

Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL Flugplatzstraße, Mainz-Finthen,
Projektnummer 20160415_Rn222_FIN

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

BPD Immobilienentwicklung GmbH
Lyoner Str. 15
60528 Frankfurt

07. Juni 2016

GLIEDERUNG	2
1. Auftrag	4
2. Verwendete ortsbezogene Materialien	4
3 Grundlagen zum Thema Radon	4
3.1. Was ist und woher kommt Radon?	4
3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden	5
3.3. Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	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	15
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	19
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	22

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmesspunkten	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Drais-Finthen	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Finthen	18
Abbildung 6	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen der Radonmessbohrungen in einem Meter Tiefe.	21

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	12
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	14
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeiten in 1 Meter Tiefe	20
Tabelle 4	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	22

1. Auftrag

Die BPD Immobilienentwicklung GmbH beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für den Bebauungsplan „Flugplatzstraße“ in Mainz-Finthen.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Vorabzug Flugplatzstraße
- /2/ Geologische Karte GK25 6015 Mainz
- /3/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Drais-Finthen und Oppenheim
- /4/ Google Earth

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

Radon ist nach dem Rauchen die zweithäufigste Ursache für Lungenkrebs mit jährlich rund 2000 auf Radon zurückzuführenden Lungenkrebstoten in Deutschland.

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.

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von Gebäuden können aber aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise erhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden hängt von den folgenden Faktoren ab:

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

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

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

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

3.3 Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte

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

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/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. 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. Ob dieser in nationales Recht umgesetzt wird, oder die Mindestanforderung der EU ist noch offen.

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die zu untersuchende Fläche (Abb. 1) schließt südlich an die Bebauung von Mainz-Finthen an. Die Fläche wird derzeit als Gärten und Wiesen genutzt.

Die Fläche fällt flach nach Südosten ein ein. Die topografische Höhe beträgt zwischen 186 – 195 m NN.

Ein sich in Nord-Süd-Richtung durch den gesamten Bebauungsplan ziehender Garten durfte für die Untersuchungen nicht betreten werden. Im nördlichen Bereich standen z.T. auch noch großflächige Scheunen (Abb. 1) wo eine spätere Wohnbebauung vorgesehen ist. Im östlichen Teil ist die Fläche im Bereich einer Schreinerei/Zimmerei durch Gebäude und Hofflächen ebenfalls versiegelt.

5. Vorgehen

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Messungen wurde ein vom Auftraggeber zur Verfügung gestellter Vorabzug der Planung 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.

