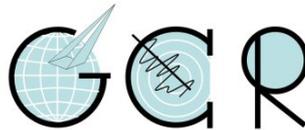


Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Bebauungsplan „Bahflächen Mombacher Straße (H95)“, Mainz
Projektnummer 20140304_H95MBS0

GeoConsult Rein



Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

Gutachter:

Privatdozent Dr. rer. nat. habil. Bert Rein

Auftraggeber :

Aurelis Asset GmbH
vertreten durch aurelis Real Estate GmbH & Co. KG
Region Mitte
Mergenthalerallee 15-21
65760 Eschborn

12. April 2014

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. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme	11
6. Ergebnisse der Feldarbeiten	13
6.1. Gammastrahlungsaktivität	13
6.2. Geologie und Böden der untersuchten Flächen	15
7. Laborergebnisse	23
7.1 Bodenfeuchte	23
7.2 Gaspermeabilität	25
7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	25
7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	31
8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	34

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage des Bebauungsplanes „Bahnflächen Mombacher Straße (H95).	8
Abbildung 2	Lage des Bebauungsplanes „Bahnflächen Mombacher Straße (H95) mit Luftbild der letzten Vornutzung	9
Abbildung 3	Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen	10
Abbildung 4	Gamma-Strahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	13
Abbildung 5a-c	Bodenprofile der Radonmesspunkte	20-22
Abbildung 6a	Stundenmittel bzw. Stundensummen der Wetterdaten an der Station Mainz-Marienborn des DLR RLP.	27
Abbildung 6b	Stundenmittel bzw. Stundensummen der Wetterdaten an der Station Heidenfahrt des DLR RLP.	28
Abbildung 6c	Stundenmittel bzw. Stundensummen der Wetterdaten an der Station Oppenheim des DLR RLP.	29
Abbildung 7	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Permanentstation Oppenheim über den Messzeitraum in Mainz	31
Abbildung 8	Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit im Boden in einem Meter Tiefe	32

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Bohrungen	16-19
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Radon-222-Aktivitätskonzentration, Gaspermeabilität, Radonverfügbarkeitsindices und Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.	24
Tabelle 3	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	34

1. Auftrag

Die Aurelis Asset GmbH, vertreten durch aurelis Real Estate GmbH & Co. KG - Region Mitte, Mergenthalerallee 15-21, 65760 Eschborn, beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme für das Plangebiet „Bahnflächen Mombacher Straße (H95)“ in Mainz (Abb. 1).

Die Radonkonzentration im Boden sollte im Bereich der bebaubaren Areale untersucht werden, um festzustellen, ob Massnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Geländes zu berücksichtigen sind.

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- Bebauungsplan „Bahnflächen Mombacher Straße (H95)“, vom Auftraggeber vorab zur Verfügung gestellt.
- Daten-CD mit bisherigen Bodengutachten zu „Bahnflächen Mombacher Straße (H95)“, vom Auftraggeber am 4. April 2014 zur Verfügung gestellt.
- Medienplan, vom Auftraggeber vorab zur Verfügung gestellt.
- Geologische Karte RLP 1:25.000 (GK25 Blatt 5915 Wiesbaden, 1972)
- Geologische Karte RLP 1:25.000 (GK25 Blatt 6015 Mainz, 1989)
- Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- Wetterdaten des DLR der Stationen Oppenheim, Mainz-Marienborn und Heidenfahrt

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

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.

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

Sind Menschen längerfristig erhöhten Radonkonzentrationen ausgesetzt, können daraus erhöhte Risiken einer Erkrankung an Lungenkrebs resultieren.

Das Risiko einer Erkrankung an Lungenkrebs steigt mit der Radonkonzentration und der Dauer des Aufenthaltes in erhöhten Radonkonzentrationen.

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

Am 5.12.2013 verabschiedete der Rat der Europäischen Union eine neue EU-Grundnorm, die am 17.01.2014 im Amtsblatt der Europäischen Union veröffentlicht wurde und als wesentliche Neuerung eine EU-weite Regelung enthält, die eine Radonraumluftkonzentration von maximal 300 Bq/m^3 für Arbeitsplätze, öffentliche Gebäude (Bestand u. Neubau) und neugebaute, privat genutzte Wohnräume zulässt.

Den EU-Mitgliedsstaaten bleibt es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Grenzwerte unterhalb 300 Bq/m³ zu festzulegen.

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

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Der Bebauungsplan „Bahnflächen Mombacher Strasse (H95)“ erstreckt sich über rund 650 Meter Länge in Südost-Nordwest-Richtung zwischen Mombacher Straße und den Gleisanlagen nördlich des Mainzer Hauptbahnhofes und wird im Norden durch die Goethestraße bzw. die Einmündung in die Mombacher Straße begrenzt (Abb. 1).

Die letzte Vornutzung des Geländes zeigt das Luftbild in Abbildung 2 ohne Überlagerung durch den Bebauungsplan, aber mit einprojizierten geplanten Baugrenzen.

Entlang der Gleisanlagen ist eine nahezu geschlossene Bebauung vorgesehen, die im Bebauungsplan als „eingeschränktes Gewerbegebiet“ ausgewiesen ist. Mit Ausnahme des südlichsten Bereiches, im Bereich eines ehemaligen Gleisabzweigs, ist die Grundfläche dieser geplanten Bebauung zum Zeitpunkt der Gutachtenerstellung noch von Gebäuden bestanden (Abb. 3).

Alle ehemaligen Gebäude im Bereich der fünf Mischgebietsblöcke sind bereits rückgebaut, die Pflasterung im Bereich der beiden nördlichen Blöcke existiert aber noch weitgehend.

Vom ehemaligen Gebäudebestand ebenfalls erhalten ist ein an die Mombacher Straße grenzendes Gebäude unmittelbar nördlich des Abzweiges der Planstraße in den BBPL (Abb. 3).

Der Bereich der Planstraße ist ebenfalls noch mit grobem Basaltplaster und darüber aufgebrachtter Schwarzdecke versiegelt. Die Pflasterung im nördlichen Bereich, zwischen dem ehemaligen Gebäudebestand, ist noch weitgehend erhalten. Auf der Fläche zwischen Planstraße und Mombacher Straße lagern bis über 5 Meter hohe

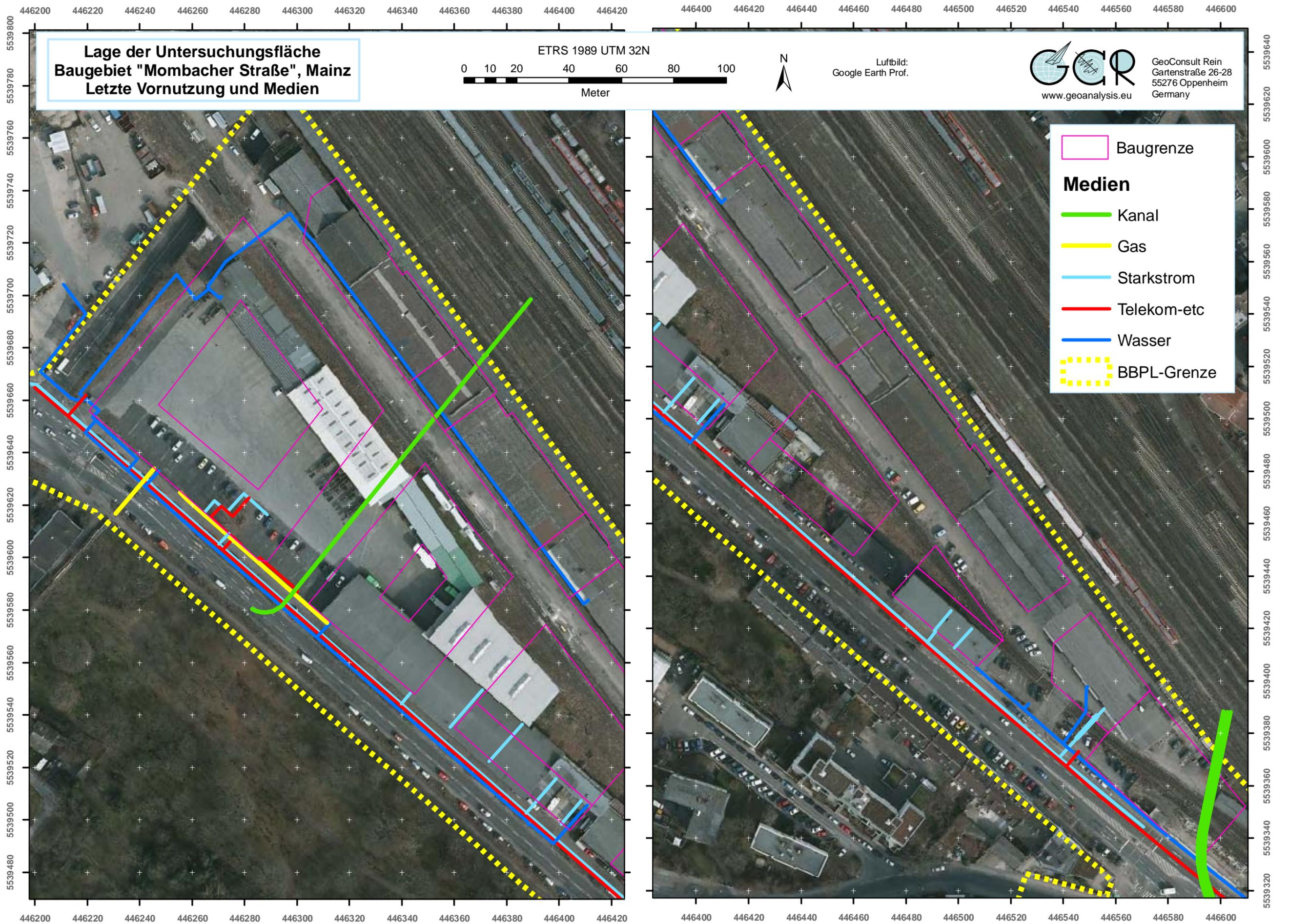


Abbildung 2 Lage des Bebauungsplanes „Bahnflächen Mombacher Straße (H95) mit Luftbild der letzten Vornutzung.

