

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Ockenheim, BPL „In den Weiden“
Projektnummer 20150810_Rn222_OCK“

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Gutachter:
Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber :
Wohnpark Heidesheim-Uhlerborn GmbH
Rheinstraße 194b
55218 Ingelheim

19. September 2015

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. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme	7
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	10
7. Laborergebnisse	13
7.1 Bodenfeuchte	13
7.2 Gaspermeabilität	14
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	15
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	20
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	24

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Bingen-Gaulsheim	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Ockenheim	18
Abbildung 6	Gemessene Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in einem Meter Tiefe	22
Abbildung 7	Bodenfeuchte-korrigierte Radon-222-Aktivitätskonzentration, Gaspermeabilität und Radonverfügbarkeit im Boden in 1 Meter Tiefe	23

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Radonmessbohrungen	12
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	14
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in einem Meter Tiefe	21
Tabelle 4	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	24

1. Auftrag

Die Wohnpark Heidesheim-Uhlerborn GmbH beauftragte orientierende Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme zu der Fläche des Bebauungsplan „In den Weiden“ in Ockenheim.

Die Radonkonzentration im Boden sollte untersucht werden, um festzustellen, ob und in welchem Umfang Massnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Geländes zu empfehlen sind.

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Bebauungsplan-Vorentwurf, vom Auftraggeber zur Verfügung gestellt.
- /2/ Online-Karten LGB RLP
- /3/ LANIS RLP
- /4/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- /5/ Geologische Karte GK25 Blatt 6013 (1930)
- /6/ Wetterdaten des DLR der Stationen Bingen-Gaulsheim 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.

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 strahlen-exponierter Personen.

3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden

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

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

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

Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden hängt von den folgenden Faktoren ab:

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

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

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

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

3.3 Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte

Das Thema Radon wird in naher Zukunft neben gesundheitlichen Aspekten auch zunehmende Bedeutung für den Werterhalt einer Immobilie gewinnen. Radonsanierungsmassnahmen kosten in der Regel das Mehrfache von Radonpräventionsmassnahmen.

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die spätestens ab dem 1. Januar 2018 eine Radonraumlufkonzentration von maximal 300

Bq/m³ auch durch den nationalen Gesetzgeber zulässt. Den EU-Mitgliedsstaaten bleibt es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Grenzwerte unterhalb 300 Bq/m³ festzulegen und diese auch früher in Kraft zu setzen. Bis zur Umsetzung in nationales Recht gilt die EU-Richtlinie.

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

Die Weltgesundheitsorganisation und das Bundesumweltministerium empfehlen für Neubauten einen Richtwert von 100 Becquerel/m³.

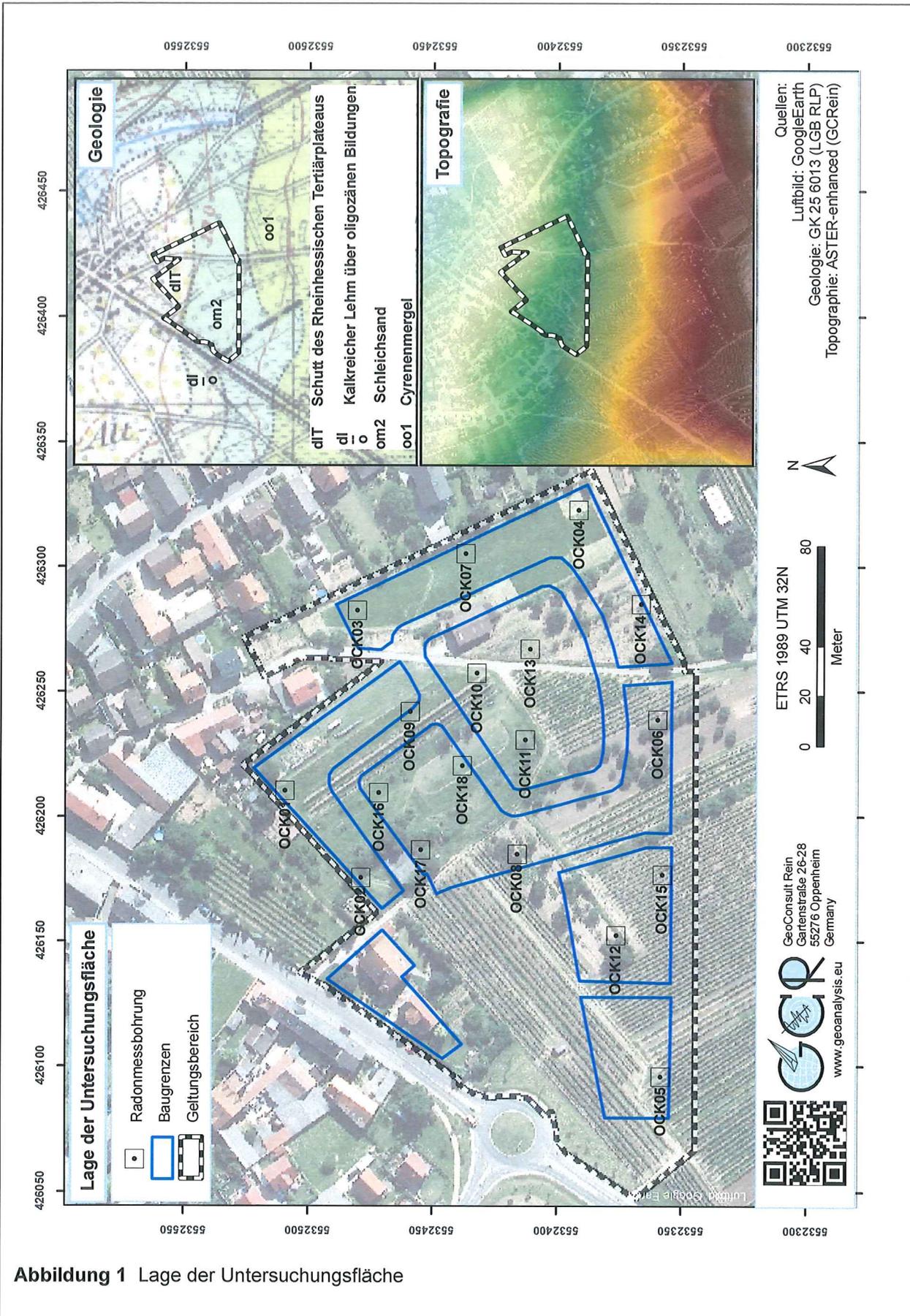
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Fläche des Bebauungsplanes „In den Weiden“ erstreckt sich auf 3,4 Hektar südlich von Ockenheim auf einem flach nach Norden exponierten Hang (125-136 m NN). Die Fläche ist zur Zeit in unterschiedlicher Weise landwirtschaftlich genutzt (Weide, Streuobstwiese, Weinbau, Ackerbau) und deshalb saisonal bedingt unterschiedlich dicht mit Vegetation bewachsen (Abb. 1, Situation zum Zeitpunkt der Radonmessungen vergleichbar der im Luftbild).

