

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Neubebauung Am Rodelberg 21
in Mainz

Projektnummer 20171026_Rn222_MZR

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Projektgesellschaft WTR GmbH & Co. KG
Hechtsheimer Str. 37
55131 Mainz

30. November 2017

GLIEDERUNG	2
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. Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	9
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	12
7. Laborergebnisse	13
7.1 Bodenfeuchte	13
7.2 Gaspermeabilität	14
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	14
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	19
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmesspunkten.	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum <i>Am Rodelberg 21</i> in Mainz.	18
Abbildung 6	Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	12
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	13
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	20
Tabelle 4	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet)	23

1. Auftrag

Die Projektgesellschaft WTR GmbH & Co. KG Hechtsheimer Str. 37, 55131 Mainz beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für die Neubebauung des Grundstückes *Am Rodelberg 21* in Mainz.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Lageplan „Am Rodelberg 21“ (Vermessungsbüro Neuroth M 1:1000, 16.11.2016)
- /2/ Geo-/Umwelttechnischer Bericht (ITUS, 28.11.2013/23.07.2014)
- /3/ Rodelberg_Praesentation_PH__2_BLATT_1-4 (Architektenwettbewerb)
- /4/ LANIS RLP
- /5/ Geologische Karte RLP GK25 6015 (LGB - damals Landesamt f. Geologie 1989)
- /6/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /7/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen MZ-Marienborn und Oppenheim
- /8/ 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 Radonraumluft um 100 Bq/m^3 . Bei einer Rn222-Raumluftkonzentration von 800 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

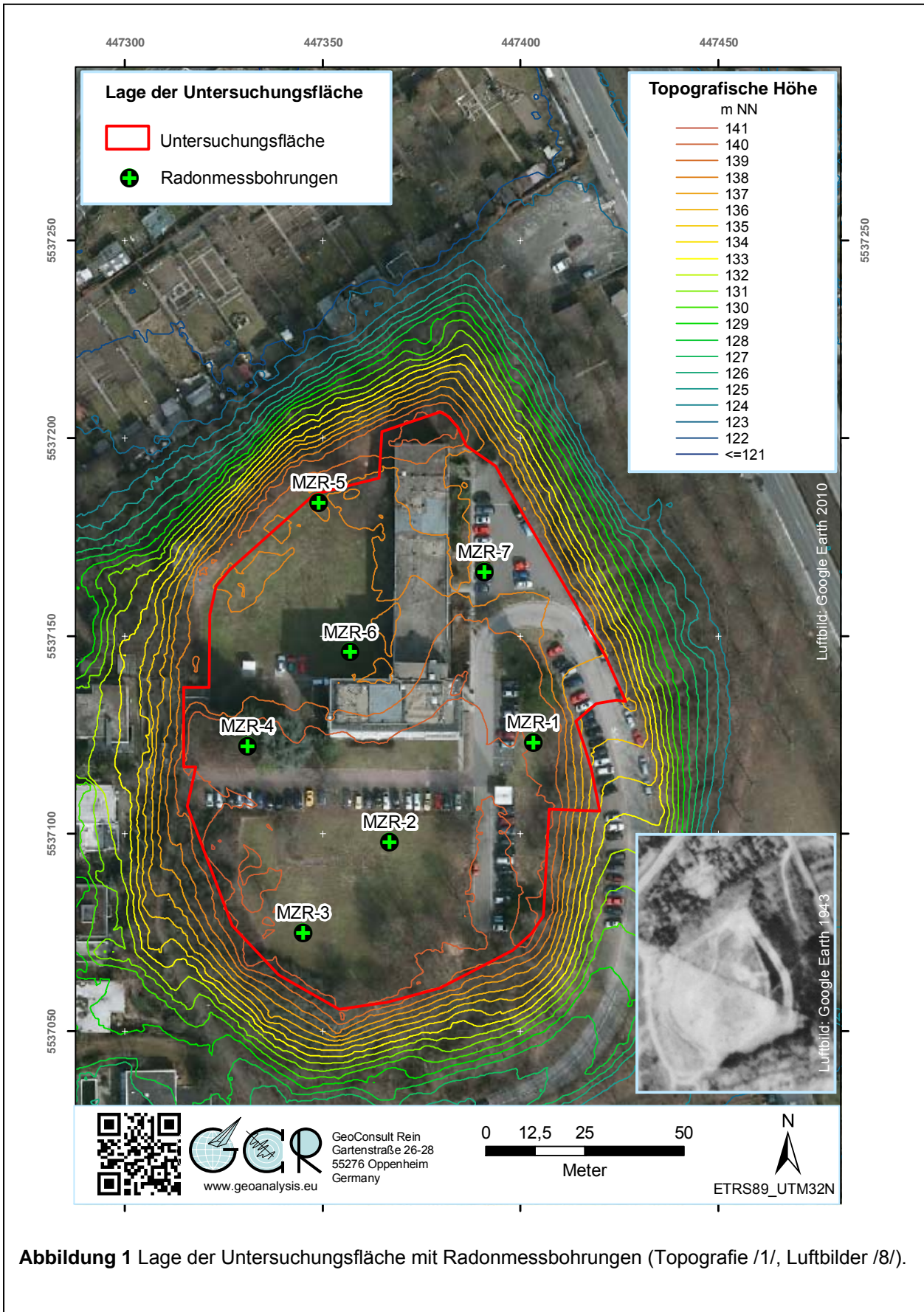
Das Thema Radon wird in naher Zukunft neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie gewinnen. Radonsanierungsmassnahmen kosten in der Regel das Mehrfache von Radonpräventionsmassnahmen.