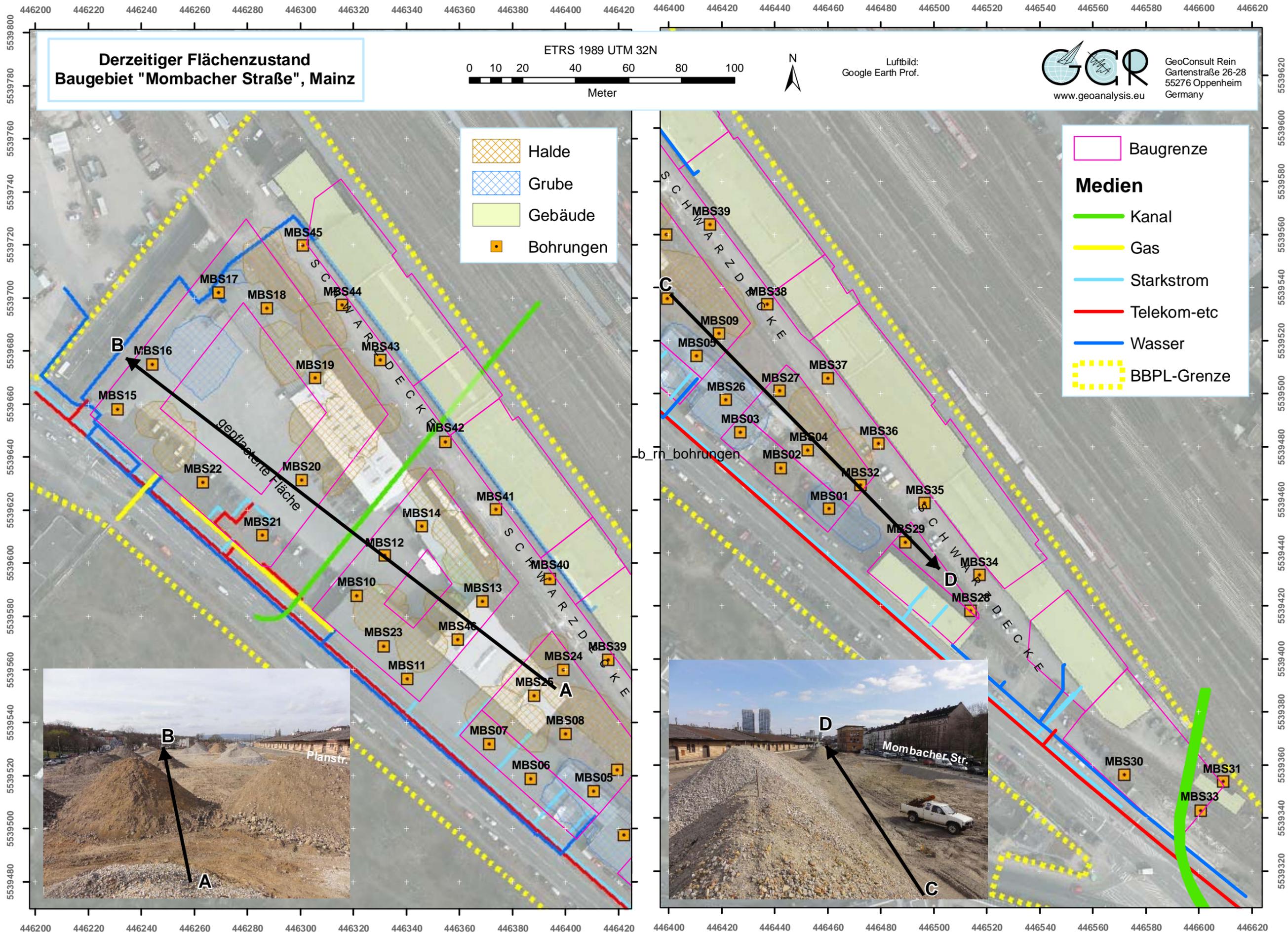


Abbildung 3 Flächenzustand zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Halden des gebrochenen Abrissmaterials der ehemaligen Gebäude. Im nördlichen Bereich existieren eine kleine flache und eine größere etwa 5 Meter tiefe Grube (Abb. 3). Auf der Sohle der letzteren standen bei Beginn der Untersuchungen in den Vertiefungen Pfützen.

Im südlichen Bereich des Bebauungsplanes, nördlich eines nicht rückgebauten Gebäudes (Abb. 2) existieren zwei etwa 3-4 Meter tiefe Gruben, von denen die nördliche über eine nach Norden verlaufende Rampe in das obere Flächenniveau übergeht.

Im Bereich der ehemaligen Gleisanlagen zwischen den noch bestehenden Gebäuden im südlichen Teil des Bebauungsplanes, wurden lediglich die Schienen und Schwellen zurückgebaut. Nördlich der Einmündung der Planstraße in die Mombacher Straße existiert das Schottergleisbett noch in Teilen, südlich davon vollständig.

Der Medienplan ist zumindest hinsichtlich der Kanalisation unvollständig. Unter der Pflasterung und unter der Planstraße verlaufende Kanalisationen gehen aus dem Medienplan nicht hervor.

5. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bebauungsplan und der Medienplan genutzt. Der Plan wurde mithilfe von Passpunkten und Luftbildern referenziert und in eine Kartenprojektion projiziert (ETRS89 UTM32N). Die Lagegenauigkeit des geokodierten Planes dürfte nach Vergleich mit den Luftbildern einen Fehler von max. ± 1 Meter haben (vgl. Abb. 1).

Die Einmessung der Bohrpunkte und aller weiterer Messpunkte erfolgte mit GPS (Garmin Colorado 300). Die Positionsgenauigkeit der Koordinaten beträgt gemäß GPS-Statistik ± 3 Meter. Die tatsächliche Genauigkeit ist aber auch auf anderen Flächen seit Beginn der Krimkrise und offensichtlich manipuliertem GPS-Signal sehr viel schlechter. Deshalb erfolgte parallel eine konventionelle Einmessung aller Punkte über Hilfspunkte wie Gebäudeecken etc. Die Positionsgenauigkeit der Messpunkte im

Bereich der Planstraße ist besser als ± 1 Meter, auf der restlichen Fläche besser als ± 2 Meter.

Vor Einbringen der Exposimeter/Dosimeter (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche in 1 Meter Höhe über dem Boden mit einer Heger-Gamma-Sonde auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um möglicherweise Hinweise auf stärkere Strahlungsquellen in der anthropogen stark überprägten Fläche zu erhalten. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Bohrungen für die Radonmessungen wurden als 60 mm durchmessende Rammkernbohrungen oder Handbohrungen ausgeführt. Der Einbau der Dosimeter in die Bohrungen in 1 Meter Tiefe erfolgte am 04. bis 06. März 2014 mit speziell zur Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Sonden.

Die Messungen der Radonaktivitätskonzentration erfolgte mit zertifizierten Dosimetern und entsprechend dem Verfahren, das von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurde. Dieses Verfahren wird auch für die Erarbeitung der „Radonprognosekarte Rheinland-Pfalz“ eingesetzt, die von GCR bearbeitet wird.

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.

Unter mächtigerer Pflasterung und Schwarzdecke wurde der Boden unmittelbar darunter beprobt.

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

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme aus 1 m Teufe, sowie des Oberbodens erfolgten am 19. und 20. März 2014. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 13 bis 15 Tage (s. Tab. 2).

6. Ergebnisse der Feldarbeiten

6.1. Gammastrahlungsaktivität

Die Gammastrahlungsaktivität kann Hinweise auf natürliche und anthropogen verursachte Materialwechsel/Strahlungsanomalien im obersten Meter des Baugrundes geben, die auf Gesteinswechsel, Kontaminationen oder tektonisch-strukturelle Inhomogenitäten hinweisen können. Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen der Vielzahl beitragender Nuklide, die in keiner Verbindung zu Radon stehen, kein zwingender Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.

Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen im überwiegenden Teil der Fläche innerhalb eines relativ engen, sehr niedrigen bis niedrigen Wertebereiches mit Impulsraten von <80 bis 110 Impulsen/Sekunde (Abb. 4). Höhere Gammastrahlungsaktivitäten mit Impulsraten bis <140 Impulse/Sekunde beschränken sich ansonsten auf den Sohlenbereich der südlichsten Baugrube, wo tiefere tertiäre Bodenhorizonte/Sedimentschichten an oder nahe an die Oberfläche reichen oder z.T. auf Bereiche mit Basaltpflasterresten oder Basaltschottern (Gleisbett). Die höchsten, aber immer noch moderaten Gammastrahlungsaktivitäten wurden im Bereich der Schwarzdecken (Planstraße) mit Maximalwerten <170 Impulsen/Sekunde gemessen. Aufgrund der starken anthropogenen Überpägung der Flächen können Hinweise aus der Gammastrahlungsaktivitätsmessung, auf möglicherweise vorhandene tektonische Störungen nicht hergeleitet werden.

Aufgrund der Gammastrahlungsmessungen ergeben sich keine Hinweise auf Areale innerhalb des Bebauungsplanes, die durch dichtere Beprobung, bei der Radonmessung besondere Berücksichtigung finden sollten.

