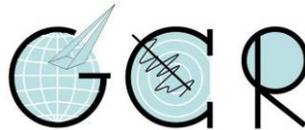


## Bericht

# Radonbelastung in der Bodenluft

„Ehemalige Brauerei Wormser Straße“ (W105)“, Mainz-Weisenau  
20180502\_Rn222\_MZW

**GeoConsult Rein**



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

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

Auftraggeber:

Fischer und Co. GmbH & Co. KG  
Hintere Bleiche 11  
55116 Mainz

26. Juni 2018

<b>GLIEDERUNG</b>	<b>2</b>
1. Auftrag	4
2. Verwendete ortsbezogene Materialien	4
3 Grundlagen zum Thema Radon	4
3.1. Was ist und woher kommt Radon?	4
3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden	5
3.3. Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	10
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	11
6.1. Gammastrahlungsaktivität	11
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	13
7. Laborergebnisse	14
7.1 Bodenfeuchte	14
7.2 Gaspermeabilität	16
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	16
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	21
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	25

## Abbildungsverzeichnis

<b>Abbildung 1</b>	Lage der Untersuchungsfläche	<b>8</b>
<b>Abbildung 2</b>	Lage der geplanten Gebäude und der Gewölbekeller	<b>9</b>
<b>Abbildung 3</b>	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	<b>12</b>
<b>Abbildung 4</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station MZ-Marienborn	<b>18</b>
<b>Abbildung 5</b>	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	<b>19</b>
<b>Abbildung 6</b>	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz-Weisenau.	<b>20</b>
<b>Abbildung 7</b>	Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.	<b>23</b>

## Tabellenverzeichnis

<b>Tabelle 1</b>	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	<b>13</b>
<b>Tabelle 2</b>	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	<b>15</b>
<b>Tabelle 3</b>	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	<b>22</b>
<b>Tabelle 4</b>	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet)	<b>25</b>

## 1. Auftrag

Die Landeshauptstadt Mainz beabsichtigt in Mainz-Weisenau auf dem Gelände der ehemaligen Brauerei an der Wormser Straße den Bau eines Wohn- und Arbeitsquartiers. Hierfür wird der Bebauungsplan „Ehemalige Brauerei Wormser Straße“ (W105)“ aufgestellt. Für den Bebauungsplan sind Fachgutachten erforderlich. Dieses Gutachten untersucht, ob und in welchem Umfang Maßnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Baugebietes zu empfehlen sind.

## 2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Städtebaulicher Rahmenplan W105 „Ehemalige Brauerei Wormser Straße“ (PDF, 9.11.2017)  
Überlagerung Vermesserdater + Rahmenplan (180321sa\_1619\_Überlagerung Vermesserdater + Rahmenplan.pdf, 21.03.2018)
- /2/ LANIS RLP
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /4/ Geologische Karte GK25 6015 (LGB/Geologisches Landesamt 1989)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen MZ-Marienborn und Oppenheim
- /6/ Google Earth

## 3. Grundlagen zum Thema Radon

### 3.1 Was ist und woher kommt Radon?

Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs mit jährlich rund 2000 auf Radon zurückzuführenden Lungenkrebstoten in Deutschland. Von allen bekannten Innenraumschadstoffen ist Radon das nachweislich Gesundheitsgefährdendste.

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumlufte um  $100 \text{ Bq/m}^3$ . Bei einer Rn222-Raumlufte von  $800 \text{ Bq/m}^3$  hat sich das Lungenkrebsrisiko bereits verdoppelt. Das Risiko einer

Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

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

Anders als das gasförmige Radon, das mit der Bodenluft über Klüfte im Gestein in und durch den Porenraum der Gesteine und Böden in Gebäude wandern kann, sind die radioaktiven Zerfallsprodukte von Radon allesamt Feststoffe, wie Polonium, Blei und Wismut. Diese lagern sich in der Raumluft an feinste Teilchen (Aerosole) an und können lange Zeit in der Luft schweben und sich in der Lunge festsetzen.

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

### **3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden**

Die Radon(aktivitäts)konzentration in Gebäuden und in der Bodenluft können sehr starken täglichen und witterungsbedingten Schwankungen unterliegen.

In Gebäuden sind diese Schwankungen durch das Nutzungsverhalten der Räume, sowie im Haus entstehende Sogwirkungen (Kamineffekte) verursacht. Durch thermisch (z.B. Heizen) oder dynamisch und meteorologisch erzeugte Luftdruckunterschiede im Gebäude, kann verstärkt Radon mit der Bodenluft durch erdberührende Wände und durch die Bodenplatte ansaugt werden. Über Schächte, Mauerdurchführungen und Treppenhaus kann das Radon auch in höhere Stockwerke migrieren.

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von Gebäuden können aber aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise erhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden hängt von den folgenden Faktoren ab:

#### Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

- Dichtigkeit des Gebäudes gegen Radoneintritt durch die Bodenplatte und erdberührende Wände (v.a. Mikro- und Makrorisse, Wanddurchführungen von Rohren, Porosität des Baumaterials).
- Luftdichtigkeit der Fenster und Türen sowie das Lüftungsverhalten der Benutzer.
- Vertikale Wegsamkeiten innerhalb des Gebäudes über Treppenhäuser und Schächte und Versorgungsleitungen.

#### Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

- Radiumgehalt der Gesteine und Böden im näheren und tieferen Baugrund.  
→ Radonmenge, die im Boden entsteht.
- Korngrößen- und Kornform, Spaltbarkeit und Trennflächen in den Mineralen, sowie Lage des Entstehungsortes von Radon zur Kornoberfläche und Trennflächen, Bodenfeuchte.  
→ Radonmenge, die in die Bodenluft freigesetzt wird.
- Schichtlagerung und Schichtenfolge, Wegsamkeiten für Radon im Boden/Gestein wie beispielsweise über tektonische Störungen, Klüfte sowie die Porosität und Feuchte des Gesteins/Bodens im Untergrund.  
→ Wie gut kann Radon im Untergrund wandern und zum Gebäude gelangen.

