Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL Weidmannstraße (O68), Mainz,
Projektnummer 20160603_Rn222_WMS

GeoConsult Rein

Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

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

Auftraggeber:

Stadtverwaltung Mainz
Grün- und Umweltamt – Amt 67
Postfach 3820
55028 Mainz

20. Juli 2016

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	7
6.	Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1.	Gammastrahlungsaktivität	10
6.2.	Geologie und Böden der untersuchten Flächen	12
7.	Laborergebnisse	12
7.1	Bodenfeuchte	12
7.2	Gaspermeabilität	13
7.3	Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	14
7.4	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	18
8.	Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	21

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmesspunkten	**8**
Abbildung 2	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn	**15**
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	**16**
Abbildung 4	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz (O68)	**17**
Abbildung 6	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen der Radonmessbohrungen in einem Meter Tiefe.	**20**

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	**11**
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	**12**
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	**19**
Tabelle 4	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	**21**

1. Auftrag

Die Stadtverwaltung Mainz beauftragte 10 Radonmessungen auf vorgegebenen Grundstücken mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan „Weidmannstraße (O68)" in der Mainzer Oberstadt.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Bebauungsplan „Weidmannstraße (O68)" und Beschreibung in Angebotsanfrage
- /2/ Geologische Karte GK25 6015 (1989) Mainz
- /3/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Mainz-Marienborn und Oppenheim
- /4/ 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.

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 festsetzten.

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 Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte

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

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/m^3 vorsieht. Den EU-Mitgliedstaaten bleibt es überlassen bis spätestens 1.1.2018 gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb 300 Bq/m^3 festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen. Bis zur Umsetzung in nationales Recht gilt die EU-Richtlinie.

Im Bereich von öffentlich zugänglichen Gebäuden und Arbeitsplätzen greift dieser Wert über die Arbeitsstättenschutzverordnung, im Bereich privaten Wohnungsbaus wird spätestens bei Vermietung und Verkauf einer Immobilie diese Regelung zum Tragen kommen. Radonprävention schützt deshalb nicht nur die Gesundheit der Gebäudenutzer, sondern sichert auch den Werterhalt der Immobilie.

Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von 100 Becquerel/m³. Ob dieser in nationales Recht umgesetzt wird, oder die Mindestanforderung der EU ist noch offen.

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die zu untersuchende Fläche (Abb. 1) hat eine Größe von 10,1 Hektar /1/. Das Wohngebiet in innerstädtischer Lage ist bereits bebaut. Im Bereich Weidmannstraße findet sich eine lockere städtebauliche Struktur mit hohem Grünflächenanteil, mit freistehenden Einfamilienhäusern, Reihenhäusern und Mehrfamilienhäusern im nördlichen Teil /1/, entlang des Stiftwingert.

Die Reliefunterschiede im Bebauungsplan sind gering, die Fläche ist fast eben und liegt bei einer mittleren topografischen Höhe von 117 mNN.

Aufgrund der innerstädtischen Lage und der Bebauung im Baugebiet ist die Lage als windgeschützt zu bezeichnen.

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde ein vom Auftraggeber zur Verfügung gestellter Bebauungsplan genutzt, der mit Hilfe von Flurstückeckpunkten für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert wurde (ETRS89 UTM32N).

Die Anzahl und Lage der Radonmesspunkte waren vom Auftraggeber wegen der Betretungsrechte Grundstück-genau vorgegeben

