

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft Bebauungsplan "Im Rusterflur / Ober der Lay"

der Ortsgemeinde Willroth

Projektnummer 20191028_Rn222_WRO

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Ortsgemeinde Willroth
über VG Flammersfeld

26. November 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	9
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	11
6.1. Gammastrahlungsaktivität	11
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	11
7. Laborergebnisse	12
7.1 Bodenfeuchte	12
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	Gammastrahlungsaktivitäten in 1 Meter Höhe über dem Boden	10
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Grenzau	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Willroth.	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)	22

1. Auftrag

Die Ortsgemeinde Willroth beauftragte über die VG Flammersfeld Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan „Im Rusterflur / Ober der Lay“ in Willroth.

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 „Im Rusterflur / Ober der Lay“ (ohne Maßstab und Datum)
- /2/ LANIS RLP / Geoportal RLP / LVERMGEO RLP (©GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2019), dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [ergänzt 2019])
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /4/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Grenzau 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 der nachweislich Gesundheitsgefährdendste.

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumlufte um 100 Bq/m^3 . Bei einer Rn222-Raumluftekonzentration 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. Der Eintritt von Radon in ein Gebäude kann jedoch durch entsprechende Abdichtungen vermieden werden.

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von Gebäuden können aber bei fehlender Abdichtung aufgrund des Bauuntergrundes und

der Bauweise nicht unerhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden ohne sorgfältig ausgeführte Abdichtung 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, welche durch entsprechende Abdichtmassnahmen gewährleistet werden kann.

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

blieb es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb 300 Bq/m³ festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen. Am 3. Juli 2017 erfolgte die Veröffentlichung des Bundesgesetzes vom 27. Juni 2017 „Gesetz zur Neuordnung des Rechts zum Schutz vor der schädlichen Wirkung ionisierender Strahlung“ in dem der Referenzwert für Deutschland auf 300 Bq/m³ festgelegt wurde. Der Gesetzgeber folgt damit nicht den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation, die einen Referenzwert von 100 Bq/m³ vorgeschlagen haben.

Im Bereich von öffentlich zugänglichen Gebäuden und Arbeitsplätzen greift dieser Wert über die Arbeitsstättenchutzverordnung, im Bereich privaten Wohnungsbaus wird spätestens bei Vermietung und Verkauf einer Immobilie diese Regelung zum Tragen kommen. Radonprävention schützt deshalb nicht nur die Gesundheit der Gebäudenutzer, sondern sichert auch den Werterhalt der Immobilie.

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) liegt östlich und südlich der Ortsbebauung von Willroth. Die Flächenaufteilung und der Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht der Situation im Luftbild in Abbildung 2. Die Untersuchungsfläche fällt nach Südosten bzw. Osten ein. Der höchste Punkt im Bebauungsplan liegt bei rund 378 m NN, der tiefste bei rund 367 m NN.

Die Fläche wird weitgehend als Wiese/Pferdekoppel genutzt. Im mittleren westlichen Teil zwischen den Wegen (vgl. Abb. 2) liegt ein Waldstück.

Aufgrund der Topografie und Bebauung ist die Fläche nach Süden, Westen und z.T. Norden windgeschützt gelegen. Nach Osten stellt der Wald für einen Teil der Fläche einen Windschutz dar.

