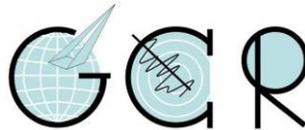


Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

NBG „Am Schwabenheimer Weg“, Pleitersheim
Projektnummer 20190910_Rn222_PLH

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

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

Auftraggeber:
Ortsgemeinde Pleitersheim

26. September 2019

GLIEDERUNG	2
1. Auftrag	4
2. Verwendete ortsbezogene Materialien	4
3 Grundlagen zum Thema Radon	4
3.1. Was ist und woher kommt Radon?	4
3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden	5
3.3. Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	7
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	9
6.1. Gammastrahlungsaktivität	9
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	11
7. Laborergebnisse	13
7.1 Bodenfeuchte	13
7.2 Gaspermeabilität	14
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	13
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 Sprendlingen	16
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	17
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum in Pleitersheim.	18
Abbildung 6	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen	20

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 Pleitersheim beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für das geplante Neubaugebiet „Am Schwabenheimer Weg“ in Pleitersheim.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Abbildung „Städtebauliches Konzept – Wohngebiet „Am Schwabenheimer Weg“, 26. April 2019 / 9. Juli 2019, Jestaedt+Partner.
- /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/ Geologische Karte GK25 6113 (LGB RLP, 1926)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Sprendlingen und Oppenheim

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

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

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, erhöht sich das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs um jeweils 10% mit einem jeweiligen Anstieg der Radonraumluft um 100 Bq/m^3 . Bei einer Rn222-Raumluftkonzentration von 800 Bq/m^3 hat sich das Lungenkrebsrisiko bereits verdoppelt. Das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

Radon-222 ist ein radioaktives Edelgas, das aus dem natürlich vorkommenden, radioaktiven Schwermetall Uran über das Zwischenprodukt Radium entsteht. Uran und Radium sind, wenn auch nur in geringer Konzentration, überall in der Erdkruste vorhanden, weshalb auch Radon als dessen Folgeprodukt dort überall entsteht.

Anders als das gasförmige Radon, das mit der Bodenluft über Klüfte im Gestein in und durch den Porenraum der Gesteine und Böden in Gebäude wandern kann, sind die radioaktiven Zerfallsprodukte von Radon allesamt Feststoffe, wie Polonium, Blei und Wismut. Diese lagern sich in der Raumluft an feinste Teilchen (Aerosole) an und können lange Zeit in der Luft schweben und sich in der Lunge festsetzen.

Radioaktive Stoffe wie Radon senden ionisierende Strahlen aus, die die Zellen eines lebenden Organismus schädigen können. Beim Atmen werden die Luft-Getragenen Aerosole mit den anhaftenden Radon-Folgeprodukten hauptsächlich in den Bronchien der Lunge abgelagert. Die radioaktiven Radon-Folgeprodukte zerfallen dort in der direkten Nähe der Zellen und schädigen dadurch das empfindliche Lungengewebe. Radon und seine Folgeprodukte verursachen in bereits niedrigen Konzentrationen mindestens 40 % der Strahlenbelastung beruflich nicht besonders strahlenexponierter Personen.

3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden

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

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

Außerhalb von Gebäuden wird das aus dem Boden austretende Radon sofort durch die Atmosphärenluft auf sehr niedrige Konzentrationen verdünnt. Innerhalb von

Gebäuden können aber aufgrund des Bauuntergrundes und der Bauweise erhebliche Radonkonzentrationen auftreten. Die Radonkonzentration in Gebäuden hängt von den folgenden Faktoren ab:

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

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

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

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

3.3 Radonraumluftkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte

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

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Richtlinie, die als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/m³ vorsieht. Den EU-Mitgliedstaaten

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 nördlich der Ortsbebauung von Pleitersheim. Die Fläche ist zur Zeit als Ackerfläche genutzt, war zum Zeitpunkt der Radonmessungen abgeerntet und flach gemulcht. Die Untersuchungsfläche fällt von WSW nach ENE auf 280 Meter Länge von rund 140 m NN im Westen auf 137,75 m NN im Osten ein. Die topographischen Höhen beträgt rund 105 m NN. Die Flächenaufteilung und der Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht der Situation im Luftbild in Abbildung 1.

