

## Bericht

# Orientierende Messungen Radonbelastung in der Bodenluft

Bebauungsplan  
„Seniorenheim Dirmstein, Alte Gärtnerei“  
Projektnummer 20140616\_DIR

**GeoConsult Rein**



Gartenstrasse 26-28  
55276 Oppenheim  
www.geoanalysis.eu

**Gutachter:**

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

**Auftraggeber :**

RÖMERHAUS Bauträger GmbH  
Hofstückstr. 26  
67105 Schifferstadt

21. Juli 2014

<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>8</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>14</b>
<b>7. Laborergebnisse</b>	<b>16</b>
<b>7.1 Bodenfeuchte</b>	<b>16</b>
<b>7.2 Gaspermeabilität</b>	<b>18</b>
<b>7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes</b>	<b>19</b>
<b>7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit</b>	<b>24</b>
<b>8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung</b>	<b>27</b>

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche	<b>7</b>
<b>Abbildung 2</b>	Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>9</b>
<b>Abbildung 3</b>	Gamma-Strahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	<b>12</b>
<b>Abbildung 4</b>	Bodenprofile der Radonmesspunkte	<b>13</b>
<b>Abbildung 5</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Laumersheim	<b>20</b>
<b>Abbildung 6</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Kleinniedesheim	<b>21</b>
<b>Abbildung 7</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>22</b>
<b>Abbildung 8</b>	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Permanentstation Oppenheim über den Messzeitraum in Dirmstein	<b>23</b>
<b>Abbildung 9</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration und Bodenfeuchte im Boden in einem Meter Tiefe	<b>25</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Radonmessbohrungen	<b>15</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Radon-222-Aktivitätskonzentration, Gaspermeabilität, Radonverfügbarkeitsindizes und Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.	<b>17</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	<b>26</b>

## 1. Auftrag

Die RÖMERHAUS Bauträger GmbH beauftragte orientierende Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan „Seniorenheim Dirmstein, Alte Gärtnerei“ in Dirmstein.

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

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- Bebauungsplan „Seniorenheim Dirmstein, Alte Gärtnerei“ und Vorhabenskurzbeschreibung vom Auftraggeber vorab zur Verfügung gestellt.
- ASTER-Höhenmodelle
- Geologische Karte RLP 1:25.000 (GK25 Blatt 6415 Grünstadt Ost, 1920)
- Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- Wetterdaten des DLR der Stationen Laumersheim, Kleinniedesheim 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 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**

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 eine Radon-

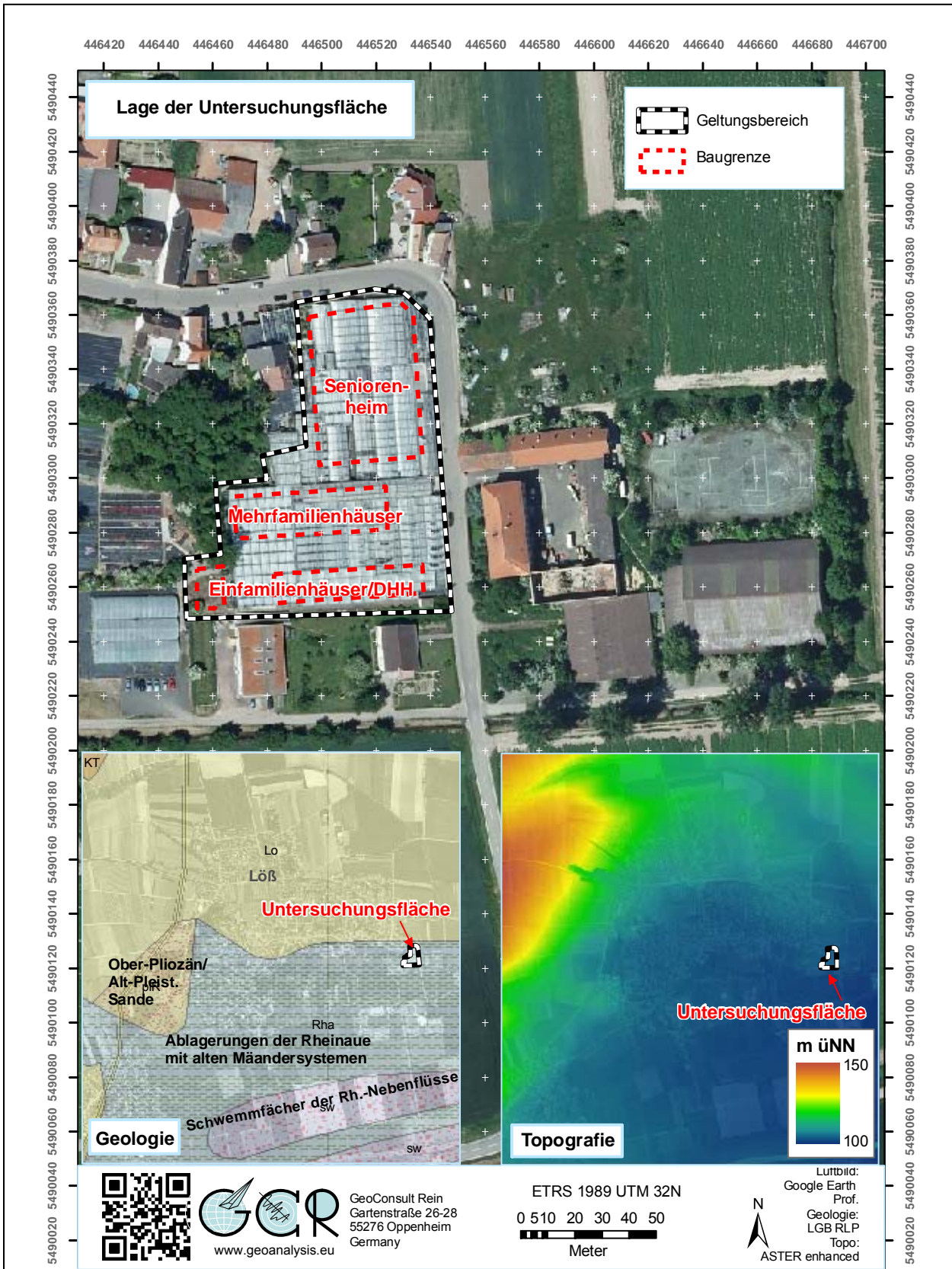


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche

raumlufkonzentration von maximal  $300 \text{ Bq/m}^3$  für Arbeitsplätze, öffentliche Gebäude (Bestand u. Neubau) und neugebaute, privat genutzte Wohnräume zulässt.

