

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL O69 (Untere Zahlbacher Straße)
in Mainz

Projektnummer 20170825_Rn222_UZB

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

wiwi immo GmbH & Co KG
Umbach 4
55116 Mainz

10. Oktober 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 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	14
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in der Verwitterungszone in 1 Meter Tiefe	20
Tabelle 4	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet – ohne Ersatz)	23

1. Auftrag

Die wiwi immo GmbH & Co KG beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan O69 (Untere Zahlbacher Straße) 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 Baugebietes zu empfehlen sind.

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Google Earth
- /2/ LANIS RLP
- /3/ Bebauungsplan „O69-Untere Zahlbacher Straße“ (M 1:500, 27.06.2017)
- /4/ Lageplan der geplanten Gebäude aus dem Anhang 1.1 des Schalltechnischen Ingenieurbüros PIES (M 1:500, 14.07.2017)
- /5/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /6/ Geologische Karte GK25 6015 (1989)
- /7/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Mainz-Marienborn und Oppenheim

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs mit jährlich rund 2000 auf Radon zurückzuführenden Lungenkrebstoten in Deutschland. 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 $\text{Rn}222$ -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 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

Radonraumlufkonzentration 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. 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/m^3 festgelegt wurde. Der Gesetzgeber folgt damit nicht den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation, die einen Referenzwert von 100 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.

Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von $100 \text{ Becquerel/m}^3$. Ob dieser in nationales Recht umgesetzt wird, oder die Mindestanforderung der EU ist noch offen.

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) liegt nördlich der Kreuzung *Untere-Zahlbacher-Straße* und *Zahlbacher Steig*. Der südliche Teil der Fläche ist mit einem ehemaligen Autohaus inklusive Parkflächen und zwei Wohnhäusern bebaut. Der nördliche Teil wird als Weide genutzt. Der bebaute Teil der Fläche liegt in der Talverebnung, während die Weidefläche zur Nordostecke ansteigt. Die topografische Höhe beträgt zwischen 102-111 m NN. Aufgrund der topografischen Lage und des dichten Bewuchses nach Westen liegt die Fläche windgeschützt