5. Vorgehen

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

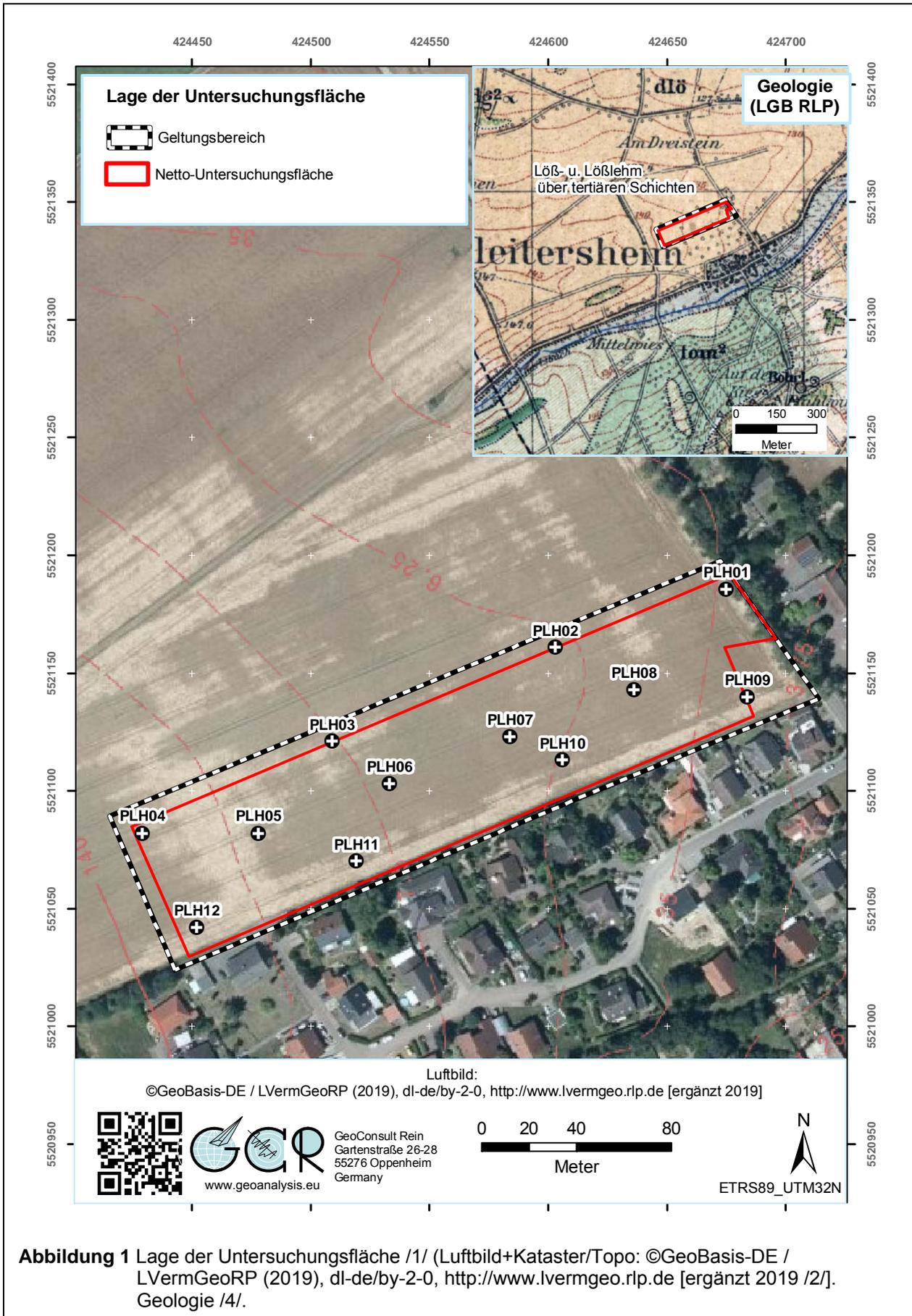


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche /1/ (Luftbild+Kataster/Topo: ©GeoBasis-DE / LVermGeoRP (2019), dl-de/by-2-0, <http://www.lvermgeo.rlp.de> [ergänzt 2019 /2/]. Geologie /4/.

Die Untersuchungsfläche wurde am 10. September 2019 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.

12 Radonmessbohrungen wurden am 10. September 2019 abgeteuft. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1,05 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 19. September 2019. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 9 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 obe-



Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivitäten in 1 Meter Höhe über dem Boden.

ren 40 cm des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch-strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können. Auch in größerer Tiefe lagernde starke Radonemanenten werden über gewachsenen Böden über die Strahlung der Radon-Tochternuklide durch diese Kartierung meist abgebildet.

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

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

Die Impulsraten auf der Untersuchungsfläche liegen in einem engen Wertebereich zwischen 113-127 Impulsen pro Sekunde (IPS). Zwei Drittel der Messwerte liegen sogar in einem sehr engen Wertebereich zwischen 117-123 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 geologischen Untergrund bilden im Bereich der Untersuchungsfläche gemäß der geologischen Karte /4/ pleistozäne Löss und Lößlehme. Im Bereich der Untersuchungsfläche sind die als schluffdominiertes äolisches Sediment definierten Löss aber oberflächennah als Feinsanddecken (Flugsande) ausgeprägt. Löss im klassischen Sinne sind erst unterhalb 60-85 Zentimeter Tiefe anzutreffen. In den Bohrungen PLH-03, PLH-09 und PLH-11 wurden die Flugsand durch die Radonmessbohrungen nicht durchteuft.