Aufgrund der städtebaulichen, der topographischen Situation und der Art des Bewuchses ist die Fläche eingeschränkt windoffen gelegen. Die Lage der Bohrpunkte zur Radonmessung wurde so gewählt, dass Sie nicht in Konflikt zu erwarteten landwirtschaftlichen Bearbeitungsmassnahmen stand.

5. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bebauungsplan (Vorentwurf) genutzt, der mit Hilfe von Flurstückeckpunkten für die Verwendung im GIS referenziert und geokodiert wurde (ETRS89 UTM32N).



Die Einmessung der Messpunkte erfolgte mit GPS (Garmin Colorado 300). Die Positionsgenauigkeit der Koordinaten beträgt gemäß GPS-Statistik ± 3 Meter. Die GPS-Koordinaten, der zur Kontrolle vermessenen Grundstückseckpunkte bestätigen und belegen eine ausreichende Lagegenauigkeit mit etwa oben genannter Präzision.

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 11. August 2015 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um möglicherweise Hinweise auf natürliche Gesteinswechsel, anthropogene Auffüllungen oder durch tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden als Handbohrungen mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Dosimeter in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe erfolgte unmittelbar nach deren Aufbereitung am 11. und 12. August mit 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 Dosimetern und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden aufbaut, die von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurden. Die Weiterentwicklungen betreffen vor allem den Feuchteschutz der Exposimeter.

Das Bohrgut aus der Lagerungstiefe der Dosimeter wurde als Probe für Korngrößenanalysen und zur Bestimmung des Wassergehaltes entnommen, des Weiteren Oberflächenproben (10-15 cm Tiefe) zur Bestimmung des Wassergehaltes.

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. Massendefizite aufgrund z.B. der Probennahme wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe, sowie des Oberbodens erfolgten am 28. August 2015. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 16 bzw. 17 Tage (s. Tab. 2).

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.

Befinden sich starke Radonemanenten auch in größerer Tiefe im Untergrund, können diese häufig über Ihre in flacheren Bodenhorizonten entstehenden Tochternuklide durch Gammamessungen abgebildet werden.

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

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten sind im regionalen Vergleich niedrig bis durchschnittlich und liegen in einem Wertebereich zwischen 70 – 96 Impulsen/Sekunde.

Ausgeprägte Anomalien der Gammastrahlungsaktivitäten, die Auswirkungen auf die Beprobungsanordnung gehabt hätten, wurden nicht gefunden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Im Untergrund des Bebauungsplanes lagern gemäß geologischer Karte GK25 6013 (1930) fast sählig die Schleichsande der Stackeden-Formation. Einzelne Horizonte innerhalb der Schleichsande sind in Rheinhessen lokal (Liefergebiet) für hohe Radonkonzentrationen ($<150 \text{ kBq/m}^3$) bekannt, während andere Horizonte sehr radonarm sind ($<10 \text{ kBq/m}^3$). Südlich angrenzend an den Bebauungsplan weist die Karte die höher im Hang auflagernden brackischen Cyrenenmergel aus.

Im nördlichen Teil des Bebauungsplanes sind die Schleichsande von aus Tertiärmaterial gebildetem Hangschutt überdeckt (GK 25). Westlich an den Bebauungsplan angrenzend hält die GK25 kalkreiche Lehme über den Schleichsanden aus. Dem widerspricht die Geologische Übersichtskarte von RLP (2003), die im zentralen nördlichen Teil des Bebauungsplanes statt der kalkreichen