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

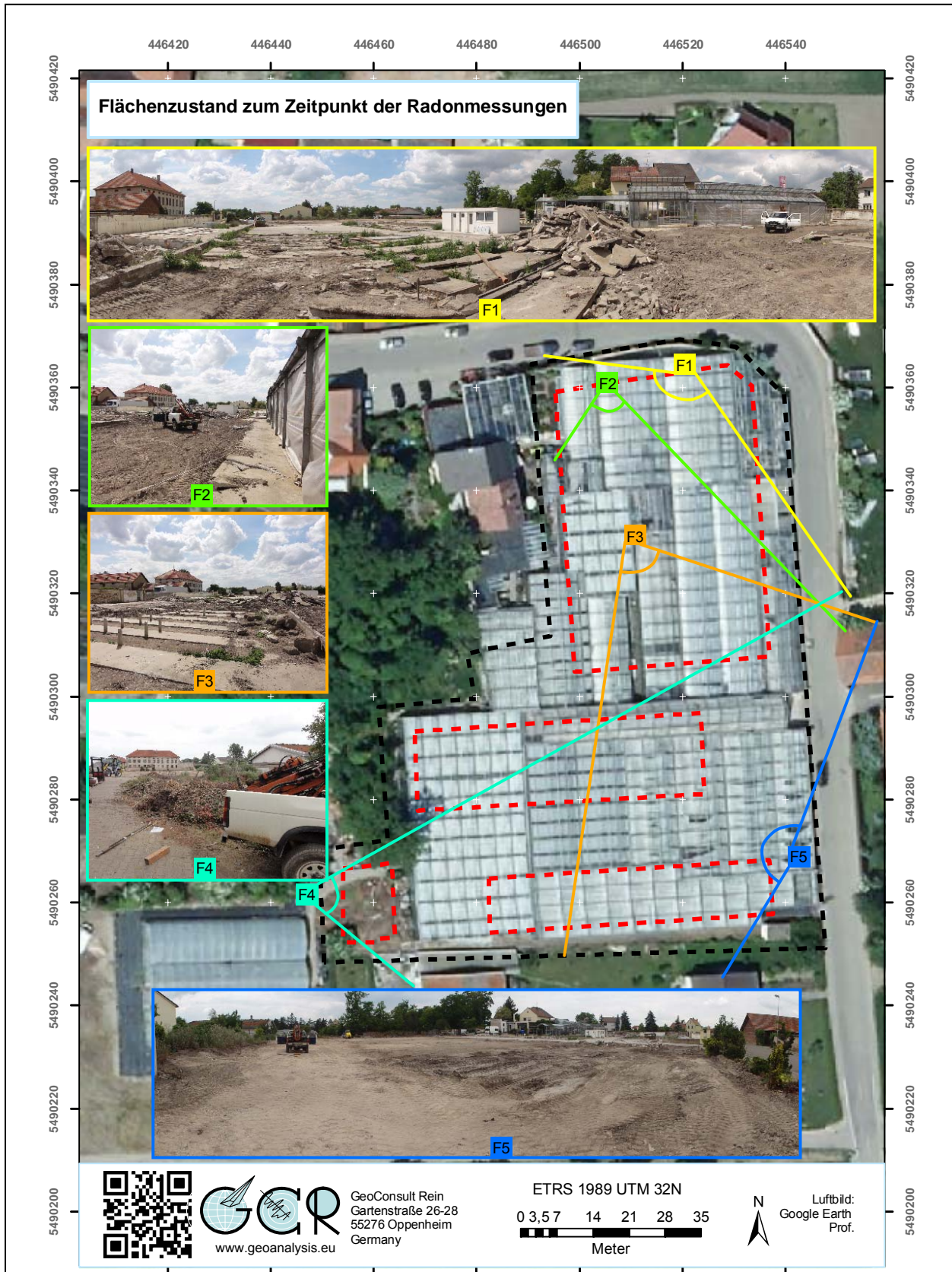
Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von  $100 \text{ Bq/m}^3$ .

#### 4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Fläche des Bebauungsplanes liegt in ebener südöstlicher Ortsrandlage auf der Fläche einer Gärtnerei (Abb. 1). Im nördlichen Teil des Bebauungsplanes soll eine nicht unterkellerte Seniorenresidenz entstehen, im mittleren Teil zwei unterkellerte Mehrfamilienhäuser mit jeweils 8 Etagenwohnungen. Innerhalb der beiden südlichen Baugrenzen ist eine Bebauung mit Einzel- bzw. Doppelhäusern vorgesehen. Hierzu liegen noch keine weiteren Informationen vor, weil diese Grundstücke veräußert und nicht von dem Auftraggeber bebaut werden.

Die gesamte Fläche des Bebauungsplanes war bis wenige Wochen vor Beginn der Radonmessungen mit Gewächshäusern überbaut (Abb. 1).

Im südlichen Teil waren die Rückbaumassnahmen der Treibhäuser und Fundamente abgeschlossen, und die Fläche war eingeebnet (Abb. 2). In weiten Teilen, der für die Seniorenresidenz vorgesehenen Fläche, existierten aber noch die Fundamente der Gewächshäuser beziehungsweise versiegelte Flächen über Wassertanks und ein kleines zentrales Gebäude mit Büros und Toilettenanlagen. Auch das nordwestlichste der Treibhäuser war noch vollständig erhalten. Die Abbrucharbeiten sollten während der Auslagedauer der Dosimeter zur Radonmessung fortgesetzt werden. Die Lage der Radonmesspunkte wurden deshalb auch daraufhin abgestimmt, dass keine Störungen der Messungen durch die Rückbaumassnahmen zu erwarten waren. Die Das Luftbild in Abbildung 2 zeigt die Vornutzung der Fläche des Bebauungsplanes, die Fotos den Zustand der Fläche zu Beginn der Radonmessungen. Bis zum Ende der Dosimeterauslage erfolgten entgegen den Ankündigungen keine nenneswerten Rückbauarbeiten, so dass die Fotos auch den Zustand der Fläche bis zum Ende der



**Abbildung 2** Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen (Fotos); Fx – Kamerastandpunkt, Winkel einschließende Linien – Blickfeldgrenzen (Luftbild: Vornutzung)

Radonmessung widerspiegeln. In Abbildung 2 sind die Kamerastandpunkte (Fx) als farblich unterschiedene Quadrate dargestellt, der Blickwinkel bzw. die zugehörige Blickwinkelbegrenzung der jeweiligen Aufnahme ist in der gleichen Farbe dargestellt.

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

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bebauungsplan genutzt. Der Plan wurde mit Hilfe von Flurstückeckpunkten referenziert und in eine Kartenprojektion projiziert (ETRS89 UTM32N). Die Lagegenauigkeit des geokodierten Planes dürfte einen Fehler von max.  $\pm 1$  Meter haben (vgl. Abb. 1, Abb. 2).

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

Vor Einbringen der Exposimeter/Dosimeter (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 16. Juni 2014 in 1 Meter Höhe über dem Boden mit einer Heger-Gamma-Sonde 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.

Ein Teil des nördlichen Teils der Fläche war wegen noch bestehender Überbauung und geplanter Rückbauarbeiten der versiegelten Restflächen während der Radonmessungen von einer Untersuchung ausgeschlossen. Die Einrichtung einer Radonmessbohrung unter Versiegelung der Bodenoberfläche zur Simulation des Effektes der zukünftigen Überbauung war deshalb nicht möglich.

Die Radonmessbohrungen wurden mit einer 60 mm Rammkernsonde bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt.

Der Einbau der Dosimeter in die Basis der Bohrungen erfolgte am 03. Juni 2014 mit speziell zur Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Sonden.

Die Messungen der Radonaktivitätskonzentration erfolgte mit zertifizierten Dosimetern und entsprechend dem Verfahren, das von GeoConsult Rein (GCR) für das Land

Rheinland-Pfalz entwickelt wurde. Dieses Verfahren wird auch für die Erarbeitung der „Radonprognosekarte Rheinland-Pfalz“ eingesetzt, die von GCR bearbeitet wird.

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 1 m Teufe, sowie des Oberbodens erfolgten am 03. Juli 2014. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 17 Tage (s. Tab. 2).

## **6. Ergebnisse der Feldarbeiten**

### **6.1. Gammastrahlungsaktivität**

Die Gammastrahlungsaktivität kann Hinweise auf natürliche und anthropogen verursachte Materialwechsel/Strahlungsanomalien im obersten Meter des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch-strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können. Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen der Vielzahl beitragender Nuklide, die in keiner Verbindung zu Radon stehen, kein zwingender Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem sehr niedrigen Wertebereich zwischen 67 - 84 Impulsen pro Sekunde (Abb. 3). Diese extrem niedrigen Gammastrahlungswerte (regionaler Durchschnitt bei etwa 120 Impulsen pro Sekunde) sind der anthropogenen Überprägung der Fläche geschuldet. Die Betonversiegelung bzw. im südlichen Teil die locker gelagerten Auffüllungen aus Sanden und Bauschutt spiegeln sich in der geringen Gammaaktivität wieder. Hinweise auf ausgeprägte Anomalien, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte zu beachten sind, haben sich im vorliegenden Fall nicht ergeben.

