

Bericht

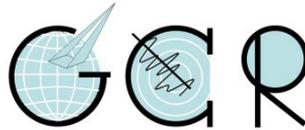
Radonbelastung in der Bodenluft

BPL „In der Hecht“

in Biebelsheim

Projektnummer 20170809_Rn222_FGS

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Ortsgemeinde Biebelsheim
Hauptstraße 4
55546 Biebelsheim

11. September 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	23

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.	22

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 – ohne Ersatz)	23

1. Auftrag

Die Ortsgemeinde Biebelsheim beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan „In der Hecht“ in Biebelsheim.

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/ Städtebauliches Konzept BPL „In der Hecht“, M 1:1000 (Ortsgemeinde Biebelsheim/ Jestaedt + Partner, 30.05.2017)
- /2/ Katasterplanauszug DWG-Datei „2017_05_02_Kataster_Biebelsheim.dwg“ (Auftraggeber)
- /3/ LANIS RLP
- /4/ Geologische Karte RLP GK25 6113 (LGB 1926)
- /5/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /6/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Sprendlingen und Oppenheim
- /7/ Google Earth

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

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

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumluft um 100 Bq/m^3 . Bei einer Rn222-Raumluftkonzentration von 800 Bq/m^3 hat sich das Lungenkrebsrisiko bereits verdoppelt. Das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

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

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

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

3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden

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

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

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von

Gebäuden können aber aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise erhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden hängt von den folgenden Faktoren ab:

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

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

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

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

3.3 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. 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 des Bebauungsplanes /1/ /2/ liegt nördlich und westlich der bestehenden Ortsbebauung auf einem flach nach Osten einfallenden Hang. Die topografische Höhe beträgt $120\text{-}133 \text{ m NN}$ /3/. Nach Westen und Norden grenzt die Untersuchungsfläche an Rebflächen. Der östliche Teil des Bebauungsplanes wird zur Zeit als Schrebergärten genutzt (s. Luftbild in Abbildung 1, /7/). Die sich nach Westen anschließende, im Luftbild noch ackerbaulich genutzte Fläche hatte zum Zeitpunkt der Radonmessungen bereits eine Nutzungsänderung erfahren und war mit $10\text{-}30 \text{ cm}$ hohem Gras bewachsen. Die Nutzung der sich weiter nach Westen anschließenden Flächen entsprach zum Zeitpunkt der Radonmessungen noch der im Luftbild.

