Bericht

Radonbelastung in der Bodenluft

Mainz-Ebersheim / BPL „Wohnen auf dem alten Druckereigelände (E69)."
Projektnummer 20141008_Rn222_EAD

GeoConsult Rein

Gartenstrasse 26-28
55276 Oppenheim
www.geoanalysis.eu

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

Auftraggeber :
TRAUMHAUS Siedlungsgesellschaft mbH
Borsigstraße 20A
65205 Wiesbaden

12. Novemberer 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	8
5.	Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme	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	16
7.3	Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes	17
7.4	Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit	23
8.	Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung	26

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1	Lage der Untersuchungsfläche	7
Abbildung 3	Gamma-Strahlungsaktivität in 1 Meter Höhe über dem Boden	11
Abbildung 3	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Zornheim	18
Abbildung 4	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Mainz-Marienborn	19
Abbildung 5	Ausgewählte Wetterdaten für die Station Oppenheim	20
Abbildung 6	Schwankungen der Radonaktivitätskonzentration an der Permanentstation Oppenheim über den Messzeitraum in Dirmstein	22
Abbildung 7	Radon-222-Aktivitätskonzentration im Boden in einem Meter Tiefe	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1	Schichtenverzeichnis der Radonmessbohrungen	13
Tabelle 2	Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen	15
Tabelle 3	Radonaktivitätskonzentrationen	23
Tabelle 4	Radonverfügbarkeit	26
Tabelle 5	Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz	27

1. Auftrag

Die TRAUMHAUS Siedlungsgesellschaft mbH, Borsigstraße 20A, 65205 Wiesbaden beauftragte Radonmessungen mit gutachterlicher Stellungnahme zur der in Abbildung 1 abgegrenzten noch zur Bebauung verbleibenden Teilfläche des Bebauungsplanes „Wohnen auf dem alten Druckereigelände - E69" in Mainz-Ebersheim.
Die Radonkonzentration im Boden sollte untersucht werden, um festzustellen, ob Massnahmen zum Schutz vor Radon bei der Bebauung des Geländes zu empfehlen sind.

2. Verwendete ortsbezogene Materialien

- Bebauungsplan vom Auftraggeber bzw. der Stadt Mainz vorab zur Verfügung gestellt.
- ASTER-Höhenmodelle
- Geologische Karte GK25 Blatt 6015 (1989)
- Geologische Übersichtskarte RLP 1:300.000 (GUEK300, 2003)
- Wetterdaten des DLR der Stationen Mainz-Marienborn, Zornheim und Oppenheim

3. Grundlagen zum Thema Radon

3.1 Was ist und woher kommt Radon?

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

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

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

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

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

3.2. Geologische und bauliche Einflüsse auf die Radonkonzentration in Gebäuden

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

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

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

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

Technische Einflüsse des Bauwerks (vereinfachte Darstellung):

