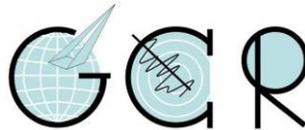


Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL Schwalbenruh, Stackeden-Elsheim
Projektnummer 20190109_Rn222_STA

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Weber-Consulting Beratungs GmbH
Bauschlotter Straße 62
75177 Porzheim

07. Februar 2019

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.	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Heidenfahrt	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Ingelheim.	18
Abbildung 6	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen	21

Tabellenverzeichnis

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

1. Auftrag

Die Weber-Consulting Beratungs GmbH beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan *Schwalbenruh* im Ortsteil Stackeden.

Die Radonaktivitätskonzentration im Boden sollte untersucht werden, um festzustellen, ob und in welchem Umfang Maßnahmen zum Schutz vor Radon für die Fläche des Bebauungsplanes zu empfehlen sind.

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Bebauungsplan *Schwalbenruh*:
Lageplan-Parzellierungsentwurf_BA1_Schwalbenruh_27-11-2018.pdf (mit Höhenlinien)
- /2/ LANIS RLP / LVERMGEO RLP
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /4/ Geologische Karte GK25 6014 (Geol. Dienst Hessen 1931)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Appenheim und Oppenheim
- /6/ 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 gewinnt neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie. 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/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.

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) liegt am südöstlichen Ortsrand von Stackeden. Die Fläche fällt mit schwacher Neigung im südlichen Teil nach Norden, dann nach Nordwesten ein (vgl. Höhenlinien /1/ in Abb. 1). Der Bewuchs der Fläche entspricht in etwa dem im Luftbild in Abbildung 1. Die Fläche zwischen STA-4 und STA-7 war mit niedrigen und noch schütterten Grasbüscheln bewachsen. Die Fläche zwischen STA-8 und STA-9 war stark verkrautet. Die Wiesenfläche im Südteil des Bebauungsplanes (S des Wirtschaftsweges) ist im Flächennutzungsplan als Mischgebiet ausgewiesen, ebenso wie ein Teil der Fläche entlang der Straße (bei STA-7) nördlich des bereits bebauten Grundstückes. Innerhalb der Restfläche ist die Funktion Wohnen vorgesehen.

Die Untersuchungsfläche liegt bei gerundeten topografischen Höhen zwischen 125 m NN im Nordwesten und 133 m NN am Südrand. Trotz Tallage und nach Westen angrenzender Bebauung ist die Fläche hinsichtlich der Bewertung von Radonmessungen als windoffen gelegen zu bezeichnen.