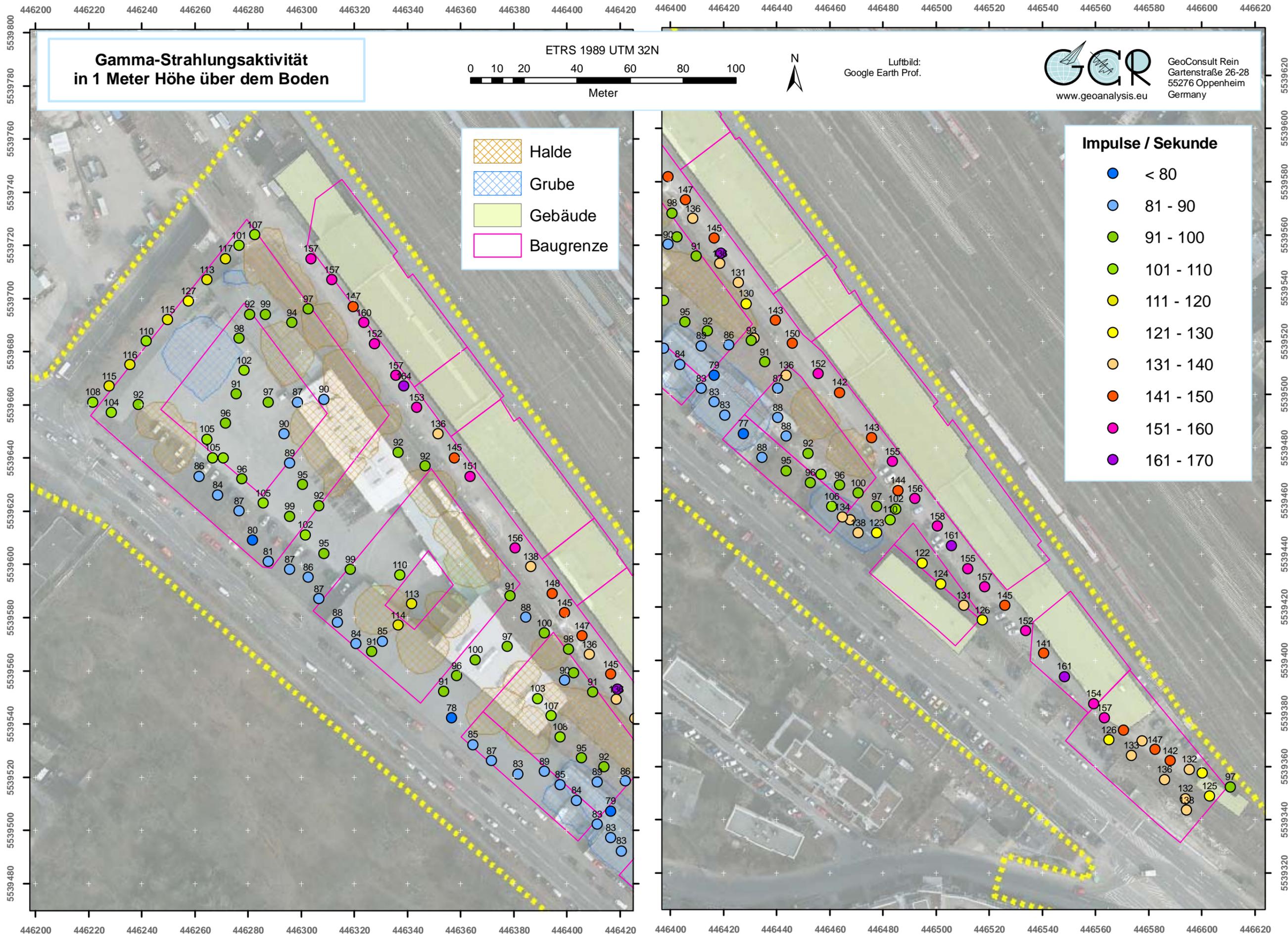


Abbildung 4 Gammastrahlungsaktivität in einem Meter Höhe über dem Boden.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Das Bebauungsplangebiet (Abb. 1) liegt in zentrumsnaher Stadtlage und wurde in der Vergangenheit zivilisatorisch stark überprägt. In der geologischen Karte GK25 5915 (Stand 1972) ist das Plangebiet demzufolge als künstlich verändert dargestellt. Südwestlich der Mombacher Straße lagern nach erwähnter GK25 braune bis rostbraune fluviatile Sande. Diese sind allerdings sehr gut sortiert, was vermuten lässt, dass es sich auf der Planfläche nicht um fluviatile, sondern um Dünen sande handelt. Unterlagert werden diese durch die tertiäre Wiesbaden-Formation, in diesem Bereich die Hydrobienschichten, bestehend aus hellen Kalksteinen mit tonig-mergeligen Einschaltungen und z.T. Quarzsand-führend.

Sowohl die quartären braunen Sande, wie auch die darunter lagernden tertiären Kalksteine und Mergel der Hydrobienschichten sind im Plangebiet durch die Aufschlußbohrungen für die Radonmessungen bzw. durch die Baugruben belegt. Der Lagerungszustand der ortsüblichen Sedimente ist allerdings durch Bau- und Abrissmassnahmen, verbunden mit weitreichenden Abgrabungen und Verfüllungen, weitestgehend verändert und die natürlichen ortsüblichen Sedimente enthalten Bauschutt in wechselnden Mengen, bis hin zu dessen Dominanz.

Vorgelagerte Baugrunduntersuchungen, z.B. abfalltechnische Erkundungen aus dem Jahr 2003 oder jüngste Detailuntersuchungen der Fa. Tauw (2014) belegen lokal Abgrabungen/Auffüllungen bis in einen bis über 5 Meter Tiefe unter der derzeitigen Geländeoberfläche. Die Auffüllmächtigkeiten variieren kleinräumig mit tendenziell zunehmenden Auffüllmächtigkeiten in Richtung auf die Mombacher Straße und vor allem im südlichen Teil des Plangebietes (südlich etwa MBS23, MBS25).

Gleichzeitig ist in den Aufschlußbohrungen für die Radonmessungen eine Verflachung der Tiefenlage tertiärer Ausgangsgesteine in den Verfüllungen festzustellen (Tab. 1).

Tabelle 1: Schichtenverzeichnis der Bohrungen

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm X=Steine, G=Kies, S=Sand, gS=Grobsand, mS=Mittelsand, fS=Feinsand, U=Schluff, Schutt=Bauschutt
MBS01	446461	5539457	0-30 gS – mS 30-55 gS (rötlich) mit G und Schutt 55-100 sandiger U, ocker bis weißlich, mergelig
MBS02	446443	5539472	0-60 schwarzer sandiger Schutt 60-75 Holz 75-100 sehr heller Schluff, karbonatreich
MBS03	446427	5539486	0-50 Auffüllung aus f-mS + lehmigem U 50-95 sehr heller U 95-100 brauner, schwach sandiger Mergel
MBS04	446453	5539479	0-100 heller mergeliger U mit Industrieschlacke, Kies u. Schutt
MBS05	446411	5539515	0-85 schwach lehmiger U 85-100 mergeliger U
MBS06	446387	5539519	0-100 Auffüllung aus fS-(mS) mit X
MBS07	446371	5539532	0-100 Auffüllung aus fS-(mS) mit X
MBS08	446400	5539536	0-37 sandiger Schutt, schwarz, 37-80 S u.G, orangebraun 80-100 Ton mit Schutt
MBS09	446419	5539523	0-50 sandiger Schutt 50-62 mS, rostbraun 62-100 stark schluffiger Mergel, olivegrau, Basis mit Kalksteinen
MBS10	446321	5539588	Grober Schutt mit f-mS
MBS11	446340	5539557	0-30 Sand mit U-/Lehmklumpen, Kalkstein + Holzkohle 30-100 fS-gS mit vereinzelt G
MBS12	446332	5539603	0-7 Verbundpflaster 7-40 Schutt (X, gS) 40-100 fS-mS mit X+G
MBS13	446369	5539586	0-70 Sand mit X, rostbraun 70-98 X+Splitt, wenig Sand 98-100 lehmiger U, Mergel
MBS14	446346	5539614	0-7 Verbundpflaster 7-50 Schutt (X) mit Sand 50-100 fS-mS mit X
MBS15	446346	5539614	0-8 Verbundpflaster 8-100 roter Schutt, sandig, Basis schluffig

Tabelle 1: (Fortsetzung): Schichtenverzeichnis der Bohrungen

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm X=Steine, G=Kies, S=Sand, gS=Grobsand, mS=Mittelsand, fS=Feinsand, U=Schluff, Schutt=Bauschutt
MBS16	446244	553967	0-7 Verbundpflaster 7-60 vorwiegend Betonschutt 60-100 rostbraune Sande + X (Schutt)
MBS17	446269	5539703	0-90 gS, sehr locker gelagert 90-100 fS-gS mit X u. Lehmknollen
MBS18	446287	5539697	0-40cm Schutt (schwarz) + Sand, sehr locker gelagert 40-100 <u>fS</u> -mS
MBS19	446306	5539670	Kern in Sonde nur 40 cm lang, sehr locker gelagerte Sande + X, mehrere Hohlräume, Probengewinn mit Handbohrung
MBS20	446300	5539632	0-7 Verbundpflaster 7-55 Betonschutt/Sand 55-100 Sand mit Steinen (Schutt)
MBS21	446286	5539611	0-100 grobe Auffüllungen/Schutt, sandig Basis mit Lehmlinse
MBS22	446263	5539631	0-100 grobe Auffüllungen/Schutt, sandig
MBS23	446331	5539569	0-100 Schuttaus gS + X, z.T. schwarz, mindestens 3 wahrscheinl. 4 Hohlräume, Kernlänge in Sonde nur 60 cm
MBS24	446399	5539560	0-100 Auffüllung aus fS-mS mit X(G)
MBS25	446388	5539551	0-100 grob-/feinsandiger Schutt 70-100 z.T. schwarz
MBS26	446422	5539498	0-90 schwach lehmiger gS mit Schutt, hellbraun 90-100 U / <u>fS</u> , hellbraun
MBS27	446442	5539501	0-37 Schutt 37-66 sandiger Kies, 66-100 stark schluffiger Mergel mit Kalksteinen (melangiert)
MBS28	446514	5539418	0-100 Schutt (m. Kalkstein) unter ehemaligem Gleisbett ab 40 cm Tiefe schluffig-mergelig
MBS29	446489	5539444	0-100 Schutt (m. Kalkstein) unter ehemaligem Gleisbett ab 40 cm Tiefe schluffig-lehmig-mergelig
MBS30	446572	5539357	0-30 gS + G 30-100 stark schluffiger Lehm mit hohem Steinanteil (Schutt)

Tabelle 1 (Fortsetzung): Schichtenverzeichnis der Bohrungen

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm X=Steine, G=Kies, S=Sand, gS=Grobsand, mS=Mittelsand, fS=Feinsand, U=Schluff, Schutt=Bauschutt
MBS31	446609	5539354	0-50 Gleisbett, 50-60 stark schluffiger Lehm, mergelig bei weiterem Kernvortrieb verdrängt (kein Kerngewinn unterhalb 60 cm)
MBS32	446472	5539466	0-100 homogener fS, rostbraun
MBS33	446600	5539343	0-50 dunkelgrau-schwarze S+X (zwischen Gleisbetten) 50-70 gS + X 70 – stark schluffiger Mergel, hell
MBS34	446517	5539432	nur 60 cm in Kernsonde 0-7 Schwarzdecke 7-25 gS Sande + X (Schutt) 25-50 gS 50-60 mergeliger Lehm (sehr weich), bei weiterem Kernvortrieb verdrängt (kein Kerngewinn unterhalb 60 cm)
MBS35	446497	5539459	0-5 Schwarzdecke 5-22 Basaltpflaster 22-30 schwarzer Sand + X 30-100 fS-mS, rostbraun, rostbraun mit vereinzelt G
MBS36	446479	5539481	Rammkernsonde ohne Inhalt, Loch bis 65 cm Tiefe leer, darunter rostbraune Sande (mit Handbohrer gewonnen). Bei Eindringen der Rammkernsonde offensichtl. stark verdichtet und versackt. Probengewinn durch Handbohrung (schräg)
MBS37	446460	5539506	0-5 Schwarzdecke 5-20 Basaltpflaster 20-100 fS-mS, rostbraun, mit vereinzelt G
MBS38	446437	5539534	0-18 Basaltpflaster 18-30 Sand, dunkelgrau bis schwarz 30-100 fS-mS, rostbraun
MBS39	446416	5539564	0-5 Schwarzdecke 5-23 Basaltpflaster 23-100 fS-mS, rostbraun
MBS40	446394	5539595	0-3 Schwarzdecke 3-18 Basaltpflaster 18-30 dunkler Sand 30-100 fS-mS, rostbraun
MBS41	446374	5539621	0-6 Schwarzdecke 6-26 Basaltpflaster 26-80 Sande, rostbraun unterhalb 80 cm kein Kerngewinn, weil Sediment verdrängt

Tabelle 1 (Fortsetzung): Schichtenverzeichnis der Bohrungen

Bohrung	X	Y	Tiefenangaben in cm
	ETRS89 UTM32N	ETRS89 UTM32N	X=Steine, G=Kies, S=Sand, gS=Grobsand, mS=Mittelsand, fS=Feinsand, U=Schluff, Schutt=Bauschutt
MBS42	446355	5539646	0-7 Schwarzdecke 7-23 Basaltplaster 23-35 Schutt 35-100 fS-mS, rostbraun
MBS43	446330	5539677	0-35 Schutt (Gleisbett) 35-100 fS-mS, rostbraun
MBS44	446316	5539698	0-4 Schwarzdecke 5-14 Basaltplaster 14-25 dunkler Sand 25-100 fS-mS, rostbraun
MBS45	446301	5539720	0-5 Schwarzdecke 5-15 Basaltplaster 15-55 S/X mit vertikal orientierten Schluffschlieren 55-100 fS-mS,
MBS46	446359	5539572	0-100 fS-mS + G + Schutt (locker gelagert)

Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm)

mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³ (1000 Bq/m³); 1kBq = 1000 Bq = 1000 Becquerel = 1000 zerfallende Radonotope pro Sekunde.

