

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Neubauung Auto Becker, An der Krimm
in Mainz-Gonsenheim
Projektnummer 20170728_Rn222_KRI

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Projektgesellschaft An der Krimm GmbH
Rheinstraße 194b
55218 Ingelheim

07. September 2017
Ergänzung 03. April 2018

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	12
7.1 Bodenfeuchte	12
7.2 Gaspermeabilität	13
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 Drais-Finthen	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Gonsenheim.	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 An der Krimm GmbH beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für Neubebauung des Geländes des Autohauses Becker, An der Krimm in Mainz-Gonsenheim.

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/ Geo-/Umwelttechnischer Bericht (Rubel & Partner, 01.03.2016)
- /2/ LANIS RLP
- /3/ Geologische Karte RLP GK25 6915 (HLUG/LGB 1972)
- /4/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Drais-Finthen und Oppenheim
- /6/ Google Earth
- /7/ Pläne Architektenwettbewerb

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 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.

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 Untersuchungsfläche liegt in innerstädtischer Lage. Die topografische Höhe beträgt 122 m NN. Die Fläche ist fast vollständig durch Betonpflaster oder Schwarzdecken versiegelt. Die Situation entspricht der im Luftbild in Abbildung 1.

Die Radonmesspunkte lagen unter Betonpflaster (KRI-3 bis KRI-5) bzw. unter unversiegelten Flächen.

Aufgrund der topografischen Bedingungen und der Bebauung liegt die Untersuchungsfläche windgeschützt.