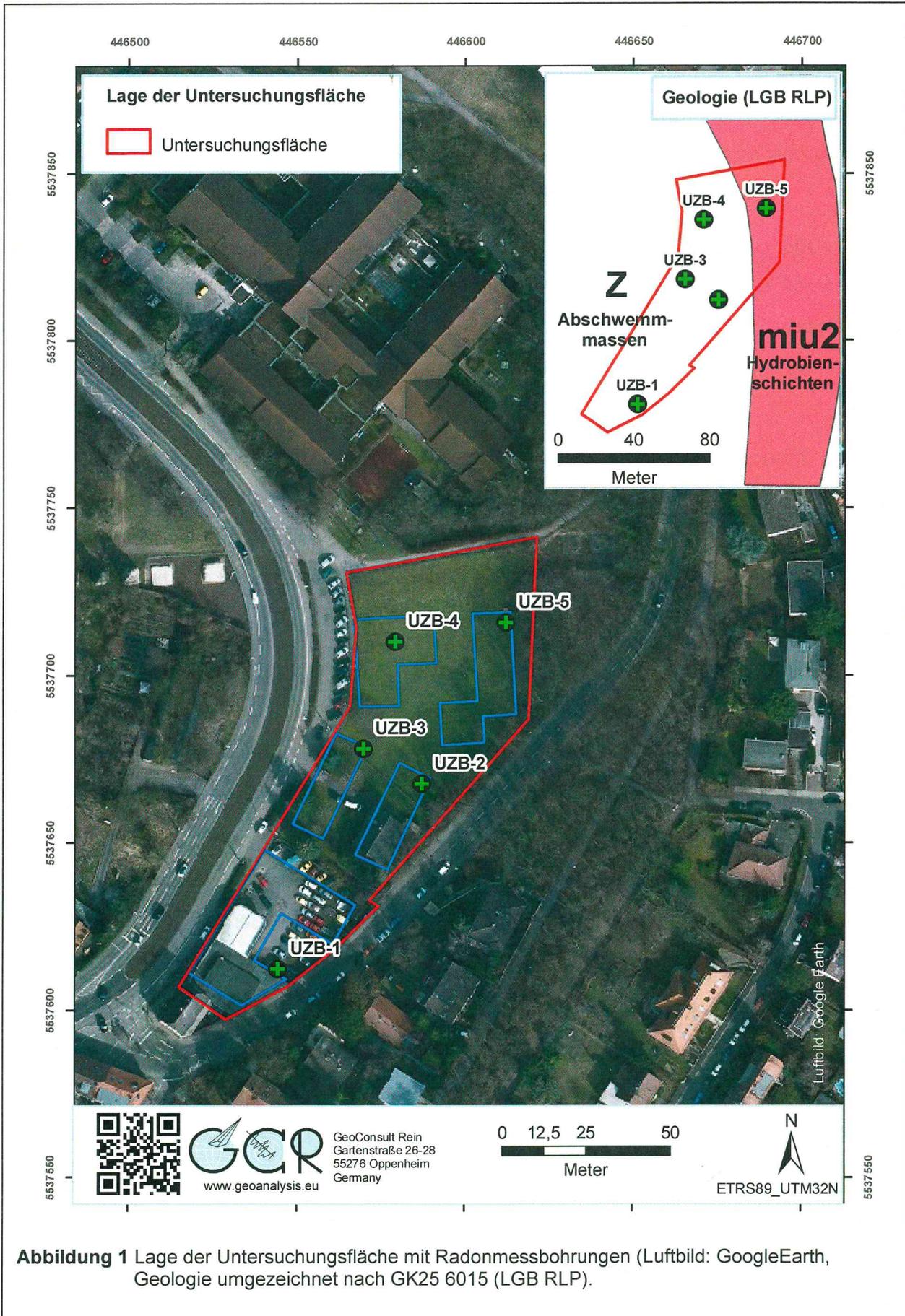


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen (Luftbild: GoogleEarth, Geologie umgezeichnet nach GK25 6015 (LGB RLP).

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde der Bebauungsplan „O69-Untere Zahlbacher Straße“ /3/ und ein Lageplan der geplanten Gebäude /4/ genutzt. Beide Pläne wurden mit Hilfe von Flurstückeckpunkten /2/ 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 ± 3 Meter. Die GPS-Koordinaten, der zur Kontrolle vermessenen Grundstückseckpunkte bestätigen und belegen eine ausreichende Lagegenauigkeit mit höherer als oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Untersuchungsfläche am 25.08.2017 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 25.08.2017 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 sowie des Oberbodens erfolgten am 8. September 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 sehr weiten Wertebereich zwischen 74 bis 121 Impulsen pro Sekunde. Die höchsten Gammastrahlungsraten, die auch deutlich über den durchschnittlichen Strahlungsraten der Restfläche lagen, wurden im flachen Teil der Weidefläche gemessen (Abb. 2). Eine Bohrung in diesem Bereich (UZB4) bestätigte die Vermutung von Fremdmaterialien. Es wurden oberflächennah grobe Schotter gefunden, die auch Rhyolithe enthielten. Ansonsten ist ein schwacher Trend zu abnehmenden Gammastrahlungsaktivitäten hangaufwärts, von West nach Ost erkennbar. Die im Westen anstehenden miozänen Kalksteine (*miu2* in Abb. 1, vgl. Kap



6.2) scheinen etwas geringere Gammastrahlungsaktivitäten als die jungen quartären Talfüllungen (Z in Abb.1) zu verursachen.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Die Untersuchungsfläche liegt gemäß der geologischen Karte /6/ mit dem westlichen Teil in jungen quartären Abschwemmassen und Talfüllungen. Im höheren Teil der Untersuchungsfläche im Nordosten stehen gemäß /6/ die miozänen Kalke der Hydrobienschichten an. Die anstehenden Kalke wurden in der Bohrung UZB-5 bis in einen Meter Tiefe nicht erreicht. Diese Bohrung enthielt aber wie auch UZB-2 vermehrt groben Kalksteinschutt aus der Verwitterungszone über den Hydrobienschichten. Bei den Steinen in USB-4 handelt es sich um Auffüllungen und Fremdmaterialien.