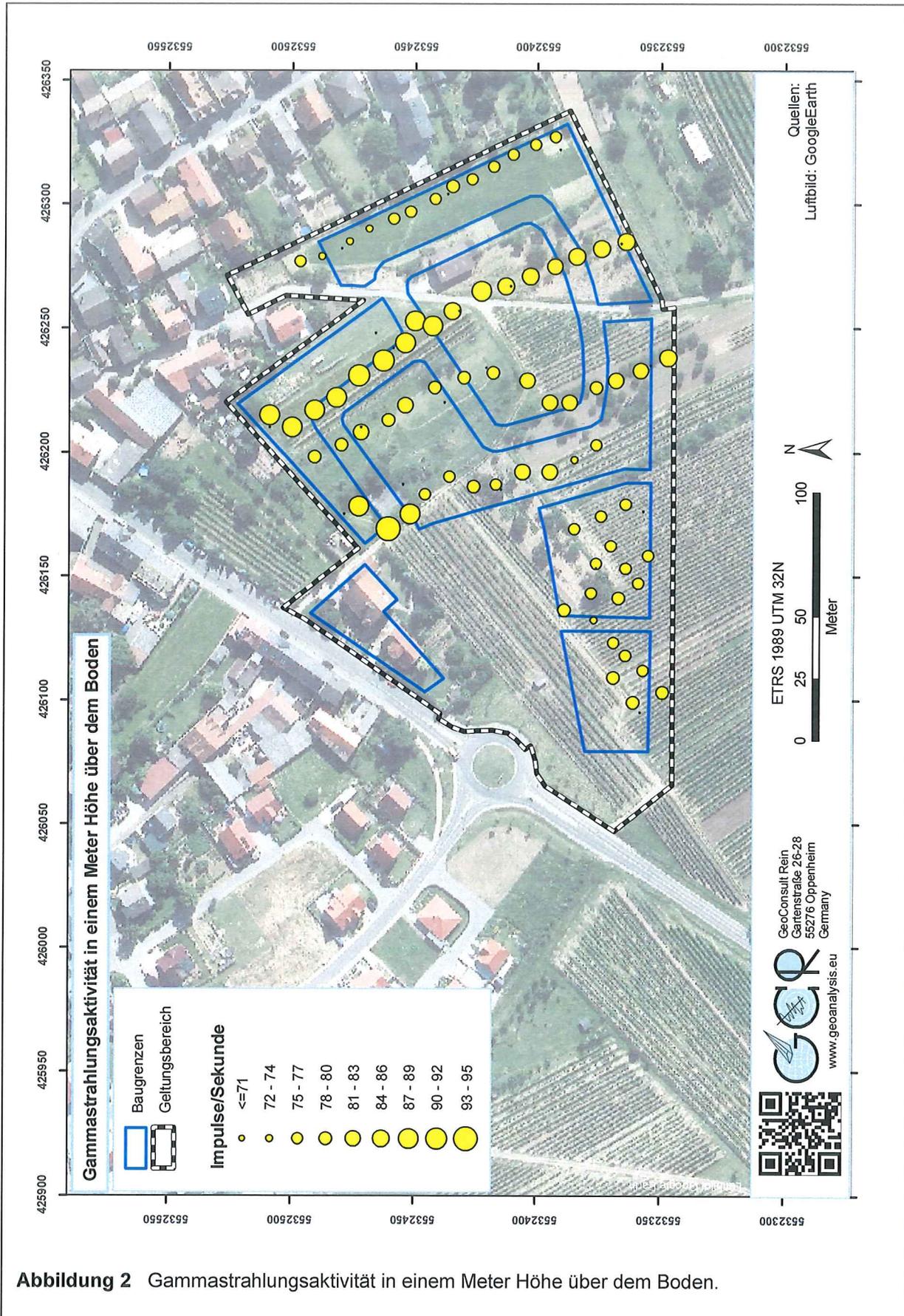


Tabelle 1: Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 1)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
OCK 01	426210	5532509	0-30 30-100	u''-u'S, braun S, gelblich rotbraun, vereinzelt G
OCK 02	426175	5532479	0-60 60-100	uS, graubraun u'S, gelbbraun
OCK 03	426282	5532481	0-50 50-80 80-100	sU-uS, graubraun u'-uS, rotbraun bis gelblich rotbraun S, rotbraun
OCK 04	426323	5532391	0-60 60-100	u'-uS, braun S, roter werdend
OCK 05	426096	5532358	0-40 40-70 70-100	uS, braun S, braun S, braun mit Tonlinsen (schwarzbraun)
OCK 06	426238	5532360	0-40 40-70 70-100	u'-uS S, braun sU, kalkreich (Löß)
OCK 07	426305	5532437	0-50 50-100	uS, graubraun S, gelblich rotbraun
OCK 08	426185	5532416	0-60 60-75 75-100	S, braun uS, mittelbraun S, braun bis gelbbraun
OCK 09	426242	5532459	0-30 30-100	S, braun S, gelblich rotbraun
OCK 10	426257	5532432	0-80 80-95 95-100	sU-uS, hellbraun U, fahlbraun uS, fahlbraun bis hellbraun
OCK 11	426230	5532413	0-50 50-100	sU-uS, hellbraun S, hellbraun
OCK 12	426152	5532376	0-50 50-90 90-100	uS-sU S, gelblich rotbraun uS-sU, stark karbonatisch
OCK 13	426267	5532411	0-40 40-75 75-100	S, rötlich braun S, gelblich rotbraun bis rot s'-sU, stark karbonatisch
OCK 14	426285	5532366	0-40 40-100	uS, graubraun S, gelblich rotbraun
OCK 15	426177	5532358	0-100	S, braun
OCK 16	426209	5532472	0-100	u'-u''S, hellbraun-braun
OCK 17	426187	5532455	0-100	u'-u''S, hellbraun bis braun
OCK 18	426220	5532438	0-100	u'S, braun

Lehme quartäre Flugsande (sa) zeigt. Auf Grundlage der nur bis in einem Meter Tiefe reichenden Radonmessbohrungen wird eher vermutet, dass die Schleichsande oder Aufarbeitungen derselben, nur in der Bohrung OCK05 (Abb. 1, Tab. 1) erreicht wurden und die anderen Bohrungen in den Bodenbildungen auf den quartären äolischen Deckschichten stehen. Dafür spricht auch die z.T. beobachtete Verzahnung der Sande mit ebenfalls äolischen Schluffen (Löß) zum Beispiel in den Bohrungen OCK10 und OCK13. In der GK25 wird im westlichen Teil des Bebauungsplanes eine tektonische Störung vermutet, die zumindest in den Gammastrahlungsdaten nicht abgebildet ist.

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 kann bei hohen Wassergehalten die Radonkonzentration ansteigen. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser herangeführt werden und freigesetzt werden. Nasser oder gar 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.

Aufgrund der sehr geringen Bodenfeuchtwerte in einem Meter Tiefe, sind für diese unterdurchschnittliche Emanationsraten innerhalb des Beobachtungszeitraumes der Messungen zu erwarten.

Die im Messzeitraum gemessenen Bodenfeuchten in einem Meter Tiefe, sowie in den darüberliegenden ebenfalls sehr trockenen Bodenhorizonten stellen darüber hinaus auch ein unterdurchschnittliches Migrationshindernis dar. Die Radonexhalation war

deshalb während der Radonmessungen sicher wesentlich höher als im langfristigen Durchschnitt.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				100 cm		15 cm	
				Anfang	Ende	Anfang	Ende
OCK 01	426210	5532509	100	5	6	6	6
OCK 02	426175	5532479	100	5	5	7	5
OCK 03	426282	5532481	100	5	6	5	7
OCK 04	426323	5532391	100	6	6	6	6
OCK 05	426096	5532358	100	8	8	7	6
OCK 06	426238	5532360	100	8	7	6	6
OCK 07	426305	5532437	100	4	5	5	6
OCK 08	426185	5532416	100	7	7	6	5
OCK 09	426242	5532459	100	5	6	5	7
OCK 10	426257	5532432	100	4	5	5	5
OCK 11	426230	5532413	100	3	3	7	5
OCK 12	426152	5532376	100	5	4	6	5
OCK 13	426267	5532411	100	7	6	6	6
OCK 14	426285	5532366	100	7	6	5	5
OCK 15	426177	5532358	100	4	5	6	7
OCK 16	426209	5532472	100	5	4	6	7
OCK 17	426187	5532455	100	6	6	6	5
OCK 18	426220	5532438	100	5	6	8	6