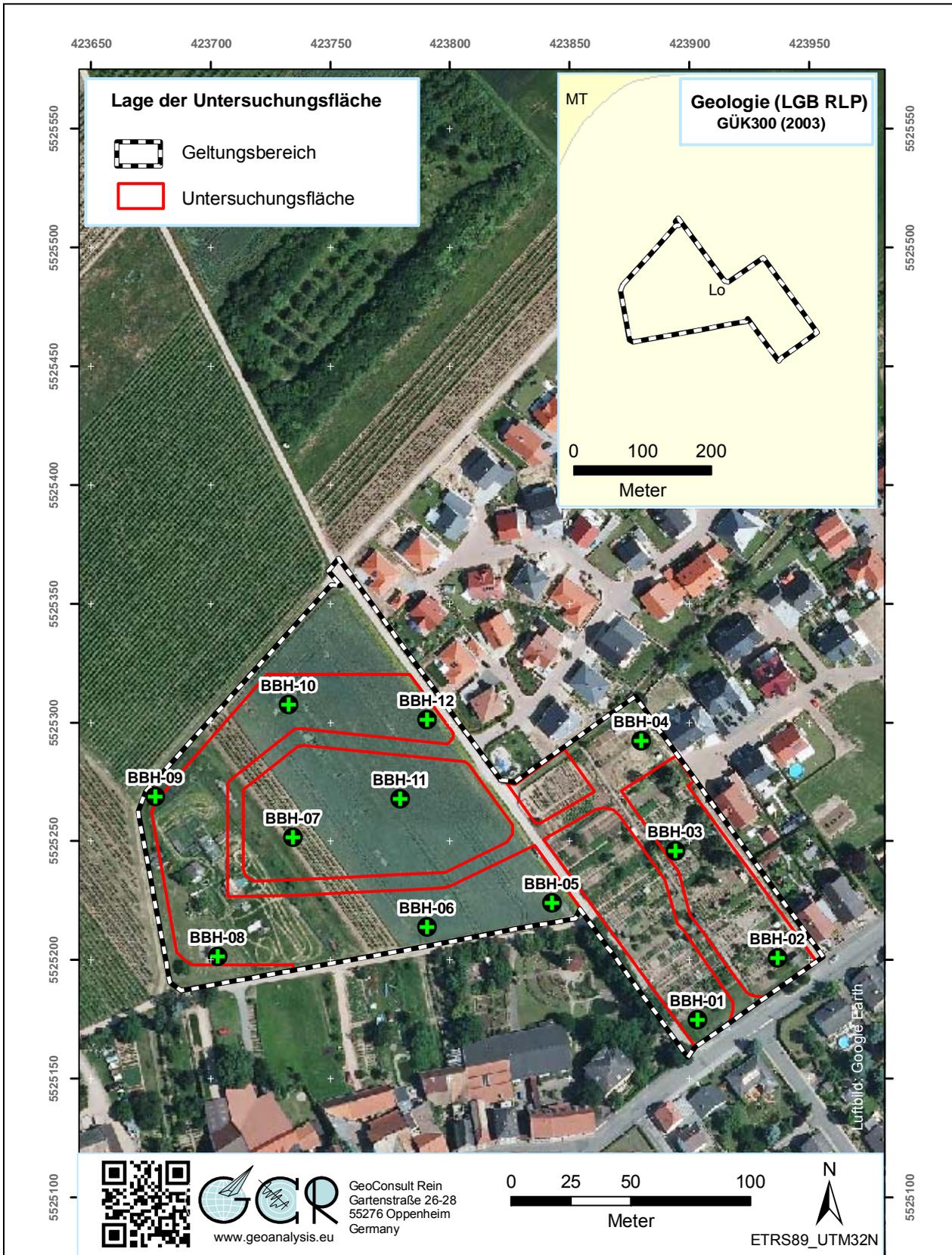


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen (Luftbild GoogleEarth).

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde das *Städtebauliche Konzept /1/* genutzt. Der Lageplan wurde mit Hilfe von Flurstückeckpunkten /2+3/ 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 09.08.2017 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 13 Tage.