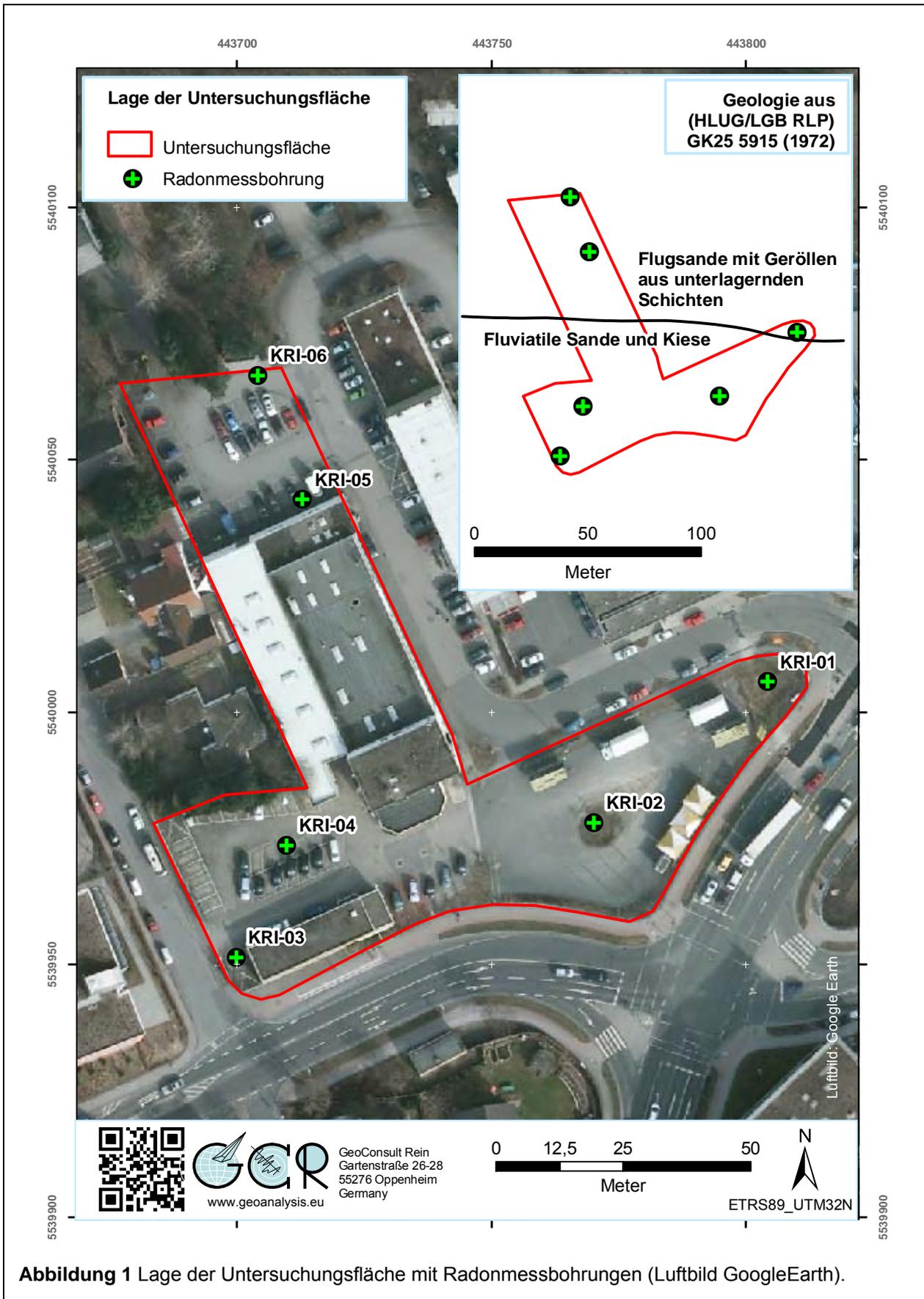


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen (Luftbild GoogleEarth).

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde der Geo- und Umwelttechnische Bericht von Rubel & Partner /1/ genutzt. Ein darin enthaltener Lageplan wurde 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 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 07.08.2017 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 (100-110 cm), sowie des Oberbodens erfolgten am 22. August 2017. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 15 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 alle in einem moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich. Durchschnittlich sind die Gammastrahlungsaktivitäten in dem südlichen Hofbereich etwas höher als auf der nördlichen Teilfläche. Die niedrigsten Aktivitäten wurden über unterirdischen Tanklagern einer ehemaligen Tankstelle gemessen. Anomalien der Gammastrahlungsaktivität, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte besonders berücksichtigt hätten werden müssen, wurden nicht detektiert.