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

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, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume

und Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

Desweiteren haben durch die Bodenart oder temporär durch Bodenfeuchte bedingte vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluß auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den im Bebauungsplan angetroffenen Sanden, schwach schluffigen Sanden und Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung im oberen Bodenmeter in einem Bereich von $k = 10^{-11}$ bis 10^{-13} m^2 . In Abbildung 7 ist nur die Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe dargestellt.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Gaulsheim (88 m üNN) liegt in der Ebene, 700 Meter nördlich von Ockenheim, weiträumig umgeben von landwirtschaftlichen Nutzflächen.

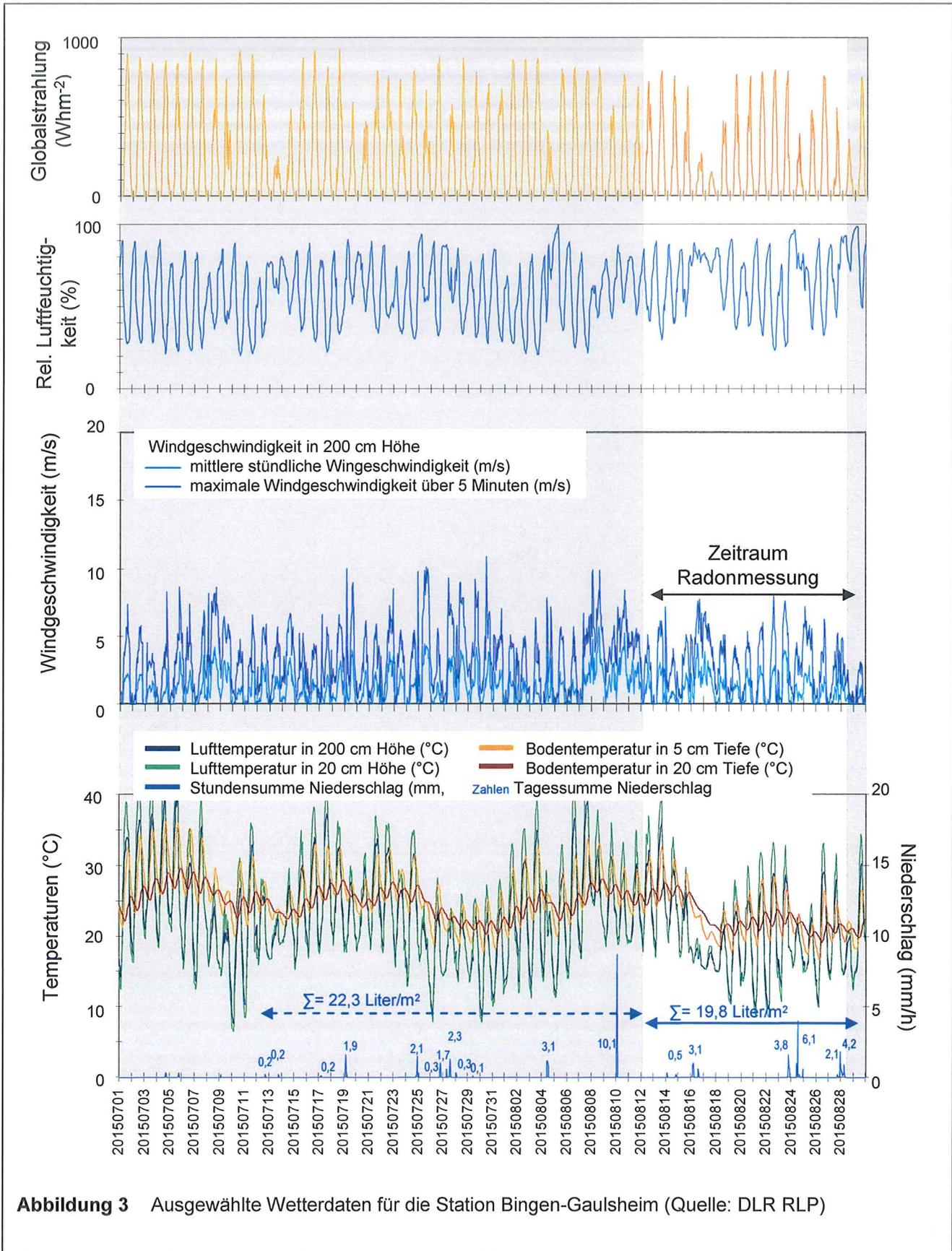
Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m üNN. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonreferenzstation von GCR.