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 Bq/m³ vorsieht. Den EU-Mitgliedstaaten bleibt es überlassen bis spätestens 1.1.2018 gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb 300 Bq/m³ 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 Bq/m³ festgelegt wurde. Der Gesetzgeber folgt damit nicht den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation, die einen Referenzwert von 100 Bq/m³ 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 liegt in städtischer Randlage auf einem wahrscheinlich bereits in den 1930er Jahren /2/ aufgeschütteten Hügel (vgl. Luftbild Dez. 1943 in Abb. 1), der das umgebende natürliche Geländeniveau (122 m NN) um bis zu 18 Meter überragt /1/. Die Aufschüttungsmassen entstammen wahrscheinlich unterschiedlichen Verkehrswegeprojekten im Mainzer Raum /2/. Entsprechend vielfältig sind die meist bindigen Aufschüttungen /2/. Die topografische Höhe des zweigestuften Plateaubereiches beträgt 137-138 m NN im nördlichen Teil und 140 m im südlichen Teil. Die Flächennutzung zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht mit Ausnahme eines Teils des Bereiches zwischen den Bohrpunkten MZR-05 und MZR-06 der Situation im Luftbild (Stand 2010, in Abbildung 1). Der Bereich zwischen MZR-05 und MZR-06 ist zum Teil vegetationslos und wurde vorübergehend als Containerbüro-Standort genutzt. Die Container waren zum Zeitpunkt der Radonmessungen bereits zurückgebaut.



5. Vorgehen

Vom Auftraggeber wurden topografische Daten und Katasterkarten als DWG-Dateien zur Verfügung gestellt /1/. Als weitere Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurden die Geo- und Umwelttechnische Berichte von ITUS /2/ und die Planskizzen des Architektenwettbewerbs /3/ genutzt.

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

Die GPS-Koordinaten, der zur Kontrolle vermessenen Grundstückseckpunkte bestätigen und belegen eine ausreichende Lagegenauigkeit mit oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Untersuchungsfläche 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 Radonmessbohrungen wurden am 26.10.2017 mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. 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 unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. Über das Sondenvolumen hinausgehende 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 (100/105 - 110/115 cm), sowie des Oberbodens erfolgten am 9. November 2017. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 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 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).

Die gemessenen Impulsraten liegen in einem weiten Wertebereich zwischen 71 und 128 Impulsen pro Sekunde. Die höchsten Strahlungswerte wurden unter der südlichen Parkplatzfläche gemessen und sind mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Materialien des Pflasterbettes verursacht.

Ansonsten schwanken die Gammastrahlungsaktivitäten nahezu regellos, passend zu der Aufhaldungsgeschichte mit unterschiedlichsten regionalen Materialien.

Gammastrahlungsaktivitäten, die einer genaueren Untersuchung bedurft hätten wurden nicht gefunden.

