

## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

Mainz-Hechtsheim, VEP Frankenhöhe (He 122)  
Projektnummer 20141208\_Rn222\_MHHP

**GeoConsult Rein**



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

**Gutachter:**

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

**Auftraggeber :**

PLB Provinzial-LebenBaubetreuungs-GmbH  
Provinzialplatz 1  
40591 Düsseldorf

16. Januar 2015

<b>GLIEDERUNG</b>	<b>2</b>
<b>1. Auftrag</b>	<b>4</b>
<b>2. Verwendete ortsbezogene Materialien</b>	<b>4</b>
<b>3 Grundlagen zum Thema Radon</b>	<b>4</b>
<b>3.1. Was ist und woher kommt Radon?</b>	<b>4</b>
<b>3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden</b>	<b>5</b>
<b>3.3. Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte</b>	<b>6</b>
<b>4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche</b>	<b>7</b>
<b>5. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme</b>	<b>10</b>
<b>6. Ergebnisse der Feldarbeiten</b>	<b>11</b>
<b>6.1. Gammastrahlungsaktivität</b>	<b>11</b>
<b>6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen</b>	<b>13</b>
<b>7. Laborergebnisse</b>	<b>14</b>
<b>7.1 Bodenfeuchte</b>	<b>14</b>
<b>7.2 Gaspermeabilität</b>	<b>15</b>
<b>7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes</b>	<b>15</b>
<b>7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit</b>	<b>21</b>
<b>8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung</b>	<b>23</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche	<b>8</b>
<b>Abbildung 2</b>	Lage der vorgesehenen Bebauung innerhalb des Bebauungsplanes	<b>9</b>
<b>Abbildung 3</b>	Gamma-Strahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	<b>12</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn	<b>17</b>
<b>Abbildung 5</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>18</b>
<b>Abbildung 6</b>	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Permanentstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz-Hechtsheim	<b>20</b>
<b>Abbildung 7</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in einem Meter Tiefe	<b>22</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Radonmessbohrungen	<b>13</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>14</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen	<b>21</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonverfügbarkeit	<b>23</b>
<b>Tabelle 5</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>24</b>

## 1. Auftrag

Die „PLB – Provinzial-Leben-Baubetreuungs-GmbH“ beauftragte orientierende Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme zu der in Abbildung 1 abgegrenzten Fläche des Bebauungsplanes „He 122“ in Mainz-Hechtsheim.

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

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- Vorhabenplan „He 122“, vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.
- Höhen- und Bestandsplan „Frankenhöhe“, vom Auftraggeber zur Verfügung
- ASTER-Höhenmodelle
- Geologische Karte GK25 Blatt 6015 (1989)
- Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- Wetterdaten des DLR der Stationen Mainz-Marienborn und Oppenheim

## 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.

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumlufte um  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Bei einer  $\text{Rn222}$ -Raumluftekonzentration 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 strahlen-exponierter 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**

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Grundnorm, die am 17.01.2014 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht wurde und als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die ab dem 1. Januar 2018 eine Radonraumluftkonzentration von maximal  $300 \text{ Bq/m}^3$  zulässt.

Den EU-Mitgliedsstaaten bleibt es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Grenzwerte unterhalb  $300 \text{ Bq/m}^3$  zu festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen.

Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von 100 Becquerel/m<sup>3</sup>.

#### 4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

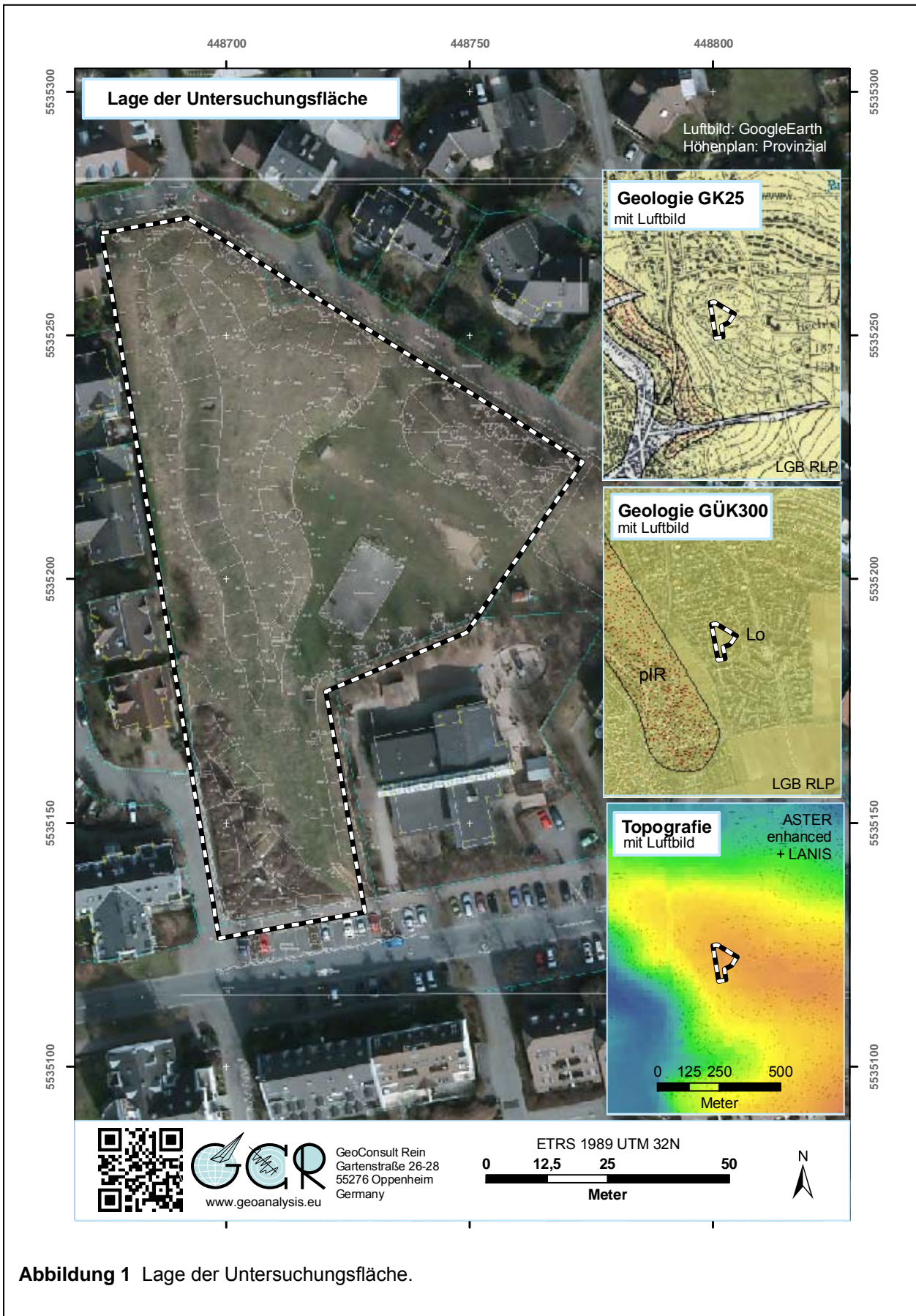
Die Fläche des Bebauungsplanes „He 122“ liegt im Bereich einer Freifläche innerhalb der bestehenden Bebauung auf der Frankenhöhe (Abb. 1). Die topografische Position kann als Kuppenlage bezeichnet werden, die mittlere topografische Höhe beträgt 85 m üNN. Im Westen, Norden und Nordosten grenzt die Fläche an die Grundstücke von Einfamilienhäusern bzw. Verkehrsflächen. Hohe Gebäude (Mehrfamilienhäusern) südlich der Fläche, setzen in einem niedrigeren topografischen Niveau an, sodass weiterhin eine (witterungs-)offene Lage gegeben ist. Auch der südliche Kindergarten liegt tiefer als die Untersuchungsfläche. Der Übergang zu den tiefer gelegenen Geländeniveaus erfolgt über steile, mehrere Meter hohe Böschungen.