### **3.3 Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte**

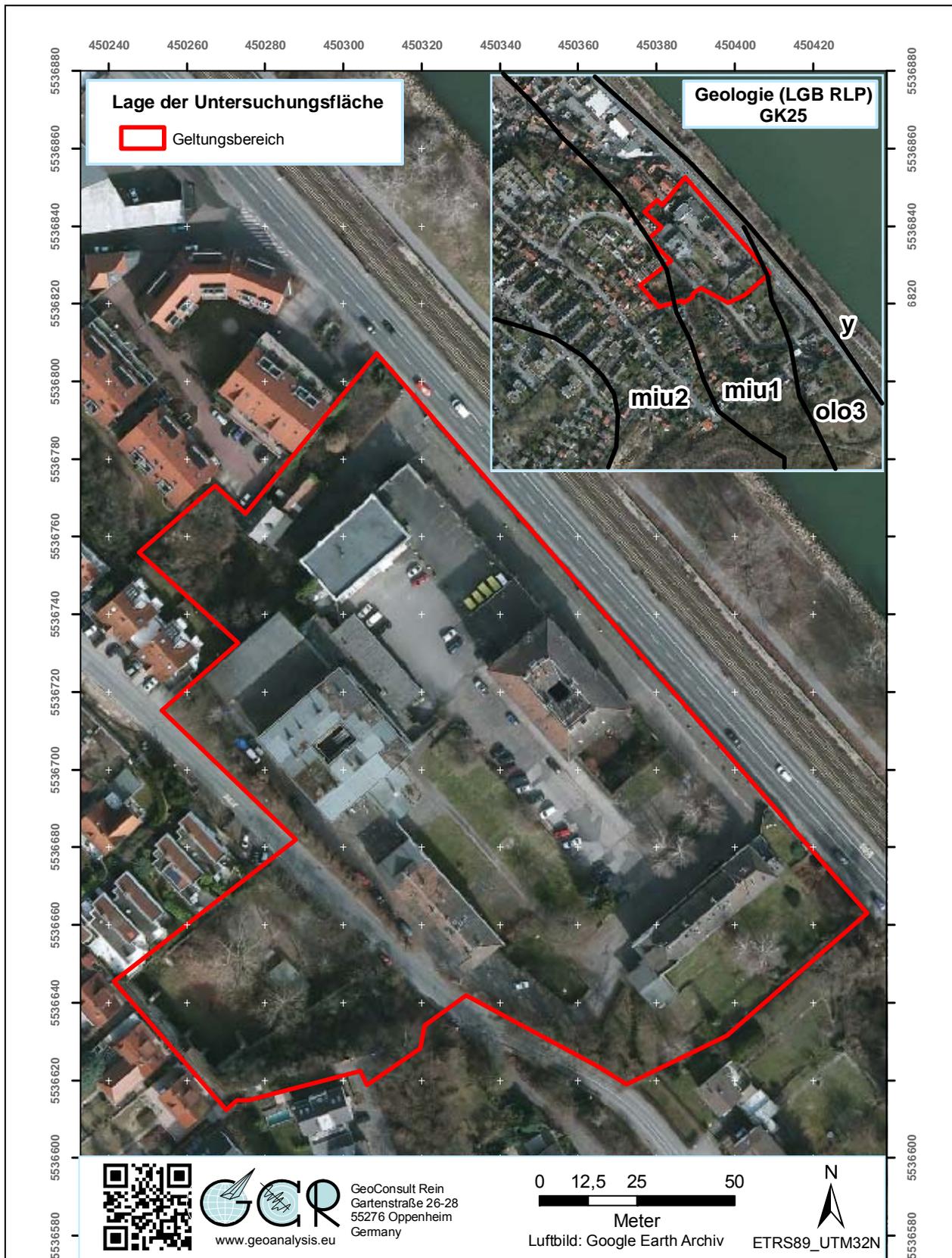
Das Thema Radon wird in naher Zukunft neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie gewinnen. Radonsanierungsmassnahmen kosten in der Regel das Mehrfache von Radonpräventionsmassnahmen.

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal  $300 \text{ Bq/m}^3$  vorsieht. Den EU-Mitgliedstaaten bleibt es überlassen bis spätestens 1.1.2018 gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb  $300 \text{ Bq/m}^3$  festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen. Am 3. Juli 2017 erfolgte die Veröffentlichung des Bundesgesetzes vom 27. Juni 2017 „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ in dem der Referenzwert für Deutschland auf  $300 \text{ Bq/m}^3$  festgelegt wurde. Der Gesetzgeber folgt damit nicht den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation, die einen Referenzwert von  $100 \text{ Bq/m}^3$  vorgeschlagen haben.

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.

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

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) liegt in innerstädtischer Lage in Mainz-Weisenau auf einer baulich terrassierten Fläche (85 – 102 m NN). Die Situation zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht der im Luftbild in Abbildung 1. Ein Großteil der Fläche nördlich der Dr.-Friedrich-Kirchhoff-Straße ist durch Gebäude und Park- und Verkehrsflächen versiegelt. Nicht nur der Bereich der Gebäude, sondern auch Teile der Freiflächen sind durch Gewölbekeller unterlagert (Abb. 2).



**Abbildung 1** Lage der Untersuchungsfläche mit Gebäudebestand (Luftbild /6/, Geologie /4/).

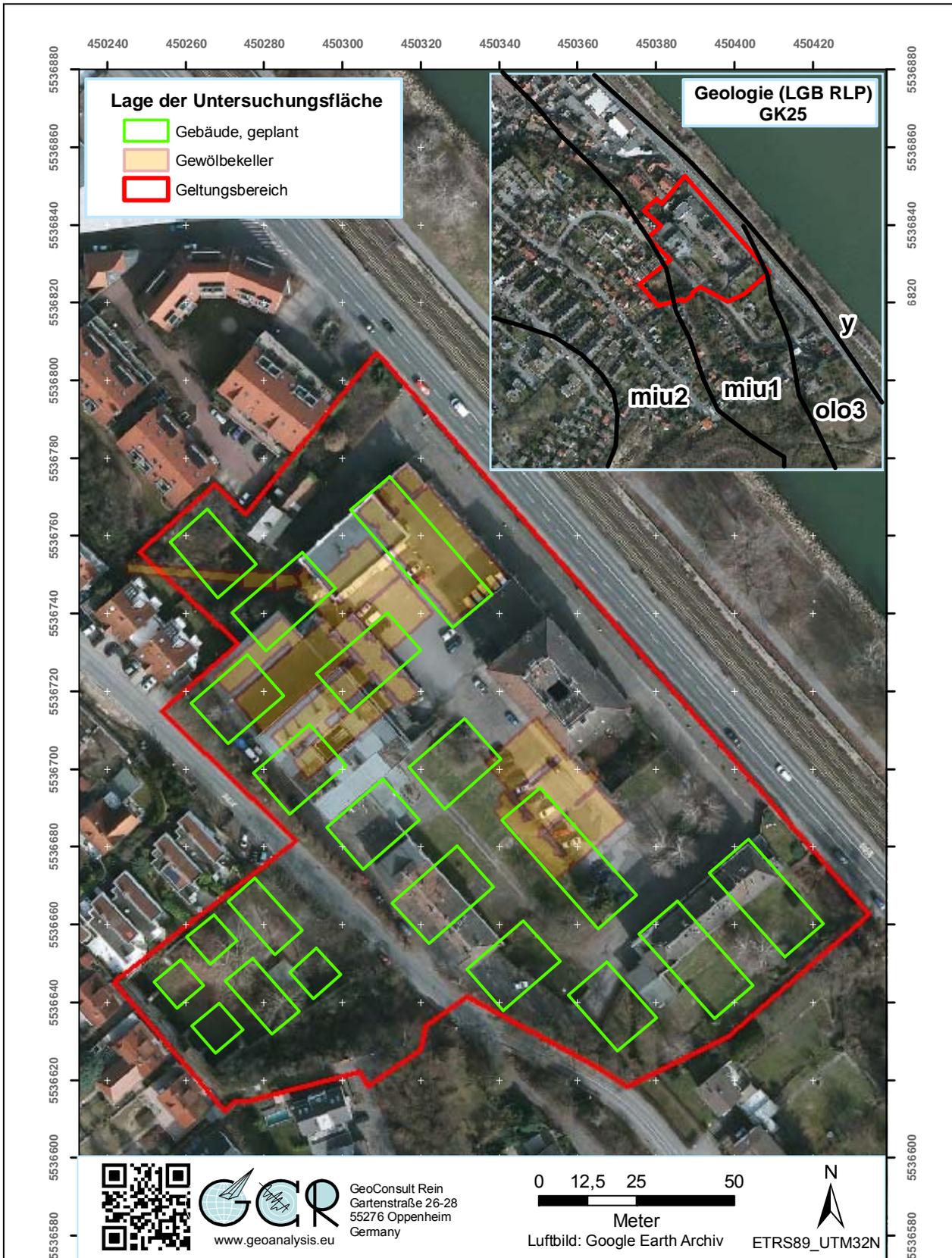


Abbildung 2 Lage der geplanten Gebäude /1/ und der Gewölbekeller /1/ (Luftbild /6/, Geologie /4/).

