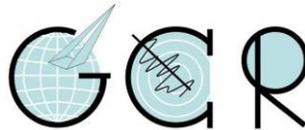


Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

BPL „Am Lazarienpfad“, Mommenheim
Projektnummer 20180717_Rn222_MMH

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Bericht:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber:

Weber-Consulting Beratungs GmbH
Bauschlotter Straße 62
75177 Pforzheim

06. September 2018

GLIEDERUNG	2
1. Auftrag	4
2. Verwendete ortsbezogene Materialien	4
3 Grundlagen zum Thema Radon	4
3.1. Was ist und woher kommt Radon?	4
3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden	5
3.3. Radonraumlufkonzentration – Grenzwerte/Richtwerte	6
4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche	7
5. Vorgehen	9
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	10
6.1. Gammastrahlungsaktivität	10
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	12
7. Laborergebnisse	14
7.1 Bodenfeuchte	14
7.2 Gaspermeabilität	15
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	16
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	21
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche.	8
Abbildung 2	Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Selzen	17
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	18
Abbildung 5	Schwankung der Radonkonzentration an der GCR-Referenzstation Oppenheim über den Messzeitraum an der Mommenheim.	19
Abbildung 6	Radonaktivitätskonzentrationen	24
Abbildung 7	Bodenfeuchte-korrigierte Radonaktivitätskonzentration	25

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	12
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.	15
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	22
Tabelle 2	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (veraltet)	26

1. Auftrag

Die Weber-Consulting Beratungs GmbH beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für die Fläche des BPL „Am Lazarienpfad“ in Mommenheim.

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

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- /1/ Lageplan „Städtebaulicher Entwurf_M1000“, 05.04.2018.
Lageplan „Zuteilungsentwurf_M1000“, 05.04.2018.
- /2/ LANIS RLP
- /3/ Geologische Übersichtskarte RLP 1:300,000 (LGB 2003)
- /4/ Geologische Karte GK25 6115 (LGB RLP 1972)
- /5/ Wetterdaten des DLR RLP der Stationen Selzen und Oppenheim
- /6/ 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. 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

bleibt es überlassen bis spätestens 1.1.2018 gegebenenfalls auch schärfere nationale Zielwerte unterhalb 300 Bq/m^3 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/m^3 festgelegt wurde. Der Gesetzgeber folgt damit nicht den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz und der Weltgesundheitsorganisation, die einen Referenzwert von 100 Bq/m^3 vorgeschlagen haben.

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

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Untersuchungsfläche (Abb. 1) schließt südlich an die Ortsbebauung von Mommenheim an. Die Flächennutzung zum Zeitpunkt der Radonmessungen entspricht der im Luftbild in Abbildung 1. Die Ackerflächen waren abgeerntet. Im nordöstlichen Teil der Untersuchungsflächen liegen Pferdekoppeln, die deshalb bei Besatz nicht betreten wurden.

Die Untersuchungsfläche liegt bei einer topografischen Höhe von 142 m NN im nördlichsten Teil und 161 m NN an der am höchsten gelegenen Südostecke der Untersuchungsfläche. Durch den westlichsten Teil der Untersuchungsfläche verläuft in SW-NO-Richtung eine schwach ausgeprägte und nach NO einfallende Delle (s. geol. Karte in Abb. 1). Im östlichen Teil der Untersuchungsfläche ist die Hangexposition N bis NNW.

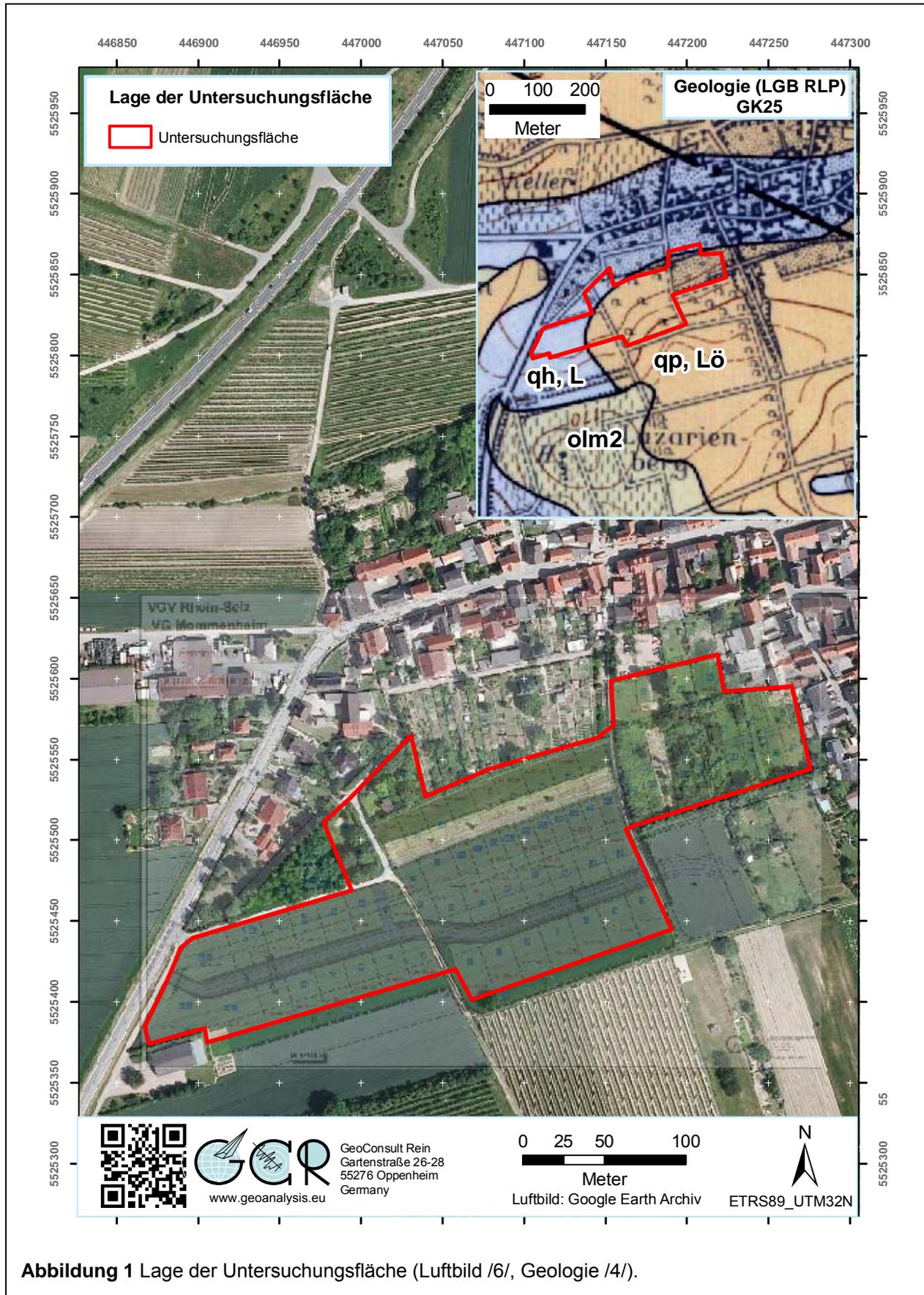


Abbildung 1 Lage der Untersuchungsfläche (Luftbild /6/, Geologie /4/).