Unter den oben beschriebenen pleistozänen äolischen Sedimenten lagern tertiäre Meeresablagerungen, die einzelne Gesteinsschichten enthalten, die hohe bis sehr hohe Radonbelastungen ergeben können. Die Tiefenlage der tertiären Sedimente unter den erbohrten pleistozänen Sedimenten im Bereich der Untersuchungsfläche ist dem Autor dieses Berichtes nicht bekannt. Sollten tertiäre Sedimente in einer der Baugruben angetroffen werden, sind gesonderte Untersuchungen und eine Neubewertung des Radonrisikos für diese(s) Gebäude nötig.

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

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
PLH-01	424675	5521186	0-20 20-45 45-60 60-80 80-110	fs, mittelbraun fs, rötlich braun fs, u', steingrau U, fs, steingrau U, fs', ocker
PLH-02	424603	5521161	0-35 35-50 50-85 85-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun fs, u'', steingrau, Kalkausblühungen @60-75cm U, fs, steingrau-ocker
PLH-03	424509	5521121	0-30 30-50 50-70 70-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun fs, mittelbraun-grau, Kalkausblühungen fs, u', steingrau
PLH-04	424429	5521082	0-45 45-60 60-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun U, fs, hellgrau-ocker
PLH-05	424478	5521082	0-30 30-60 60-80 80-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun-grau fs, u', steingrau, leicht gelblich U, fs, beige-ocker
PLH-06	424533	5521103	0-40 40-50 50-70 70-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun fs, u', steingrau U, fs, ocker
PLH-07	424584	5521123	0-40 40-55 55-95 95-110	fs, dunkelbraun, Ziegelstückchen @ 25cm fs, u'', mittelbraun fs, u, steingrau-ocker U, fs, ocker
PLH-08	424636	5521143	0-30 30-80 80-110	fs, dunkelbraun fs, u', steingrau, Kalkbröckchen U, fs, ocker
PLH-09	424684	5521140	0-30 30-70 70-90 90-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun fs, u', steingrau fs, u, steingrau
PLH-10	424606	5521113	0-50 50-85 85-105	fs, dunkelbraun fs, u', steingrau U, fs, ocker
PLH-11	424519	5521070	0-35 35-50 50-90 90-110	fs, dunkelbraun, fs, graubraun, Kalkbröckchen fs steingrau fs, u'', ocker
PLH-12	424452	5521042	0-35 35-62 62-80 80-110	fs, dunkelbraun fs, mittelbraun fs, u, hellgrau U, fs, hellgrau-ocker

7. Laborergebnisse

7.1 Bodenfeuchte

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

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

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

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				Basis Bohrung		15-20 cm	
				Anfang/ Ende	Anfang	Ende	Anfang
PLH-01	424675	5521186	105/110	7,2	8,2	8,7	8,8
PLH-02	424603	5521161	105/110	9,6	9,6	14,0	11,9
PLH-03	424509	5521121	105/110	10,6	12,1	13,5	11,8
PLH-04	424429	5521082	105/110	8,3	8,9	13,8	11,5
PLH-05	424478	5521082	105/110	8,0	9,3	13,5	14,1
PLH-06	424533	5521103	105/110	9,0	10,0	14,1	11,2
PLH-07	424584	5521123	105/110	10,2	11,4	14,0	12,4
PLH-08	424636	5521143	105/110	8,6	11,4	12,9	10,4
PLH-09	424684	5521140	105/110	9,4	10,8	14,7	11,9
PLH-10	424606	5521113	105/110	7,9	9,7	14,3	12,0
PLH-11	424519	5521070	105/110	9,8	10,4	14,1	12,9
PLH-12	424452	5521042	105/110	7,6	7,6	13,6	13,1

Die Böden waren während der Radonmessungen trocken bis erdfeucht. Die Beprobung unterhalb der Messsonden (105-110 cm Teufe) ergab höhere Wassergehalte als 9 Tage zuvor in den darüberliegende 5 cm (100-105 cm Teufe). Da zwischenzeitlich keine Niederschläge gefallen waren, ist davon auszugehen, dass diese Bedingungen schon zu Beginn der Radonmessungen herrschten. Eine signifikante laterale Zufuhr von Feuchte ist aufgrund der topografischen Lage unwahrscheinlich. Die Niederschlagslosigkeit hat auch dazu geführt, dass die oberflächennah genommenen Bodenproben am Ende der Radonmessungen alle trockener waren als zu Beginn der Radonmessungen.