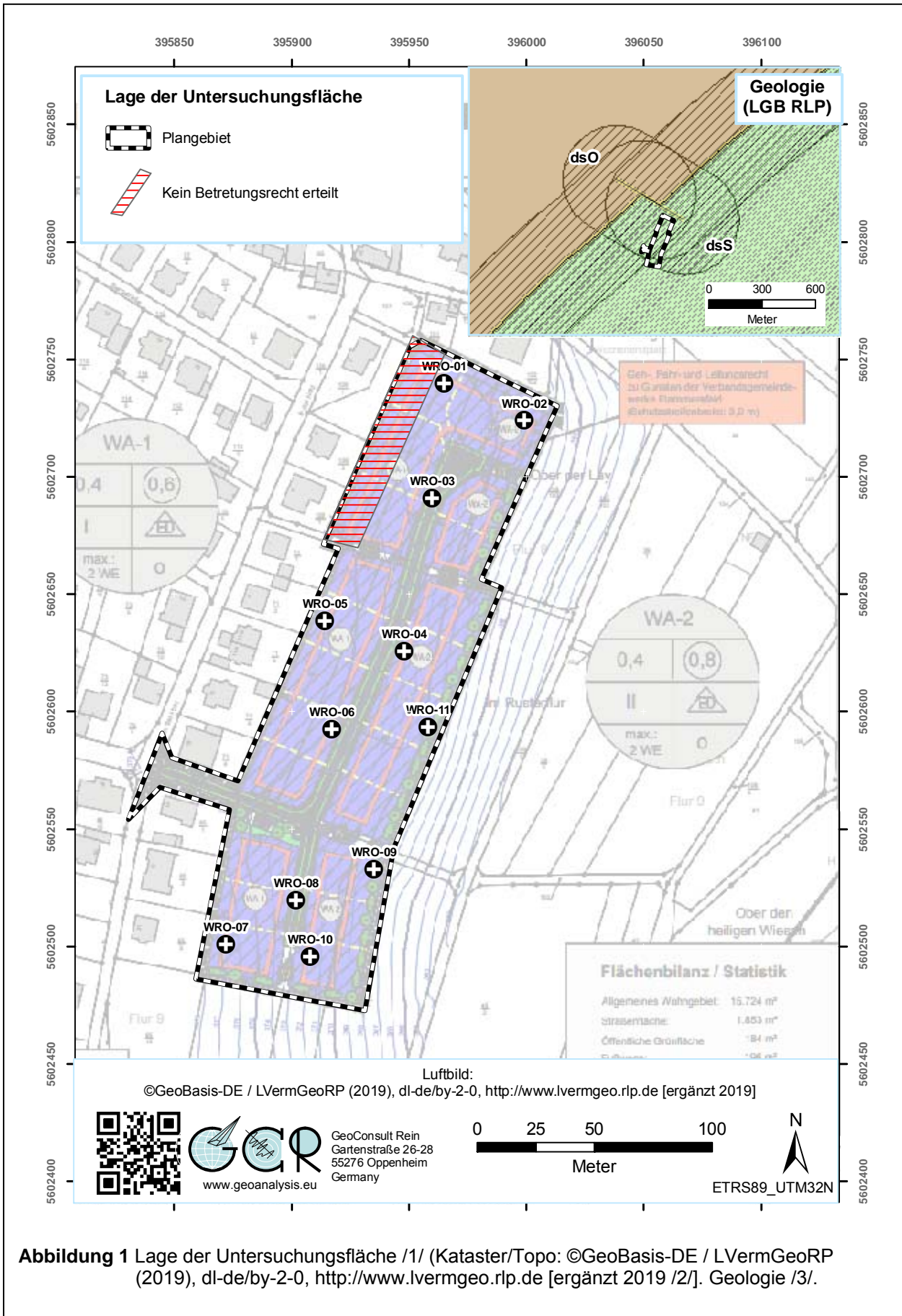


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche /1/ (Kataster/Topo: ©GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2019), dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [ergänzt 2019 /2/]. Geologie /3/.

5. Vorgehen

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

Für die in Abbildung 1 schraffiert dargestellte Fläche bestand keine Betretungsgenehmigung.

Die Untersuchungsfläche wurde in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gammastrahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten. Genutzt wurde ein Szintillationsmessgerät mit einem großvolumigen, 40 x 50 mm großen NaJ-Detektor-Kristall. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden. Die Einmessung der Messpunkte erfolgte mit GPS.

Die Gaspermeabilität wurde am 13. November mit einem Radon-JOK gemessen.

Die 11 Radonmessbohrungen wurden am 28. Oktober 2019 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1 Meter Tiefe (Teufen vgl. Tab 1 und 2). 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 gekernten Bodenmaterial rückverfüllt. Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe sowie des Oberbodens erfolgten am 13. November 2019. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 16 Tage.

