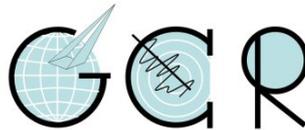


## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

Dudenhofen, BPL „In den 30 Morgen“  
Projektnummer 20150722\_Rn222\_DUD“

**GeoConsult Rein**



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

**Gutachter:**  
Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

**Auftraggeber :**  
Ortsgemeinde Dudenhofen  
67373 Dudenhofen

15. 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>9</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>16</b>
<b>7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes</b>	<b>17</b>
<b>7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit</b>	<b>21</b>
<b>8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung</b>	<b>25</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>	Gemessene Bodenfeuchte und Bodenart-bezogene Gaspermeabilität	<b>15</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Speyer	<b>18</b>
<b>Abbildung 5</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>19</b>
<b>Abbildung 6</b>	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Dudenhofen	<b>20</b>
<b>Abbildung 7</b>	Gemessene Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in einem Meter Tiefe	<b>23</b>
<b>Abbildung 8</b>	Witterungs-korrigierte Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in einem Meter Tiefe	<b>26</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Radonmessbohrungen	<b>12</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>14</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen	<b>22</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>25</b>

## 1. Auftrag

Die Ortsgemeinde Dudenhofen beauftragte orientierende Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme zu der Fläche des Bebauungsplan „In den 30 Morgen“ in Dudenhofen.

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

- /1/ Bebauungsplan, vom Auftraggeber über das Planungsbüro PISKE zur Verfügung gestellt.
- /2/ Online-Karten LGB RLP
- /3/ LANIS RLP
- /4/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- /5/ Wetterdaten des DLR der Stationen Speyer 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 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**

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 „In den 30 Morgen“ erstreckt sich über 400 Meter Länge und 100 Meter Breite östlich und südlich an die Bebauung von Dudenhofen anschließend. (Abb. 1). Die topografische Höhe der Fläche beträgt 105-106 m NN. Die maximale Höhendifferenz innerhalb der Fläche beträgt in Längserstreckung damit rund 1 Meter. In Längsrichtung der Fläche folgen vom Ortsrand weg, ein Maisfeld, Wiese, ein von Gebüsch gerodetes Grundstück mit Bäumen und eine verkrautete Ackerbrache. Diese erstreckt sich auch über die gesamte Breite im südlichen, etwas schmaleren Teil des Geltungsbereiches des Bebauungsplanes (Abb. 1).

Die südliche Begrenzung des Bebauungsplanes bildet ein eingetiefter und von Baumreihen begleiteter Bachlauf. Der Wasserspiegel im Bachlauf lag zum Zeitpunkt der Radonmessungen > 1 Meter unter dem angrenzenden Bebauungsplanniveau.

Aufgrund der städtebaulichen und der topographischen Situation ist die Fläche vor allem nach Osten windoffen gelegen.

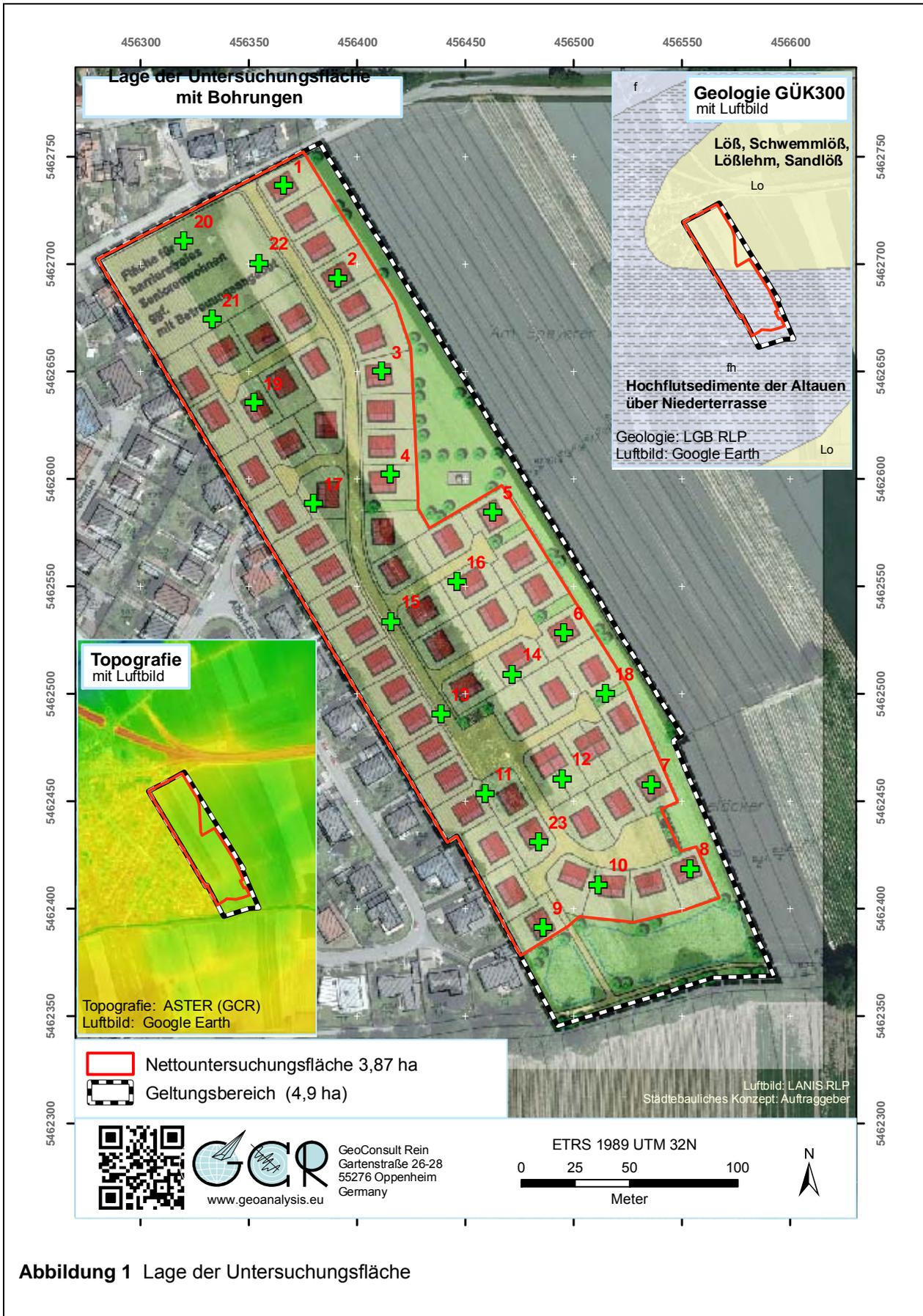


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche

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

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bebauungsplanauszug 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 etwa oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 22. Juli 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.