6. Ergebnisse der Feldarbeiten

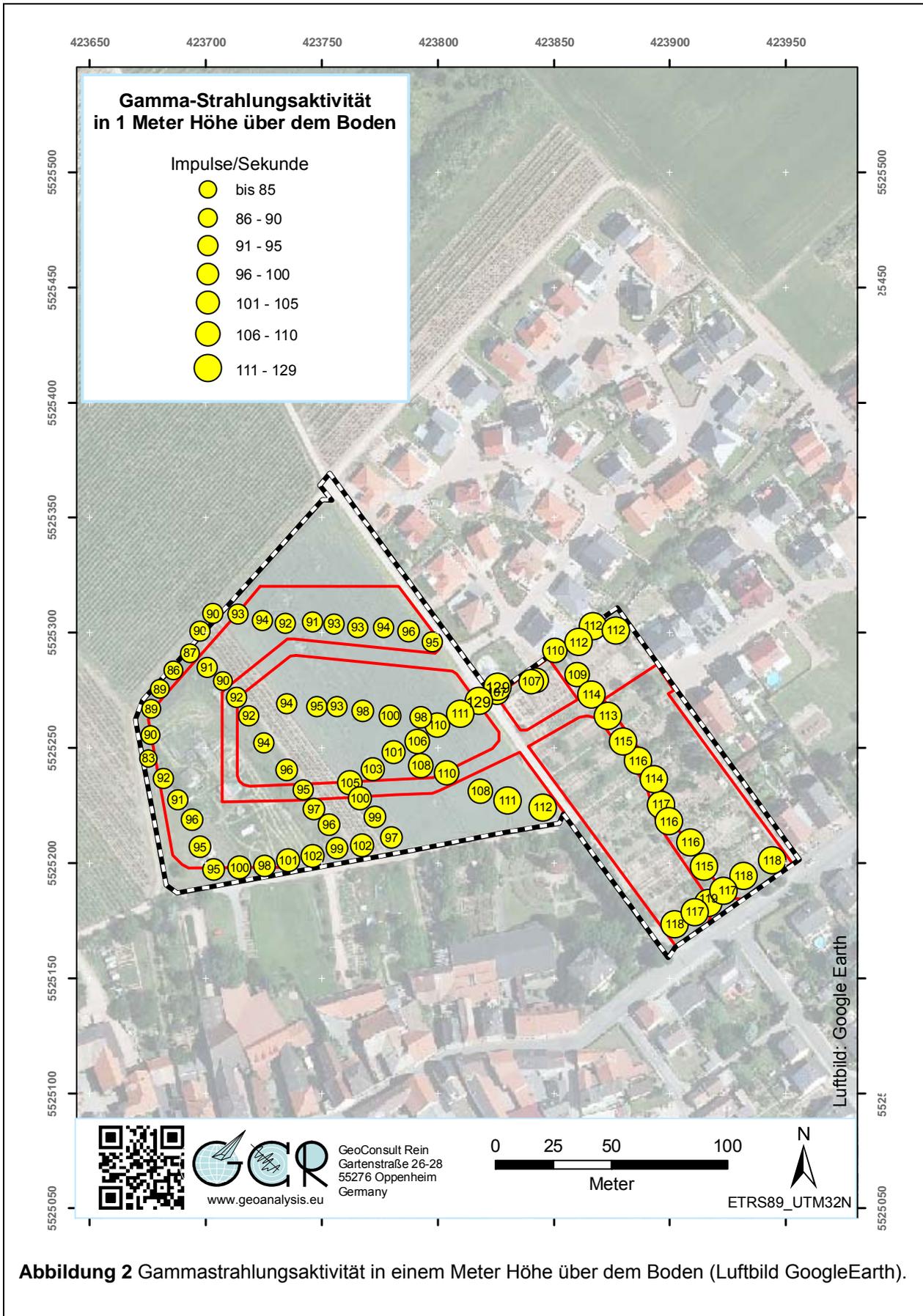
6.1. Gammastrahlungsaktivität

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

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

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

Die gemessenen Impulsraten liegen in einem weiten Wertebereich zwischen 85 bis 119 Impulsen pro Sekunde. Höhere Werte wurden mit jeweils 129 Impulsen/Sekunde nur an der Einmündung eines Grasweges in den zentral durch den BPL verlaufenden asphaltierten Weg gemessen. Diese Messungen sind durch Fremdschotter beeinflusst (Rhyolith). Die Gammastrahlungsaktivitäten sind im Bereich der Schrebergärten höher als im westlichen Teil des Bebauungsplanes. Auch innerhalb der westlichen Teilfläche ist ein Trend zu abnehmenden Gammastrahlungsaktivitäten von Südost nach Nordwest zu beobachten.



6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Die Untersuchungsfläche liegt gemäß der geologischen Karte GK25 5113 (1926) /3/ und der geologischen Übersichtskarte von RLP /4/ in quartären „Lössen und Lösslehmen (dlö)“ über den aus mergeligen Sanden und sandigen Mergeln bestehenden tertiären „Schleichsanden (tom2)“. Einzelne Horizonte innerhalb der „Schleichsande“ können lokal für hohe Radonkonzentrationen im Boden verantwortlich sein.

Die Bohrungen haben die tertiären Schichten nicht erreicht und stehen alle innerhalb der darüber lagernden äolischen Sedimente, Löße und Schwemmlöße bzw. äolisch Sedimente in stärker sandiger Ausprägung im unteren Hangbereich. Die Bohrungen ergaben 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	
BBH-01	423903	5525175	0-110	Feinsand, schwach schluffig
BBH-02	423937	5525200	0-30 30-110	Feinsand, schluffig, dunkelbraun Feinsand, schluffig, mittelbraun
BBH-03	423994	5525246	0-30 30-110	Feinsand, schluffig, dunkelbraun-gräulich Schluff, schwach lehmig, mittelrostbraun
BBH-04	423880	5525292	0-110	Feinsand, sehr schwach schluffig, mittelbraun
BBH-05	423843	5525224	0-30 30-110	Feinsand, sehr schwach schluffig, dunkel mittelbraun Feinsand, sehr schwach schluffig, mittelbraun
BBH-06	423790	5525214	0-60 60-110	Sand, schluffig, mittelbraun Schluff, sehr schwach sandig zur Tiefe schwach sandig bis sandig, fahlbraun
BBH-07	423734	5525252	0-35 35-110	Schluff, sandig, mittelbraun-gräulich Schluff/Löß, sandig, fahlbraun, Kalksteinchen
BBH-08	423703	5525201	0-35 35-110	Schluff, sandig, dunkel mittelbraun Sand, schwach schluffig, mittelbraun
BBH-09	423677	5525268	0-30 30-60 60-110	Feinsand, schwach schluffig, Kalksteinchen + Ziegelbruch Feinsand Schluff
BBH-10	423733	5525307	0-90 90-110	Schluff, sandig, mittelbraun Schluff, sandig, fahlbraun
BBH-11	423779	5525268	0-55 55-90 90-110	Schluff, sandig, dunkel mittelbraun Schluff, hellbraun, Kalkkonkretionen Schluff, hellbraun
BBH-12	423790	5525301	0-40 40-60 60-90 90-110	Sand, schluffig bis Schluff, sandig, dunkel mittelbraun Sand, mittelbraun Sand, schwach schluffig, dunkel mittelbraun Sand, schwach schluffig, karbonatreich

7. Laborergebnisse

7.1 Bodenfeuchte

Der Bodenwassergehalt beeinflusst (neben Kornform, Korngröße, Verteilung der Mutternuklide im Mineralkorn) die Radonemanationsrate (Freisetzung von Radon aus dem Mineralkorn in die Bodenluft) und die Migrationsmöglichkeiten für Radon/Bodengase im Porenraum des Bodens. Aufgrund des Radonverteilungsungleichgewichtes zwischen Wasser und Luft (in der Bodenluft) tritt Radon in der Bodenluft in etwa 3-fach höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Deshalb kann bei erhöhten Wassergehalten die Radonkonzentration in der Bodenluft ansteigen. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser herangeführt werden und freigesetzt werden. Nasser oder wassergesättigter Boden kann wiederum diffusionshemmend bzw. als Diffusionssperre für den Aufstieg und die Migration von Radon wirken. Die Bodenfeuchte beeinflusst in beide Richtungen, neben der Migrationsmöglichkeit, auch die Emanationsrate (Übertritt von Radon aus dem Mineralkorn in den Porenraum) und damit die gemessene, aber temporär variable Radonkonzentration.