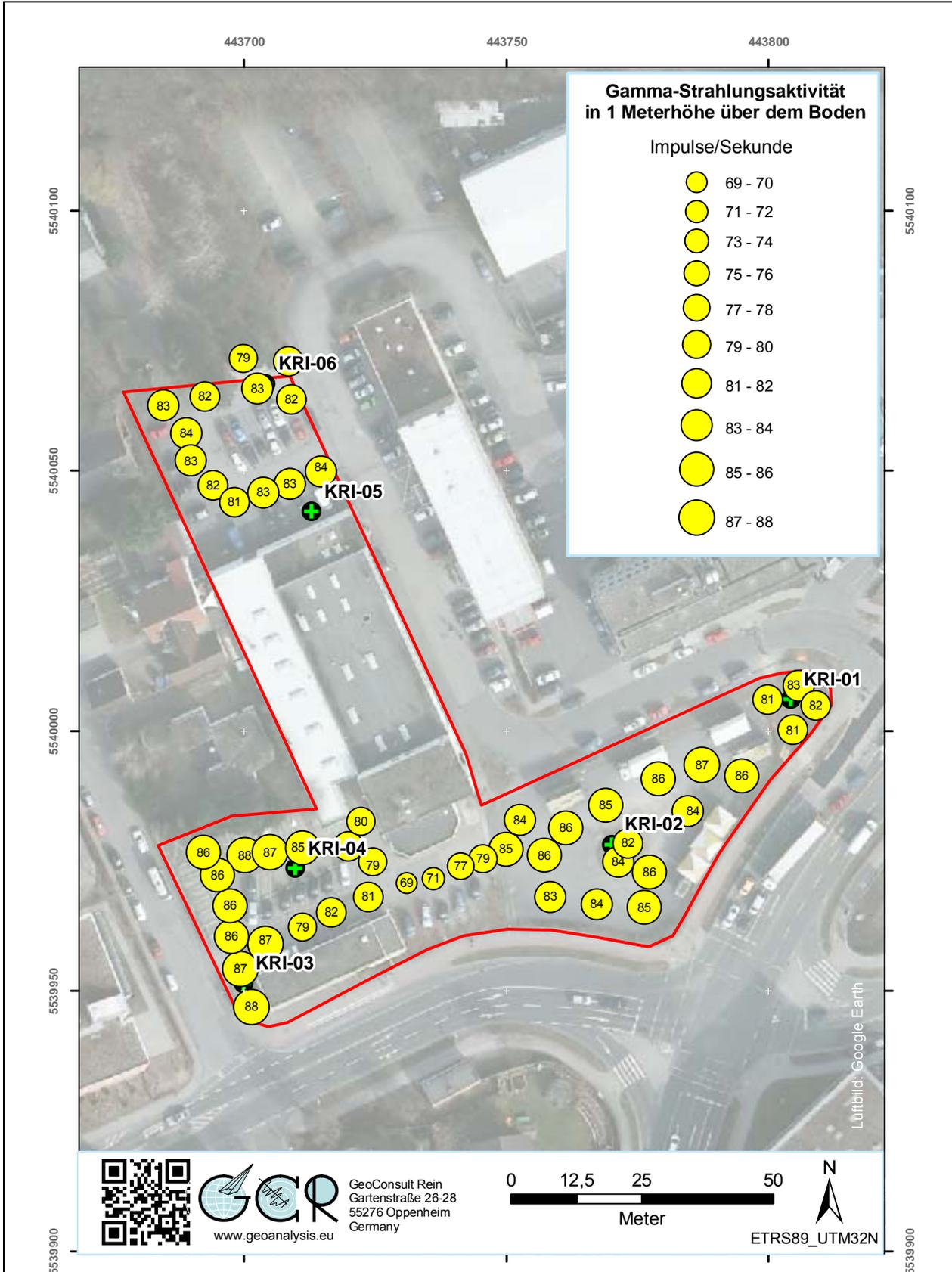


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Die Untersuchungsfläche liegt gemäß der geologischen Karte GK25 5915 (1972) /3/ und der geologischen Übersichtskarte von RLP /4/ in quartären Sedimenten. Der natürliche Baugrund des nördlichen und östlichsten Teils der Untersuchungsfläche (Abb. 1) wird von Flugsanden gebildet, die umgelagerte Gerölle älterer fluviatiler Sedimente enthalten können. Der südliche Teil der Fläche liegt über fluviatilen Sanden und Kiesen /3/. Der natürliche Untergrund ist durch variabel mächtige Auffüllungen z.T. auch aus autochtonem Material überlagert.

Die Bohrungen hatten den in Tabelle 1 beschriebenen Bodenaufbau.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
KRI-01	443804	5540006	0-70 70-90 90-110	Auffüllung, steinig-sandig Mittelsand (mS) bis Grobsand (gS), graubraun bis rostig mS bis gS, hellbraun bis fahlbraun
KRI-02	443770	5539978	0-35 35-90 90-95 95-110	Auffüllung, steinig-sandig Feinsand (fS) bis mS, rostbraun bis fahlbraun mS, fahlbraun Sand (S) / Steine (X)
KRI-03	443700	5539951	0-8 8-20 20-40 40-90 90-110	Betonpflaster Sandbett der Pflasterung Auffüllung: S / X mS, rostbraun fS bis mS, Kies (G)
KRI-04	443710	5539974	0-8 8-20 20-80 80-110	Betonpflaster Sandbett der Pflasterung fS, schwach schluffig fS, schwach kiesig
KRI-05	443713	5540042	0-20 20-35 35-95	Betonpflaster / Beton Auffüllung: G / S fS, mittelsandig, X
KRI-06	443704	5540067	0-110 25-35	fS / mS steinig

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 %)			
				90-100 / 100-110 cm		10-15 cm	
				07.08.17	22.08.17	07.08.17	22.08.17
KRI-01	443804	5540006	100/110	6,7	7,9	10,7	12,6
KRI-02	443770	5539978	100/110	5,6	6,9	6,3	8,8
KRI-03	443700	5539951	100/110	9,1	8,6	5,3	6,4
KRI-04	443710	5539974	100/110	10,0	8,7	5,2	6,0
KRI-05	443713	5540042	100/110	5,3	6,0	4,9	9,5
KRI-06	443704	5540067	100/110	4,2	5,3	2,6	6,7

Die Böden waren zu Beginn und Ende der Radonmessungen in einem Meter Tiefe und oberflächennah trocken. Trotz der geringen Bodenfeuchte sind aufgrund der Bodenart unterdurchschnittliche Emanationsraten im Umfeld der Messsonden nicht gegeben. Aufgrund der geringen Bodenfeuchte war die Exhalationsrate aus dem Boden in die Atmosphäre sicher überdurchschnittlich. Gleichzeitig war aber auch der Export von radonreicherer Bodenluft aus den tiefgründig trockenen Böden in die Messtiefe erhöht.

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 sandigen, z.T. steinigen und schwach kiesigen Böden ist die Gaspermeabilität hoch (Werte s. Tab. 3).