5. Vorgehen

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

Die Untersuchungsfläche wurde am 17. Juli 2018 in 1 Meter Höhe über dem Boden auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um Hinweise auf oberflächennahe Materialwechsel des Baugrundes zu erhalten. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

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 oben genannter Präzision.

22 Radonmessbohrungen wurden am 17. Juli 2018 abgeteuft. Zwei weitere Radonmessstationen (MMH-22, MMH-24) wurden einen Tag später eingerichtet. Die Bohrungen zur Aufnahme der Messsonden hatten einen Durchmesser von 60 mm und reichten bis in 1 Meter Tiefe. Der Einbau der Kernspurdetektoren in die Basis der Bohrungen erfolgte unmittelbar nach deren Aufbereitung in speziell zur Langzeit-Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Schutzsonden.

Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Kernspurdetektoren und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden aufbaut, die von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurden.

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

Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut in der Reihenfolge der Entnahme rückverfüllt.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme unmittelbar unter der Messtiefe sowie des Oberbodens erfolgten am 09. August 2018. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 23 bzw. 22 Tage.

6. Ergebnisse der Feldarbeiten

6.1. Gammastrahlungsaktivität

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

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

Die Messgröße Impulse pro Sekunde (IPS) ist geräteabhängig (Detektorgröße). 100 IPS entsprechen bei dem verwendeten Instrument einer Ortsdosisleistung von 130 nSv/h ($0,130\mu\text{S/h}$).

In Abbildung 2 sind die Ergebnisse der Gammastrahlungskartierung dargestellt. Die Impulsraten liegen zwischen 100 -117 Impulsen pro Sekunde.

Hangabwärts und zum nördlichen Rand der Untersuchungsfläche ist ein leichter Trend zu zunehmenden Gammastrahlungsaktivitäten erkennbar, der aber nicht linear, sondern intermittierend ist. Eine Ausnahme davon ist das Areal in dem NW-Sporn der Untersuchungsfläche, in der auch der Spielplatz liegt.

Ausgeprägte Anomalien, die bei der Anordnung der Radonmesspunkte besonders hätten berücksichtigt werden müssen, wurden nicht detektiert.

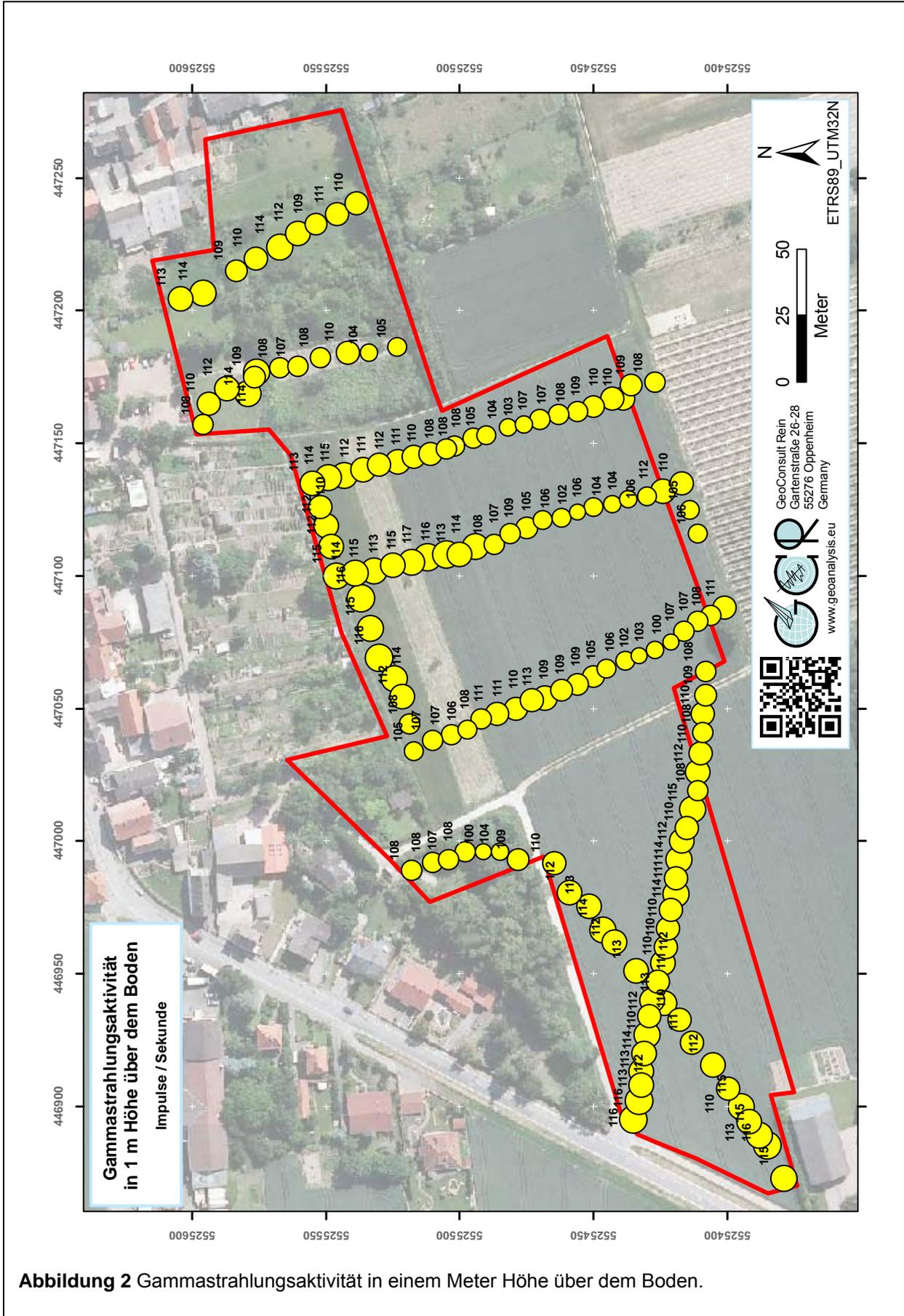


Abbildung 2 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Den natürlichen geologischen Untergrund bilden pleistozäne Löss (qp, Lö – Abb. S. 2) und in den Tallagen jüngere holozäne Abschwemmmassen (qh, L). Beide geologische/stratigrafische Einheiten lagern über oligozänen Sedimenten, die früher als Schleichsande bezeichnet wurden. Diese bestehen aus Mergel/Feinsand-Abfolgen. Einzelne Horizonte innerhalb der Schleichsandabfolge sind für hohe bis sehr hohe Radonkonzentrationen (bis > 200.000 Bq/m³) bekannt.