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

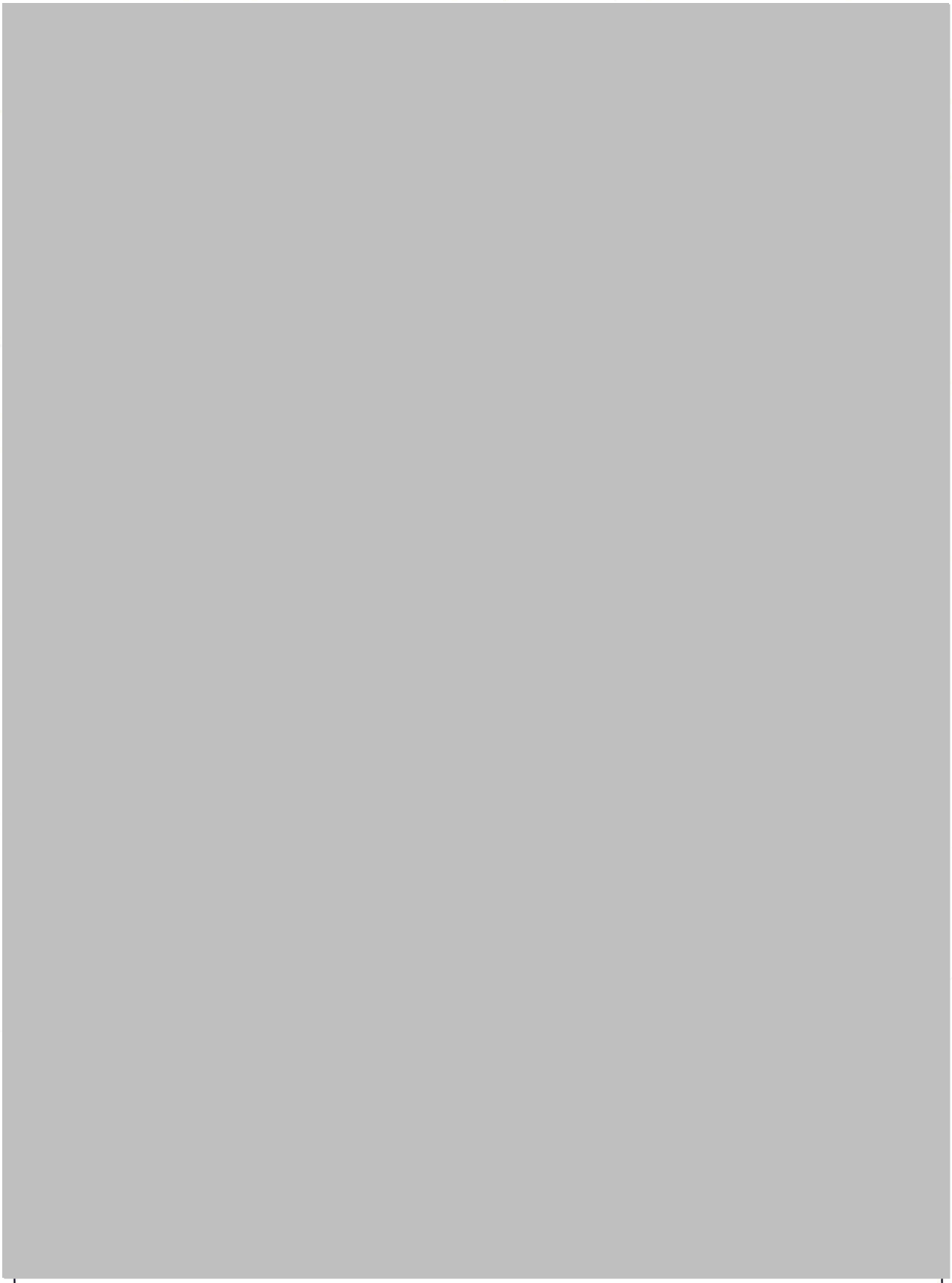

Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen.

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

Die Untersuchungsfläche wurde am 29. Juni bzw. am 1. Juli 2016 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf natürliche Gesteinswechsel, anthropogene Auffüllungen oder durch tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden am 09.06.2016 mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe erfolgte 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. Die Weiterentwicklungen betreffen vor allem den Feuchteschutz der Exposimeter.

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

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. 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, sowie des Oberbodens erfolgten am 1. Juli 2016. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 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 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) beeinflusste 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 µSv/h.

Die Gammastrahlungsmessungen erfolgten nicht auf den Privatgrundstücken, weil dort die Umzäunungen Profilstrecken unmöglich machten. Stattdessen wurde entlang der Straßen gemessen. Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem niedrigen Wertebereich von 81 – 110 Impulsen pro Sekunde (IPS). Die relativ weit Spanne der Gammastrahlungsaktivitäten und deren kleinräumige Variabilität ergibt sich aus den anthropogenen Aufbringen zum Straßen und Trottoirbau.

Für die Interpretation bedeutsame Anomalien wurden im Zuge dieser Messungen nicht gefunden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Aufgrund der bereits bestehenden Bebauung ist der Großteil der Fläche von Verfüllungen aus der letzten oder eventueller historischer Bauphasen bedeckt. Nachweislich natürliche Bodenhorizonte wurden in keiner der Radonmessbohrungen angetroffen. Gemäß der geologischen Karte GK25 6015 (Blatt Mainz) von Rheinland-Pfalz /2/ liegt die Untersuchungsfläche im Bereich älterer Rheinterrassen auf Gesteinen der Wiesbaden-Formation (Hydrobienschichten). Nach Mitteilung des

Auftraggeber ist der Auffüllungshorizont etwa 1 Meter mächtig und Löß bedeckt z.T. in 2-3 Meter Mächtigkeit die Gesteine des Kalktertiär.