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 unmittelbar nach deren Aufbereitung am 22. 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 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 unmittelbar unter der Messtiefe, sowie des Oberbodens erfolgten am 05. August 2015. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 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 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) beeinflusste ist, kein direkter Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten sind im regionalen Vergleich niedrig und liegen in einem engen Wertebereich zwischen 60 – 75 Impulsen/Sekunde.

Tendenziell wurden im östlichen Messprofil etwas höhere Gammastrahlungsaktivitäten gemessen. Am nördlichen und südlichen Ende des Bebauungsplanes wurden die niedrigsten Werte gemessen.

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

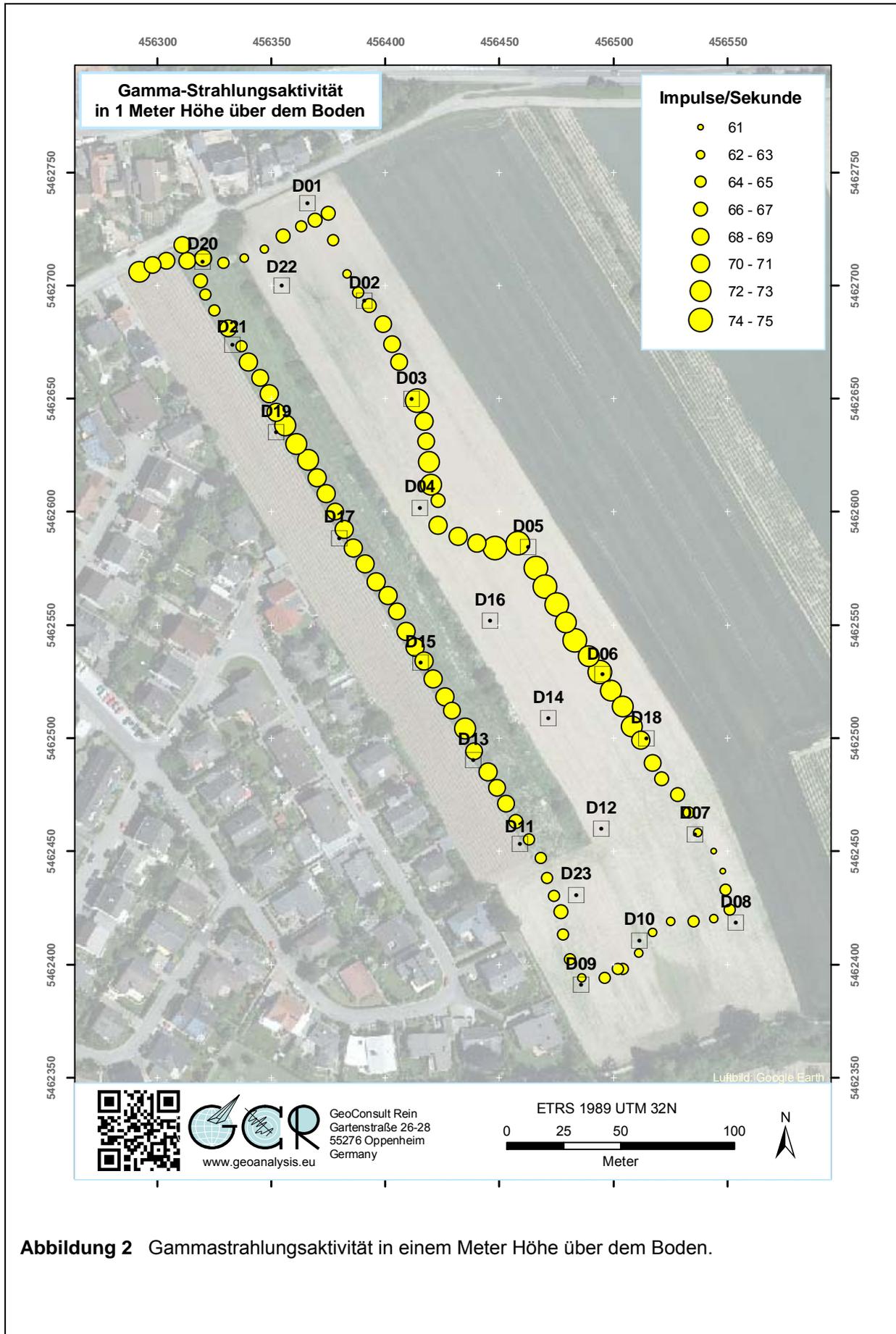


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Im Untergrund des Bebauungsplanes lagern gemäß Geologischer Übersichtskarte im südlichen Bereich Auensedimente über jungen Flußterrassen (Niederterrasse). im nördlichen Teil der Untersuchungsfläche werden die Niederterrassensedimente durch äolische Ablagerungen (Staub- oder Sandlöß) bzw. Umlagerungen derselben (Schwemmlöß) überdeckt.

Die in den Radonmessbohrungen angetroffenen Schichtenfolgen (Tab. 1) bestätigen dies tendenziell. In den nördlichen Bohrungen sind die äolisch abgelagerten Schluffe und Sande hellbraun bis hellbeige (fahlbraun), während die fluviatilen Sande im südlichen Bereich des Bebauungsplanes fleischfarben, orange, rot und braun gefärbt sind.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
			Tiefe	Stratigraphie
D 01	456366	5462740	0-85 85-100	u'S, hellbraun S, hellbeige
D 02	456391	5462690	0-80 80-100	u'S, hellbraun S, hellbeige
D 03	456411	5462650	0-55 55-100	u'S, braun U, beige, weiß
D 04	456415	5462600	0-40 40-90 90-100	S, graubraun l'S, gelbbraun U, z.T. weiß
D 05	456463	5462580	0-60 60-90 90-100	S, braun l'S, orangebraun uS, hellbeige
D 06	456495	5462530	0-50 50-85 85-100	S, braun l'S, orangebraun S, (gelb)braun, mit wenigen Siltlinsen
D 07	456536	5462460	0-70 70-100	S, hellbraun u'S, gelbbrot werdend → rotbraun, orangebraun,
D 08	456554	5462420	0-60 60-80 80-100	sU-uS, beige-grau, hell S, orange U, beige z.T. weiß
D 09	456486	5462390	0-35 35-90 90-100	S, graubraun S, zur Basis sehr schwach lehmig werdend S (rot) + U (beige-weiß)
D 10	456511	5462410	0-60 60-100	S, beigebraun, oben graubeige S, orangebraun → fleischfarben, Basis
D 11	456459	5462450	0-100	sU, Bohrung durchgängig sehr trocken
D 12	456495	5462460	0-30 30-50 80-100	S, graubraun S, braun, z.T. rote Schlieren U, beige