In den bis in 1,1 Meter Tiefe reichenden Radonmessbohrungen wurden die tertiären Sedimente unter der quartären Überdeckung durch keine Bohrung erreicht. Die Böden bestehen aus Schluffen mit z.T. geringen Sandanteilen. Kulturzeiger sind z.T. bis an die Basis der Bohrungen nachweisbar.

Im Detail hatten die Radonmessbohrungen den in Tabelle 1 beschriebenen Bodenaufbau.

Tabelle 1: Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 6)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
MMH-01	446882	5525382	0-110 bei 30 bei 90	U, graubraun vereinzelt Kalksteinchen vereinzelt Kalksteinchen
MMH-02	446930	5525389	0-110 bei 20 bei 40 bei 90	U, graubraun Kalksteinchen (<= 2mm) Ziegelbruch (10mm) Ziegelbruch (<= 2mm)
MMH-03	447006	5525415	0-110	U, graubraun, vereinzelt Kalksteinbröckchen (<= 2mm)
MMH-04	447078	5525414	0-70 70-110	U, graubraun, vereinzelt Steinchen (Kalksteinchen und glimmerf. Sandstein) U, t', hellgrau bis grünlich
MMH-05	447134	5525424	0-70 70-110 0-110	U, graubraun U, t', hellgrau/weiß, lose Kalkausfällungen Durchgängig keine Steinchen
MMH-06	447167	5525434	0-65 65-110	U, graubraun, wenige Steinchen U, t', gelblich-graubraun, Kalksteinbröckchen bis 2 mm
MMH-07	446901	5525432	0-110	U, graubraun
MMH-08	446941	5525448	0-25 25-110 bei 90	U, hellgraubraun, vereinz. Kalksteinkörnchen U, graubraun, vereinz. mit Körnchen aus Wegauffüllung bis 4mm Ziegelbruch (5mm)
MMH-09	447009	5525457	0-20 20-80 80-110 0-110	U, t', grau U, graubraun U, dunkelbraun, rötl-schwarz melangiert, vereinzelt Kalksteinchen bis 3 mm

Tabelle 1 (Fortsetzung): Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 6)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
MMH10	447060	5525451	0-80 80-110 0-110	U, graubraun U, mittelgraubraun, weißl.-rötl.-schwarz melangiert vereinzelt Kalkst., Ziegelr. bis 3 mm
MMH-11	447127	5525467	0-35 35-60 60-110	U, graubraun, vereinz. rote Sandsteinchen (glimmerreich) bis 10 mm U, hellbraun U, fs, t'', hellgrau
MMH-12	447108	5525503	0-70 30-50 70-110	U, graubraun Ziegelbruch bis 20 mm U, fs'', hellgraubraun, Kalksteinchen
MMH-13	447054	5525481	0-80 80-110 0-110	U, graubraun U, mittelgraubraun, vereinzelt Kalksteinchen bis 2 mm
MMH-14	446996	5525514	0-80 80-110	U, fs', graubraun U, fs', graubraun, rostfleckig, muffig
MMH-15	447023	5525548	0-80 80-90 90-110	U, fs', graubraun, vereinzelt Steinchen Hohlraum U, fs', dunkelbraun, Ziegelreste bis 20 mm
MMH-16	447072	5525530	0-50 50-110	U, graubraun U, fs', dunkelgraubraun
MMH-17	447133	5525547	0-80 40 80-110	U, graubraun Rhyolithsplitter bis 20 mm U, dunkelgraubraun
MMH-18	447149	5525505	0-45 45-80 80-110	U, graubraun, Kalksteinchen bis 2 mm U, fs', hellbraun, Kalkausfällungen, Kalksteinchen bis 2 mm U, fs, gelblichbraun, Kalkausfällungen
MMH-19	447163	5525590	0-70 70-110 80 80-110	U, fs', graubraun, Holz., Kalkst'chen, Ziegel U, fs', dunkelgraubraun Blechteil U, fs', Glassplitter, Bauschutt
MMH-20	447182	5525556	0-80 80-110	U, fs', graubraun U, fs', graubraun, Kalkausfällungen
MMH-21	447178	5525574	0-60 20 60-90 90-110	U, fs', gelblichbraun Plastik, Ziegel U, fs', graubraun, Ziegelsteinbr. bis 15 mm U, fs, dunkelbraun, Kalkausfällungen, Holzkohle, Ziegelsteinr, Kalksteinchen
MMH-22	447255	5525544	0-40 40-70 70-110	U, mittelgraubraun, Kalksteinchen U, fs', hellbraun, Kalkausfällungen, U, fs, gelblich-graubraun, Kalkausfällungen
MMH-23	447211	5525592	0-40 40-60 90-110	U, fs', mittelbraun, vereinz. Ziegelbr. U, fs', graubraun, Ziegelsteinbr. U, fs', dunkelbraun, Kalksteinchenbruch
MMH-24	447188	5525528	0-20 20-80 80-110	U, fs', dunkelgrau, Holzkohlestückchen U, fs', gelblichgrau, weiße Kalkbröckchen, Holzkohle U, t'', gelblichbraun

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 Böden waren zu Beginn der Radonmessungen in einem Meter Tiefe und oberflächennah feuchter als zum Ende der Radonmessperiode. Aufgrund der Niederschlagsverteilung (Vgl. Kap. 3, Abb. 3 u 4) ist davon auszugehen, dass sich ähnlich trockene Bedingungen wie zum Ende der Radonmessperiode gemessen, schon früh innerhalb der Messperiode eingestellt haben.

Aufgrund der geringen Bodenfeuchte im Umfeld der Messsonden müssen zum Zeitpunkt der Radonmessungen

- unterdurchschnittliche Emanationsraten
- und überdurchschnittliche Exhalationsraten,

vor allem auch im Vergleich zum Zustand nach späterer Überbauung angenommen werden.