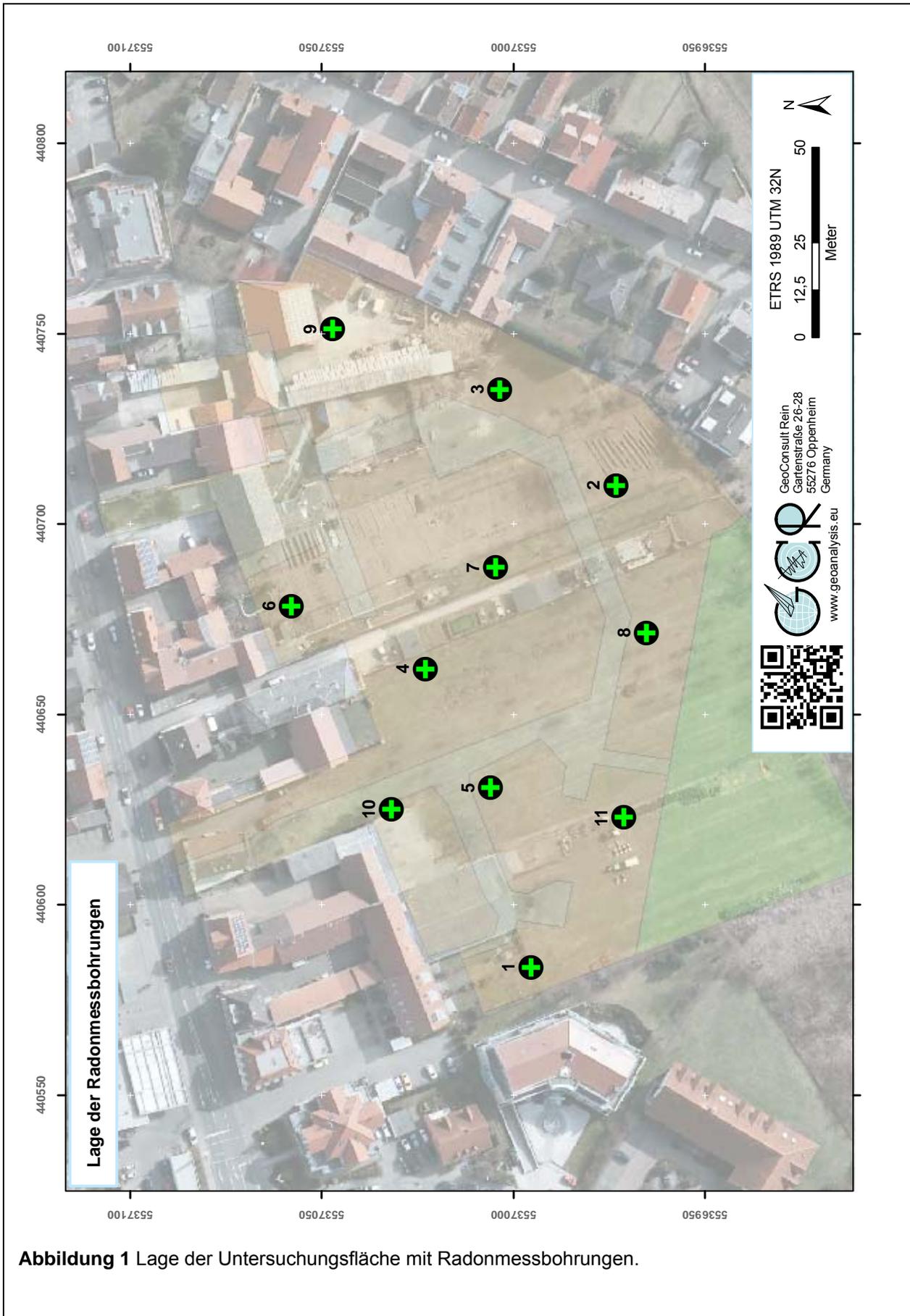


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche mit Radonmessbohrungen.

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

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Untersuchungsfläche am 15. April 2016 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um 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 Lage der Radonmessbohrungen wurde nach den Gammastrahlungsmessungen mit der Stadt Mainz abgestimmt.

Die Radonmessbohrungen wurden am 29.04.2016 mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe 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. 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. Über das Sondenvolumen hinausgehende Massendefizite, aufgrund z.B. der Probennahme, wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe, sowie des Oberbodens erfolgten am 13. Mai 2016. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 Tage.

6. Ergebnisse der Feldarbeiten

6.1. Gammastrahlungsaktivität

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

Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen beitragender Nuklide, die in keiner Verbindung zu Radon stehen, und wegen der geringen Tiefenreichweite, die zudem durch temporär wechselnde Faktoren (z.B. Bodenfeuchte) beeinflusst ist, kein direkter Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund. Die Messgröße Impulse pro Sekunde ist geräteabhängig (Detektorgröße). 100 IPS entsprechen bei dem verwendeten Instrument einer Ortsdosisleistung von 130 $\mu\text{Sv/h}$.

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem sehr niedrigen bis niedrigen Wertebereich von 53 – 82 Impulsen pro Sekunde (IPS) (Abb. 2).

Vordergründig ergibt sich eine Zweiteilung aufgrund der Gammastrahlungsaktivitäten in einen nördlichen und einen südlichen Bereich. Diese Gliederung entspricht in etwa den Aussagen der geologischen Karte mit oberflächennah anstehendem Kalktertiär im nördlichen Bereich und Überdeckung durch äolische Sedimente nach Süden. Eine weitere Ursache für die höheren Gammastrahlungsaktivitäten sind aber sicher auch vor allem im Umfeld der Bebauung und Versiegelung aufgebrauchte Fremdmaterialien. (z.B. Basaltschotter).