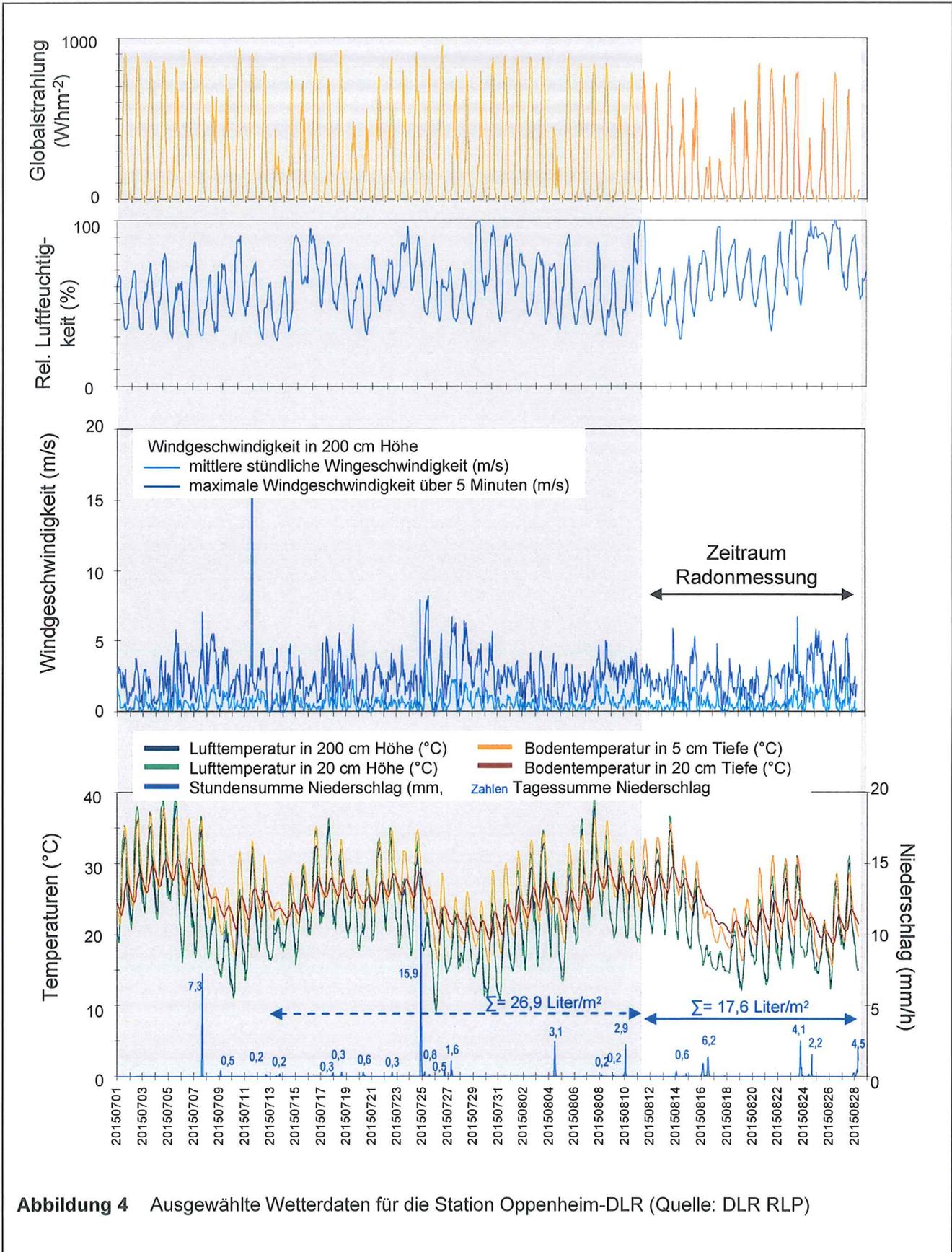
Die Abbildungen 4 und 5 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Dosimeterauslage zur Radonmessung auf der Untersuchungsfläche.

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

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

Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung. Der Zeitraum vor und nach der Dosimeterauslage ist grau hinterlegt.





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

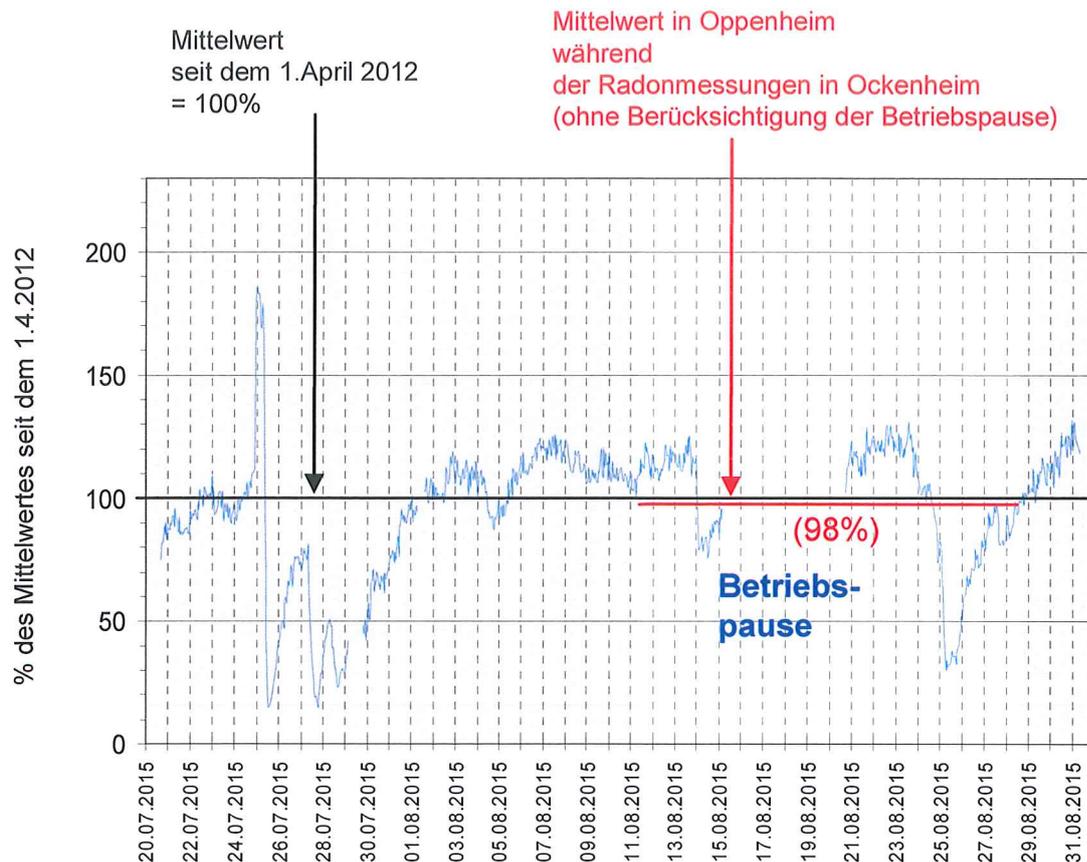


Abbildung 5 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum (weisser Hintergrund) in Ockenheim.

