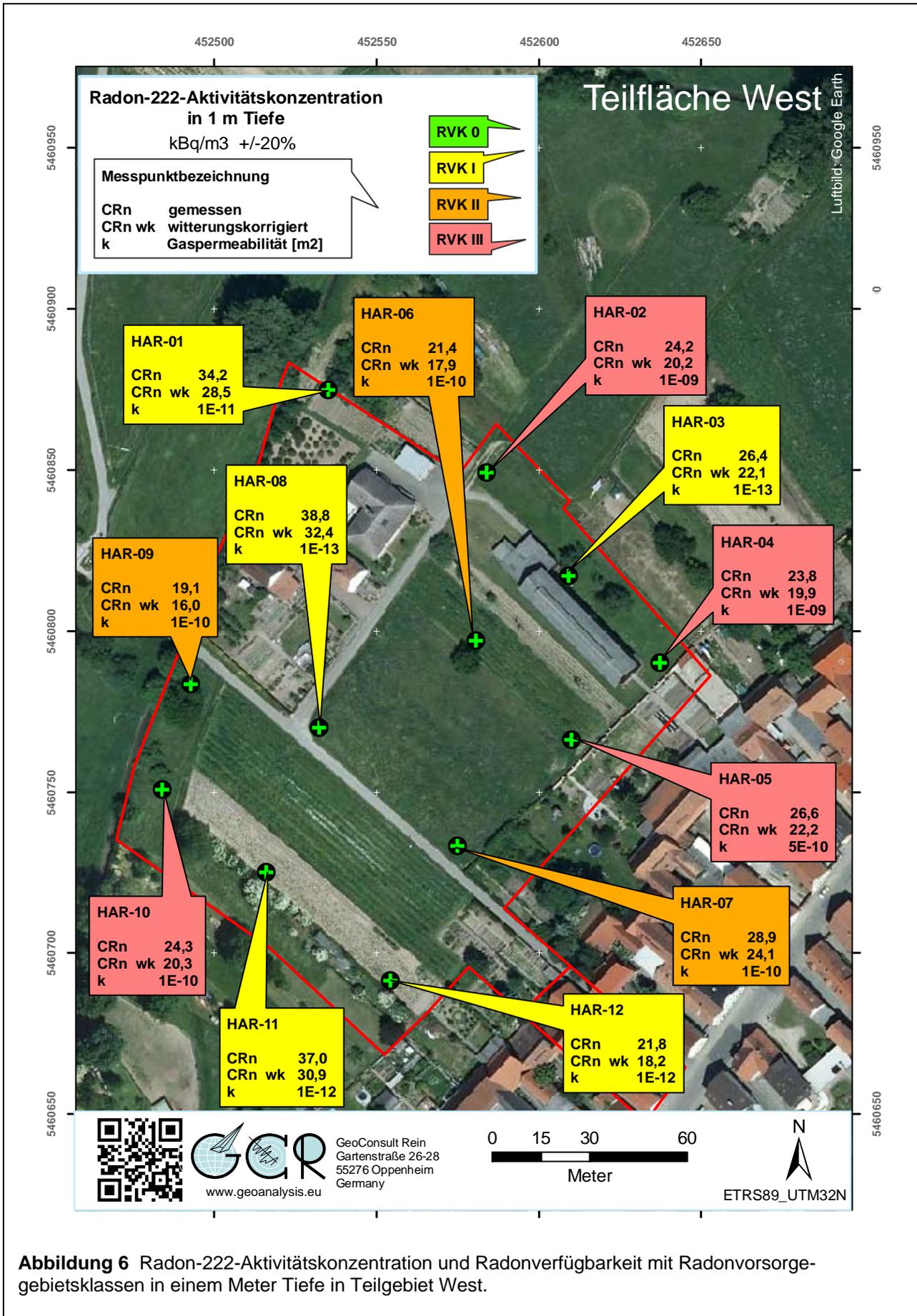
Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten ermäßigten Radonaktivitätskonzentrationen (C<sub>Rn</sub> wk) mit Werten zwischen 9,3 ±20% bis 32,4 kBq/m<sup>3</sup> ±20% (2sigma).