Eigene Versuchsreihen mit ähnlichen Böden (Bodenarten) haben eine Minderung der Radonkonzentration unter ähnlichen Bedingungen auf ~80% der Werte von normal erdfeuchten Böden ergeben.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				Basis Bohrung		15-20 cm	
				13.01.18/ 28.03.18	17.07.18 *18.07.18	09.08.18	17.07.18 *18.07.18
MMH-01	446882	5525382	105/110	9,6	6,9	8,3	4,5
MMH-02	446930	5525389	105/110	7,8	6,6	7,6	5,0
MMH-03	447006	5525415	105/110	10,6	10,5	8,3	5,6
MMH-04	447078	5525414	105/110	10,0	7,6	8,7	7,2
MMH-05	447134	5525424	105/110	7,9	7,8	9,5	5,9
MMH-06	447167	5525434	105/110	7,5	7,3	9,1	5,9
MMH-07	446901	5525432	105/110	10,8	7,6	8,7	5,3
MMH-08	446941	5525448	105/110	11,4	7,7	8,4	7,9
MMH-09	447009	5525457	105/110	12,6	6,8	7,0	4,5
MMH10	447060	5525451	105/110	13,2	8,7	8,6	6,2
MMH-11	447127	5525467	105/110	12,4	6,6	9,8	7,1
MMH-12	447108	5525503	105/110	14,3	11,4	9,2	8,5
MMH-13	447054	5525481	105/110	11,0	5,6	7,5	5,1
MMH-14	446996	5525514	105/110	17,4	12,3	9,6	9,0
MMH-15	447023	5525548	105/110	11,8	11,2	12,7	11,7
MMH-16	447072	5525530	105/110	14,2	9,6	8,8	8,0
MMH-17	447133	5525547	105/110	10,8	8,1	7,5	7,6
MMH-18	447149	5525505	105/110	7,8	9,3	9,1	6,1
MMH-19	447163	5525590	105/110	14,0	13,7	6,7	5,0
MMH-20	447182	5525556	105/110	10,6	12,9	8,8	10,7
MMH-21	447178	5525574	105/110	13,4	10,7	8,5	6,6
MMH-22	447255	5525544	105/110	*11,5	8,7	7,8*	6,1
MMH-23	447211	5525592	105/110	*12,4	8,0	9,5*	8,3
MMH-24	447188	5525528	105/110	10,5	7,9	11,2	7,5

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.

In den schluffigen Böden der Untersuchungsfläche sind die Gaspermeabilitäten mäßig ($1-2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$).

Für die Berechnung der Radonverfügbarkeitsindizes wurde konservativ der ungünstigere Wert von $2 \cdot 10^{-13} \text{ m}^2$ zugrunde gelegt werden.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Wetterstation Selzen (123 m ü NN) liegt 0,2 Kilometer nördlich von Hahnheim in der Talebene der Selz und 1,9 Kilometer südwestlich der Untersuchungsfläche.

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

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

Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen (nur Oppenheim), 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.

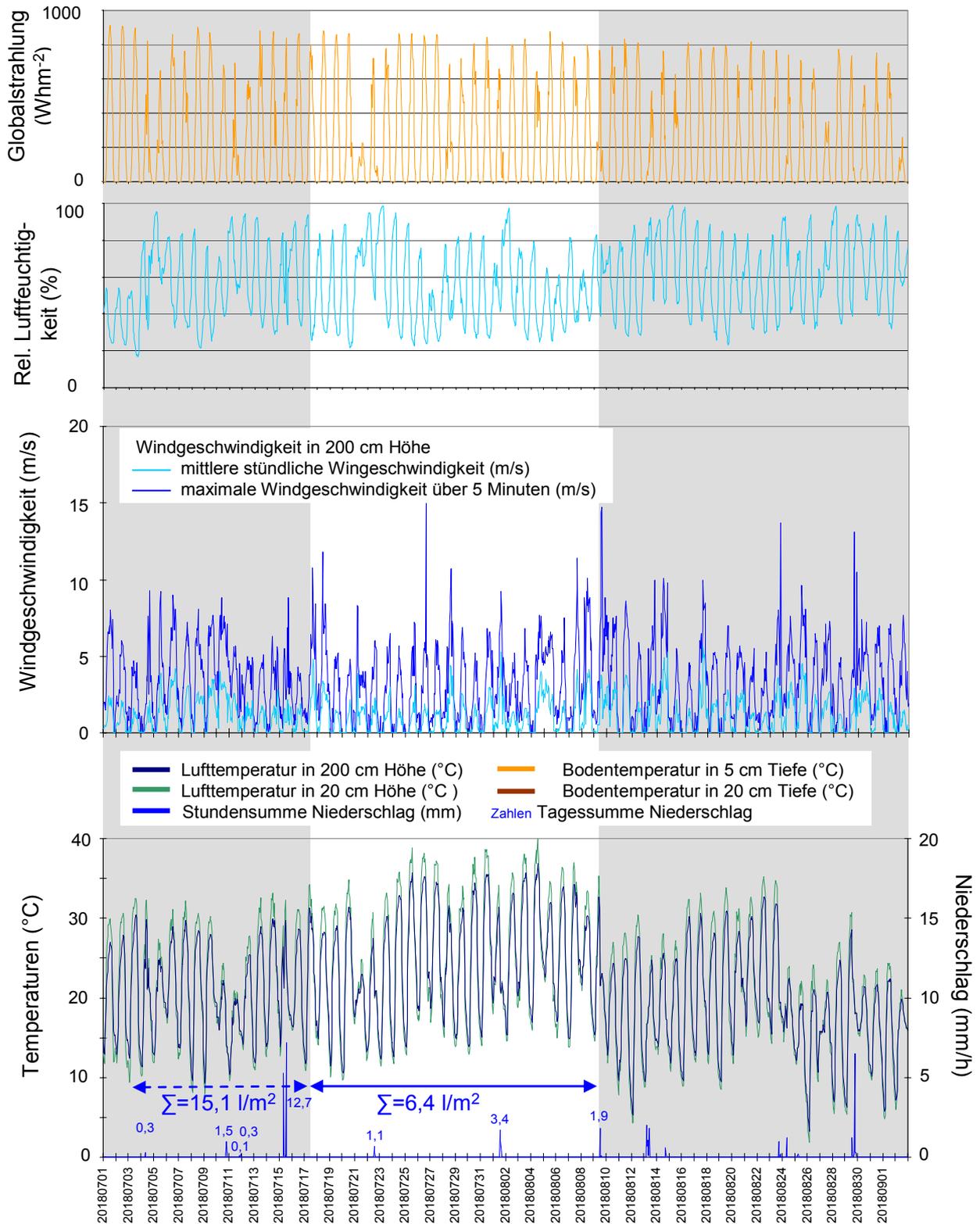


Abbildung 3 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Selzen - DLR (Quelle: DLR RLP).