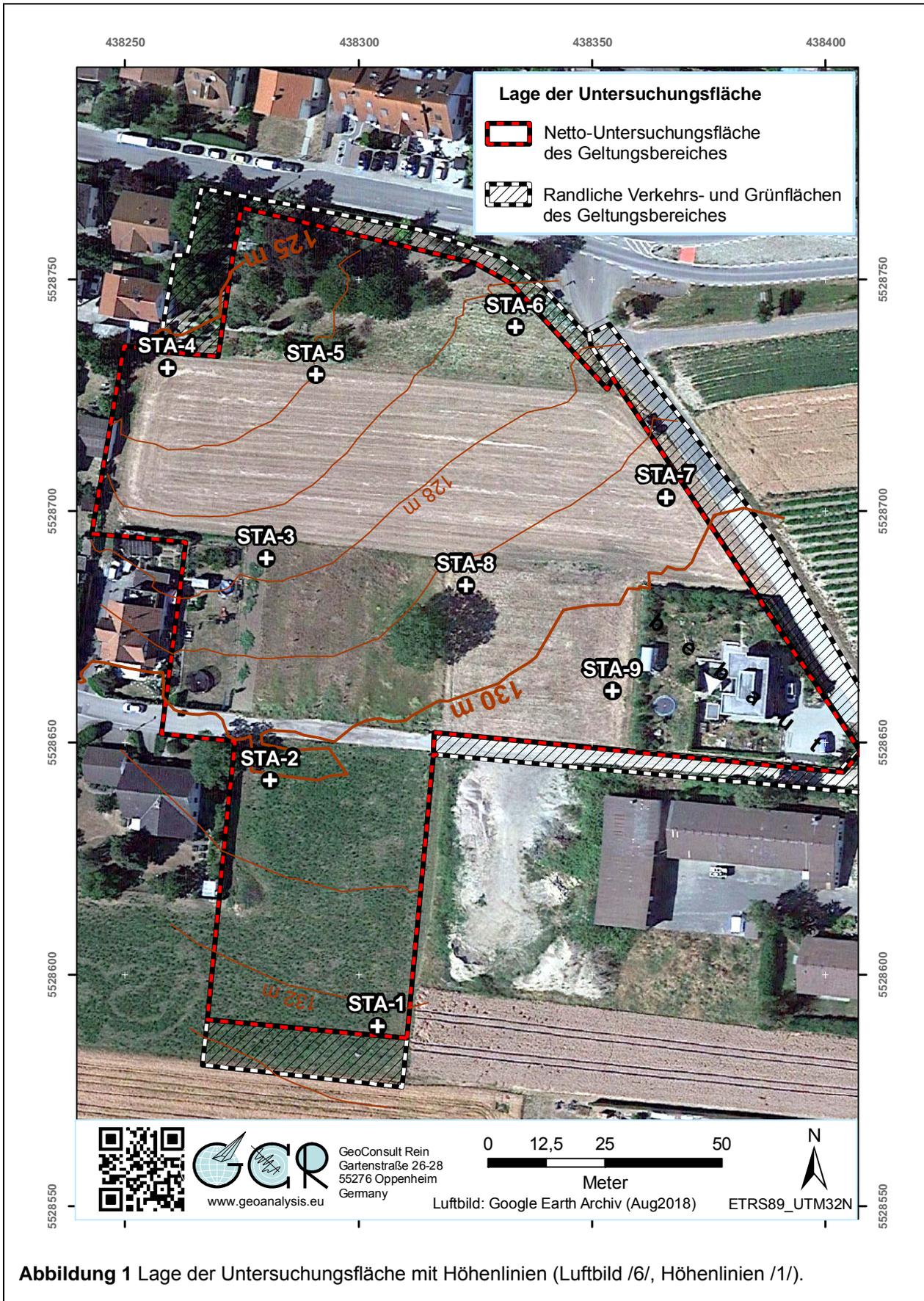


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Höhenlinien (Luftbild /6/, Höhenlinien /1/).

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde /1/ genutzt. Mit Hilfe von Flurstückeckpunkten /2/ wurden Pläne aus /1/ für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert (ETRS89 UTM32N).

Die Untersuchungsfläche wurde am 9. Januar und 6. Februar 2019 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten. Genutzt wurde ein Szintillationsmessgerät mit einem großvolumigen, hochsensiblen 40 x 50 mm großen NaJ-Detektor-Kristall. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

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

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

9 Radonmessbohrungen wurden am 10. Januar 2019 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1,0 - 1,10 Meter Tiefe.

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 (15-20 cm Tiefe) zur Bestimmung des Wassergehaltes.

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut in der Reihenfolge der Entnahme rückverfüllt.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe sowie des Oberbodens erfolgten am 23. Januar 2019, weil in den folgenden Tagen aufgrund einer Witterungsänderung wieder mit stark unterdurchschnittlichen Radonkonzentrationen gerechnet wurde (vgl. Abb. 5). 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 gewachsenen Böden 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, aber kein direkter Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.

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

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Gammastrahlungskartierung dargestellt. Die Impulsraten liegen in einem weiten Wertebereiche zwischen 78-118 Impulsen pro Sekunde. Werte ≥ 98 IPS wurden ausschließlich am westlichen bzw. nordwestlichen Rand des Bebauungsplanes gemessen. Möglicherweise sind die erhöhten Werte dort nicht (nur) natürlichen Ursprungs, sondern auch durch eingestreute Baumaterialien verursacht. Starke Gammastrahlungsanomalien, die bei der Anordnung der Radonmessbohrungen berücksichtigt hätten werden müssen, wurden nicht detektiert. Der schnelle Wechsel der Gammastrahlungsaktivität ist typisch den schnellen faziellen Wechsel innerhalb der Schleichsande. Hinweise auf im baugrundnahen Untergrund verborgene sehr starke Radonemanenten ergaben sich durch Gammamessungen nicht.