## 5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde der städtebauliche Rahmenplan /1/ genutzt. Mit Hilfe von Flurstückeckpunkten /2/ wurde dieser Plan für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert (ETRS89 UTM32N).

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

Die GPS-Koordinaten, der zur Kontrolle vermessenen Grundstückseckpunkte bestätigen und belegen eine ausreichende Lagegenauigkeit mit etwa oben genannter Präzision. Nur die Einmessungen innerhalb der Teilfläche südlich der Dr.-Friedrich-Kirchhoff-Straße enthielten wegen der die Fläche umgebenden hohen Mauern größere Lagefehler, so dass eine nachträgliche Korrektur der Lage der Messpunkte über das Luftbild /2/ /6/ vorgenommen wurde.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt), wurde die Untersuchungsfläche am 02. Mai 2018 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die 14 Radonmessbohrungen wurden ebenfalls am 02. Mai 2018 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1,1 Meter Tiefe. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen erfolgte unmittelbar nach deren Aufbereitung in speziell zur Langzeit-Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Schutzsonden.

Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Kernspurdetektoren und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden aufbaut, die von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurden.

Das Bohrgut aus der Lagerungstiefe der Dosimeter wurde als Probe für Korngrößenanalysen und zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen, des Weiteren Oberflächenproben (10-15 cm Tiefe) zur Bestimmung des Wassergehaltes.

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut in der Reihenfolge der Entnahme rückverfüllt.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe sowie des Oberbodens erfolgten am 24. Mai 2018. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug 22 Tage.

## **6. Ergebnisse der Feldarbeiten**

### **6.1. Gammastrahlungsaktivität**

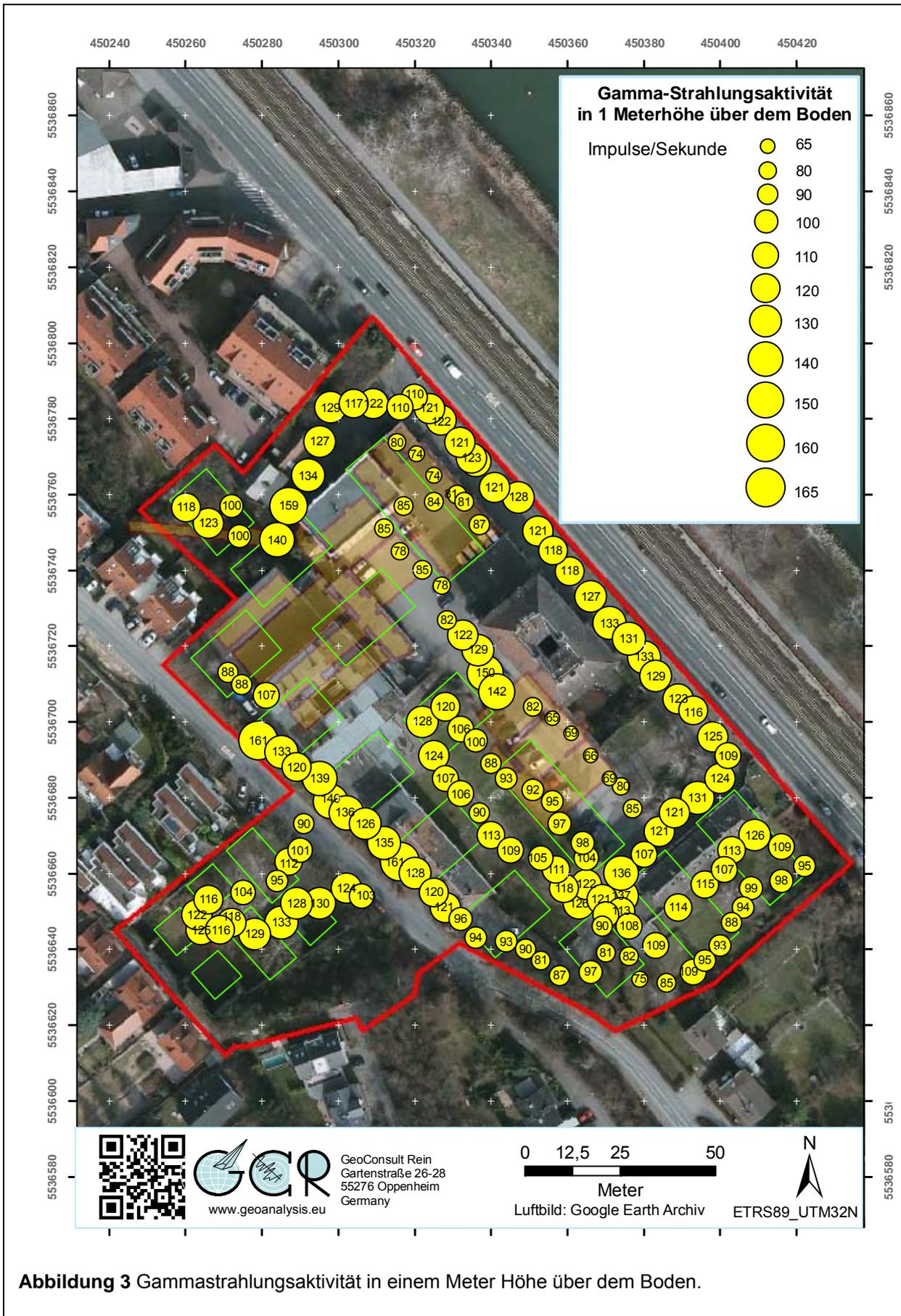
Die Gammastrahlungsaktivität kann als Relativmessung Hinweise auf natürliche und anthropogen verursachte Materialwechsel/Strahlungsanomalien vor allem in den oberen 40 cm des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch-strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können. Auch in größerer Tiefe lagernde starke Radonemanenten werden über gewachsenen Böden über die Strahlung der Radon-Tochternuklide durch diese Kartierung meist abgebildet.

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

Die Messgröße Impulse pro Sekunde ist geräteabhängig (Detektorgröße). 100 IPS entsprechen bei dem verwendeten Instrument einer Ortsdosisleistung von 130 nSv/h (0,130µS/h).

Bedingt durch die intensive bauliche Überprägung der Untersuchungsfläche überdecken die gemessenen Impulsraten eine weite Bandbreite von 65-165 Impulsen/Sekunde.

Die niedrigsten Aktivitäten wurden über unterkellerten Bereichen gemessen. Insgesamt ist die erhöhte Aktivität und die kleinräumige und scheinbar regellose Variabilität vorwiegend durch die Versiegelung der Verkehrs- und Parkflächen bzw. durch Basaltpflaster und v.a. durch Rhyolithschotter im Polsterbett der Versiegelung bestimmt. Im Bereich der Gärten wurden vorwiegend unauffällige Gammastrahlungsaktivitäten gemessen. Die erhöhten Aktivitäten südwestlich der Dr.-



F.-Kirchhoff.Straße sind wahrscheinlich auch auf dort kleinräumig wechselnd eingeschüttete Fremdmaterialien zurückzuführen.

