

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Bauvorhaben Handel und Wohnen
Salinenstraße 44-50 / Schloßstraße 13-21, Bad Kreuznach

Projektnummer 20190129_Rn222_SAL

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Schoofs Immobilien GmbH Frankfurt
Schleussnerstraße 100
63263 Neu-Isenburg

26. 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. Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	7
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	12
7. Laborergebnisse	13
7.1 Bodenfeuchte	13
7.2 Gaspermeabilität	14
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	14
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	19
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche.	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Bad Kreuznach (198/KHD)	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Bad Kreuznach.	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

w und Wohnen“ - Salinenstraße 44-50 / Schlossstraße 13-21 in Bad Kreuznach.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Auszug aus der Liegenschaftskarte mit Abgrenzung der Untersuchungsfläche
- /2/ LANIS RLP / LVERMGEO RLP / GEOPORTAL RLP
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /4/ Geologische Karte GK25 6113 (LGB RLP)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Bad Kreuznach und Oppenheim

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

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

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumluft um 100 Bq/m^3 . Bei einer 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 Radonraumlufkonzentration – 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 Radonraumlufkonzentration 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/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 in innerstädtischer Lage nordöstlich der Kreuzung Schloßstraße/Salinenstraße. Der Zustand der Fläche zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht dem im Luftbild in Abbildung 1. Während der Radonmessungen erfolgte die Rodung des Gartenbereiches. Die Parkflächen sind mit Rhyolithschotter und Basalt- bzw. Andesitschotter befestigt. Im Bereich der südlichen Parkfläche war ein größeres Gebäude abgerissen, ebenso wie innerhalb des Flurstückes 75 (.chraffierte Flächen). Hier war der Boden auch tiefgründig ausgetauscht. Die Untersuchungsfläche liegt bei topografischen Höhen zwischen 107 m NN im Norden und 108 m NN an der Südecke.

5. Vorgehen

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

Die Untersuchungsfläche wurde am 29. Januar 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 Szintillationsmessge-