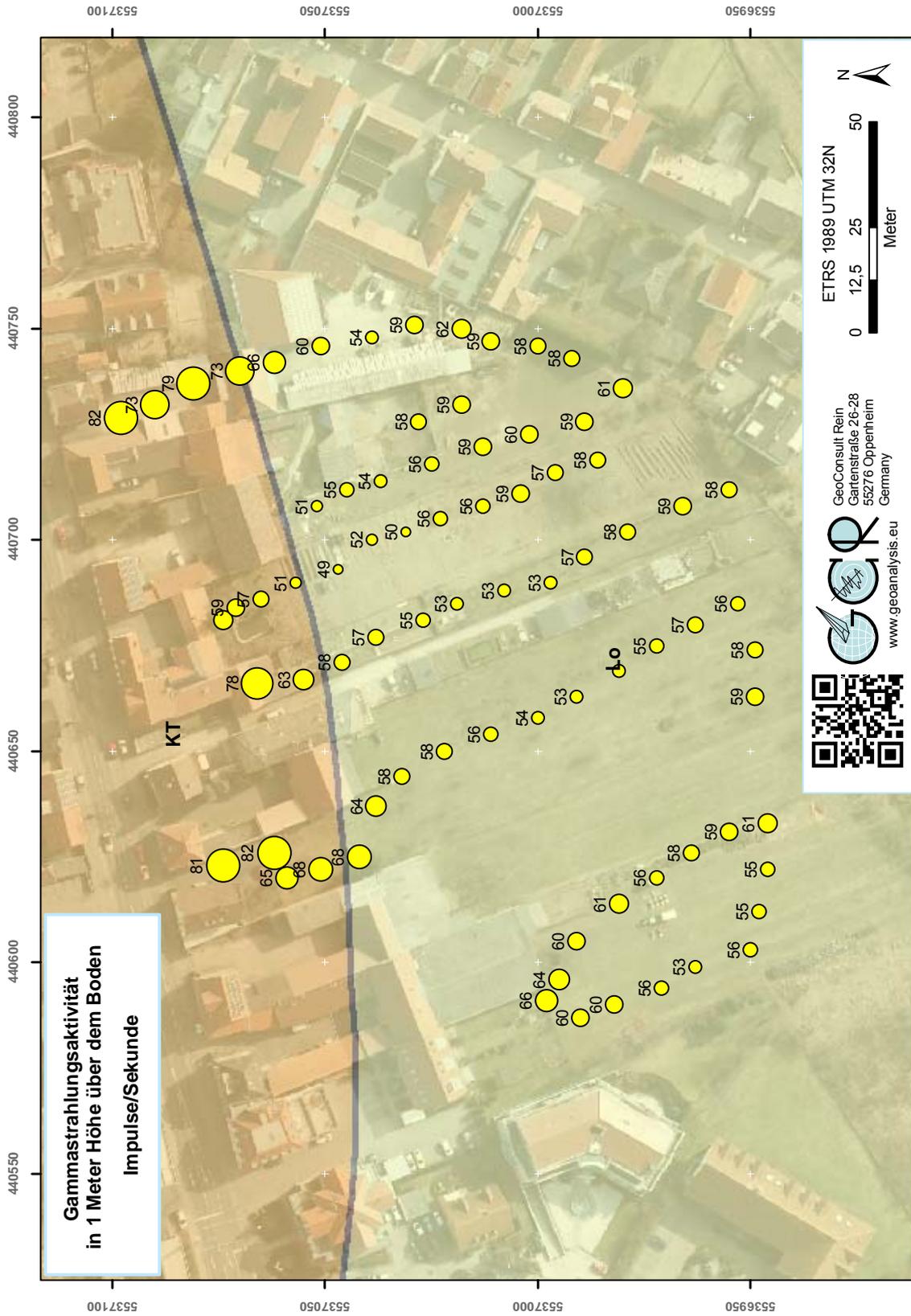


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Gemäß der geologischen Karte GK25 6015 (Blatt Mainz) von Rheinland-Pfalz /2/ liegt die Untersuchungsfläche im Bereich des Kalktertiärs und nach Süden überlagernder pleistozäner Löss/ Schwemmlöss/Flugsande.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
			Tiefenbereich	Stratigraphie / Beschreibungen
FIN-1	440584	5536996	0-45 45-55 55-90	Auffüllung: Sand, U, Steine Schluff, hell, kalkreich mit Steinen Beim Bohren zerriebene Kalksandsteine in U
FIN-2	440710	5536973	0-40 40-110	Sand, graubraun Sand, mittelbraun-roststichig
FIN-3	440735	5537004	0-25 25-110	Sand, schwach schluffig, dunkelbraun Sand, mittelbraun-roststichig
FIN-4	440662	5537023	0-35 35-75 75-85 85-110	Sand, schwach lehmig, braungrau Mergel, hellgrau – rostbraun Mergel, hellgrau – fahlbraun – weiß Mergel, hellgrau – fahlbraun – weiß mit Steinen
FIN-5	440631	5537006	0-40 40-85 85-110	Sand, schwach schluffig bis schluffig, braun mit Kalksteinbröckchen Schluff, sandig mit div. Kalksteinen, fahlbr.-weißlich Schluff, sandig mit div. Kalksteinen, gelb-rostbraun
FIN-6	440679	5537058	0-35 35-50 50-70 70-110	S, z.T. schluffig, dunkelbraun Sand, rostbraun-braun Kalksteinzerreißel/verw. Kalk in Mergel Schluff, stark karbonatisch, gelblich-weiß
FIN-7	440689	5537005	0-30 30-40 40-90 90-100	S, braun mit Holzkohlen S mit Kalksteinen Schluff, gelblich weiß, stark karbonatisch, steinig Schluff, gelblich weiß, stark karbonatisch
FIN-8	440671	5536965	0-35 35-60 60-75 75-110	Sand, humos, braun Schluff mit großen Steinen, stark karbonatisch Steine mit Schluff, stark karbonatisch Sand, schluffig bis Schluff, sandig, stark karbonatisch
FIN-9	440751	5537047	0-20 20-40 40-55 55-75 75-110	Betonplatte Auffüllung: Steine/Kies/Ziegel in Sand Auffüllung: Kalksteinstückchen (gelb) in schwarzem Sand Auffüllung: Kalksteine (weiß), grob bis Kerndurchmesser Sand, braun mit Ziegelresten (ehemaliger Oberboden?)
FIN-10	440625	5537032	0-40 40-85 85-110	Sand, humos, dunkelgraubraun Sand, rostbraun-schwärzlich Mergel, fahlbraun-grau
FIN-11	440623	5536971	0-40 40-50 50-110	Sand, schwach schluffig, braun Übergang Schluff, fahlbr.-weiß-hellgrau, vereinzelt Steine

Die bis in 100/110 cm Tiefe reichenden Radonbohrungen haben für die pleistozänen Deckschichten eher (Flug)Sande angetroffen, während die Schluffe wahrscheinlich älter und tertiären Alters sind. Des Weiteren wurden Mergelhorizonte vorgefunden und auch unterschiedliche Kalksteine. Ob diese Verwitterungsschutt darstellen oder doch eher aus der Bebauung stammen ist nicht klar. Der Bodenaufbau der Radonmessbohrungen ist in Tabelle 1 beschrieben.