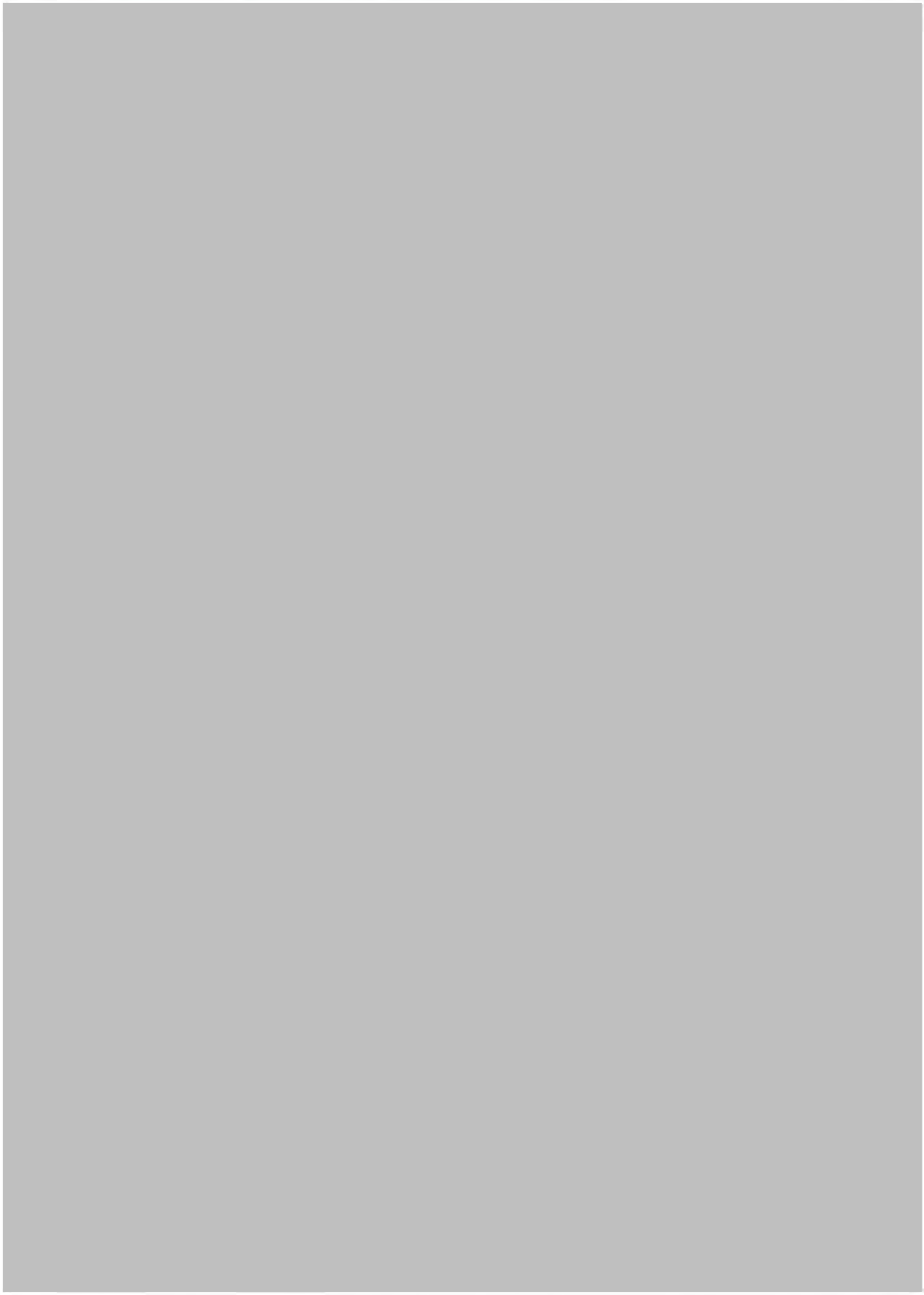
- Dichtigkeit des Gebäudes gegen Radoneintritt durch die Bodenplatte und erdberührende Wände (v.a. Mikro- und Makrorisse, Wanddurchführungen von Rohren, Porosität des Baumaterials).
- Luftdichtigkeit der Fenster und Türen sowie das Lüftungsverhalten der Benutzer.
- Vertikale Wegsamkeiten innerhalb des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

Geologische Eigenschaften des Baugrunds (vereinfachte Darstellung):

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

3.3 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 zulässt. Die EU-Richtlinie muß bis spätestens zum 1.1.2018 in nationales Recht umgesetzt werden.



Den EU-Mitgliedsstaaten bleibt es überlassen gegebenenfalls auch schärfere nationale Grenzwerte unterhalb 300 Bq/m^3 zu festzulegen.

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

4. Lage und Zustand der Untersuchungsfläche

Die Fläche des Bebauungsplanes liegt in südlicher Ortsrandlage von Mainz-Ebersheim, westlich der „Senefelder Straße" und nördlich des Ost-West verlaufenden Teilstückes der Straße „In den Teilern". Der nördlichste Teil, im Bereich einer Wiese, fällt bis zu der Ost-West verlaufenden Tiefenlinie (s. Höhenprofil in Abb. 1) etwa im Bereich des Baum-/Gebüschbestandes flach nach Süden ein. Südlich der Tiefenlinie steigt der Hang flach, aber mit zunehmender Steigung nach Süden bis auf eine topographische Höhe von rund 208 m üNN an.