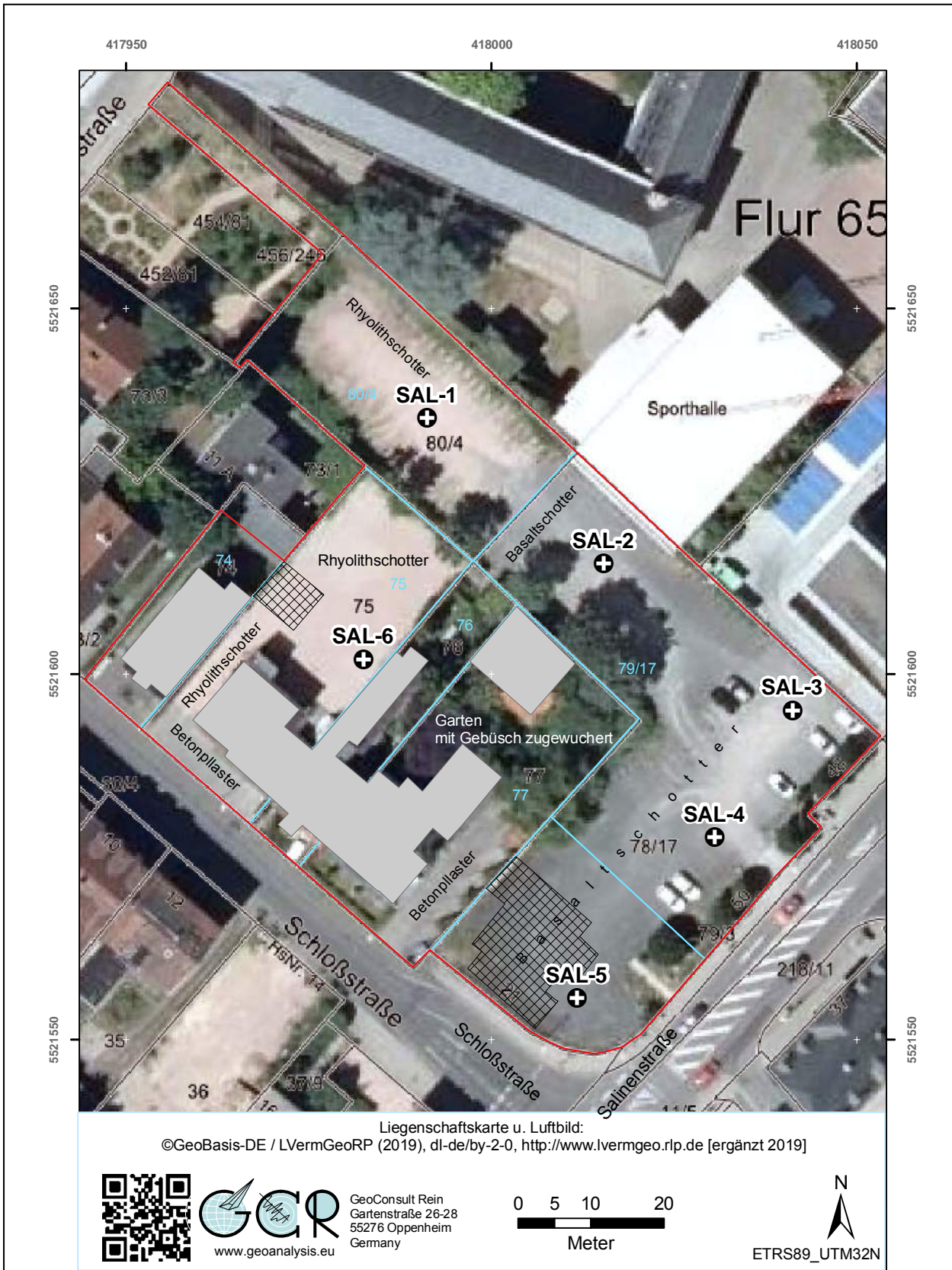


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche (Luftbild und Liegenschaftskataster /2/, /1/).

rät mit einem großvolumigen, hochsensiblen 40 x 50 mm großen NaJ-Detektor-Kristall. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Einmessung aller 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.

Sechs Radonmessbohrungen wurden am 29. Januar 2019 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1,15 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 (115-120 cm) sowie des Oberbodens erfolgten am 14. Februar 2019. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 16 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 Wertebereich zwischen 125-273 Impulsen pro Sekunde. Die höchsten Strahlungswerte wurden über der tiefgründig mit Rhyolithschottern befestigten Hoffläche (Flurstück 75) gemessen. Auch über dem östlich angrenzenden, ebenfalls mit Rhyolithschottern versehenen Parkplatz wurden Impulsraten > 200 Impulse/Sekunde detektiert. Innerhalb der restlichen mit Schottern aus mafischen Vulkaniten befestigten Parkflächen und auch innerhalb der angrenzenden Gartenfläche wurden niedrigere, aber immer noch zum regionalen Durchschnitt erhöhte Gammastrahlungsaktivitäten gemessen. Die Gammastrahlungsaktivitäten auf dem Großteil der Untersuchungsfläche sind durch eingebrachte Baumaterialien unterschiedlicher Herkunft dominiert. Hinweise auf den baugrundnahen Untergrund konnten deshalb aus den Daten nicht abgeleitet werden.