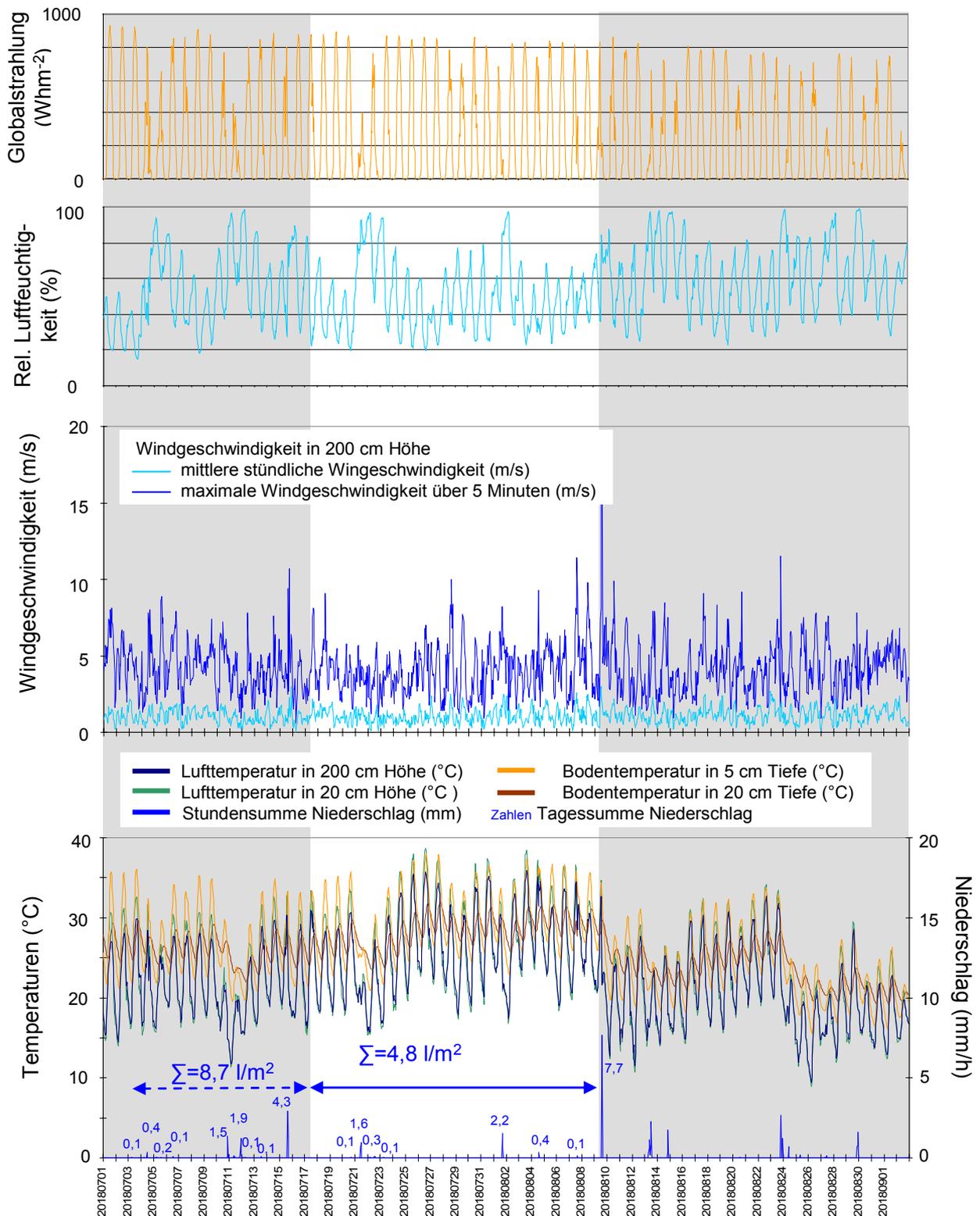
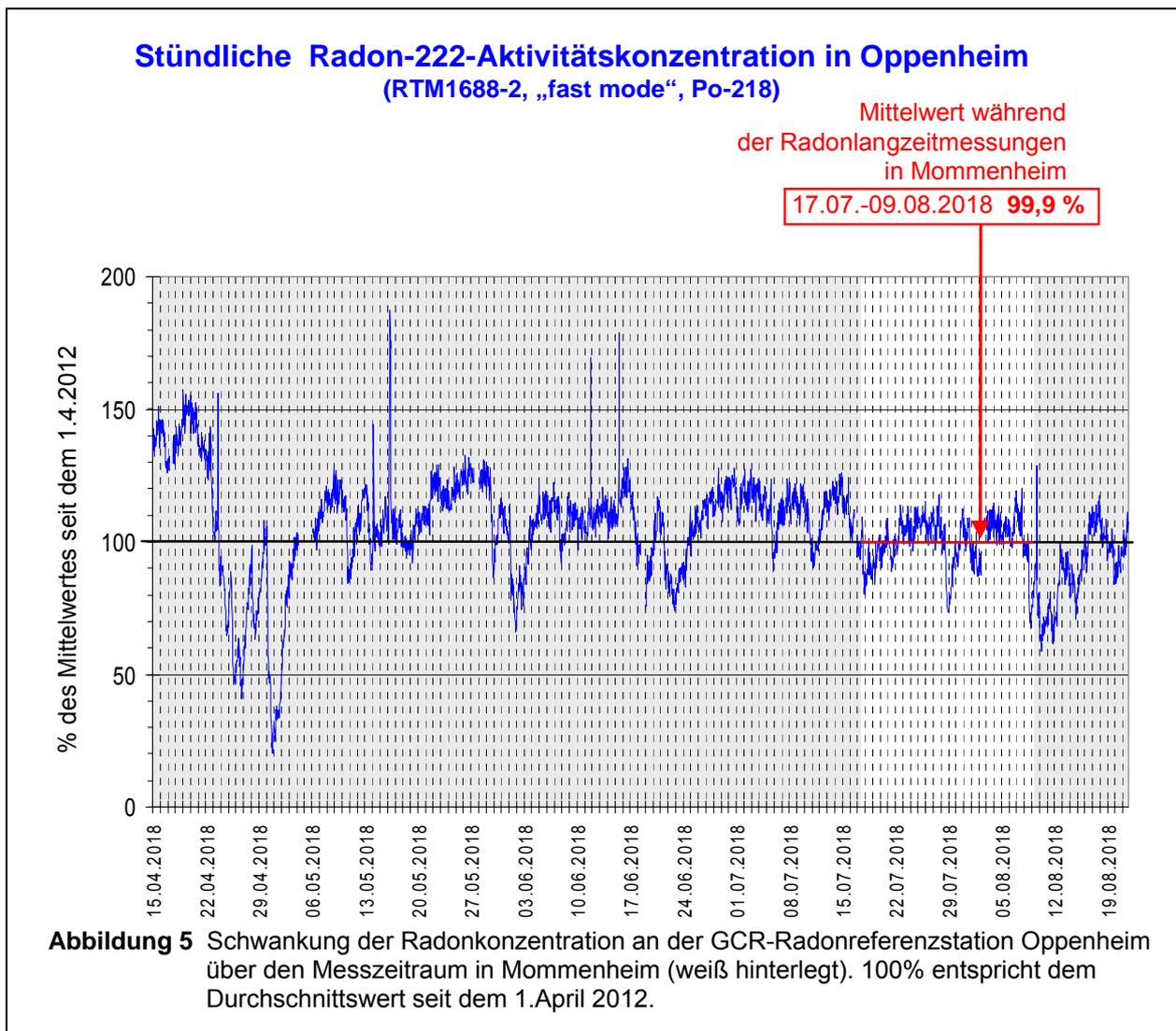


Abbildung 4 Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim (Quelle: DLR RLP).