Der Bodenaufbau ist in Tabelle 1 beschrieben.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
UZB-1	446544	5537612	0-20 20-40 40-90 90-100 100-105	Sand, wechselnd grau/dunkelrostbraun Sand, schwach lehmig, mittelbraun, rostfleckig Lehm, stark sandig mit Steinchen Kalksteingrus (gS-fX), schwach lehmig, hell Kalksteingrus (gS-fX), schwach lehmig, dunkel- bis mittelbraun, zunehmend steinig
UZB-2	446587	5537668	0-40 40-105	Sand, graubraun m. Holzkohle Sand, schwach schluffig, mittelbraun zunehmend steiniger (Kalkstein) und schluffiger werdend
UZB-3	446570	5537678	0-45 45-105	Sand, graubraun Schluff, sandig, hellbraun mit Ziegelbruch und Kalksteinchen
UZB-4	446579	5537716	0-40 40-70 70-100	Schotter (u.a. Rhyolith), sandig (gelblich) Steine/Sand (u.a. Ziegelbruch), braun (Sande) Kalksteine/Ziegel, sandig-schluffig(braun)
UZB-5	446612	5537710	0-100	Sand, schwach schluffig bis schluffig, gräulich mittelbraun, zunehmend Steine (Kalksteine), zunehmend schluffig

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 Böden waren in der Messtiefe der Radonsonden zu Beginn und Ende der Radonmessungen sehr trocken bis trocken (UZB-4, UZB-5) und in UZB-1 bis UZB-3 mäßig feucht. In den Bodenfeuchtwerten spiegelt sich vor allem der Anteil der Grobfraktion, der Steine, wider. Oberflächennah war aus diesem Grund auch die Bohrung UZB-4 am trockensten. Die obersten 40 Zentimeter wurden in UZB-4 wegen des hohen Steineanteils deshalb nach Einbringen der Radonmesssonden auch mit feinkörnigerem Bodenmaterial (schluffiger Sand) aus 5 Meter Entfernung verfüllt.

Aufgrund der sehr geringen Bodenfeuchten in der Messtiefe der Messsonde UZB-5 muß dort eine unterdurchschnittliche Emanationsrate angenommen werden.

Aufgrund der geringen Bodenfeuchte war auch die Exhalationsrate aus dem Boden in die Atmosphäre sicher überdurchschnittlich (vgl. Kap 7.3, S. 16). Gleichzeitig war aber auch der Export von radonreicherer Bodenluft aus den tiefgründig trockenen Böden in die Messtiefe erhöht.

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 %)			
				95-100 / 100-105 cm		10-15 cm	
				25.08.17	08.09.17	25.08.17	08.09.17
UZB-1	446544	5537612		12,7	14,5	8,3	14,1
UZB-2	446587	5537668		11,1	12,2	12,4	13,3
UZB-3	446570	5537678		11,3	12,8	13,2	14,6
UZB-4	446579	5537716		8,7	9,1	3,5	9,7
UZB-5	446612	5537710		6,4	6,1	7,8	8,5

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 schlecht sortierten, sandig-steinigen Böden sind die Gaspermeabilitäten wegen des Schluff- und untergeordnet Tonanteils trotzdem nur mäßig ($1E-13 \text{ m}^2$, s. Tab. 3).

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 nordnordöstlich von der Wetterstation gelegenen Untersuchungsfläche beträgt 3,6 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 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, relativer Luftfeuchte, Wind, und Temperaturverläufen ähnlich.

Die Windgeschwindigkeiten sind an der windexponiert gelegenen Wetterstation Mainz-Marienborn durchgängig höher als in Oppenheim. Aufgrund der weniger exponierten bis windgeschützten Lage der Untersuchungsfläche sind dort allerdings niedrigere Windgeschwindigkeiten zu erwarten als in der hochgelegenen Station Mainz-Marienborn.

In den vierzehn Tagen vor Messbeginn fielen an der Station Marienborn (40,3 Liter pro Quadratmeter; l/m^2) nur 20 % weniger Regen als in Oppenheim (55 l/m^2).

Während der Radonlangzeitmessungen in Mainz fielen an der Wetterstation Marienborn (7,1 l/m^2) ebenfalls insgesamt weniger Niederschläge als in Oppenheim (17 l/m^2). Die Unterschiede innerhalb der Radonmessperiode resultieren allein aus der Differenz eines Stark-Regenfallereignisses am späten Abend des 25.08.2017, das sich in Mainz-Marienborn als einfaches Regenereignis darstellte. Da Starkregenereignisse