Aufgrund der erdfeuchten Böden in der Messtiefe kann eine unterdurchschnittliche Emanationsrate ausgeschlossen werden.

7.2 Gaspermeabilität

Die Gaspermeabilität ist eine wichtige Größe zur Abschätzung der Radonverfügbarkeit im Untergrund. Die Radonkonzentration ist ein Maß für die im Untergrund pro Raumeinheit anstehende Radonmenge. Die Gaspermeabilität gibt dagegen Auskunft darüber wie groß das potentielle Einzugsgebiet ist, aus dem Radon in Richtung des Gebäudes strömen und dieses erreichen kann. Niedrige Radonkonzentrationen, aber hohe Gasdurchlässigkeit (Kiese/Steine/Sande) im Untergrund können zu höheren Radonkonzentrationen im Gebäude führen als in solchen Gebäuden, die auf gasdichtem Untergrund (sehr feinkörnige Böden → tonige Lehme, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume und Wühlgänge oder Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

Des Weiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluss auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

Die Gaspermeabilitäten sind in den sehr gut sortierten äolischen Feinsandböden hoch ($k \sim 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$), in den darunter lagernden Schluffen mäßig ($k \sim 2 \cdot 10^{-11} \text{ m}^2$). Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit wurde konservativ der ungünstigere Wert zugrunde gelegt.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Sprendlingen (128 m ü NN) liegt in einer Ackerfläche unmittelbar westlich Sprendlingen und unmittelbar südlich des Gewerbegebietes auf einem flach nach Osten exponierten Hang. Die Entfernung zu der Untersuchungsfläche beträgt 2,7 km.

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 (nur Oppenheim), sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls dargestellt.

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

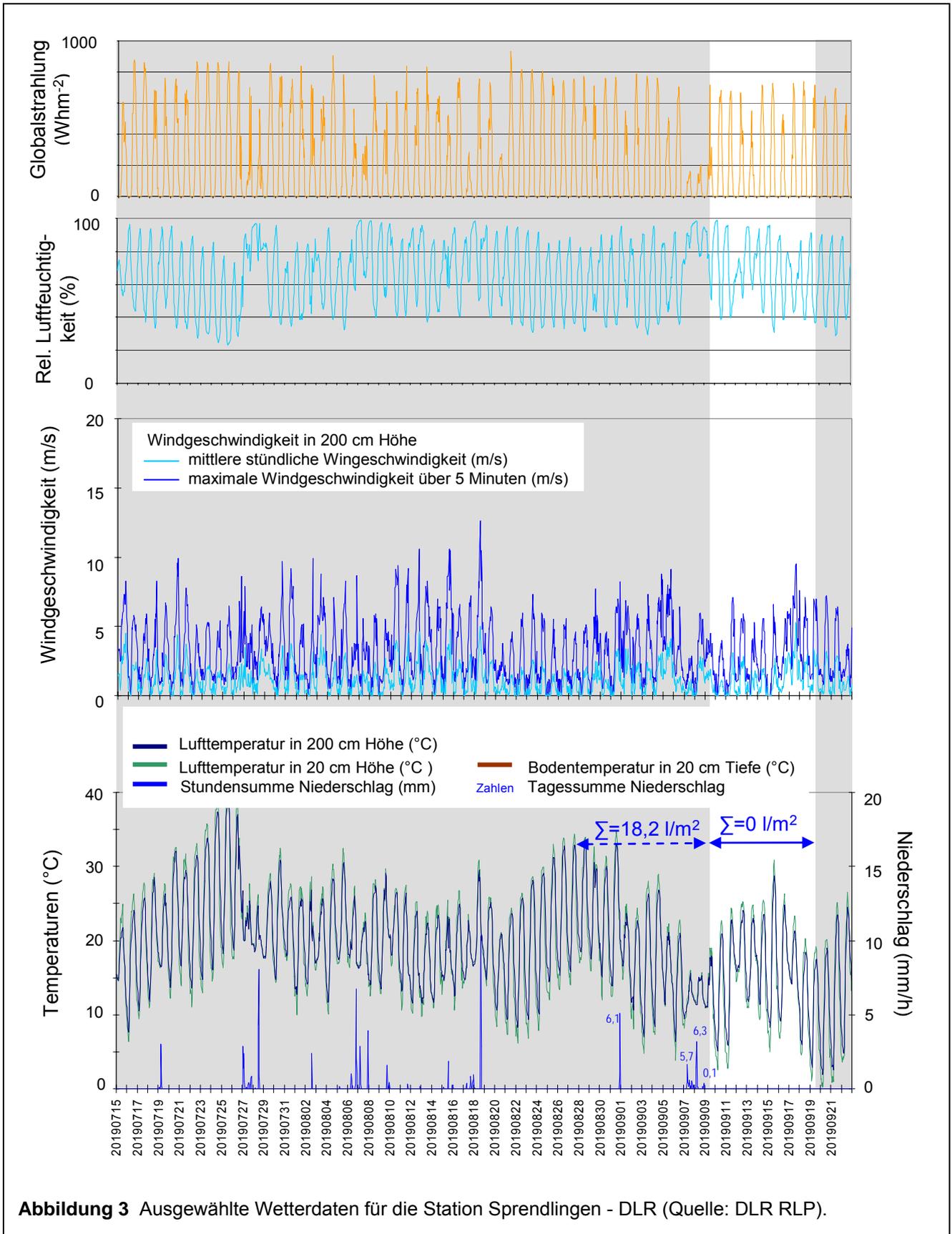
In dem darüber folgenden Diagramm sind die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt. Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung.