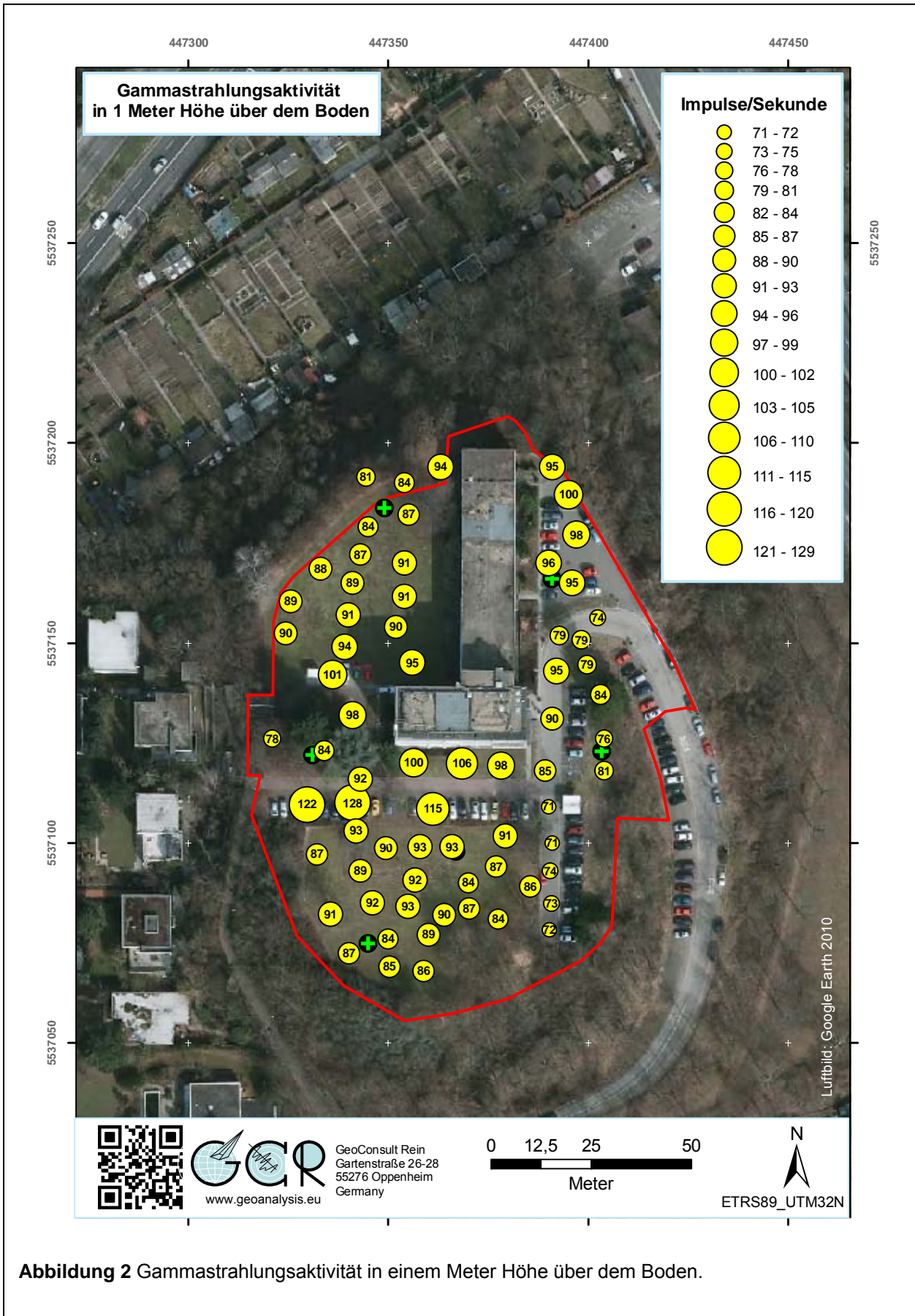


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Die Aufhaldung der Untersuchungsfläche liegt gemäß der geologischen Karte GK25 6015 (1989) /5/ über den miozänen Hydrobienschichten. Aufgrund der Mächtigkeit der Aufschüttungen und deren überwiegend bindiger Konsistenz ist nicht zu erwarten, dass Radon aus den Hydrobienschichten bis in das Gründungsniveau der Bauvorhaben aufsteigen kann.

Die Radonmessbohrungen haben den in Tabelle 1 beschriebenen Aufbau der Auffüllungen ergeben.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
			Tiefenbereich	Stratigraphie / Beschreibung
MZR-01	447403	5537123	0-50 50-110	fS, u', gs'', dunkelbraun fS, gs', ms'', fahlbraun, karbonatreich
MZR-02	447367	5537098	0-40 40-60 60-110	U, fs, gs'', braun U, fs, gs, x, graubraun U, fs, ms'', gs'', fahlbraun, karbonatreich
MZR-03	447345	5537075	0-30 30-104 104-110	U, s, braun U, s, fahlbraun, karbonatreich U, olivgrau
MZR-04	447331	5537122	0-64 64-84 84-110	Mu (uS), x, graubraun sU, fahlbraun uS, hellbraun
MZR-05	447349	5537184	0-25 25-55 55-95 95-102 102-110	Mu (S), dunkelgraubraun X (Bauschutt) S/U, g, x, gräulich fS X (Kalksteinbrocken)
MZR-06	447357	5537146	0-38 38-110	Mu (uS), x, graubraun X/L/S, mergelig, grau bis gelblich bis weiß melangiert
MZR-07	447391	5537166	0-10 10-80 80-110	Asphalt Bauschutt mit Mergel Mergel mit Kalksteinchen

Wie erwartet gleicht keine Bohrung einer anderen und dies spiegelt die heterogene Zusammensetzung der Aufschüttungen wieder. Es kann deshalb auch nicht garantiert werden, dass alle oberflächennahen Substrattypen durch die Messbohrungen erfasst wurden.