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Drais (211 m ü NN) liegt 4,3 Kilometer südsüdwestlich der Untersuchungsfläche (122 m NN). Die Wetterstation liegt westlich des Siedlungsrandes und Sportplatzes in Obstplantagen in offenem und ebenem Gelände.

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 (nur Oppenheim), sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls dargestellt.

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

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

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

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An den Wetterstationen sind die zeitlichen Änderungen (Witterungsverläufe; nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen ähnlich.

Die Niederschläge waren nach Menge und Niederschlagsverteilung in den Wochen vor Beginn der Radonmessungen an beiden Wetterstationen vergleichbar (Drais-Finthen 52,8 l/m², Oppenheim 52,1 l/m²). Auch während der Radonlangzeitmessungen in Mainz-Gonsenheim fielen an beiden Wetterstationen vergleichbare Niederschlagsmengen (Drais-Finthen 47,2 l/m², Oppenheim 55,2 l/m²) und vor allem die zeitliche Verteilung der Starkniederschläge war ähnlich. Die Behinderung der Radonexhalation durch potentiell temporär Oberboden-versiegelnde Niederschläge war somit in Gonsenheim und Oppenheim vergleichbar. Der in anderen Jahren zu beobachtende enge Zusammenhang zwischen der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe und oberflächenversiegelnder Starkregenereignisse ist aufgrund der langen Trockenheit im Frühjahr/Frühsummer 2017 selten ausgeprägt und sogar überwiegend ins Gegenteil verkehrt (s. letzter Abschnitt dieses Kapitels).