Bei den im zentralen Bereich im Luftbild erkennbaren großflächigen Gebäuden handelt es sich um eine ehemalige Druckerei, deren Grundfläche auch als Verebnung im Hangprofil erkennbar ist. Über eine nicht natürliche Geländestufe geht das südlich anschließende Areal in eine parkähnliche, landschaftsgärtnerisch intensiv überprägte Fläche über, in deren östlichem Teil ein Wohngebäude steht.

Die Ackerfläche im südlichsten Teil der Untersuchungsfläche war zum Zeitpunkt der Radonmessungen noch mit Zuckerrüben bewachsen, im südwestlichsten Teil, westlich von „D" von Wiese bewachsen. Die Ackerfläche nördlich von „C" bis zu dem Wirtschaftsweg war ehemals ein Getreidefeld, das aber mindestens in 2014 nicht mehr bewirtschaftet wurde. Diese Fläche war etwa kniehoch verkrautet.

Im Gegensatz zum Zustand im Luftbild, war die Fläche nordwestlich von „C" bereits bebaut, sodass sich die Untersuchungsfläche westlich von „C" nur auf eine kleine Teilfläche beschränkte.

5. Einbringen und Bergen der Dosimeter/Exposimeter und Bodenprobennahme

Als Planungsgrundlage für die auszuführenden Arbeiten wurde der vom Auftraggeber zur Verfügung gestellte Bebauunsplan genutzt. Der Plan wurde mit Hilfe von Flurstückeckpunkten referenziert und geokodiert (ETRS89 UTM32N).

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

Vor Einbringen der Kernspurdetektoren (in der Folge nur Dosimeter genannt) wurde die Fläche am 8. Oktober 2014 in 1 Meter Höhe über dem Boden mit einer Heger-Gamma-Sonde auf Anomalien der Gamma-Strahlung untersucht, um möglicherweise Hinweise auf durch Gesteinswechsel oder tektonische Störungen verursachte Heterogenitäten im oberflächennahen Untergrund zu finden. Die Integrationszeit je Messpunkt betrug 50 Sekunden.

Die Radonmessbohrungen wurden als Handbohrungen mit 60 mm Durchmesser bis in 1 Meter Tiefe ausgeführt. Der Einbau der Dosimeter in die Basis der Bohrungen in einem Meter Tiefe erfolgte am 9. bzw. 13. Oktober 2014 mit speziell zur Langzeit-Radonmessung von GeoConsult Rein entwickelten Sonden.

Die Langzeitmessungen der Radon-222-Aktivitätskonzentration (in der Folge verkürzt auch als Radonkonzentration oder Radonaktivitätskonzentration bezeichnet) erfolgten mit zertifizierten Dosimetern und entsprechend einem weiterentwickelten Verfahren, das auf Messmethoden fußt, die von GeoConsult Rein (GCR) für das Land Rheinland-Pfalz entwickelt wurde. Die Weiterentwicklungen betreffen vor allem den Feuchteschutz der Exposimeter, vor direktem Wasserzutritt als auch durch Kondensation bei Taupunktunterschreitungen.

Zusätzlich zu den Langzeitmessungen wurde am 21.10.2014 eine Kurzzeitmessstation 1 Meter entfernt von der Langzeitmessstation EAD5 eingerichtet (Sonde zur Bodenluftabsaugung verblieb vom 21. bis zum 27. Oktober im Boden). Hier wurden am 22.10 und am 27.10.2014 jeweils drei bzw. zwei aufeinanderfolgende Messsungen der Radonaktivitätskonzentration mit einem Alphaspektrometer (RTM-1688-2) im Fast-Mode (20 min) durchgeführt, um die Sensitivität des Untergrundes des Bauplatzes auf

witterungsbedingte Schwankungen der Radonkonzentration zu testen. Vor der jeweils ersten Messung beider Kurzzeitmesstermine wurde vor dem Ansaugen zur 1. Messung 14 Minuten vorgepumpt.