Die Zeiträume vor und nach der Radonmessung sind grau hinterlegt.

An den beiden Wetterstationen sind die zeitlichen Witterungsverläufe sehr ähnlich. Unterschiede bestehen in den täglichen Temperaturamplituden, die in Sprendlingen auf der abgeernteten Ackerfläche stärker ausgeprägt sind.

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 Pleitersheim kann aufgrund der nahezu identischen Witterung (Sprendlingen (Abb. 4) und Wöllstein (ohne Abbildung)) eine vergleichbare



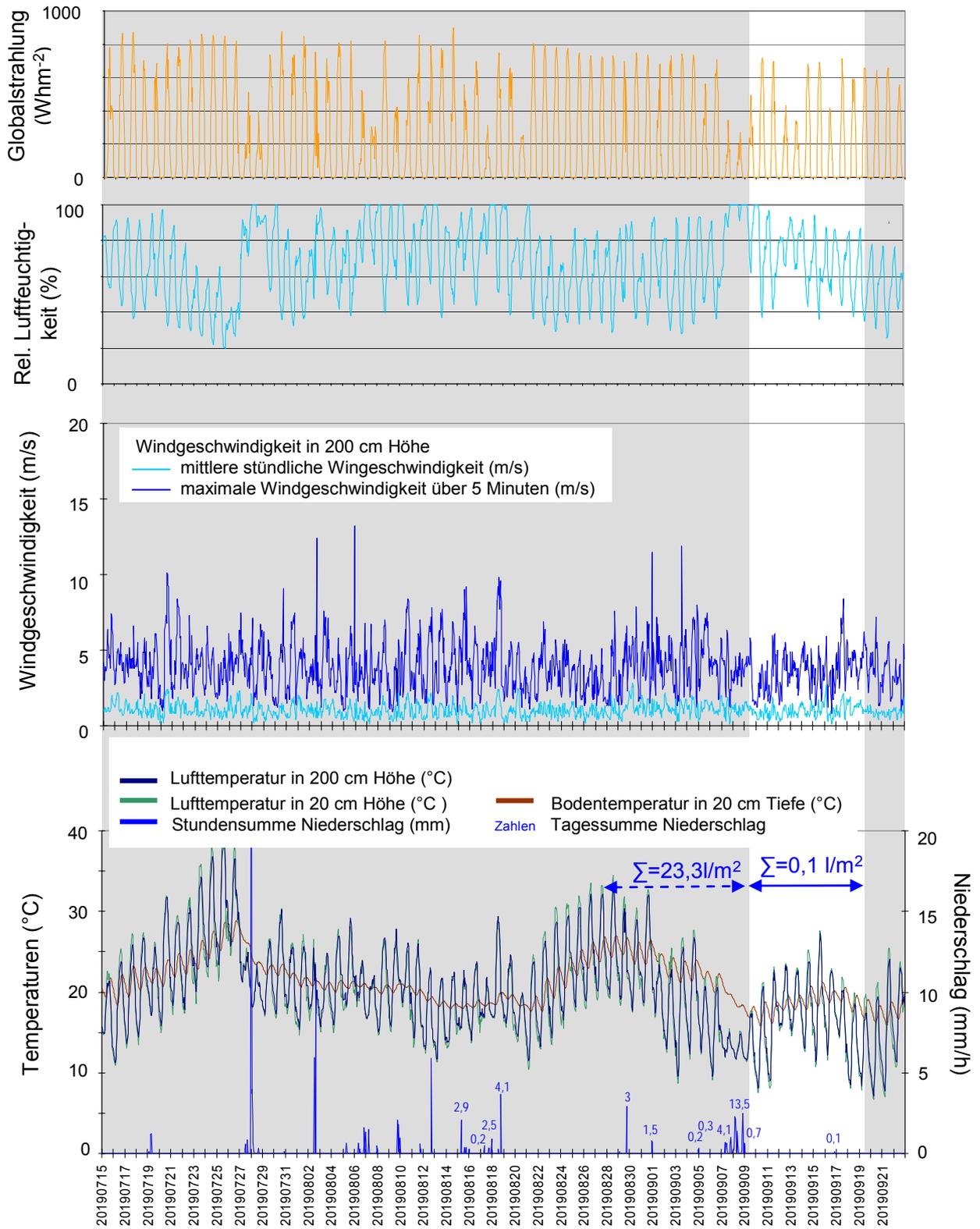
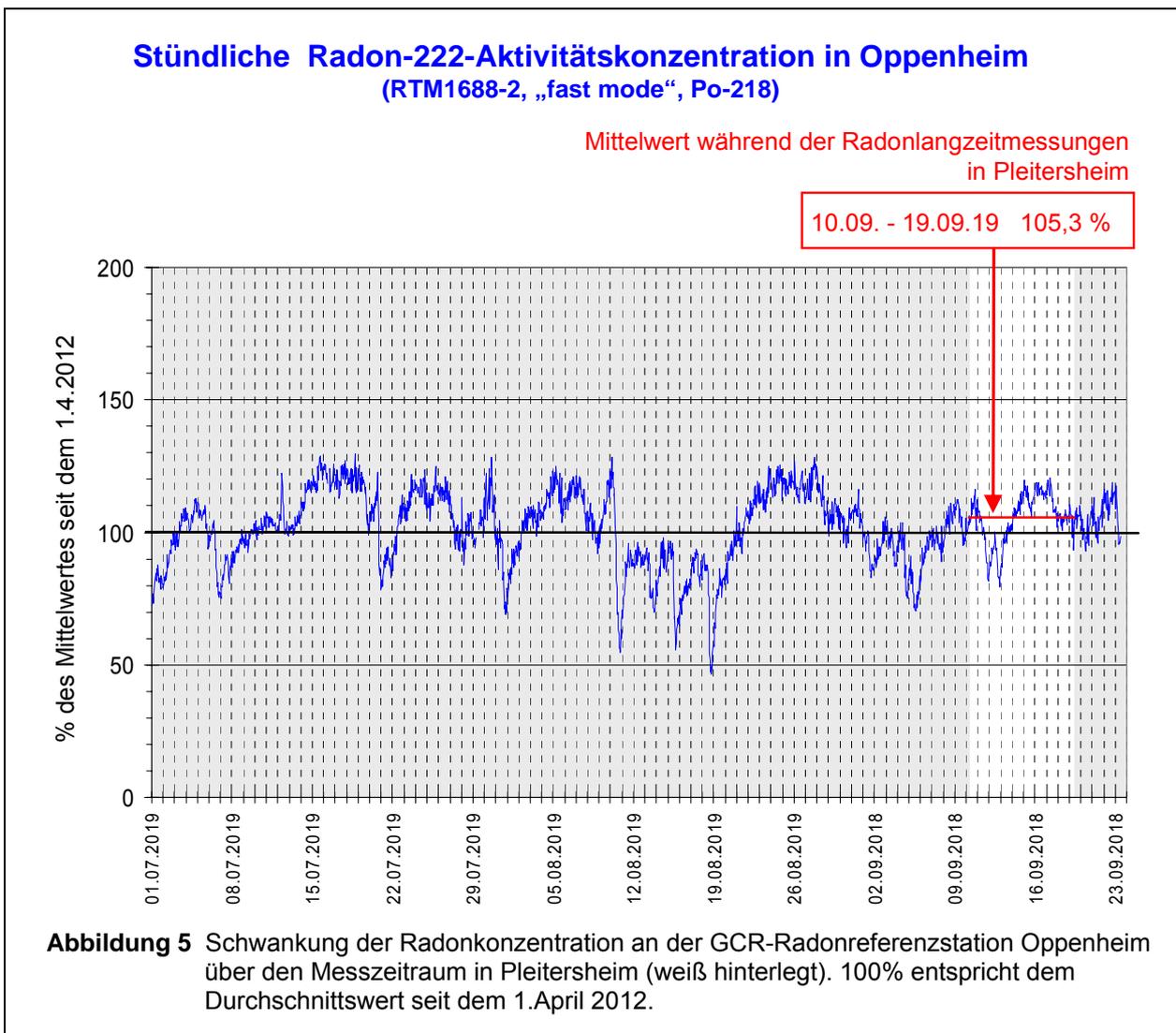


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).



zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen im Boden wie in Oppenheim angenommen werden. Innerhalb des Untersuchungszeitraumes in Pleitersheim sind Schwankungen der Radonkonzentration thermisch verursacht.