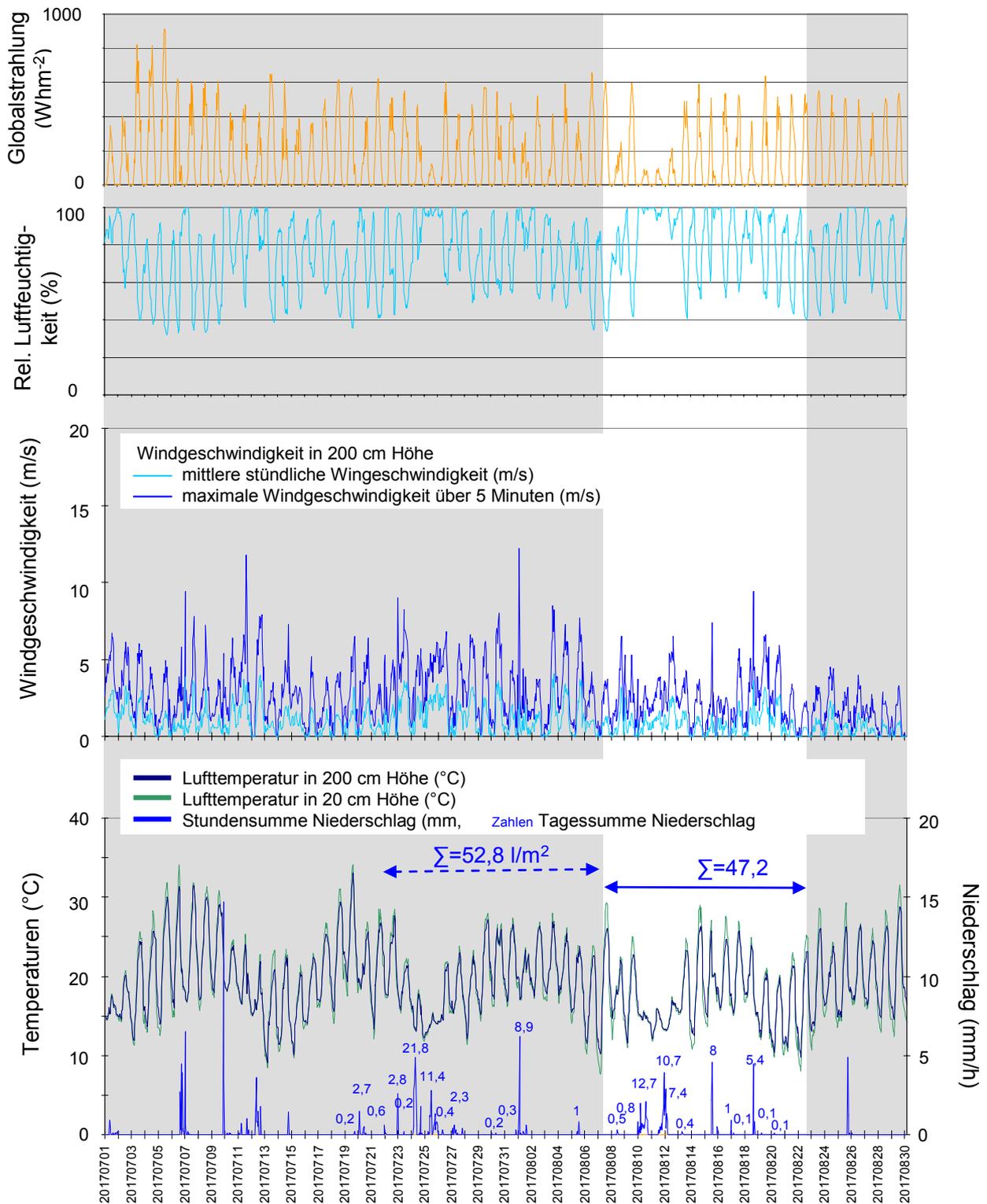


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Drais-Finthen (Quelle: DLR RLP).