7. Laborergebnisse

7.1 Bodenfeuchte

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

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

Die Bodenproben waren zu beiden Probennahmezeitpunkten von der Oberfläche bis in einen Meter Tiefe durchgängig mäßig feucht bis feucht (Tab. 2). Die niedrigsten Bodenfeuchten korrelieren dabei mit höheren Steinanteilen in der Probe. Am feuchtesten sind die mergeligen Horizonte.

Aufgrund der Bodenfeuchte während der Radonmessungen sind unterdurchschnittliche Emanationsraten, wie auch überdurchschnittliche

Exhalationsraten während der Messungen aufgrund zu geringer Bodenfeuchte nicht gegeben.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-110 / 100-110 cm		10-15 cm	
				29.04.16	13.05.16	29.04.16	13.05.16
FIN-1	440584	5536996	90/90	8,4	12,9	13,9	13,0
FIN-2	440710	5536973	100/110	10,0	12,2	14,2	15,4
FIN-3	440735	5537004	100/110	10,2	9,1	13,0	10,5
FIN-4	440662	5537023	100/110	18,3	18,8	15,0	17,5
FIN-5	440631	5537006	100/110	15,6	16,3	7,8	14,1
FIN-6	440679	5537058	100/110	7,3	15,6	16,0	16,4
FIN-7	440689	5537005	100/110	12,9	14,5	14,3	11,5
FIN-8	440671	5536965	100/110	12,8	12,6	12,5	10,8
FIN-9	440751	5537047	100/110	11,8	18,8	7,6*	12,3
FIN-10	440625	5537032	100/110	20,4	17,2	17,5	16,1
FIN-11	440623	5536971	100/110	15,4	13,9	13,5	14,1

* unter Betonplatte

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 Wühlgänge oder Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen. Des Weiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den auf der Fläche angetroffenen Sanden, Schluffen und Mergeln liegen die Gasdurchlässigkeiten bei Werten von $k = 10^{-11} \text{ m}^2$ bis 10^{-14} m^2 (Tab. 3). Die Böden

sind gut (Sande) bis mäßig (Schluffe, sandige Schluffe, schluffige Sande) und in den Mergeln schlecht gasdurchlässig. Wegen des heterogenen Aufbaus der Bodenprofile schwankt die Gasdurchlässigkeit deshalb lateral und vertikal kleinräumig.

Auch unter der Betondecke (FIN-9) ist durch Risse und Fugen eine ausreichende Exhalationsmöglichkeit gegeben.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Drais-Finten (207 m ü NN) liegt 1100 m südöstlich von der Untersuchungsfläche (186-195 m NN). Die Wetterstation liegt westlich des Siedlungsrandes und Sportplatzes in Obstplantagen in offenem und ebenem Gelände. 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 und 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.

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

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

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An beiden Wetterstationen sind die Witterungsverläufe vergleichbar. Die Windgeschwindigkeiten sind an der Station Drais-Finthen geringfügig höher als in Oppenheim. Die Windgeschwindigkeiten auf der Untersuchungsfläche sollte aufgrund geschützter Lage nach Osten, Norden und Westen etwas geringer sein als an der Station Drais-Finthen. Auffällig und Abweichend von den Beobachtungen an der Station Drais-Finthen sind die vergleichsweise starken Temperaturgänge in Oppen-