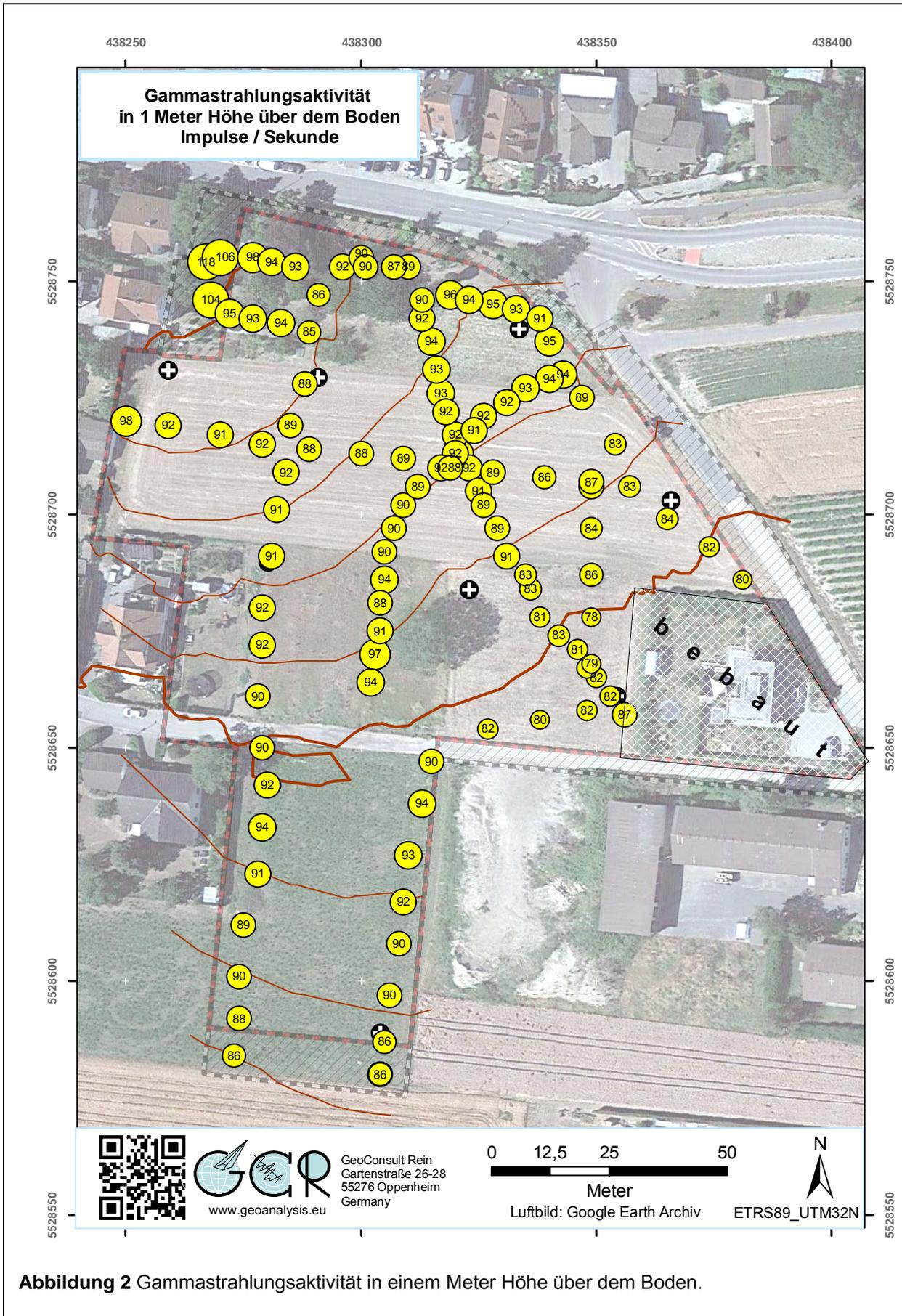


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen geologischen Untergrund bilden laut der geologischen Karte von 1931 /4/ nahezu sählig lagernde Schleichsande, die in neuerer Terminologie als Stackeden-Formation bezeichnet werden. Einzelne Gesteinshorizonte innerhalb der Stackeden-Formation (Schleichsande) sind für hohe bis sehr hohe Radonaktivitätskonzentrationen bekannt. Im Detail hatten die Radonmessbohrungen 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	
STA-1	438304	5528589	0-85 85-110	Lehm, mittelbraun, leicht rostfleckig Sand, mittelbraun, mit weißen Kalkausblühungen
STA-2	438281	5528642	0-70 70-95 95-110	Lehm, nach unten sandiger werdend, dunkles Mittelbraun Feinsand, schluffig, kalkig, hellbraun Schluff, sandig, kalkig, hellbraun
STA-3	438280	5528690	0-110 80-110	Lehm, dunkles Mittelbraun - " - sandiger
STA-4	438259	5528731	0-70 70-75 75-110	Lehm, gräuliches Mittelbraun Lehm, st. sandig, gräuliches Mittelbraun Sand, Kalkausblühungen, hellbraun, leicht roststichig (wie STA1), unten rostfarben
STA-5	438291	5528730	0-35 35-80 80-110	Lehm, graubraun Schluff, sandig, beige (Lößfarben) Schluff, sandig, beige (Lößfarben), deutlich trockener
STA-6	438333	5528740	0-50 50-80 80-110	Lehm, gräuliches Mittelbraun Lehm, sandiger, mittelbraun Sand, hellbraun, Kalkausblühungen
STA-7	438366	5528703	0-20 20-45 45-90 90-110	Lehm, mittelbraun Sand, teils schluffig, grau, rostfleckig Feinst-/Feinsand, steinig, mittelbraun, rostfleckig Feinst-/Feinsand, <u>ohne</u> Steine, mittelbraun, rostfleckig
STA-8	438323	5528684	0-20 20-50 50-115 >80	Sand, dunkelbraun Lehm, schwarz-braun, rostfleckig Schluff, kalkig trocken
STA-9	438354	5528661	0-10 10-30 30-75 75-110	Sand, schluffig, gräuliches Dunkelbraun Lehm, mittelbraun Sand, z.T. Feinstsandlagen/linsen, beige, steinig Schluff, sandig beige, schwach kalkig, deutlich trockener

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 Bodenfeuchtwerte zu Beginn und Ende der Radonmessungen sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Beginn und Ende der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				Basis Bohrung		15-20 cm	
				Anfang/ Ende	Anfang	Ende	Anfang
STA-1	438304	5528589	100/110	11,6	16,9	17,9	20,3
STA-2	438281	5528642	100/110	9,9	16,2	17,6	18,5
STA-3	438280	5528690	100/110	16,9	20,3	16,3	19,0
STA-4	438259	5528731	100/110	11,1	16,0	16,6	16,2
STA-5	438291	5528730	105/110	9,4	13,1	16,0	17,2
STA-6	438333	5528740	105/110	14,6	17,6	16,1	16,1
STA-7	438366	5528703	105/110	16,6	18,0	15,6	16,9
STA-8	438323	5528684	110/115	8,2	11,2	15,6	18,7
STA-9	438354	5528661	105/110	10,8	12,1	16,0	17,8

Die Böden waren über den gesamten Zeitraum der Radonmessungen feucht, aber nicht nass, weil Niederschläge zeitlich verteilt und in kleineren Einzelmengen fielen.