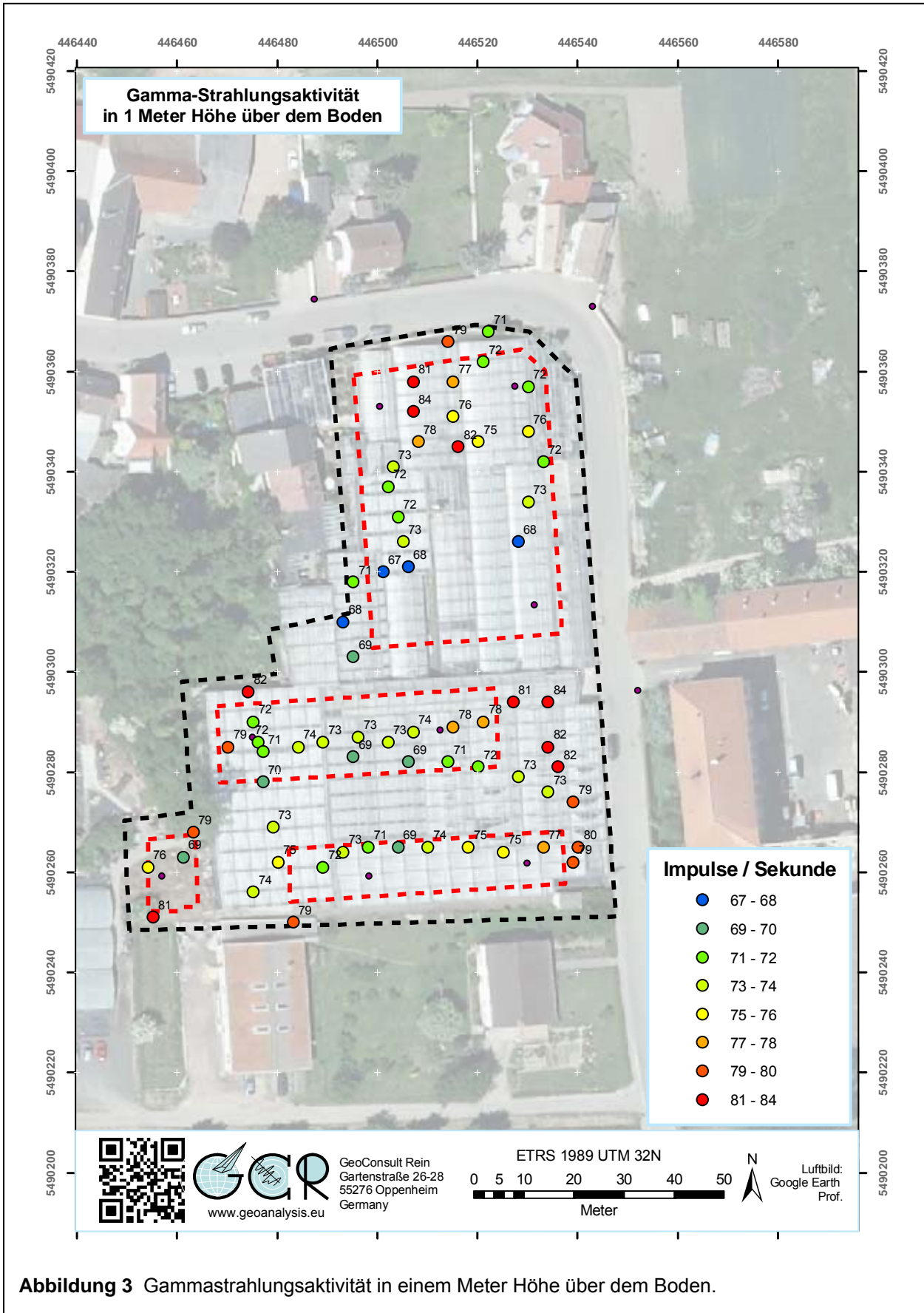


Abbildung 3 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

## Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm)

mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m<sup>3</sup> (kBq/m<sup>3</sup>)

1kBq = 1000 Bq = 1000 Becquerel = 1000 zerfallende Radon-222-Atome pro Sekunde



**Abbildung 4** Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm) mit in einem Meter Tiefe gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentration (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 9).

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Das Plangebiet liegt gemäß der geologischen Karte GK25 6415 (Stand 1920) und der geologischen Übersichtskarte (GUEK300 RLP) (Abb. 1) im Bereich quartärer Ablagerungen des Rheins (rha; Ablagerungen alter Mäandersystemen; sandiger Lehm bis Sand, z.T. tonig, humos). Diese lagern auf älteren pliozänen bis frühpleistozänen, ebenfalls fluviatilen sandigen Ablagerungen (pIP) des Urrheins und seiner Nebenflüsse, bestehend aus teilweise kaolinhaltigen Sanden, mit kiesigen und tonigen Einschaltungen. Zu dieser stratigraphischen Einheit gehören u.a. auch die Freinsheim Schichten, die von Reis (1921) als eine Wechselfolge von gelblichen bis weißgrauen oder roten Sanden mit fleischrot gefärbten Tonen beschrieben wird (Schäfer 2012). Das Liefergebiet dieser Sande liegt wahrscheinlich im Buntsandstein des Pfälzer Waldes. In der älteren GK24 6415 werden diese Sande als „tp“ (Plioäne Weisse Sande) stratigraphisch eingeordnet.

Die grobkörnigen, sandig-kiesigen Ablagerungen des Rhein erbringen abseits tektonischer Störungen, selten erhöhte Radonaktivitätskonzentrationen in der Bodenluft. Von Radonrelevanz sind v.a. die organisch reicheren, auch torfigen Ablagerungen und eingeschaltete tonhaltige Horizonte der Altrheinarme und Überflutungsflächen. Die organisch reicheren Ablagerungen waren in der Vergangenheit z.T. als Reduktionsfallen wirksam, in denen Radonmutternuklide angereichert wurden und die deshalb heute potentielle Radonemanenten darstellen. In den tonhaltigen Horizonten erfolgt z.T. Adsorption der Radonmutternuklide. Regional beachtet werden müssen auch Ablagerungen, die aus den Buntsandsteingebieten kommenden Nebenflüsse des Rheins, die parikulär oder gelöst vermehrt Uran/Radium anliefern konnten/können, das in humosen Horizonten gefällt und in tonhaltigen Horizonten adsorbiert werden kann und damit zur Radonquelle wird.

Eine weitere potentielle Quelle erhöhter Radonanlieferung stellen im Untergrund, unter den jungen Ablagerungen verdeckte tektonische Störungen dar, die als Aufstiegsbahnen für Radon wirksam werden können. Andernorts (z.B. Deidesheim) wurden von uns im Vergleich zum umgebenden Gestein, um den Faktor 3->10 erhöhte Radonkonzentrationen über einigen dieser Störungen gemessen.

Durch die Vornutzung der Fläche als Gärtnerei und durch die Baumassnahmen zur Errichtung bzw. Rückbaumassnahmen der Gewächshäuser, sind die natürlichen

oberflächennahen Bodenschichten abgetragen, überschüttet oder zumindest mit Fremdmaterialien vermengt. Abbildung 4 zeigt die Kernfotos und Tabelle 1 beschreibt in vereinfachter Form den Schichtaufbau in den Bohrungen.