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
D 13	456439	5462490	0-80 80-100	uS, fahlbraun S, gelbbraun
D 14	456472	5462510	0-40 40-85 85-100	S, braun S, orange-braun sU, gelblich braun, z.T. weißl.-gelb
D 15	456416	5462530	0-40 40-100	uS, beigebraun S, gelbbraun
D 16	456446	5462550	0-45 45-100	u'S – uS ufS, orangebraun-beigebraun, mit X
D 17	456380	5462590	0-35 35-65 65-100	uS, graubraun S, orangebraun sU, kalkig weiß bis beige
D 18	456515	5462500	0-65 65-90 90-100	S, (hell)braun uS-(sU) , orange bis beigebraun l'S, orange bis beigebraun
D 19	456352	5462640	0-50 50-90 90-100	u'S, graubraun l'S, gelbl-braun U, z.T. weiß
D 20	456320	5462710	0-45 45-65 75-100	S, weißl. – graubraun S, orange-rot U, gelb-weiß
D 21	456333	5462670	0-40 40-75 75-100	S, weißl. – graubraun S, orange-rot U, gelb-weiß
D 22	456355	5462700	0-30 30-75 75-100	S, graubraun S, hellbraun bis orange-braun U, gelb-weiß
D 23	456484	5462430	0-60 60-100	S, graubraun S, orange-rotbraun

## 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 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. Eine graphische Darstellung ist durch Abbildung 3 gegeben.

**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
D 01	456366	5462740	100	3	4	4	4
D 02	456391	5462690	100	4	3	4	4
D 03	456411	5462650	100	16	13	8	5
D 04	456415	5462600	100	15	14	9	4
D 05	456463	5462580	100	12	12	9	4
D 06	456495	5462530	100	8	8	7	4
D 07	456536	5462460	100	9	8	6	5
D 08	456554	5462420	100	12	13	4	4
D 09	456486	5462390	100	13	12	5	4
D 10	456511	5462410	100	7	6	4	3
D 11	456459	5462450	100	4	3	2	4
D 12	456495	5462460	100	14	15	8	4
D 13	456439	5462490	100	9	9	3	3
D 14	456472	5462510	100	10	9	8	6
D 15	456416	5462530	100	12	13	6	3
D 16	456446	5462550	100	13	14	11	7
D 17	456380	5462590	100	13	14	6	3
D 18	456515	5462500	100	16	14	8	5
D 19	456352	5462640	100	8	5	5	4
D 20	456320	5462710	100	6	6	5	4
D 21	456333	5462670	100	12	13	2	3
D 22	456355	5462700	100	6	3	5	5
D 23	456484	5462430	100	9	10	6	5

Aufgrund der in einigen Bohrungen (z.B. D01, 02, 11, 20, 22) sehr geringen Bodenfeuchtwerte in einem Meter Tiefe, sind für diese unterdurchschnittliche Emanationsraten innerhalb des Beobachtungszeitraumes der Messungen zu erwarten.