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

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				95-105 / 105-110 cm		10-15 cm	
				09.08.17	22.08.17	09.08.17	22.08.17
BBH-01	423903	5525175	105/110	12,9	13,0	12,0	16,3
BBH-02	423937	5525200	105/110	14,3	15,1	15,0	17,7
BBH-03	423994	5525246	105/110	13,9	12,9	15,8	14,5
BBH-04	423880	5525292	105/110	11,5	12,0	12,4	15,9
BBH-05	423843	5525224	105/110	10,5	14,8	13,6	16,3
BBH-06	423790	5525214	105/110	10,5	12,3	11,4	10,1
BBH-07	423734	5525252	105/110	9,5	10,3	13,2	13,8
BBH-08	423703	5525201	105/110	10,5	10,9	13,0	12,5
BBH-09	423677	5525268	105/110	7,3	9,7	11,8	10,8
BBH-10	423733	5525307	105/110	11,6	11,9	12,1	12,9
BBH-11	423779	5525268	105/110	8,7	9,0	11,5	13,0
BBH-12	423790	5525301	105/110	10,4	8,9	12,4	12,6

Die Böden waren in der Messtiefe der Radonsonden zu Beginn und Ende der Radonmessungen mäßig feucht bis trocken.

Auch die oberflächennahen Böden waren nur mäßig feucht, aber tendenziell feuchter als in einem Meter Tiefe. 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, sehr schwach schluffigen bis schluffigen bzw sandigen Schluffen ist die Gaspermeabilität durchgängig mäßig (Werte s. Tab. 3).

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Sprendlingen (128 m ü NN) liegt südwestlich von Sprendlingen in einer Wiese, 3,6 Kilometer südöstlich der Untersuchungsfläche (121 - 133 m NN).

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 Regensfalls dargestellt.

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

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

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

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

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

Die Niederschläge waren nach Menge und Niederschlagsverteilung in den Wochen vor Beginn der Radonmessungen an beiden Wetterstationen vergleichbar (Sprendlingen 52,6 l/m², Oppenheim 52,3 l/m²). Auch während der Radonlangzeitmessungen in Biebelsheim fielen an beiden Wetterstationen annähernd vergleichbare Niederschlagsmengen (Sprendlingen 41,6 l/m², Oppenheim 55 l/m²). Vor allem war aber die zeitliche Verteilung der Niederschlagsereignisse und der Starkniederschläge ähnlich. Die Behinderung der Radonexhalation durch potentiell temporär Oberboden-versiegelnde Niederschläge war somit in Sprendlingen/Biebelsheim 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).