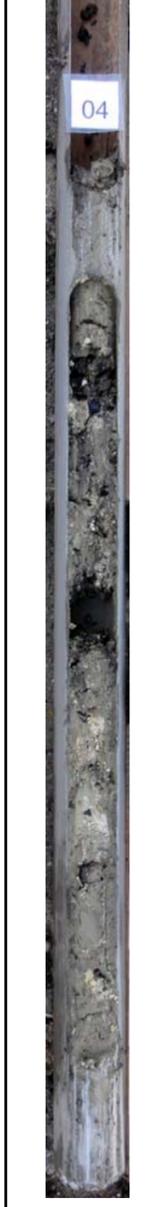
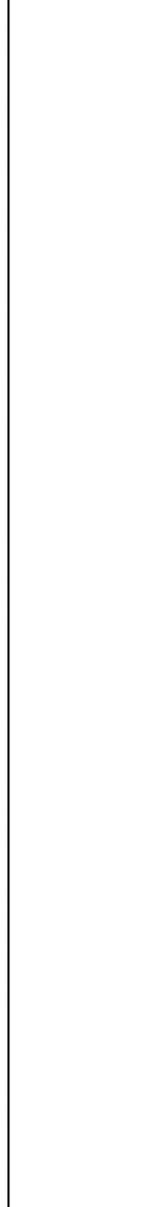
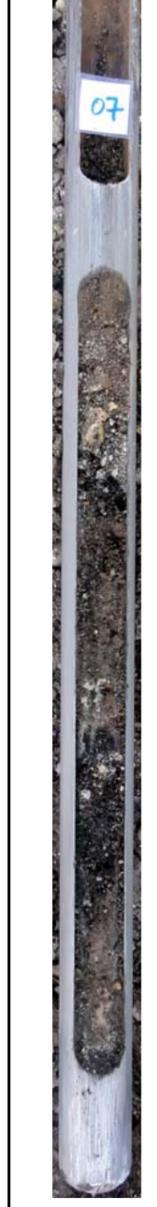
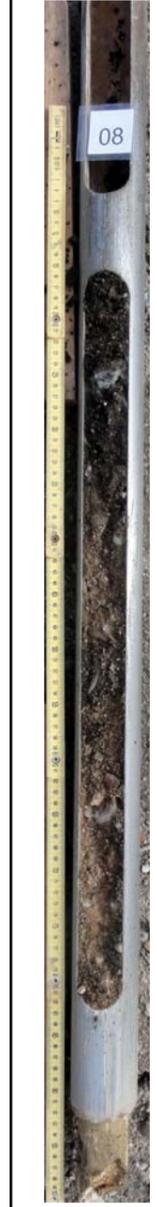
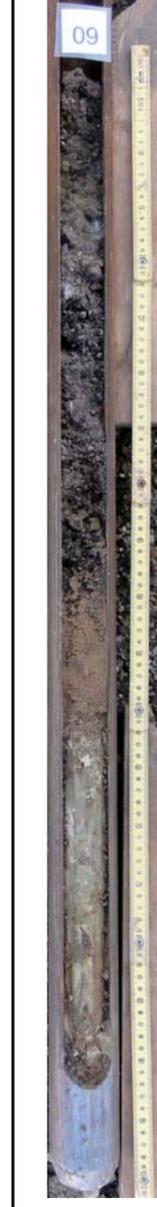
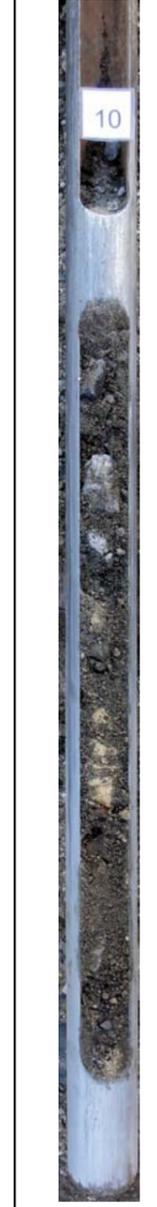
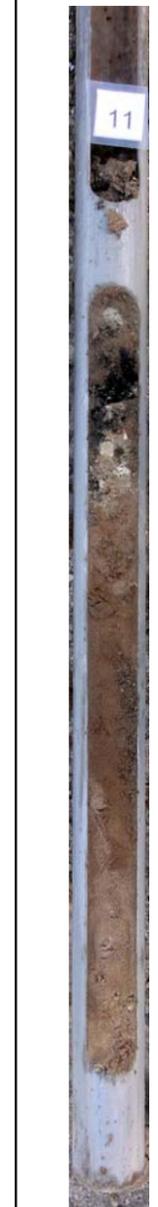
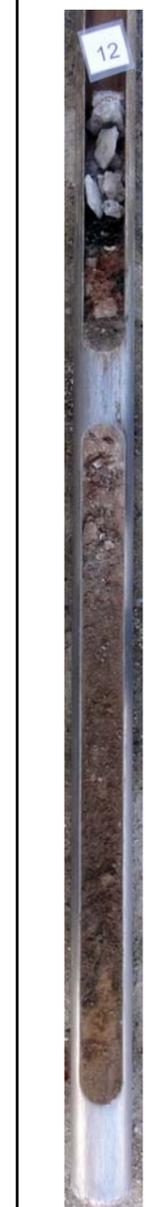
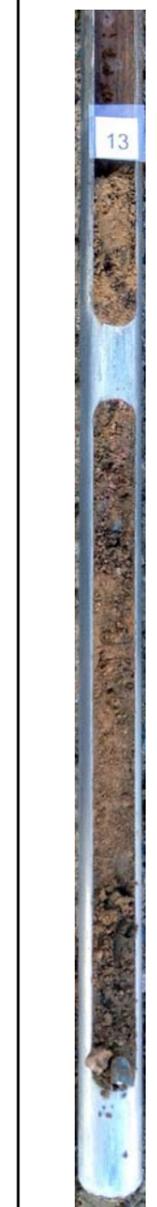
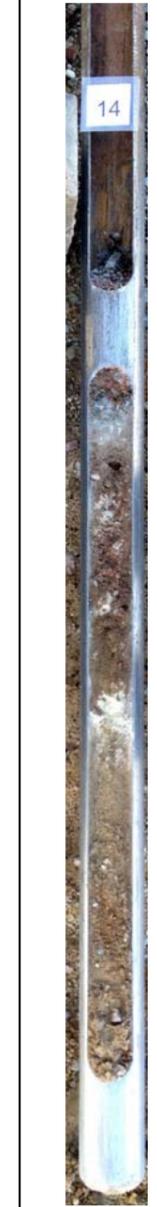
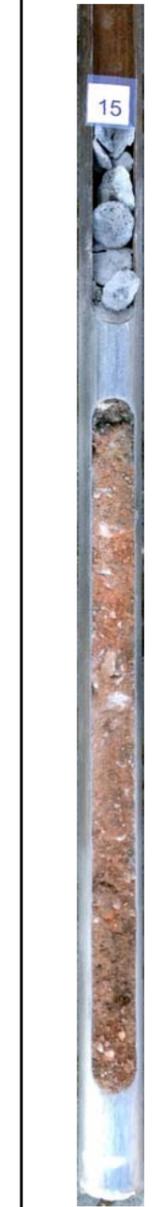
MBS01	MBS02	MBS03	MBS04	MBS05	MBS06	MBS07	MBS08	MBS09	MBS10	MBS11	MBS12	MBS13	MBS14	MBS15
28,2± kBq/m ³	13,9 ±25% kBq/m ³	33,8 ±25% kBq/m ³	6,4 ±25% kBq/m ³	24,6 ±25% kBq/m ³	21,4 ±25% kBq/m ³	14,0 ±25% kBq/m ³	14,2 ±25% kBq/m ³	11,8 ±25% kBq/m ³	9,1 ±25% kBq/m ³	9,3 ±25% kBq/m ³	16,0 ±25% kBq/m ³	22,8 ±25% kBq/m ³	13,4 ±25% kBq/m ³	28,9 ±25% kBq/m ³
														

Abbildung 5a Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm) mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³

Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm)

mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³ (1000 Bq/m³); 1kBq = 1000 Bq = 1000 Becquerel = 1000 zerfallende Radonotope pro Sekunde

MBS16	MBS17	MBS18	MBS19	MBS20	MBS21	MBS22	MBS23	MBS24	MBS25	MBS26	MBS27	MBS28	MBS29	MBS30
28,9 ±25% kBq/m ³	32,8 ±25% kBq/m ³	6,5 ±25% kBq/m ³	11,4 ±25% kBq/m ³	16,5 ±25% kBq/m ³	13,2 ±25% kBq/m ³	11,5 ±25% kBq/m ³	4,7 ±25% kBq/m ³	14,1 ±25% kBq/m ³	13,7 ±25% kBq/m ³	26,1 ±25% kBq/m ³	17,7 ±25% kBq/m ³	18,5 ±25% kBq/m ³	18,8 ±25% kBq/m ³	28,2 ±25% kBq/m ³
														

Abbildung 5b Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm) mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³

Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm)

mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³ (1000 Bq/m³); 1kBq = 1000 Bq = 1000 Becquerel = 1000 zerfallende Radonatome pro Sekunde

MBS31	MBS32	MBS33	MBS34	MBS35	MBS36	MBS37	MBS38	MBS39	MBS40	MBS41	MBS42	MBS43	MBS44	MBS45	MBS46
12,9 ±25% kBq/m ³	4,8 ±25% kBq/m ³	19,6 ±25% kBq/m ³	17,5 ±25% kBq/m ³	17,4 ±25% kBq/m ³	12,0 ±25% kBq/m ³	11,7 ±25% kBq/m ³	9,8 ±25% kBq/m ³	10,3 ±25% kBq/m ³	10,3 ±25% kBq/m ³	9,8 ±25% kBq/m ³	14,0 ±25% kBq/m ³	14,4 ±25% kBq/m ³	13,2 ±25% kBq/m ³	13,1 ±25% kBq/m ³	10,3 ±25% kBq/m ³
															
					Kernrohr ohne Inhalt, z.T. in Hohlraum versackt										

Abbildung 5c Bodenprofile der Radonmesspunkte (0-100 cm) mit Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in KiloBecquerel/m³

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 höherer Konzentration auf als im mit der Bodenluft im Gleichgewicht stehenden Bodenwasser. Andererseits kann Radon mit dem Grundwasser herangeführt werden und freigesetzt werden, wenn die Temperatur- und/oder Druckbedingungen sich von denen an seinem Herkunftsort unterscheiden. Nasser oder gar wassergesättigter Boden kann wiederum als Diffusionssperre für den Aufstieg und die Migration von Radon wirken. Die Bodenfeuchte beeinflusst 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/Aufschüttungen waren trocken bis maximal mäßig feucht (Tab. 2). Ausnahmen davon stellen nur die in der Basis einiger Bohrungen angetroffenen lehmig-mergeligen Ablagerungen dar.