An den beiden Wetterstationen sind die zeitlichen Wetteränderungen (nicht Absolutwerte) hinsichtlich Einstrahlung, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeiten und Temperaturverläufen sehr ähnlich. In den beiden Wochen vor Beginn der Radonmessungen fielen an beiden Wetterstationen nur geringe Niederschlagsmengen (Selzen 15,1 l/m², Oppenheim 8,7 l/m², Abb. 3-4). Von den in Selzen über diesen Zeitraum insgesamt gefallenen 15,1 l/m² Regen, fielen allein 12,7 l/m² an einem Tag (15.07.2018).

Während der Radonmessungen fielen an beiden Stationen nur geringfügige Regenmengen: In Selzen fielen verteilt über drei Tage mit Niederschlag insgesamt 6,4 l/m² (Oppenheim, an fünf Tagen insgesamt 4,8 l/m²).

Dies erklärt die in Tabelle 2 festgestellte Austrocknung der Böden der Untersuchungsfläche über den Radonmesszeitraum.

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. Dass trotz der geringen Niederschlagsmengen und relativ trockenen Böden keine Phasen stark erniedrigter Radonkonzentrationen in der Messreihe zu beobachten sind liegt an der gleichzeitig schwachen Windtätigkeit. Für die Untersuchungsfläche in Mommenheim kann aufgrund der ähnlichen Witterung und ähnlicher Gaspermeabilität der Böden eine vergleichbare zeitliche Dynamik der Radonkonzentrationsänderungen wie in Oppenheim angenommen werden.

Innerhalb der Radonmessperiode in Mommenheim betrug, die über den Zeitraum der Radonlangzeitmessungen gemittelte Radonkonzentration an der Referenzstation 99,9% des mehr als 6-jährigen Mittelwertes.

Die langfristige mittlere Radonaktivitätskonzentration der Untersuchungsfläche wird somit scheinbar durch die Messungen in Mommenheim im Juli/August 2018 sehr gut repräsentiert. Auf eine Witterungskorrektur 1. Ordnung der Langzeitmessungen konnte deshalb verzichtet werden.

Zusätzlich zu berücksichtigen sind aber die im Vergleich zu den erdfeuchten Böden (Hangwasser) der Referenzstation in Oppenheim, trockenen bis sehr trockenen Böden der Untersuchungsfläche (vgl. Kap. 7.1, Tab. 2), die dort zu einer überhöhten Radonexhalation geführt haben. Reicht die Trockenheit der Böden bis in größere Tiefen, kann aus den dort in der Regel radonreicheren Bodenschichten ein vermehrter Nachschub in die oberen Bodenhorizonte erfolgen und das durch die erleichterte Exhalation erzeugte Defizit ausgleichen oder sogar überkompensieren. So waren z.B. die im Frühjahr und Sommer des Jahres 2017 in einem Meter Tiefe gemessenen Radonkonzentrationen an der Referenzstation wegen des thermisch an der Bodenoberfläche induzierten Nachsaugens radonreicher Luft aus tieferen Bodenschichten weit überdurchschnittlich (135-160%).

Für die Böden am Messstandort „Am Lazarienpfad“ liegen für dieses Gutachten keine Informationen vor wie tief die Trockenheit an den Messstandorten in den Böden reicht.

Deshalb wird für die Berechnung der Radonverfügbarkeit für diese Standorte konservativ die ungünstigere Faktorenkombination - erhöhte Exhalation, aber ohne Kompensation durch Nachschub aus der Tiefe angewandt.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen 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 22-23 Tagen gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis leicht erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von $13,5 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ bis $42,3 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma) (Tab. 3, Spalte (2)).

Nach approximierter Bodenfeuchtekorrektur ergeben sich die in Tabelle 3 – Spalte (3) dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen (C_{Rn} wk bfk) mit Werten zwischen $16,9 \pm 20\%$ bis $52,9 \text{ kBq/m}^3 \pm 20\%$ (2sigma).

Aufgrund des alleinigen Kriteriums „Radonkonzentration“ ergibt sich bei einem veralteten Zielwert der Radonkonzentration von 400 Bq/m^3 in Innenräumen eine Einordnung der gemessenen Radonkonzentrationen in die Radonvorsorgebietsklassen RVK 0, RVK I und RVK II.

Die **Radonverfügbarkeit** im Baugrund ist im aber wesentlichen von drei Faktoren abhängig

- der Radonkonzentration im Boden,
- der Gasdurchlässigkeit des Bodens,
- dem Unterdruck den das Gebäude im Baugrund erzeugt.