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 %)			
				95-105 / 105-110 cm		10-15 cm	
				26.10.17	09.11.17	26.10.17	09.11.17
MZR-01	447403	5537123	105/110	11,9	12,3	9,0	18,2
MZR-02	447367	5537098	105/110	20,2	16,2	13,9	21,1
MZR-03	447345	5537075	105/110	20,2	15,5	9,8	18,0
MZR-04	447331	5537122	105/110	6,3	10,7	8,1	16,8
MZR-05	447349	5537184	105/110	9,9	12,9	11,6	18,5
MZR-06	447357	5537146	105/110	25,1	29,5	13,8	19,6
MZR-07	447391	5537166	105/110	23,6	24,2	7,2	8,5

Die Böden waren zu Beginn und Ende der Radonmessungen in einem Meter Tiefe ausreichend feucht. Eine Ausnahme bildet die unter hohen Bäumen gelegene Bohrung MZR-04. Auffallend gering ist auch die Bodenfeuchte in MZR-05, allerdings lediglich verursacht durch den hohen Steineanteil. Aufgrund der Bodenfeuchte im Umfeld der Messsonden muss lediglich für MZR-04 eine eingeschränkten Emanationsrate angenommen werden.

Die Bodenfeuchte in 30-40 cm Tiefe entsprach bereits der in 1 Meter Tiefe, sodass geringere oberflächennahe Bodenfeuchten, wie durch die Proben aus 10-15 cm Tiefe dokumentiert, nicht zu erhöhten Exhalationsraten und einer hygrisch bedingten Absenkung der Radonkonzentration geführt haben.

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 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 sehr unterschiedlichen Auffüllungen überstreichen die an den Bohrpunkten festgestellten Gaspermeabilitäten (Tab. 3) 4 Größenordnungen (entspricht einem Faktor von 10000). Sie sind damit in den niedrig gasdurchlässigen Mergeln (MZR-07, $1E-14 \text{ m}^2$) um den Faktor 20000 geringer als in den hoch gaspermeablen ($2E-11 \text{ m}^2$) sandig/steinigen Substraten der Bohrungen MZR-01 und MZR-05.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Mainz-Marienborn /7/ (153 m ü NN) liegt östlich des Siedlungsrandes von Mainz-Marienborn und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände. Die Entfernung zu der nordöstlich von der Wetterstation gelegenen Untersuchungsfläche beträgt 3,45 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 3-4 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 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.

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An den Wetterstationen sind die zeitlichen Änderungen (Witterungsverläufe; nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen und –amplituden bzw. -gradienten sehr ähnlich.

Die Niederschläge waren nach Menge und Niederschlagsverteilung in den beiden Wochen vor Beginn der Radonmessungen mit 1, 8 Liter Regen pro Quadratmeter in Marienborn und 1,9 Liter Regen pro Quadratmeter in Oppenheim nahezu identisch und sehr gering. Innerhalb der Radonmessperiode am Rodelberg fielen an beiden Wetterstationen ebenfalls vergleichbare Regenmengen (Marienborn 25 l/m², Oppenheim 21,1 l/m²) (Abb. 3-4). Auch die zeitliche Verteilung, sogar die zweigipfelige Ausprägung der Starkniederschläge am 5. November waren ähnlich. Die Behinderung der Radonexhalation durch potentiell temporär Oberboden-versiegelnde Niederschläge am 5. November war somit in Mainz und Oppenheim vergleichbar (vgl. Abb. 5).

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

Abbildung 5 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.