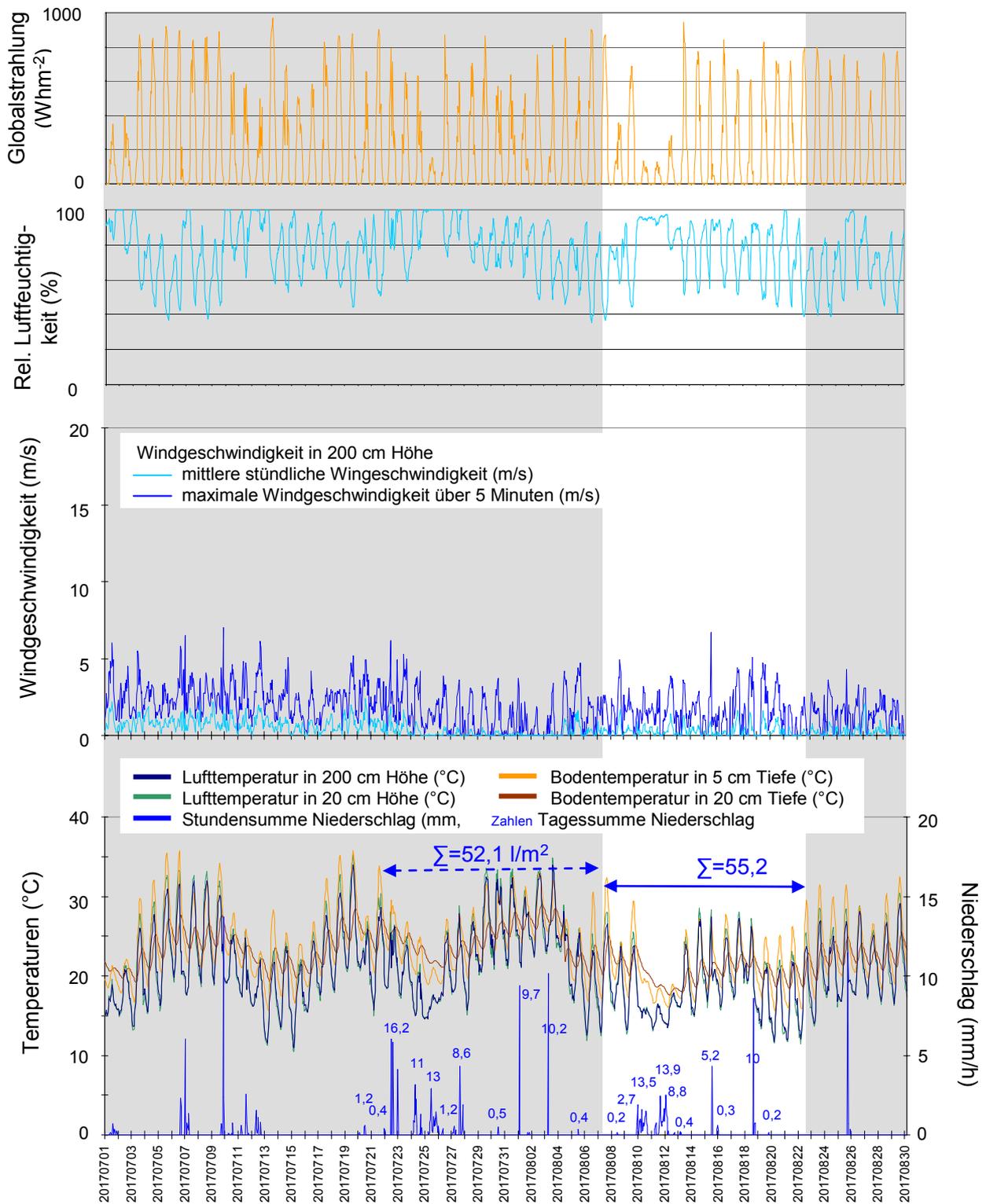


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

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

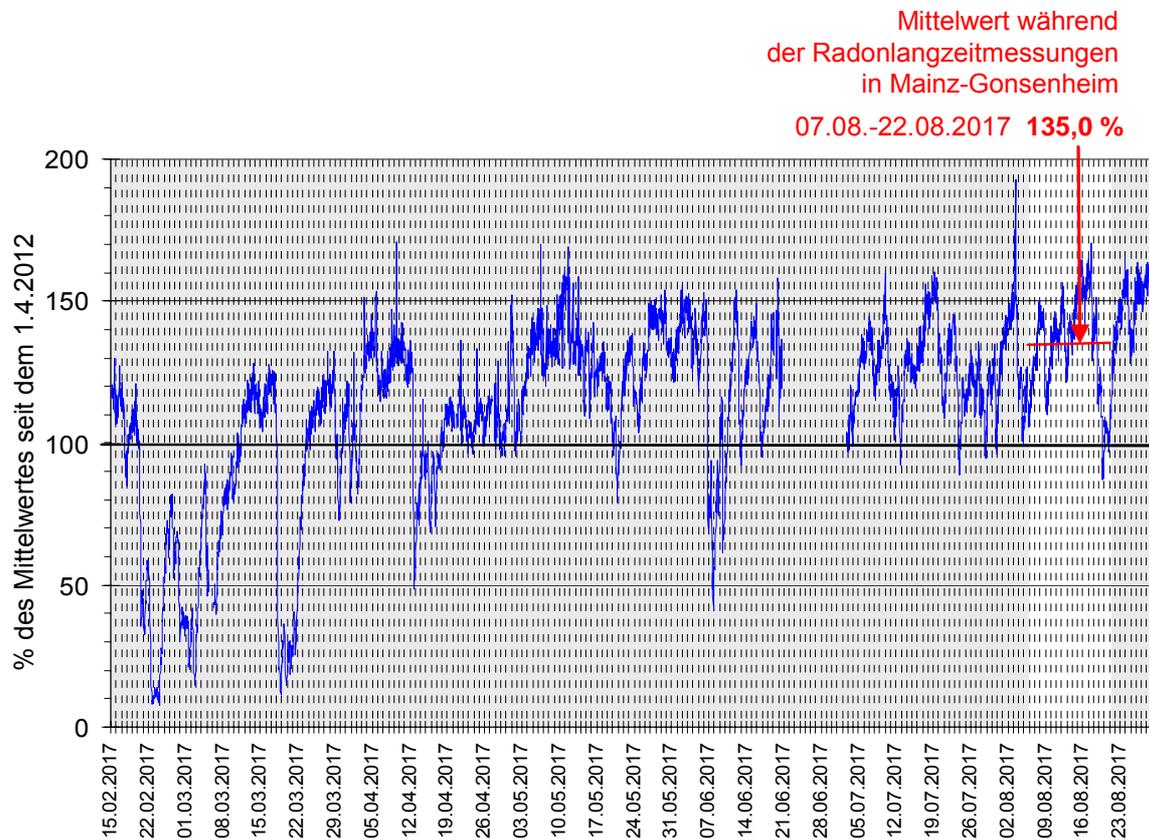


Abbildung 5 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Gonsenheim (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1. April 2012.

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-Gonsenheim kann aufgrund der ähnlichen Witterung und ähnlicher Bodenfeuchte der Böden eine ähnliche zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen angenommen werden.

Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 135% des mehr als 5-jährigen Mittelwertes. Grund dafür

sind die, trotz ergiebiger Regenfälle im Juli/August, seit dem Frühjahr tiefgründig trockenen Böden, die den Aufstieg von Radon aus der Tiefe begünstigen. Die aufgrund der trockenen 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 Böden erleichtert in die Tiefe fortsetzen kann. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im August 2017 somit deutlich 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 15 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem weiten Aktivitätskonzentrationsbereich von $17,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $49,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (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 $13 \pm 20\%$ bis $36,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (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 den auf der Untersuchungsfläche festgestellten hohen Gasdurchlässigkeiten wird hier der

Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck angewandt.

