

## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

Mainz, BPL „ Martin-Luther-Straße (O63)“  
Projektnummer 20150826\_Rn222\_MZ-O63“

**GeoConsult Rein**



Gartenstrasse 26-28  
55276 Oppenheim  
www.geoanalysis.eu

**Gutachter:**

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

**Auftraggeber :**

Stadtverwaltung Mainz  
Grün- und Umweltamt  
Postfach 3820  
55028 Mainz

18./24. September 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>7</b>
<b>6. Ergebnisse der Feldarbeiten</b>	<b>10</b>
<b>6.1. Gammastrahlungsaktivität</b>	<b>10</b>
<b>6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen</b>	<b>12</b>
<b>7. Laborergebnisse</b>	<b>13</b>
<b>7.1 Bodenfeuchte</b>	<b>13</b>
<b>7.2 Gaspermeabilität</b>	<b>14</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>	Gammastrahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	<b>11</b>
<b>Abbildung 3</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn	<b>16</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>17</b>
<b>Abbildung 5</b>	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz	<b>18</b>
<b>Abbildung 6</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeitsindizes 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 und Radonverfügbarkeitsindizes	<b>20</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>23</b>

## 1. Auftrag

Die Stadtverwaltung Mainz beauftragte Radonmessungen an acht vorgegebenen Messpunkten. Durch orientierende Messungen sollte exemplarisch festgestellt werden, ob und in welchem Umfang Massnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Geländes zu empfehlen sind.

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Katasterplanauszug mit den vom Auftraggeber gewünschten Bohransatzpunkten
- 2/ Online-Karten LGB RLP
- /3/ LANIS RLP
- /4/ Geologische Karte RLP GK25 Blatt 6015 (1989)
- /5/ 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 Radonraumluft um  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Bei einer  $\text{Rn222}$ -Raumluftkonzentration von  $800 \text{ Bq/m}^3$  hat sich das Lungenkrebsrisiko bereits verdoppelt. Das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

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

Anders als das gasförmige Radon, das mit der Bodenluft über Klüfte im Gestein in und durch den Porenraum der Gesteine und Böden in Gebäude wandern kann, sind die

radioaktiven Zerfallsprodukte von Radon allesamt Feststoffe, wie Polonium, Blei und Wismut. Diese lagern sich in der Raumluft an feinste Teilchen (Aerosole) an und können lange Zeit in der Luft schweben und sich in der Lunge festsetzen.

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

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 spätestens ab dem 1. Januar 2018 eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/m<sup>3</sup> auch durch den nationalen Gesetzgeber zulässt. Den EU-Mitgliedsstaaten bleibt es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Grenzwerte 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 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 Becquerel/m<sup>3</sup>.

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

Die Fläche des Bebauungsplanes „Martin-Luther-Straße (O63)“ liegt innerhalb der bestehenden Bebauung (Abb. 1). Die topografische Höhe der Fläche beträgt 123-125 m NN.

Auf der Fläche stehen mehrgeschossige Mehrfamilienhäuser. Die Gebäude sind im südlichen Teil des Bebauungsplanes ausschließlich N-S-orientiert, im nördlichen Teil z.T. auch in E-W-Richtung. Die Fläche zwischen den Gebäuden ist mit Gras und hohen Bäumen bewachsen. Aufgrund dieser städtebaulichen und der topographischen Situation ist die Fläche als relativ windgeschützt zu bezeichnen.

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

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Katasterplanauszug genutzt, der mit Hilfe von Flurstückeckpunkten für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert wurde (ETRS89 UTM32N). Die ungefähre Lage der Radonmesspunkte waren wegen Einschränkungen durch Betretungsrechte der Grundstücke vom Auftraggeber vorgegeben.