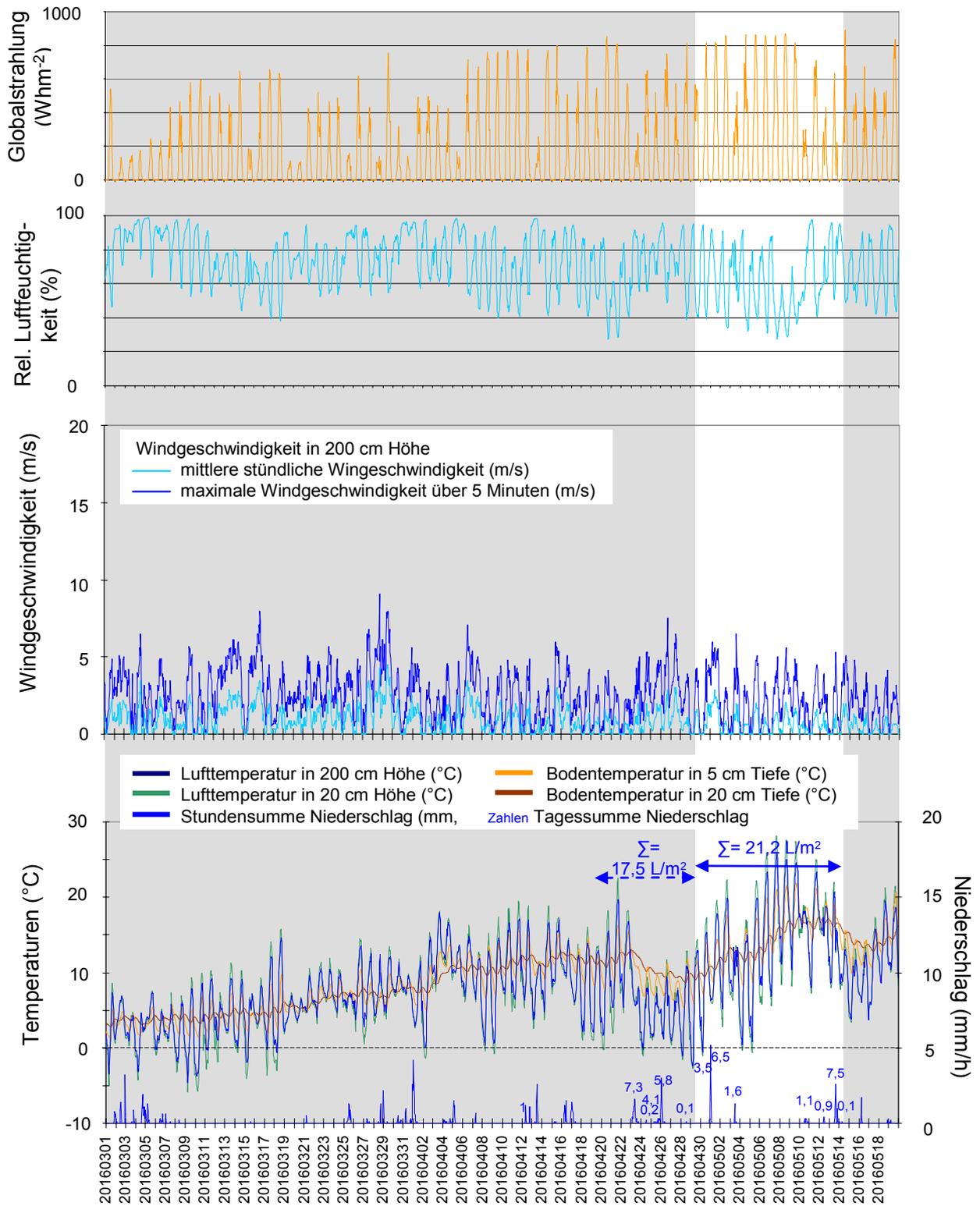


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Drais-Finthen (Quelle: DLR RLP)