Aufgrund der ausreichend feuchten Böden können unterdurchschnittliche Emanationsraten und überdurchschnittliche Exhalationsraten aufgrund der Einflußgröße Bodenfeuchte ausgeschlossen werden. Für verstärkte Exhalationsraten sind andere Faktoren verantwortlich (s. Kap. 7.3)

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.

Die Gaspermeabilitäten sind in den sandigen Bodenhorizonten hoch und in den Schluffen moderat (Werte s. Tab. 3). Wegen des schnellen faziellen Wechsels ist unbedingt zu berücksichtigen: Werden in der Baugrube im Bereich zukünftiger erdberührter Gebäudeteile sandige und schluffige Lagen angeschnitten, so ist hier die ungünstigere höhere Gaspermeabilität der sandigen Horizonte für die Bemessung der Radonverfügbarkeit zu berücksichtigen.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Appenheim (200 m ü NN) liegt südostexponiert im Unterhang 800 m südwestlich Appenheim. Die direkte Umgebung der Messstation wird zum Weinbau genutzt.

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.

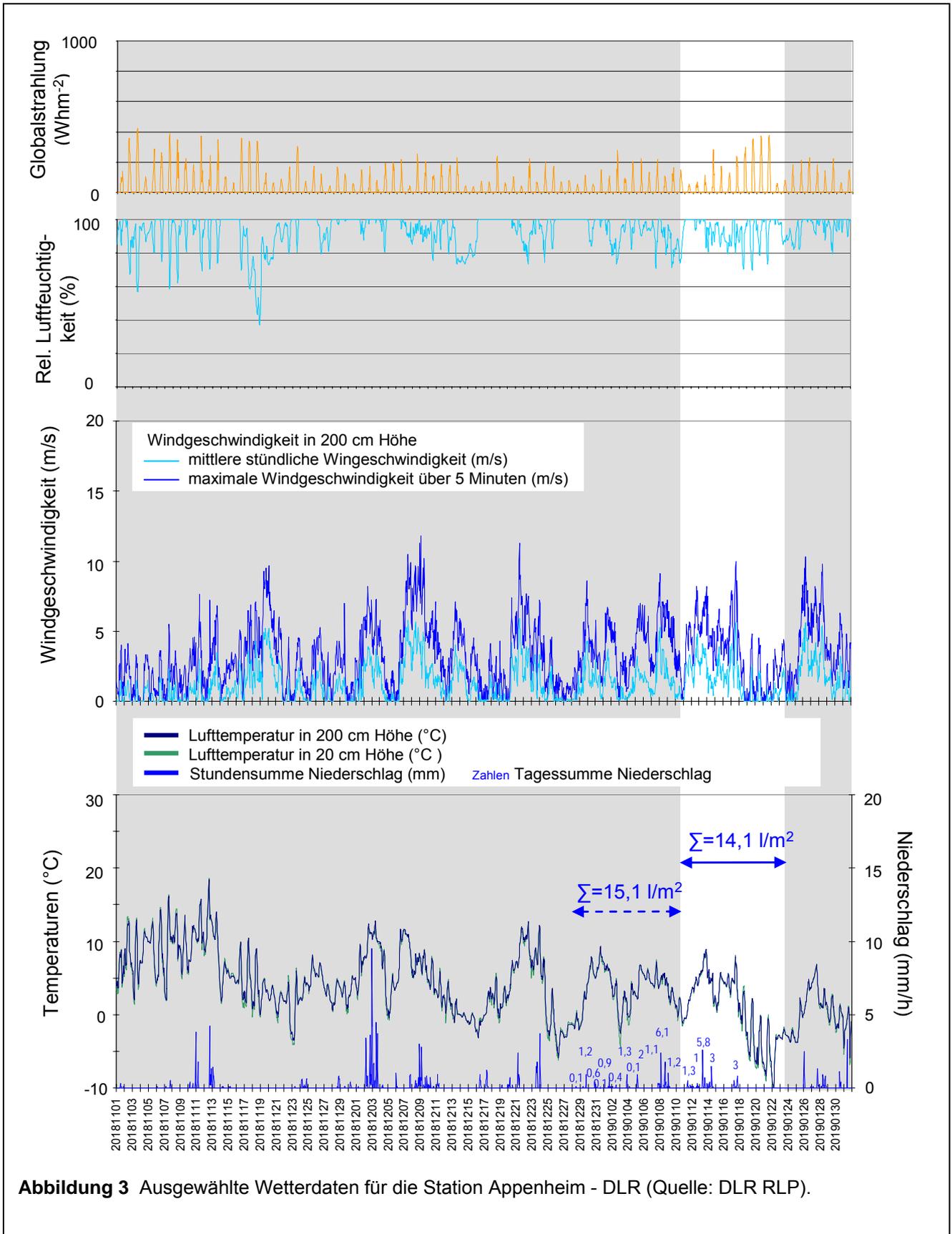
In dem darüber folgenden Diagramm sind die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

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 beiden Wetterstationen sind die zeitlichen Wetteränderungen (nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Relativer Luftfeuchte, Änderungen des Windfeldes und Temperaturverläufen fast identisch. Insgesamt war die Windtätigkeit an beiden Stationen innerhalb der Radonmessperiode in zwei Phasen erhöht, zu Beginn und Ende der Radonmessperiode aber niedrig.