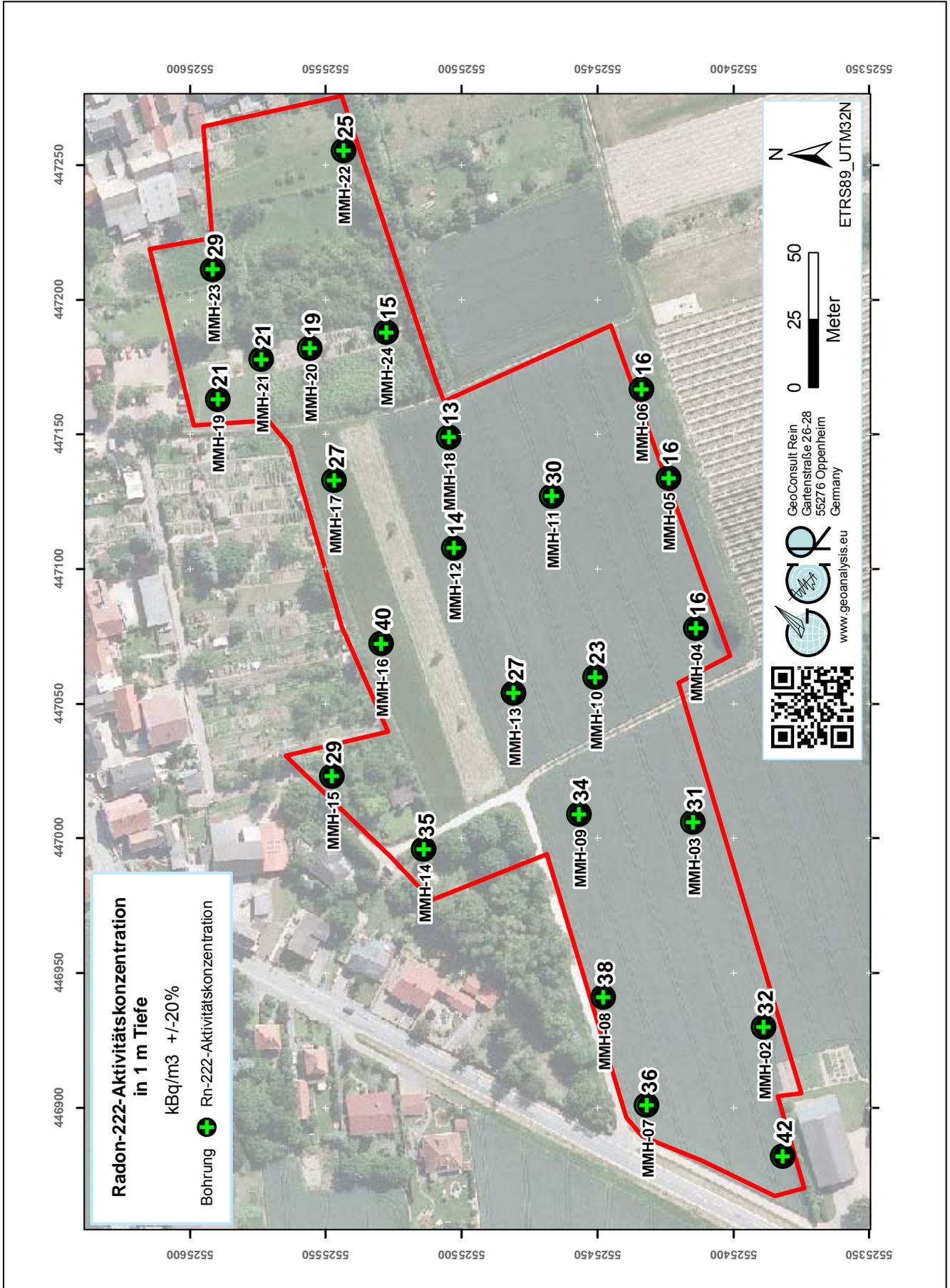
Durch diese Untersuchungen liegen Erkenntnisse zu den beiden ersten Faktoren vor, die zur Berechnung von Radonverfügbarkeitsindizes genutzt werden können. Bei den festgestellten moderaten Gasdurchlässigkeiten wird die Radonzahl von Slunga als Bewertungsmaß genutzt.

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)			Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
	BfS-Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C _{Rn} +/-20%	C _{Rn} wk bfk +/-20%	C _{Rn} wk bfk +/-20% unter Berücksichtigung hoher Gaspermeabilität		RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C _{Rn} RVI C_{Rn} bfk RVI C _{Rn} bfk + 20%	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C _{Rn} Rna C_{Rn} bfk Rna C _{Rn} bfk +20%
MMH-01	42,3	52,9		2E-13		1,73 1,83 1,91
MMH-02	31,9	40,0		2E-13		1,61 1,70 1,78
MMH-03	30,7	38,4		2E-13		1,59 1,69 1,77
MMH-04	15,6	19,5		2E-13		1,30 1,39 1,47
MMH-05	16,2	20,3		2E-13		1,31 1,41 1,49
MMH-06	15,8	19,8		2E-13		1,30 1,40 1,48
MMH-07	36,2	45,4		2E-13		1,66 1,76 1,84
MMH-08	37,6	47,1		2E-13		1,68 1,77 1,85
MMH-09	33,7	42,1		2E-13		1,63 1,73 1,81
MMH10	23,3	29,1		2E-13		1,47 1,57 1,65
MMH-11	29,6	37,0		2E-13		1,57 1,67 1,75
MMH-12	14,0	17,5		2E-13		1,25 1,34 1,42

Tabelle 3 (Fortsetzung): Radonaktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit in 1 Meter Tiefe

Messpunkt	Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³] ±20% (2sigma)			Gasperm [m ²]	Radonverfügbarkeit (Radonpotential)	
	BfS-Klassifizierung auf Zielwert 400Bq/m³				Klassifizierung auf Zielwert 250Bq/m³	
	(2)	(3)	(4)		(6)	(7)
	C _{Rn} +/-20%	C _{Rn} wk bfk +/-20%	C _{Rn} wk bfk +/-20% unter Berücksichtigung hoher Gaspermeabilität		RVI (Bq/m) (Surbeck) RVI C _{Rn} RVI C_{Rn} bfk RVI C _{Rn} bfk + 20%	Rna (dimensionslos) (Slunga) Rna C _{Rn} Rna C_{Rn} bfk Rna C _{Rn} bfk +20%
MMH-13	27,4	34,3		2E-13		1,54 1,64 1,72
MMH-14	35,2	44,0		2E-13		1,65 1,75 1,83
MMH-15	28,6	35,7		2E-13		1,56 1,66 1,73
MMH-16	39,5	49,5		2E-13		1,70 1,80 1,88
MMH-17	27,1	33,9		2E-13		1,53 1,63 1,71
MMH-18	13,5	16,9		2E-13		1,23 1,33 1,41
MMH-19	21,3	26,7		2E-13		1,43 1,53 1,61
MMH-20	19,5	24,4		2E-13		1,39 1,49 1,57
MMH-21	21,3	26,6		2E-13		1,43 1,53 1,61
MMH-22	25,2	31,5		2E-13		1,50 1,60 1,68
MMH-23	29,1	36,5		2E-13		1,57 1,66 1,74
MMH-24	14,5	18,2		2E-13		1,26 1,36 1,44
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					