Der in den Radonmessbohrungen angetroffene Bodenaufbau ist in Tabelle 1 dokumentiert.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
WMS-01	448689	5537344	0-48 48-110	U, z.T. sandig sU, zur Tiefe weniger sandig bis U, vereinzelt G, hellbraun-braun
WMS-02	448636	5537332	0-40 40-75 75-85 85-90 90-105	sU, mittelbraun bis graubraun, vereinzelt X uS, mittelbraun, vereinzelt X l`S, mittelbraun-gelblich, vereinzelt X l`S, mittelbraun-gelblich Kalksteine (hell) in u´S (gelbl-braun-weiß)
WMS-03	448521	5537362	0-60 60-80 80-105	Wechsellagerung uS-sU (Auffüllung) Bausand mit X (Auffüllung) uS, gelbbraun mit Bauschutt (Auffüllung)
WMS-04	448675	5537431	0-35 35-65 65-83 83-102	S, mittelbraun S, u-u´, graubraun, Industrieschlacken (Auffüllung) sU, hellbraun, mit Holzkohle und Lößkindl an Basis sU, gelbbraum mit Kalkstein + rotem Sandstein (Auffüllung)
WMS-05	448484	5537463	0-25 25-70 70-100 *60-70*	uS, graubraun uS, gelbbraun bis graubraun S, gelb *mit Hohlräumen*
WMS-06	448577	5537435	0-10 10-50 50-80 80-110	Häcksel und Sand (Auffüllung) u´S, mit rotem Sandstein (Auffüllung) U, mit Wurzelresten (Auffüllung) U, in-situ (wahrscheinlich)
WMS-07	448713	5537533	0-30 30-65 65-105	S, graubraun-gelblich S, mit G, gelblich braun S, mit G, graubraun-gelblich braun, z.T. grau
WMS-08	448513	5537562	0-50 50-90 90-110	u´S, braun u´S, rotbraun-mittelbraun, mit Kalksteinchen u´S, heller, mehr Kalksteine, z.Z. dünne U-Lagen
WMS-09	448434	5537537	0-100	S+X (Auffüllung)
WMS-10	448583	5537567	0-40 40-110	S, graubraun S, mittelbraun mit weißen Flecken, Kalksteinchen

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 Radonverteilungs-ungleichgewichtes 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	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
			90-100 / 100-110 cm		10-15 cm	
			09.06.16	01.07.16	09.06.16	01.07.16
WMS-01	448689	5537344	13,1	16,1	17,7	15,2
WMS-02	448636	5537332	12,6	13,5	16,7	18,5
WMS-03	448521	5537362	7,4	12,3	17,2	14,7
WMS-04	448675	5537431	12,5	13,1	10,1	12,2
WMS-05	448484	5537463	6,8	10,6	16,7	17,2
WMS-06	448577	5537435	14,7	18,3	18,1	12,2
WMS-07	448713	5537533	9,3	15,8	9,4	12,9
WMS-08	448513	5537562	11,9	13,9	16,4	18,6
WMS-09	448434	5537537	9,5	13,6	17,0	16,9
WMS-10	448583	5537567	9,7	12,2	10,7	9,6

Die Bodenproben waren zu beiden Probennahmezeitpunkten von der Oberfläche bis in einen Meter Tiefe durchgängig mäßig feucht bis feucht (Tab. 2). Die niedrigsten Bodenfeuchten korrelieren dabei z.T. mit höheren Steinanteilen in der Probe.

Aufgrund der Bodenfeuchte während der Radonmessungen sind weit unterdurchschnittliche Emanationsraten ausgeschlossen. Für die Bohrung WMS-07 muss aber wegen der geringeren Bodenfeuchte eine höhere Radonexhalationsrate als für die anderen Bohrungen angenommen werden.

7.2 Gaspermeabilität

Die Gaspermeabilität ist eine wichtige Größe zur Abschätzung der Radonverfügbarkeit im Untergrund. Die Radonkonzentration ist ein Maß für die im Untergrund pro Raumeinheit anstehende Radonmenge. Die Gaspermeabilität gibt dagegen Auskunft darüber wie groß das potentielle Einzugsgebiet ist, aus dem Radon in Richtung des Gebäudes strömen und dieses erreichen kann. Niedrige Radonkonzentrationen, aber hohe Gasdurchlässigkeit (Kiese/Steine/Sande) im Untergrund können zu höheren Radonkonzentrationen im Gebäude führen als in solchen Gebäuden, die auf gasdichtem Untergrund (sehr feinkörnige Böden → Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume und 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 auf der Fläche angetroffenen steinigen/kiesigen Sanden und Sanden und Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten bei Werten von k= 10^{-10} m^2 bis 10^{-13} m^2 (Tab. 3). Die Böden sind gut (steinig/kiesige Sande, Sande) bis mäßig (Schluffe, sandige Schluffe, schluffige Sande) gasdurchlässig. Wegen der heterogenen Auffüllungen schwankt die Gasdurchlässigkeit lateral und vertikal in Abhängigkeit von dem verwendeten Auffüllmaterial.