Die Untersuchungsfläche selbst ist landschaftsgärtnerisch durch mehrere Meter hohe Wälle gegliedert (Abb. 1), die dem natürlichen Untergrund aufgesetzt sind. Im ebenen Teil der Untersuchungsfläche liegt ein unbefestigter, schütter mit Gras bewachsener Bolzplatz und ein mit einer Schwarzdecke versehenes Basketballfeld. Die restlichen Flächen waren zum Zeitpunkt der Radonmessungen von etwa 30 cm hohem Gras bewachsen. Im westlichen Teil war entlang des westlichen Wallfußes ein 2 Meter breiter Streifen frisch gemäht.

Abbildung 2 zeigt die Lage der vorgesehenen Bebauung, die vorwiegend an der Position der derzeitigen Erdwälle liegt. Für die Bebauung werden die Erdwälle bis auf das Niveau von Bolzplatz/Basketballfeld abgetragen und das Material abgefahren.

Die Radonmesspunkte sind deshalb außerhalb der noch bestehenden Erdwälle anzuordnen.







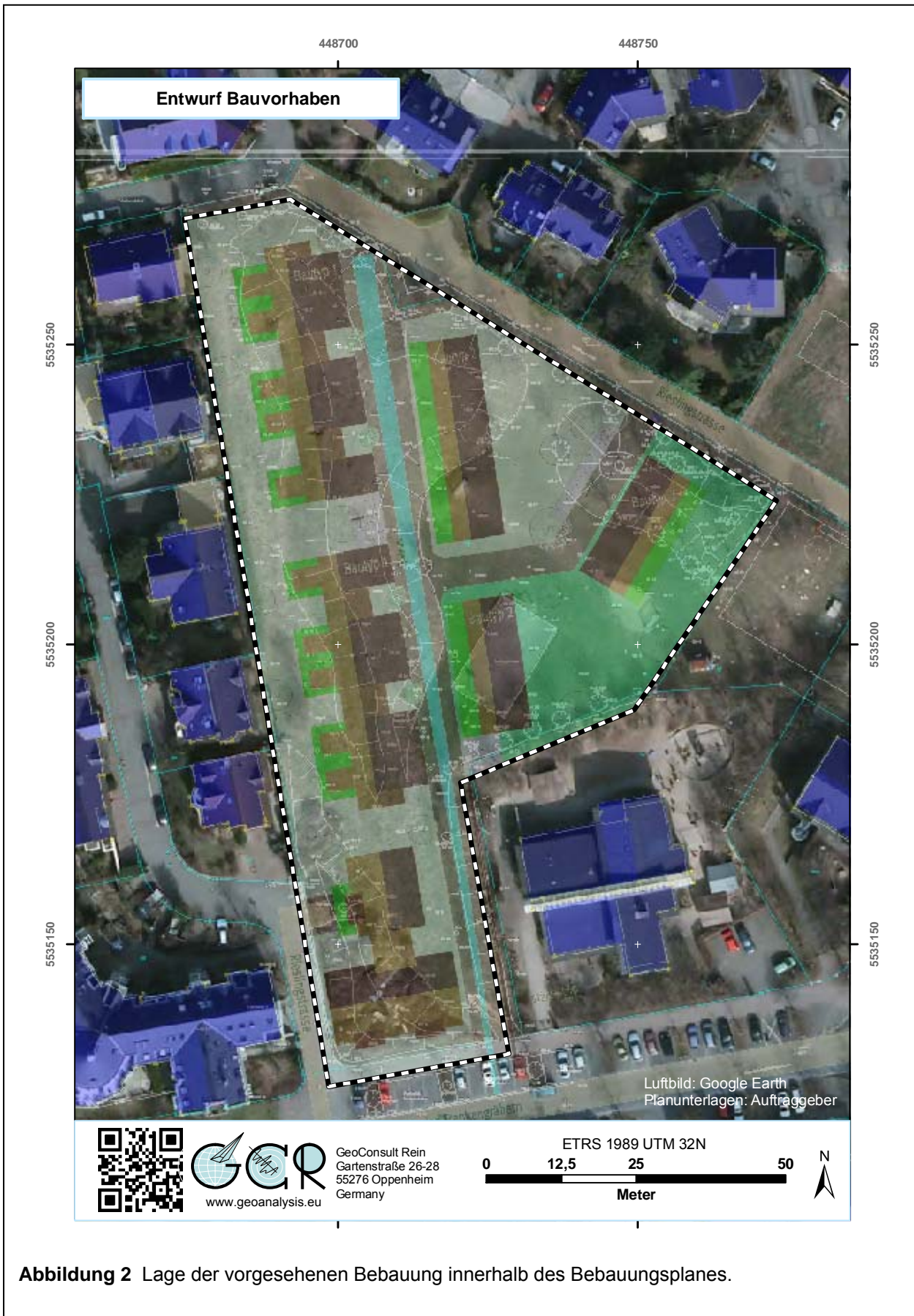


Abbildung 2 Lage der vorgesehenen Bebauung innerhalb des Bebauungsplanes.