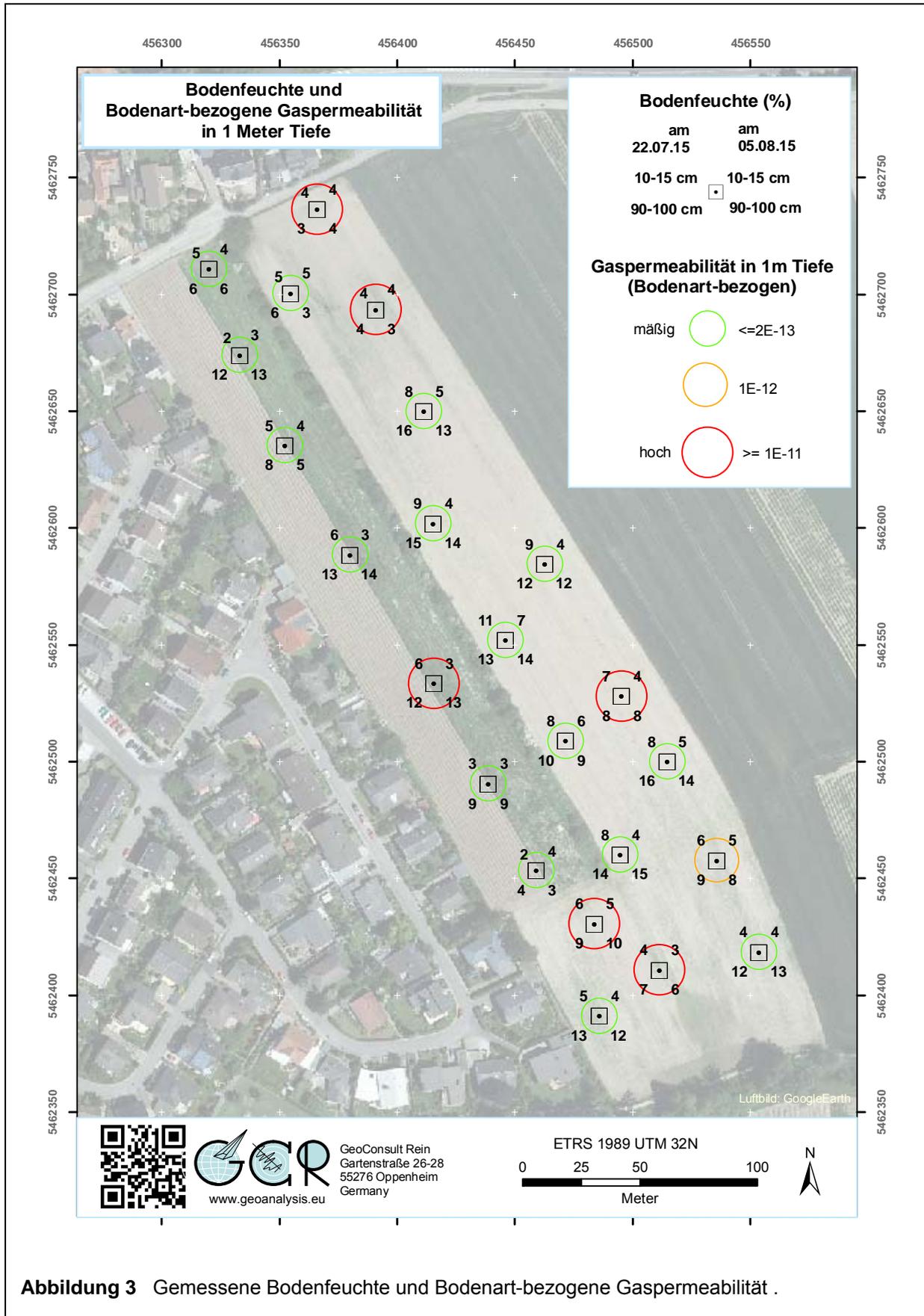


Abbildung 3 Gemessene Bodenfeuchte und Bodenart-bezogene Gaspermeabilität .

Auch stellen die im Messzeitraum gemessenen Bodenfeuchten in einem Meter Tiefe, sowie in den darüberliegenden ebenfalls sehr trockenen Bodenhorizonten in oben genannten Bohrungen ein unterdurchschnittliches Migrationshindernis dar. Die gemessenen Bodenfeuchtwerte stellen der Radonexhalation in diesen Bohrungen einen im Jahresmittel deutlich unterdurchschnittlichen Widerstand entgegen. Deshalb wurden die Radonmesspunkte auch nicht innerhalb des Maisfeldes, unter die Linie der zukünftigen Bebauung gelegt. Dort wurden bei Probebohrungen über das gesamte erbohrte Profil extrem trockene Böden erbohrt.

In den anderen Bohrungen (mit Ausnahme von D01, 02, 11, 20, 22) waren die Böden nur oberflächlich (10)20-40 cm sehr trocken. Unterhalb 40 cm waren die Bodenfeuchten vergleichbar der in einem Meter Tiefe.

## 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 Sanden, schluffigen Sanden und Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung im oberen Bodenmeter in einem Bereich von  $k = 10^{-10}$  bis  $10^{-13} \text{ m}^2$ . In Abbildung 3 ist nur die Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe dargestellt.

### 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Speyer liegt nördlich Speyer in einer Wiese angrenzend an Wald- und Ackerflächen. Die topographische Höhe der Station beträgt 102 mNN

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 4 und 5 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstation 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.

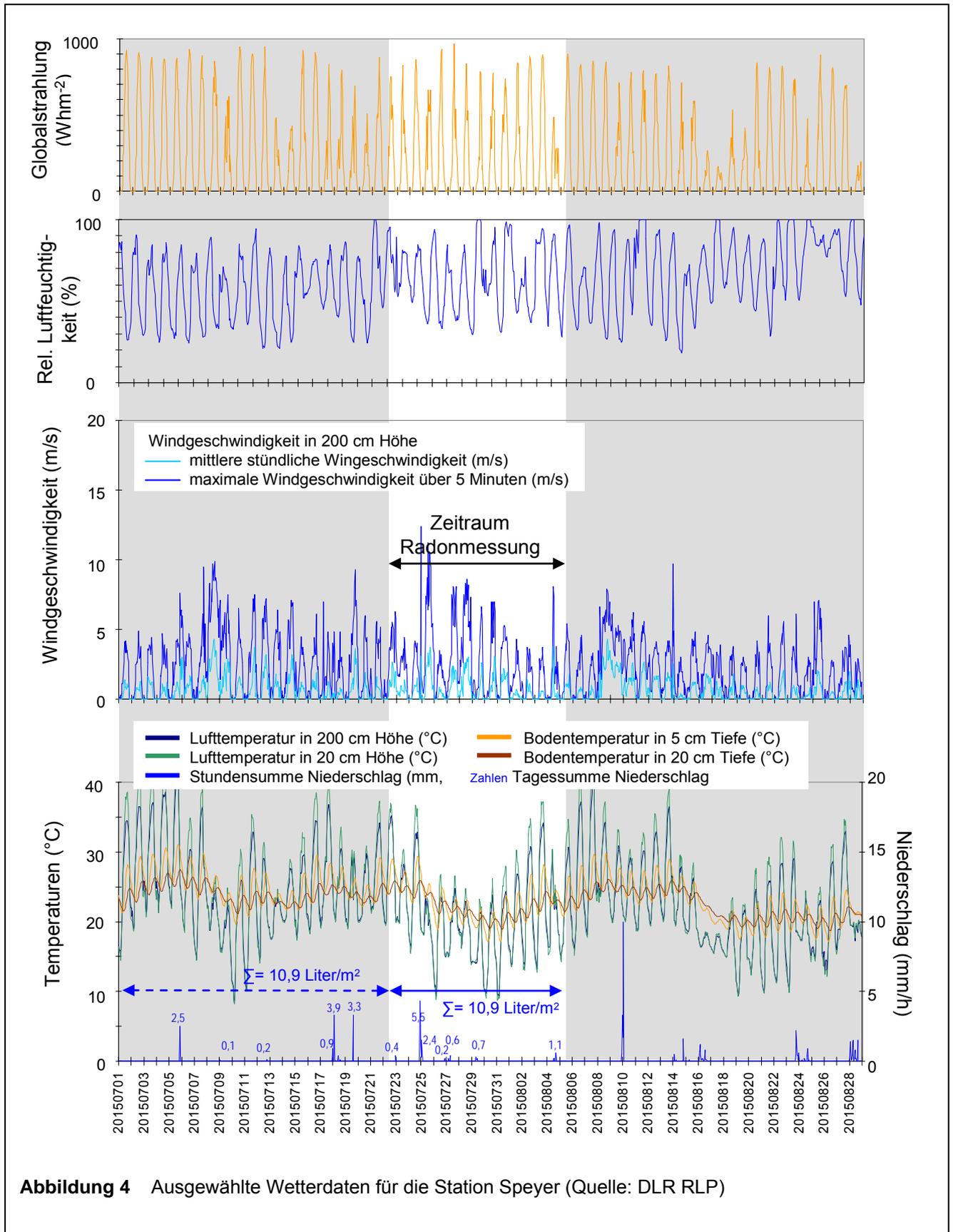
Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