## 6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen geologischen Untergrund der Untersuchungsfläche bilden tertiäre miozäne und oligozäne Sedimentgesteine. Gemäß der geologischen Karte GK 25 6015 lagern in der Südwestecke der Untersuchungsfläche die Hydrobienschichten (miu2, Abb. 2) deren lithologisches Spektrum weiß-graue bis ocker Kalksteine und Algenkalke und grün, ocker oder graue Mergel umfasst. Diese lagern über den Corbículaschichten (miu1), hellgrauen bis weißgrauen Kalksteinen, gelbbraunen bis grauen Algenkalken und dunkelgrünen bis grauen und braunen Mergeln. Die nächsttiefere stratigrafische Einheit, die Oberen Cerithienschichten (olo3) kommen laut Karte nur in der äußersten nordöstlichen Ecke der Fläche vor. Dieser Bereich ist durch Verbauung im Bereich der Untersuchungsfläche aber durch mächtige Auffüllungen überdeckt.

Die Radonmessbohrungen hatten den in Tabelle 1 beschriebenen Bodenaufbau.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
MZW-01	450268	5536638	0-30 30-95 95-110	Sand Sand/Kies/Schlacken * Ziegelbruch in schluffiger Matrix
MZW-02	450286	5536667	0-40 40-98	Sand/Kies/Kalkst./Ziegelbruch Kalksteinbank
MZW-03	450348	5536655	0-40 40-55 55-110	Sand, schwach schluffig (Gartenerde, braun) Schluff, mittelbraun Sand, schluffig, schwarz, Ziegelbruch *
MZW-04	450330	5536698	0-30  30-60 60-80 80-110	Sand, schwach schluffig (Gartenerde, graubraun), steinig (G) Verwitterter Kalkstein Hohlraum Verwitterter Kalksandstein, lehmig/mergelig
MZW-05	450322	5536728	0-20 20-40 40-80 80-110	Schwarzdecke Basaltpflaster Schotter((Rhyo)/Sand, rot bis weiß Verwitterte Kalksteinbank, lehmig/mergelig, gelb, z.T. porös
MZW-06	450374	5536674	0-6 6-30 30-110	Schwarzdecke Schotter((Rhyo)/Sand, rot bis weiß Verwitterte Kalksandstein, schluffig

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

	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
MZW-07	450331	5536676	0-55 55-110	Sand, schluffig, kalkig, graubraun Verwitterter Kalkstein/Kalksandstein, mergelig
MZW-08	450265	5536758	0-30 30-90 90-104 104-110	Sandige Gartenerde, humos, schwach kalkig Sand, schluffig, humos, kalkreich Mergel, grau bis fahlbraun Kalksand + Mergel
MZW-09	450376	5536635	0-45 45-110	Sandig/schluffige Gartenerde mit Kalk u. Mergelfetzen Verwitterter Kalksandstein, mergelig
MZW-10	450413	5536657	0-40 40-60 60-110	Sandig/schluffige Gartenerde, braun Verwitterter Kalkstein mit Ind.-Schlacken Verwitterter Kalkstein, mergelig
MZW-11	450305	5536790	0-60 60-110	Sand, schluffig m. Bauschutt, Kalkst Mergel m. Kalksteinbröckchen, grau bis hellbraun
MZW-12	450295	5536648	0-45 45-65 65-110	Sand/Kies/Kalksteinbr Verwitterter Kalkstein Kalksteinbank
MZW-13	450396	5536647	0-40 40-110	Sandig/schluffige Gartenerde, kalkig, mbraun Verwitterter Kalkstein, mergelig
MZW-14	450267	5536710	0-65 65-110	Sand, schluffig Verwitterter Kalksandstein

Mit Ausnahme der Bohrungen MZW-02 und MZW-12 waren die Kalksteine verwittert bzw. stark angewittert. Graue bis fahlbraune Mergel (miu1) wurden in den Bohrungen MZW-08 und MZW-11 angetroffen. In der südlichsten Bohrung MZW-01 wurden ausschließlich Fremdmaterialien erbohrt.

## 7. Laborergebnisse

### 7.1 Bodenfeuchte

Der Bodenwassergehalt beeinflusst (neben Kornform, Korngröße, Verteilung der Mutternuklide im Mineralkorn) die Radonemanationsrate (Freisetzung von Radon aus dem Mineralkorn in die Bodenluft) und die Migrationsmöglichkeiten für Radon/Bodengase im Porenraum des Bodens. Aufgrund des Radonverteilungsungleichgewichtes zwischen Wasser und Luft (in der Bodenluft) tritt Radon in der Bodenluft in etwa 3-fach höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im

Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Deshalb kann bei erhöhten Wassergehalten die Radonkonzentration in der Bodenluft ansteigen. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser herangeführt werden und freigesetzt werden. Nasser oder wassergesättigter Boden kann wiederum diffusionshemmend bzw. als Diffusionssperre für den Aufstieg und die Migration von Radon wirken. Die Bodenfeuchte beeinflusst in beide Richtungen, neben der Migrationsmöglichkeit, auch die Emanationsrate (Übertritt von Radon aus dem Mineralkorn in den Porenraum) und damit die gemessene, aber temporär variable Radonkonzentration.

Die Werte für den Wassergehalt der Böden sind in Tabelle 2 dargestellt.

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

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				Basis Bohrung		10-15 cm bzw. Lage unter Versiegelung	
				13.01.18/ 28.03.18	02.05.18	24.05.18	02.05.18
MZW-01	450268	5536638	105/110	12,7	10,2	4,7	11,2*
MZW-02	450286	5536667	98	2,9	13,1*	5,5	10,8*
MZW-03	450348	5536655	105/110	12,2	13,0	11,8	9,3
MZW-04	450330	5536698	105/110	16,5	14,8	11,9	10,3
MZW-05	450322	5536728	105/110	9,1	10,2	2,1**	11,2*
MZW-06	450374	5536674	105/110	14,8	20,5	5,6	12,1*
MZW-07	450331	5536676	105/110	19,2	17,8	10,6	13,3
MZW-08	450265	5536758	105/110	15,3	18,2	13,2	14,6
MZW-09	450376	5536635	105/110	15,3	16,1	13,2	16,9
MZW-10	450413	5536657	105/110	12,7	11,5	15,1	13,9
MZW-11	450305	5536790	105/110	17,9	18,5	15,4	16,0
MZW-12	450295	5536648	105/110	2,2	11,9*	4,6	11,0*
MZW-13	450396	5536647	105/110	13,3	12,8	14,1	13,2
MZW-14	450267	5536710	105/110	18,3	17,9	10,6	11,3

\* Rückverfüllt bzw. teiltrückverfüllt mit Löss; \*\* unter Schwarzdecke

Die sehr niedrigen Wassergehalte in der Basis der Bohrungen MZW-02 und MZW-12 vor Einbringen der Radonmesssonden erklären sich damit, dass hier Festgestein erbohrt wurde. Diese Bohrungen konnten wegen der groben Körnung der Gesteinssplinter nicht mehr mit dem Material aus dem Bohrkern rückverfüllt werden. Stattdessen wurde erdfeuchter Schluff (Löß) dazu verwandt. Aufgrund der ausreichenden Bodenfeuchte im Umfeld der Messsonden müssen keine für den Standort temporär unterdurchschnittliche Emanationsraten angenommen werden.