**Tabelle 1:** Schichtenverzeichnis der Bohrungen

Bohrung	X		Y		Tiefenangaben in cm
	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	
DIR01	446510	5490358	0-25	Auffüllung	
			25-70	Auffüllung (schwach lehmiger Sand mit Sandsteinen – braun)	
			70-90	Grobsand mit Kies (hellgelb)	
			90-100	Feinsand (sehr hell bis fast weiß) mit Schlufflagen	
DIR02	446526	5490350	0-40	Auffüllung	
			40-70	schwach schluffiger Sand (braun) mit Kies	
			70-100	Sand (gelbl. braun)	
DIR03	446518	5490320	0-60	sehr schwach lehmiger hum. Oberboden mit Sand- u. Ziegelsteinen	
			60-71	schwach toniger Sand (fahl bis fleischfarben)	
			71-100	Sand (gelb, rostfleckig) mit kleinen Ton-/Lehmlinsen	
DIR04	446526	5490264	0-45	Rezente Auffüllung, grober Schutt bis sandig	
			45-80	Ehemaliger Oberboden, schwach lehmiger Sand (schwarzbraun)	
			80-90	Fahlhorizont, wechselnd tonig/schluffiger Sand	
			90-100	Sandiger Schluff (gelb)	
DIR05	446488	5490271	0-20	rezente Auffüllung	
			20-90	ehemaliger Oberboden, mit Steinen und Kohle	
			90-100	schwach lehmiger Schluff	
DIR06	446474	5490284	0-60	Auffüllung, Sand – z.T. rostig, z.T. schwarz mit hellem Sandst.	
			60-71	schluffiger Feinsand (ehemaliger oberboden, braun)	
			71-95	lehmiger Sand mit Kohle	
			95-100	Sand (grau-rötlich)	
DIR07	446517	5490287	0-100	Auffüllung, wechselnd schluffig/sandige Matrix, locker gelagert Kerninhalt stark verdichtet	
DIR08	446453	5490262	0-80	Auffüllung, grober Bauschutt in sandiger Matrix, locker gelagert	
			80-90	Übergang zu ehemaligem Oberboden	
			90-100	gewachsener Boden, sandig	

In der Bohrung DIR07 besteht der gesamte oberste Meter aus jungen Aufschüttungen, die auffällig locker gelagert waren. Der Kern wurde beim Eindringen der Rammkernsonde auf nur 50 cm Länge verdichtet.

Auch in der benachbarten Bohrung DIR08 wurde, unter Bauschutt in sandiger Matrix, erst in 90 cm ein Bodenhorizont erbohrt, der dem ehemaligen Oberboden vor den Rückbaumassnahmen entsprechen könnte. Aufgrund der Störung und Kürze der Bodenprofile ist auch nicht eindeutig ob die Bohrungen die quartären Deckschichten durchteuft haben. Zumindest für die Bohrung DIR01 kann dies angenommen werden.

## 7. Laborergebnisse

### 7.1 Bodenfeuchte

Der Bodenwassergehalt beeinflusst (neben Kornform, Korngröße, Verteilung der Mutterkornklüster 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, wenn die Temperatur- und/oder Druckbedingungen sich von denen an seinem Herkunftsort unterscheiden. Nasser oder gar wassergesättigter Boden kann wiederum 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. Die Böden waren zu Beginn der Radonmessungen, mindestens eine Woche nach den letzten Regenfällen, oberflächennah und in einem Meter Tiefe nur mäßig feucht. Ähnlich stellte sich die Bodenfeuchte am Ende der Radonmessperiode dar, obwohl zwischenzeitlich ergiebige Regenfälle gefallen waren (s. Kap. 7.3). Dies belegt die gute Drainage der Böden, die sich auf die Gaswegsamkeit im Boden auswirkt.

Aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen während der Radonmessungen können keine extremen, sondern eher durchschnittliche Emanationsraten erwartet werden. Die relativ trockenen Böden haben der Radonentgasung einen eher geringen Widerstand entgegen gesetzt.

**Tabelle 2:** Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte, Radonaktivitätskonzentration, Gaspermeabilität, Radonverfügbarkeitsindizes und Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
			90-100 cm		10-15 cm	
			16.06.14	03.07.14	16.06.14	03.07.14
DIR01	446510	5490358	11	11	10	10
DIR02	446526	5490350	9	11	11	12
DIR03	446518	5490320	10	11	11	13
DIR04	446526	5490264	11	11	10	10
DIR05	446488	5490271	10	13	10	13
DIR06	446474	5490284	10	11	11	11
DIR07	446517	5490287	10	12	11	10
DIR08	446453	5490262	11	13	12	10

Messpunkt	Dosimeter	Expositionsdauer		Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] gerundet			
		Stunden	Tage	C <sub>Rn</sub>	C <sub>Rn</sub> +25%	C <sub>Rn</sub> wk	C <sub>Rn</sub> wk+25%
DIR01	V98989	409	17	23,4	29,3	21,1	27,6
DIR02	V99173	409	17	21,2	26,5	20,0	25,0
DIR03	V98975	409	17	27,7	34,7	26,2	32,7
DIR04	V99466	408	17	18,4	23,0	17,3	21,7
DIR05	V99043	406	17	17,8	22,3	16,8	21,0
DIR06	V99222	407	17	41,8	52,3	39,5	49,3
DIR07	V99175	408	17	39,7	49,7	37,5	46,9
DIR08	V99314	407	17	39,1	48,9	36,9	46,1

\*wk witterungskorrigiert

Messpunkt	Gaspermeabilität [m <sup>2</sup> ] in 100 cm Tiefe	Radonverfügbarkeitsindizes			
		Surbeck		Slunga	
		RVI C <sub>Rn</sub>	RVI C <sub>Rn</sub> +25%	Rna C <sub>Rn</sub>	Rna C <sub>Rn</sub> +25%
DIR01	1,E-11	2,34E-07	2,93E-07	1,60	1,70
DIR02	1,E-11	2,12E-07	2,65E-07	1,56	1,66
DIR03	1,E-11	2,77E-07	3,47E-07	1,68	1,77
DIR04	1,E-13	1,84E-09	2,30E-09	1,34	1,44
DIR05	1,E-13	1,78E-09	2,23E-09	1,33	1,43
DIR06	1,E-11	4,18E-07	5,23E-07	1,85	1,95
DIR07	1,E-11	3,97E-07	4,97E-07	1,83	1,93
DIR08	1,E-12	3,91E-07	4,89E-07	1,75	1,85

RVK 0	Keine spezifischen Radonschutzmassnahmen erforderlich
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III
	Index aufgrund Randbedingungen nicht anwendbar

Die geringfügigen, im Messzeitraum gefallenen Niederschläge (Kap. 7.3) konnten zwischen den beiden Beprobungszeitpunkten in diesen Bohrungen auch keine zwischenzeitliche effektive Erhöhung der Bodenfeuchte, selbst in den obersten

Dies wird sich unter Versiegelung der Oberfläche durch Gebäude ändern und zu einem deutlichen Anstieg der Radonkonzentration im Vergleich zu den derzeit gemessenen Radonkonzentrationen führen.

## 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. Diskontinuitäten wie Risse, Hohlräume und Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

In den im Bebauungsplan angetroffenen schluffigen Sanden, lehmigen Sanden und Sanden liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung in einem Bereich von  $k = 10^{-13} \text{ m}^2$ . bis  $k = 10^{-11} \text{ m}^2$ . Die Gasdurchlässigkeiten überstreichen damit zwei Größenordnungen und sind in den schluffigen Sanden und Lehmen eher mäßig, aber hoch in den Feinsanden. Sollten in der Gründungstiefe noch besser gasdurchlässige Mittel- und Grobsande oder Kiese oder grober Bauschutt angetroffen werden, ist unbedingt eine Neubewertung der Gaspermeabilität und demzufolge der Radonverfügbarkeit vorzunehmen.