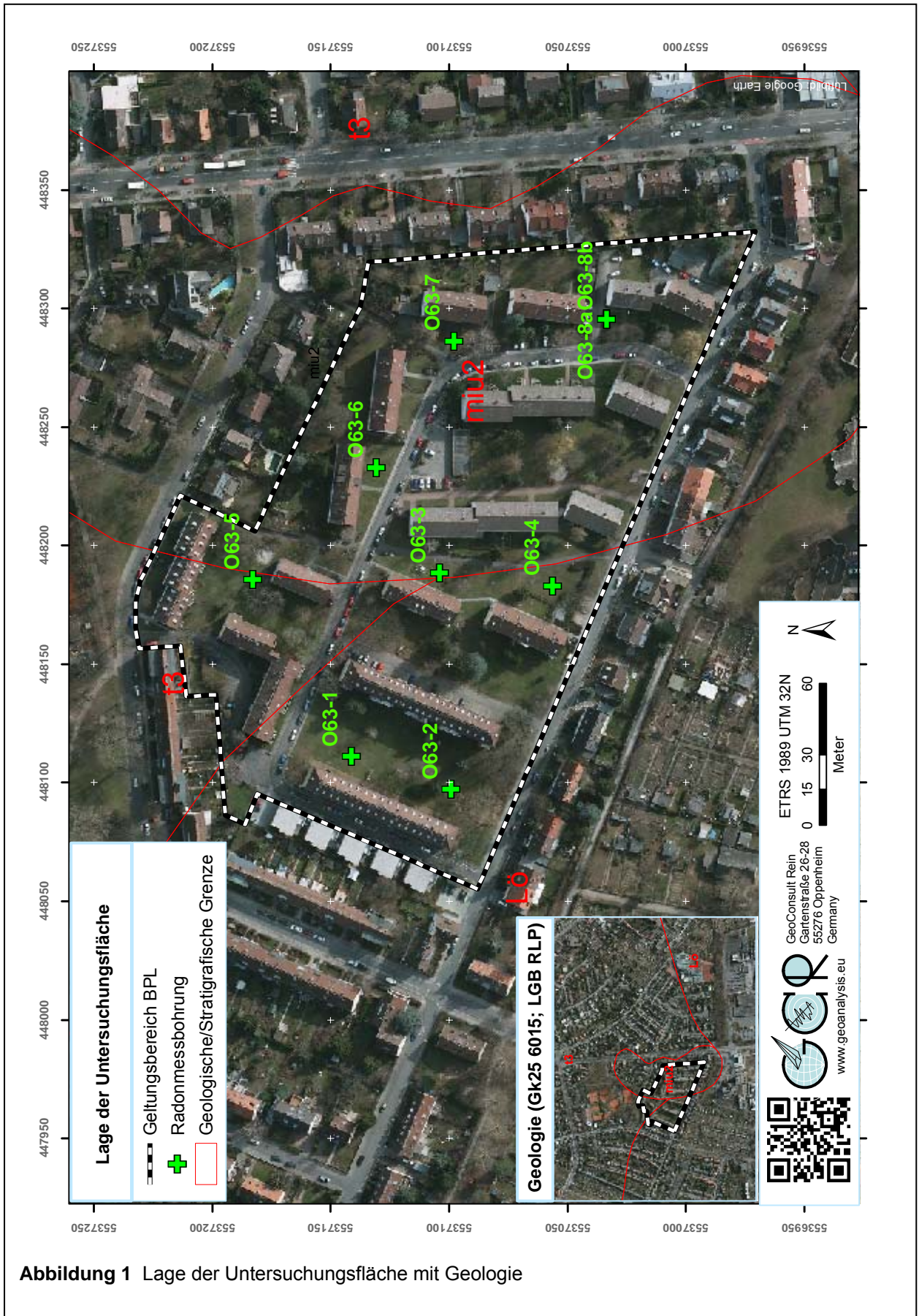


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Geologie



Die Einmessung der Gammastrahlungs-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 etwa oben genannter Präzision. Die Radonmesspunkte wurden in Relation zu den Gebäuden eingemessen.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 27. August 2015 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um möglicherweise Hinweise auf natürliche Gesteinswechsel, anthropogene Auffüllungen oder durch tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Ein Bohrwagen mit Rammkernsondenaufbau konnte auf der Fläche nicht zum Einsatz gebracht werden. Stattdessen wurden die Radonmessbohrungen als Handbohrungen mit 60 mm Durchmesser ausgeführt. In den Bohrungen O63-1 und O63-6 wurde die Zieltiefe in den Verfüllungen wegen großer Steine bzw. einer Steinplatte, trotz mehrerer Ansatzpunkte mit Spiralbohrern nicht erreicht (Tab. 1). Der Einbau der Dosimeter in die Basis der Bohrungen erfolgte unmittelbar nach deren Aufbereitung am 27./28. August mit 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 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.

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, jedoch ohne den Steineanteil, unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die

ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. Massendefizite aufgrund z.B. der Probennahme oder aussortierter Steine, wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter, deren Versand ins Labor sowie eine erneute Bodenprobenentnahme aus der Messtiefe, sowie des Oberbodens erfolgten wegen des engen Zeitrahmens bis zur Gutachtenabgabe bereits am 04. September 2015. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 7-8 Tage (s. Tab. 2).

## **6. Ergebnisse der Feldarbeiten**

### **6.1. Gammastrahlungsaktivität**

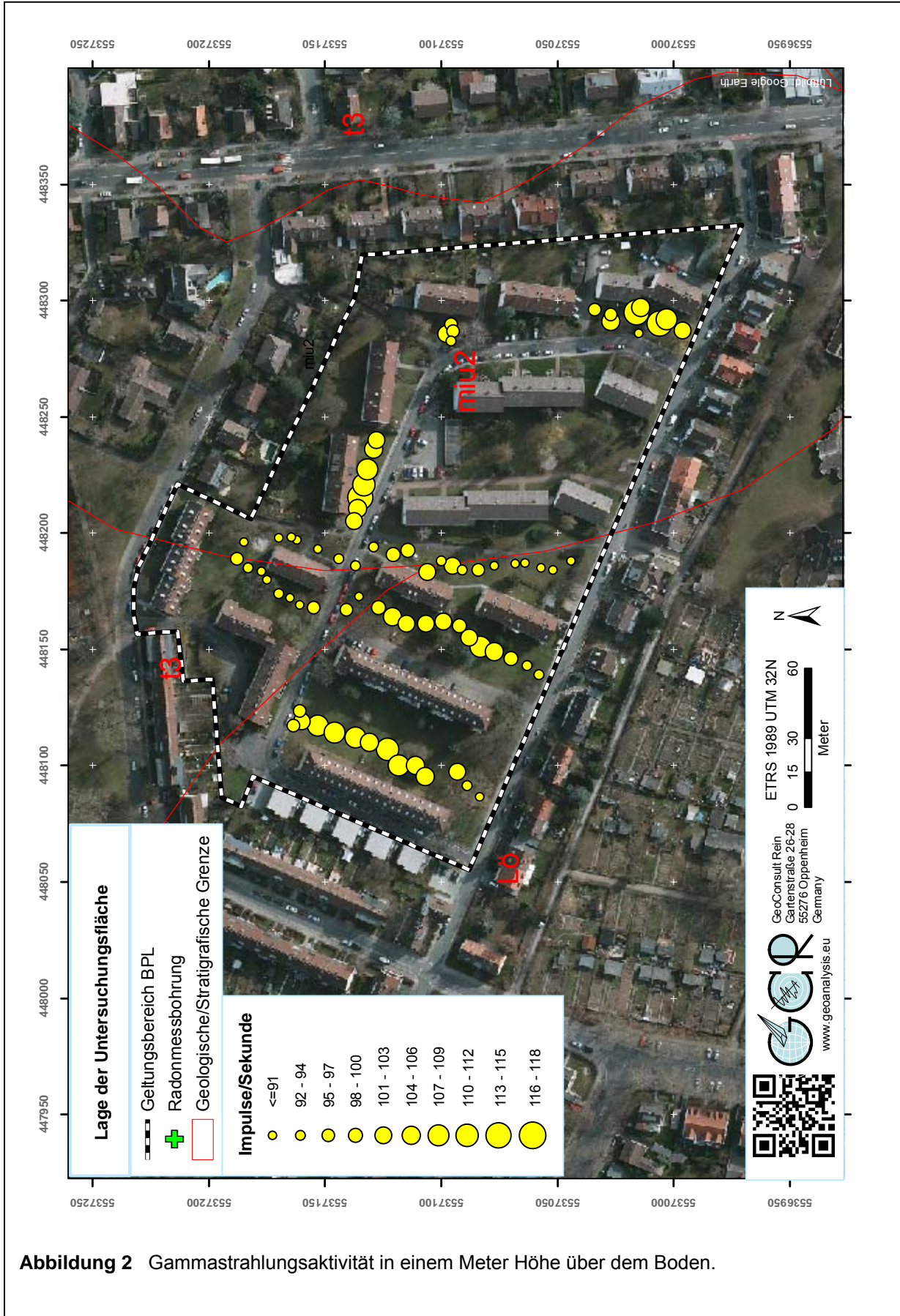
Die Gammastrahlungsaktivität kann als Relativmessung Hinweise auf natürliche und anthropogen verursachte Materialwechsel/Strahlungsanomalien vor allem in den oberen 40 cm des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch-strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können.