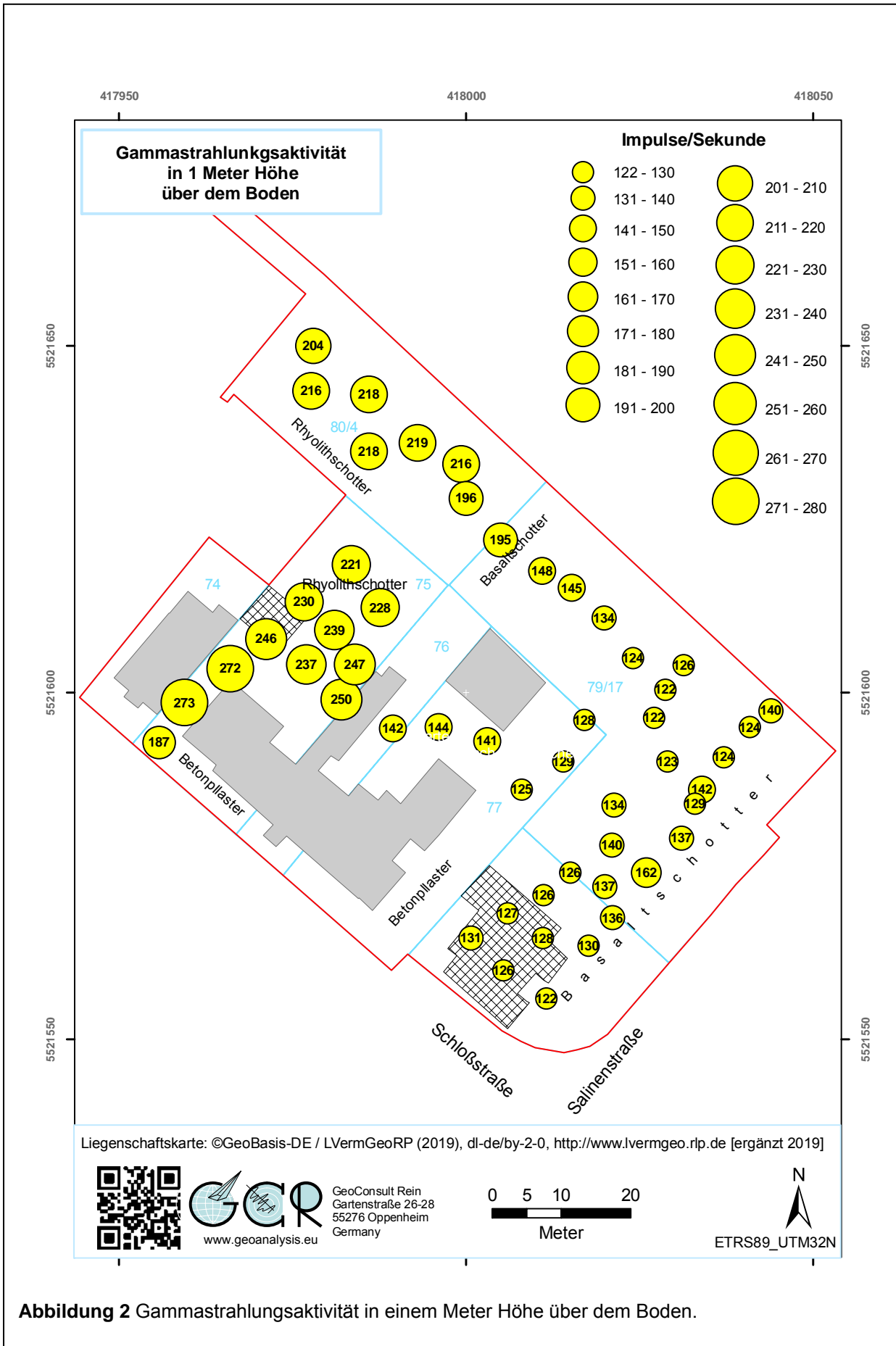


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen geologischen Untergrund bilden laut der geologischen Karte /4/ quartäre Flusssedimente der Nahe.

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	
SAL-1	417991	5521635	0-30 30-50 50-120	Sand+Rhyolithschotter Sand + Quarzkies Sand + Quarzkies, Sandsteine, schwarz/graubraun
SAL-2	418015	5521615	0-10 10-30 30-50 50-120	Basaltschotter in sandiger Matrix Rhyolithschotter Rhyolithsplitt in sandiger (rhyolithischer) Matrix (inkl. Industrieschlacken) Sand (beige) + Kies + Steine
SAL-3	418041	5521595	0-60 60-120	Sand (rhyolithisch)+ Ziegel + Schotter Hohlräume (nur 20 cm Kerngewinn), Steine (Rhyolith, Beton) in grobsandig-kiesiger Matrix
SAL-4	418031	5521578	0-30 30-120	Basalt- in Betonschotter übergehend, in grobsandiger Matrix Fein- bis Mittelsand (rot) + mürber Sandstein (rot), schwach kiesig
SAL-5	418012	5521556	0-30 30-110 110-120	Basaltschotter in grobsandig-kiesiger Matrix Ziegel-/Betonbruch und Rhyolithbruchstücke und Kies in in schluffig-sandiger Matrix Sand + Steine + Kies, sehr wenig Feinkorn
SAL-6	417982	5521602	0-60 60-90 90-120 110-115	Rhyolithschotter (korngestützt) mit wenige Sand als Zwischenmittel Basaltschotter + sonstige Steine mit wenig Sand Überwiegend Sandsteine (X+G) in wenig schluffigem Sand Ziegelstein (ocker) durchbohrt

Mit Ausnahme der Basis in Bohrung SAL-1 bestehen die erbohrten Schichten nicht aus jungen Talfüllungen der Nahe, sondern aus überwiegend steinigen Auffüllungen natürlicher Materialien mit Beimengungen von Beton- und Ziegelbruch. Bohrung SAL-4 unterscheidet sich von allen anderen Bohrungen wegen der vergleichsweise feinkörnigen Auffüllmaterialien aus rotem Sand und Sandsteinbruchstücken. In dieser Bohrung sind die Gaspermeabilitäten hoch, aber niedriger als in allen anderen Bohrungen (→ geringere Exhalationsverluste).

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
SAL-1	417991	5521635	115/120	12,0	11,1	4,9	5,1
SAL-2	418015	5521615	115/120	8,5	8,9	5,5	6,9
SAL-3	418041	5521595	115/120	6,7	6,9	7,1	8,4
SAL-4	418031	5521578	115/120	8,1	9,2	9,1	9,0
SAL-5	418012	5521556	115/120	9,3	8,6	5,5	6,7
SAL-6	417982	5521602	115/120	9,3	9,4	6,3	7,2

Die Böden waren über den gesamten Zeitraum der Radonmessungen erdfeucht. Die scheinbar niedrigen Bodenfeuchten ergeben sich lediglich aus der groben Korngröße und dem hohen Anteil an Steinen. Aufgrund der ausreichend feuchten Kornoberflächen können unterdurchschnittliche Emanationsraten ausgeschlossen werden. Für eine Behinderung der Gaswegsamkeit im Porenraum des Bodens waren

die Wassergehalte zu gering. Der Exhalation von Radon in die Atmosphäre stellen die Böden der Untersuchungsfläche bei den im Untersuchungszeitraum beobachteten Wassergehalten nur einen geringen bis sehr geringen Widerstand entgegen.