Innerhalb der Radonmessperiode in Pleitersheim betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation 105,3% des 7,5-jährigen Mittelwertes (Abb. 5). Die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wird somit durch die Radonlangzeitmessungen sehr gut repräsentiert und nur leicht überschätzt. Die Witterungskorrekturen der in Pleitersheim 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 (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

Die über einen Zeitraum von 9 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem moderaten Aktivitätskonzentrationsbereich von $18,0 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ bis $33,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten, wegen der repräsentativen Messperiode, nur geringfügig niedrigeren Radonaktivitätskonzentrationen ($C_{Rn} \text{ wk}$) mit Werten zwischen $17,1 \pm 10\%$ bis $32,1 \text{ kBq/m}^3 \pm 10\%$ (2sigma).

Die niedrigsten Radonaktivitätskonzentrationen wurden in PLH-01 gemessen, wo leicht rötliche Bodenhorizonte angetroffen wurden, die in keiner anderen Bohrungen vorhanden sind.

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 0 und RVK I** (Spalte 3, Tabelle 3).

Eine ältere Empfehlung des BfS (Bundesamt für Strahlenschutz) für Böden hoher Gaspermeabilität sieht eine generelle Erhöhung der RVK um eine Stufe im Vergleich zu der Zuordnung in Tabelle 4 vor. Daraus ergibt sich die in der Spalte 4 der Tabelle 3 vorgenommene Klassifizierung und Zuordnung der Radonaktivitätskonzentrationen zu den **RVK I (PLH-01) und RVK II (PLH-02-12)**.

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] 0,3 - 1,10 m Tiefe	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
	BfS-Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C _{Rn} +/-10% ohne RVK- Wertung (ohne Witterungs- korrektur)	C _{Rn wk} +/-10%	C _{Rn wk} +/-10% Wertung unter Berücksichti- gung hoher Gaspermea- bilität		RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C_{Rn wk} RVI C_{Rn wk} +10%	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C_{Rn wk} Rna C_{Rn wk} +10%
PLH-01	18,0	17,1	17,1	2E-11 - 2E-13	3,4E-07 3,8 E-07	
PLH-02	25,8	24,5	24,5	2E-11 - 2E-13	4,9E-07 5,4 E-07	
PLH-03	33,8	32,1	32,1	2E-11	6,4 E-07 7,1 E-07	
PLH-04	31,6	30,0	30,0	2E-11 - 2E-13	6,0 E-07 6,6 E-07	
PLH-05	23,7	22,5	22,5	2E-11 - 2E-13	4,5 E-07 5,0 E-07	
PLH-06	24,8	23,6	23,6	2E-11 - 2E-13	4,7 E-07 5,2 E-07	
PLH-07	22,1	21,0	21,0	2E-11 - 2E-13	4,2 E-07 4,6 E-07	
PLH-08	26,9	25,6	25,6	2E-11 - 2E-13	5,1 E-07 5,6 E-07	
PLH-09	27,5	26,4	26,4	2E-11 - 2E-13	5,3 E-07 5,8 E-07	
PLH-10	31,6	26,1	26,1	2E-11 - 2E-13	5,2 E-07 6,6 E-07	
PLH-11	31,9	30,0	30,0	2E-11	6,0 E-07 6,6 E-07	
PLH-12	31,9	30,3	30,3	2E-11 - 2E-13	6,1 E-07 6,7 E-07	
RVK - Wertung						
RVK 0	Keine Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
RVK I	Radonvorsorgegebietsklasse I - grundlegende Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II - umfangreiche Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III - sehr umfangreiche Radonenschutzmassnahmen erforderlich					
	Aufgrund Randbedingungen (Gasperm.) nicht verwendbar					