## **5. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme**

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurden der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Vorhabensplan und der Höhenplan genutzt. Die Pläne wurden mit Hilfe von Flurstückeckpunkten referenziert und geokodiert (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 oben genannter Präzision. Die Radonmesspunkte wurden zusätzlich über Hilfspunkte verortet, sodass deren Lagegenauigkeit etwa  $\pm 1$  Meter beträgt.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 8. Dezember 2014 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um möglicherweise Hinweise auf durch Gesteinswechsel oder tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden als Handbohrungen mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Dosimeter in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe erfolgte am 8. Dezember 2014 mit speziell zur Langzeit-Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Sonden.

Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Dosimetern 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, vor direktem Wasserzutritt als auch durch Kondensation bei Taupunktunterschreitungen.

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. Massendefizite aufgrund z.B. der Probennahme wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme aus 110 cm Tiefe (unmittelbar unter der Messtiefe), sowie des Oberbodens erfolgten am 02. Januar 2015. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 25 Tage (s. Tab. 2).

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

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem relativ engen und im regionalen Vergleich unauffälligen Wertebereich zwischen 90 - 109 Impulsen pro Sekunde (Abb. 3). Zwei Messwerte von 118 bzw. 121 Impulsen/Sekunde an der Nordwestecke des Bebauungsplanes sind durch flache Auffüllungen verursacht (Ziegelreste/Steine). Weniger als 90 Impulse pro Sekunde wurden im Bereich der Schwarzdecke des Basketballfeldes gemessen. Ausgeprägte Strahlungsanomalien, die besondere Beachtung bei der Beprobungsanordnung erfordert hätten, wurden nicht detektiert.



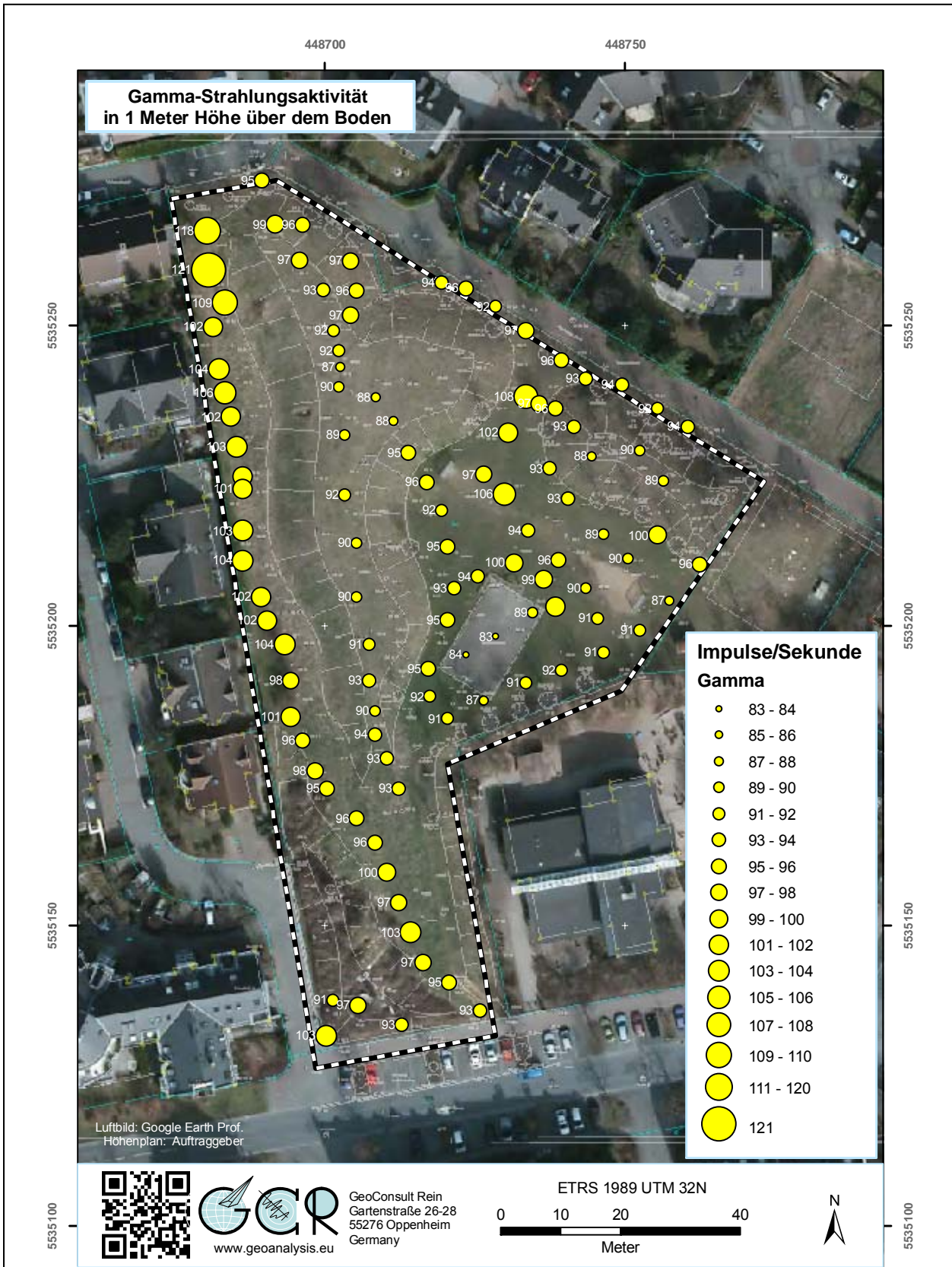


Abbildung 3 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Der Bebauungsplan liegt im Bereich der quartären Löss/Schwemmlösse. Innerhalb der Fläche sind diese auch außerhalb der Erdwälle oberflächennah durch Nivellierung oder Überfahren im Zuge der Erdarbeiten überprägt.