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 steinig-sandigen Böden sehr hoch (Werte s. Tab. 3). Diese Böden setzen der Exhalation von Radon in die Atmosphäre sehr geringen Widerstand entgegen. Der Aufbau hoher Gaspermeabilitäten unter den derzeitigen Bedingungen ist auch bei hoher Radonfreisetzung im Untergrund unwahrscheinlich. Nach großflächiger Versiegelung durch Überbauung werden die Radonkonzentrationen unter dem Gebäude um mindestens das 1,5 bis 2-fache ansteigen.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Bad Kreuznach (129 m NN) liegt auf einer von Gebäuden bzw Bäumen umstandenen kleinen Wiese des Dienstleistungszentrums Ländlicher Raum. Wegen der engen Umschließung liegt die Station in windgeschützterer Lage als die Untersuchungsfläche.

Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m NN. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonreferenzstation von GCR.

Die Abbildungen 3-4 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Radonlangzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche.

Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regensfalls dargestellt.

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

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/Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen sehr ähnlich. Die stündliche durchschnittliche Windgeschwindigkeit, wie auch die Spitzengeschwindigkeit war an der Station Bad Kreuznach wegen der windgeschützteren Lage geringer als in Oppenheim. Änderungen und Dauer der Windgeschwindigkeitsänderungen waren aber vergleichbar.

In den beiden Wochen vor Beginn der Radonmessungen fielen zwar an mehreren Tagen Niederschläge, die aber in der Summe nur geringe Niederschlagsmengen ergaben (KH 12,9 l/m², Oppenheim 8,4 l/m², Abb. 3-4). Auch innerhalb der Radonmessperiode fielen nur geringe und zudem zeitlich verteilte Niederschläge (Weiherhof 22,9 l/m², Oppenheim 9,6 l/m², Abb. 3-4). Die Frost(luft)temperaturen konnten wegen der relativ hohen Bodentemperaturen keine mehr als oberflächliche Bodengefrorenis herbeiführen, zumal auch die Bodenfeuchtwerte nicht ausreichend waren für eine Verfüllung des Porenraumes mit Eis. Eine radonstauende Situation in