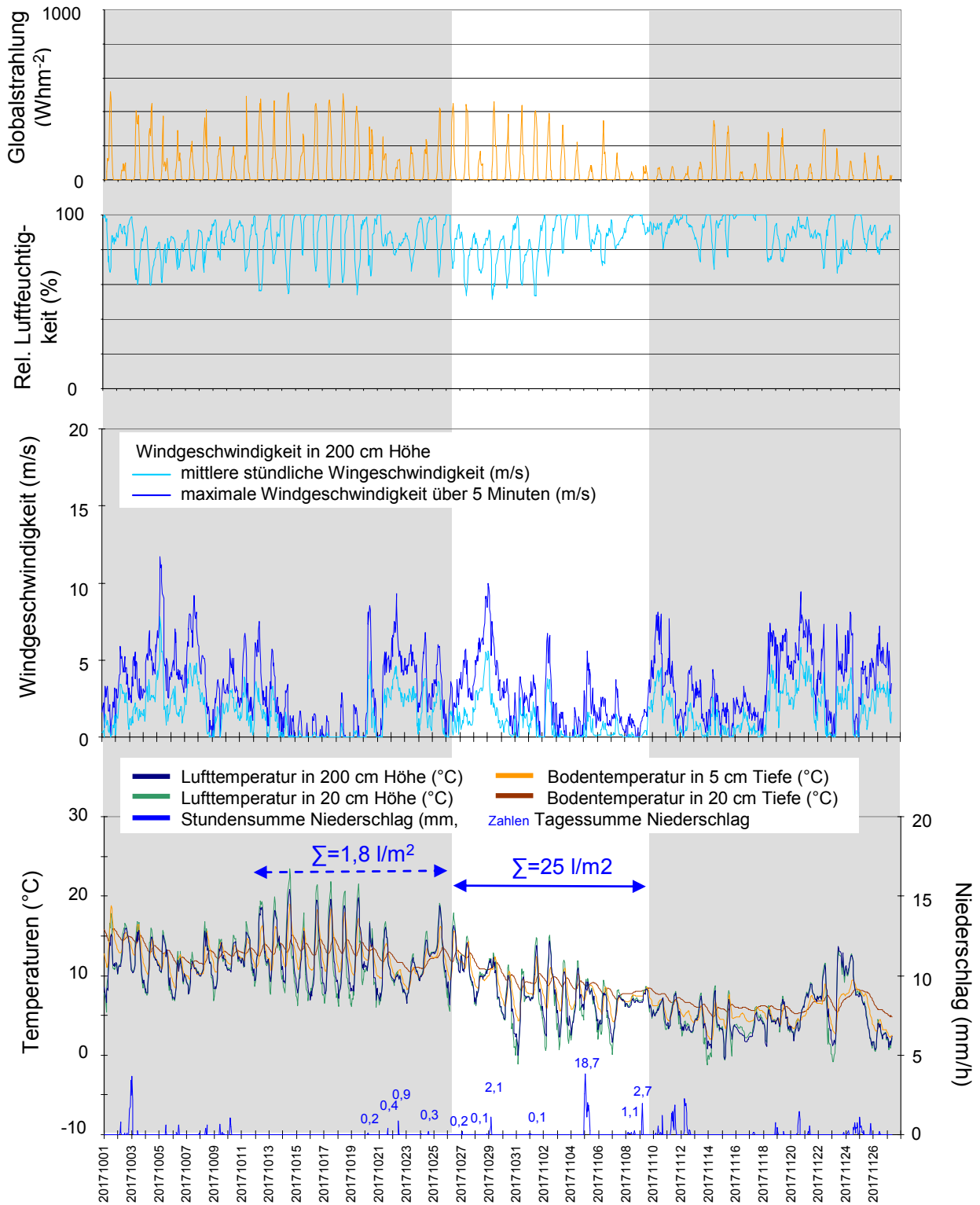


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn (Quelle: DLR RLP).