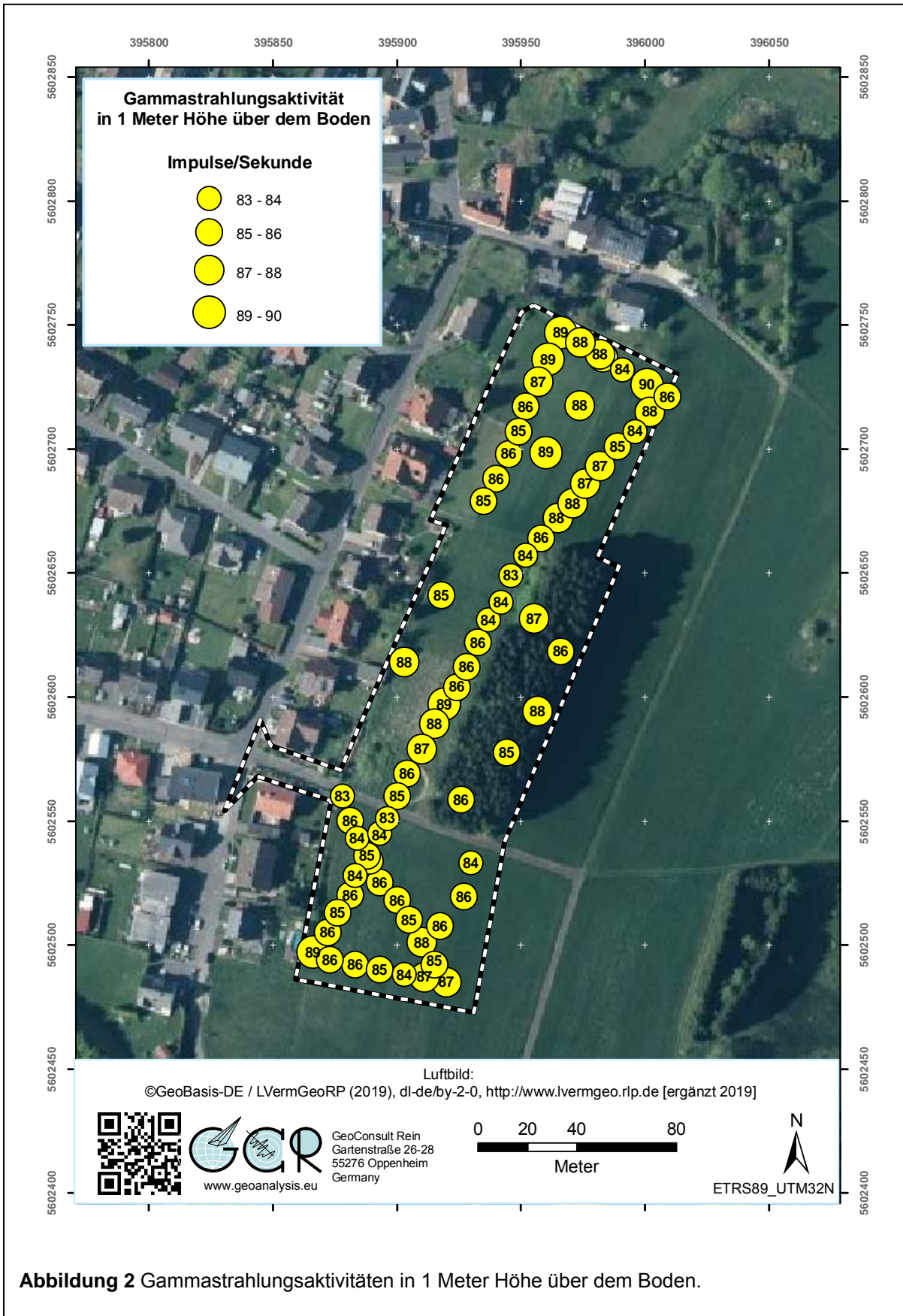


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivitäten in 1 Meter Höhe über dem Boden.

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, kein Annäherungswert (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).

Die Impulsraten auf der Untersuchungsfläche liegen in einem engen und moderaten Wertebereiche zwischen 83-90 Impulsen pro Sekunde (IPS). Anomalien der Gammastrahlungsaktivität, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte hätten berücksichtigt werden müssen wurden nicht detektiert.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen oberflächennahen geologischen Untergrund bilden im Bereich der Untersuchungsfläche gemäß der geologischen Karten (Quellen /3/) gefaltete devonische Gesteine. Dies bestätigen auch die Radonmessbohrungen in denen unterschiedliche Tonschiefer und Sandsteine erbohrt wurden. Der Fels steht im gesamten Bebauungsplan unter geringer Bodenbedeckung an.

Die Radonmessbohrungen haben im Detail den in Tabelle1 beschriebenen Bodenaufbau.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
WRO-01	395965	5602740	0-30 30-105	Sand, braun bis grünlich Fels (TS, grau bis schwarz), verwittert-aufgelockert
WRO-02	395999	5602724	0-15 15-70 70-105	Sand, schwach lehmig, mit TS-Plättchen Fels (TS), zertrümmert Fels (TS), zertrümmert, rostfleckig
WRO-03	395960	5602691	0-20 20-105	Sand, lehmig mit TS Fels (TS), zertrümmert und aufgewittert
WRO-04	395948	5602626	0-10 10-30 30-60 60-115	Humusaufgabe Sand, sehr schwach lehmig Verwitterter TS, schwach rostfleckig Fels (TS), schräggehend (30-45°)
WRO-05	395914	5602639	0-25 25-110	Sand, lehmig Fels (TS, angewittert)
WRO-06	395917	5602593	0-60 60-110	TS, verwittert, mittelbraun Fels (TS schwarz, Bohrfein grünlichgrau)
WRO-07	395872	5602501	0-40 40-110	Verwitterter TS (grau) Fels (TS, schwarz-dunkelgrau)
WRO-08	395902	5602520	0-40 40-60 60-110	Dünnplattige graue Sandsteine in sandiger Matrix, Dünnplattige graue Sandsteine in lehmiger Matrix, Fels (TS), zertrümmert
WRO-09	395935	5602533	0-30 30-60 60-110	Sand, schluffig Verwitterter TS, lehmig Fels (TS), zertrümmert
WRO-10	395908	5602496	0-10 10-55 55-110	Lehm mit TS-Plättchen, graubraun Lehm mit TS-Plättchen, mittelbraun Fels (TS)
WRO-11	395958	5602594	0-10 10-25 25-80 80-100	Humusaufgabe Sand, sehr schwach lehmig Verwitterter TS Fels (TS, dunkelgrau)

TS=Tonschiefer

7. Laboregebnisse

7.1 Bodenfeuchte

Der Bodenwassergehalt beeinflusst (neben Kornform, Korngröße, Verteilung der Mutterkornklüde 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
WRO-01	395965	5602740	105/110	5,2	14,1	24,4	28,6
WRO-02	395999	5602724	105/110	4,6	17,0	12,3	19,7
WRO-03	395960	5602691	105/110	5,1	13,5	16,5	23,0
WRO-04	395948	5602626	115/118	3,8	15,6	15,2	22,9
WRO-05	395914	5602639	110/115	5,0	19,5	19,2	26,8
WRO-06	395917	5602593	110/115	6,9	14,6	16,8	24,5
WRO-07	395872	5602501	110/115	5,5	13,2	21,0	15,4
WRO-08	395902	5602520	110/115	5,7	12,3	26,0	23,7
WRO-09	395935	5602533	110/115	11,3	18,3	15,9	22,3
WRO-10	395908	5602496	110/115	6,3	15,5	18,3	26,2
WRO-11	395958	5602594	100/103	4,6	12,1	10,6	18,2

Die Böden waren zu Beginn der Radonmessungen trockener als zum Ende der Radonmessungen (Tab. 2). Die zu Beginn der Radonmessungen trockenen Böden, waren nach Regenfällen während der Radonmessperiode, zum Radonmessende in der Tiefe deutlich erdfeucht.