Aufgrund ausreichender Feuchte sind auch überdurchschnittliche Exhalationsverluste aufgrund trockener Böden nicht zu erwarten.

## 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 → tonige Lehme, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume (Karst, Bergwerke) und Wühlgänge oder Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen. Des Weiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den kalkig/mergeligen und schluffigen Böden bzw. den frischen und verwitterten Kalk- und Kalksandsteinen ist die Gaspermeabilität mäßig bis gering ( $10^{-14}$  bis  $10^{-12}$  m<sup>2</sup>, Werte s. Tab. 3).

## 7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Mainz-Marienborn (153 m ü NN) liegt östlich des Siedlungsrandes von Mainz-Marienborn und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände. Die Entfernung zu der westsüdwestlich von der Untersuchungsfläche gelegenen Wetterstation beträgt 5,6 Kilometer.

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

Die Abbildungen 4-5 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Radonlangzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche.

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

Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages an.

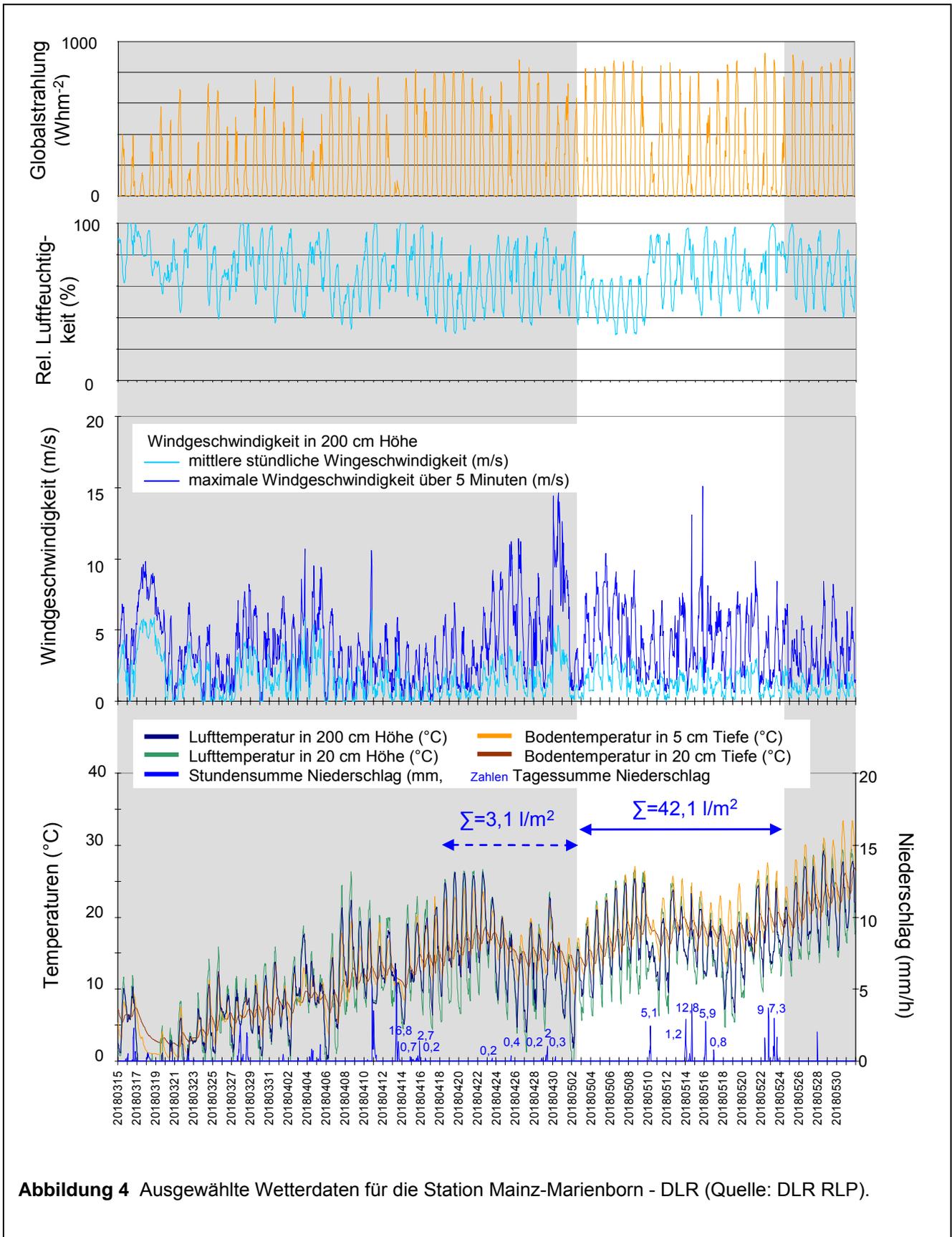
Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung.

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An den Wetterstationen sind die zeitlichen Änderungen (Witterungsverläufe; nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, relativer Luftfeuchte und Veränderungen des Windfeldes und Windgeschwindigkeiten ähnlich. Aufgrund der saisonal bedingt geringen Vegetationsbedeckung in der ostsüdost-exponierten Weinbergslage in Oppenheim sind dort die Bodentemperaturen in 5 cm Tiefe stärkeren Amplituden unterworfen. Bereits in 20 cm Tiefe ergibt sich aber ein ähnliche Temperaturamplitude wie in Marienborn. Die Gänge der Lufttemperaturen (Amplituden, Gradienten) sind zwischen beiden Stationen vergleichbar. Die Minima der bodennahen Lufttemperaturen sind aber in Marienborn wegen der flachen Lage systematisch niedriger als in Oppenheim (Hanglage). Wegen der von beiden Wetterstationen abweichenden topografisch Situation der Untersuchungsfläche und auch aufgrund des hohen versiegelten Flächenanteils sind die Temperaturamplituden beider Wetterstationen im Detail sicher nicht übertragbar, aber der generell sehr ähnliche Witterungsgang.

Die Regenmengen waren an beiden Stationen vor und während der Radonmessperiode in Weisenau vergleichbar. Auch die zeitliche Verteilung der Regenfälle innerhalb der Radonmessperiode war an beiden Wetterstationen sehr ähnlich, mit Regenfällen vor allem in der letzten Woche der Radonmessungen (Abb. 4 und 5).