Nach ersten heißen Tagen (Abb. 4-5) zu Beginn der Auslage der Kernspurdetektoren zur Radonmessung, folgte nach dem 15. August vorübergehend kühlerer Witterung mit Tagesmaxima der Lufttemperaturen unter 20°. Die Abkühlung erfolgte während einer Phase starker Windtätigkeit. Ab dem 18. August folgte, eine wärmere Phase mit Tagesmaxima der Lufttemperaturen zwischen 25°C bis über 30°C. Nur am 24./25. August überschritten die Lufttemperaturen die 25°C Marke nicht. Mit zunehmender Tagesmaximaltemperatur steigt auch die Tagesamplitude des Temperaturganges auf z.T. über 20°K. Die Tagesamplituden in 20 Zentimeter Tiefe im Boden betrug in

Gaulsheim aufgrund der trockenen Böden noch immer 1-3°K, verbunden mit entsprechender Konvektion im Boden.

Insgesamt fielen während der Radonmessungen in Ockenheim an der Wetterstation Gaulsheim 20 Liter Regen je Quadratmeter. Auch im gesamten Monat vor Beginn der Radonmessungen fielen weniger als 23 Liter Regen je Quadratmeter. Die Regenfälle waren in Menge und zeitlichem Verlauf nicht geeignet auch nur eine kurzfristige Versiegelung des Oberbodens mit Radonstau in der Tiefe herbeizuführen (vgl. 24./25.07. in Abb. 5) oder den Boden dauerhaft zu durchfeuchten.

Die Witterungsverläufe an den Stationen Gaulsheim und Oppenheim sind vergleichbar (Abb. 4-5), wobei die an der Station Gaulsheim gemessenen Windgeschwindigkeiten durchgängig höher sind. Dies hat topografische Gründe (Westwind-geschützte Lage der Station Oppenheim), aber auch die ausgeprägteren täglichen Temperaturgänge, die auf der höher gelegenen und nordexponierten Untersuchungsfläche geringer ausgeprägt gewesen sein dürften.

An einer von GeoConsult Rein betriebenen Radon-Referenzstation werden in Oppenheim stündlich die Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in 1 m Tiefe gemessen. Die Gasdurchlässigkeit des Bodens an dieser Station ist mäßig und beträgt $k=10^{-13}$ m².

Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration in Oppenheim über den Zeitraum der Radonmessungen in Ockenheim (11.08 – 28.08.2015) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration während des Auslagezeitraumes der Dosimeter 98% (11.08 – 28.08.2015, Abb. 5) der langfristigen seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen. Während einer Betriebs- und Wartungspause war die Station an 5 Tagen abgeschaltet. Der Gang der Radonkonzentration im Boden kann deshalb für diesen Zeitraum nicht dargestellt und nur in Analogie zu ähnlichen Situationen rekonstruiert werden. Die Phase stärkster Windtätigkeit an der Station Gaulsheim fällt innerhalb dieser Betriebspause. Hier muß für wenigstens zwei Tage eine ähnliche oder stärkere Erniedrigung der Radonkonzentration wie am 25. August (Abb. 5) in Oppenheim angenommen werden. Die durchschnittliche Radonkonzentration über den Gesamtzeitraum der Dosimeterauslage, lag deshalb

sicherlich nicht bei 98% (s.o) sondern eher unter 95%. Auch dies stellt wegen der unterschiedlich feuchten Böden in Oppenheim und Ockenheim sicher eine Unterkorrektur dar (s. Kap. 7.4)

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt und in der Abbildung 6 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 16 bzw. 17 Tagen (Tab. 3) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich von $9,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $25,2 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma) (Tab. 3, Abb. 6).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn}wk$) mit Werten zwischen $9,4 \pm 20\%$ bis $25,7 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma).

Diese Witterungskorrektur stellt wahrscheinlich eine Unterkorrektur dar: Grund dafür sind die sehr trockenen Bodenprofile, die auf der Untersuchungsfläche in Ockenheim deutlich trockener als an der Radon-Referenzstation Oppenheim (12%) waren. Dadurch war der Radonexhalation aus dem Boden ein geringerer Widerstand als in Oppenheim entgegen gesetzt. GCR-eigene Testreihen in vergleichbaren Böden haben unter diesen Bedingungen nur etwa 80% der Radonkonzentration wie an gleicher Stelle bei Bodenfeuchten >10% ergeben.

Eine entsprechende Bodenfeuchte-Korrektur ist in der Spalte „ $C_{Rn} bfk$ “ von Tabelle 3 berücksichtigt. Die Werte liegen nach dieser Korrektur zwischen $11,5 \pm 20\%$ bis $31,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma).

Die höchsten Radonaktivitätskonzentrationen wurden in den Bohrung OCK-05 und OCK-08 gemessen. Ursache dafür sind in OCK-05 möglicherweise die in Tabelle 1 beschriebenen schwarzbraunen Tonlinsen, die nur an der Basis dieser Bohrung vorgefunden wurden und wahrscheinlich den Schleichsanden entstammen. In diesem Bereich verläuft aber auch in etwa die in der GK25 6013 vermutete Störung.