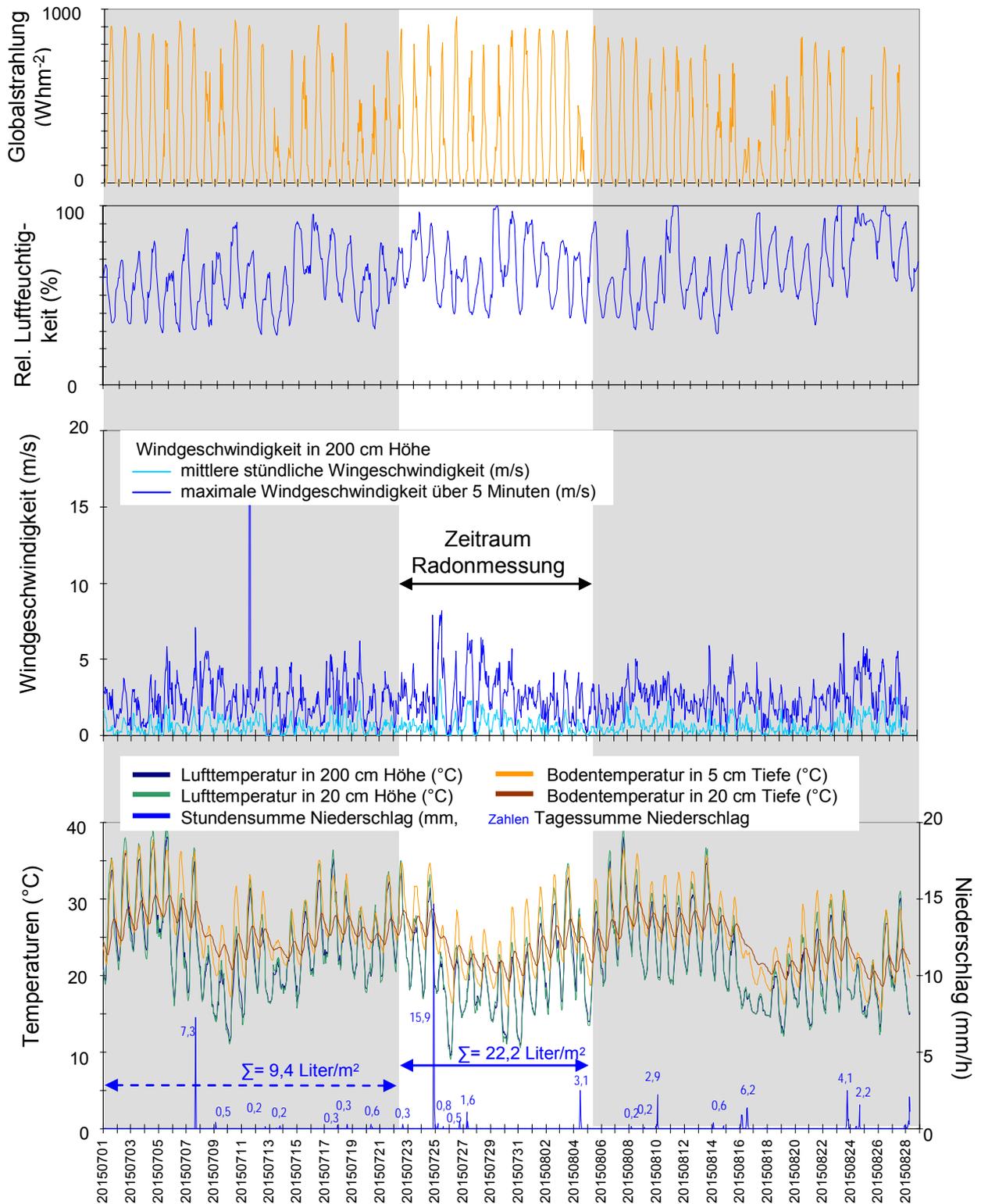
Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung. Der Zeitraum vor und nach der Dosimeterauslage ist grau hinterlegt.

Nach ersten heißen Tagen (Abb. 4-5) zu Beginn der Auslage der Kernspurdetektoren zur Radonmessung, folgte nach dem 24. Juli vorübergehend kühlerer Witterung mit Tagesmaxima der Lufttemperaturen nahe oder unter 25°. Die Abkühlung erfolgte während einer Phase stark böiger Windtätigkeit. Ab dem 30. Juli folgte, unterbrochen von einem windstarken Tag (4. Aug.) eine stetige Erwärmung zu heißer Witterung.

Mit zunehmender Tagesmaximaltemperatur steigt auch die Tagesamplitude des Temperaturganges auf z.T. über 20°K. Die Tagesamplituden in 20 Zentimeter Tiefe im Boden betrug in Speyer aufgrund der trockenen Böden noch immer 2-3°K.