Befinden sich starke Radonemanenten auch in größerer Tiefe im natürlichen Untergrund, können diese häufig über Ihre in flacheren Bodenhorizonten entstehenden Tochternuklide durch Gammamessungen abgebildet werden.

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, auch in natürlichen Böden kein direkter Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund. In Auffüllungen können einzelne Fremd-Komponenten das Signal dominieren.

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem für die Gesteine/Böden der Region durchschnittlichen Wertebereich zwischen 90 – 120 Impulsen/Sekunde.

Ausgeprägte Anomalien der Gammastrahlungsaktivitäten, die Auswirkungen auf die Beprobungsanordnung hätten haben müssen, wurden nicht gefunden.



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

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Im Untergrund des Bebauungsplanes lagern gemäß geologischer Karte (15/) im zentralen nördlichen Bereich Terrassensedimente (Abb. 1: „t3“), im südlichen Teil eiszeitliche äolische Sedimente („Lö“) und im östlichen Teil miozäne Sedimente der Hydrobienschichten („miu2“), die auch die Terrassen und äolischen Sedimente im restlichen Bebauungsplan unterlagern.

Herrn Reinhard (Auftraggeber) hat nach Abschluß der Radonmessungen folgende schriftliche Angaben zum Untergrundaufbau gemacht:

*Bei Bohrsondierungen für die Versickerungsuntersuchung (Hydrogeologisches Büro Steinbrecher und Wagner, Versickerungsuntersuchung Plangebiet O 63, 13.11.2014) wurde folgender Untergrundaufbau ermittelt:*

- *Unter der durchwurzelten Bodenschicht stehen schluffige und stark schluffige Sande und Kiese an, die als Verwitterungsprodukte der in größerer Tiefe anstehenden tertiärzeitlichen Sedimente angesehen werden. Der Untergrundaufbau ist weitgehend homogen, nur vereinzelt (RK3, RK4) treten in größerer Tiefe schluffige oder tonige Lagen auf.*
- *Zumindest im oberen Bereich handelt es sich um umgelagertes Material, das, sofern anthropogene Anteile (Beton-, Ziegelbruch) erbohrt wurden, als Auffüllung deklariert wurde.*
- *Löß oder Terrassensedimente, wie in der geologischen Karte verzeichnet, wurden nicht erbohrt.*
- *Grundwasser wurde bei den Bohrungen nicht angetroffen. (Zitatende)“*

Die in den Radonmessbohrungen angetroffenen Schichtenfolgen (Tab. 1) enthalten vorwiegend Auffüllungen aus lokal vorkommenden Gesteinen, die möglicherweise aus den Baugruben der Bestandsgebäude stammen. Die Auffüllungen in den Radonmessbohrungen enthalten Kalksteinbrocken, neben zurücktretenden anthropogenen Anteilen wie Ziegelbruch.

Anders als die anderen Radonmessbohrungen enthält O63-5 braune Sande (mit Kalksteinen), die den gemäß geologischer Karte (GÜK300) dort zu erwartenden Terrassensedimenten entsprechen könnten.

In der Bohrung O63-7 wurden unter 80 cm mächtigen Auffüllungen Schluffe (Löß) angetroffen, die u.U. den Top des natürlichen Bodenaufbaus unter den Auffüllungen

darstellen könnten. In O63-8 wurde in der gleichen Tiefe, unter Auffüllungen, ein brauner Boden mit Holzkohleresten angetroffen.

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

Bohrung	X		Y		Tiefenangaben in cm
	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	
O63- 1	448111	5537141	0-100	sU - uS mit Ziegel und Kalksteinen (Auffüllung)	
O63- 2	448097	5537099	0-80	Kalksteine, grob, in sandiger Matrix (Auffüllung)	
O63- 3	448188	5537104	0-100	sU - uS mit Ziegel und Kalksteinen (Auffüllung)	
O63- 4	448183	5537056	0-100	sU - uS mit Ziegel und Kalksteinen (Auffüllung)	
O63- 5	448186	5537183	0-100	Sand, braun mit Kalksteinen (Auffüllung?)	
O63- 6	448233	5537131	0-70 70	Sand mit Kalksteinen, Beton (Auffüllung) Größere Steinplatte, Kalkbank? Erschütterungen durch Bohren werden mehrere Meter weitergeleitet	
O63- 7	448286	5537098	0-20 20-80 80-100	Oberboden, graubraun Kalksteine, zerrieben/zerbrochen (beim Bohren), sandig (Auffüllung) Schluff (Löß?)	
O63- 8a,b	448295	5537033	0-20 20-80 80-100	Oberboden, graubraun Kalksteine, zerrieben/zerbrochen (beim Bohren), sandig (Auffüllung) Ehemaliger Oberboden (?), dunkelbraun mit Holzkohlen	