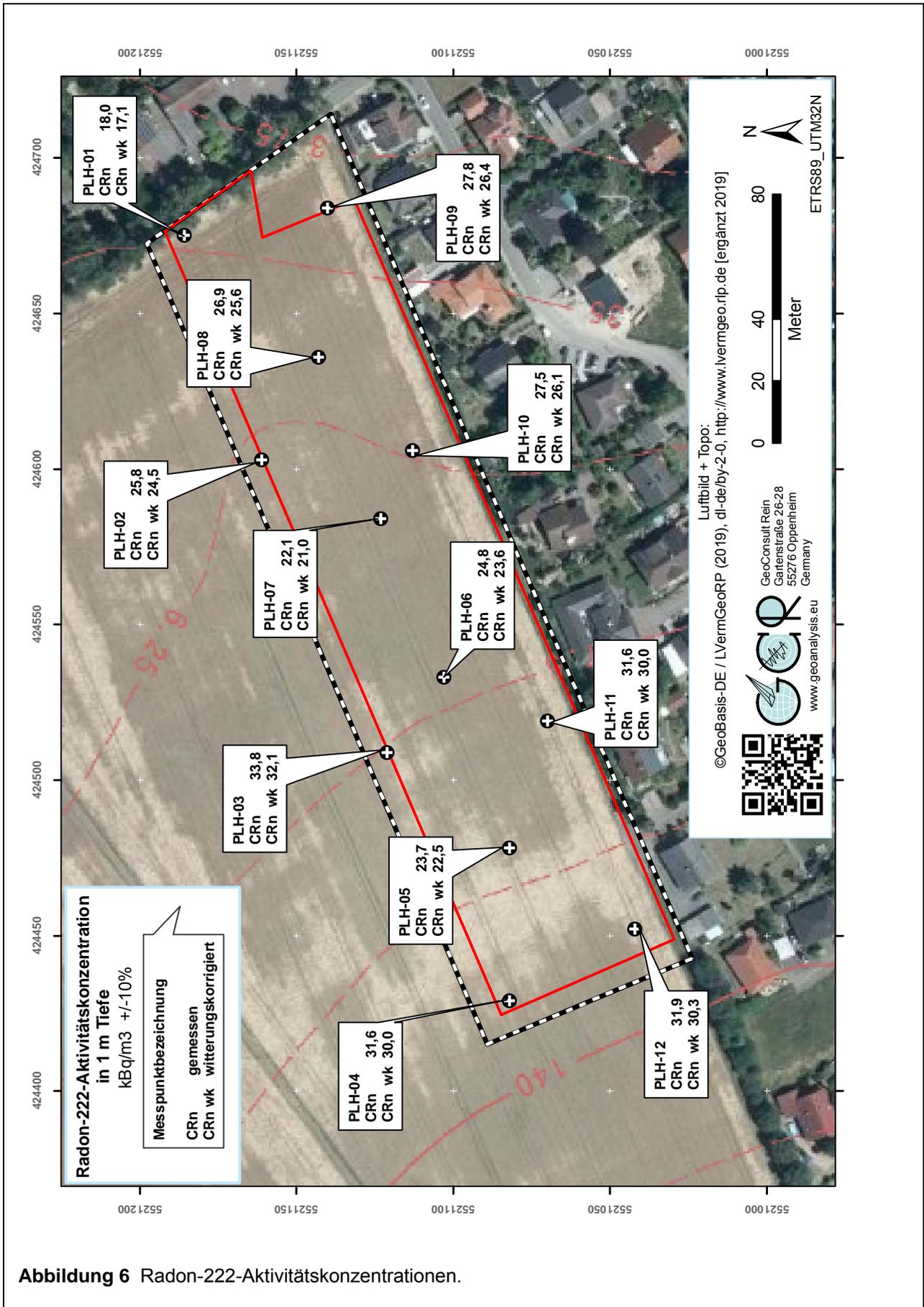


Abbildung 6 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen.

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

Unter Anwendung der witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen und einer konservativen Gaspermeabilität von $2 \cdot 10^{11} \text{ m}^2$, ergibt sich eine Einordnung aller Radonmessbohrungen in die Radonvorsorgegebietsklasse **RVK I** (Tab. 3).

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

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

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 explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird.

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)	$>100 \text{ kBq/m}^3$

Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität gleichermaßen bedeutsam bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Für die Erstellung einer solchen Karte fehlt allerdings noch die Datenbasis. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 4 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m^3 in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und seit Juni 2017 auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m^3) als Bemessungsgrundlage verwandte.

Die Einordnung der Radonmessbohrungen in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch die gleichzeitig gemessenen bodenphysikalischen Faktoren, den Bodenaufbau, 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 auf einem verschärften Zielwert von maximal 250 Bq/m^3 in der Raumluft, um den neuen Anforderungen des Gesetzgebers gerecht zu werden.

Für die Bebauung des Neubaugebietes werden nachfolgende Radonpräventionsmassnahmen (**RVK I**) empfohlen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: $\geq 20 \text{ cm}$). 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.

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 tertiäre Gesteine bis in eine Distanz von 1 m zum Gründungsniveau anstehen, wird dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, weil dann unbedingt eine Neubewertung der Radonsituation für das konkrete Bauvorhaben erfolgen muss.

Solange detaillierte Pläne zum Gründungsaufbau nicht vorliegen, ist obiger Massnahmenkatalog als allgemeine Empfehlung zu betrachten. Welche Radonpräventionsmassnahmen davon am konkreten Bauprojekt umgesetzt werden sollten, bzw. durch welche anderen Massnahmen ein kostengünstigerer und gleichermaßen effektiver Radonschutz erreicht wird, kann nach Vorliegen der Pläne abgestimmt werden, um einen optimierten Wirkungs-/Kosteneffekt bei der Radonprävention zu erreichen.

GeoConsult Rein


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

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

Oppenheim, 26.09.2019