Aufgrund der ausreichenden Feuchte in der Messtiefe kann eine unterdurchschnittliche Emanationsrate ausgeschlossen werden, ebenso wie auch eine überdurchschnittliche Exhalationsrate ausgeschlossen werden kann (vgl. 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 oder sehr hohe Gasdurchlässigkeit (Kiese/Steine/Sande) im Untergrund können zu höheren Radonkonzentrationen im Gebäude führen als in solchen Gebäuden, die auf gasdichtem Untergrund (feinkörnige, bindige 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 aufgewitterten und tektonisch stark geklüfteten/geschieferten Tonschiefern hoch bis sehr hoch. Die Gaspermeabilitäten waren an allen Radonmesspunkten deutlich höher als die Nachweisgrenze des Messgerätes (Radon-JOK, max. messbare Gaspermeabilität $1,4E-11 \text{ m}^2$), die von der mechanischen Trägheit der Ansaugkammer abhängt. Für die Berechnungen der Radonverfügbarkeiten wird eine Gaspermeabilität von $5 \cdot E-11 \text{ m}^2$ angenommen.

Die hohen Gaspermeabilitäten müssen für die Bewertung des Radonrisikos im Bebauungsplan besonders berücksichtigt werden.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Grenzau (319 m ü NN) liegt in einer grasbewachsenen Fläche in Kuppenlage 15 km südöstlich der 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 einer Tiefe von 20 cm ermittelten Bodentemperaturen, sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalles 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.

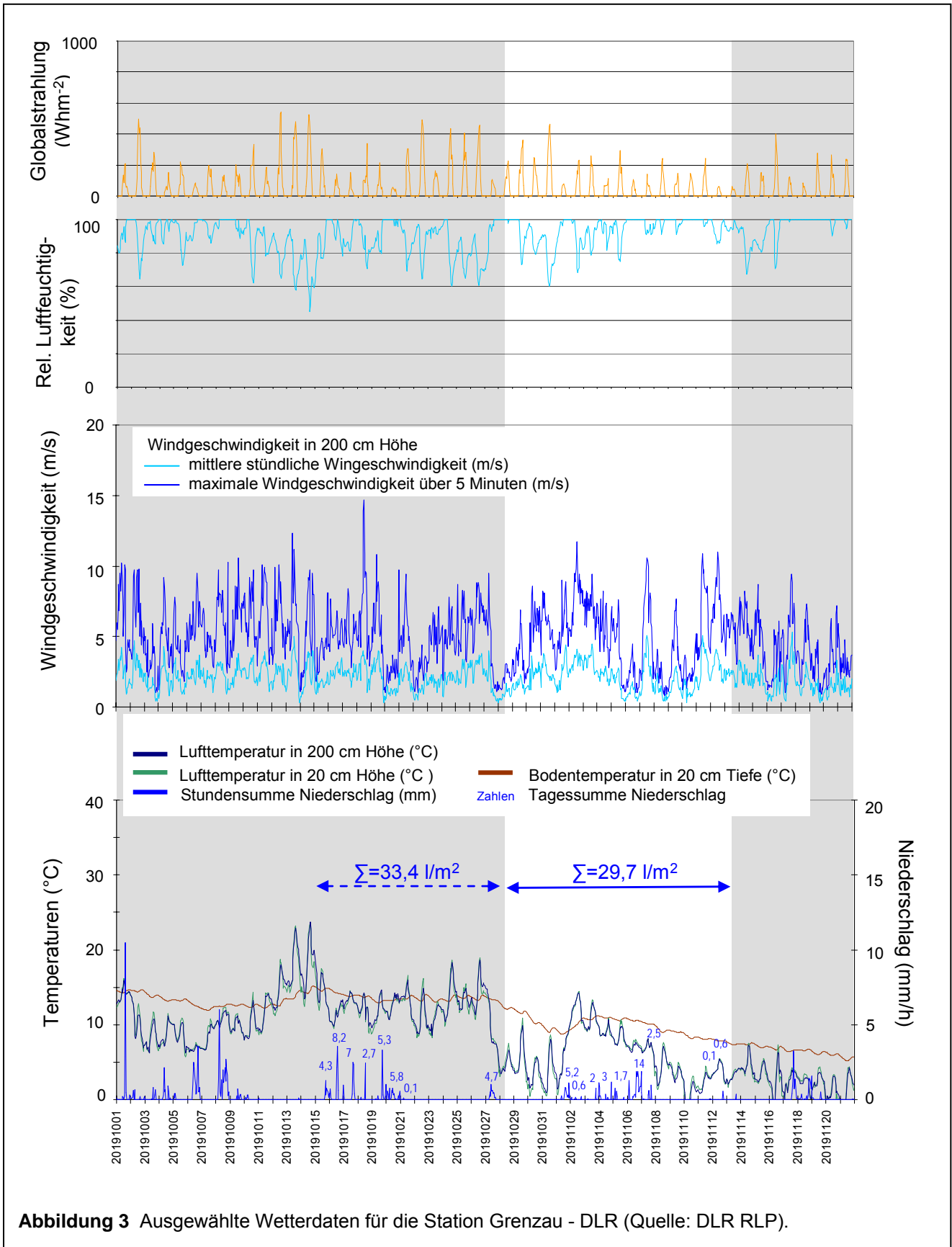
Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