## 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 hohen Wassergehalten die Radonkonzentration ansteigen. 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 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 Bohrungen waren bis in etwa 50 cm Tiefe sehr trocken bis trocken, vergleichbar den aus 15 cm Tiefe entnommenen Bodenproben (Tab. 2). Auch in der Basis der Bohrungen waren die Bodenfeuchten nur mäßig feucht und trotz unterschiedlicher Bodenarten relativ einheitlich (Tab. 2). Deutlich unterdurchschnittliche Emanationsraten sind damit in einem Meter Tiefe nicht zu erwarten.

Die Radonexhalation war aber wegen der sehr trockenen oberen Bodenhorizonte während der Radonmessungen sicher wesentlich höher als im Jahresdurchschnitt.

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

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe Cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				100 cm		15 cm	
				Anfang	Ende	Anfang	Ende
O63- 1	448111	5537141	100	10	11	6	6
O63- 2	448097	5537099	80	9	9	6	5
O63- 3	448188	5537104	100	10	9	5	7
O63- 4	448183	5537056	100	9	10	4	6
O63- 5	448186	5537183	100	9	10	4	6
O63- 6	448233	5537131	70	10	10	4	6
O63- 7	448286	5537098	100	10	10	4	6
O63- 8a	448295	5537033	100	11	11	5	6
O63- 8b	448296	5537033					

## 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 durch die Bodenart oder temporär durch Bodenfeuchte bedingte vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluß auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den im Bebauungsplan angetroffenen steinigten Sanden, schluffigen Sanden und Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung im oberen Bodenmeter in einem Bereich von  $k = 10^{-11}$  bis  $10^{-13} \text{ m}^2$ . In Abbildung 6 (Seite 21) ist nur die Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe dargestellt.

In etwaigen Hohlräumen der Auffüllungen oder in Karsthohlräumen können die Gaspermeabilitäten aber auch höher sein.

Im Untergrund des Bebauungsplanes lagern kalkige Gesteine, die in der unmittelbaren Umgebung des Bebauungsplanes auch aus eigener Anschauung als verkarstet bekannt sind.

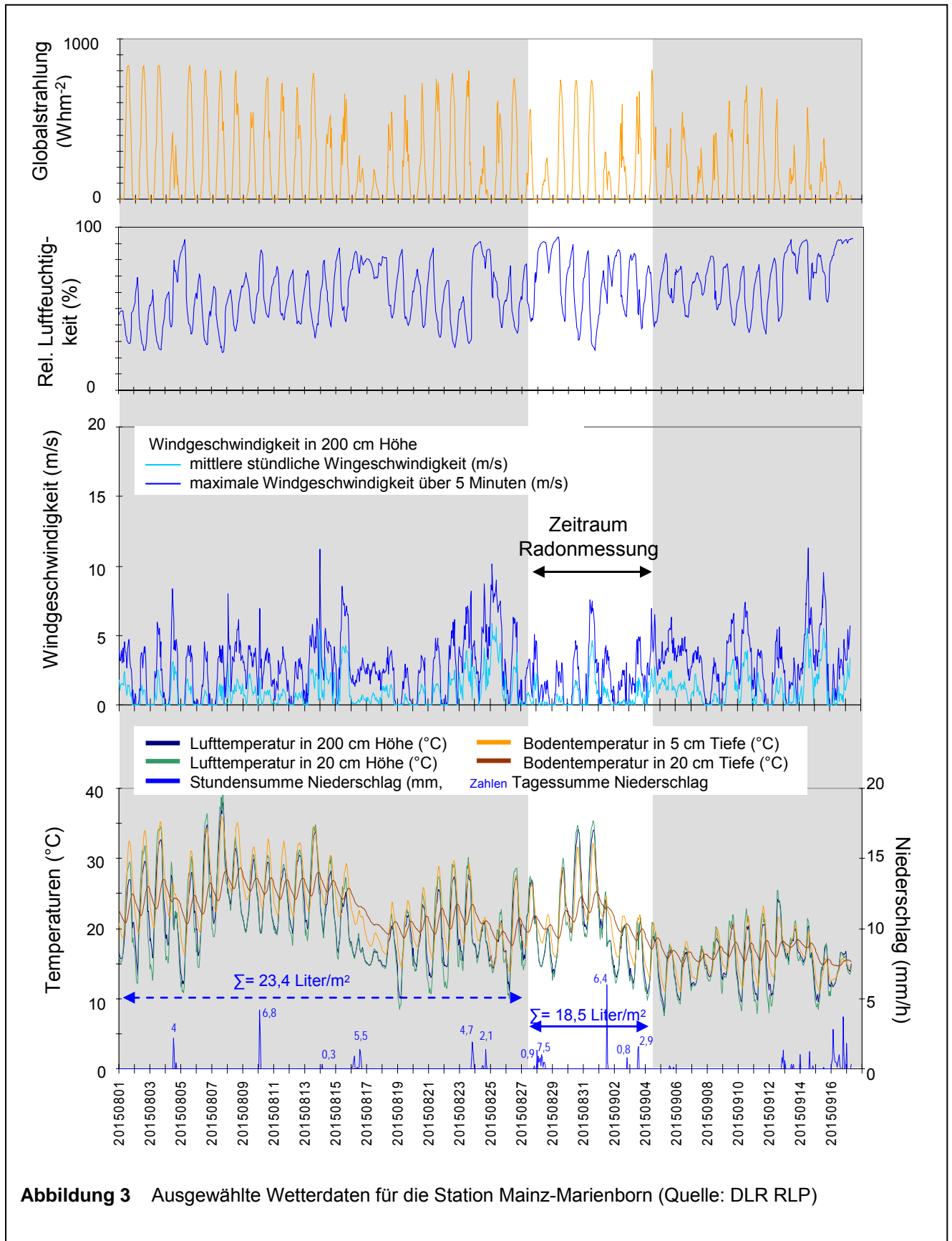
### **7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes**