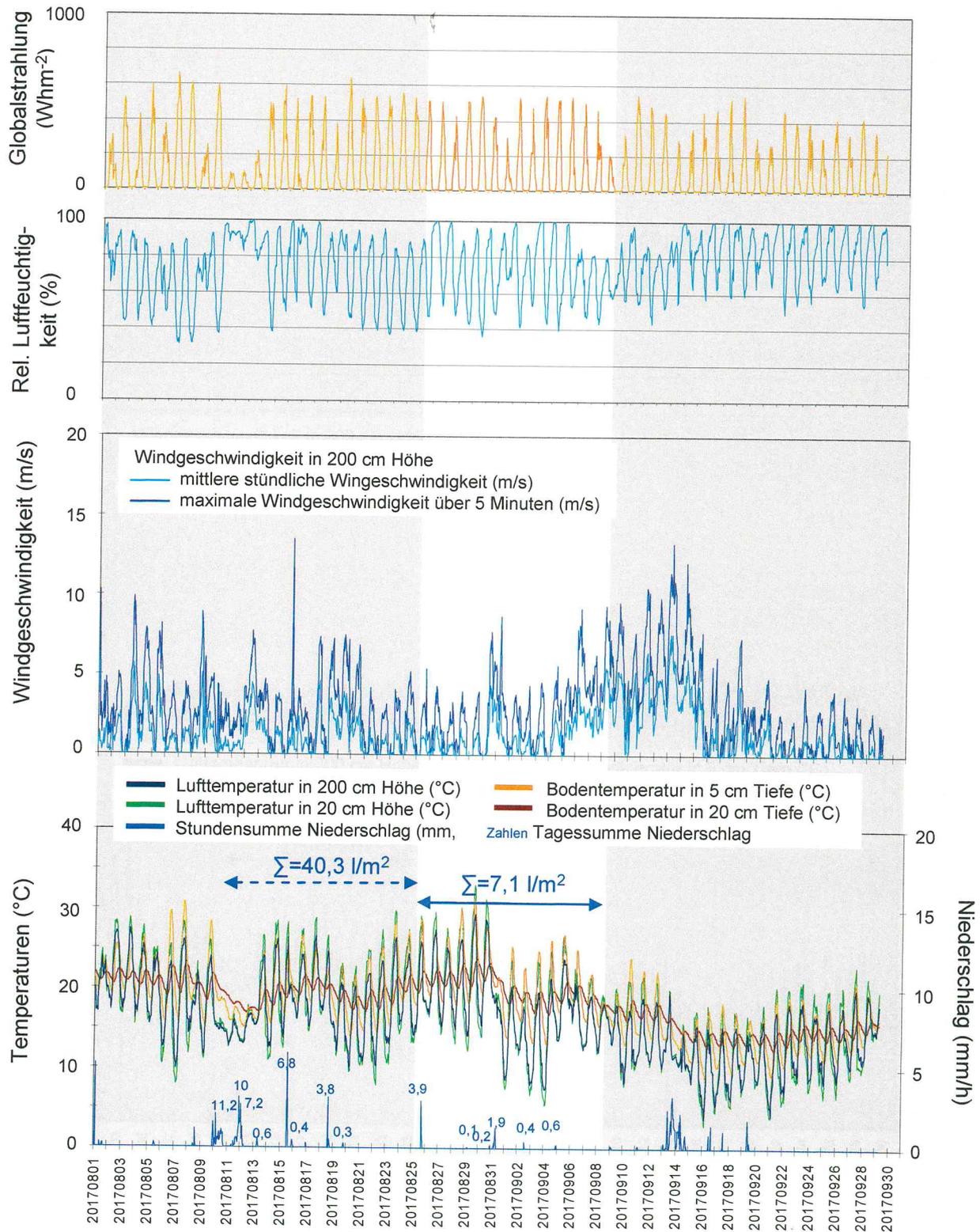


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn (Quelle: DLR RLP).