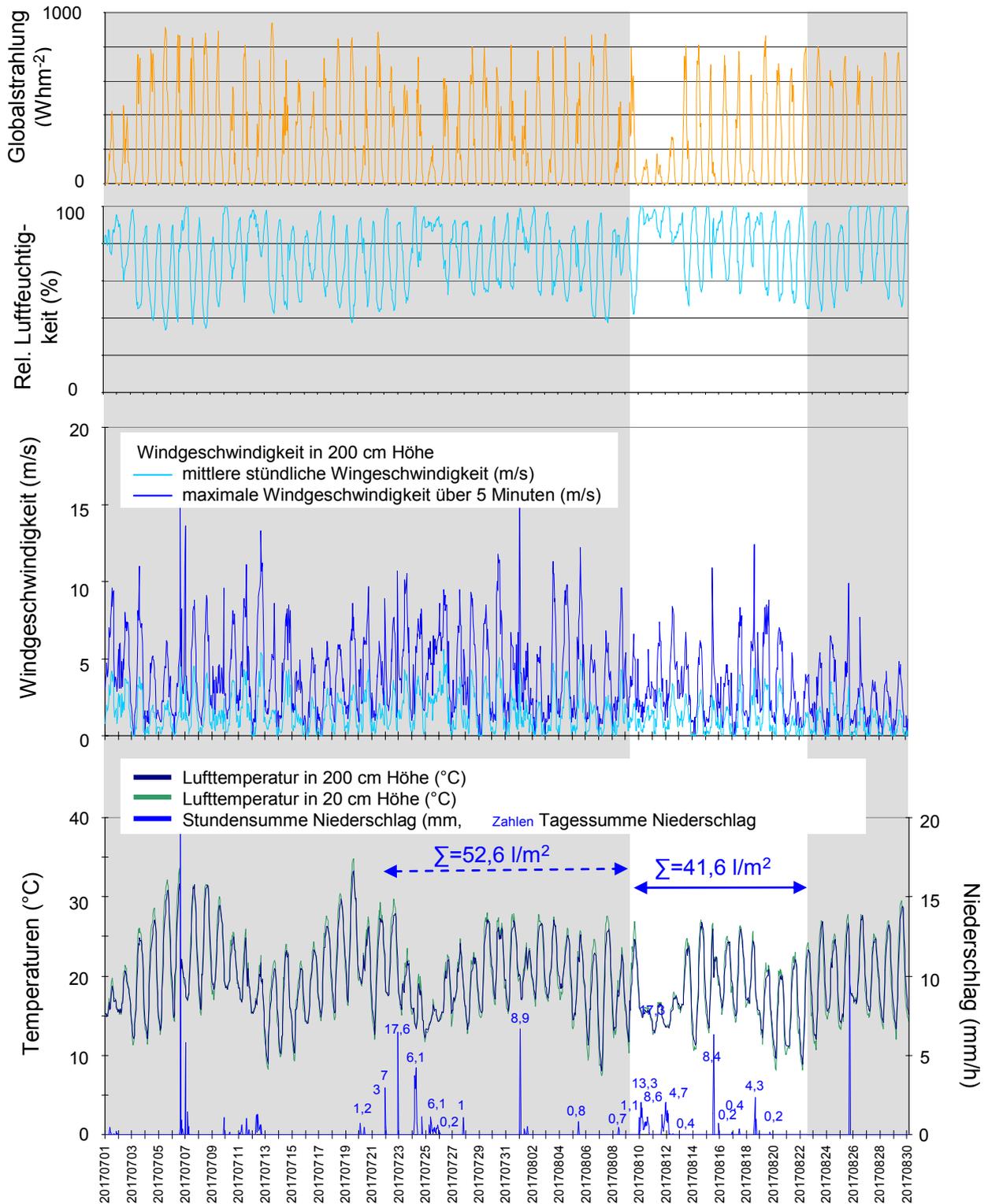


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Spremlingen (Quelle: DLR RLP).