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)		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	Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³
KRI-01	07.09.- 22.09.17	27,6 22,1-33,1	20,4 16,3 – 24,5	2E-10		5,51E-06 4,08E-06 4,90E-06
KRI-02	07.09.- 22.09.17	17,5 14 – 21	13,0 10,4 – 15,6	5E-11		8,75E-07 6,48E-07 7,78E-07
KRI-03	07.09.- 22.09.17	37,5 30 - 45	27,8 22,2 – 33,3	5E-11		1,87E-06 1,39E-06 1,67E-06
KRI-04	07.09.- 22.09.17	49,2 39,4 – 59,1	36,5 29,2 – 43,8	5E-11		2,46E-06 1,02E-06 1,22E-06
KRI-05	07.09.- 22.09.17	27,5 22 - 33	20,4 16,3 – 24,4	5E-11		1,37E-06 1,02E-06 1,22E-06
KRI-06	07.09.- 22.09.17	22,3 17,8 - 26,7	16,5 13,2 – 19,8	5E-11		1,11E-06 8,25E-07 9,89E-07

* wk witterungskorrigiert (approximiert);

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

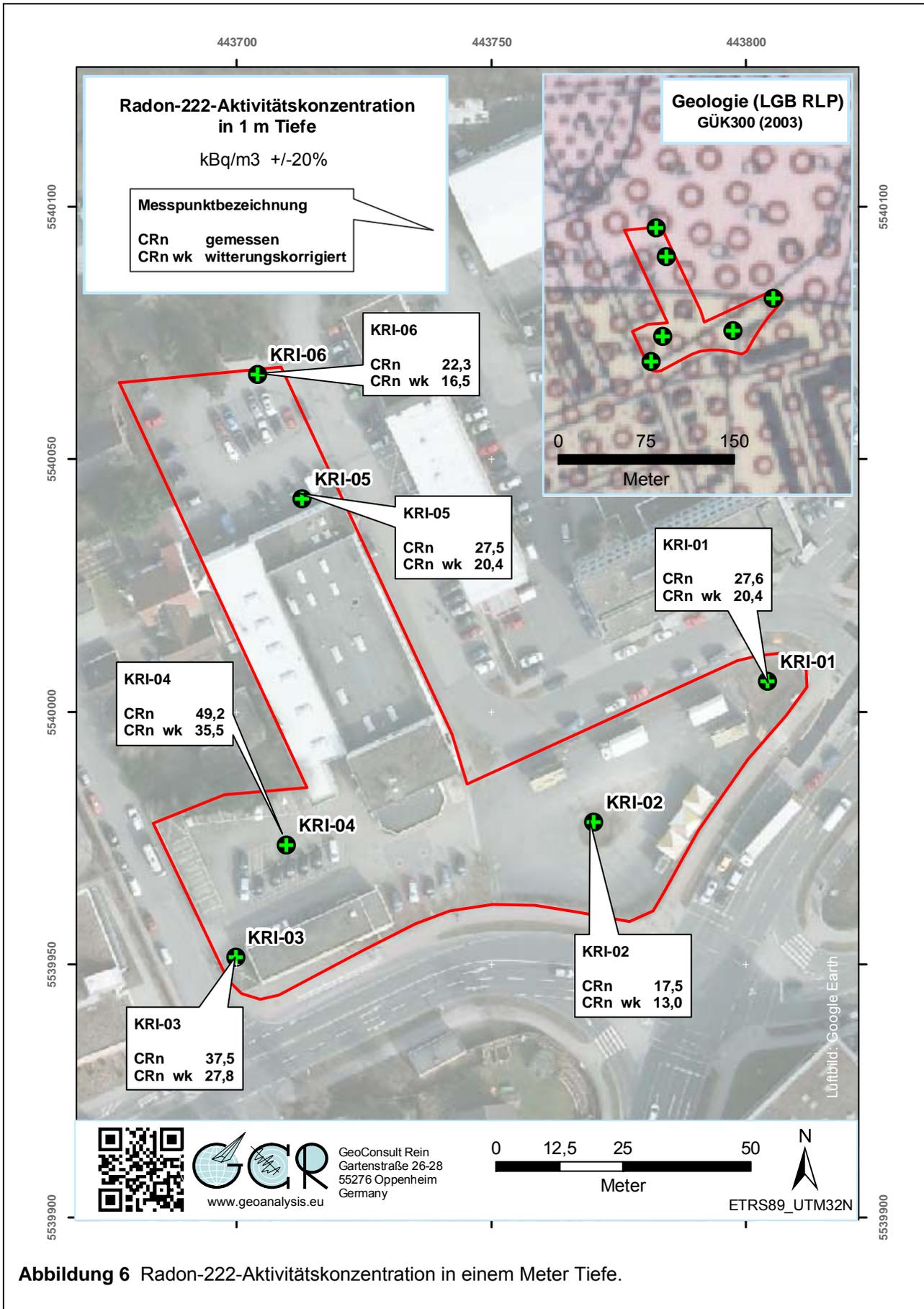


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe.

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, RVK I und RVK II (Tab. 3).

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 hohen Gaspermeabilität der Böden eine nahezu einheitliche Eingruppierung der Radonmesspunkte in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK II. 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) 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 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. 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 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

Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht dagegen auf einem Zielwert von maximal 250 Bq/m³ 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.

Die empfohlenen Massnahmen orientieren sich am derzeit gültigen EU-weiten Richtwert von 300 Bq/m³.

Aufgrund der vorgenannten Ergebnisse der orientierenden Untersuchungen werden für das Baugebiet (im derzeitigen Zustand) Radonpräventionsmassnahmen gemäß der Radonvorsorgegebietsklasse II (RVK II) empfohlen.

Die Einordnung in die Radonvorsorgegebietsklasse **RVK II** beruht auf den derzeitigen hohen Gaspermeabilitäten an diesen Standorten.

Im Zuge der Bauvorbereitung könnte durch geeignete Massnahmen die Gaspermeabilitäten der Sande gesenkt und damit die Radonvorsorgegebietsklasse RVK II vermieden werden (s.u.).

Auch durch die Art der z. Zt. vorgesehenen Bebauung (Tiefgarage/Weisse Wanne) kann ein Teil nachfolgend aufgeführter Präventionsempfehlungen u.U. entfallen. Um dies bewerten zu können bedarf es konkreter Baupläne.