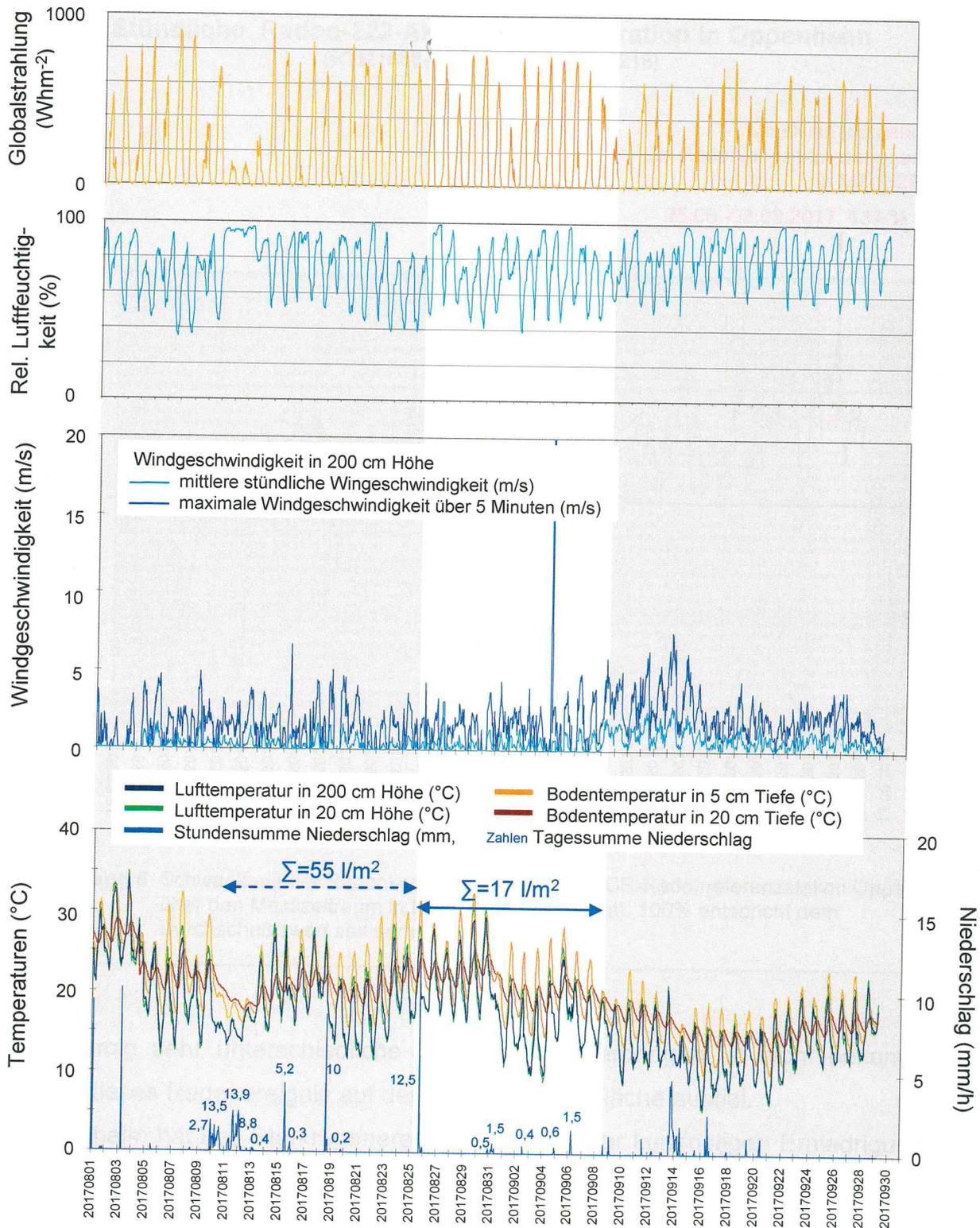


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

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

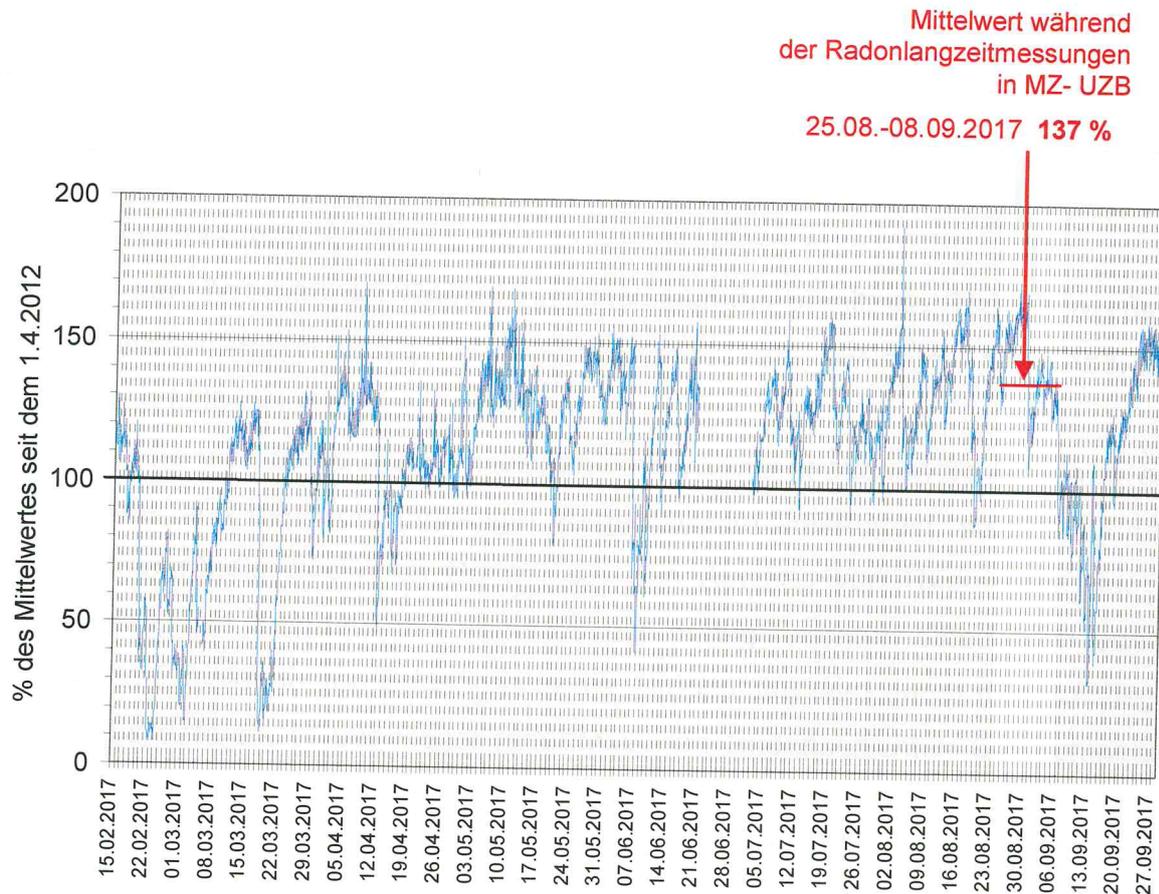


Abbildung 5 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1. April 2012.

kleinsträumig sehr unterschiedliche Regenmengen erbringen ist nicht bekannt wie ergiebig dieses Regenereignis auf der Untersuchungsfläche ausfiel.

In Oppenheim hat das Starkregenereignis zu einer sehr kurzfristigen Erniedrigung der Radonkonzentration geführt. Der in anderen Jahren zu beobachtende enge umgekehrte Zusammenhang zwischen Erhöhung der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe nach oberflächenversiegelnder Starkregenereignisse ist aufgrund der langen Trockenheit im Frühjahr/Frühsummer 2017 selten ausgeprägt und sogar überwiegend ins Gegenteil verkehrt (s. folgende Abschnitte dieses Kapitels).

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. Für die Untersuchungsfläche in Mainz kann aufgrund der ähnlichen Witterung und ähnlicher Gaspermeabilität der Böden eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen angenommen werden.

Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 137 % (Maximum > 170%, Minimum 110%, Abb. 5) des 5,5-jährigen Mittelwertes.