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)			Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C _{Rn}	C _{Rn} wk (98%)	C _{Rn} bfk (80%)	RVI CRn bfk	Rna CRn bfk
OCK- 01	11.-28.8.15	13,3	13,6	16,7 (13,3-20)	1,33-2,00 E-09	1,2-1,38
OCK- 02	11.-28.8.15	18,3	18,7	22,9 (18,3-27,4)	1,83-2,74 E-09	1,34-1,52
OCK- 03	11.-28.8.15	12,9	13,2	16,1 (12,9-19,4)	1,29-1,94 E-07	1,34-1,52
OCK- 04	11.-28.8.15	12,4	12,6	15,5 (12,4-18,6)	1,24-1,86 E-07	1,33-1,50
OCK- 05	11.-28.8.15	25,2	25,7	31,5 (25,2-37,8)	2,52-3,78 E-07	1,63-1,81
OCK- 06	11.-28.8.15	11,4	11,6	14,2 (11,4-17,0)	1,14-1,70 E-09	1,13-1,31
OCK- 07	11.-28.8.15	16,6	16,9	20,7 (16,6-24,8)	1,66-2,48 E-07	1,45-1,63
OCK- 08	11.-28.8.15	23,8	24,3	29,8 (23,8-35,7)	2,38-3,57 E-07	1,61-1,79
OCK- 09	11.-28.8.15	16,5	16,8	20,6 (16,5-24,7)	1,65-2,47 E-07	1,45-1,63
OCK- 10	11.-28.8.15	8,2	8,4	10,3 (8,2-12,3)	8,23E-10-1,23E-09	0,99-1,17
OCK- 11	11.-28.8.15	9,2	9,4	11,5 (9,2-13,8)	9,21E-08-1,38E-07	1,20-1,37
OCK- 12	11.-28.8.15	13,0	13,3	16,3 (13,0-19,6)	1,30-1,96 E-09	1,19-1,37
OCK- 13	11.-28.8.15	13,9	14,2	17,4 (13,9-20,8)	1,39-2,08 E-09	1,22-1,40
OCK- 14	11.-28.8.15	13,7	14,0	17,2 (13,7-20,6)	1,37-2,06 E-07	1,37-1,55
OCK- 15	12.-28.8.15	11,9	12,2	14,9 (11,9-17,9)	1,19-1,79 E-09	1,16-1,33
OCK- 16	11.-28.8.15	15,0	15,3	18,8 (15,0-22,5)	1,50-2,25 E-09	1,26-1,43
OCK- 17	11.-28.8.15	17,5	17,9	21,9 (17,5-26,3)	1,75-2,63E-09	1,32-1,50
OCK- 18	11.-28.8.15	14,3	14,6	17,9 (14,3-21,5)	1,43-2,15 E-09	1,24-1,41

*wk witterungskorrigiert (approximiert); *bfk Bodenfeuchte-korrigiert (approximiert);

RVK 0	Keine spezifischen 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

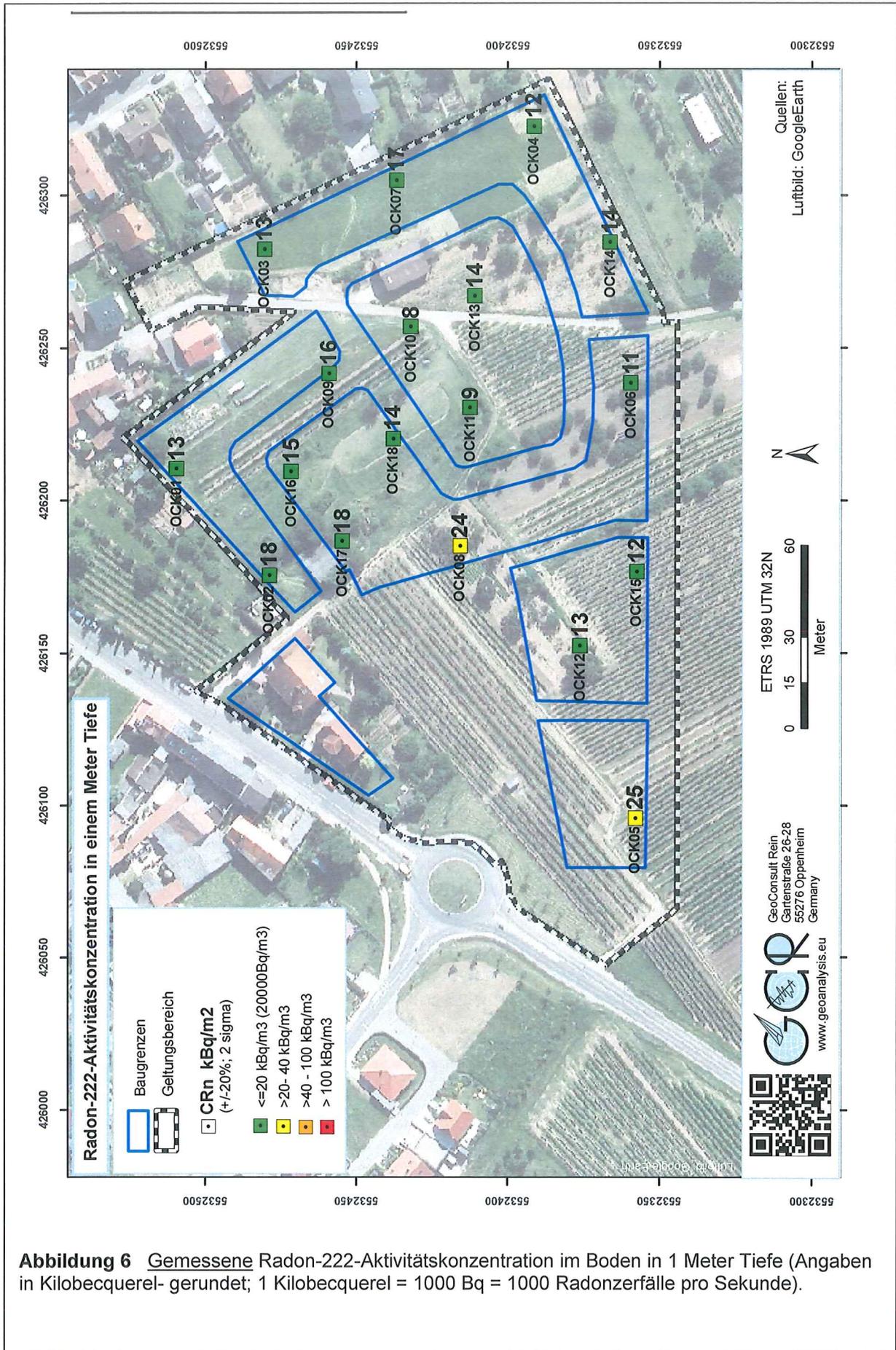


Abbildung 6 Gemessene Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in 1 Meter Tiefe (Angaben in Kilobecquerel- gerundet; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde).