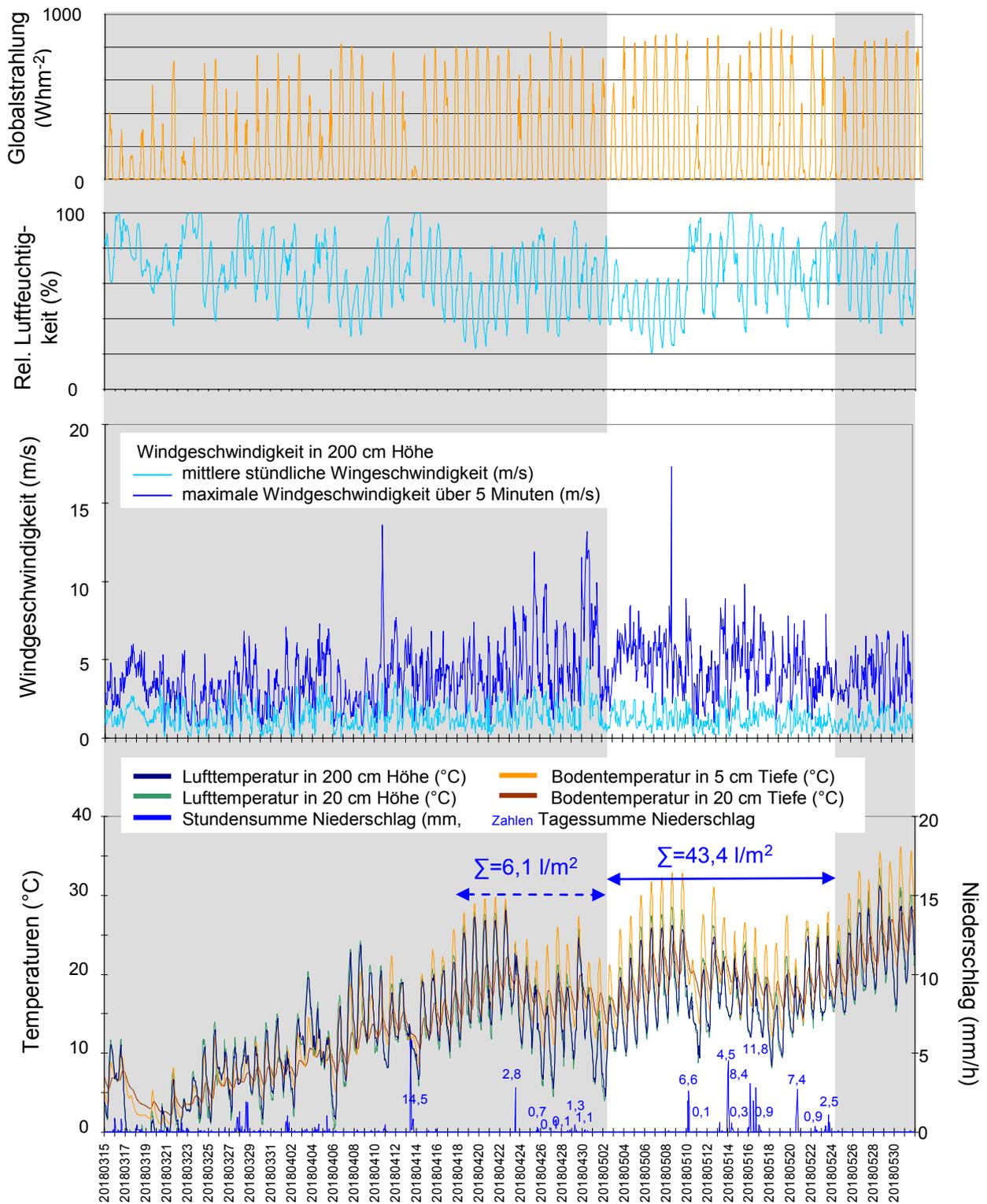
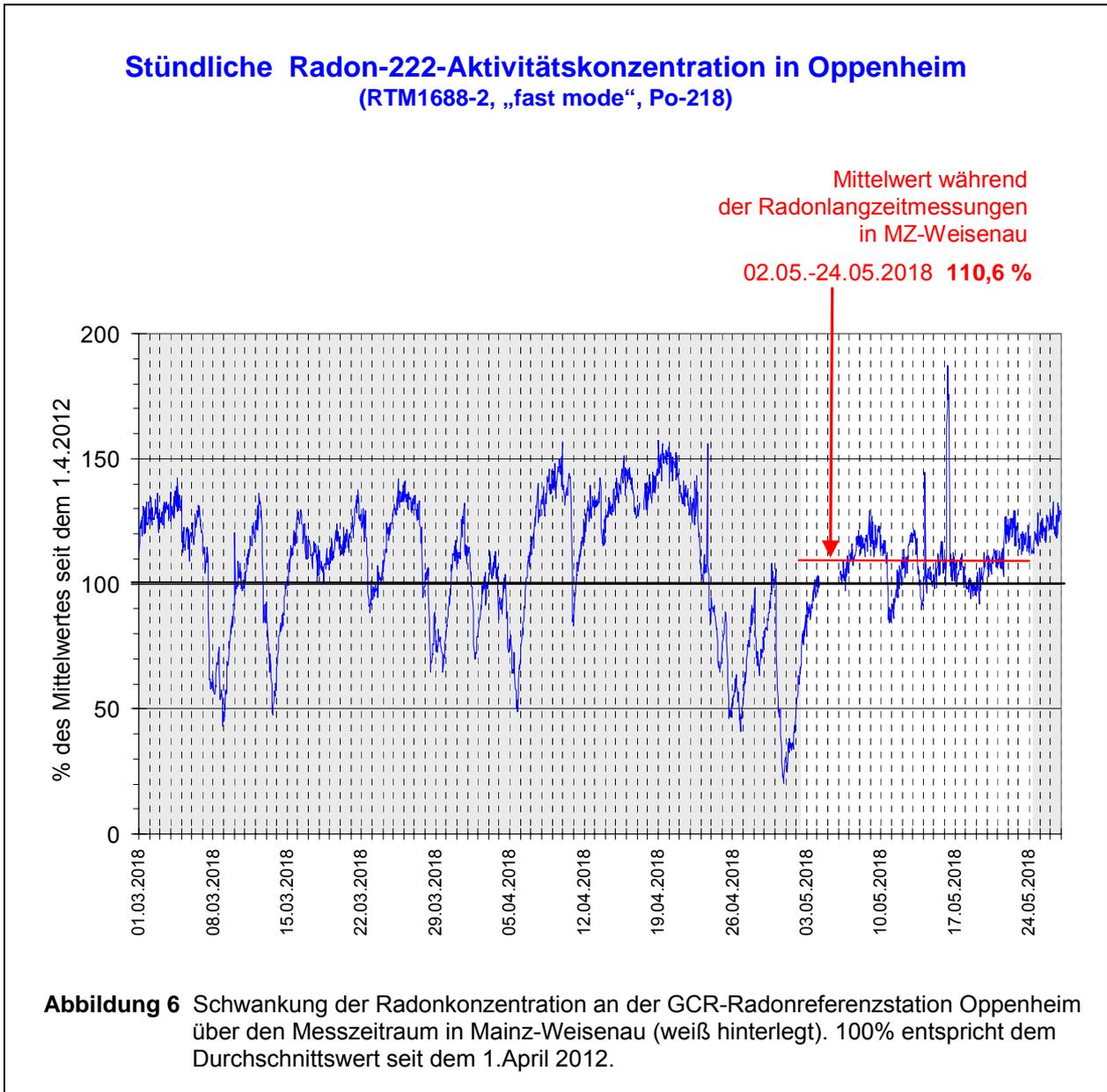


Abbildung 5 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).



Eine Versiegelung des Oberbodens durch Starkregenfälle war in Oppenheim am 16. Mai gegeben. Dieses führte an der Radonreferenzstation GCR in Oppenheim zu einem kurzfristig starken Anstieg der Radonkonzentration im Boden (Abb. 6). Am 16. Mai war eine ähnliche Situation in Marienborn nicht gegeben, aber zwei Tage zuvor am 14. Mai. Ebenfalls nur am 16. Mai fielen Starkregen in Bodenheim, aber an keinem der zuvor erwähnten Daten in Finthen. Ob für den 14. Mai (Marienborn, 12,8 l/m<sup>2</sup>) in Weisenau deshalb oberflächenversiegelnde Bedingungen durch starke Regenfälle wie zwei Tage später in Oppenheim angenommen werden müssen ist wegen der stark lokalen Ausprägung dieser Ereignisse nicht sicher, aufgrund eines Starkregenereignisses am 14. Mai in Wicker (14,9 l/m<sup>2</sup>), aber wahrscheinlich.