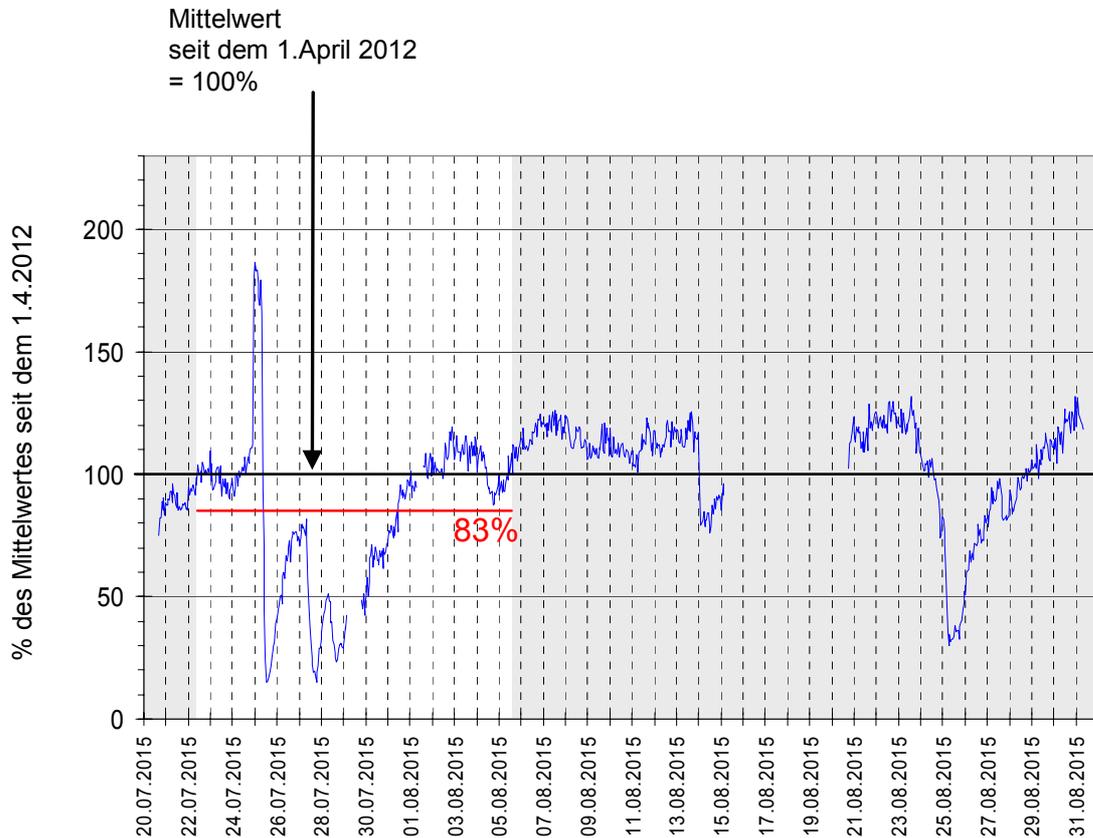
Insgesamt fielen während der Radonmessungen in Dudenhofen an der Wetterstation Speyer nur 11 Liter Regen je Quadratmeter. Die Hälfte dieser Niederschlagsmenge (5,5 l/m<sup>2</sup>) fiel während eines Regenereignisses am 24./25 Juli, das gleichzeitig den Beginn der Phase böiger Winde markiert. Auch in den drei Wochen vor Beginn der Radonmessungen fielen insgesamt nur 11 Liter Regen je Quadratmeter.





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

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



**Abbildung 6** Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum (weisser Hintergrund) in Dudenhofen.

Die Witterungsverläufe an den Stationen Speyer und Oppenheim sind in hohem Maße vergleichbar (Abb. 4-5), wobei die an der Station Speyer gemessenen Windgeschwindigkeiten tendenziell höher sind .

Ein Starkregenereignis am 24. Juli in Oppenheim, ist in Speyer aber nur schwach ausgeprägt. Allerdings zeigen andere Stationen in der Nähe zu Dudenhofen, wie Lustadt ( $16l/m^2$ ) oder Schifferstadt ( $14l/m^2$ ) ähnliche Regenfallereignisse wie in Oppenheim.

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 Dudenhofen (22.07.2015 – 05.08.2015) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration während des Auslagezeitraumes der Dosimeter 83% (22.07-05.08, Abb. 6) der langfristig seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen.

Innerhalb der dargestellten Zeitreihe (Abb. 6) sind aber beträchtliche Unterschiede erkennbar.

Während der Starkregenfälle am 24. Juli ist in Oppenheim ein sehr schneller Anstieg der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe auf fast das Doppelte des langfristigen Durchschnitts dokumentiert (Abb. 6). Innerhalb weniger Stunden fällt die Radonkonzentration aber nach Auflösung der Sperrschicht und aufgrund der stark böigen Winde auf unter 20% des langfristigen Mittelwertes. Erst mit Ende der Starkwindphase, klettert die Radonkonzentration Anfang August wieder in das Niveau des mehrjährige Mittelwertes. Bis kurz vor Ende der Dosimerauslage verbleibt das Radonniveau in Oppenheim bemerkenswert stabil, weil hohe Lufttemperaturen bei gleichzeitig geringer Bodenfeuchte sich gegenteilig auf die Radonkonzentration auswirkten.

Eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentration im Boden kann aufgrund des sehr ähnlichen Witterungsverlaufes in beiden Regionen angenommen werden. Lediglich der in Oppenheim gemessene Starkregen und dessen Auswirkungen auf die Radonkonzentration hatten u.U. in Dudenhofen kein Äquivalent (Station Speyer), sofern dort nicht doch vergleichbare Starkregen gefallen sind wie auch in Schifferstadt oder Lustadt.