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

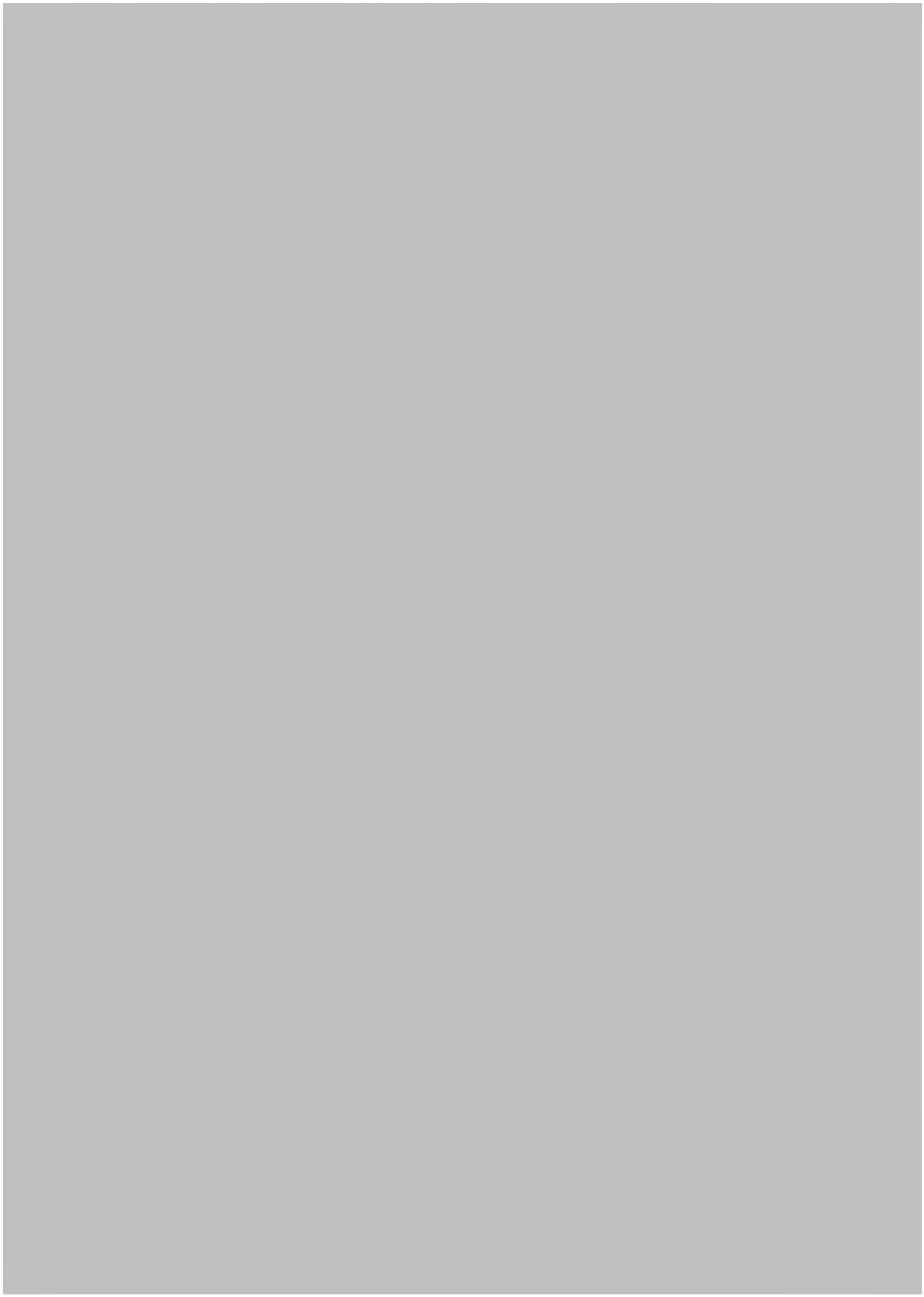
Nach Einbringen der Sonden wurden die Bohrungen mit dem Bohrgut unter Beachtung der Entnahmereihenfolge rückverfüllt und auf die ursprüngliche Lagerungsdichte verdichtet. Massendefizite aufgrund z.B. der Probennahme wurden durch in der Nähe entnommenes Oberflächenmaterial ausgeglichen.