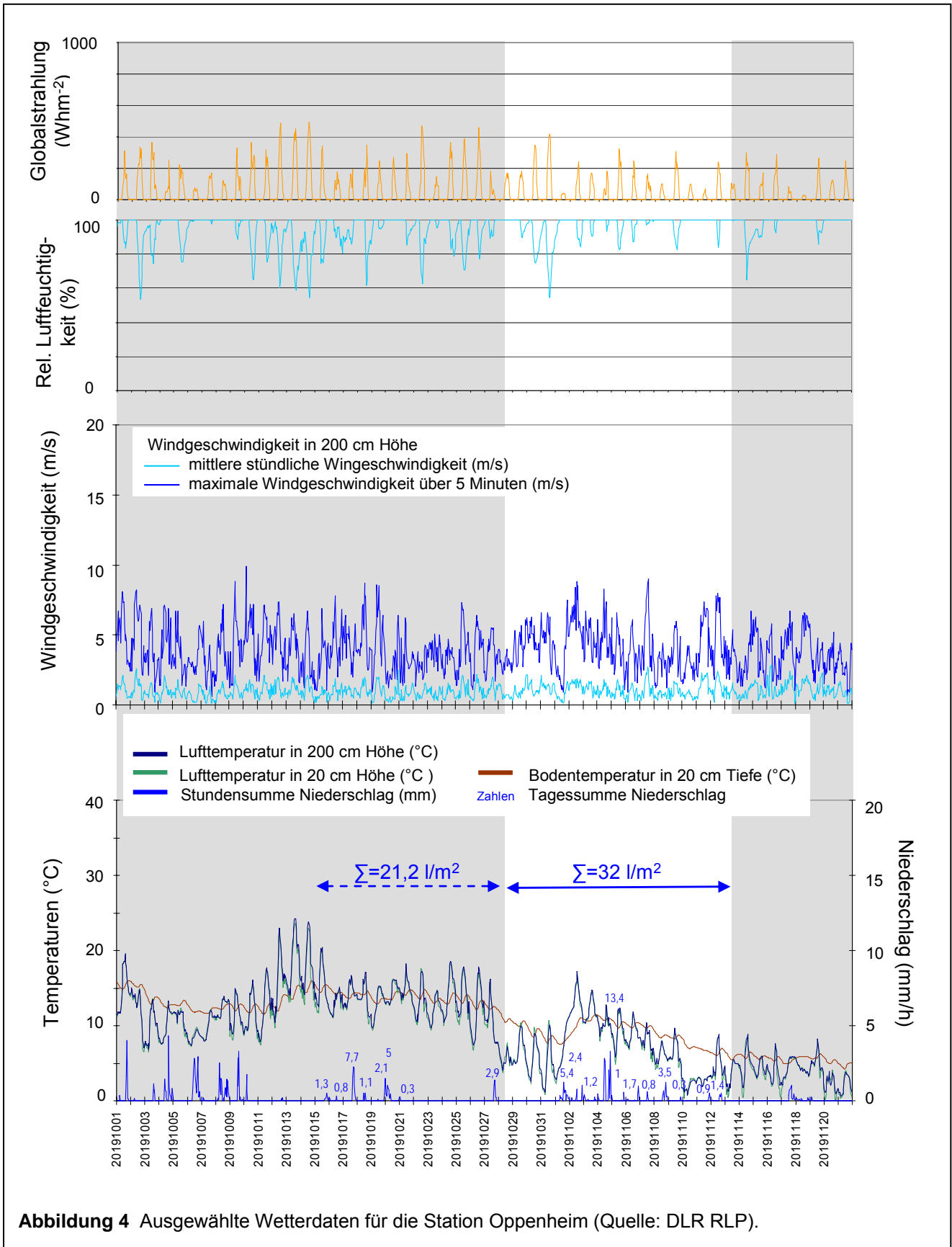
An den beiden Wetterstationen sind die zeitlichen Witterungsverläufe sehr ähnlich. Die täglichen Temperaturamplituden sind zwischen beiden Stationen vergleichbar. Der in Richtung zur Exhalationsfront gerichtete besonders wichtige Temperaturgradient zwischen Bodentemperatur und Atmosphärentemperaturen ist damit an beiden Stationen ebenfalls vergleichbar.