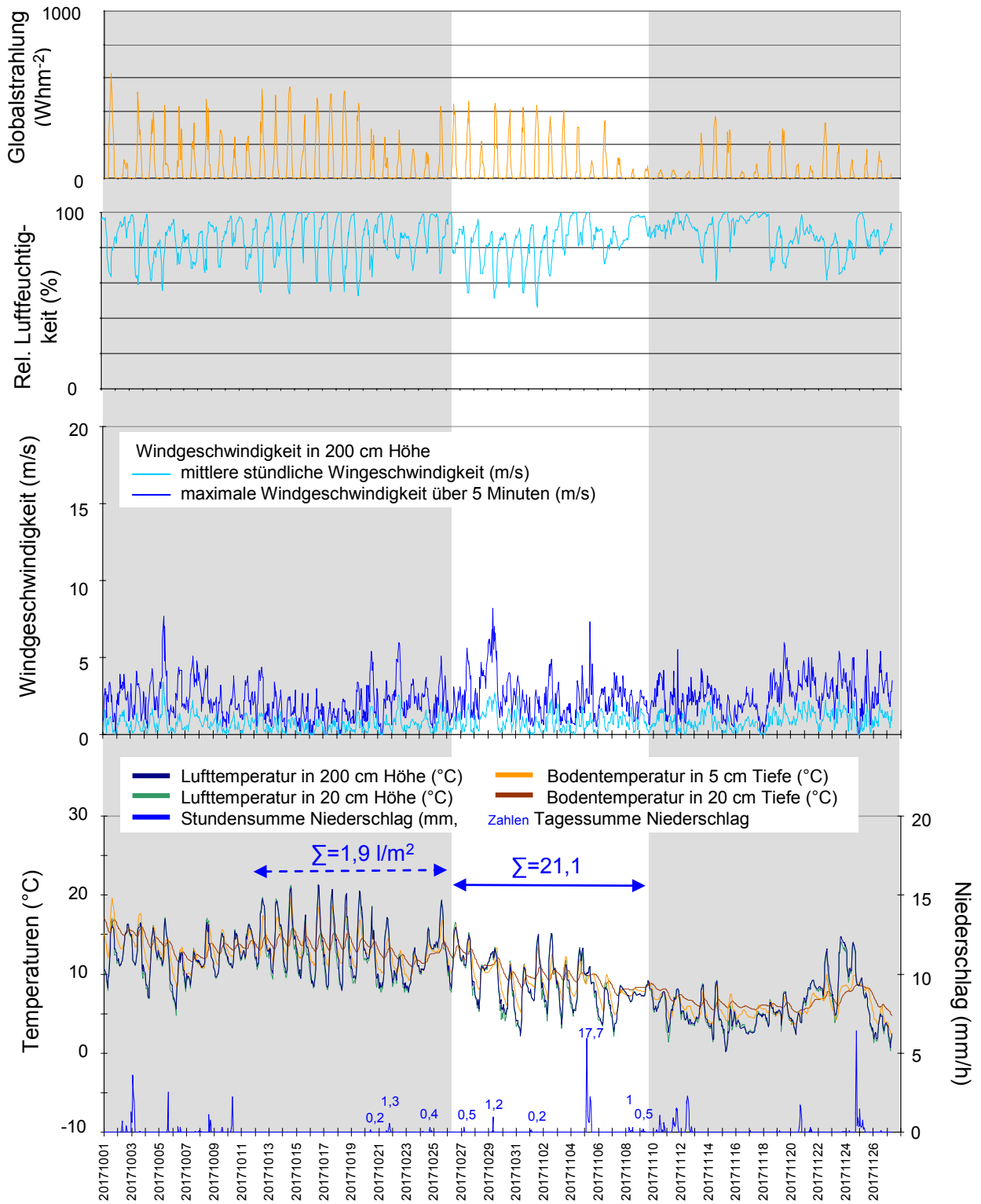
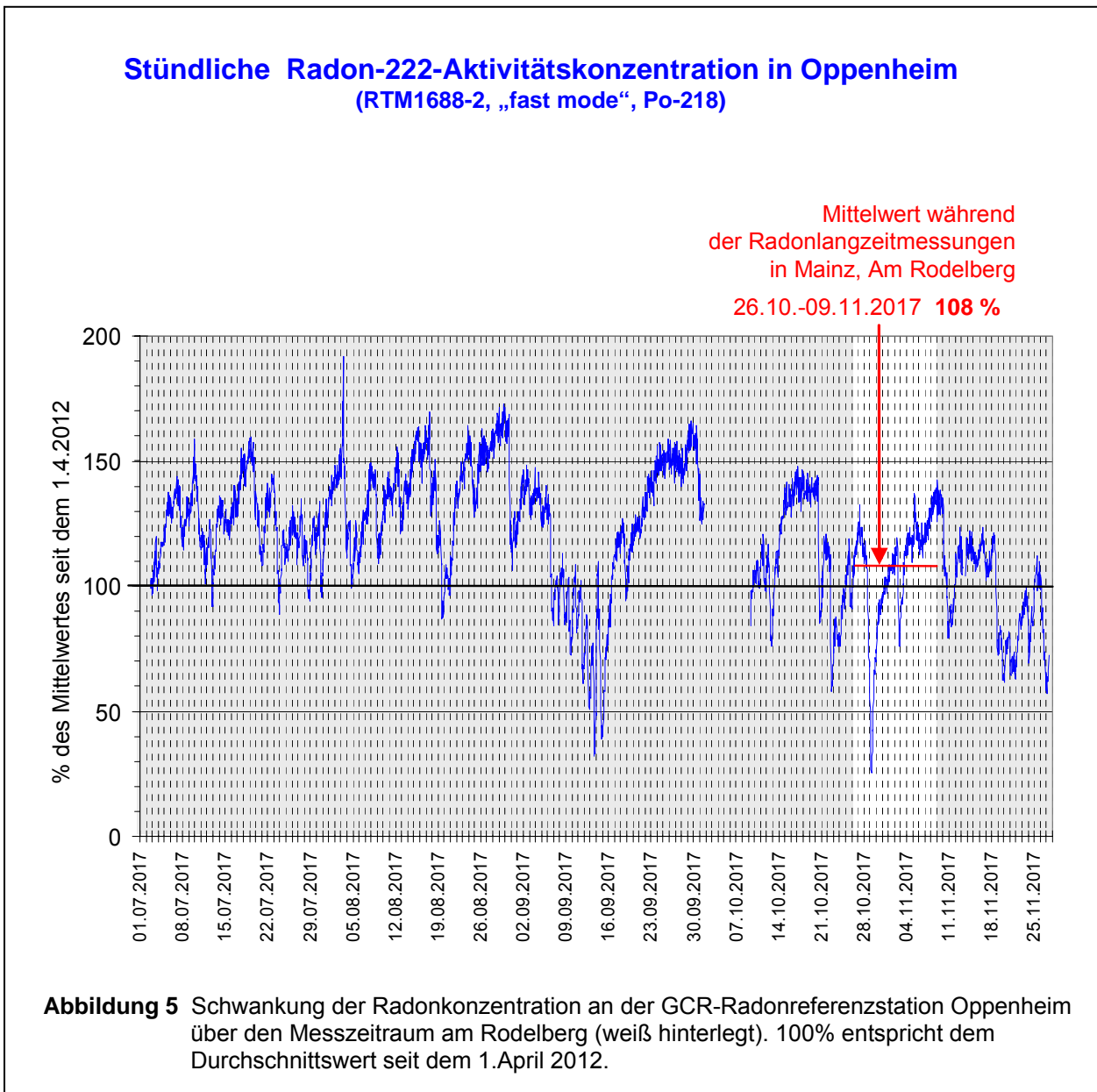


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).