Bei den in der Messtiefe der Kernspurdetektoren beobachteten Bodenfeuchten können während des Beobachtungszeitraumes keine besonders niedrigen Emanationsraten angenommen werden. Ebenso kann eine Behinderung der Gaswegsamkeit durch Bodenfeuchte ausgeschlossen werden. Vielmehr stellen die relativ trockenen Sande und die schuttdominierten Auffüllungen der Radonexhalation nur einen geringen Diffusionswiderstand entgegen. Dies gilt auch für die Bohrungen im Bereich der Planstraße wo die Schwarzdecke durch die Bohrarbeiten bzw. vor allem durch das Ziehen der Kerne bis zu einem Meter weit um das Bohrloch aufgebrochen wurde. Dies belegen für diese Bohrungen auch die etwas höheren Bodenfeuchten im Oberboden am Ende der Dosimerauslage. Somit kann auch im Bereich der Schwarzdecke während des Zeitraumes der Radonmessungen nicht von einem effektiven Radonstau, wie etwa zukünftig unter Überbauung zu erwarten, ausgegangen werden.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Radonaktivitätskonzentration, Gaspermeabilität, Radonverfügbarkeitsindizes und Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	Dosimeter	Expositionsdauer		Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m ³]		Gaspermeabilität [m ²] in 100 cm Tiefe	Radonverfügbarkeitsindizes				Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
		Stunden	Tage	gemessen	witterungskorrigiert		Surbeck		Slunga		Einbau		Ausbau	
							RVI	RVI wittkorr	Rna	Rna wittkorr	90-100 cm	10-15 cm	90-100 cm	10-15 cm
MBS01	T02716	342	14,3	28,2	25,0	1E-13	2,8E-09	2,5E-09	1,5	1,5	18,8	6,2	17,3	4,2
MBS02	T02731	363	15,1	13,9	12,3	1E-13	1,4E-09	1,2E-09	1,2	1,2	12,6	10,9	10,2	8,2
MBS03	T00640	363	15,1	33,8	29,9	1E-13	3,4E-09	3,0E-09	1,6	1,6	13,3	15,5	12,9	11,5
MBS04	T02732	364	15,1	6,4	5,7	1E-12	6,4E-09	5,7E-09	1,0	0,9	16,1	14,9	16,3	13,7
MBS05	T01921	362	15,1	24,6	21,7	1E-13	2,5E-09	2,2E-09	1,5	1,4	19,4	15,7	17,4	13,5
MBS06	T02749	344	14,3	21,4	18,9	1E-11	2,1E-07	1,9E-07	1,6	1,5	11,2	5,9	10,1	5,3
MBS07	T02594	362	15,1	14,0	12,4	1E-11	1,4E-07	1,2E-07	1,4	1,3	13,3	14,5	14,2	8,3
MBS08	T02591	362	15,1	14,2	12,6	1E-12	1,4E-08	1,3E-08	1,3	1,3	17,3	3,5	16,0	2,9
MBS09	T02730	365	15,2	11,8	10,4	1E-12	1,2E-08	1,0E-08	1,2	1,2	13,7	7,6	13,5	4,9
MBS10	T00639	361	15,0	9,1	8,1	1E-11	9,1E-08	8,1E-08	1,2	1,1	13,5	8,9	13,5	6,6
MBS11	T01912	361	15,0	9,3	8,2	1E-11	9,3E-08	8,2E-08	1,2	1,1	4,7	16,2	5,2	9,7
MBS12	T02585	345	14,4	16,0	14,2	1E-11	1,6E-07	1,4E-07	1,4	1,4	4,4	4,8	3,8	5,2
MBS13	T01911	344	14,3	22,8	20,2	1E-11	2,3E-07	2,0E-07	1,6	1,5	11,2	5,9	10,6	4,0
MBS14	T02593	346	14,4	13,4	11,9	1E-11	1,3E-07	1,2E-07	1,4	1,3	4,2	4,8	6	3,1
MBS15	T02628	361	15,0	28,9	25,6	1E-12	2,9E-08	2,6E-08	1,6	1,6	13,6	1,9	11,4	2,5
MBS16	T02748	361	15,0	28,9	25,6	1E-12	2,9E-08	2,6E-08	1,6	1,6	14,7	4,1	14,0	3,6
MBS17	T02633	361	15,0	32,8	29,1	1E-12	3,3E-08	2,9E-08	1,7	1,6	14,9	5,4	13	2,5
MBS18	T01936	362	15,1	6,5	5,8	1E-11	6,5E-08	5,8E-08	1,0	1,0	4,6	7,6	4,5	5,1
MBS19	T01910	363	15,1	11,4	10,1	1E-11	1,1E-07	1,0E-07	1,3	1,2	6,1	6,1	5,4	3,3
MBS20	T02634	364	15,1	16,5	14,6	1E-11	1,7E-07	1,5E-07	1,5	1,4	7,5	2,4	8,7	3,0
MBS21	T02723	363	15,1	13,2	11,7	1E-11	1,3E-07	1,2E-07	1,4	1,3	19,8	13,7	18,7	12,6
MBS22	T02611	362	15,1	11,5	10,2	1E-11	1,1E-07	1,0E-07	1,3	1,2	11,2	5,7	11,2	5,1
MBS23	T02626	361	15,0	4,7	4,2	1E-11	4,7E-08	4,2E-08	0,9	0,9	13,2	9,6	13,3	7,2
MBS24	T02608	362	15,1	14,1	12,5	1E-11	1,4E-07	1,2E-07	1,4	1,3	10,2	10,1	12,5	8,5
MBS25	T02616	361	15,1	13,7	12,1	1E-11	1,4E-07	1,2E-07	1,4	1,3	7,6	7,2	6,4	7,4
MBS26	T02592	363	15,1	26,1	23,1	1E-13	2,6E-09	2,3E-09	1,5	1,4	12,9	15,1	11,1	7,7
MBS27	T02722	365	15,2	17,7	15,7	1E-13	1,8E-09	1,6E-09	1,3	1,3	15,7	4,2	12,8	3,0
MBS28	T02615	338	14,1	18,5	16,4	1E-12	1,8E-08	1,6E-08	1,4	1,4	13,7	9,7	13,7	8,8
MBS29	T02627	338	14,1	18,8	16,6	1E-12	1,9E-08	1,7E-08	1,4	1,4	13,7	9,7	12,8	9,1
MBS30	T02720	342	14,3	28,2	24,9	1E-13	2,8E-09	2,5E-09	1,5	1,5	18,8	6,2	19,2	4,8
MBS31	T02717	357	14,9	12,9	11,4	1E-13	1,3E-09	1,1E-09	1,2	1,1	16,2	7,1	14,3	2,4
MBS32	T02625	315	13,1	4,8	4,2	1E-11	4,8E-08	4,2E-08	0,9	0,9	10,3	7,5	12,1	8,2
MBS33	T02708	356	14,8	19,6	17,4	1E-13	2,0E-09	1,7E-09	1,4	1,3	15,7	10,2	13,2	6,8
MBS34	T02712	355	14,8	17,5	15,5	1E-12	1,7E-08	1,5E-08	1,4	1,3	30,9	2,8	28,6	5,4
MBS35	T02747	355	14,8	17,4	15,4	1E-11	1,7E-07	1,5E-07	1,5	1,4	5,7	3	6,1	5,8
MBS36	T02709	356	14,8	12,0	10,7	1E-11	1,2E-07	1,1E-07	1,3	1,3	5,8	4,9	6,3	6,0
MBS37	T02746	356	14,8	11,7	10,4	1E-11	1,2E-07	1,0E-07	1,3	1,2	6,7	3,7	4,9	5,7
MBS38	T02713	357	14,9	9,8	8,7	1E-11	9,8E-08	8,7E-08	1,2	1,2	5,6	4,3	5,5	7,2
MBS39	T02741	357	14,9	10,3	9,1	1E-11	1,0E-07	9,1E-08	1,2	1,2	4,2	4,3	4,5	6,1
MBS40	T02715	357	14,9	10,3	9,1	1E-11	1,0E-07	9,1E-08	1,2	1,2	4,9	1,9	4,5	6,4
MBS41	T02740	357	14,9	9,8	8,6	1E-11	9,8E-08	8,6E-08	1,2	1,2	4,6	1,9	4,4	5,3
MBS42	T02739	360	15,0	14,0	12,4	1E-11	1,4E-07	1,2E-07	1,4	1,3	6,6	3,5	5,2	4,7
MBS43	T02738	360	15,0	14,4	12,8	1E-11	1,4E-07	1,3E-07	1,4	1,3	3,7	3,2	3,6	6,3
MBS44	T02714	360	15,0	13,2	11,7	1E-11	1,3E-07	1,2E-07	1,4	1,3	5,2	3,5	4,7	5,2
MBS45	T02721	360	15,0	13,1	11,6	1E-11	1,3E-07	1,2E-07	1,4	1,3	5,9	3,2	5,2	4,7
MBS46	T02607	361	15,1	10,3	9,1	1E-11	1,0E-07	9,1E-08	1,2	1,2	6,7	9,7	5,9	7,3

7.2 Gaspermeabilität

Die Gaspermeabilität ist eine wichtige Größe zur Abschätzung der Radonverfügbarkeit im Untergrund. Die Radonkonzentration ist ein Maß für die im Untergrund pro Raumeinheit anstehende Radonmenge. Die Gaspermeabilität gibt dagegen Auskunft darüber wie groß das potentielle Einzugsgebiet ist, aus dem Radon in Richtung des Gebäudes strömen und dieses erreichen kann. Niedrige Radonkonzentrationen, aber hohe 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. Diskontinuitäten wie Risse, Hohlräume und Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

In den im Bebauungsplan angetroffenen Böden/Auffüllungen liegen die Gasdurchlässigkeiten in einem Meter Tiefe zwischen $k = 10^{-11} \text{ m}^2$ (Sande) bis $k = 10^{-13} \text{ m}^2$ (Schluffe, sandige Schluffe, mergelige Verfüllungen). In einigen Radonbohrungen wurden aber Hohlräume oder sehr locker gelagerte Böden festgestellt (z.B. MBS19, MBS23, MBS36). In diesen liegt kleinräumig die Gaspermeabilität um mehrere Größenordnungen über obengenanntem Wertebereich liegen.