Zur Mächtigkeit der Lößauflage im Bereich des Bebauungsplanes liegen dem Gutachter keine Erkenntnisse vor. In einem ehemaligen Abbau 800 Meter östlich der Untersuchungsfläche sind/waren die Löss- und Schwemmlösse mehr als 10 Meter mächtig aufgeschlossen. Sie enthalten dort auch mindestens eine vulkanische Aschenlage und Paläobodenhorizonte. Vor allem letztere können verstärkte Radonquellen darstellen.

Die Bohrungen zur Einrichtung der Radonmessstationen haben den in Tabelle 1 (Lage der Bohrpunkte siehe Abb. 7) beschriebenen Bodenaufbau ergeben.

**Tabelle 1:** Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 7)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
MHHP1	448678	5535263	0-30 30-40 40-100 Bei 70 70-110	Oberboden, humos Übergang Löß Lößkindl Löß, zunehmend karbonatisch
MHHP2	448690	5535223	0-20 20-60 60-80 80-110 70-75	Oberboden, humos U, abnehmend humos Löß, hellbraun Löß, karbonatreich Kalksteine, gerundet (keine (!) Löß-Kindl)
MHHP3	448699	5535173	0-30 30-60 60-110	Oberboden, humos, rostfleckig sU, ocker-braun, orangestichig Löß, hellbraun, karbonatisch
MHHP4	448711	5535155	0-10 10-45 45-110 95	Oberboden, humos U, heller werdend Löß, hell, karbonatreich, fleckig Großer Stein, zur Seite geschoben
MHHP5	448755	5535214	0-60 60-65 65-110	U, humos, schwach lehmig Übergang Löß, hell, karbonatreich
MHHP6	448730	5535238	0-70 70-80 80-110	U, humos, schwach lehmig Übergang Löß, hell, karbonatreich

## 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 höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser herangeführt werden und freigesetzt werden. Nasser oder gar wassergesättigter Boden kann wiederum diffusionshemmend bzw. als Diffusionssperre für den Aufstieg und die Migration von Radon wirken. Die Bodenfeuchte beeinflusst 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.

Aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen können während der Radonmessungen in Mainz-Hechtsheim unterdurchschnittliche Radonemanationsraten oder überdurchschnittliche Exhalationsraten für die Mehrzahl der Bohrungen und den Großteil des Messzeitraumes ausgeschlossen werden (hohe Exhalationsraten wurden während des Messzeitraums durch andere Faktoren verursacht, s.u.)

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

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-100 / 100-110 cm		10-15 cm	
				08.12.14	02.01.15	08.12.14	02.01.15
MHHP1	448678	5535263	100	11	15	15	18
MHHP2	448690	5535223	100	8	17	16	20
MHHP3	448699	5535173	100	9	15	16	12
MHHP4	448711	5535155	100	1	15	14	19
MHHP5	448755	5535214	100	4	16	9	17
MHHP6	448730	5535238	100	6	17	8	18

Zu Messbeginn am 8.12.2014 war die nahe an der Böschung gelegene Bohrung MHHP4 in der Messtiefe mit nur 1% Wassergehalt staubtrocken. Auch die Bohrungen



MHHP 5 und MHHP 6 waren trocken, so dass für diese Bohrungen zumindest zeitweise geringere Radonkonzentrationen aufgrund einer verringerten Emanationsrate zugrunde gelegt werden müssen. Die Bohrungen MHHP5 und MHHP 6 waren auch am Ende des Messzeitraumes in der Messtiefe trockener als die restlichen Bohrungen. In Bohrung MHHP 4 hatte sich die Bodenfeuchte in der Messtiefe über den Messzeitraum den anderen feuchteren Bohrungen angeglichen.

## 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 Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

Desweiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluß auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den im Bebauungsplan angetroffenen Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung in einem Meter Tiefe in einem Bereich von  $k = 2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ .

In allen Bohrung ist aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen zum Zeitpunkt der Radonmessungen eine Abnahme der Gaspermeabilität zur Bodenoberfläche gegeben.

## 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Mainz-Marienborn (153 m üNN) liegt 3,7 km entfernt, WSW von der Untersuchungsfläche (85 m üNN). Die Wetterstation liegt östlich des Siedlungsrandes und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände.

Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m üNN, 13,8 km SSO der Untersuchungsfläche. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonpermanentstation von GCR.

Die Abbildungen 4 und 5 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Dosimeterauslage zur Radonmessung 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 Regensfalls dargestellt. Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages an.