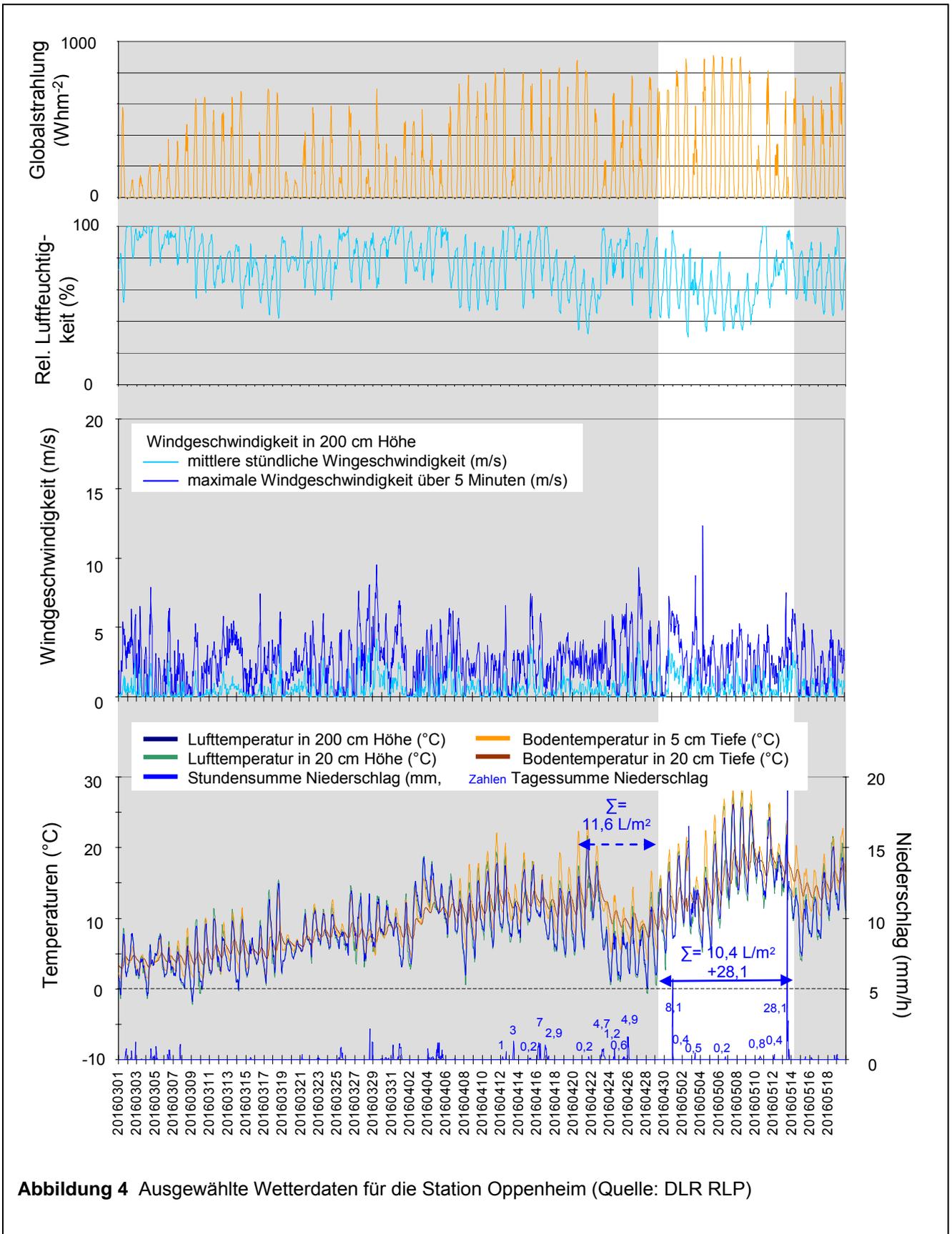


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP)

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

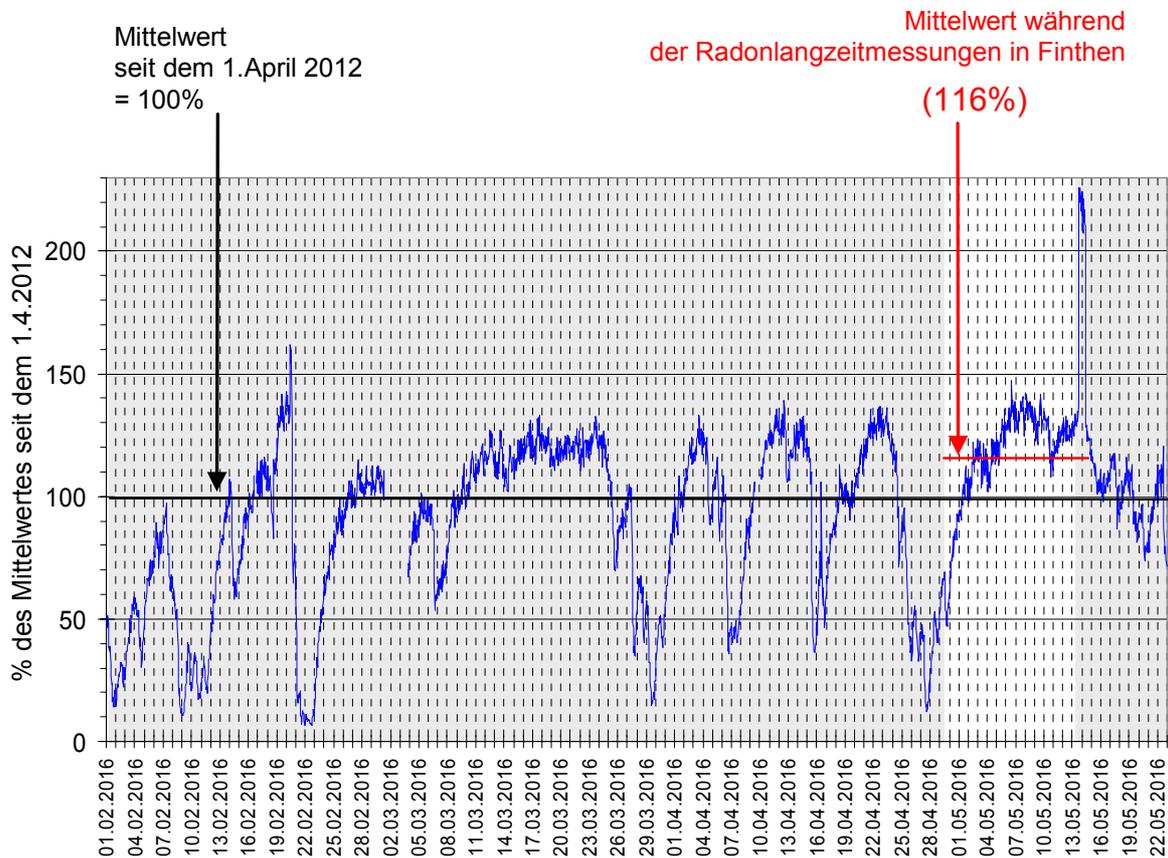


Abbildung 5 Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Radonreferenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Finthen (weiß hinterlegt). 100% entspricht dem Durchschnittswert seit dem 1. April 2012.

heim. Diese sind durch den saisonal bedingt kahlen und südostexponierten Weinberg verursacht. Ähnliche Temperaturgänge der Bodentemperatur sind an der eben und schattig gelegenen Radonreferenz von GCR sicher nicht gegeben.