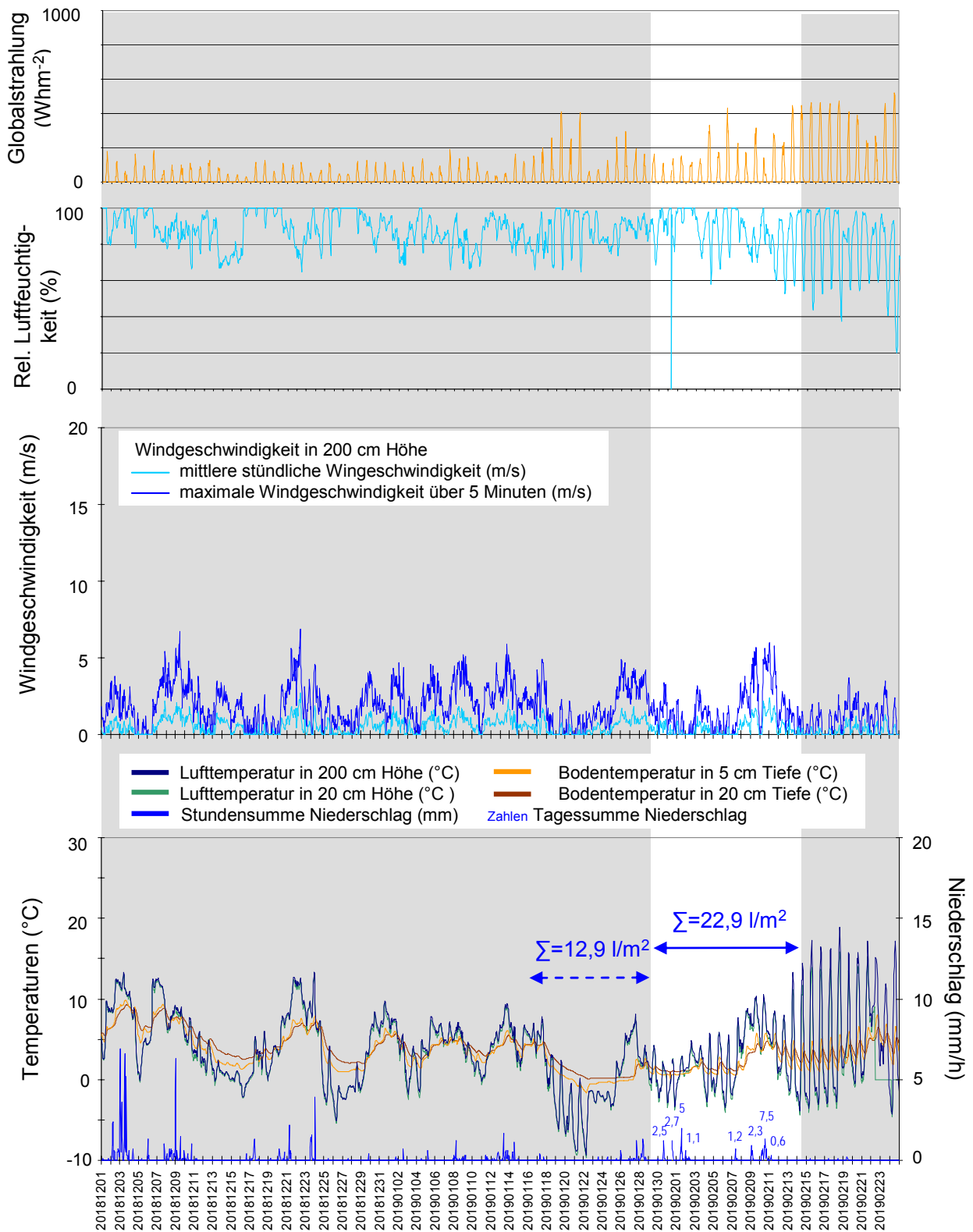


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Bad Kreuznach (198 / KHD) - DLR (Quelle: DLR RLP).