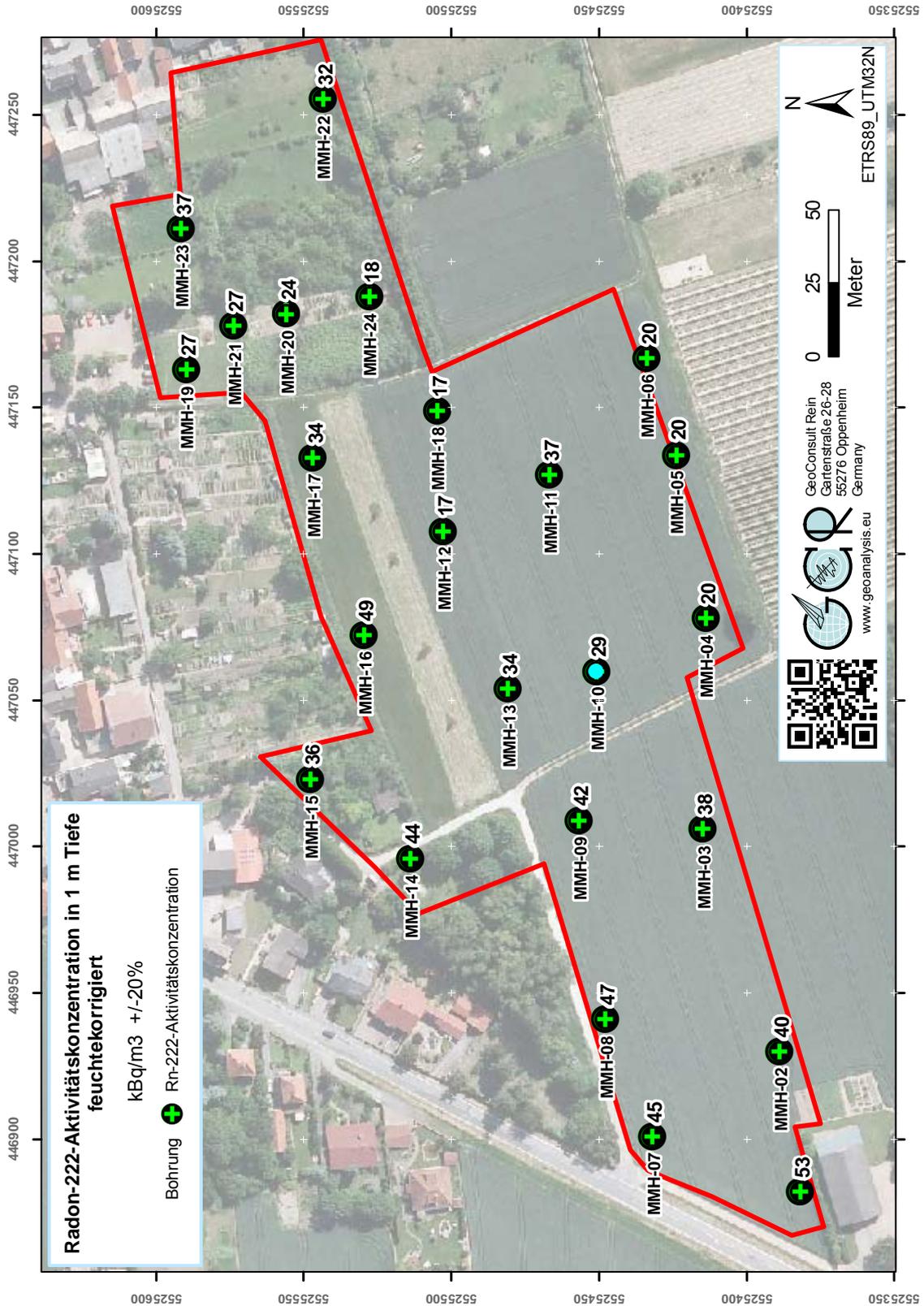


Abbildung 7 Bodenfeuchte-korrigierte Radonaktivitätskonzentration

Für die Berechnung der Radonverfügbarkeit ist eine mittlere Gaspermeabilität von $2 \cdot 10^{-13}$ m (vgl. Kap. 7.2) zugrunde gelegt.

Durch die Radonzahl von Slunga, die die Radonkonzentration und Gaspermeabilität betrachtet und bei einem Zielwert von maximal 250 Bq/m^3 Rn-222 in der Raumluft, ergibt sich für alle Radonmesspunkte unter den angetroffenen Bedingungen und selbst unter ungünstigeren Annahmen eine einheitliche Einordnung in RVK I.

Der Zielwert der Klassifikation 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 $<100 \text{ Bq/m}^3$.

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.

Tabelle 2 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (**veraltet**, bisher ohne Ersatz, bei erhöhter Gaspermeabilität wird die sich aus der Radonkonzentration ergebende Vorsorgestufe um eine Stufe erhöht).

Klassifizierung (Zielwert Innenraumluftkonzentration $<400 \text{ Bq/m}^3$)	Radonaktivitätskonzentration ($\text{kBq/m}^3 = \text{Kilo-Becquerel/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet 0 (RVK 0)	$<20 \text{ kBq/m}^3$ ($<20\,000 \text{ Bq/m}^3$)
Radonvorsorgegebiet I (RVK I)	$>20 - 40 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet II (RVK II)	$>40 - 100 \text{ kBq/m}^3$
Radonvorsorgegebiet III (RVK III)	$>100 \text{ kBq/m}^3$

Durch die Klassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz (BfS) war nur die zu einem diskreten Zeitpunkt X gemessene Radonkonzentration berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren auf die Radonkonzentration zum Messzeitpunkt blieben formell unberücksichtigt, obwohl auf

deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit (Radonpotential) hingewiesen wird. Eine vom BfS geplante und von der EU-Richtlinie geforderte deutschlandweite Karte, soll zukünftig die Gaspermeabilität gleichermaßen bedeutsam bei der Erstklassifizierung gefährdeter Gebäude mit Arbeitsplätzen mit berücksichtigen. Für die Erstellung einer solchen Karte fehlt allerdings eigentlich noch die Datenbasis. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass die einfache Klassifizierung in Tabelle 2 auf die Jahrtausendwende zurückdatiert und höhere Zielwerte (max. 400 Bq/m³ in Innenräumen) als von der EU seit 2013 und seit Juni 2017 auch durch ein Bundesgesetz geregelt (300 Bq/m³) als Bemessungsgrundlage verwandt.

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. Die hier verwendete Zuordnung durch die Maßzahlen für die Radonverfügbarkeit beruht auf einem verschärften Zielwert von maximal 250 Bq/m³ in der Raumluft, um den neuen Anforderungen des Gesetzgebers gerecht zu werden.

Für den Bebauungsplan „Am Lazarienpfad“ werden auf Grundlage der Untersuchungen Radonpräventionsmassnahmen gemäß der Radonvorsorgegebietsklasse 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.

Dieses Gutachten beruht auf punktuellen Messungen. Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten oder Baugrunduntersuchungen festgestellt werden, dass das Gründungsniveau des Gebäudes bis in die tertiären Sedimente reicht, so wird dringend empfohlen den/einen Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen. Sollten verkarstet Gesteine bis in eine Distanz von 1 m zum Gründungsniveau anstehen, wird ebenfalls dringend empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, weil dann schon aufgrund geänderter Gaswegsamkeiten 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, 06.09.2018