Für die Untersuchungsfläche auf dem Rodelberg kann aufgrund der ähnlichen Witterung und ähnlicher Bodenfeuchte der Böden eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen angenommen werden.

Innerhalb der Messperiode am Rodelberg wurden an der Referenzstation Schwankungen der Radonkonzentration zwischen 25% und 143% des langfristigen Mittelwertes gemessen. Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 108% des mehr als 5-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im Oktober/November 2017

somit 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 6 dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 14 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem Aktivitätskonzentrationsbereich von $16,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $34 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma) (Tab. 3).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten ermäßigten Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn \text{ wk}}$) mit Werten zwischen $15,1 \pm 20\%$ bis $31,6 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma).

Für den Messstandort MZR-04 wurde in Kapitel 7.1 festgestellt, dass die Emanationsrate in der trockenen Messumgebung der Sonde wahrscheinlich unterdurchschnittlich war. Aufgrund der Höhe der dort gemessenen Konzentration ist aber nicht zu befürchten, dass dieser Standort aufgrund der geringeren Emanationsrate einer höheren Vorsorgeklasse zugeordnet werden müsste.

Die Radonverfügbarkeit im Baugrund ist im wesentlichen von drei Faktoren abhängig

- der Radonkonzentration im Boden,
- der Gasdurchlässigkeit des Bodens,
- dem Unterdruck den das Gebäude im Baugrund erzeugt.

Durch diese Untersuchungen liegen Erkenntnisse zu den beiden ersten Faktoren vor, die zur Berechnung von Radonverfügbarkeitsindizes genutzt werden können. Bei den auf der Untersuchungsfläche festgestellten hohen Gasdurchlässigkeiten wird hier der Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck angewandt, bei moderaten bis niedrigen Gaspermeabilitäten die Radonzahl von Slunga.

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

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma -95,45%)		Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C _{Rn} +/-20%	C _{Rn} wk +/-20%		Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C _{Rn} Rna C _{Rn} wk Rna C _{Rn} wk +20%	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C _{Rn} RVI C _{Rn} wk RVI C _{Rn} wk +20%
		Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³	Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³			Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³
MZR-01	26.10.- 09.11.17	16,2 13 – 19,5	15,1 12 – 18,1	2E-11		3,25E-07 3,01E-07 3,61E-07
MZR-02	26.10.- 09.11.17	31,5 25,2 – 37,7	29,2 23,3 – 35	1E-13	1,58 1,54 1,62	
MZR-03	26.10.- 09.11.17	28,5 22,8 – 34,2	26,4 21,1 – 31,7	2E-13	1,56 1,52 1,60	
MZR-04	26.10.- 09.11.17	23,4 18,7 – 28,1	21,7 17,4 – 26,1	1E-13	1,45 1,42 1,50	
MZR-05	26.10.- 09.11.17	25,6 20,5 – 30,8	23,8 19 – 28,5	2E-11		5,13E-07 4,76E-07 5,71E-07
MZR-06	26.10.- 09.11.17	19,4 15,5 – 23,3	18 14,4 – 21,6	5E-12		9,70E-08 9,00E-08 1,08E-07
MZR-07	26.10.- 09.11.17	34,0 27,2 - 40,9	31,6 25,3 – 37,9	1E-14	1,53 1,50 1,58	

* wk witterungskorrigiert (approximiert);

RVK 0	Keine Radonschutzmassnahmen erforderlich
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar