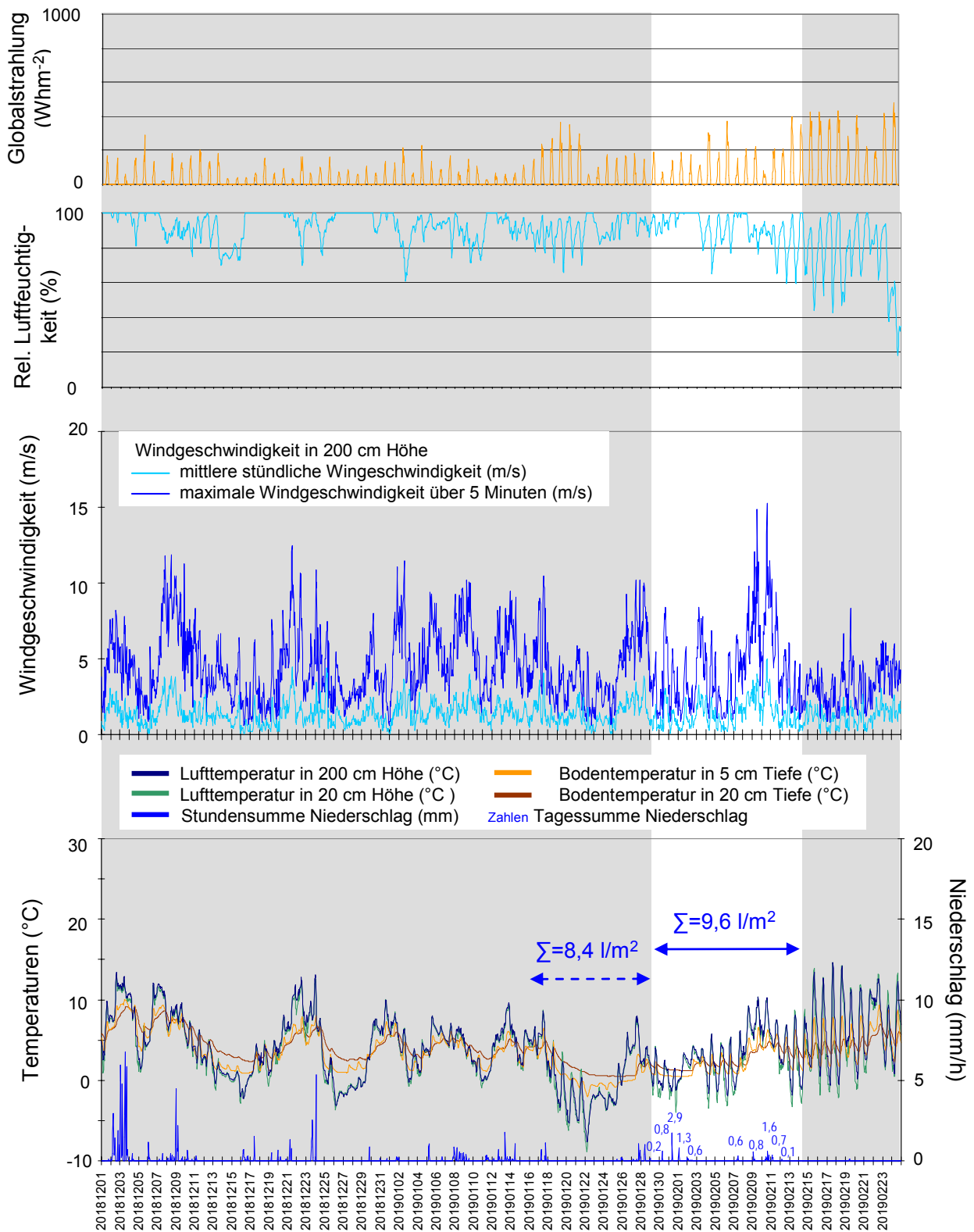
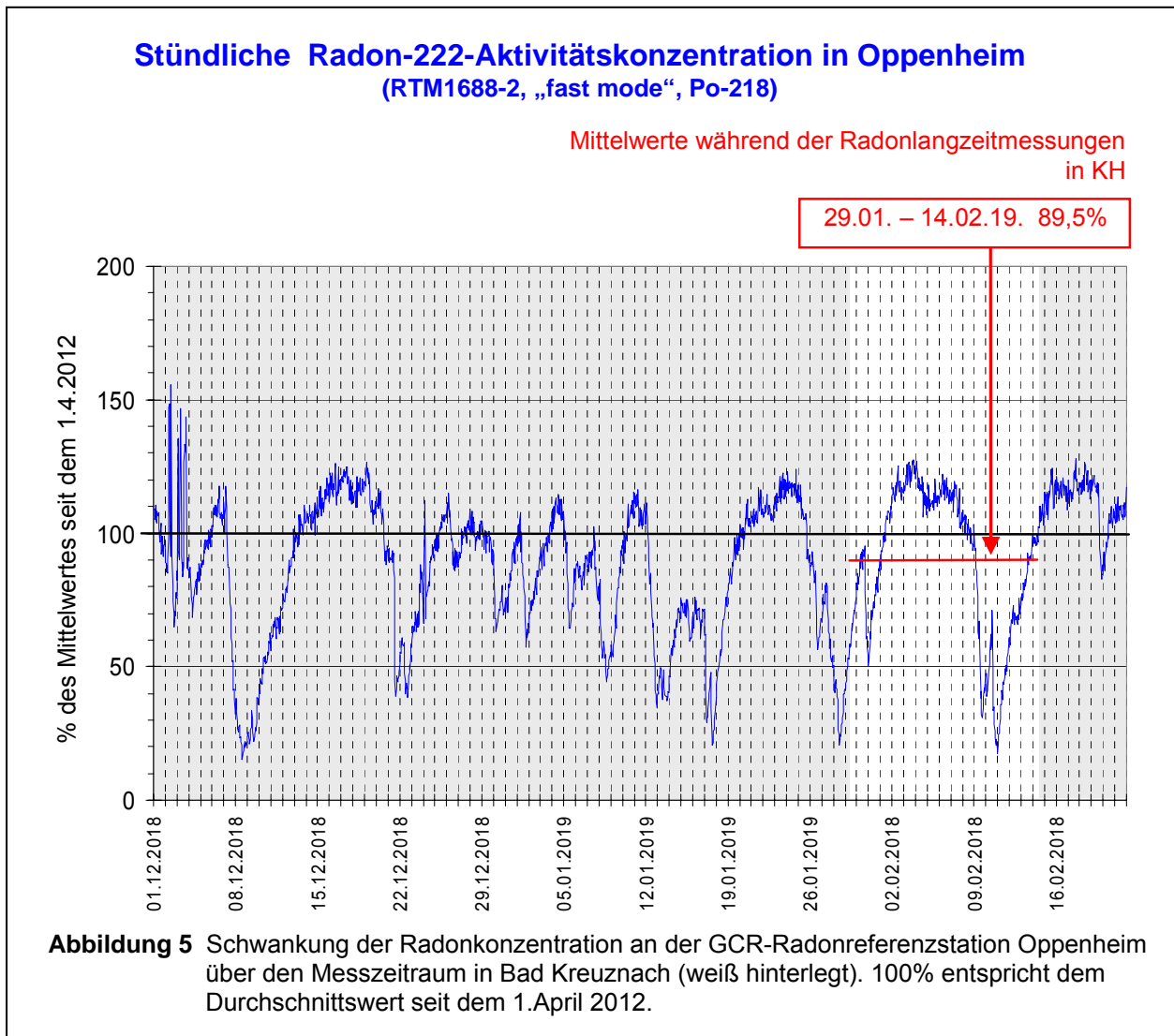


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).



tiefere Bodenschichten war somit zu keinem Zeitpunkt während der Radonmessungen in Bad Kreuznach gegeben. Entscheidend für den zeitlichen Verlauf der Radonkonzentration im Boden waren Änderungen der nicht nur bodennahen 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 unmittelbar vor Beginn der Radonmessungen und vor allem zwischen dem 9. bis 13. Februar (Abb. 3-4), verzeichnet die stündlich gemessene Radonkonzentration (Abb. 5) zeitgleich

Einbrüche, während derer die gemessenen Radonkonzentration bei nur 20% - 60% des mehrjährigen Mittelwertes lagen (Abb. 5). In der Phase dazwischen war die Radonkonzentration im Boden persistent z.T. beträchtlich höher als im mehrjährigen Durchschnitt. Grund dafür war die geringe Windtätigkeit, geringe Temperaturgradienten und die geringe Einstrahlung einer austauscharmen Wetterlage.