Sollten bei der Anlage der Baugruben in den quartären Sedimenten kiesige Lagen oder in den tertiären Verfüllungsmaterialien oder im unverritzten Tertiär sandig/kiesige Lagen oder Hohlräume zutage treten, sind hier hohe Gaspermeabilitäten ($\gg 10^{-10} \text{ m}^2$) zugrunde zu legen und diese auch zur Grundlage der Einschätzung der Radonverfügbarkeit zu machen. Es ist dann eine entsprechende Neubewertung der Gaspermeabilität und daraus folgend der Radonverfügbarkeit vorzunehmen.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die Untersuchungsfläche liegt bei rund 90 m üNN und ist nahezu vegetationslos, z.T. durch Pflasterung und Schwarzdecke sowie Gebäude versiegelt. Sie ist mit Ausnahme der Fläche südwestlich der Mombacher Straße auch ansonsten weiträumig von nahezu vegetationslosen Flächen umgeben.

Für die Betrachtung des Einflusses der Witterung auf das Ergebnis der Radonmessungen in Mainz wird auf Wetterdaten der DLR Wetterstationen Oppenheim (128 m üNN), Mainz-Marienborn (153 m üNN) und Heidenfahrt (88 m üNN)

zurückgegriffen. Die Wetterstation Oppenheim (19 km südsüdöstlich von Untersuchungsfläche) dient vor allem der Anbindung der Radonpermanentstation in Oppenheim an die Witterungsbedingungen in Mainz.

Die Wetterstation Mainz-Marienborn, 5,3 km südsüdwestlich der Untersuchungsfläche an der Mombacher Straße, liegt dieser zwar am nächsten, aber 60 m höher. Das Umfeld der Wetterstation ist von ackerbaulich genutzten Flächen in ebener Lage geprägt.

In einer Entfernung von 11,4 km westlich der Untersuchungsfläche, liegt die Wetterstation Heidenfahrt in ähnlicher topographischer Höhe und ebener Lage in der Rheinaue, 200 m südlich des Rheinufers, 100 m südlich des Deiches und 230 m westlich des Ortsrandes von Heidenfahrt. Das Umfeld der Wetterstation ist von Obstplantagen geprägt.

Die Abbildungen 6a-c geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an den drei Wetterstation während des Zeitraums der Dosimetauslage zur Radonmessung an der Mombacher Straße.

Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen, sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalles dargestellt. Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages an. Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt. Die beiden oberen Diagramme zeigen die stündliche Veränderung der relativen Luftfeuchte und der Globalstrahlung. Der Zeitraum vor und nach der Dosimetauslage ist grau hinterlegt.

Die Auslageperiode ist ganz überwiegend von einer Strahlungswetterlage geprägt, mit meist warmen Tagesmaximallufttemperaturen über 15°C. In Heidenfahrt und Marienborn überschritten die maximalen Lufttemperaturen an einigen Tagen sogar die 20°C Grenze. Aufgrund der Strahlungswetterlage waren vor allem in Heidenfahrt und Marienborn kühle Nachttemperaturen zu beobachten, die in Heidenfahrt in Bodennähe regelmäßig, in 2 m Höhe über dem Boden teilweise die 0°C Grenze unterschritten. Die Bodentemperaturen belegen jedoch, dass der Boden bereits in 5 cm Tiefe sicher frost-

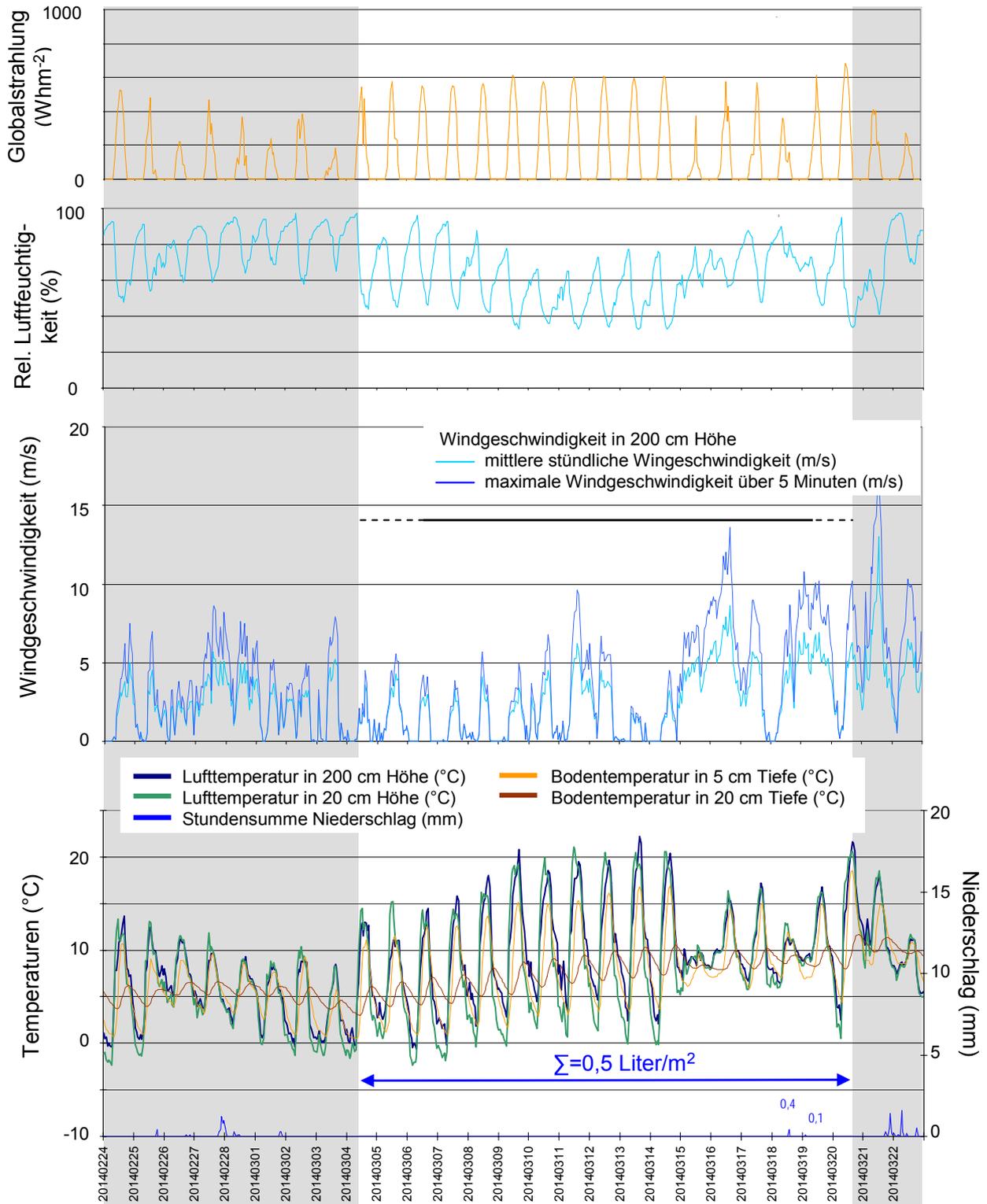


Abbildung 6a Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn des DLR RLP.

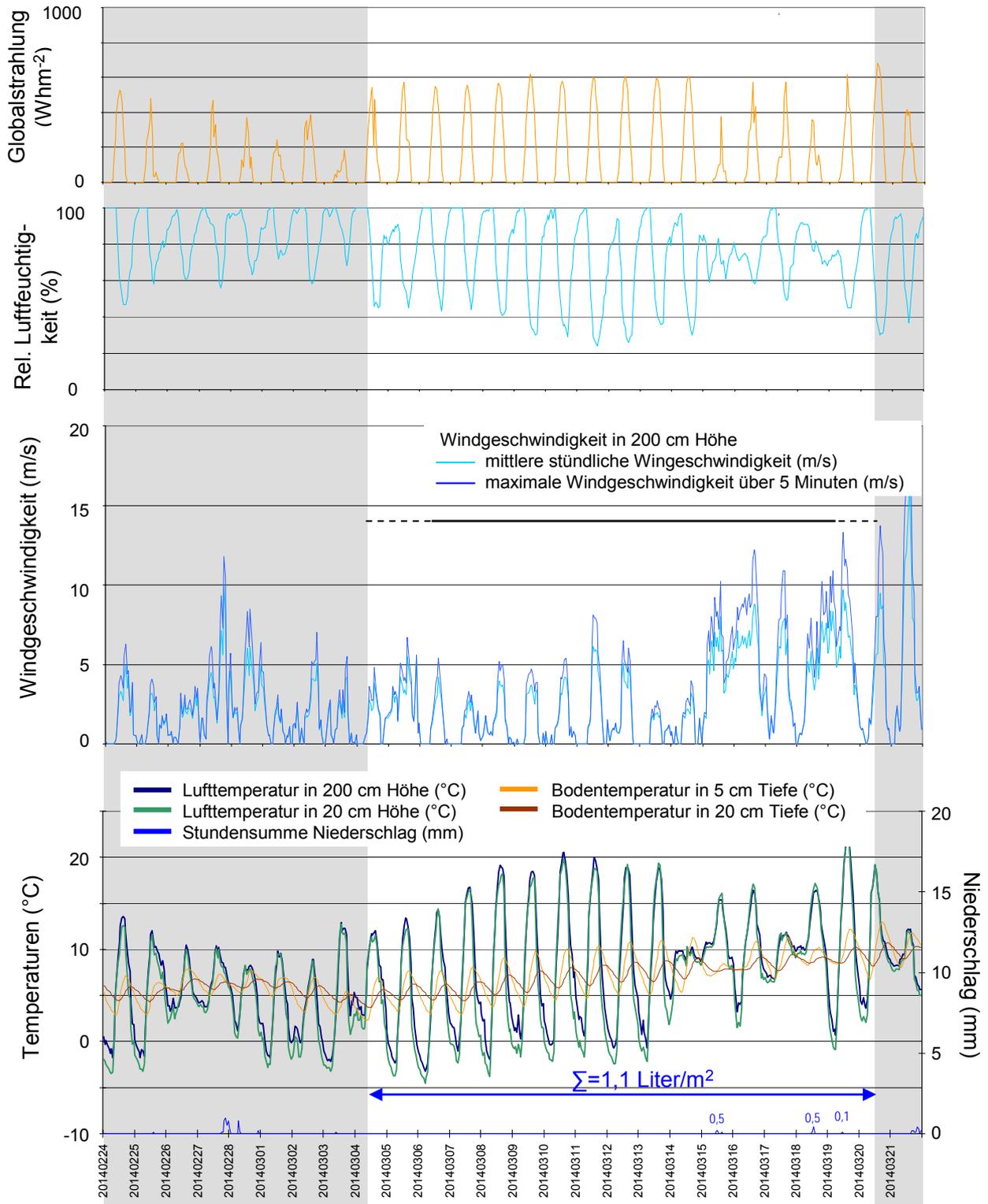


Abbildung 6b Ausgewählte Wetterdaten für die Station Heidenfahrt des DLR RLP.