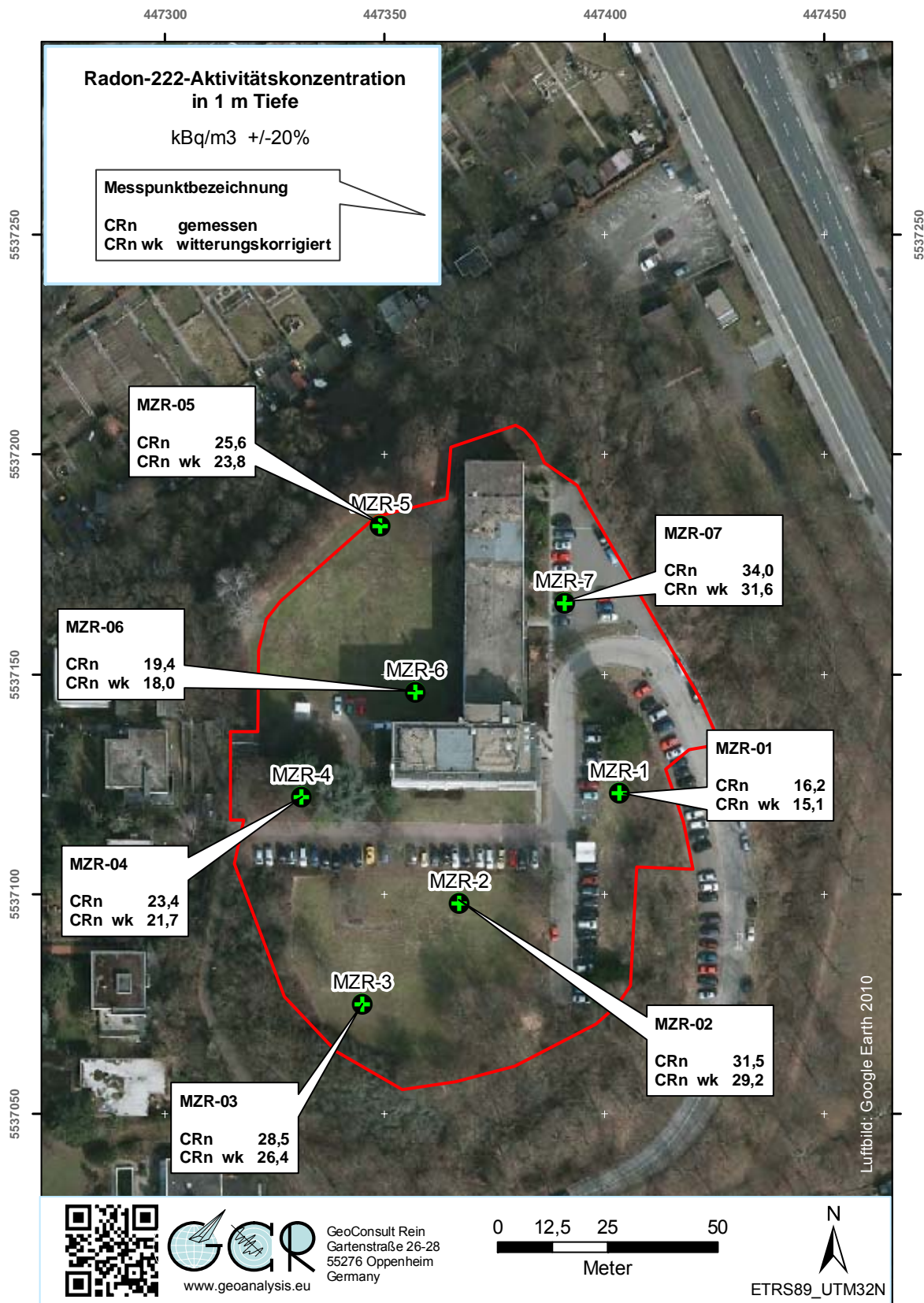


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.

Aufgrund der Radonkonzentration ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von $<400 \text{ Bq/m}^3$ in Innenräumen eine heterogene Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK 0 und RVK I (Tab. 4).

Durch die Indizes für die Radonverfügbarkeit, die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachtet und bei einem Zielwert von 250 Bq/m^3 (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte), ergibt sich wegen der stark unterschiedlichen Gaspermeabilitäten der Auffüllungen eine einheitliche Eingruppierung der Radonmesspunkte in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK I. Der Zielwert der Klassifikation von 250 Bq/m^3 liegt knapp unter den Mindestanforderungen 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.

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem 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 sieht eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe vor. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Dazu fehlt allerdings noch die Datenbasis. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m^3 in

Innenräumen) als von der EU seit 2013 und jetzt auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m^3) als Bemessungsgrundlage verwandte.

Tabelle 4 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet, bisher ohne Ersatz).

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration $<400 \text{ Bq/m}^3$)	Radonaktivitätskonzentration ($\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	$<20 \text{ kBq/m}^3$ ($<20\,000 \text{ Bq/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	$>20 - 40 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	$>40 - 100 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	$>100 \text{ kBq/m}^3$

Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht dagegen auf einem Zielwert von maximal 250 Bq/m^3 in der Raumluft.

Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise. Eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser oder vergleichbar energieeffiziente Gebäude, in denen die Radonkonzentration bei unsachgemäß eingestellter Lüftung („Nachregeln“ durch Bewohner) das Mehrfache dessen in Häusern konventioneller Bauart erreichen kann, liegt bisher nicht vor.

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. Durch diese differenzierte Betrachtung konnte begründet vermieden werden, dass der Messstandpunkt MZR-05 aufgrund einer sehr vereinfachten Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz höhergruppiert (Böden hoher Gaspermeabilität) und zu Radonvorsorgegebietsklasse RVK II wird.

Aufgrund der vorgenannten Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen werden für das Baugebiet Radonpräventionsmassnahmen gemäß der **Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I) empfohlen.**

Empfehlung - Präventivmassnahmen in einen **Radonvorsorgegebiet RVK I** umfassen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: ≥ 20 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 andere als hier oder im Geotechnischen Bericht /2/ beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Solange Gründungspläne nicht vorliegen, ist obiger Massnahmenkatalog als allgemeine Empfehlung zu betrachten. Welche Radonpräventionsmassnahmen davon am konkreten Bauprojekt umgesetzt werden sollten, bzw. durch welche anderen

Massnahmen ein kostengünstigerer und gleichermaßen effektiver Radonschutz erreicht wird, kann nach Vorliegen der Pläne abgestimmt 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, 30.11.2017