Die Wetterstation Oppenheim liegt nur wenige hundert Meter entfernt von der Radonreferenzstation GCR-Oppenheim.

Abbildung 6 zeigt die Zeitreihe der Radonkonzentrationen an der von GeoConsult Rein betriebenen Radonreferenzstation, wo stündlich die Radonkonzentration in einem Meter Tiefe seit dem 1. April 2012 gemessen wird. Für die Untersuchungsfläche in Weisenau kann aufgrund der ähnlichen Witterungsabläufe eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen angenommen werden.

Innerhalb der Radonmessperiode in Mainz-Weisenau betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation 110,6% des 6-jährigen Mittelwertes.

Die mittlere langfristige Radonkonzentration der Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im Mai 2018 insgesamt leicht überschätzt. Deshalb wurde eine Witterungskorrektur der gemessenen Radonkonzentrationen vorgenommen.

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

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

Die über einen Zeitraum von 22 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem sehr niedrigen bis niedrigen Aktivitätskonzentrationsbereich von  $1,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  bis  $22,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 7), ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ( $C_{Rn \text{ wk}}$ ) mit Werten zwischen  $1,1 \pm 20\%$  bis  $20,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$  (2sigma).

Aufgrund des alleinigen Kriteriums „Radonkonzentration“ ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von  $400 \text{ Bq/m}^3$  in Innenräumen eine Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen in die Radonvorsorgegebietsklasse RVK 0 und RVK I (Tab. 3, Sp.2-3 und Tab. 4).

Die relativ höchsten Radonaktivitätskonzentrationen ( $> 20 \text{ kBq/m}^3$ ) wurden in den Mergeln (MZW-08, MZW-11 sowie in einem stark verwitterten Kalkstein (MZW-06) gemessen. Auch die Auffüllungen in MZW-01 zeigen eine überdurchschnittliche, wenn auch immer noch niedrige Radonaktivitätskonzentration.

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

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m <sup>3</sup> ] ±20% (2sigma)			Gasperm [m <sup>2</sup> ]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
	BfS-Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m <sup>3</sup>				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m <sup>3</sup>	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C <sub>Rn</sub> +/-20%	C <sub>Rn</sub> wk +/-20%	C <sub>Rn</sub> wk +/-20% unter Berücksichtigung Gaspermeabilität	In 1m Messtiefe	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C <sub>Rn</sub> RVI C <sub>Rn</sub> wk	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C <sub>Rn</sub> Rna C <sub>Rn</sub> wk
MZW-01	17,7	<b>16,0</b>	<b>16,0</b>	1E-13		<b>1,33</b> <b>1,28</b>
MZW-02	8,3	<b>7,5</b>	<b>7,5</b>	5E-14		0,98 <b>0,93</b>
MZW-03	3,9	<b>3,5</b>	<b>3,5</b>	1E-13		0,67 <b>0,63</b>
MZW-04	1,2	<b>1,1</b>	<b>1,1</b>	5E-12	5,93E-09 <b>5,36E-09</b>	
MZW-05	2,0	<b>1,8</b>	<b>1,8</b>	5E-12	9,88E-09 <b>8,93E-09</b>	
MZW-06	<b>20,4</b>	<b>18,4</b>	<b>18,4</b>	1E-13		<b>1,39</b> <b>1,35</b>
MZW-07	8,4	<b>7,6</b>	<b>7,6</b>	1E-13		1,01 <b>0,96</b>
MZW-08	<b>21,7</b>	<b>19,6</b>	<b>19,6</b>	5E-14		<b>1,39</b> <b>1,35</b>
MZW-09	9,8	<b>8,8</b>	<b>8,8</b>	1E-13		<b>1,07</b> <b>1,03</b>
MZW-10	6,1	<b>5,5</b>	<b>5,5</b>	1E-13		0,86 <b>0,82</b>
MZW-11	<b>22,5</b>	<b>20,3</b>	<b>20,3</b>	1E-14		<b>1,35</b> <b>1,31</b>
MZW-12	6,3	<b>5,7</b>	<b>5,7</b>	5E-14		0,85 <b>0,81</b>
MZW-13	8,6	<b>7,8</b>	<b>7,8</b>	5E-14		0,99 <b>0,95</b>
MZW-14	6,1	<b>5,5</b>	<b>5,5</b>	1E-13		0,87 <b>0,82</b>
RVK 0	Keine Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I					
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II					
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III					
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar					