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 kann aufgrund der ähnlichen Witterung und im Mittel ähnlichen Gaspermeabilitäten ein

ähnlicher zeitlicher Verlauf der Radonkonzentrationsänderung angenommen werden. Die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation betrug 116% des 4-jährigen Mittelwertes. Die mittlere langfristige Radonkonzentration für die Untersuchungsfläche wird durch die Langzeitmessungen April 2016 somit überschätzt, so dass eine Witterungskorrektur vorzunehmen ist (vgl. Folgekapitel). Ein Starkregenereignis in Oppenheim (Abb. 4) am 14. Mai 2016 erfolgte erst nach Ende der Dosimeterauslage ohne ähnliche Entsprechung in Drais-Finthen (Abb. 3). In Oppenheim hat die Versickerung der Regenfälle zu einem 1-tägigen massiven Anstieg der Radonkonzentration auf über 200% des langjährigen Mittels geführt.

Kurzzeitmessungen innerhalb der Periode der Langzeitmessung in Hechtsheim hätten je nach Messtag Werte zwischen 50-145% der Langzeitkonzentration ergeben. Eine Witterungskorrektur von Kurzzeitmessungen ist nicht möglich.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 14 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis mäßig hohen Aktivitätskonzentrationsbereich von $13,7 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $29,4 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2σ) (Tab. 3).

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 5), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn} \text{ wk}$) mit Werten zwischen $11,9 \pm 20\%$ bis $25,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2σ).

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 $k < 10^{-12} \text{ m}^2$ wird hier die Radonaktivitätszahl von Slunga

genutzt, bei höheren Gaspermeabilitäten der Radonverfügbarkeitindex RVI von Surbeck.

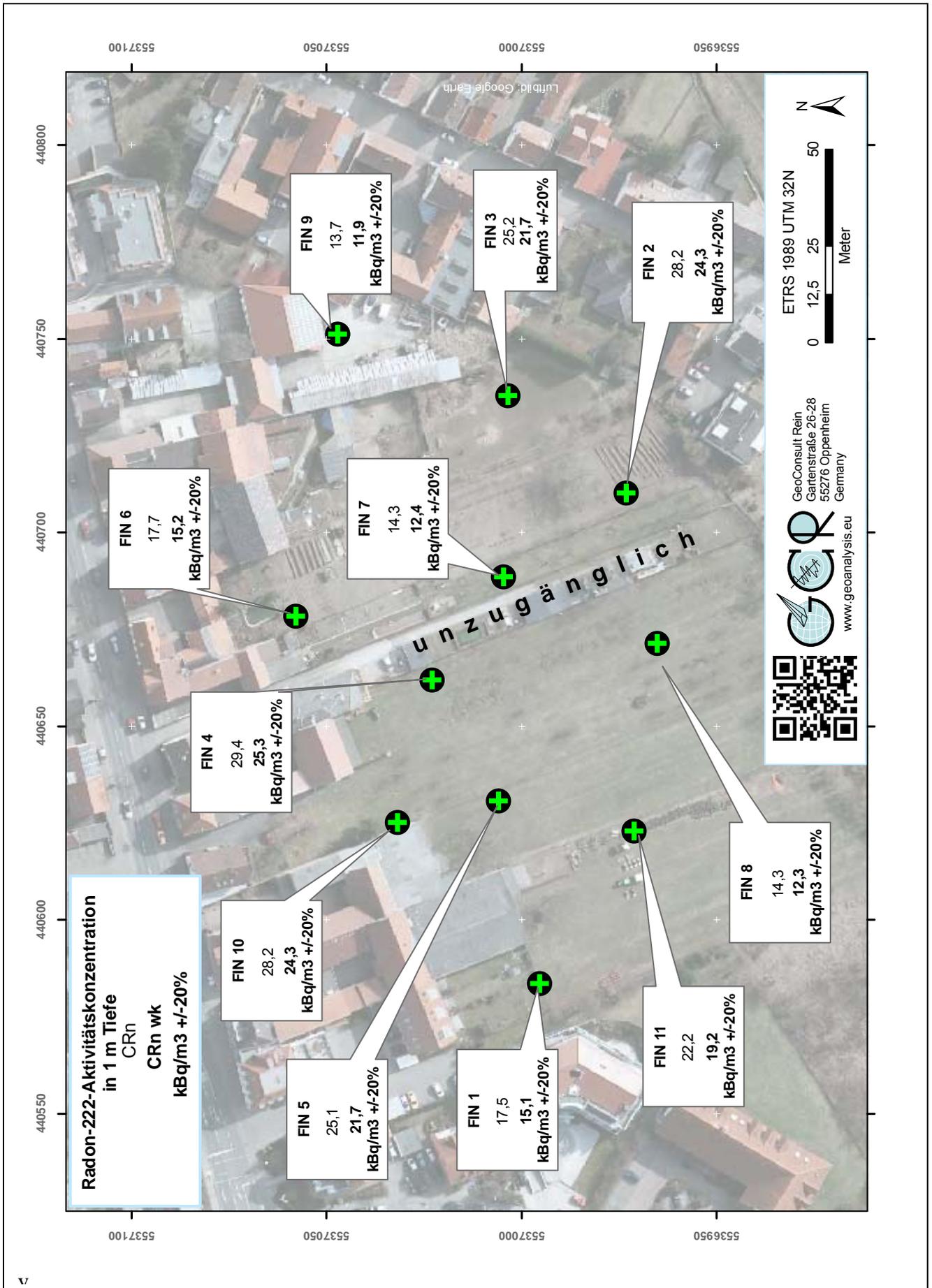
Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit ist die Bodenart-bezogene Gaspermeabilität in einem Meter Tiefe zugrunde gelegt.