#### **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).

**Tabelle 3:** Radonaktivitätskonzentrationen

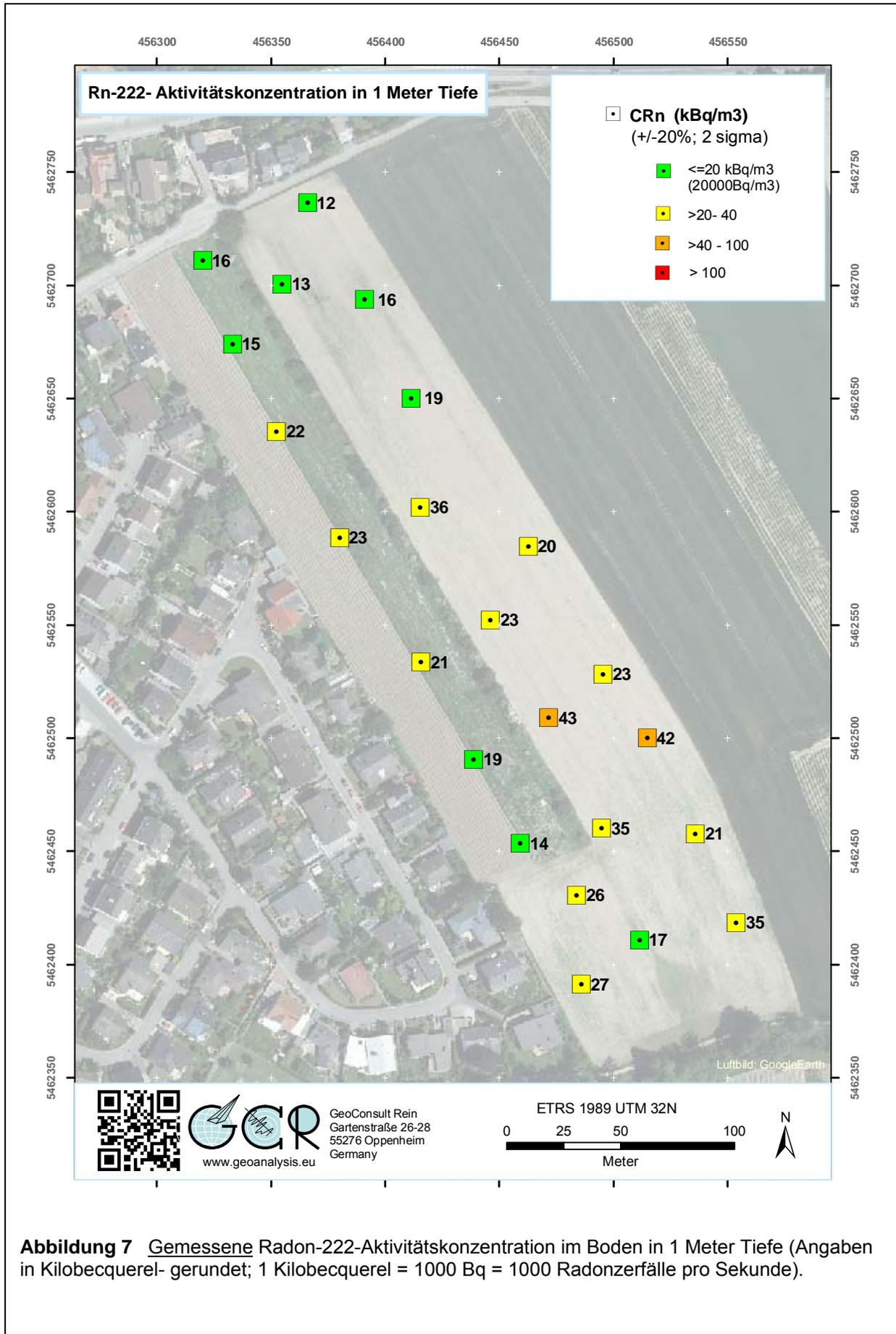
Messpunkt	Beginn Messung	Expositionsdauer  Tage (gerundet)	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] gerundet			
			C <sub>Rn</sub> ±20% (2sigma)	C <sub>Rn</sub> wk	C <sub>Rn</sub> wk -20% (-2sigma)	C <sub>Rn</sub> wk +20% (+2sigma)
D 01	22.07.2015	14	11,8	14,2	11,4	17,1
D 02	22.07.2015	14	16,0	19,3	15,4	23,1
D 03	22.07.2015	14	18,6	22,5	18,0	27,0
D 04	22.07.2015	14	36,3	43,7	34,9	52,4
D 05	22.07.2015	14	20,1	24,2	19,4	29,1
D 06	22.07.2015	14	23,1	27,9	22,3	33,5
D 07	22.07.2015	14	21,3	25,6	20,5	30,8
D 08	22.07.2015	14	35,4	42,7	34,2	51,3
D 09	22.07.2015	14	26,6	32,1	25,7	38,5
D 10	22.07.2015	14	16,7	20,1	16,1	24,1
D 11	22.07.2015	14	14,5	17,4	13,9	20,9
D 12	22.07.2015	14	35,1	42,3	33,9	50,8
D 13	22.07.2015	14	19,4	23,4	18,7	28,1
D 14	22.07.2015	14	43,1	51,9	41,5	62,3
D 15	22.07.2015	14	20,8	25,1	20,1	30,1
D 16	22.07.2015	14	22,7	27,4	21,9	32,9
D 17	22.07.2015	14	22,9	27,6	22,1	33,1
D 18	22.07.2015	14	41,7	50,3	40,3	60,3
D 19	22.07.2015	14	21,7	26,1	20,9	31,3
D 20	22.07.2015	14	16,4	19,7	15,8	23,7
D 21	22.07.2015	14	15,2	18,3	14,6	22,0
D 22	22.07.2015	14	13,5	16,2	13,0	19,5
D 23	22.07.2015	14	26,5	31,9	25,5	38,3

\*wk witterungskorrigiert (approximiert);