Für die Untersuchungsfläche in Bad Kreuznach kann aufgrund der vergleichbaren Witterung eine grundsätzlich vergleichbare zeitliche Dynamik der Radonkonzentrations-änderungen im Boden wie in Oppenheim angenommen werden. Innerhalb der Radonmessperiode in Bad Kreuznach betrug die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Radonreferenzstation 89,5% des fast 7-jährigen Mittelwertes.

Kurzzeitmessungen hätten innerhalb der Messperiode keine repräsentativen Ergebnisse erbracht.

Trotz erheblicher Ausschläge der Radonkonzentration zu extrem niedrigen wie auch erhöhten Radonkonzentrationen im Boden im Januar/Februar 2019, wird die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wegen der Langzeit-Messungen nur leicht unterschätzt. Zur Korrektur der Unterschätzung wurde eine Witterungskorrektur der gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen vorgenommen. Eine solche ist für Kurzzeitmessungen nicht möglich.

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).

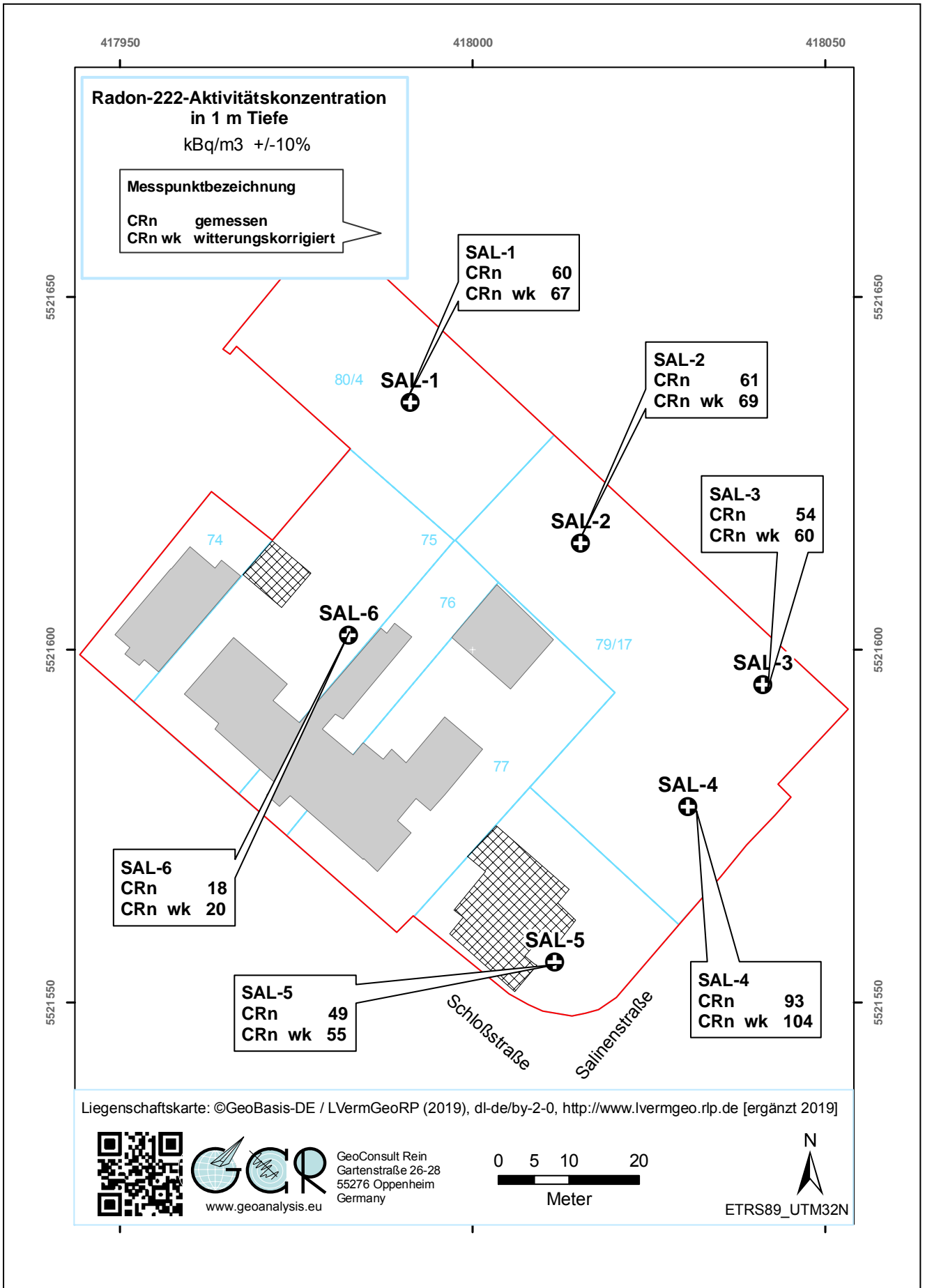
Die über einen Zeitraum von 16 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem moderaten (SAL-6) bis erhöhten und hohen Aktivitätskonzentrationsbereich von $18,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ bis $93,1 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten leicht höheren Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn} wk$) mit Werten zwischen $20,4 \pm 10\%$ bis $104,0 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma).