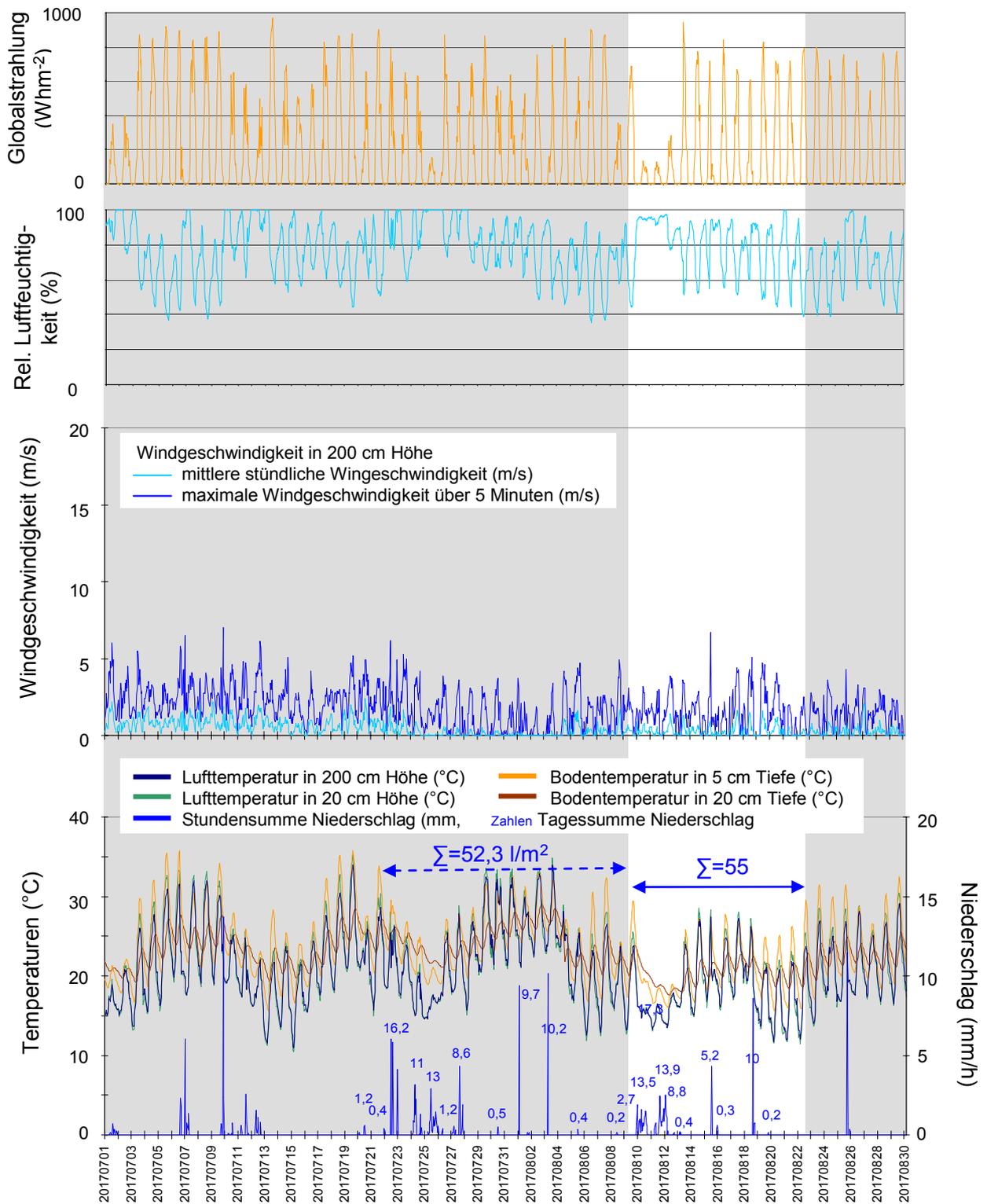


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

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

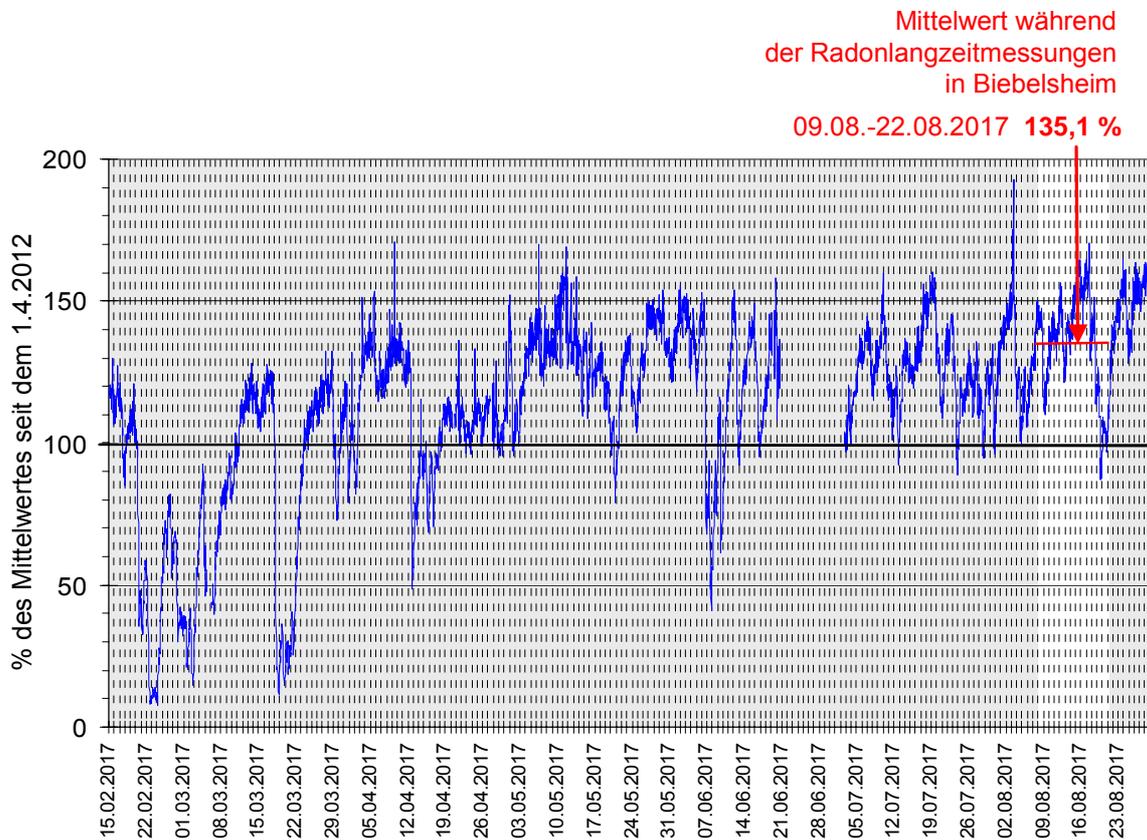


Abbildung 5 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Biebelsheim (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1. April 2012.

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 Biebelsheim 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 135,1 % 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 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. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen im August 2017 somit 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 13 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem moderaten bis erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von $29,6 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $66,0 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (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 $21,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $48,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (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.