Die Wetterstation Mainz-Marienborn (153 m ü NN) liegt 3900 m südwestlich von der Untersuchungsfläche. Die Wetterstation liegt östlich des Siedlungsrandes und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände. Die Untersuchungsfläche des Bebauungsplanes liegt etwas tiefer bei 123-125 m ü NN und wegen der Umbauung bzw. des Vegetationsbestandes in windgeschützterer Lage

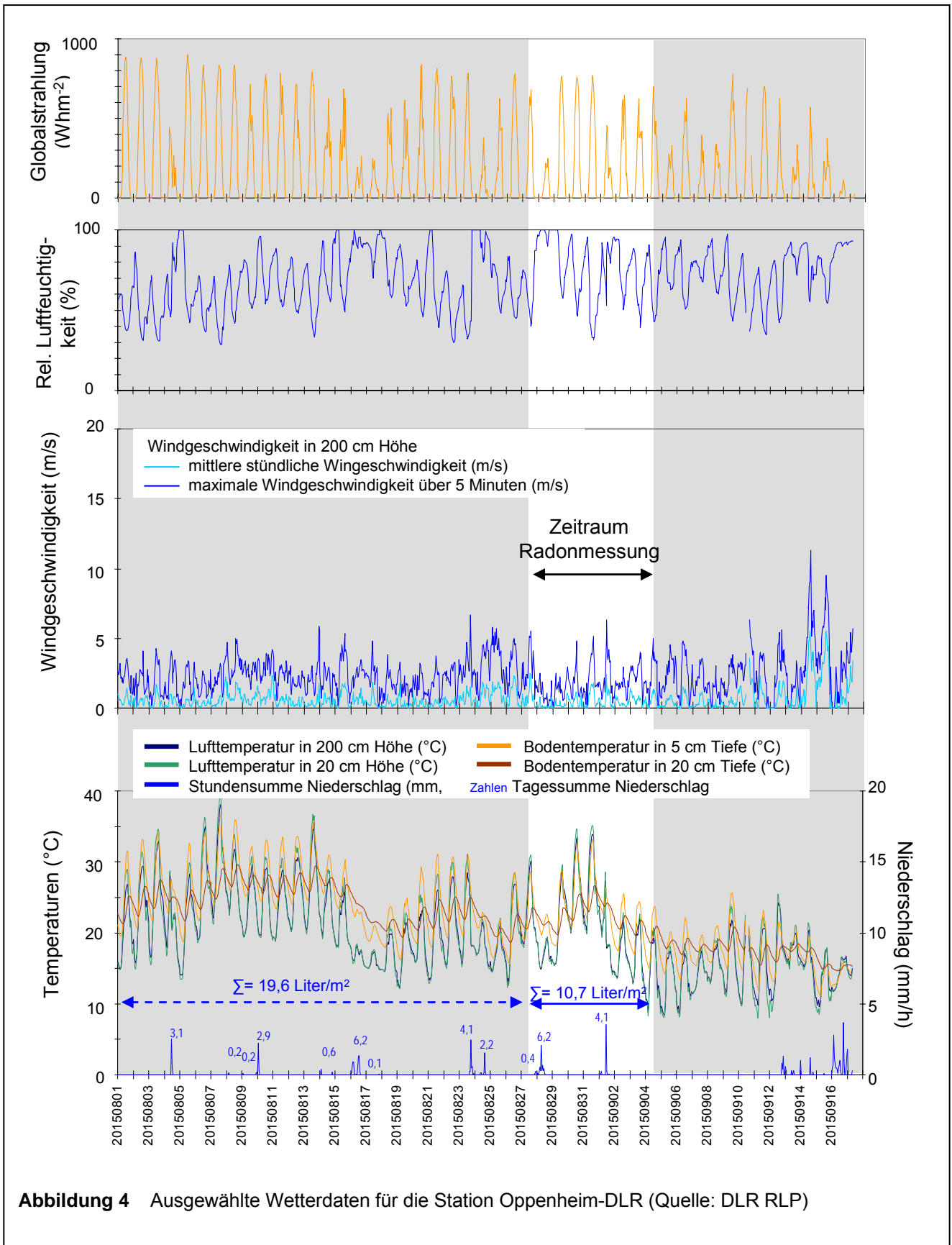
Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m üNN. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonreferenzstation von GCR.