In der Radonmessbohrung WMS-04 ist aufgrund der Korngrößenverteilung eine Zunahme der Gaspermeabilität zur Oberfläche gegeben, in WMS-05 eine Abnahme derselben. In allen anderen Bohrungen ist keine ausgesprochene Änderung der Gaspermeabilität mit der Tiefe zu verzeichnen.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Mainz-Marienborn (153 m ü NN) liegt 4,4 km südwestlich von der Untersuchungsfläche (117 m NN). Die Wetterstation liegt östlich des Siedlungsrandes und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände. Die Untersuchungsfläche des Bebauungsplanes liegt wegen der Überbauung und des Vegetationsbestandes in windgeschützterer Lage als die Wetterstation

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 2 und 3 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 beiden Wetterstationen sind die Verläufe der Lufttemperaturen vergleichbar. Die Bodentemperaturen weisen an der Wetterstation Oppenheim aufgrund der Exposition einen stärker ausgeprägten Tagesgang aus, die oberflächennahen Bodentemperaturen liegen z.T. deutlich über den Lufttemperaturen. Ähnliche Temperaturgänge der Bodentemperatur wie an der Wetterstation Oppenheim sind an der eben und schattig gelegenen Radonreferenz von GCR (s.u.) sicher nicht gegeben.

Die Windgeschwindigkeiten sind an der Station Mainz-Marienborn aufgrund der windoffeneren Lage höher als in Oppenheim, obwohl die generelle zeitliche Verlauf der Änderungen der Windgeschwindigkeit beider Stationen ähnlich ist.

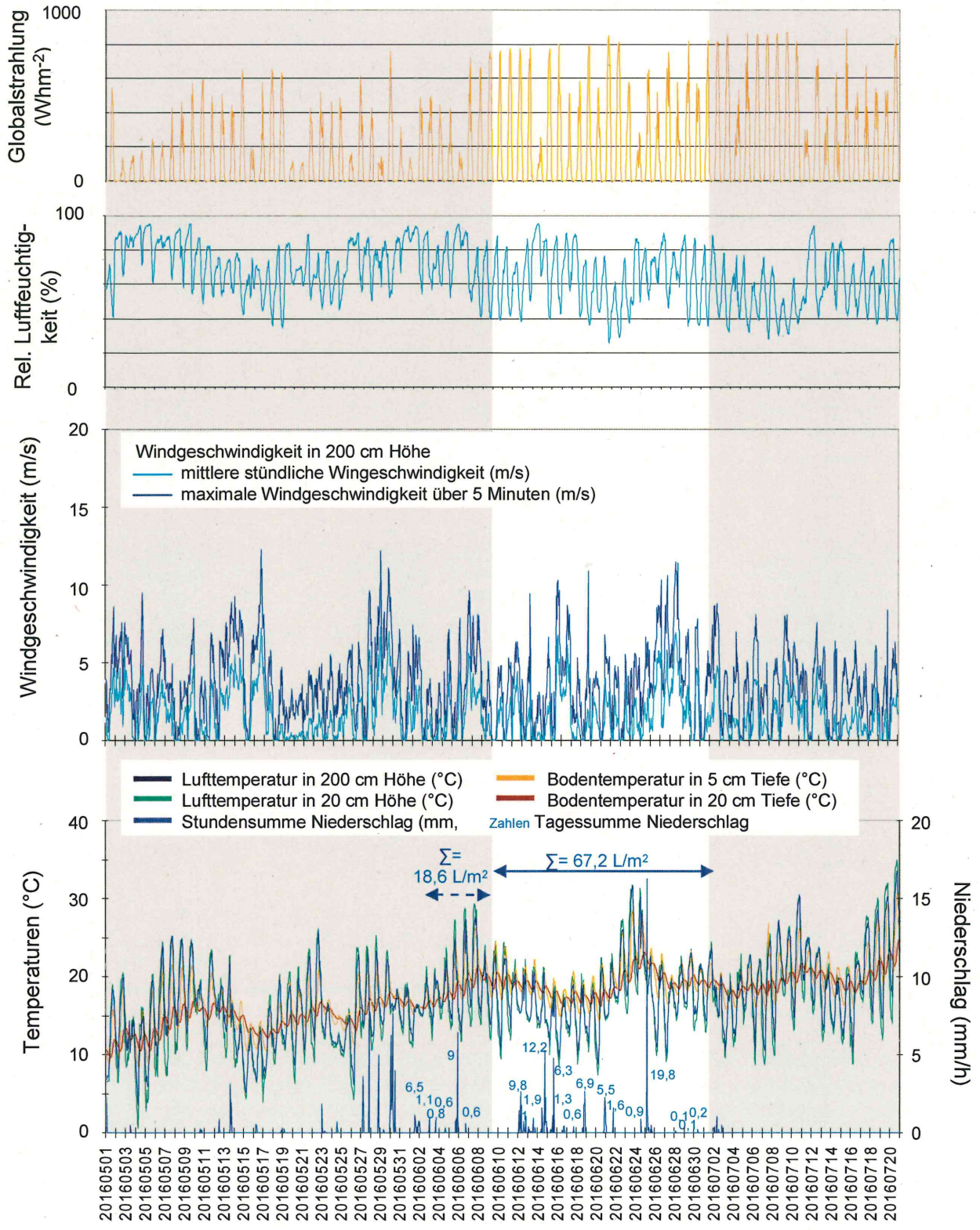

Abbildung 2 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn (Quelle: DLR RLP)