Die Radonverfügbarkeit im Baugrund ist im wesentlichen von drei Faktoren abhängig

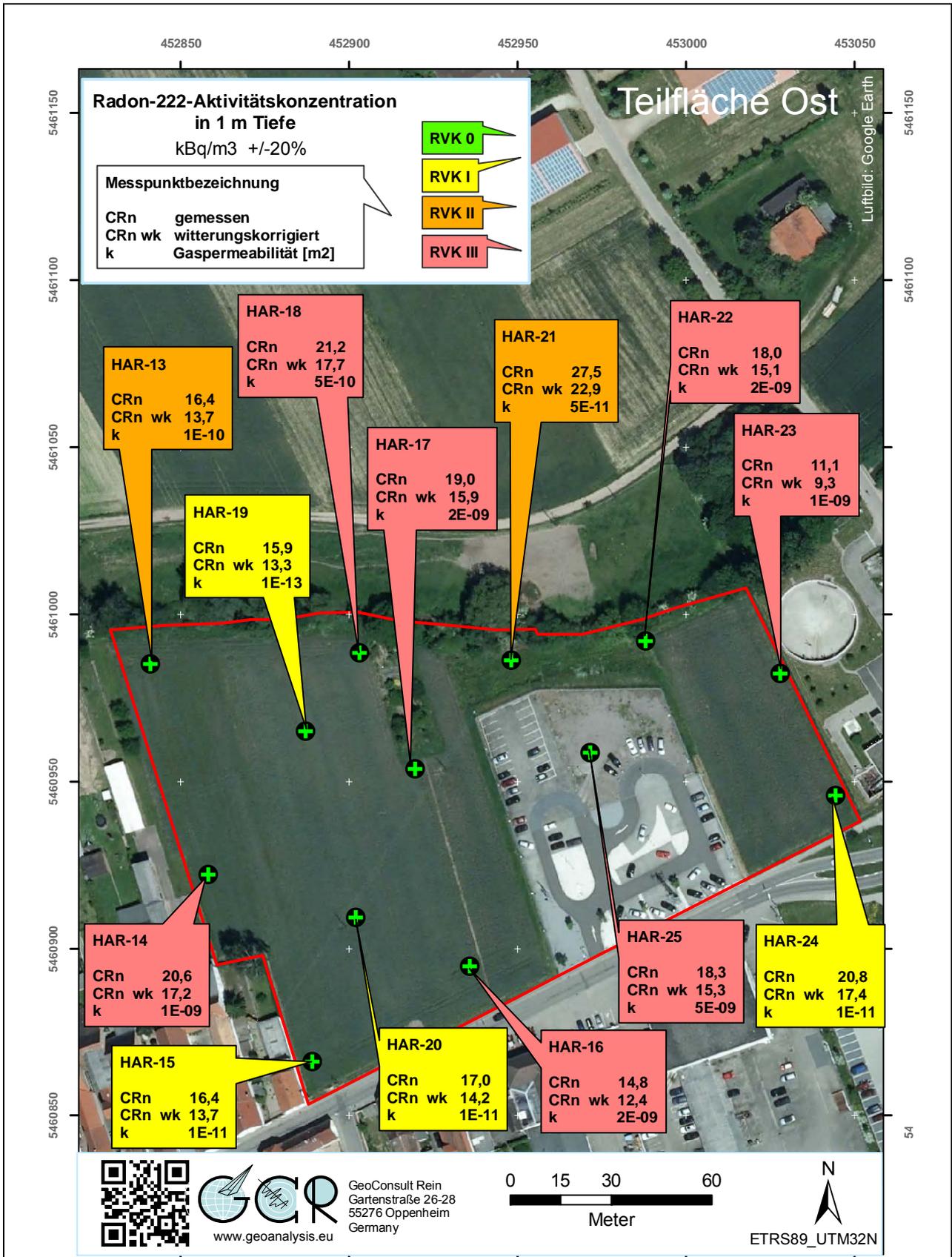
- der Radonkonzentration im Boden,
- der Gasdurchlässigkeit des Bodens,
- dem Unterdruck den das Gebäude im Baugrund erzeugt.

Durch diese Untersuchungen liegen Erkenntnisse zu den beiden ersten Faktoren vor, die zur Berechnung von Radonverfügbarkeitsindizes genutzt werden können. Bei den auf der Untersuchungsfläche festgestellten Gasdurchlässigkeiten werden hier die Indizes von Slunga und Surbeck angewandt.

Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit ist die Bodenart-bezogene Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe zugrunde gelegt.