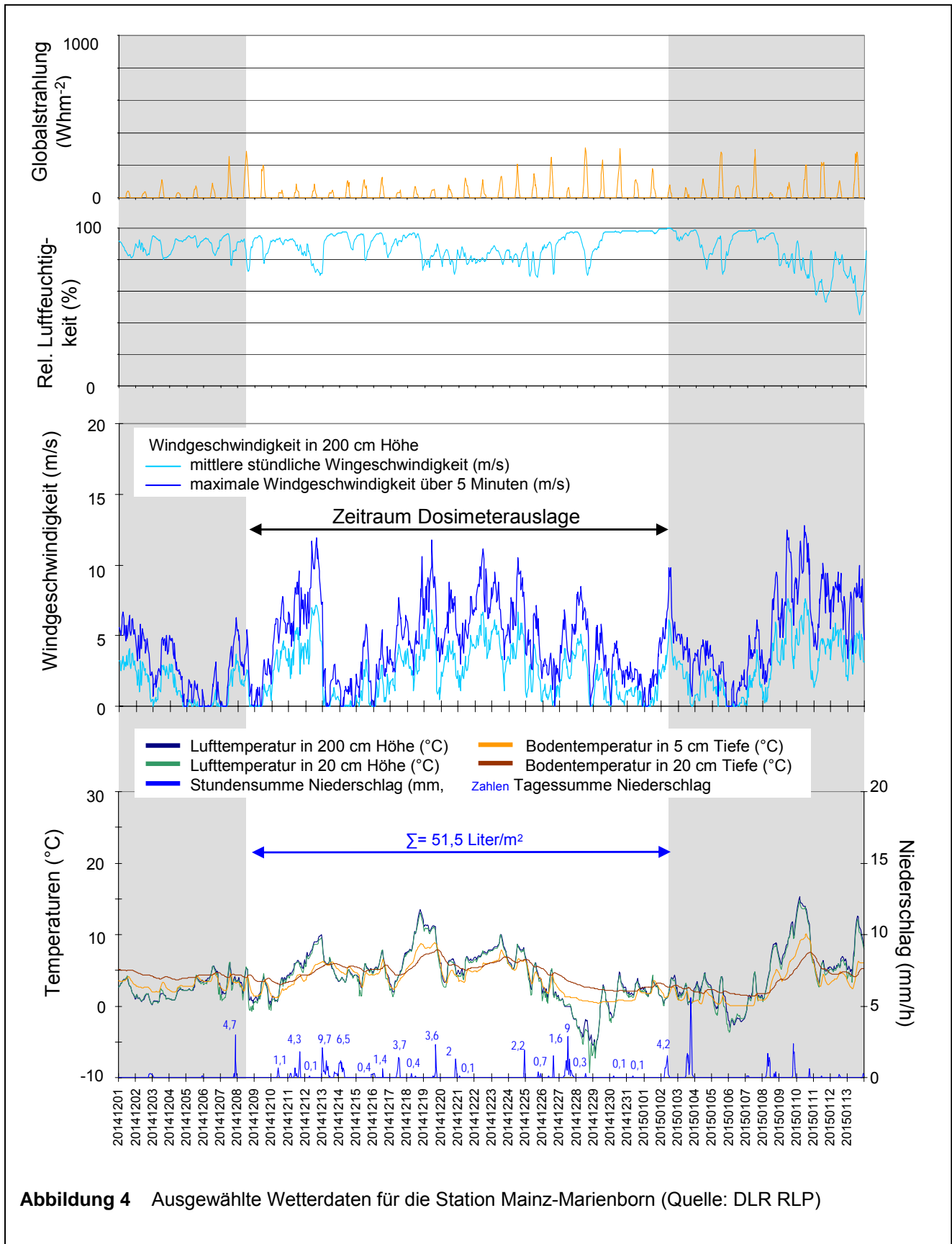
Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung. Der Zeitraum vor und nach der Dosimeterauslage ist grau hinterlegt.

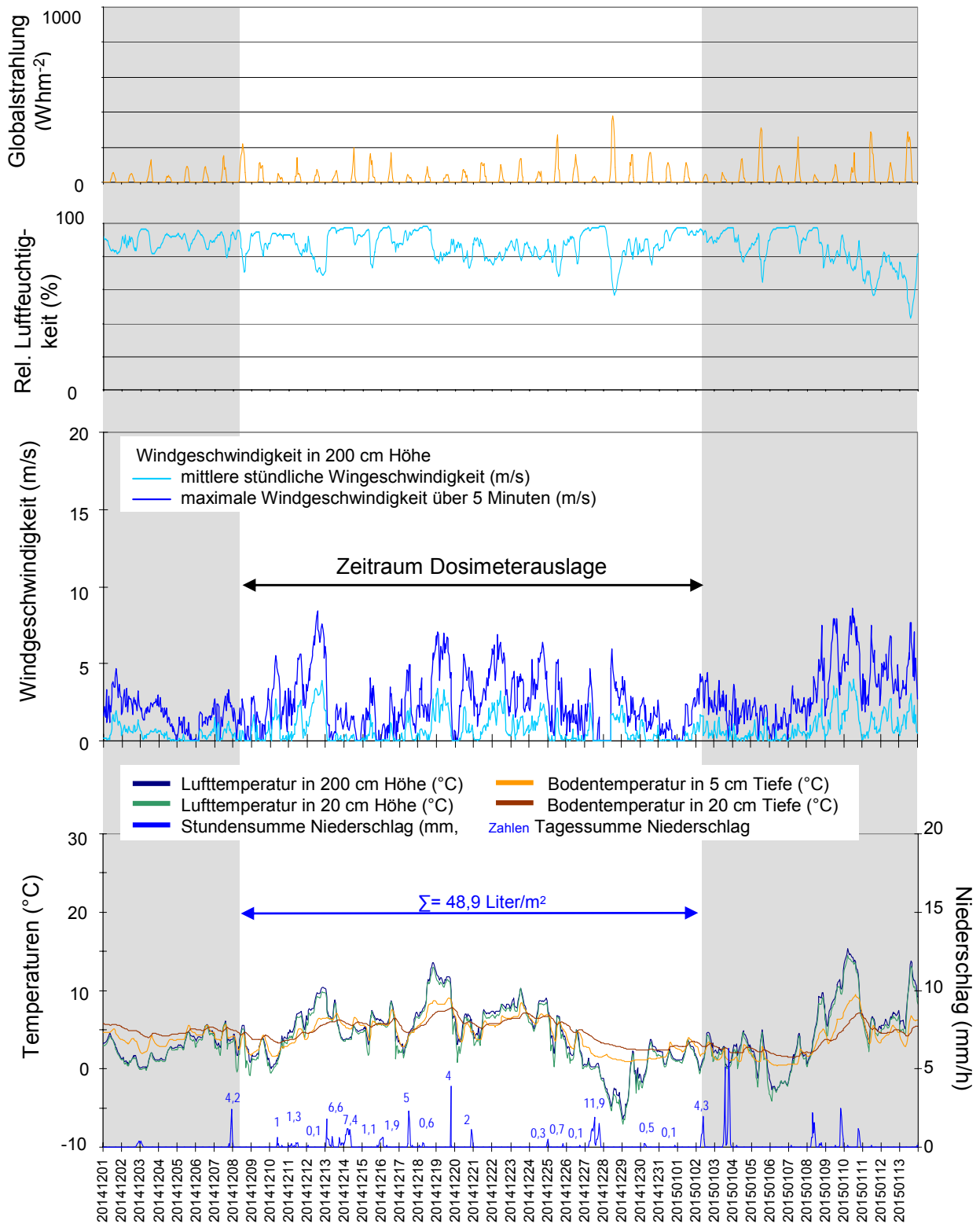
Zu Beginn des Auslagezeitraums lagen die Lufttemperaturen zwischen 0-5°C. Auch in der Folge blieben die Lufttemperaturen weitgehend unter 10°C, nur am 18./19. Dezember stiegen die Lufttemperaturen über 10°C und blieben auch während der Nacht über dieser Temperaturmarke. Am 27.-29. Dezember fielen auch die Tagestemperaturen deutlich unter den Gefrierpunkt und unterschritten z.T. -5°C. Ab dem 30. Dezember herrschten wieder Plusgrade bis 5°C. Auch während der strengen Frosttage unterschritten die Bodentemperaturen zu keinem Zeitpunkt den Gefrierpunkt, so dass eine effektive Versiegelung des Oberbodens durch Bodenfrost zu keinem Zeitpunkt gegeben war.