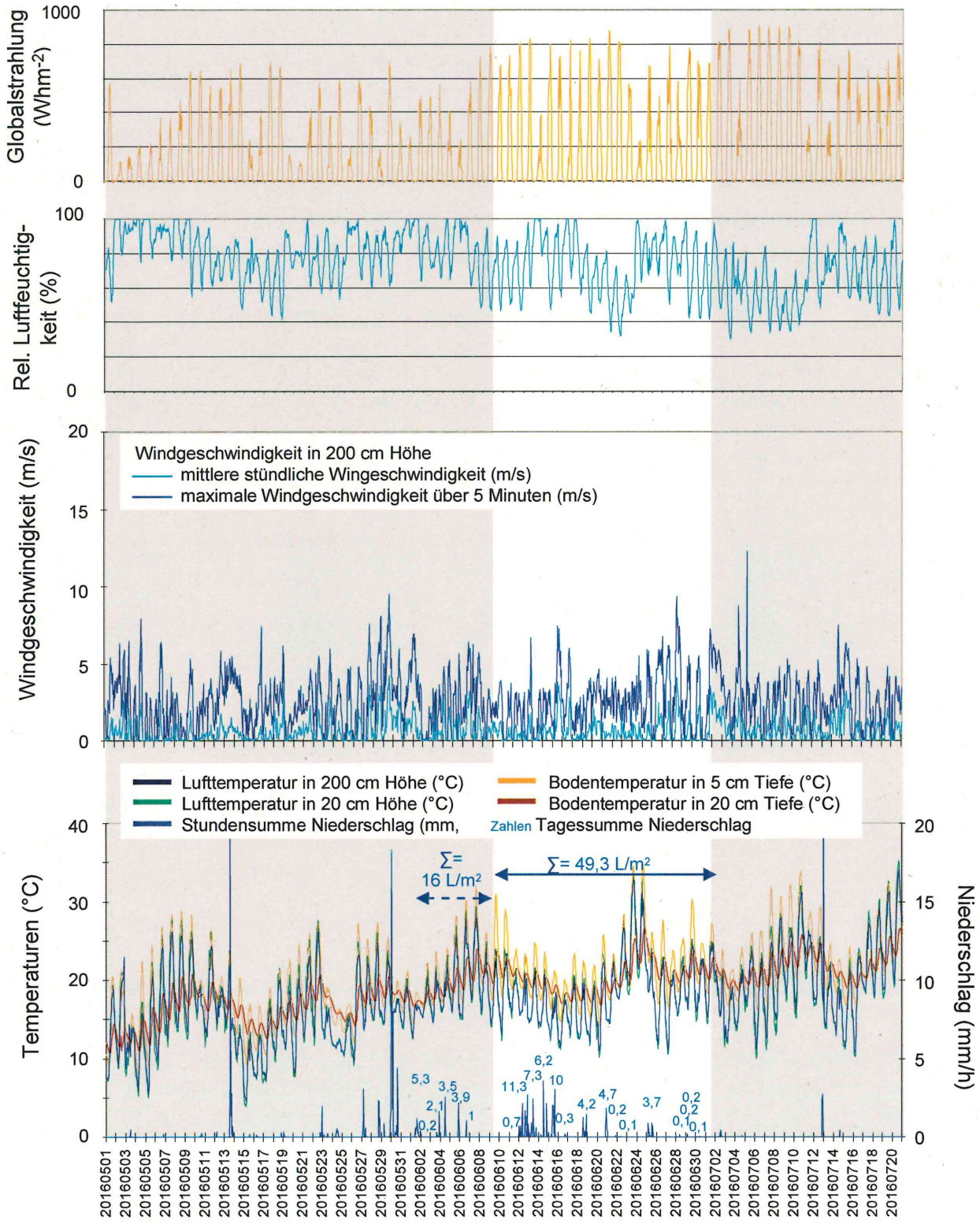

Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP)