In den beiden Wochen vor Beginn der Radonmessungen fielen zwar an mehreren Tagen Niederschläge, die aber in der Summe nur geringe Niederschlagsmengen ergaben (Appenheim 15,1l/m², Oppenheim 11,2 l/m², Abb. 3-4). Die letzten Starkregenfälle fielen bereits am 3. Dezember 2018, mehr als einen Monat vor dem Beginn der Radonmessungen. Auch innerhalb der Radonmessperiode fielen nur geringe und zudem zeitlich verteilte Niederschläge. In der niederschlagsfreien zweiten Hälfte der Radonmessperiode konnten die Frost(luft)temperaturen keine effektive Versiegelung durch Bodengefrorenis herbeiführen, weil sich wegen Kammeisbildung keine Bodenversiegelung ergab. Eine stark radonstauende Situation in tieferen



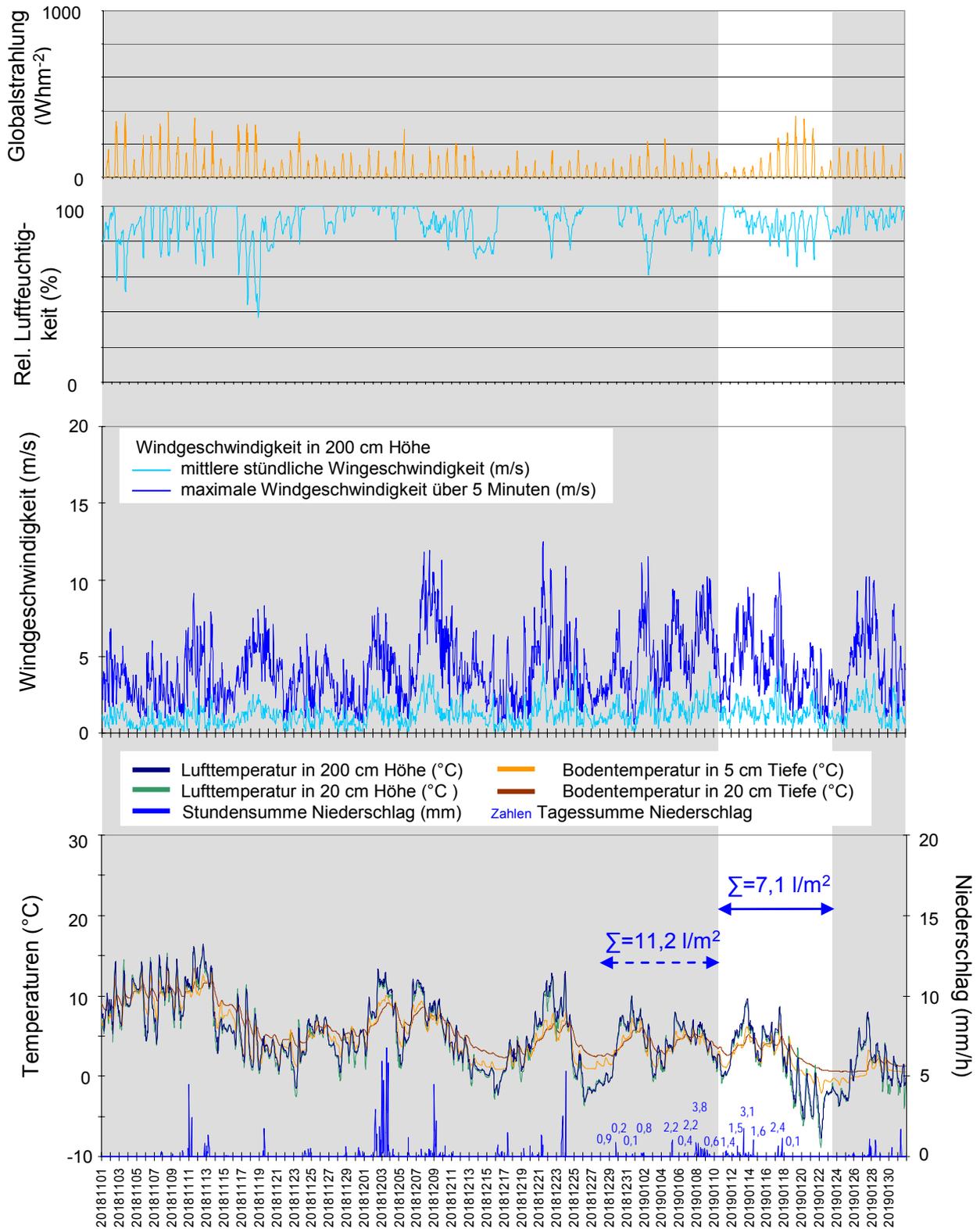
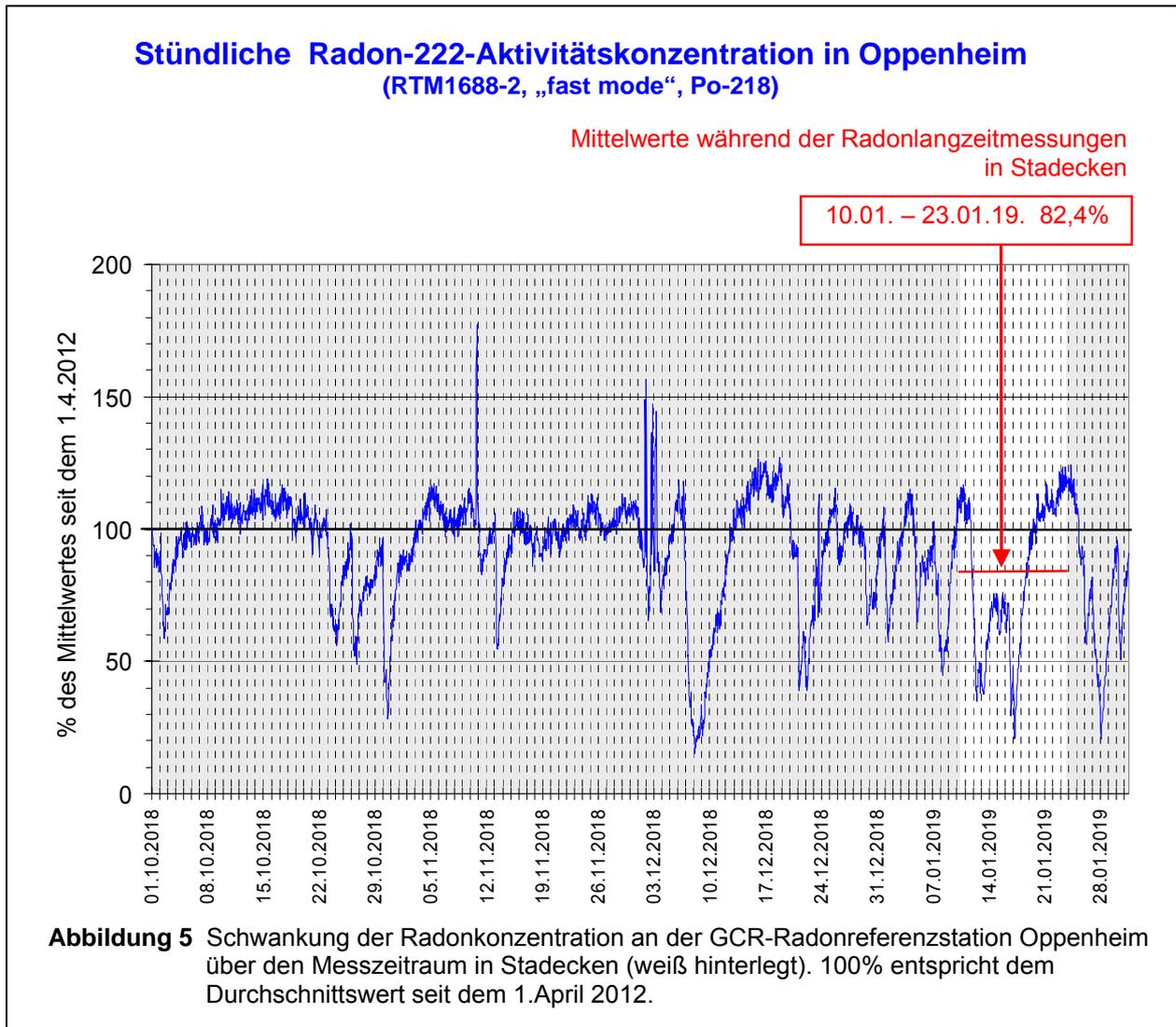