Im nördlichen Teil des Bebauungsplanes sind dabei die Gaspermeabilitäten im Oberboden geringer als in der Messtiefe. Im südlichen Teil des Bebauungsplanes stellt sich die Situation umgekehrt da. In den Verfüllungen, wo die Bodenhorizonte über der Radonmesstiefe eher locker gelagert sind, wird sich der Bodengasaustausch mit der Atmosphäre unter den geplanten Gebäuden in stärkerem Masse ändern als im nördlichen Teil.

### 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation liegt südlich Laumersheim. Die nächstgelegene Station, an der auch Bodentemperaturen gemessen werden liegt zwischen Kleinniedesheim und Bobenheim-Roxheim. In die Betrachtung einbezogen wird auch die Wetterstation Oppenheim wegen deren Nähe zur Radonpermanentstation von GCR.

Die Wetterstation Laumersheim liegt 2500 m südwestlich von der Untersuchungsfläche (101 m üNN) in Dirmstein in ähnlicher topografischer Höhe (108 m üNN). Die Wetterstation liegt allerdings in freier Lage, abseits von Siedlungen, innerhalb landwirtschaftlich genutzter Flächen.

Die Wetterstation Kleinniedesheim liegt 6500 Meter ostnordöstlich der Untersuchungsfläche, 400 m westlich der Ortsgrenze von Bobenheim-Roxheim inmitten landwirtschaftlich genutzter Fläche bei 105 m üNN.

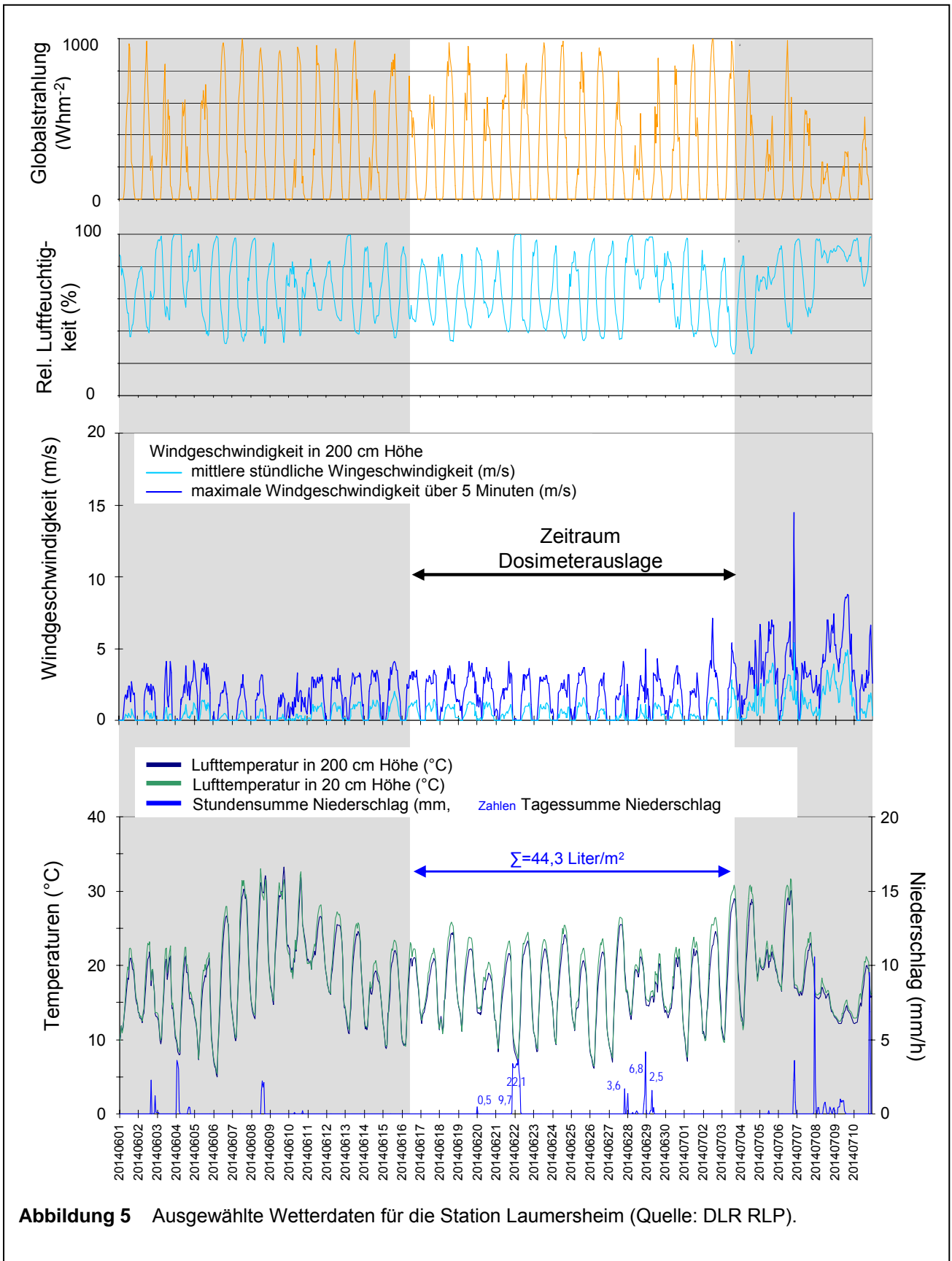
Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m üNN.

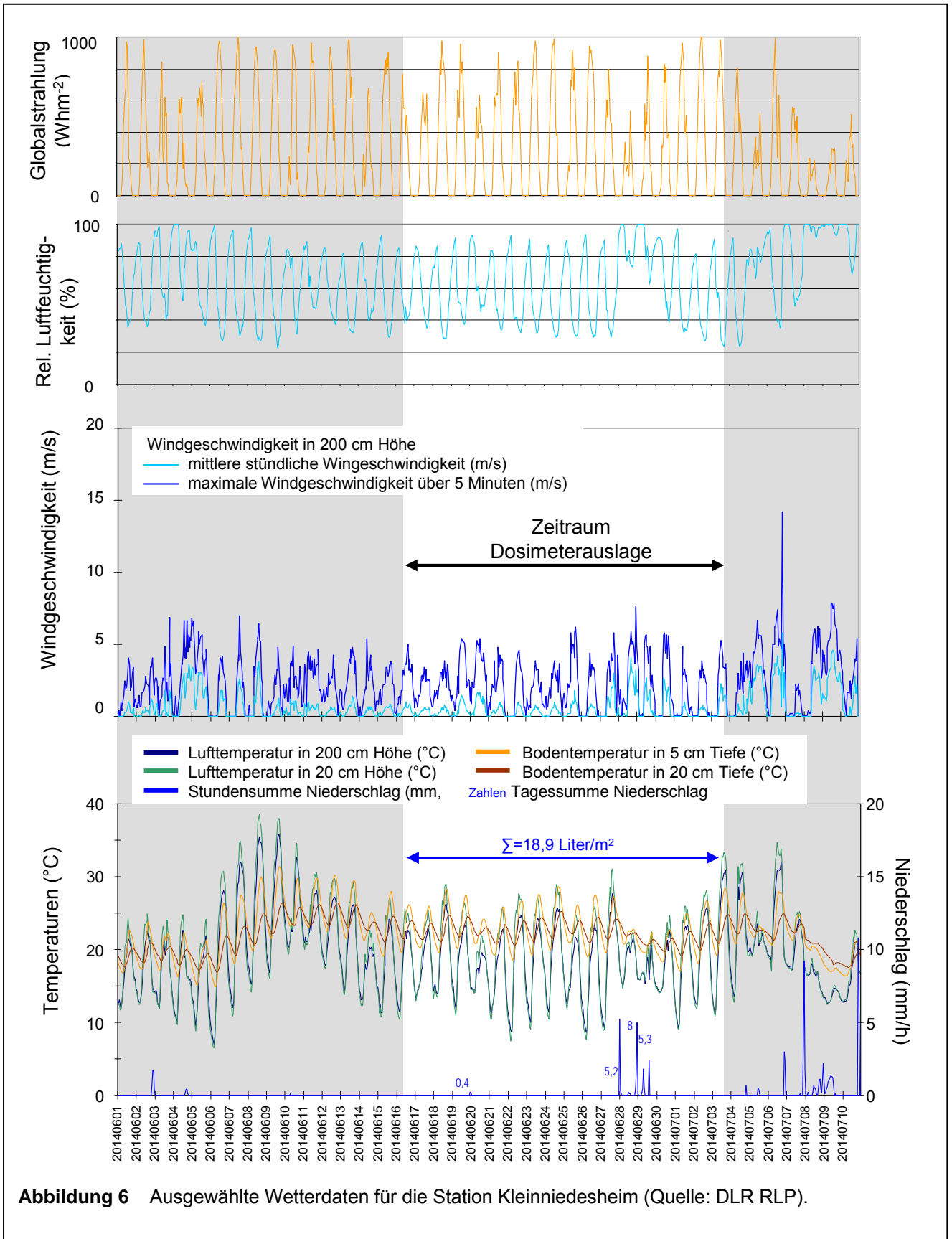
Die Abbildungen 5-7 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Dosimeterauslage zur Radonmessung auf der Untersuchungsfläche.