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±10% (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} (+10%) ohne RVK- Wertung	$C_{Rn} wk$ (+10%)	$C_{Rn} wk$ (+10%) unter Berücksichtigung hoher Gaspermeabilität	0,9 - 1,1 m Tiefe	RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C_{Rn} RVI $C_{Rn} wk$ RVI $C_{Rn} wk +10\%$	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C_{Rn} Rna $C_{Rn} wk$ Rna $C_{Rn} wk +10\%$
SAL-1	59,9 (65,9)	66,9 (73,6)	66,9 (73,6)	>1E-09	>5,99E-05 >6,69E-05 >7,36E-05	
SAL-2	61,4 (67,5)	68,9 (75,4)	68,9 (75,4)	>1E-9	>6,14E-05 >6,86E-05 >7,54 E-05	
SAL-3	53,8 (59,2)	60,2 (66,2)	60,2 (66,2)	>1E-07	>5,38E-03 >6,02E-03 >6,62E-03	
SAL-4	93,1 (102,4)	104,0 (114,4)	104,0 (114,4)	1E-10	9,31E-06 1,04E-05 1,14E-05	
SAL-5	48,8 (53,6)	54,5 (59,9)	54,5 (59,9)	1E-09	4,88E-05 5,45E-05 5,99E-05	
SAL-6	18,3 (20,1)	20,4 (22,5)	20,4 (22,5)	>1E-09	>1,83E-05 >2,04E-05 >2,25E-05	
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					

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 Radonvorsorgegebietsklassen RVK I, RVK II und RVK III (Spalte 2, Tabelle 3).



Eine Empfehlung des BfS für Böden hoher Gaspermeabilität sieht 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 Klassifizierung. Mit Ausnahme des Messstandortes SAL-6 sind alle anderen Messpunkte mit der höchsten Radonvorsorgeklasse **RVK III** zu bewerten.

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 hohen und wie auf der Untersuchungsfläche sehr hohen Gasdurchlässigkeiten wird der Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck 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 $<100 \text{ Bq/m}^3$.

Bei den durch die Bohrungen in der Messtiefe dargestellten Merkmalskombinationen ergibt sich über die Radonverfügbarkeit (Spalte 6 bzw. 7 in Tabelle 3) für die Radonmessbohrungen eine **einheitliche Einordnung aller Bohrungen in die RVK III**. Es sind deshalb Radonpräventionsmassnahmen der höchsten Vorsorgestufe zu empfehlen.

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 4 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 ist die bestehende Datenbasis aber noch nicht ausreichend. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 4 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 verwandte.

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 derzeit sehr hohe Gaspermeabilität in den Böden setzt der Entgasung (Exhalation) von Radon in die Atmosphäre einen nur geringen Widerstand entgegen. Der Aufbau hoher Radonkonzentrationen in einem Meter Tiefe ist deshalb auch bei hoher Radonfreisetzung in den Porenraum unter den derzeitigen Bedingungen kaum möglich. Nach Versiegelung der Fläche durch Überbauung wird die Radonkonzentration unter der Bodenplatte um mindestens das 1,5 - fache ansteigen. Neben den hohen Gaspermeabilitäten im Untergrund stehen dann auch noch höhere Radonkonzentrationen als derzeit gemessen unter der Bodenplatte an.

Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgekasse RVK III erfordern sehr spezifische Schutzmassnahmen, die ein Vorliegen konkreter Baupläne/Gründungspläne erfordern. Allgemeine Vorsorgemassnahmenkataloge wie für RVK I und RVK II gibt es für RVK III deshalb nicht.

Welche Radonpräventionsmassnahmen in einem RVK III - Vorsorgegebiet am konkreten Bauprojekt umgesetzt werden sollten und können, kann erst nach Vorliegen mindestens der Untergeschoßpläne ausgearbeitet werden.

Die bedeutendste Einschränkung in RVK III betrifft die Nutzung von Untergeschossen. In einem RVK III sollten Kellerräume keine Aufenthaltsräume enthalten und die Untergeschoßetagen sind gasdicht von höheren Etagen mit Aufenthaltsräumen zu trennen (eventuell Zugang zum UG nur von außen).

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, 28.02.2019