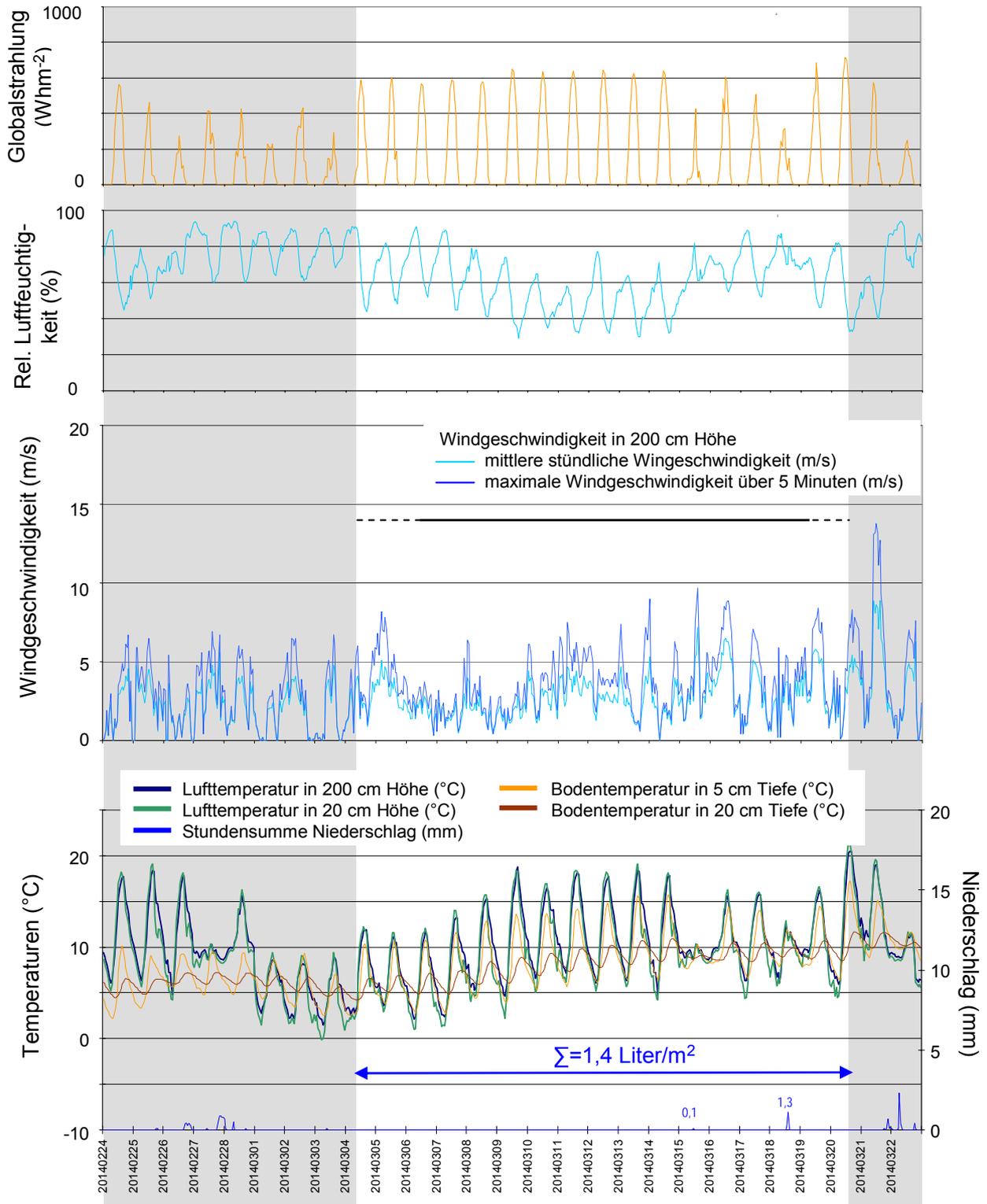


Abbildung 6c Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim des DLR RLP.

frei war. In Heidenfahrt führten die starken täglichen Temperaturamplituden zwar zu nächtlich hoher Luftfeuchtigkeit und Taufall, aber die äußerst geringen Regenfälle, insgesamt nur 0,5-1,4 Liter pro Quadratmeter über die gesamten zwei Wochen, ermöglichten trotz Frostgraden keine Versiegelung der Bodenoberfläche.

Entsprechend der Wetterlage sind die Windgeschwindigkeiten überwiegend gering, z.T. mit ausgeprägtem Tagesgang in Marienborn und Heidenfahrt. Nach dem 14. März ist in Oppenheim, vor allem aber in den windoffenen Lagen in Marienborn und Heidenfahrt eine Zunahme der Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen.

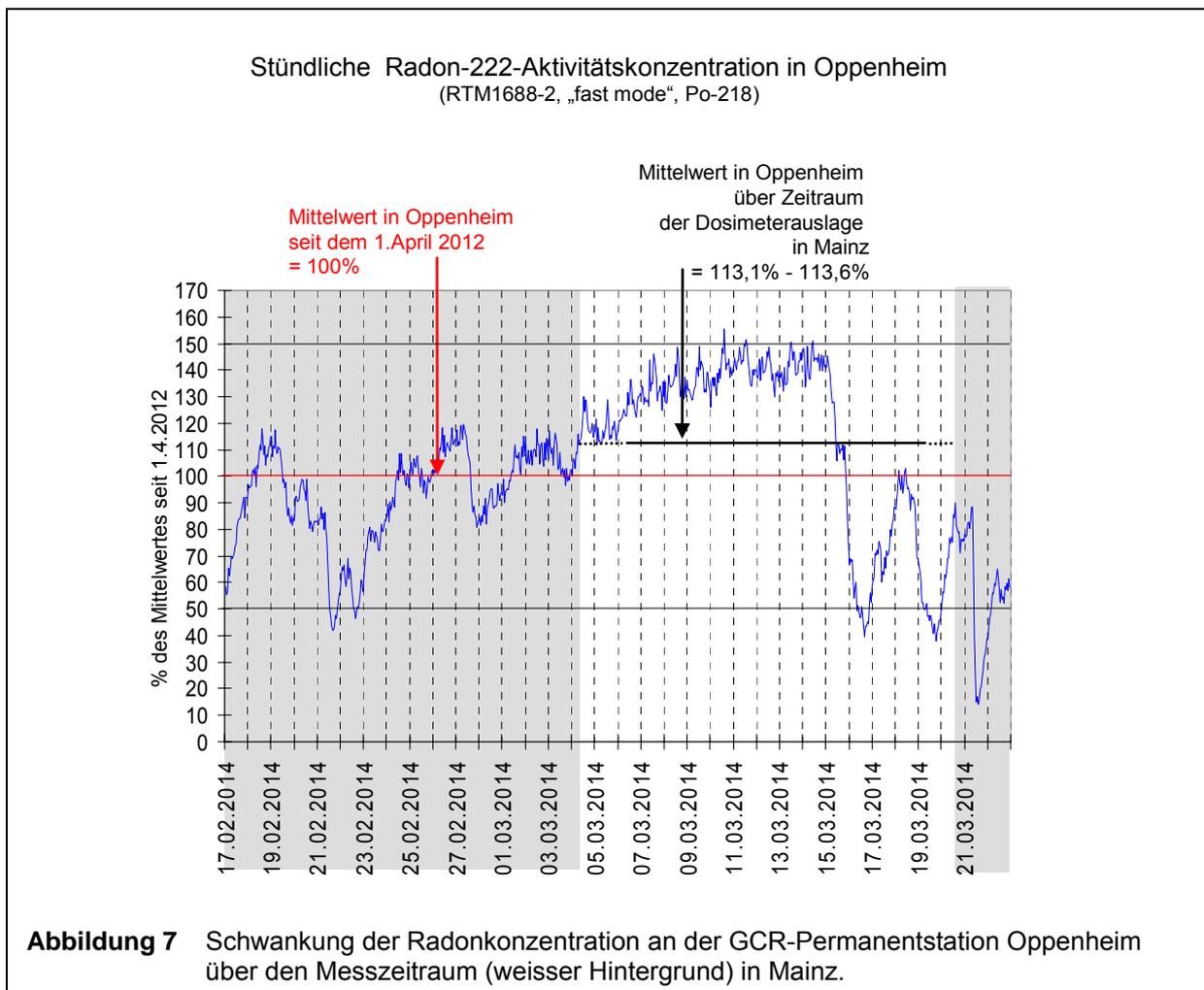
An einer von GeoConsult Rein betriebenen Radon-Permanentstation werden in Oppenheim stündlich die Radonwerte in 1 m Tiefe gemessen. Die Gasdurchlässigkeit des Bodens an dieser Station ist mäßig ($k=10^{-13} \text{ m}^2$).

Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration über den Zeitraum der Radonmessungen an der Mombacher Straße (04./06.03-19./20.03.2014) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration zwischen dem 04.03. - 20.03.2014 etwa 113% des Mittelwert der langfristig seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen (Abb. 7).

Die Strahlungswetterlage hat bei gleichzeitig mäßigen Windgeschwindigkeiten in Oppenheim zu einer Erhöhung der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe geführt. Kurzzeitmessungen auf der Untersuchungsfläche während dieser Phase, hätten witterungsbedingt um 30-50% zu hohe Radonkonzentrationen als Bemessungsgrundlage für Radonschutzmassnahmen ergeben.

Nach dem 15. März wirken sich die in Oppenheim nur leicht auffrischenden Winden bei gleichzeitig trockenen Böden und geringeren Einstrahlungswerten und geringeren täglichen Temperaturgängen in einer deutlichen Erniedrigung der Radonkonzentration im Boden aus, sodass einen Tag nach Ende der Radonmessungen in Mainz die Radonkonzentration im Boden auf unter 15% des langfristigen Mittelwertes fiel. Kurzzeitmessungen nach dem 15. März hätten zeitweise zu einer wesentlichen Unterschätzung der Radonkonzentration im Boden geführt.

Die sandigen und steinigen Böden auf der Untersuchungsfläche an der Mombacher Straße sind sehr viel gasdurchlässiger und damit anfälliger für Schwankungen der Radonkonzentration im Boden als der Boden an der Radonpermanentstation in



Oppenheim. Auch die Pflasterung auf einem Teil der Untersuchungsfläche und die im Bereich der Bohrungen aufgelockerte Schwarzdecke setzen dem Gasaustausch mit der Atmosphäre nur einen geringen Widerstand entgegen. Es muß deshalb auch für die Untersuchungsfläche eine starke zeitliche Dynamik der Radonkonzentration im Boden in Abhängigkeit von der Witterung angenommen werden.