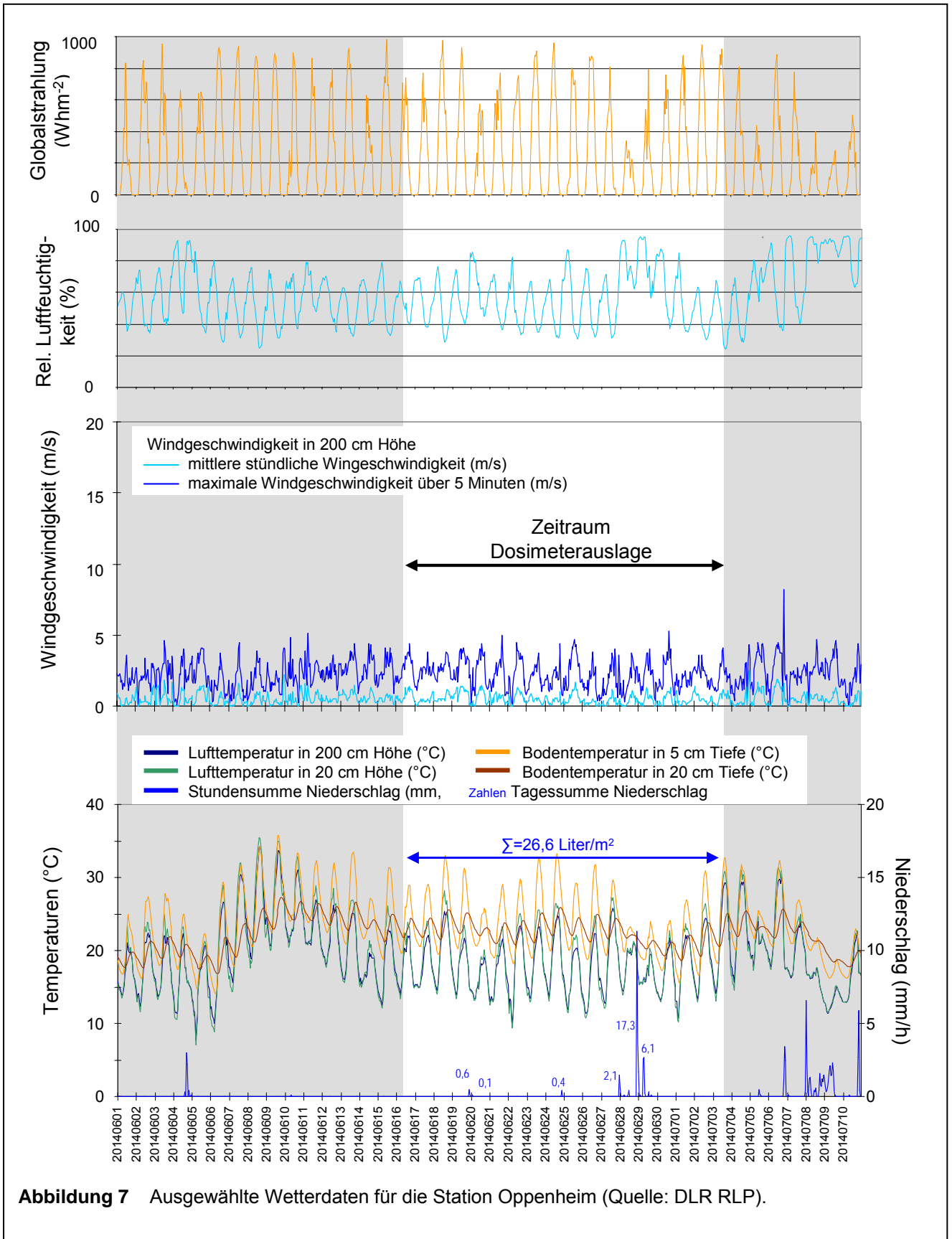
Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen (keine Bodentemperaturen für die Station Laumersheim), sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls dargestellt. Die blauen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

Während des gesamten Auslagezeitraums der Dosimeter war die Witterung von mäßig warmen Lufttemperaturen mit Tagesmaxima zwischen 18-26°C gekennzeichnet. Erst am letzten Tag erreichten die bodennahen Lufttemperaturen 30°C. Trotzdem waren die Tagesamplituden mit in der Regel 10-15 K und bis zu 20 K aufgrund der überwiegend ausgeprägten Strahlungswetterlage hoch.