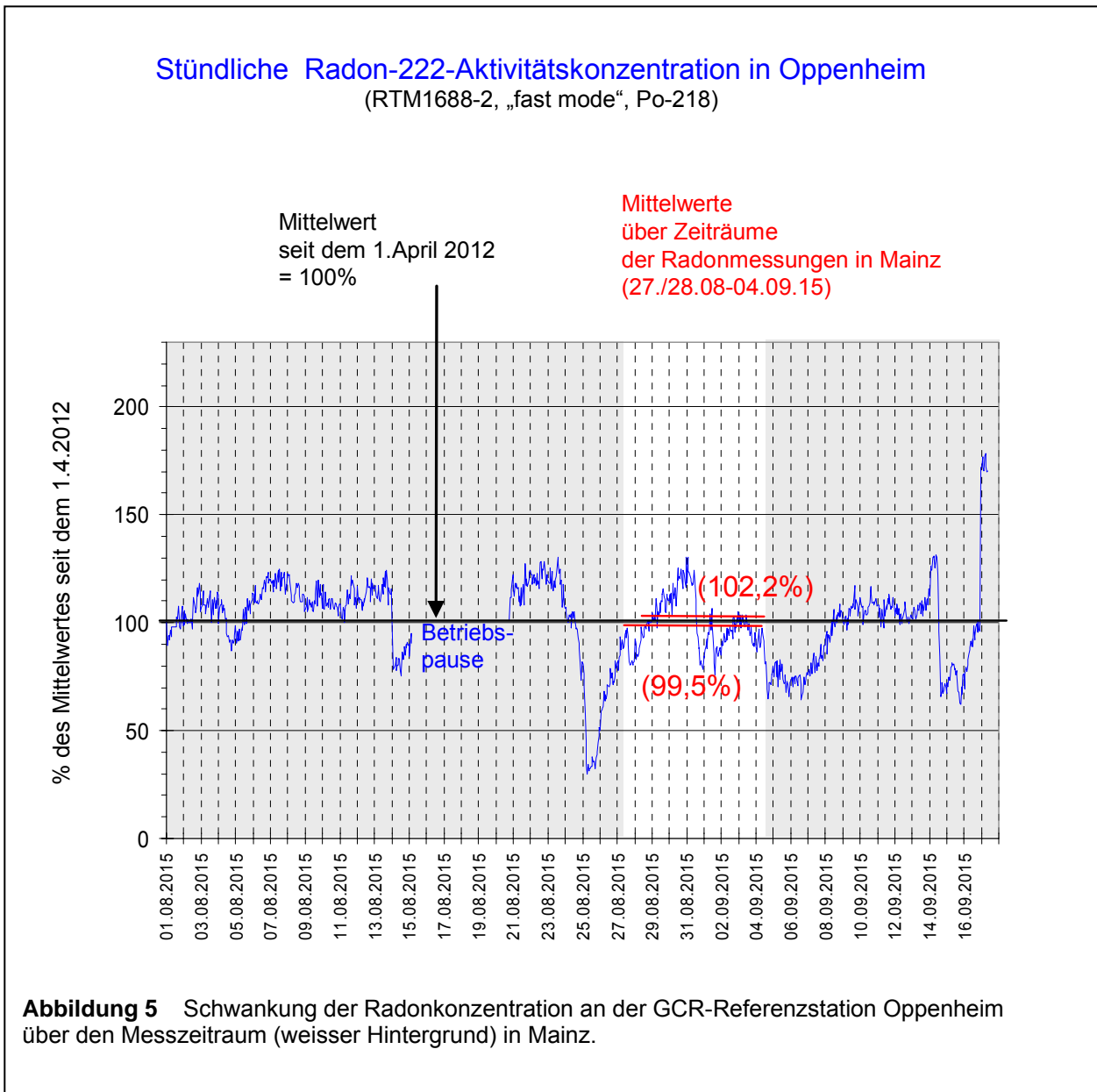
Die Abbildungen 3 und 4 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Dosimeterauslage zur Radonmessung auf der Untersuchungsfläche.

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 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. Der Zeitraum vor und nach der Dosimeterauslage ist grau hinterlegt.

Die Zeiten außerhalb der Radonmessungen sind in beiden Abbildungen grau hinterlegt.

Innerhalb der Periode der Dosimeterauslage sind starke Temperaturunterschiede festzustellen, mit Tagesmaximaltemperaturen in zwei Meter Höhe zwischen 20-36°C. Mit zunehmender Tagesmaximaltemperatur steigt auch die Tagesamplitude des Temperaturganges auf bis zu 17°K (in 2 Meter Höhe). Die Tagesamplituden in 20 Zentimeter Tiefe im Boden betragen noch immer 2-3°K.

Neben der thermisch induzierten Konvektion, wurde diese auch, erst insulationsgetrieben, danach durch allochthone Faktoren gesteuert, durch die böige Windtätigkeit beeinflusst.

Insgesamt fielen während der Radonmessungen in Mainz an der Wetterstation MZ-Marienborn 18,5 Liter Regen je Quadratmeter, die sich auf die beiden ersten und die letzten Tage der Dosimeterauslage konzentrieren. Während der stärksten Windtätigkeit fielen keine Niederschläge, zudem wäre keines der Regenereignisse von der Menge und zeitlichen Verteilung in der Lage gewesen die Radonexhalation aus dem Boden massiv zu behindern (vgl. Abb. 3-5, 17.09.2015).

Die Witterungsverläufe an den Stationen Mainz-Marienborn und Oppenheim sind in hohem Maße vergleichbar (Abb. 3-4), wobei die an der Station marienborn gemessenen Windgeschwindigkeiten tendenziell höher sind. Allerdings ist auf der Untersuchungsfläche aufgrund der topografischen Situation von niedrigeren Windgeschwindigkeiten als an der nächstgelegenen Wetterstation Mz-Marienborn auszugehen

An einer von GeoConsult Rein betriebenen Radon-Referenzstation werden in Oppenheim stündlich die Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in 1 m Tiefe gemessen. Die Gasdurchlässigkeit des Bodens an dieser Station beträgt  $k=10^{-13} \text{ m}^2$ .

Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration in Oppenheim über den Zeitraum der Radonmessungen in Mainz (27.08.2015 – 04.09.2015) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentrationen in Oppenheim während der Auslagezeiträume der Dosimeter in Mainz 99,5% (27.08.2015 – 04.09.2015, Abb. 5) bzw. 102,5% (28.08.2015 – 04.09.2015) der langfristigen seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen.

Eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentration im Boden kann aufgrund des ähnlichen Witterungsverlaufes in Mainz und Oppenheim angenommen werden. Die in Oppenheim beobachteten Radon-Konzentrationsänderungen spiegeln die Interaktion von Erwärmung zu sich ändernden Feuchtebedingungen und schließlich auffrischender Winde bei abnehmender Bodenfeuchte im Oberboden wider. Insgesamt ist die zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderung (80-125% des langfristigen Mittelwertes) im Untersuchungszeitraum gering ausgeprägt

Der Messzeitraum kann somit in erster Näherung als repräsentativ erachtet werden, sofern pedologische Parameter ebenfalls vergleichbar sind. Diese unterscheiden sich aber hinsichtlich der Bodenfeuchte oberhalb 50 cm Tiefe (Mainz 4-7%; Oppenheim 12%) und z.T. in der Gaspermeabilität der Böden (s. Kap. 7.4).