7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radonaktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 2 dargestellt und in den Abbildungen 5a-5c den Bodenprofilen bzw. in Abbildung 8 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in der Abbildung 8 auf Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde) gerundet. Die über einen Zeitraum von 13 bzw. 15 Tagen (Tab. 2) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentration

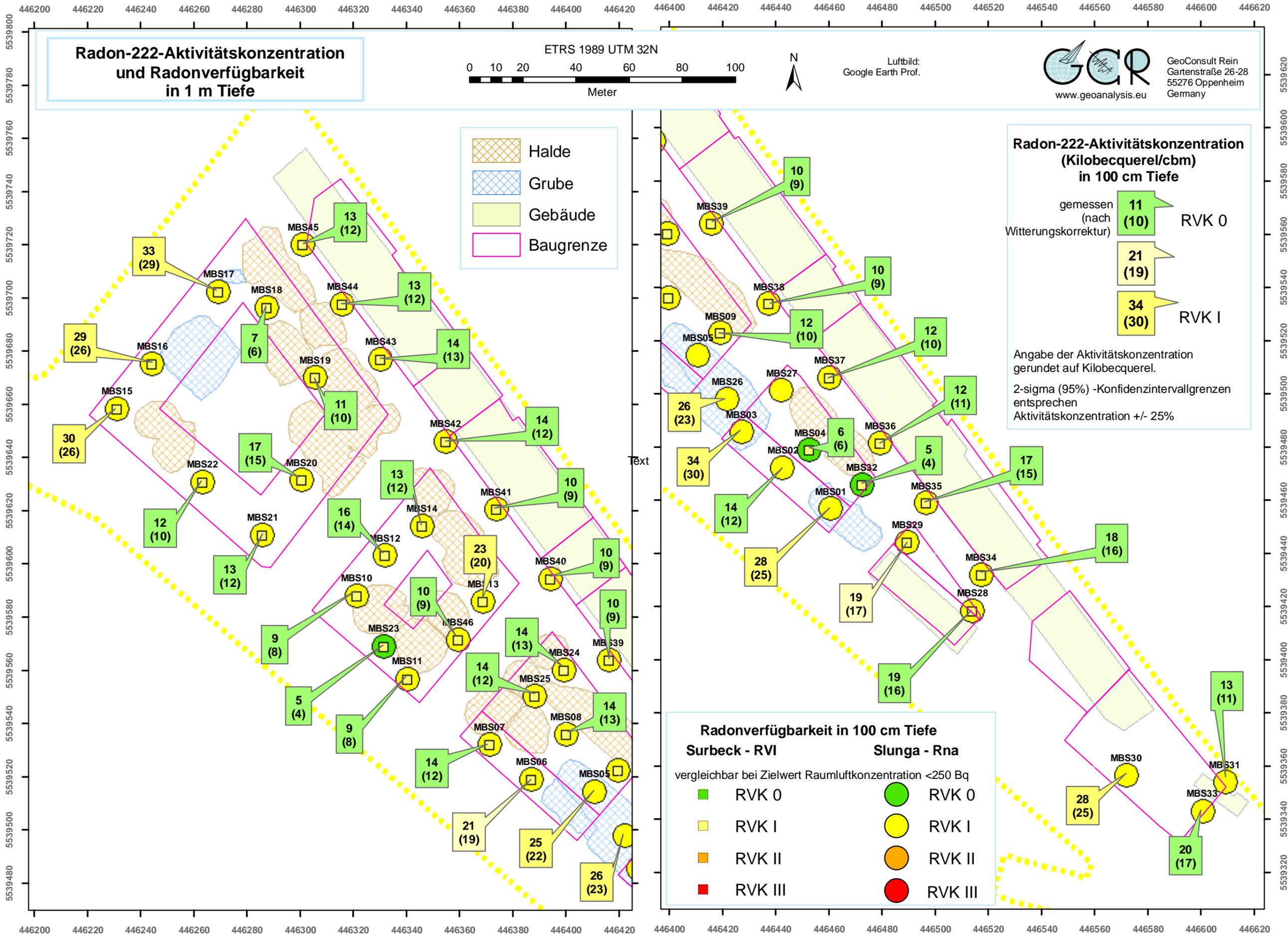


Abbildung 8 Radon-222-Aktivitätskonzentration und Radonverfügbarkeit im Boden in einem Meter Tiefe.

liegen in einem sehr niedrigen bis mäßig hohen Wertebereich von $4,6 \text{ kBq/m}^3 \pm 25\%$ bis $33,8 \text{ kBq/m}^3 \pm 25\%$ (2sigma) (Tab. 2, Abb. 5a-c, Abb. 8).

Aufgrund der Witterungsbedingungen (vgl. Kap. 7.3) während der Messungen ist davon auszugehen, dass die während der Beobachtungsperiode gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen höher sind als die langfristigen mittleren Radonaktivitätskonzentrationen, die Grundlage von Baumpfehlungen sein sollen.

Nach Witterungskorrektur ergeben sich die in Tabelle 2 in der Spalte „Radon-222-Aktivitätskonzentrationen → witterungskorrigiert“ und die in Abbildung 8 in Klammern dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen als $C_{Rn}/113 \cdot 100$.

Durchgängig niedrige Radonkonzentrationen wurden in den braunen Sanden gemessen oder da, wo gut gasdurchlässiger grober Schutt und Sande über der Messtiefe lagern. In den Böden, die tertiäre Sedimente enthalten, ergeben sich etwas höhere Radonkonzentrationen. Dies liegt zum einen daran, dass in den feinkörnigen Bodenhorizonten mehr Radon gebildet und freigesetzt wird, untergeordnet aber auch, weil diese Böden der Radonentgasung einen höheren Diffusionswiderstand entgegensetzen. Ähnlich hohe Radonkonzentrationen wie in den Bodenhorizonten mit tertiärem Material wurden auch in den schutt-dominierten nordwestlichsten Bohrungen MBS15-17 gemessen. Hier ist unklar, ob die Radonkonzentrationen von tieferliegenden Schichten verursacht wird, oder ob das Radon autochthon aus dem Schutt der Verfüllungen entsteht.

Die lokale Radonaktivitätskonzentration in den tieferliegenden tertiären Kalksteinen wurde nicht untersucht und ist lokal unbekannt. Sollten die Baugruben in Kalksteinbänke einschneiden oder bis innerhalb eines Meters an diese heranreichen, sind gesonderte Untersuchungen nötig.

Trotz der geringen Radonkonzentrationen ergeben sich aufgrund der überwiegend hohen Gaspermeabilitäten, die in der Tabelle 2 und Abbildung 8 dargestellten Radonverfügbarkeitsindizes nach Surbeck und Slunga, jeweils berechnet mit den gemessenen und den witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen. Der Radonverfügbarkeitsindex nach Surbeck ist bei Gaspermeabilitätswerten $< 10^{-12} \text{ m}^2$ nicht verlässlich, entsprechend sind die mit geringen Gaspermeabilitäten ($< 10^{-12} \text{ m}^2$) berechneten Indizes in der Tabelle grau hinterlegt. In Tabelle 2 grün hinterlegte Werte machen keine Radonvorsorge beim Bauen erforderlich.

Für die Mehrzahl der Radonmesspunkte (gelb hinterlegt) ergeben sich jedoch für beide Indexwerte übereinstimmend Werte, die begrenzte Radonschutzmassnahmen der niedrigsten Stufe nahelegen.

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen die in Tabelle 3 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung des geogenen Radonpotenzials (Radonaktivitätskonzentration) mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Tabelle 3 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz.

Klassifizierung	Radonaktivitätskonzentration (kBq/m ³ = Kilo-Becquerel/m ³)
Radonvorsorgegebiet 0	<20 kBq/m ³ (<20 000 Bq/m ³)
Radonvorsorgegebiet I	>20 – 40 kBq/m ³
Radonvorsorgegebiet II	>40 – 100 kBq/m ³
Radonvorsorgegebiet III	>100 kBq/m ³

Durch die Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz ist nur die Radonkonzentration (Radonpotenzial) berücksichtigt, der Einfluss der Gaspermeabilität des Baugrundes bleibt in Tabelle 3 unberücksichtigt, obwohl auf die Bedeutung der Gasdurchlässigkeit der Böden explizit hingewiesen wird.

Die Empfehlungen in diesem Gutachten erfolgen deshalb nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigen auch die gleichzeitig gemessene bodenphysikalische Faktoren, den Bodenaufbau und temporäre Variablen wie Bodenfeuchte und Witterungseinflüsse, die die innerhalb eines Zeitraums gemessene Radonaktivitätskonzentration beeinflussen und Einfluß auf die Radonverfügbarkeit im Boden haben.

Trotz zum Teil sehr niedriger Radonaktivitätskonzentrationen kleiner 20 kBq/m^3 (20.000 Bq/m^3), kann aufgrund der in Kapitel 7.3, Absatz 3 und in Kapitel 7.4 genannten Gründen, keine Teilfläche der Radonvorsorgegebietsklasse 0 (RVK 0) zugeordnet werden. Wegen der letztendlich entscheidenden Radonverfügbarkeit, der derzeit guten Belüftung der Böden, die unter großflächiger Überbauung stark eingeschränkt sein wird, erfolgt nach den Radonverfügbarkeitsindizes nach Slunga und Surbeck eine Einstufung des Baugrundes als Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I).

Diese Einordnung ergibt sich im vorliegenden Fall sowohl bei Verwendung der gemessenen Radonkonzentrationen als auch bei Verwendung der witterungskorrigierten Radonkonzentrationen. Selbst bei einer Verdoppelung der Radonkonzentration unter dem Gebäude durch eingeschränkte Exhalation nach Überbauung ergäben die Indizes bei gleichbleibender Gaswegsamkeit im Untergrund eine Einordnung als RVK I.

**Für die Bebauung auf der untersuchten Fläche werden deshalb Radonvorsorge-
maßnahmen empfohlen, die den Empfehlungen des Bundesamtes für
Strahlenschutz für das Bauen in Radonvorsorgegebietsklasse I folgen.**

Nach den Empfehlungen des Bundesamtes für Strahlenschutz umfassen die zu treffenden Radonschutzmaßnahmen in einem Gebiet der Radonvorsorgeklasse I folgende Maßnahmen:

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: $\geq 15 \text{ cm}$).
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind.
3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien, bzw. Verwendung gasdichter Komponenten für Durchführungen.
4. Zuführung der Verbrennungsluft für Heizkessel u.ä. von außen.

Damit ist bereits mit einfachen Baumassnahmen ein wirksamer Radonschutz zu erreichen. Die Art der geplanten Gebäude und damit verbundener Mindeststandards beim Bauen (Dicke der Bodenplatte, verwendete Materialien

zur Feuchteabwehr, Heizungsanlage) legen nahe, dass ein wirksamer Radonschutz gegeben ist. Lediglich sollte bei der Abdichtung von Durchführungen durch die erdberührten Gebäudeteile darauf geachtet werden dass diese mit gleichzeitig radondichten Materialien ausgeführt werden. Dadurch entstehen in der Regel keine Mehrkosten im Vergleich zu reinen Feuchteschutzmassnahmen.

Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird empfohlen den Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen. Sollten im Baugrund Kieshorizonte, Kalksteinbänke, verkarstete Kalke oder andere Hohlräume angeschnitten werden, sollte unbedingt der Radongutachter hinzugezogen werden.



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

Oppenheim, 12.04.2014