Die Witterung war ausgeprägt allochthon geprägt, mit entsprechend geringen oder fehlenden Tagesgängen der Temperaturengradienten. Während der etwas windstärkeren Phasen war auch die ansonsten sehr hohe Luftfeuchtigkeit erniedrigt.

Nach einer trockenen Periode, die der Dosimeterauslage vorausging, herrschte über den gesamten Auslagezeitraum eine feuchte Witterung. Insgesamt fielen an der Wet-



**Abbildung 4** Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn (Quelle: DLR RLP)



**Abbildung 5** Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim-DLR (Quelle: DLR RLP)

terstation Marienborn 51 Liter Regen/Quadratmeter, die sich aber auf 20 Tage während der 26 Radonmesstage (Kalendertage) verteilen. Die täglichen Niederschlagsmengen waren überwiegend gering, mehr als 4 Liter/Quadratmeter fielen nur an 4 Tagen und Starkregen, die zu einer temporären Versiegelung des Porenraumes hätten führen können, waren an der Wetterstation keine zu verzeichnen. Aus diesem Grund sind die Windgeschwindigkeiten besonders zu beachten. Über den Auslagezeitraum der Dosimeter ist eine überdurchschnittliche Windtätigkeit festzustellen.

Die Wetterstation in Oppenheim zeigt eine ganz ähnliche Verteilung der Windgeschwindigkeiten (Abb. 5), bei allerdings durchgängig niedrigeren Windgeschwindigkeiten als in Mainz-Marienborn. Für die Untersuchungsfläche können aufgrund der topografischen Lage eher höhere Windgeschwindigkeiten angenommen werden. Die Windverteilung (zeitlicher Verlauf) wird aber aufgrund der stark allochthon geprägten Wetterlage nicht von der, der beiden betrachteten Wetterstationen abweichen.

An einer von GeoConsult Rein betriebenen Radon-Permanentstation werden in Oppenheim stündlich die Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in 1 m Tiefe gemessen. Die Gasdurchlässigkeit des Bodens an dieser Station ( $k=10^{-13} \text{ m}^2$ ) ist in der Messtiefe annähernd vergleichbar der Situation auf der Untersuchungsfläche ( $k=2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ ).

Da Gaspermeabilitäten und Witterungsbedingungen der Untersuchungsfläche und an der Radonpermanentstation sich gleichen, kann eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonaktivitätskonzentration, wie in Oppenheim beobachtet, auch für die Untersuchungsfläche in Hechtsheim angenommen werden.

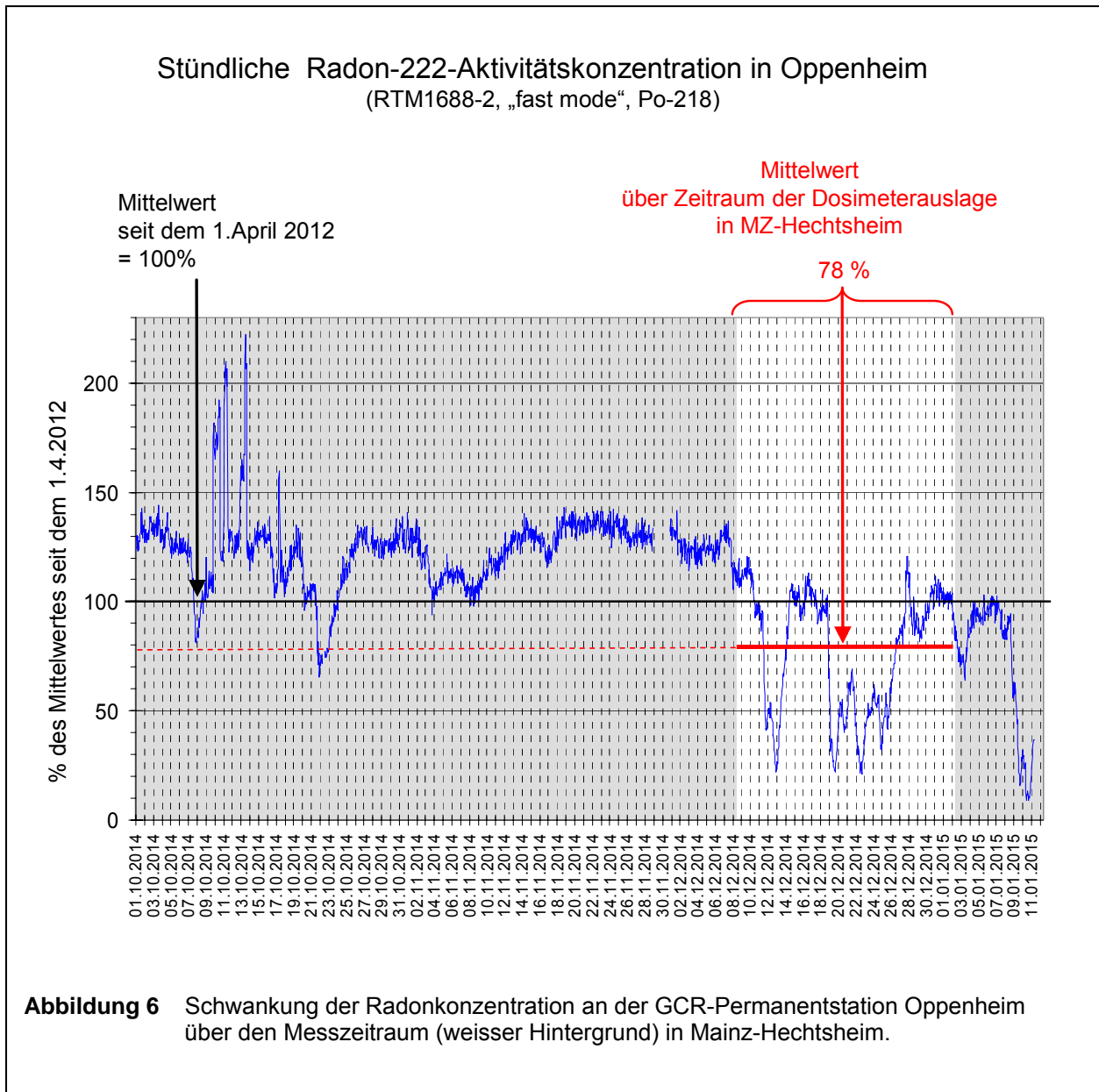
Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration über den Zeitraum der Radonmessungen in Mainz-Hechtsheim (08.12.2014 – 02.01.2015) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration zwischen dem 08.12.2014 – 02.01.2015 etwa 78% der langfristige seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen (Abb. 6).