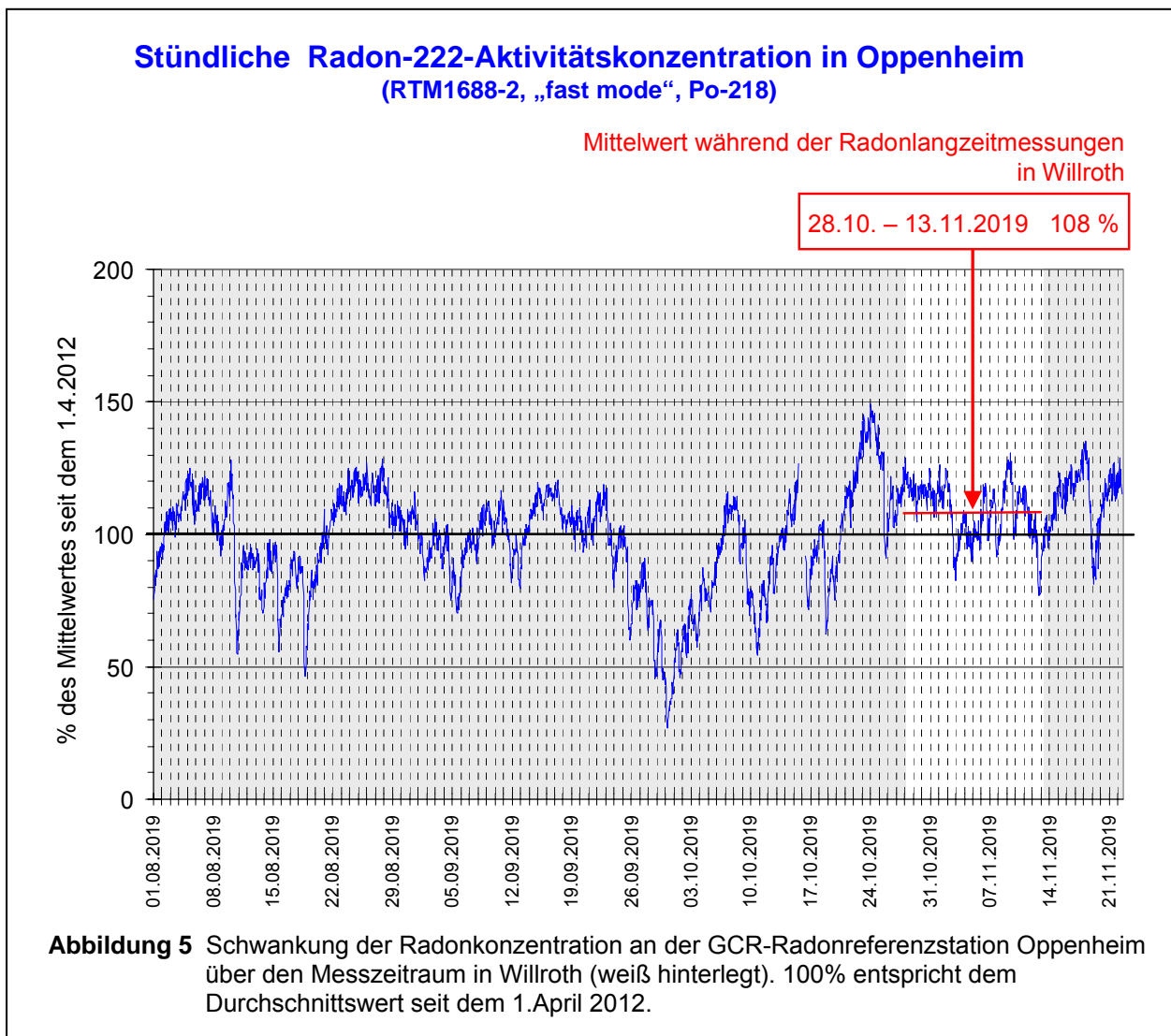
An beiden Stationen fielen sowohl innerhalb der 14 Tage vor den Radonmessungen, wie auch innerhalb der Radonmessperiode vergleichbare Niederschlagsmengen und die Regenfälle fielen an den gleichen Tagen.

Die Windgeschwindigkeiten sind an der windexponierten Wetterstation Grenzau durchgängig höher als an der Wetterstation Oppenheim. Aufgrund der windgeschützten Lage der Untersuchungsfläche in Willroth können dort aber durchweg niedrigere Windgeschwindigkeiten als an der Station Grenzau zugrunde gelegt werden. Starkwindperioden hatten an der Radonreferenzstation wegen der ausreichenden Bodenfeuchte in den oberen Bodenhorizonten (wie in Willroth) einen nur gedämpften Einfluß auf die Radonkonzentration im Boden in einem Meter Tiefe (vgl. Kap.5).

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 Willroth kann aufgrund der nahezu identischen Witterungsverlaufes eine vergleichbare zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen im Boden wie in Oppenheim angenommen werden. Innerhalb der Radonmessperiode in Willroth betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation 108% des 7,5-jährigen Mittelwertes (Abb. 5). Die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wird somit durch die Radonlangzeitmessungen gut repräsentiert und nur leicht überschätzt. Die Witterungskorrekturen der in Willroth gemessenen Radonkonzentrationen ergaben deshalb nur geringe Abweichungen von den gemessenen Werten.