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
BBH-01	09.09.- 22.09.17	63,9 51,1 – 76,7	47,3 37,8 – 56,7	5E-12	2,02 1,88 1,96	
BBH-02	09.09.- 22.09.17	61,3 49 – 73,6	45,4 36,3 – 54,4	2E-13	1,89 1,76 1,96	
BBH-03	09.09.- 22.09.17	66,0 52,8 – 79,3	48,9 39,1 – 58,6	1E-13	1,90 1,77 1,85	
BBH-04	09.09.- 22.09.17	42,7 34,1 – 51,2	31,6 25,3 – 37,9	9E-12	1,86 1,73 1,81	
BBH-05	09.09.- 22.09.17	58,5 46,8 – 70,2	43,3 34,6 – 52,0	9E-12	2,00 1,87 1,95	
BBH-06	09.09.- 22.09.17	35,7 28,6 – 42,8	26,4 21,1 – 31,7	2E-13	1,65 1,52 1,60	
BBH-07	09.09.- 22.09.17	29,6 23,7 – 35,5	21,9 17,5 – 26,3	1E-13	1,55 1,42 1,50	
BBH-08	09.09.- 22.09.17	44,3 35,5 – 53,2	32,8 26,3 – 39,4	5E-13	1,78 1,65 1,73	
BBH-09	09.09.- 22.09.17	29,8 23,8 – 35,7	22,0 17,6 – 26,4	2E-13	1,58 1,45 1,52	
BBH-10	09.09.- 22.09.17	43,6 34,9 – 52,3	32,3 25,8 – 38,7	1E-13	1,72 1,59 1,67	
BBH-11	09.09.- 22.09.17	37,1 29,7 – 44,5	27,4 21,9 – 32,9	2E-13	1,67 1,54 1,62	
BBH-12	09.09.- 22.09.17	50,5 40,4 – 60,6	37,4 29,9 – 44,9	5E-12	1,91 1,78 1,86	

Tabelle 3 (Fortsetzung): Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

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

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 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 heterogene Einordnung der gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen in die Radonvorsorgegebietsklassen RVK I (4 Messbohrungen) und RVK II (8 Messbohrungen) (Tab. 3).

Nach Witterungskorrektur der gemessenen Radonkonzentrationen erniedrigt sich die Anzahl der in RVK II eingruppierten Radonmessbohrungen auf vier. Vier zuvor RVK II zugeordnete Messbohrungen werden nach der Witterungskorrektur nun der niedrigeren Radonpräventionsklasse RVK I zugeordnet.

Durch den Index für die Radonverfügbarkeit, der die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachtet und bei einem Klassifikationszielwert von 250 Bq/m^3 , ergibt sich ebenfalls eine Eingruppierung der Radonmesspunkte in die RVK I und RVK II. Die Radonmesspunkte in der östlichen Teilfläche (Schrebergärten) sowie der direkt benachbarte Punkt BBH 5 und der in ähnlicher topografischer Höhe wie BBH-05 liegende Messpunkt BBH-12, werden der Radonvorsorgeklasse RVK II zugeordnet, alle anderen höher liegenden Radonmesspunkte (BBH-06 bis BBH-11) gruppieren sich in RVK I.