Im zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe in Oppenheim wird der langfristige Mittelwert (100%-Linie) nur an 7 Tagen erreicht oder überschritten.

Während der Tage erhöhter Windtätigkeit sinkt die Radonkonzentration im Boden, während des Beobachtungszeitraumes, auf 50%, z.T auf 30% des langfristigen

Mittelwertes.

Die Abbildung 6 zeigt auch, dass bei höheren, stürmischen Windgeschwindigkeiten, am 10. Januar 2015, nach Abschluß der Radonmessungen in Mainz-Hechtsheim, die Radonkonzentration auch in als mäßig gasdurchlässig geltenden Böden unter 10% des langfristigen Mittels sinken kann.





## 7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt und in der Abbildung 7 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 25 Tagen (Tab. 3) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich von  $15,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  bis  $26,7 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma) (Tab. 3, Abb. 7).

**Tabelle 3:** Radonaktivitätskonzentrationen

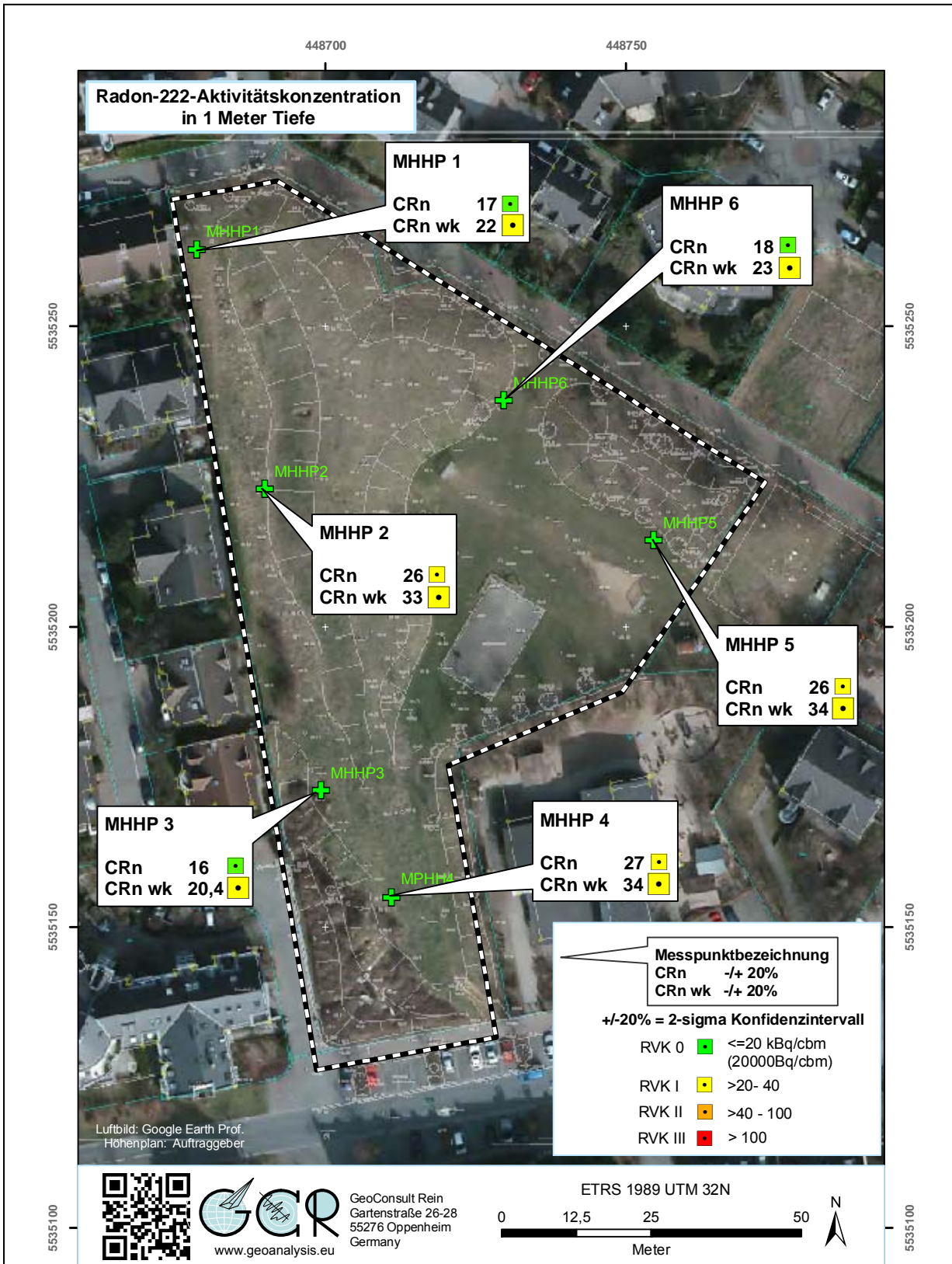
Langzeitmessungen						
Messpunkt	Beginn Messung	Expositionsdauer		Radon-222-Aktivitätskonzentration [ $\text{kBq/m}^3$ ] gerundet		
		Stunden	Tage (gerundet)	$C_{Rn}$ $\pm 20\%$ (2sigma)	Faktor wk	$C_{Rn} \text{ wk}$ $\pm 20\%$ (2sigma)
MHHP1	08.12.2014	598,6	25	17,2	1,28	22,1
MHHP2	08.12.2014	598,4	25	25,6	1,28	32,8
MHHP3	08.12.2014	598,2	25	15,9	1,28	20,4
MHHP4	08.12.2014	598,2	25	26,7	1,28	34,2
MHHP5	08.12.2014	598,2	25	26,3	1,28	33,7
MHHP6	08.12.2014	597,8	25	17,6	1,28	22,6