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 (1 Kilobecquerel entspricht 1000 Radon-Zerfällen/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 16 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem moderaten bis deutlich erhöhten bis hohen Aktivitätskonzentrationsbereich von $34,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ bis $104 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten, wegen der repräsentativen Messperiode, nur wenig niedrigeren Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn} \text{ wk}$) mit Werten zwischen $31,7 \pm 10\%$ bis $96,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma).

Bei Betrachtung der „Radonkonzentration“ als alleinigem Kriterium ergibt sich bei einem weniger anspruchsvollen, aber veralteten Zielwert der Radonkonzentration von 400 Bq/m^3 in Innenräumen und gemäß Tabelle 4 eine veraltete Einordnung der witterungskorrigierten Radonkonzentrationen der Radonmesspunkten in die Radonvorsorgebietsklassen **RVK I und RVK II** (Spalte 3, Tabelle 3).

Eine ältere Empfehlung des BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) für Böden hoher Gaspermeabilität sieht in einem einfachen 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 Klassifizierung und Zuordnung der Radonaktivitätskonzentrationen zu den **RVK II** und der höchsten Radonvorsorgeklasse **RVK III**.

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 Gasdurchlässigkeiten wird der Radonverfügbarkeitsindex von Surbeck als Bewertungsmaß genutzt.

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/m³				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C _{Rn} +/-10%	C _{Rn wk} +/-10%	C _{Rn wk} +/-10%		RVI (Bq/m) (Surbeck)	Rna (dimensionslos) (Slunga)
	ohne RVK- Wertung (ohne Witterungs- korrektur)		Wertung unter Berücksichti- gung hoher Gaspermea- bilität		RVI C_{Rn wk} RVI C_{Rn wk} +10%	Rna C_{Rn wk} Rna C_{Rn wk} +10%
WRO-01	40,1	37,1	37,1	5E-11	1,86E-06 2,04E-06	
WRO-02	41,2	38,1	38,1	5E-11	1,91E-06 2,10E-06	
WRO-03	89,8	83,2	83,2	5E-11	4,16E-06 4,58E-06	
WRO-04	66,4	61,5	61,5	5E-11	3,07E-06 3,38E-06	
WRO-05	51,5	47,7	47,7	5E-11	2,39E-06 2,62E-06	
WRO-06	104,0	96,3	96,3	5E-11	4,81E-06 5,30E-06	
WRO-07	61,5	56,9	56,9	5E-11	2,85E-06 3,13E-06	
WRO-08	48,2	44,7	44,7	5E-11	2,23E-06 2,46E-06	
WRO-09	34,2	31,7	31,7	5E-11	1,58E-06 1,74E-06	
WRO-10	77,4	71,7	71,7	5E-11	3,58E-06 3,94E-06	
WRO-11	67,7	62,7	62,7	5E-11	3,13E-06 3,45E-06	
RVK - Wertung						
RVK 0	Keine Radonschutzmassnahmen erforderlich					
RVK I	Radonvorsorgegebietsklasse I - grundlegende Radonschutzmassnahmen erforderlich					
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II - umfangreiche Radonschutzmassnahmen erforderlich					
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III – sehr umfangreiche Radonschutzmassnahmen erforderlich					