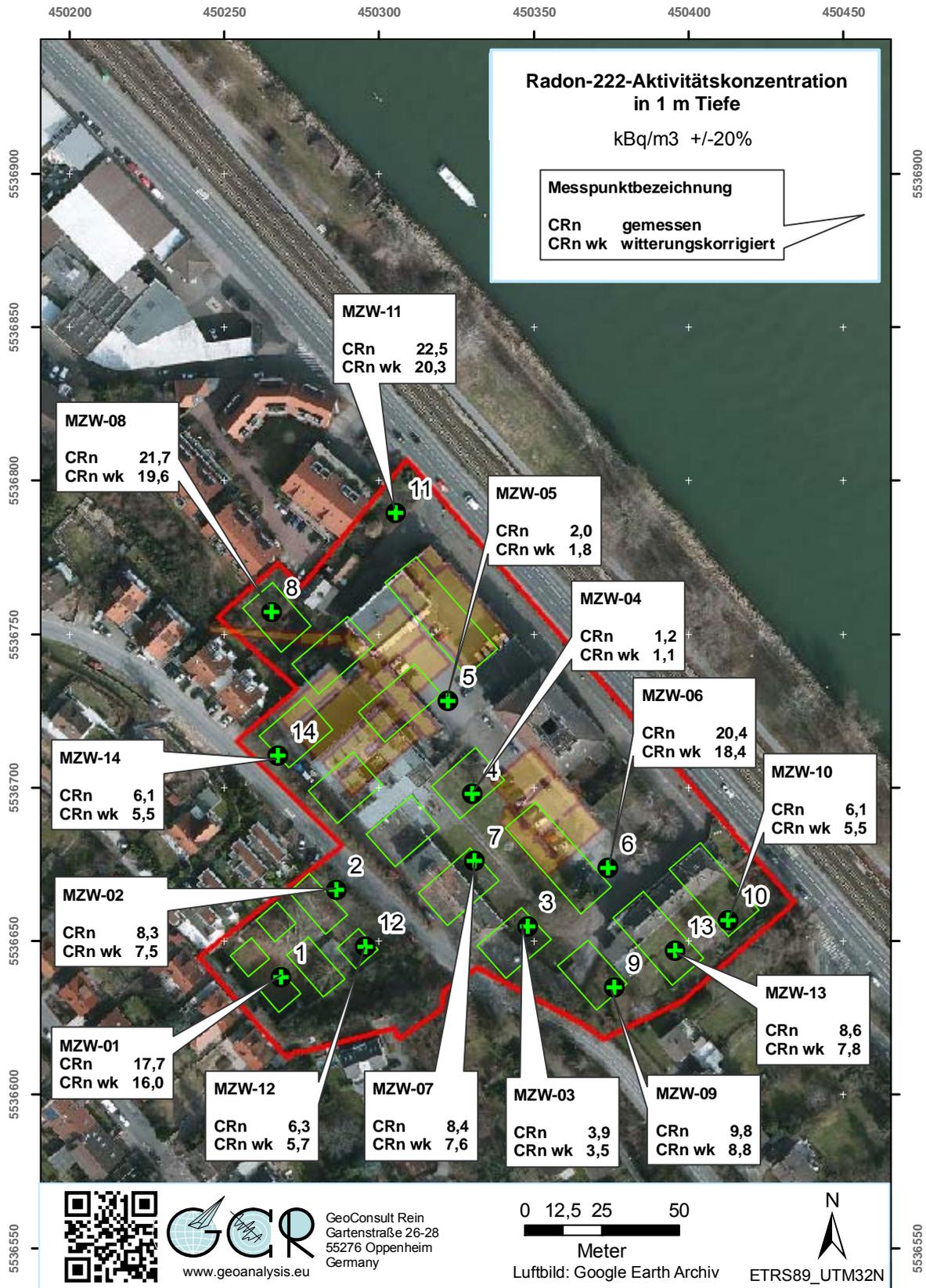


Abbildung 7 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe. (Luftbild: GoogleEarth)

Die Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sieht eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe im Vergleich zu der Zuordnung in Tabelle 4 vor. Innerhalb der Untersuchungsfläche wurden aber nur geringe bis mäßige Gaspermeabilitäten festgestellt, weshalb sich in Spalte 4 der Tabelle 3 keine Höhergruppierung der Radonvorsorgegebietsklasse im Vergleich zu der vorhergehenden Spalte ergibt.

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. Für Böden mit Gaspermeabilitäten von  $k > 1E-12$  wird der Radonverfügbarkeitsindex (Bq/m) von Surbeck, für geringer gasdurchlässige Böden die Radonaktivitätszahl (dimensionslos) von Slunga als Bewertungsmaß genutzt.

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

Durch die Indizes, die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachteten und bei einem Zielwert von maximal  $250 \text{ Bq/m}^3$  ergibt sich für die Radonmesspunkte ebenfalls eine Einordnung der Messpunkte in RVK 0 und RVK I.

Der Zielwert der Klassifikation von  $250 \text{ Bq/m}^3$  liegt unterhalb den Mindestanforderungen des Gesetzgebers von  $< 300 \text{ Bq/m}^3$ , aber über dem vom Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) und der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlenen Wert von  $< 100 \text{ Bq/m}^3$ .

## 8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen in einem Handbuch aus dem Jahr 2001, 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 (**veraltet**, bisher ohne Ersatz, bei erhöhter Gaspermeabilität wird die sich aus der Radonkonzentration ergebende Vorsorgestufe um eine Stufe erhöht).

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration <400 Bq/m <sup>3</sup> )	Radonaktivitätskonzentration (kBq/m <sup>3</sup> = Kilo-Becquerel/m <sup>3</sup> )
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	<20 kBq/m <sup>3</sup> (<20 000 Bq/m <sup>3</sup> )
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	>20 – 40 kBq/m <sup>3</sup>
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	>40 – 100 kBq/m <sup>3</sup>
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	>100 kBq/m <sup>3</sup>

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem diskreten Zeitpunkt X gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren auf die Radonkonzentration zum Messzeitpunkt blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Die Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sah in einem simplifizierten Ansatz eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe im Vergleich zu der Zuordnung in Tabelle 4 vor. Eine von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität gleichermaßen bedeutsam bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Für die Erstellung einer solchen Karte fehlt allerdings noch die Datenbasis. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und weniger anspruchsvolle Zielwerte (max. 400 Bq/m<sup>3</sup> in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und seit Juni 2017 auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m<sup>3</sup>) als Bemessungsgrundlage verwandte.

Die Einordnung in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch die gleichzeitig gemessenen bodenphysikalischen Faktoren, den Bodenaufbau und temporäre Variablen wie Bodenfeuchte und Witterungseinflüsse, die die innerhalb eines Zeitraums gemessene Radonaktivitätskonzentration beeinflussen und Einfluss auf die Radonverfügbarkeit im Boden haben. Die hier verwendete Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht auf einem verschärften Zielwert von maximal  $250 \text{ Bq/m}^3$  in der Raumluft, um den neuen Anforderungen des Gesetzgebers gerecht zu werden.

Für das Planungsgebiet W105 „Ehemalige Brauerei Wormser Straße“ sind nach den bisherigen Ergebnissen nur bei Gründung in den Mergeln Radonpräventionsmassnahmen erforderlich. Ebenso haben Auffüllungen (z.B. MZW-01) ein unter Umständen erhöhtes Radonpotential das Präventionsmassnahmen erforderlich macht.

Da die im Bereich der Untersuchungsfläche vorkommenden Gesteine aus einer Wechselfolge aus Kalksteinen und Mergeln besteht wird hier konservativ eine zumindest teilweise Gründung in Mergeln angenommen

Selbst in den Mergeln auf der Untersuchungsfläche sind, nach den bisherigen Messergebnissen, Radonpräventionsmassnahmen gemäß der Radonvorsorgegebietsklasse RVK I ausreichend.

Typische Präventivmassnahmen in einen **Radonvorsorgegebiet RVK I** umfassen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke:  $\geq 20 \text{ cm}$ ). Sollte eine durchgehende Bodenplatte aufgrund der Bauart, der Notwendigkeit von Dehnfugen etc. nicht möglich sein, ist auf deren gasdichte Ausführung zu achten.
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien (z.B. Polymerbitumen), bzw. Verwendung gasdichter Komponenten

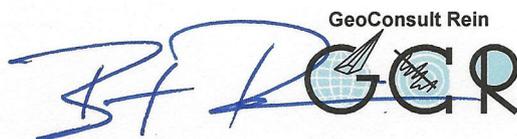
für Durchführungen.

Durchführungen durch die Bodenplatte und durch erdumlagerte Wände sind für den Radonschutz von besonderer Bedeutung, weil bereits kleinste Leckagen zu einem bedeutenden Zustrom von Bodenluft und Radon führen können. Diese Abdichtungsmaßnahmen umfassen sowohl die gasdichte Abdichtung des Anschlusses von Rohrdurchführungen zum Mauerwerk, aber auch die häufig unterschätzten, freibleibenden Wegsamkeiten innerhalb der, durch die Leitungen nur teilgefüllten Leerrohre. Auch wenn diese nur einen kleinen Durchmesser besitzen, können Sie unsachgemäß abgedicht, bedeutende Radonmengen in das Gebäude liefern.

4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, sollten z.B. dunkelgraue tertiäre Mergel oder verkarstete Kalksteine und Mergel durch die Gründung angeschnitten werden, dann wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Solange detaillierte Pläne zum Gründungsaufbau nicht vorliegen, ist obiger Massnahmenkatalog als allgemeine Empfehlung zu betrachten. Sollten spezielle Gebäudegründungen, die obige Empfehlungen nicht erfüllen, geplant sein, können spezifische Massnahmen nach Vorliegen der Gründungs- bzw. Gebäudepläne erarbeitet werden, um einen optimierten Wirkungs-/Kosteneffekt bei der Radonprävention zu erreichen.

GeoConsult Rein  


Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein  
Gartenstraße 26-28  
55276 Oppenheim  
06133-9242-41  
www.geoanalysis.eu

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

Oppenheim, 26.06.2018