Ansonsten umfassen typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgegebiet **RVK II:**

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. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes oder im Innenbereich.
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.

5. 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.
6. Ggf. eine passive oder aktive Bodengasdrainage zur Erzeugung eines Unterdruckes unter dem Gebäude zur Druckgradientenumkehr und Ableitung von Bodengas in die Drainage, vor allem, wenn das Gebäude nicht unterkellert geplant ist und Frostschrünzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern.

Sollte die Gaspermeabilität des Baugrundes bis in eine Distanz von 1 Meter Abstand zu erdberührten Bauteilen durch Vermörtelung (z.B. Durasol oder ähnliche Produkte oder schluffige Sande) und anschließende Verdichtung auf einen Wert $k \leq 2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ reduziert werden können, dann wären Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklasse RVK I ausreichend für die in den Bohrungen angetroffene Radonsituation.

Typische Radonpräventionsmassnahmen in einem Radonvorsorgegebiet RVK I umfassen:

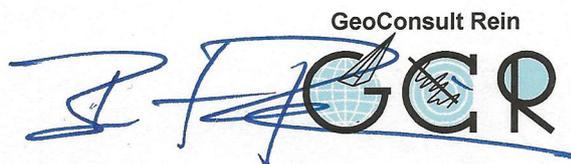
1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: $\geq 20 \text{ cm}$). Sollte eine durchgehende Bodenplatte aufgrund der Bauart, der Notwendigkeit von Dehnfugen etc. nicht möglich sein, ist auf deren gasdichte Ausführung zu achten.
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten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

Durchführungen durch die Bodenplatte und durch erdumlagerte Wände sind für den Radonschutz von besonderer Bedeutung, weil bereits kleinste Leckagen zu einem bedeutenden Zustrom von Bodenluft und Radon führen können. Diese Abdichtungsmaßnahmen umfassen sowohl die gasdichte Abdichtung des Anschlusses von Rohrdurchführungen zum Mauerwerk, aber auch die häufig unterschätzten, freibleibenden Wegsamkeiten innerhalb der, durch die Leitungen nur teilgefüllten Leerrohre. Auch wenn diese nur einen kleinen Durchmesser besitzen, können Sie unsachgemäß abgedichtet, 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 /1/ beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Solange Gebäudepläne 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, 07.09.2017

Oppenheim, 03.04.2018