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).

Bodenschichten war somit nicht gegeben. Entscheidend für den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration im Boden waren Änderungen der Windgeschwindigkeiten.



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.

Während der Tage mit stark böiger Windtätigkeit (Abb. 3-4) verzeichnet die stündlich gemessene Radonkonzentration zeitgleich Einbrüche während derer die gemessenen Radonkonzentration bei nur 20% - 70% des mehrjährigen Mittelwertes lagen (Abb. 5).

Für die Untersuchungsfläche in Stackeden-Elsheim kann aufgrund der identischen Witterung und vergleichbarer Gaspermeabilitäten eine grundsätzlich vergleichbare zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen im Boden wie in Oppenheim (ebenfalls Schleichsande) angenommen werden.

Innerhalb der Radonmessperiode in Stackeden betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation nur 82,4% des 6,75-jährigen Mittelwertes.

Die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wird somit durch die Messungen im Januar 2019 unterschätzt. Deshalb musste eine Witterungskorrektur der gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen Daten erfolgen.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die ermittelten 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 deutlich erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von $23,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $63,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten höheren Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn \text{ wk}}$) mit Werten zwischen $28,2 \pm 20\%$ bis $77,4 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma).

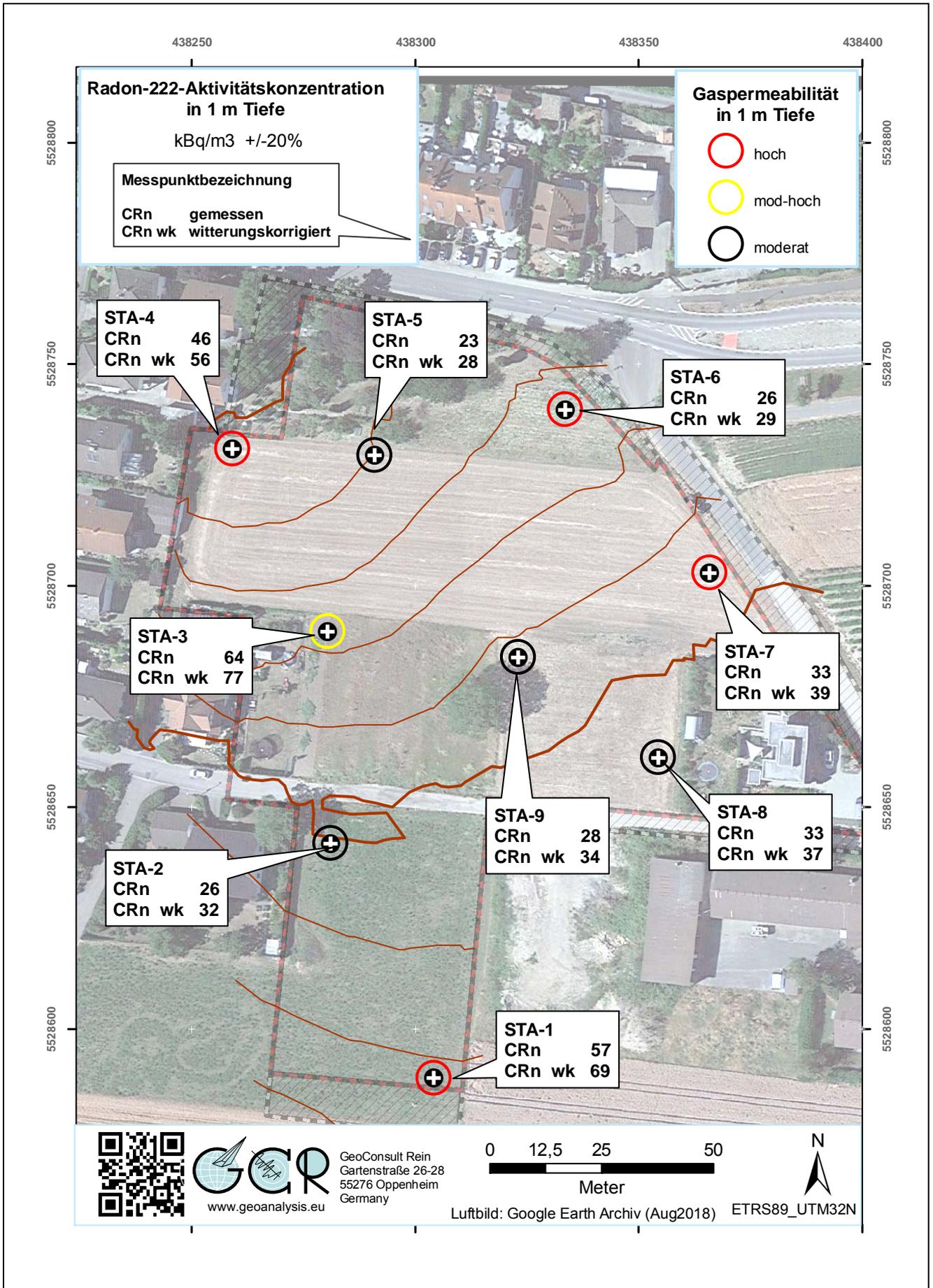
Die breite Bandbreite und kleinräumige Variation der Radonaktivitätskonzentrationen ist typisch für Sedimenttypen oder Schichtabfolgen vergleichbar den Schleichsanden mit häufigem vertikalem Fazieswechsel. Die in der jeweiligen Radonmessbohrung gemessene Radonaktivitätskonzentration gilt deshalb nur für die jeweilige Messtiefe jeder Bohrung.

Aufgrund des alleinigen Kriteriums „Radonkonzentration“ ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von 400 Bq/m^3 in Innenräumen und gemäß Tabelle 4 eine Einordnung der witterungskorrigierten Radonkonzentrationen in die Radonvorsorgebietsklassen RVK I und RVK II (Spalte 2, Tabelle 3).

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)			Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
	BfS-Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m ³				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m ³	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C _{Rn} +/-20%	C _{Rn} wk +/-20%	C _{Rn} wk +/-20% unter Berücksichtigung Gaspermeabilität	0,9 - 1,1 m Tiefe Hoch moderat	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C _{Rn} RVI C _{Rn} wk RVI C _{Rn} wk +20%	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C _{Rn} Rna C _{Rn} wk Rna C _{Rn} wk +20%
STA-1	57,2	69,4	69,4	2E-11	1,14E-06 1,39E-06 1,66E-06	
STA-2	26,1	31,7	31,7	1E-13		1,50 1,58 1,66
STA-3	63,8	77,4	77,4	5E-12		2,01 2,10 2,18
STA-4	46,3	56,2	56,2	2E-11	9,26 E-07 1,12E-06 1,35E-06	
STA-5	23,2	28,2	28,2	1E-13		1,44 1,53 1,61
STA-6	26,3	32,0	32,0	2E-11	5,27E-07 6,39E-07 7,67E-07	
STA-7	32,5	39,4	39,4	1E-11	3,25E-07 3,94E-07 4,73E-07	
STA-8	33,1	40,2	40,2	2E-13		1,62 1,71 1,79
STA-9	27,7	33,6	33,6	1E-13		1,52 1,61 1,68
RVK - Wertung						
RVK 0	Keine Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I					
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II					
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III					
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar					

Eine Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität, wie sie auf der Untersuchungsfläche z.T. in der Messtiefe angetroffen wurden, sieht in einem verein-



fachten Ansatz eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe im Vergleich zu der Zuordnung in Tabelle 4 vor. Daraus ergibt sich die in der Spalte 4 der Tabelle 3 vorgenommene Zuteilung der Radonmessbohrungen zu Radonvorsorgegebietsklassen.