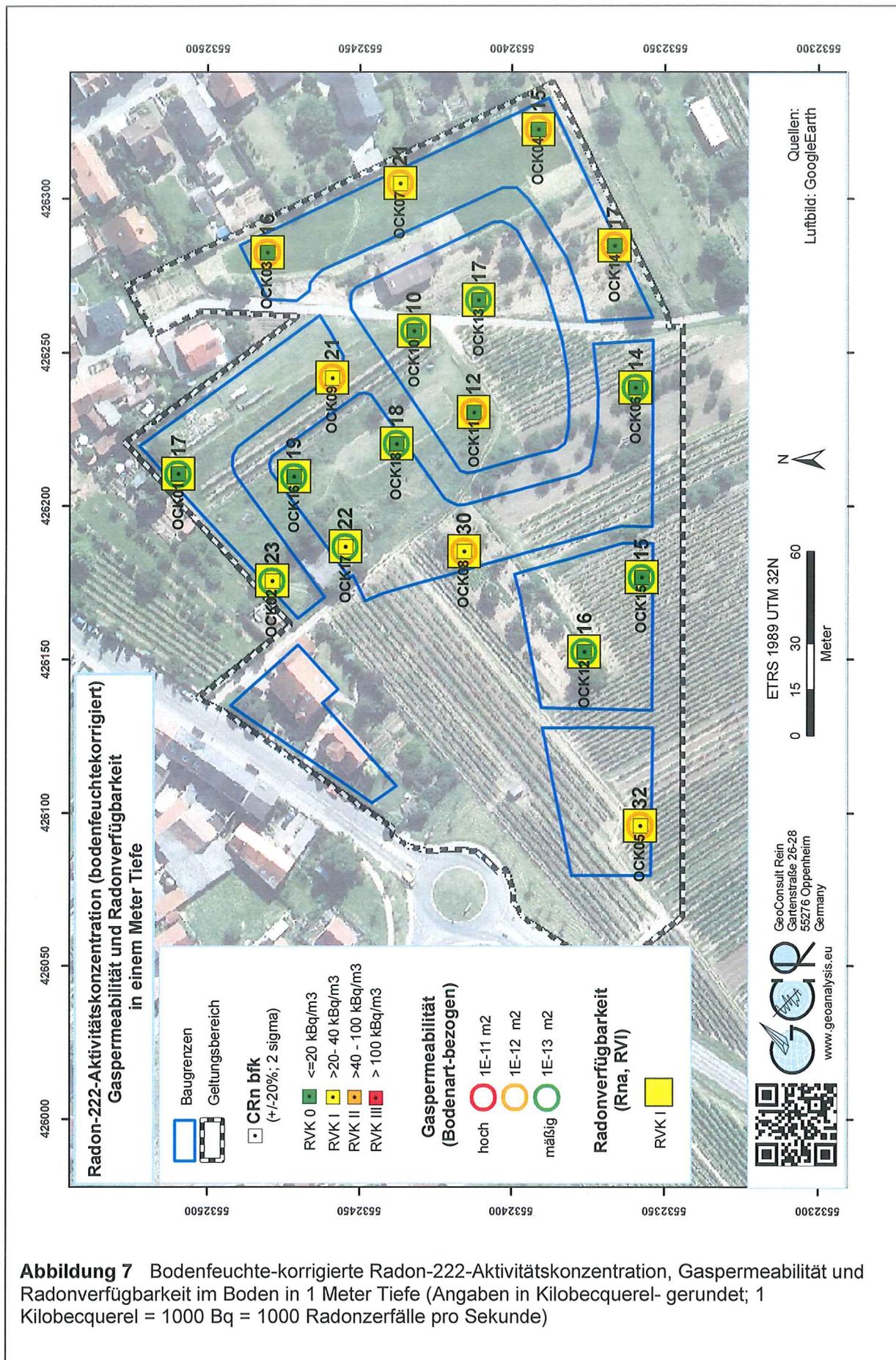


Abbildung 7 Bodenfeuchte-korrigierte Radon-222-Aktivitätskonzentration, Gaspermeabilität und Radonverfügbarkeit im Boden in 1 Meter Tiefe (Angaben in Kilobecquerel- gerundet; 1 Kilobecquerel = 1000 Bq = 1000 Radonzerfälle pro Sekunde)

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 Gasdurchlässigkeiten $k \geq 10^{-12} \text{ m}^2$ wird hier der Radonverfügbarkeitsindex RVI (Bq/m) von Surbeck angewandt, bei geringeren Gasdurchlässigkeiten die Radonaktivitätszahl (dimensionslos) von Slunga.

Für die Berechnung beider Indizes ist die Bodenart-bezogene Gaspermeabilität in der Lagerungstiefe der Dosimeter zugrunde gelegt.

Die Radonverfügbarkeiten aufgrund der Indizes von Slunga und Surbeck ergeben für die auf der Untersuchungsfläche vorliegenden Merkmalskombinationen eine übereinstimmende Einschätzung der Radonverfügbarkeit (des Radonpotentials). Danach sind nicht nur für die Bohrpunkte OCK-05 und OCK-08 einfache Radonschutzmassnahmen zu empfehlen, sondern auch für die Gesamtfläche (Abb. 7, Tab. 3).

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfahl 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.

Klassifizierung	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

Daraus ergäbe sich nach Tabelle 3 und Tabelle 4 eine Einstufung der Situation an den

Messpunkten als Radonvorsorgegebietsklasse 0-I (RVK 0-I, Tab. 3).

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) ist nur die gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben 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 bei der Identifikation gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen.

Desweiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m³ in Innenräumen) als von der EU mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.

Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise. Eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser oder vergleichbar energieeffiziente Gebäude, in denen die Radonkonzentration das Mehrfache dessen gegenüber älterer Bauweise betragen kann, liegt bisher nicht vor.

Die Einordnung in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch gleichzeitig gemessene bodenphysikalische 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.

Für den Bebauungsplan werden auf Grundlage der in einem Meter Tiefe durchgeführten orientierenden Messungen und der festgestellten Radonverfügbarkeiten Radonpräventionsmassnahmen der Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I) empfohlen.

Typische Präventivmassnahmen in einen Radonvorsorgegebiet RVK I umfassen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: ≥ 15 cm).
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, 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.

Der Radongutachter kann im Bedarfsfall gemeinsam mit dem Architekten Radonpräventionsmassnahmen objektorientiert (funktions- und kostenoptimiert) projektieren und deren Ausführung überwachen.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, vor allem sollte die Gebäudegründung innerhalb der Schleichsande erfolgen, besonders wenn diese dunkelbraun bis schwarz (oxidiert rostfarben) sind, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

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, 19.09.2014