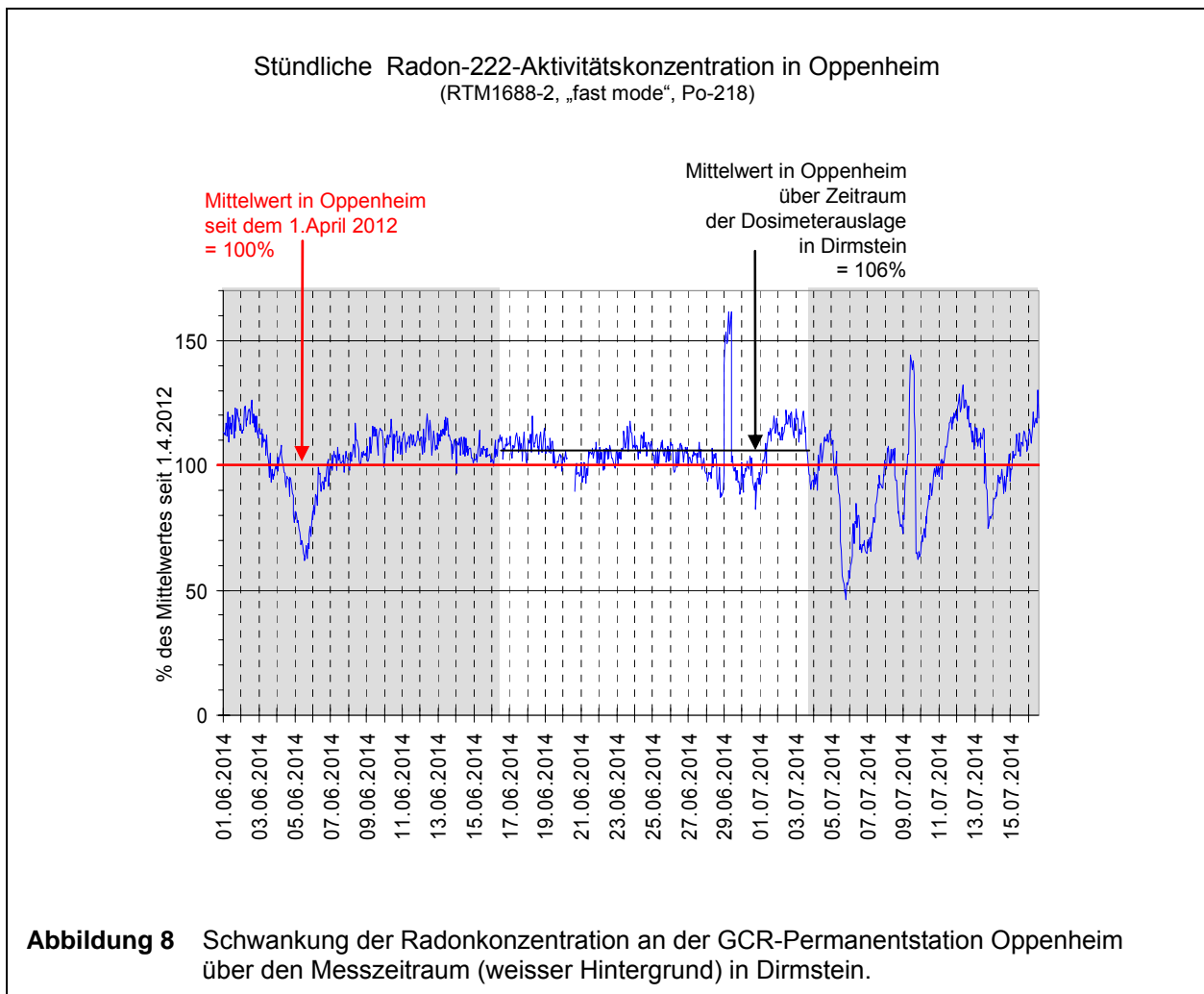






Die hohe Einstrahlung hat auch zu einer starken Erwärmung des Bodens geführt, sodass im Boden die Temperaturen gantztägig im Bereich der Tagesspitzen der Lufttemperaturen lagen (Station Kleinniedesheim). Auf der Vegetationsfreien Fläche des Bebauungsplanes lagen die Bodentemperaturen sich noch höher (vgl. St. Oppenheim) Aufgrund der Temperaturoegensätze hat dies wahrscheinlich, wie in Oppenheim auch, zu leicht überdurchschnittlichen Radonkonzentrationen geführt zumal die Windgeschwindigkeiten eher gering waren.

Während der Dosimeterauslage fielen im Nachbarort Laumersheim an der Wetterstation insgesamt mehr als 44 Liter Regen je Quadratmeter. Fast 32 Liter davon fielen allein in der Nacht vom 21. auf den 22. Juni 2014.



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 ist mäßig ( $k=10^{-13} \text{ m}^2$ ).

Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration über den Zeitraum der Radonmessungen in Dirmstein (16.06. – 03.07.2014) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration zwischen dem 16.06. – 03.07.2014 etwa 106% des Mittelwertes, der langfristig seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen (Abb. 8).

Ergiebige Niederschläge in der Nacht vom 29. auf den 30. Juni in Oppenheim, mit Regenmengen von mehr als 23 Litern pro Quadratmeter haben an der Radonmessstation zu einer Behinderung der Entgasung aus dem Boden durch Versiegelung des Porenraumes durch Sickerwasser und zu einem Anstieg der Radonkonzentration auf 160% des langfristigen Durchschnittwertes geführt (Abb. 8). Ein ähnlicher Effekt kann in Dirmstein für die Starkniederschläge des 20./21. Juni (Abb. 5, s.o.) erwartet werden.

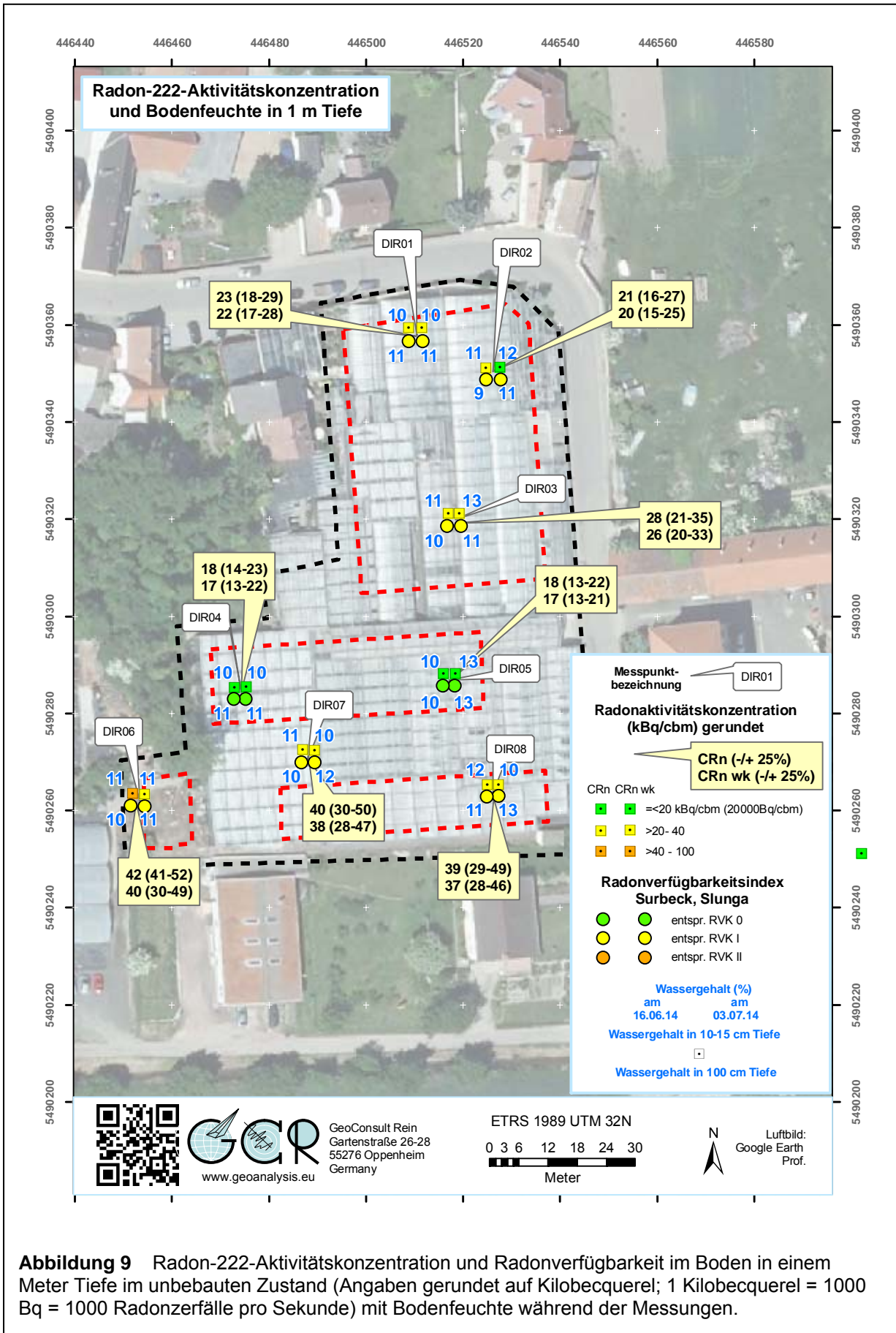
#### **7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit**

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 2 dargestellt und in den Abbildungen 4 den Bodenprofilen bzw. in Abbildung 9 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 17 Tagen (Tab. 2) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis mäßig hohen Aktivitätskonzentrationsbereich von  $17,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 25\%$  bis  $41,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 25\%$  (2sigma) (Tab. 2, Abb. 4, Abb. 9). Die niedrigsten Werte wurden in den im Bereich der geplanten Mehrfamilienhäuser liegenden Bohrungen (DIR04, DIR05) gemessen. Besondere Beachtung bedarf der Messpunkt DIR07, weil trotz sehr locker (und damit gut gasdurchlässig) gelagerter Deckschichten über der Messtiefe noch  $40 \text{ kBq/m}^3$  gemessen wurden.