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

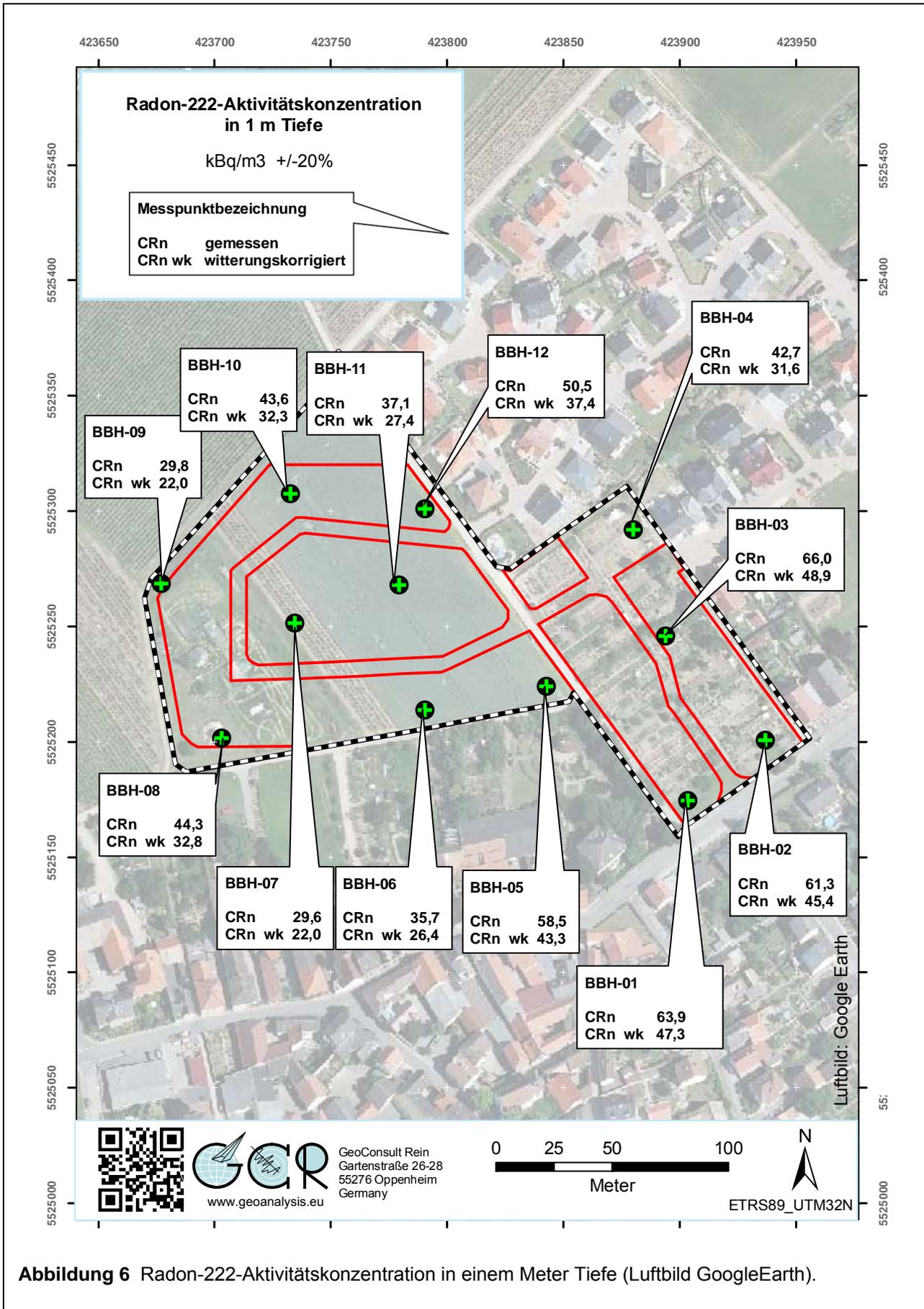


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentration in einem Meter Tiefe (Luftbild GoogleEarth).

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/m³ in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und jetzt auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m³) 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 **Radonpräventionsmassnahmen** gemäß der Radonvorsorgegebietsklassen **RVK I und RVK II** empfohlen. Der Verlauf der räumliche Grenze zwischen beiden Radonvorsorgegebietsklassen im westlichen Teilgebiet des Bebauungsplanes hängt auch davon ab wie tief die geplanten Gebäude in den Untergrund einbinden und wie nahe die Gebäudegründungen damit den unterlagernden Schichten der *Schleichsande* kommen. Baugrunduntersuchungen der Bauherren werden Aufschluß geben über die Tiefenlage der Schichten der *Schleichsande*, so dass danach eine Bauvorhabens-spezifische endgültige Eingruppierung in eine Radonvorsorgegebietsklasse erfolgen kann. Sollten Gebäude tief in den Untergrund einbinden und die unterlagernden *Schleichsande* erreichen oder bis in deren unmittelbare Nähe reichen, ist u.U. lokal auch eine Höhergruppierung in **RVK III** nötig.

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

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: ≥ 20 cm). Sollte eine durchgehende Bodenplatte aufgrund der Bauart, der Notwendigkeit von Dehnfugen etc. nicht möglich sein, ist auf deren gasdichte Ausführung zu

achten.

2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien (z.B. Polymerbitumen), bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.
4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

Ansonsten umfassen typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgebiet

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.
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 Frostschränke eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter

dem Gebäude verhindern.

Sorgfalt bei der Radonabwehr sollte ganz besonders für Gebäude ohne Unterkellerung deshalb gelten, weil in diesen im statistischen Mittel die Radonkonzentrationen im Erdgeschoss höher als in unterkellerten Gebäuden sind.

Sollten Frostschrüzen eine passive Entlüftung des Schotterbettes unter dem Gebäude verhindern, wird empfohlen passive oder aktive Entlüftungsmöglichkeiten in den Frostschrüzen vorzusehen, um erhöhte Radonkonzentrationen durch mangelnde Exhalationsmöglichkeiten abzubauen.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, sollte die Gebäudegründung in oder bis nahe an die Schleichsande reichen, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Solange Gebäudepläne nicht vorliegen, sind obige Massnahmenkataloge 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.

Der Radongutachter kann auch bei der Auswahl geeigneter Materialien bzw. Kombinationen von Massnahmen zur Radonprävention unterstützen und die Ausführung der Arbeiten ggf. begleiten.

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, 11.09.2017