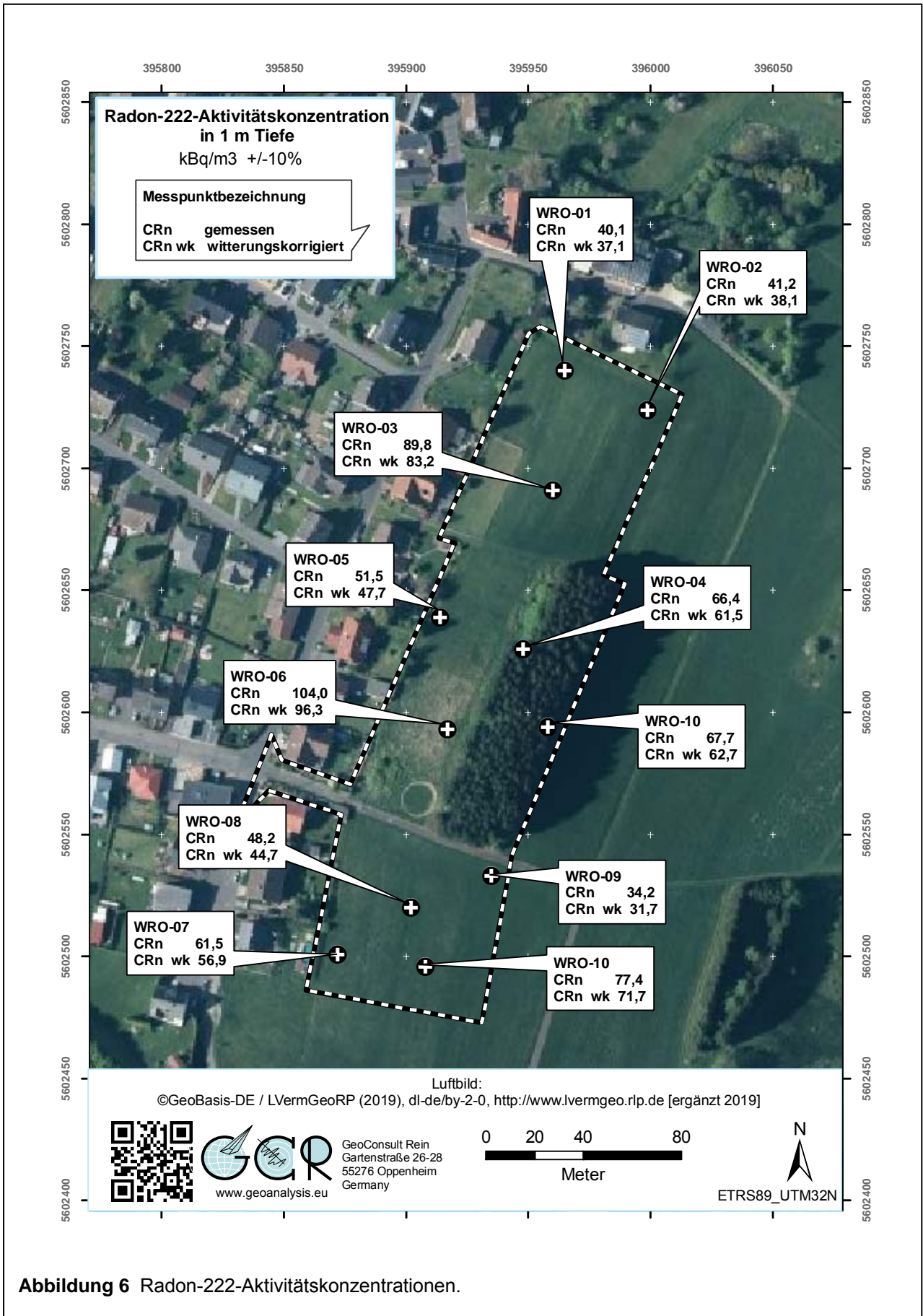


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen.

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 $<100 \text{ Bq/m}^3$.

Nach dieser moderneren Klassifikation und einem Richtwert von $<300 \text{ Bq/m}^3$ in der Raumluft sind für alle Messpunkte Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklasse RVK II 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 $<400 \text{ Bq/m}^3$)	Radonaktivitätskonzentration ($\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	$<20 \text{ kBq/m}^3$ ($<20\,000 \text{ Bq/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	$>20 - 40 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	$>40 - 100 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	$>100 \text{ kBq/m}^3$

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem diskreten Zeitpunkt 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 vom BfS schon explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wurde.

Eine vom BfS geplante und von der EU geforderte deutschlandweite Karte, soll die Gaspermeabilität gleichermaßen bedeutsam bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Die dazu erforderliche Datenbasis fehlt in vielen Bundesländern allerdings noch.

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, die Gaspermeabilität, den Bodenaufbau, temporäre Variablen wie Bodenfeuchte und Witterungseinflüsse, die die innerhalb eines Zeitraums gemessene Radonaktivitätskonzentration beeinflussen und Einfluss auf die Radonverfügbarkeit im Boden haben, sowie die zukünftige Versiegelung der Fläche durch die Bauvorhaben. Die hier verwendete Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht bereits auf einem verschärften Zielwert von maximal 250 Bq/m³ in der Raumluft, um den neuen Anforderungen des Gesetzgebers gerecht zu werden.

Für den Bebauungsplan werden Radonpräventionsmassnahmen RVK II empfohlen.

Präventivmassnahmen in einen **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 (Radonfolie oder geeignete Polymer- Bitumenhülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes oder im Innenbereich.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien, bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.

Durchführungen durch die Bodenplatte und durch erdumlagerte Wände sind für den Radonschutz von besonderer Bedeutung, weil bereits kleinste Leckagen zu einem bedeutenden Zustrom von Bodenluft und Radon führen können. Diese Abdichtungsmaßnahmen umfassen sowohl die gasdichte Abdichtung des Anschlusses von Rohrdurchführungen zum Mauerwerk, aber auch die häufig unterschätzten, freibleibenden Wegsamkeiten innerhalb der, durch die Leitungen nur teilgefüllten Leerrohre. Auch wenn diese nur einen kleinen Durchmesser besitzen, können Sie unsachgemäß abgedicht, bedeutende Radonmengen in das Gebäude liefern.

4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.
5. Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und Gewährleistung, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillARBrechende Schicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.
6. Gegebenenfalls eine Bodengasdrainage im Schotterbett der Gründung, sofern diese nicht im Einfluß von Hangwasser und Quellhorizonten liegt.

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

Obige Massnahmenkataloge sind 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, ist der Objektplanung überlassen, um einen optimierten Wirkungs-/Kosteneffekt bei der Radonprävention zu erreichen.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten oder Baugrunduntersuchungen Hohlräume (Altbergbau) festgestellt

werden, die nahe an die Gründungsbasis heranreichen, wird dringendst empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

GeoConsult Rein
GCR

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, 26.11.2019