Grund für die weit überdurchschnittlichen Radonkonzentrationen im Boden in einem Meter Tiefe sind die, trotz ergiebiger Regenfälle im Juli/August, seit dem Frühjahr regional tiefgründig trockenen Böden, die den Aufstieg von Radon aus der Tiefe begünstigen. Die aufgrund der ebenfalls nur mäßig feuchten Oberböden ebenfalls erleichterte Exhalation von Bodengas in die Atmosphäre wird durch den Aufstieg von Radon aus tieferen, in der Regel radonreicheren Bodenschichten überkompensiert, weil sich die an der Grenzschicht Boden/Atmosphäre entwickelnde Sogwirkung in den trockenen bis mäßig feuchten Böden erleichtert in die Tiefe fortsetzen kann.

Erst nach den Radonmessungen in Mainz verstärkte sich das Windfeld (Abb. 3-4) in dem Maße, dass es zu einem Absinken der Radonkonzentration im Boden führte (Abb. 5), weil die Zufuhr von Radon aus tieferen Bodenschichten bzw. dessen Nachbildung mit der Exhalation nicht mehr Schritt hielt.

Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im August/September 2017 in der Summe aus vorgenannten Gründen deutlich überschätzt. Deshalb wurde eine Witterungskorrektur der gemessenen Radonkonzentrationen vorgenommen.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen und witterungskorrigierten Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 und Abbildung 6 dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in der Verwitterungszone in einem Meter Tiefe.