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Messperiode	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)		Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
		C _{Rn} Klassifizierungs-Zielwert 400Bq/m ³	C _{Rn} wk Klassifizierungs-Zielwert 400Bq/m ³		RVI (Surbeck) C _{Rn} wk (+20%) Klassifizierungs-Zielwert 250Bq/m ³	Rna (Slunga) C _{Rn} wk (+20%) Klassifizierungs-Zielwert 250Bq/m ³
FIN-1	09.04.16-13.05.16	17,5	15,1	2*10 ⁻¹³		1,35 (1,28)
FIN-2	09.04.16-13.05.16	28,2	24,3	10 ⁻¹¹	2,43E-07 (2,92E-07)	
FIN-3	09.04.16-13.05.16	25,2	21,7	10 ⁻¹¹	2,17E-07 (2,61E-07)	
FIN-4	09.04.16-13.05.16	29,4	25,3	2*10 ⁻¹³		1,57 (1,51)
FIN-5	09.04.16-13.05.16	25,1	21,7	10 ⁻¹³		1,48 (1,41)
FIN-6	09.04.16-13.05.16	17,7	15,2	2*10 ⁻¹³		1,35 (1,29)
FIN-7	09.04.16-13.05.16	14,3	12,4	2*10 ⁻¹³		1,26 (1,19)
FIN-8	09.04.16-13.05.16	14,3	12,3	10 ⁻¹³		1,23 (1,17)
FIN-9	09.04.16-13.05.16	13,7	11,9	10 ⁻¹¹	1,19E-07 (1,42E-07)	
FIN-10	09.04.16-13.05.16	28,2	24,3	10 ⁻¹⁴		1,45 (1,39)
FIN-11	09.04.16-13.05.16	22,2	19,2	2*10 ⁻¹³		1,45 (1,38)

*wk witterungskorrigiert (approximiert);

RVK 0	Keine Radonenschutzmassnahmen erforderlich
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar



Aufgrund der Radonkonzentration ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von $<400 \text{ Bq/m}^3$ in Innenräumen eine Einordnung der gemessenen und witterungskorrigierten Radonmessungen in die Radonvorsorgegebietsklasse RVK 0 bis RVK I (Tab. 3).

Durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit ergibt sich einheitlich eine Einordnung aller Radonmessungen in Radonvorsorgegebietsklasse RVK I bei einem Zielwert von 250 Bq/m^3 (der in Innenräumen nicht überschritten werden sollte). Dieser Zielwert von 250 Bq/m^3 liegt knapp unter den Mindestanforderungen der EU-Richtlinie ($<300 \text{ Bq/m}^3$), aber über dem Zielwert von $<100 \text{ Bq/m}^3$, der in Deutschland noch alternativ zu dem Zielwert von $<300 \text{ Bq/m}^3$ diskutiert wird.

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen 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 ($\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$)
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) 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. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m³ in Innenräumen) als von der EU seit 2013 mindestens vorgegeben als Bemessungsgrundlage verwandte.

Die Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht dagegen auf einem Zielwert von 250 Bq/m³ in der Raumluft.

Oben genannte Radonvorsorgegebietsklassen beziehen sich auf eine konventionelle Bauweise. Eine entsprechende Klassifizierung für Niederenergie-/Passivhäuser oder vergleichbar energieeffiziente Gebäude, in denen die Radonkonzentration 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 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.

Für den Bebauungsplan werden auf Grundlage der in einem Meter Tiefe durchgeführten 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: ≥ 20 cm). Sollte eine durchgehende Bodenplatte aufgrund der Bauart, der Notwendigkeit von Dehnfugen etc. nicht möglich sein, ist auf deren gasdichte Ausführung zu achten.
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.

3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien (z.B. Polymerbitumen), bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.

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

4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

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

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.



Priv.-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein
Gartenstraße 26-28
55276 Oppenheim
06133-9242-41
www.geoanalysis.eu

Privat-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Oppenheim, 07.06.2016

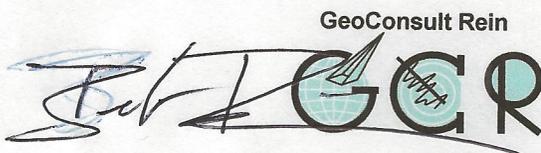
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien (z.B. Polymerbitumen), bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.

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

4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel, Kaminöfen u.ä. von außen zur Reduktion des Gebäudeunterdruckes.

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

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird 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, 07.06.2016