\*wk witterungskorrigiert (approximiert)

<b>RVK 0</b>	Keine spezifischen 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 nicht verwendbar

Die niedrigsten Radon-222-Aktivitätskonzentrationen wurden in MHHP 3 gemessen. Diese Bohrung wurde bereits im Kapitel „Bodenfeuchte“ wegen des staubtrockenen Bodens in der Messtiefe als auffällig beschrieben. Desweiteren liegt diese Bohrung nahe einer Geländestufe und damit einer zweiten Exhalationsfront. Nach Überbauung wird die Radonkonzentration an dieser Lokalität deshalb relativ am stärksten ansteigen.

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 6), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rn} \text{ wk}$ ) mit Werten zwischen



**Abbildung 7** Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in 1 Meter Tiefe (Angaben in Kilobecquerel; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde).  
 CRn = gemessene Radon-222-Aktivitätskonzentration,  
 CRn wk = Radon-222-Aktivitätskonzentration, witterungskorrigiert.

**20,4 kBq/m<sup>3</sup> ±20% bis 34,2 kBq/m<sup>3</sup> ±20%** (2sigma) (Tab. 3, Abb. 7). Damit erhöhen sich die witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentration auf 128% des gemessenen (unkorrigierten) Wertes. Die jedem Bohrpunkt aufgrund der Radonkonzentration zugeordnete Radonvorsorgegebietsklasse ist in Tabelle 3 und in Abbildung 7 farblich abgestuft.

Aufgrund der bisher im Bebauungsplan gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen ergibt sich durch die orientierenden Untersuchungen eine Einordnung des Baugrundes in Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I).

Die auf der Grundlage der mittleren Gaspermeabilität und der Radonaktivitätskonzentrationen berechneten Radonverfügbarkeitszahlen nach Slunga (Tab. 4) ergeben mit Werten >1 eine gleichartige Einschätzung des Radonrisikos.

**Tabelle 4** Radonverfügbarkeit

Messpunkt	Gaspermeabilität [m <sup>2</sup> ] in 100 cm Tiefe	Radonverfügbarkeit			
		Slunga			
		Rna C <sub>Rn</sub>	Rna C <sub>Rn</sub> +20%	Rna C <sub>Rn</sub> wk	Rna C <sub>Rn</sub> wk+20%
MHHP1	2,E-13	1,34	1,53	1,45	1,42
MHHP2	2,E-13	1,51	1,70	1,62	1,59
MHHP3	2,E-13	1,30	1,49	1,41	1,38
MHHP4	2,E-13	1,53	1,72	1,64	1,61
MHHP5	2,E-13	1,52	1,71	1,63	1,60
MHHP6	2,E-13	1,35	1,54	1,46	1,43

## 8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen die in Tabelle 5 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung des geogenen Radonpotenzials mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Durch die Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz ist nur die gemessene Radonkonzentration (Radonpotenzial) berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben formell unberücksichtigt,

obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit hingewiesen wird.

**Tabelle 5** Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Klassifizierung	Radonaktivitätskonzentration (kBq/m <sup>3</sup> = Kilo-Becquerel/m <sup>3</sup> )
<b>Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)</b>	<b>&lt;20 kBq/m<sup>3</sup> (&lt;20 000 Bq/m<sup>3</sup>)</b>
<b>Radonvorsorgegebiet I (RVK I)</b>	<b>&gt;20 – 40 kBq/m<sup>3</sup></b>
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	>40 – 100 kBq/m <sup>3</sup>
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	>100 kBq/m <sup>3</sup>

Die Einordnung in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch gleichzeitig gemessene bodenphysikalische 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.

Anhand der gemessenen und der witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen ergibt sich nach Tabelle 3 und Tabelle 5 eine Einordnung des Baugrundes als Radonvorsorgegebietsklasse I.

Für Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I) empfohlene Radonpräventionsmassnahmen beim Bauen umfassen z.B.

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke:  $\geq 15$  cm).
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. (in der Regel entstehen keine Mehrkosten durch Verwendung radonabwehrender Materialien)
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien. (in der Regel entstehen keine Mehrkosten durch Verwendung radonabwehrender Materialien)

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, um ein Ansaugen von Raumluft und damit die Unterdruckerzeugung im Gebäude zu reduzieren.

Sollten Gebäude entgegen dem derzeitigen Planungsstand nicht unterkellert werden und sollten damit Frostschrüzen den Bodenbereich unter dem Gebäude einkoffern und das Abfließen von Radon verhindern, können sich unter dem Gebäude auch höhere als die hier gemessenen Radonkonzentrationen einstellen. Im statistischen Mittel sind die Radonkonzentrationen zumindest im Erdgeschoss in nicht unterkellerten Gebäuden höher als in unterkellerten Gebäuden. Deshalb sollte bei dieser Bauweise auch bei geringen Radonkonzentrationen im Baugrund besondere Sorgfalt bei der Bauausführung (Radonabwehr) gelten.

Auch in Passiv- und Niederenergiehäusern ist bei unzureichendem Radonschutz die Radonkonzentration im Gebäude vergleichsweise wesentlich höher. Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise, eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser liegt bisher nicht vor.

Der Radongutachter kann im Bedarfsfall gemeinsam mit dem Architekten Radonpräventionsmassnahmen objektorientiert projektieren und deren Ausführung überwachen.

Dieses Gutachten beruht auf wenigen orientierenden Messungen innerhalb des Bebauungsplanes. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

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

Oppenheim, 16.04.2014