**Abbildung 6** Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit mit Radonvorsorgegebietsklassen in einem Meter Tiefe in Teilgebiet West.



**Abbildung 7** Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit mit Radonvorsorgegebietsklassen in einem Meter Tiefe in Teilgebiet Ost.

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 0 und RVK I (Tab. 3).

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

Die Einordnung in die RVK II und RVK III beruht auf den derzeitigen hohen Gaspermeabilitäten an diesen Standorten. Im Zuge der Bauvorbereitung könnten eventuell durch geeignete Massnahmen die Gaspermeabilitäten der Sand gesenkt und damit die Radonvorsorgegebietsklassen RVK III und wahrscheinlich auch RVK II vermieden werden.

## 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.

Bei Verwendung der alten Klassifizierung in Tabelle 4 ist zu berücksichtigen, dass diese auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max.  $400 \text{ Bq/m}^3$  in Innenräumen) als von der EU seit 2013 mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.

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 veraltete Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sieht eine Erhöhung der RVK um eine Stufe vor.

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

Klassifizierung (Zielwert Innenraumlufkonzentration <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>

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. Der Radonpotentialindex, der als Grundlage für diese Karte diskutiert wird, ist aber für Böden mit Gaspermeabilitäten wie in Harthausen nicht definiert. Dieser Index ergibt für Böden mit Gaspermeabilitäten  $\geq 10^{-10}$  [m<sup>2</sup>] generell ein sehr hohes Radonrisiko, unabhängig von der Radonkonzentration dieser Böden.

Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die hier verwendeten Radonverfügbarkeitsindizes von Slunga und Surbeck beruht bereits auf einem Zielwert von maximal 250 Bq/m<sup>3</sup> in der Raumluf.

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.**

Auf Grundlage der in einem Meter Tiefe durchgeführten Messungen und der festgestellten Radonverfügbarkeiten werden für die Standorte der Radonmessbohrungen Radonpräventionsmassnahmen gemäß den Radonvorsorgegebietsklassen RVK I, RVK II und RVK III empfohlen.

Eine Beschränkung auf Präventionsmassnahmen der RVK I ist nur dann zulässig, **wenn alle Gebäude-nahen Bodenhorizonte eine ausreichend geringe Gaspermeabilität ( $\leq 10^{-12}$ ) besitzen .**

Typische Präventivmassnahmen in einen **Radonvorsorgegebiet RVK I** 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. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien (z.B. Polymerbitumen), 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.

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

Sollten Frostschrüzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern, wird empfohlen passive oder aktive Entlüftungsmöglichkeiten in den Frostschrüzen vorzusehen, um erhöhte Radonkonzentrationen durch mangelnde Exhalationsmöglichkeiten abzubauen.

Die Einordnung in die Radonvorsorgegebietsklassen **RVK II und RVK III** beruht auf den derzeitigen hohen Gaspermeabilitäten an diesen Standorten. **Im Zuge der Bauvorbereitung könnten durch geeignete Massnahmen die Gaspermeabilitäten der Sand gesenkt und damit die Radonvorsorgegebietsklassen RVK II und RVK III vermieden werden.**

Ansonsten umfassen typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgegebiet **RVK II:**

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.

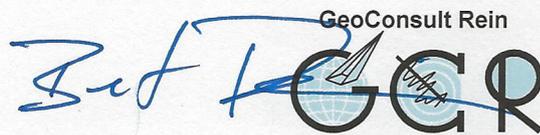
4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.
5. Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und Gewährleistung, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillarbrechende Schicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.
6. Ggf. 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 Frostschrzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern. Sollten Frostschrzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern, wird dringend empfohlen zumindest passive oder aktive Entlüftungsmöglichkeiten in den Frostschrzen vorzusehen.

Zusätzlich zu obigen Massnahmen sind an Standorten der Radonvorsorgegebietsklasse **RVK III** weitere Schutzmassnahmen zu empfehlen. Diese sehr spezifischen Empfehlungen können aber nur am konkreten Bauprojekt und nach Vorliegen von Bauplänen erstellen werden.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet 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, sind obige Massnahmenkataloge 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 auch bei der Auswahl geeigneter Materialien bzw. Kombinationen von Massnahmen zur Radonprävention unterstützen und die Ausführung der Arbeiten ggf. begleiten.

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, 26.06.2017