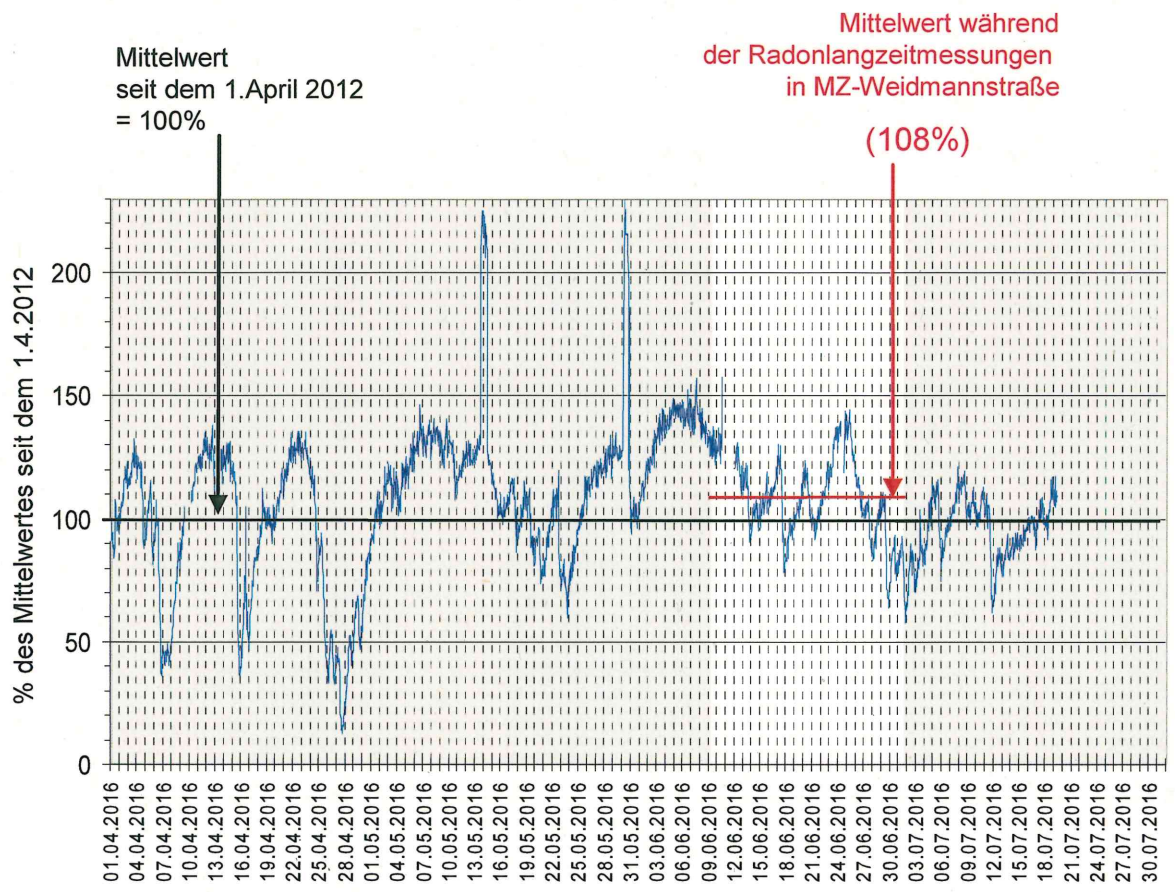

Abbildung 4 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1.April 2012.

Die Windgeschwindigkeiten auf der Untersuchungsfläche ist aufgrund geschützter Lage sicher geringer sein als an der Station Mainz-Marienborn.

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

Abbildung 4 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 kann aufgrund der ähnlichen Witterung ein ähnlicher zeitlicher Verlauf der

Radonkonzentrationsänderung angenommen werden, wenn auch sandige Standorte auf der Untersuchungsfläche in Mainz eine abgeschwächte zeitliche Dynamik der Extrema haben. Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 108% des mehr als 4-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im Juni 2016 somit überschätzt, so dass eine Witterungskorrektur vorzunehmen ist (vgl. Folgekapitel).
Kurzzeitmessungen innerhalb der Periode der Langzeitmessung im „Bebauungsplan Weidmannstraße" hätten je nach Messtag <70-140% der Langzeitkonzentration ergeben. Eine Witterungskorrektur von Kurzzeitmessungen ist nicht möglich.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 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 niedrigen bis mäßig hohen Aktivitätskonzentrationsbereich von 6,8 kBq/m^3 ±20% bis 31,9 kBq/m^3 ±20% (2sigma) (Tab. 3).
Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen (C_{Rn} wk) mit Werten zwischen 6,3 ±20% bis 29,5 kBq/m^3 ±20% (2sigma).
Die Radonverfügbarkeit im Baugrund ist im wesentlichen von drei Faktoren abhängig

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

Durch diese Untersuchungen liegen Erkenntnisse zu den beiden ersten Faktoren vor, die zur Berechnung von Radonverfügbarkeitsindizes genutzt werden können. Bei Gasdurchlässigkeiten $k < 10^{-12}$ m^2 wird hier die Radonaktivitätszahl von Slunga genutzt, bei höheren Gaspermeabilitäten der Radonverfügbarkeitindex RVI von Surbeck.