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

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] ±20% (2sigma)			Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C <sub>Rn</sub>	C <sub>Rn</sub> wk (99,5% bzw. 102%)	C <sub>Rn</sub> bfk (80%)	RVI CRn bfk	Rna CRn bfk
O63- 1	27.8.- 04.09.15	16,5	16,6	<b>20,7 (16,5-24,8)</b>	<b>1,65-2,48</b> E-09	<b>1,30-1,47</b>
O63- 2	27.8.- 04.09.15	12,4	12,4	<b>15,5 (12,4-18,6)</b>	<b>1,24-1,86</b> E-07	<b>1,33-1,50</b>
O63- 3	28.8.- 04.09.15	14,5	14,2	<b>18,2 (14,5-21,8)</b>	<b>1,45-2,18</b> E-09	<b>1,24-1,42</b>
O63- 4	28.8.- 04.09.15	29,4	28,8	<b>36,8 (29,4-44,1)</b>	<b>2,94-4,41</b> E-09	<b>1,55-1,72</b>
O63- 5	27.8.- 04.09.15	26,3	26,5	<b>32,9 (26,3-39,5)</b>	<b>2,63-3,95</b> E-09	<b>1,65-1,83</b>
O63- 6	27.8.- 04.09.15	12,0	12,0	<b>15,0 (12,0-18,0)</b>	<b>1,20-1,80</b> E-07	<b>1,31-1,49</b>
O63- 7	27.8.- 04.09.15	13,3	13,4	<b>16,6 (13,3-19,9)</b>	<b>2,66-3,99</b> E-09	<b>1,23-1,40</b>
O63- 8a	28.8.- 04.09.15	10,4	10,2	<b>13,1 (10,4-15,7)</b>	<b>1,04-1,57</b> E-09	<b>1,10-1,27</b>
O63- 8b	28.8.- 04.09.15	9,5	9,3	<b>11,9 (9,5-14,3)</b>	<b>9,50E-10</b> <b>-1,43E-09</b>	<b>1,06-1,23</b>

\*wk witterungskorrigiert (approximiert); \*bfkwitterungskorrigiert (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 (Gasperm.) nicht verwendbar

## 7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt und in der Abbildung 6 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 7 bzw. 8 Tagen (Tab. 3) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich von  $9,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  bis  $29,4 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma) (Tab. 3, Abb. 7). Erhöhte ( $40\text{-}100 \text{ kBq/m}^3$ ) oder hohe ( $>100 \text{ kBq/m}^3$ ) Radon-222-Aktivitätskonzentrationen wurden innerhalb des Bebauungsplanes nicht gemessen.

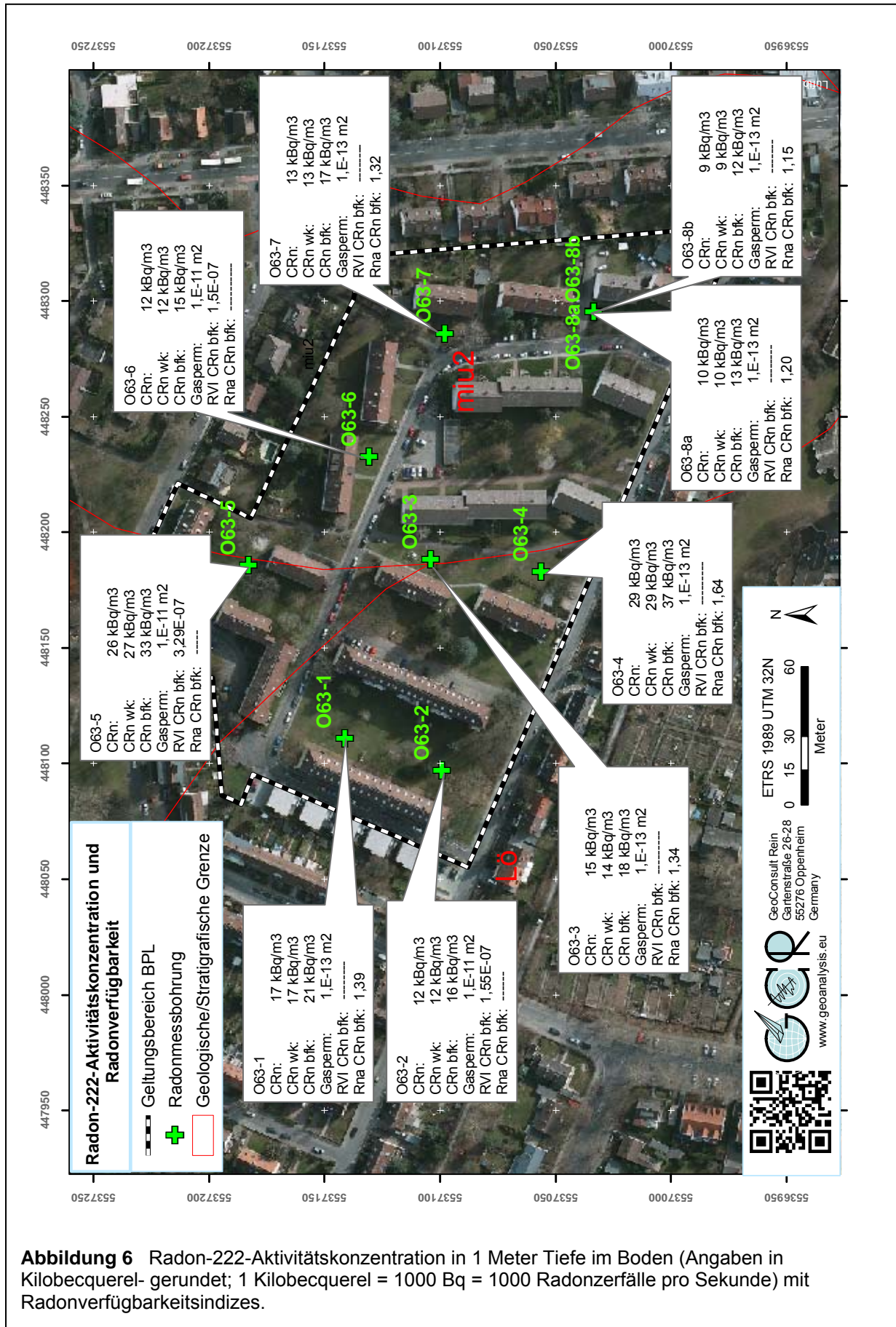
Die in einem Abstand von einem Meter zueinander liegenden Bohrungen der Doppelbohrung O63-8 (a, b) nahezu identische Ergebnisse ergeben.