Im Bereich der geplanten Seniorenresidenz wurden mit den bisherigen Messungen dagegen niedrigere Radonaktivitätskonzentrationen zwischen  $20\text{-}30 \text{ kBq/m}^3$  gemessen.

Nach approximierter Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 2 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rnwk}$ ) als  $C_{Rn}/106 \cdot 100$ .



**Abbildung 9** Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit im Boden in einem Meter Tiefe im unbebauten Zustand (Angaben gerundet auf Kilobecquerel; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde) mit Bodenfeuchte während der Messungen.

**Aufgrund der Witterungsbedingungen (vgl. Kap. 7.3) während der Messungen und aufgrund der Referenzmessungen in Oppenheim, ist davon auszugehen, dass die während der Beobachtungsperiode in Dirmstein gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen repräsentativ für den jeweiligen Standort sind und in etwa den langfristigen mittleren Radonaktivitätskonzentrationen (im unversiegelten Flächenzustand) an diesem Punkt entsprechen, die Grundlage von Baupfählungen sein sollen.**

Anhand Tabelle 3 wäre gemäß den in den Bohrungen gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen (**Radonpotenzial**) eine Einordnung in drei unterschiedliche Radonvorsorgegebietsklassen vorzunehmen:

- RVK 0 (grün),
- RVK I (gelb) und
- RVK II (orange) (Tab. 2).

RVK 0 macht keine speziellen Radonschutzmassnahmen erforderlich, während RVK II schon umfangreiche Schutzmassnahmen inklusive gasdichter Sperrschicht im Perimeterbereich des Gebäudes vorsieht.

**Tabelle 3** 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>

In der Gesamtbetrachtung der gemessenen Radonkonzentrationen und der Gaspermeabilitäten (**Radonverfügbarkeit**) ergeben sich aber die, in der Tabelle 2 dargestellten Radonverfügbarkeitsindizes nach Surbeck und Slunga. Der

Radonverfügbarkeitsindex nach Surbeck ist bei Gaspermeabilitätswerten  $< 10^{-12} \text{ m}^2$  nicht verlässlich, entsprechend sind die betroffenen Tabellenzellen grau hinterlegt.

In Tabelle 2 gelb hinterlegte Werte der Radonverfügbarkeitsindizes (Zellen) legen eine Radonvorsorge beim Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I nahe. Eine Radonvorsorgegebietsklassifizierung nach RVK II ergibt sich auf Grundlage der Radonverfügbarkeit danach für keinen der Messpunkte. In den an den Radonmesspunkte beobachteten Merkmalskombinationen sind unter den in den Bohrungen angetroffenen Bedingungen, auch da wo die bisherigen Maximalwerte der Radonkonzentration gemessen wurden, somit keine weitreichenden Radonschutzmassnahmen nach RVK II von Nöten. Andererseits, sind auch da wo Werte unter  $20 \text{ kBq/m}^3$  gemessen wurden, unter den gegebenen Bedingungen in den Bohrungen, einfache Radonschutzmassnahmen nach RVK I angeraten.

## 8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen die in Tabelle 3 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung des geogenen Radonpotenzials mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Durch die Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz ist nur die Radonkonzentration (Radonpotenzial) berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Radonverfügbarkeit hingewiesen wird.

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.

Aufgrund der Radonverfügbarkeitsindex nach Slunga und Surbeck erfolgt nach bisheriger Kenntnislage eine Einstufung des Baugrundes unter den lokalen

Bedingungen an den Radonmesspunkten als Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I).

**Damit werden für die auf der Fläche geplanten Wohngebäude Basis-Radonschutzmassnahmen empfohlen, die den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz für das Bauen in Radonvorsorgegebietsklasse I folgen.**

Nach den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz umfassen die zu treffenden Radonschutzmaßnahmen in einem Gebiet der Radonvorsorgeklasse I folgende Maßnahmen:

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, Kamine u.ä. von außen.

**Diese Empfehlungen basieren auf der Grundlage orientierender Radonmessungen.** Aufgrund der begrenzten Anzahl von Radonmesspunkten kann nicht gänzlich ausgeschlossen werden, dass auf Teilen des Bebauungsplanes nicht höhere Radonaktivitätskonzentrationen und vor allem höhere Gaspermeabilitäten und entsprechend höhere Radonverfügbarkeiten vorliegen können, die erweiterte, über die Punkte 1-4 hinausgehende Radonvorsorgemassnahmen erfordern.

Die Radonkonzentration im Boden wird sich unter Überbauung erhöhen, wenn die kapillarbrechende Schotterschicht unter dem Gebäude nicht zur Entlüftung an die

Erdoberfläche angeschlossen wird. Eine weitergehende in die Bauvorhaben einfach zu integrierende Massnahme wäre deshalb die Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und dafür zu sorgen, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillarbrechende Schotterschicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.

Dies wird vor allem auch für die Gebäude empfohlen, in denen Kellerräume dauerhaft durch Personen als Wohn- oder Arbeitsbereich genutzt werden und die deshalb über große Teile des Jahres geheizt werden.

Sorgfalt bei der Radonabwehr sollte aus vorgenannten Gründen auch besonders für die Gebäude ohne Unterkellerung gelten, weil in nicht unterkellerten Gebäuden im statistischen Mittel die Radonkonzentrationen im Erdgeschoss höher als in unterkellerten Gebäuden sind. Die Frostschrüzen unter nicht unterkellerten Gebäuden verhindern, dass Bodenluft mit Radon über die kapillarbrechende Schotterschicht nach außen abgeleitet werden kann. Unter diesen Bedingungen können sich unter dem Gebäude auch wesentlich höhere als hier gemessene Radonkonzentrationen einstellen (vgl. Versiegelungseffekt Starkniederschläge). Für die großflächige Überbauung durch die Seniorenresidenz ist deshalb zu überlegen, ob nicht in der Schotterschicht unter dem Gebäude flexible Drainagerohre verlegt werden, die passiv entlüftet werden, an die aber falls später falls erforderlich auch eine Pumpe angeschlossen werden kann.

Liegen konkrete Gebäudeplanungen vor sind u.U. objektbezogene und aufeinander abgestimmte Baumassnahmen zum Radonschutz sowohl zur Kostenreduzierung als auch zur Optimierung und Gewährleistung eines effektiven Radonschutzes zu empfehlen.

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

Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als die hier beschriebenen Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen, insbesondere wenn

Bodenhorizonte aus Grob- und Mittelsanden oder gar Kiesen und grobem Bauschutt durch die Baugruben angeschnitten werden.

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

Oppenheim, 21.07.2014