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)		Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C _{Rn} -/+20% (2σ)	C _{Rn wk} -/+20% (2σ)		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
UZB-1	25.08.- 8.09.17	46,6 37,3-56,0	34,0 27,2-40,8	1E-13	1,75 1,61 1,69	
UZB-2	25.08.- 8.09.17	45,3 36,2-54,3	33,0 26,4-39,7	1E-13	1,73 1,60 1,68	
UZB-3	25.08.- 8.09.17	34,7 27,8-41,7	25,4 20,3-30,4	1E-13	1,62 1,48 1,56	
UZB-4	25.08.- 8.09.17	27,8 22,2-33,3	20,3 16,2-24,3	1E-13	1,52 1,39 1,47	
UZB-5	25.08.- 8.09.17	19,1 15,3-23,0	14,0 11,2-16,8	1E-13	1,36 1,22 1,30	

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

Die über einen Zeitraum von 14 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von 19,1 kBq/m³ ±20% bis 46,6 kBq/m³ ±20% (2sigma) (Tab. 3).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der seit 5,5 Jahren betriebenen Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 erniedrigten Radonaktivitätskonzentrationen (C_{Rn wk}) mit Werten zwischen 14,0 kBq/m³ ±20% bis 34,0 kBq/m³ ±20% (2sigma).