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/m³] ±20% (2sigma)		Gasperm [m²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C_{Rn} Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³	C_{Rn} wk Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³		RVI (Bq/m) (Surbeck) C_{Rn} wk (+20%) Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³	Rna (dimensionslos) (Slunga) C_{Rn} wk (+20%) Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³
WMS-01	09.06.16-01.07.16	31,9	**29,5**	$2*10^{-13}$		1,57 (1,65)
WMS-02	09.06.16-01.07.16	16,9	**15,6**	10^{-12}	1,56E-08 (1,88E-08)	
WMS-03	09.06.16-01.07.16	15,6	**14,4**	10^{-13}		1,24 (1,32)
WMS-04	09.06.16-01.07.16-	28,4	**26,2**	10^{-13}		1,50 (1,58)
WMS-05	09.06.16-01.07.16	23,2	**21,4**	10^{-10}	2,14E-06 (2,57E-06)	
WMS-06	09.06.16-01.07.16	22,4	**20,7**	$2*10^{-13}$		1,42 (1,50)
WMS-07	09.06.16-01.07.16	6,8	**6,3**	10^{-10}	6,30E-07 (7,55E-07)	
WMS-08	09.06.16-01.07.16	25,8	**23,8**	$5*10^{-13}$		1,51 (1,59)
WMS-09	09.06.16-01.07.16	20,3	**18,7**	10^{-10}	1,87E-06 (2,25E-06)	
WMS-10	09.06.16-01.07.16	21,2	**19,6**	10^{-10}	1,96E-06 (2,35E-06)	

*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

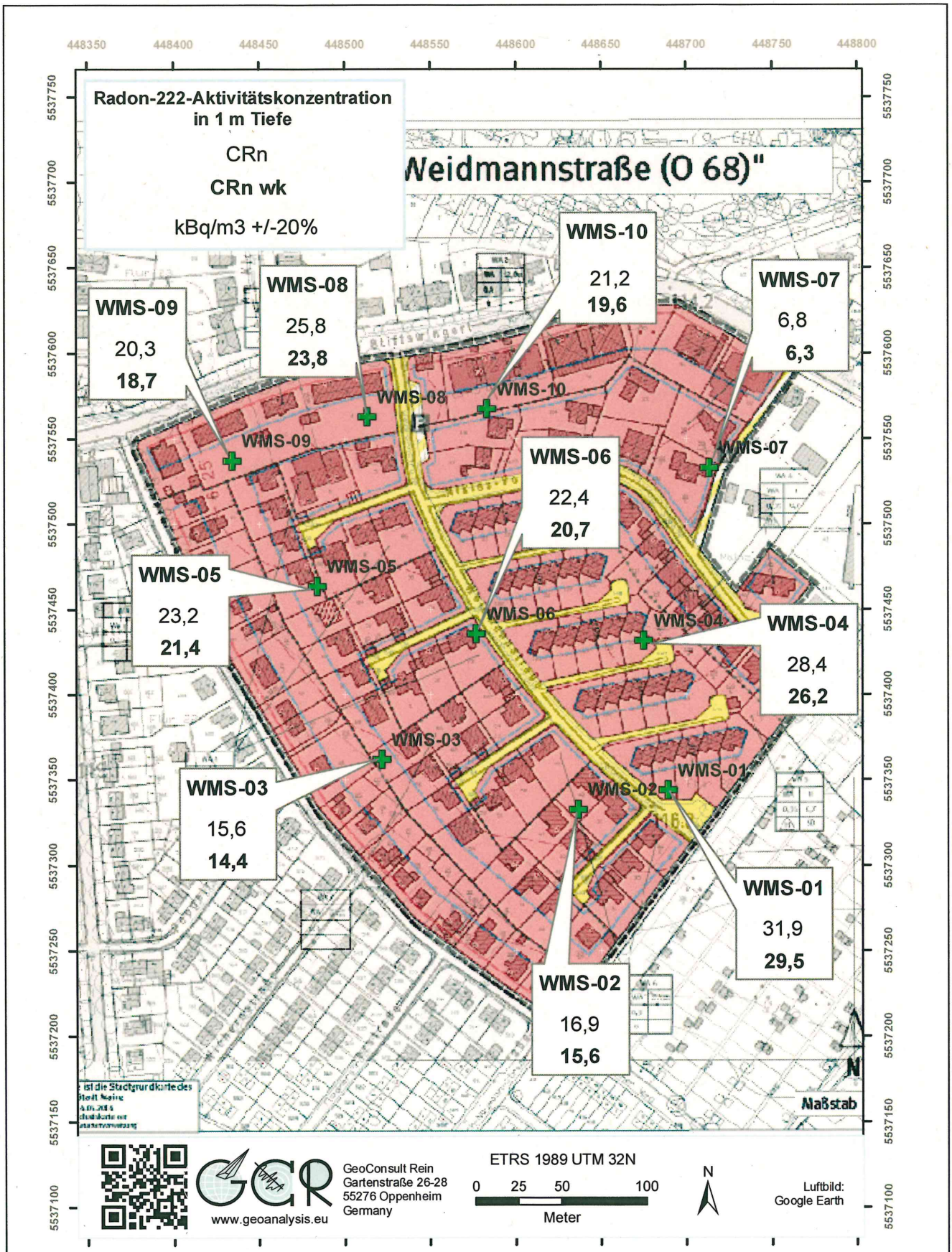

Abbildung 5 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen der Radonmessbohrungen in einem Meter Tiefe.