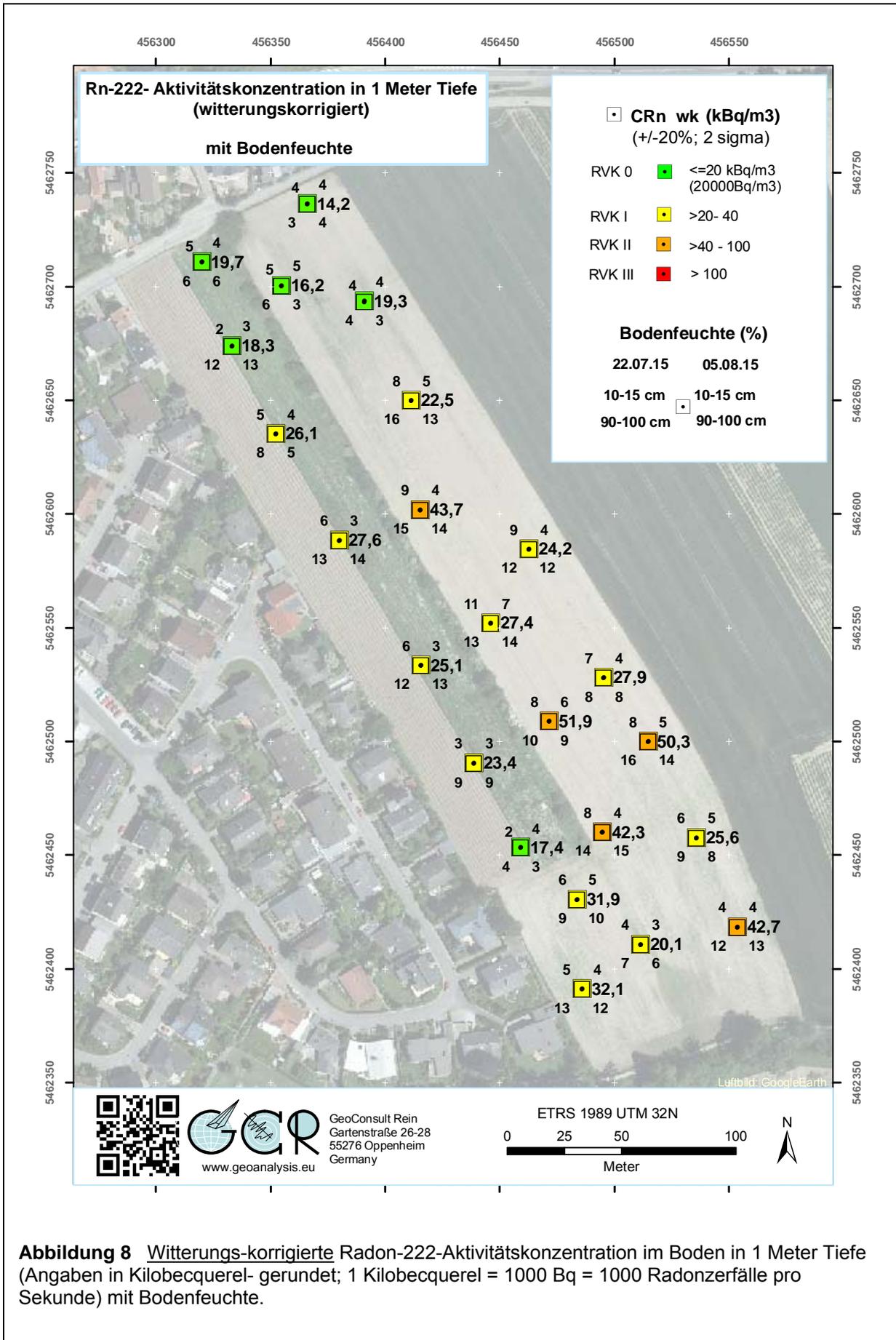
RVK 0	Keine spezifischen Radonschutzmassnahmen erforderlich
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III

Die über einen Zeitraum von 14 Tagen (Tab. 3) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von 11,8 kBq/m<sup>3</sup> ±20% bis 43,1 kBq/m<sup>3</sup> ±20% (2sigma) (Tab. 3, Abb. 7).

Die niedrigsten Radon-222-Aktivitätskonzentrationen wurden im nördlichen Bereich, im Bereich der vorwiegend aus sandigen äolischen Ablagerungen entstandenen Böden und im südwestlichen Teil der Untersuchungsfläche gemessen. In den anderen Bereichen des Bebauungsplanes sind die Radonaktivitätskonzentrationen heterogen und schwanken kleinräumig.



**Abbildung 7** Gemessene Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in 1 Meter Tiefe (Angaben in Kilobecquerel- gerundet; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde).



**Abbildung 8** Witterungs-korrigierte Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in 1 Meter Tiefe (Angaben in Kilobecquerel- gerundet; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde) mit Bodenfeuchte.

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rnwk}$ ) mit Werten zwischen  $14,2 \pm 20\%$  bis  $51,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma). Diese Witterungskorrektur stellt möglicherweise aus zwei Gründen eine Unterkorrektur dar:

- 1) Sollte ein vergleichbares Starkregenereignis wie in Oppenheim, Lustadt und Schifferstadt in Dudenhofen (wie in Speyer) nicht stattgefunden haben, hatte hier auch kurzfristig die Radonkonzentration im Boden nicht stark ansteigen können (vgl. Abb. 6)
- 2) Die oberen Bodenhorizonte waren in Dudenhofen etwas trockener als an der Radon-Referenzstation Oppenheim (12%). Dadurch war der Radonexhalation aus dem Boden ein geringerer Widerstand entgegen gesetzt.

Die Radonverfügbarkeiten aufgrund der Indizes von Slunga und Surbeck ergeben für die auf der Untersuchungsfläche vorliegenden Merkmalskombinationen für die Einschätzung der Messpunkte keine Abweichungen von der in Tabelle 3 vorgenommenen Klasseneinteilung aufgrund der Radonaktivitätskonzentrationen .

## 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 ( $\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$ )
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	$<20 \text{ kBq/m}^3$ ( $<20\,000 \text{ Bq/m}^3$ )
<b>Radonvorsorgegebiet I (RVK I)</b>	<b><math>&gt;20 - 40 \text{ kBq/m}^3</math></b>
<b>Radonvorsorgegebiet II (RVK II)</b>	<b><math>&gt;40 - 100 \text{ kBq/m}^3</math></b>
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	$>100 \text{ kBq/m}^3$

Daraus ergäbe sich nach Tabelle 3 und Tabelle 4 eine Einstufung der Situation an den

Messpunkten als Radonvorsorgegebietsklasse 0-II (RVK 0-II).

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz 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.

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 orientierenden Messungen Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklassen I und II empfohlen.

**Bei Gründung des Gebäudes in den, den Flussterrassen auflagernden äolischen Sedimenten genügen nach den bisher zur Verfügung stehenden Daten Radonvorsorgemassnahmen der Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I).**

**Sollte die Schotterschicht unter den Gebäuden in die Flußsedimente eingreifen werden Vorsorgemassnahmen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II (RVK II) empfohlen, sofern bauplatzbezogenen Messungen nicht gegenteilige Ergebnisse liefern.**

Aufgrund der geringen Bodenfeuchte (hohe Exhalationsrate) während der

Radonmessungen, werden sich aufgrund der vorgesehenen großflächigen Versiegelung auch im nördlichen Teil an der Gebäudesohle des Seniorenheimes höhere als gemessene Radonkonzentrationen einstellen.

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.  
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.

Für RVK II wird zusätzlich empfohlen

5. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes.
6. 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.

7. Ggf. eine Bodengasdrainage zur Erzeugung eines Unterdruckes unter dem Gebäude und Ableitung von Bodengas in die Drainage, vor allem, wenn das Gebäude nicht unterkellert geplant ist und Frostschrüzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern.

Der Radongutachter kann im Bedarfsfall gemeinsam mit dem Architekten Radonpräventionsmassnahmen objektorientiert (funktions- und kostenoptimiert) projektieren und deren Ausführung überwachen.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. 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.

**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, 15.09.2014