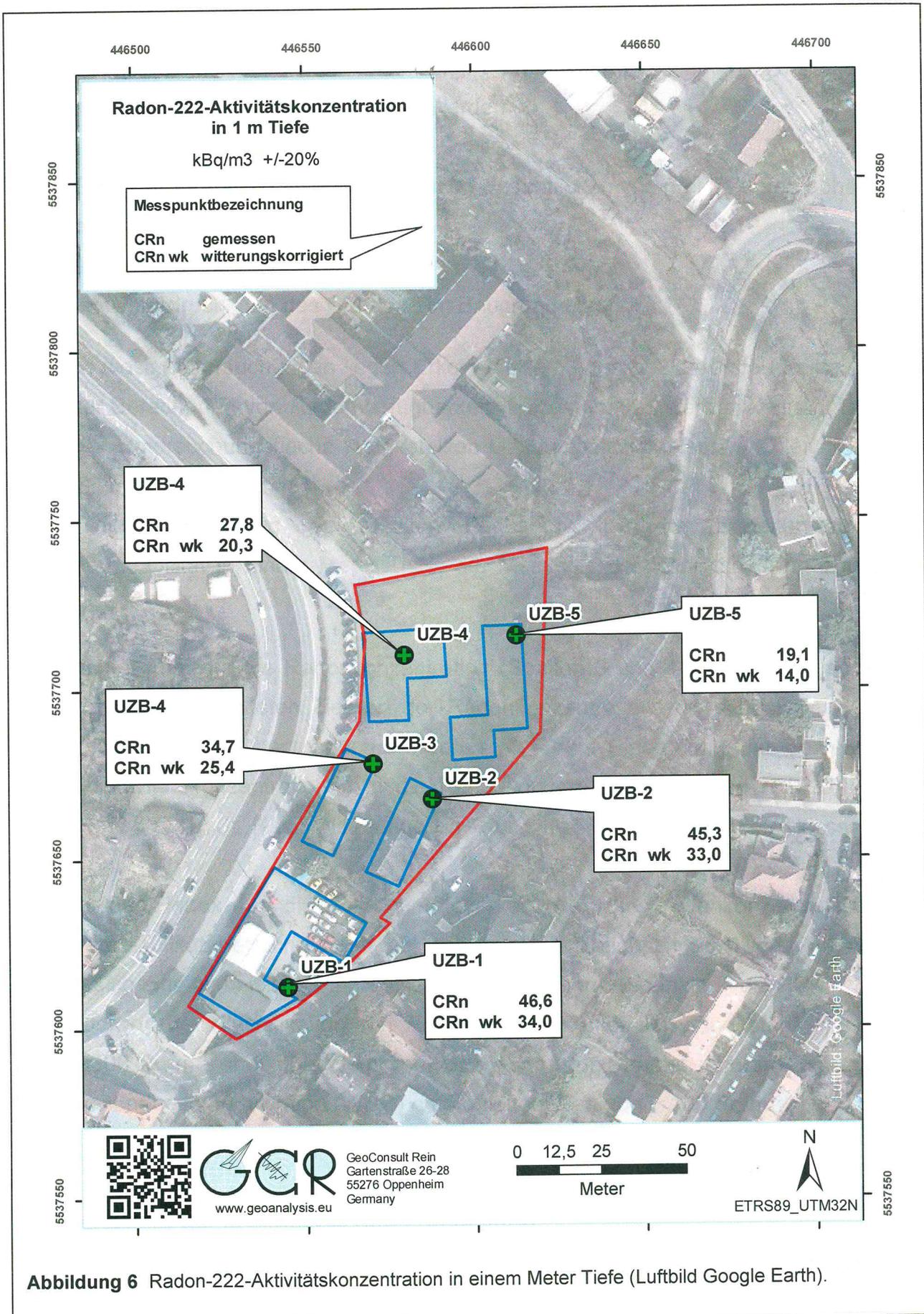


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe (Luftbild Google Earth).

Die niedrigsten Radonaktivitätskonzentrationen wurden über den miozänen Kalken in Bohrung UZB-5 gemessen, die mit aller Wahrscheinlichkeit auch in der Tiefe der späteren Gebäudegründung anstehen werden.

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 Gasdurchlässigkeiten wird hier der Index von Slunga angewandt.

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

Betrachtet man nur die Radonkonzentration (Spalten 3 und 4 in Tabelle3), so ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von $<400 \text{ Bq/m}^3$ (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte) eine Einordnung der gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK 0, RVK I und RVK II (Tab. 3). Nach Witterungskorrektur entfällt die Radonvorsorgeklasse RVK II.

Durch den Index für die Radonverfügbarkeit, der die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachtet und bei einem Klassifikationszielwert von 250 Bq/m^3 , ergibt sich eine einheitliche Eingruppierung der Radonmesspunkte in die RVK I.

Der Zielwert der Klassifikation von 250 Bq/m^3 liegt 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) empfahlen in der Vergangenheit 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 gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Die Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sieht lediglich eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe vor. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m³ in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und jetzt auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m³) als Bemessungsgrundlage verwandte.

Eine von der EU geforderte deutschlandweite/europaweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Die Faktoren und Algorithmen und vor allem die Datengrundlage auf deren Basis diese Karte entstehen soll, sind noch sehr umstritten, so dass deren Realisierung vorerst nicht möglich ist.

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

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration <400 Bq/m ³)	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

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.

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

Die empfohlenen Massnahmen orientieren sich somit am derzeit gültigen EU-weiten Richtwert von 300 Bq/m^3 .

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

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 unbedingt auf deren gasdichte Ausführung zu achten.
2. Abdichtung von Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195.
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 bis in einen Meter unter Geländeoberkante.

Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten andere als hier beschriebenen Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen. Dies gilt besonders, wenn stark klüftige oder verkarstet Gesteine im oder nahe dem Gründungsniveau oder im Bereich der Kellerwände anstehen. In diesem Fall muß eine Neubewertung der Radonverfügbarkeit erfolgen.

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, 10.10.2017

Urheberrechtserklärung

Gutachten/Dokument:

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL O69 (Untere Zahlbacher Straße)

in Mainz

Projektnummer 20170825_Rn222_UZB

Verfasser:

Dr. Bert Rein

Erstellungsdatum:

10.10.2017

Bebauungsplanverfahren: BPL O69 - Untere Zahlbacher Straße

Diese Urheberrechtserklärung ist Teil des oben genannten Gutachtens. Hiermit versichern wir, dass wir der Urheber sämtlicher im Gutachten/Dokument erhaltenen Grafiken, Abbildungen, Fotos, Texte o.ä. sind.

Sofern in dem Gutachten Inhalte Dritter verwendet werden, so ist dies an entsprechender Stelle kenntlich gemacht. Eine schriftliche Erlaubnis zur Verwendung des Materials/ der Inhalte Dritter durch den jeweiligen Urheber liegt vor und kann bei Bedarf nachgewiesen werden. Es werden keine Inhalte verwendet, die urheberrechtlich geschützt sind und bei denen keine Erlaubnis seitens des Urhebers vorliegt.

Wir gestatten der Stadt Mainz die Verwendung, Veröffentlichung, Weitergabe und Vervielfältigung des Gutachtens sowie der darin enthaltenen Inhalte im Rahmen der üblichen baurechtlichen Verfahren bzw. Darstellungsformen (Print und Online).

GeoConsult Rein

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

Oppenheim, 10.10.2017

Ort, Datum

Unterschrift, Firmenstempel