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rn}wk$ ) mit Werten zwischen  $9,3 \pm 20\%$  bis  $28,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma).

Diese Witterungskorrektur stellt wahrscheinlich eine Unterkorrektur dar: Grund dafür sind die sehr trockenen oberen Bodenhorizonte ( $\sim 0\text{-}50 \text{ cm}$ , BF  $\sim 4\text{-}7\%$ ), die auf der Untersuchungsfläche in Mainz deutlich trockener als an der Radon-Referenzstation Oppenheim (12%) waren. Dadurch war der Radonexhalation aus dem Boden ein geringerer Widerstand als in Oppenheim entgegen gesetzt. GCR-eigene Testreihen in vergleichbaren Böden haben unter diesen Bedingungen nur etwa 80% der Radonkonzentration wie an gleicher Stelle bei Bodenfeuchten  $>10\%$  ergeben.

Eine entsprechende Bodenfeuchte-Korrektur ist in der Spalte „ $C_{Rn} bfk$ “ von Tabelle 3 berücksichtigt. Die Werte liegen nach dieser Korrektur zwischen  $11,9 \pm 20\%$  bis  $36,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma).

Für O63-1 und O63-6 sind zudem die flacheren Einbautiefen von 80 bzw. 70 cm Tiefe zu berücksichtigen (vgl. Kap. 6.2).



**Abbildung 6** Radon-222-Aktivitätskonzentration in 1 Meter Tiefe im Boden (Angaben in Kilobecquerel- gerundet; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde) mit Radonverfügbarkeitsindizes.

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 Gasdurchlässigkeiten  $k \geq 10^{-12} \text{ m}^2$  wird hier der Radonverfügbarkeitsindex RVI (Bq/m) von Surbeck angewandt, bei geringeren Gasdurchlässigkeiten die Radonaktivitätszahl (dimensionslos) von Slunga.

Für die Berechnung beider Indizes ist die Bodenart-bezogene Gaspermeabilität in der Lagerungstiefe der Dosimeter zugrunde gelegt. In der Nähe von Hohlräumen muß aber eine um mehrere Zehnerpotenzen höhere Gaspermeabilität und Radonverfügbarkeit berücksichtigt werden.

Die Radonverfügbarkeiten aufgrund der Indizes von Slunga und Surbeck ergeben für die auf der Untersuchungsfläche vorliegenden Merkmalskombinationen eine übereinstimmende Einschätzung der Radonverfügbarkeit (des Radonpotentials). Danach sind nicht nur für 3 Bohrpunkte (O63-1, O63-4, O63-5) einfache Radonschutzmassnahmen zu empfehlen, sondern auch für alle anderen.

## 8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfahl die in Tabelle 4 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung der geogenen Radonkonzentration mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

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

Klassifizierung	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>

Daraus ergäbe sich nach Tabelle 3 und Tabelle 4 eine Einstufung der Situation an den Messpunkten und in der Messtiefe als Radonvorsorgegebietsklasse 0-I (RVK 0-I).

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. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität bei der Identifikation gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen.

Desweiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m<sup>3</sup> in Innenräumen) als von der EU mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.

Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise. Eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser oder vergleichbar energieeffiziente Gebäude, in denen die Radonkonzentration das Mehrfache dessen gegenüber konventioneller Bauweise betragen kann, liegt bisher nicht vor.

Die Einordnung in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten (Anlagen) 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.

Für den Bebauungsplan werden auf Grundlage der in einem Meter Tiefe durchgeführten orientierenden Messungen Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklassen I empfohlen.



Typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgebiet RVK I umfassen:

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.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien, bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.
4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

Dieses Gutachten beruht auf orientierenden punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten andere als die in Tabelle 1 beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, und sollten Gebäude nicht in Auffüllungen, sondern in den darunterlagernden tertiären Mergeln und Kalken oder deren Verwitterungsprodukten gründen, sind dort in Analogie zu eigenen Messungen in direkter Nachbarschaft zur Untersuchungsfläche höhere Radonkonzentrationen (RVK I - RVK II) sehr wahrscheinlich. Sollten durch Gebäudegründungen Karsthohlräume oder andere Hohlräume angeschnitten werden, werden Radonpräventionsmassnahmen mindestens gemäß RVK II empfohlen, sofern durch Messungen nicht Gegenteiliges belegt ist.

GeoConsult Rein  
  
GeoConsult Rein logo: The logo consists of the letters 'G', 'C', 'R' in a stylized, bold font. The 'G' and 'C' are connected, and the 'R' is separate. The letters are filled with a light blue color and have a white outline. The 'G' and 'C' contain a globe icon.

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, 18.09.2014

Aktualisierung nach Erhalt der Ergebnisse  
der Versickerungsversuche (Kap. 6.2)

Oppenheim, 24.09.2015