Danach ergibt sich für alle Radonmesspunkte STA-1, STA-4, STA-6 und STA-7 eine Höhergruppierung in die nächsthöhere Radonvorsorgegebietsklasse (Tab. 3). STA-1 und STA-4 werden nach dieser Handlungsempfehlung sogar der höchsten Radonvorsorgegebietsklasse RVK III zugeordnet.

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 festgestellten hohen Gasdurchlässigkeiten wird der Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck bei geringeren Gaspermeabilitäten die Radonzahl von Slunga als Bewertungsmaß genutzt.

Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit ist die mittlere Gaspermeabilität in der Radonmesstiefe zugrunde gelegt.

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

Es ergibt sich für Merkmalskombinationen wie in der Messtiefe in STA-2, STA-5 bis STA-7 und STA-9 angetroffen, eine Einordnung in die RVK I für die restlichen vier Messpunkte eine Zuordnung zu der höheren Radonpräventionsklasse RVK II. Der höchsten RVK III (wie in Spalte 4 der Tabelle 3) ist keine Bohrung mehr zuzuordnen.

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen in einem Handbuch aus dem Jahr 2001, die in Tabelle 2 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung der geogenen Radonkonzentration mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Tabelle 4 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (**veraltet**, bisher ohne Ersatz, bei erhöhter Gaspermeabilität wird die sich aus der Radonkonzentration ergebende Vorsorgestufe um eine Stufe erhöht).

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

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem diskreten Zeitpunkt X gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren auf die Radonkonzentration zum Messzeitpunkt blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität gleichermaßen bedeutsam bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Für die Erstellung einer solchen Karte fehlt allerdings eigentlich noch die Datenbasis. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 2 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m³ in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und seit Juni 2017 auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m³) als Bemessungsgrundlage verwandt.

Die Einordnung der Radonmessbohrungen 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 hier verwendete Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht auf einem verschärften Zielwert von maximal 250 Bq/m³ in der Raumluft, um den neuen Anforderungen des Gesetzgebers gerecht zu werden.

Die Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten sind im Untersuchungsgebiet heterogen verteilt. Durch die Niveauunterschiede innerhalb der Fläche wird die Gründung unterkellertes Gebäude in jeweils mehreren geologischen Horizonten stattfinden, deren Radonpotential in einem weiten Wertebereich schwankt. Zum gegenwärtigen Stand der Untersuchungen ist keine allgemeingültige Aussage zum Grad der Radonpräventionsmassnahmen für alle Einzelgebäude zu treffen, zumal deren Lage, Art der Gründung und Bauweise bisher nicht bekannt ist.

Folgende Empfehlungen sind aber bereits zu treffen:

- 1) In dem Plangebiet sind **in jedem Fall Radonpräventionsmassnahmen** zu empfehlen.
- 2) Sollten innerhalb der Grundfläche oder bis in eine Distanz von 3 Meter eines Gebäudes ein Radonmesspunkt liegen, der durch diese Untersuchung der Radonpräventionsklasse RVK II zugeordnet wird, so sind für das gesamte Gebäude Massnahmen gemäß RVK II zu empfehlen.
- 3) Umgekehrt kann aber aufgrund der festgestellten geologischen Vielfalt nicht ausgeschlossen werden, dass für Gebäude, für die bisher nur ein Messpunkt der Kategorie RVK I vorliegt, diese Vorsorgekategorie auch tatsächlich ausreichend ist, weil möglicherweise auch hier kleinräumig Bereiche höherer Radonverfügbarkeit existieren oder durch in tiefere Schichten reichende Gründungen Schichten mit höherer Radonverfügbarkeit angeschnitten werden. Sollte für diese Gebäude, sowie für alle die nicht im Bereich eines Radonmesspunktes liegen nicht vorsorglich gemäß

RVK II gebaut werden, dann wird für diese Gebäude eine individuelle und objektorientierte Baugrunduntersuchung hinsichtlich der bauplatzscharfen Radonbelastung empfohlen, um festzustellen, ob Radonpräventionsmassnahmen gemäß RVK I ausreichend sind.

Nachfolgend sind informativ typische Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklassen RVK I und RVK II dargestellt.

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

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

Präventivmassnahmen in einem **Radonvorsorgegebiet RVK II** 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. 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.

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.

Sollten **verkarstete Gesteine** bis in eine Distanz von 1 m zum Gründungsniveau anstehen, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, weil dann schon aufgrund geänderter Gaswegsamkeiten **unbedingt eine Neubewertung der Radonsituation** für das konkrete Bauvorhaben erfolgen muss.

Solange detaillierte Pläne zum Gründungsaufbau 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, 07.02.2019