Aufgrund der Radonkonzentration ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von <400 Bq/m^3 in Innenräumen eine Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonmessungen in die Radonvorsorgegebietsklasse RVK 0 bis RVK I (Tab. 3).

Durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit ergibt sich eine Eingruppierung in Radonvorsorgegebietsklasse RVK I bis RVK II bei einem Zielwert von 250 Bq/m^3 (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte). Dieser Zielwert von 250 Bq/m^3 liegt knapp unter den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie (<300 Bq/m^3), aber über dem Zielwert von <100 Bq/m^3, der in Deutschland noch alternativ zu dem Zielwert von <300 Bq/m^3 diskutiert wird.

Für die Radonverfügbarkeit im Bebauungsplan ist bei den bisher gemessenen Radonkonzentrationen die Korngrößenzusammensetzung der Böden im Kontakt zur Gebäudehülle bzw. zum Schotterbett von entscheidender Bedeutung (s.u.).

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen die in Tabelle 4 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung der geogenen Radonkonzentration mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Tabelle 4 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz.

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

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ist nur die gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben formell unberücksichtigt,

obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität bei der Identifikation gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. 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 mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.
Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht dagegen auf einem Zielwert von 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 das Mehrfache dessen gegenüber älterer Bauweise betragen 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.

Für den Bebauungsplan werden auf Grundlage der in einem Meter Tiefe durchgeführten Messungen und der festgestellten Radonverfügbarkeiten und einem Zielwert von maximal 250 Bq/m^3 in der Innenraumluft, mindestens Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I) empfohlen. Ohne Radonpräventionsmassnahmen sollten nur dann geplant/gebaut werden, wenn durch zusätzliche Bauplatz-bezogene Untersuchungen der Nachweis niedriger Radonkonzentrationen und niedriger Radonverfügbarkeiten erbracht wurde.
Sollten die Gebäude mit Schotterbett, Bodenplatte oder erdberührten Wänden in sandigen und steinigen Horizonten gründen, werden Präventionsmaßnahmen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse RVK II empfohlen.

Areale mit Radonvorsorgegebietsklasse III (RVK III) sind aber aufgrund der bisherigen Radonmessungen und der Ortsdosisleistungskartierung nicht zu erwarten.

Typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgebiet RVK I umfassen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: ≥ 20 cm).
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien, bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.
   Durchführungen durch die Bodenplatte und durch erdumlagerte Wände sind für den Radonschutz von besonderer Bedeutung, weil bereits kleinste Leckagen zu einem bedeutenden Zustrom von Bodenluft und Radon führen können. Diese Abdichtungsmaßnahmen umfassen sowohl die gasdichte Abdichtung des Anschlusses von Rohrdurchführungen zum Mauerwerk, aber auch die häufig unterschätzten, freibleibenden Wegsamkeiten innerhalb der, durch die Leitungen nur teilgefüllten Leerrohre. Auch wenn diese nur einen kleinen Durchmesser besitzen, können Sie unsachgemäß abgedicht, bedeutende Radonmengen in das Gebäude liefern.
4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

Für RVK II wird zusätzlich empfohlen

5. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes.
6. Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und Gewährleistung, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillarbrechende Schicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.
7. Ggf. eine passive oder aktive Bodengasdrainage zur Erzeugung eines

Unterdruckes unter dem Gebäude und Ableitung von Bodengas in die Drainage, vor allem, wenn das Gebäude nicht unterkellert geplant ist und Frostschürzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern.

8. Ggf. gasdichte Türen zwischen Kelleretage und Erdgeschoss, sowie Abdichtung vertikaler Wegsamkeiten innerhalb des Hauses wie Kabelschächte etc.

Wegen der mit Präventionsmassnahmen RVK II verbundenen erheblichen Kosten wird eine bauplatzbezogene Radonuntersuchung empfohlen, um eventuell unnötige Kosten zu vermeiden.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

GeoConsult Rein

Dr. Bert Rein

Digital unterschrieben von Dr. Bert Rein
CN: CN = Dr. Bert Rein, C = DE, O = Privat
Ursache: digital unterschrieben für den elektronischen Versand
Datum: 2016.07.22 16:26:20 +02'00'

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, 20.07.2016