Die Bergung der Dosimeter und eine erneute Bodenprobenentnahme aus 110 cm Tiefe(unmittelbar unter der Messtiefe), sowie des Oberbodens erfolgten am 27. Oktober 2014. Die Auslagedauer der Dosimeter betrug somit 14 bzw. 18 Tage (s. Tab. 2).

6. Ergebnisse der Feldarbeiten

6.1. Gammastrahlungsaktivität

Die Gammastrahlungsaktivität kann 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. Die Gammastrahlungsaktivität ist wegen beitragender Nuklide, die in keiner Verbindung zu Radon stehen, und wegen der geringen Tiefenreichweite, die zudem durch temporär wechselnde Faktoren beeinflußte ist, kein zwingender Proxy für die Radonkonzentration im Untergrund.
Die gemessenen Gammastrahlungsaktivitäten liegen in einem relativ zur Größe der Fläche weiten Wertebereich zwischen 70 - 160 Impulsen pro Sekunde (Abb. 2). Strahlungsaktivitäten größer von mehr als 125 Impulsen/Sekunde sind innerhalb der Untersuchungsfläche weitgehend auf anthropogen aufgebrachte Materialien, wie z.B. Rhyolithschotter verursacht. Besonders niedrige Werte wurden im Bereich des Garten südlich der Druckerei gemessen.



Tendenziell niedriger sind die Gammastrahlungsaktivitäten im südlichen Teil der Untersuchungsfläche. Die entlang der Senefelder Straße östlich der Untersuchungsfläche gemessenen Strahlungsaktivitäten sind z.T. durch in den Acker verschleppte Materialien aus dem Wegebau verursacht, können aber auch durch Düngung mit Phosphat- und Kalidüngern verursacht sein. Eine Messung auf der gegenüberliegenden Seite der Straße, innerhalb der Untersuchungsfläche, war nicht sinnvoll, weil hier topografische (volumetrische) Effekte, durch kleinräumig wechselnde Aufschüttungen und Abgrabungen das Signal überprägen.

6.2 Geologie und Böden der untersuchten Flächen

Der Bebauungsplan liegt überwiegend im Bereich der quartären Lösse/Schwemmlösse, die bei Ebersheim 10 Meter mächtig werden können. Im nördlichen Teil besteht der oberflächennahe Untergrund gemäß den geologischen Karten aus Abschwemmmassen.
Zur Mächtigkeit der Lößauflage im Bereich des Bebauungsplanes liegen dem Gutachter keine Erkenntnisse vor, jedoch beträgt diese gemäss eigener Erkundungsbohrungen im südwestlichen Teil mindestens 3 Meter.

Die Bohrungen zur Einrichtung der Radonmessstationen haben den in Tabelle 1 (Lage der Bohrpunkte siehe Abb. 7) beschriebenen Bodenaufbau ergeben.
Im ehemals bzw. noch immer landwirtschaftlich genutzten südwestlichen Teil (EAD1, EAD7-9) beträgt die Oberbodenmächtigkeit über den Schluffen 20-40 Zentimeter. An Lokation EAD8 war der Boden bis in 70 cm Tiefe stark aufgelockert.
Im nördlichen Teil des Bebauungsplanes, im Bereich der Wiese, bestätigen die Bohrungen (EAD5-6) die Lage dieser Messpunkte in Abschwemmmassen, während die oberen 40 cm in EAD 6 sicher aus Auffüllungen, in EAD5 möglicherweise aus Auffüllungen/Anschüttungen bestehen.
In der unter Bäumen gelegenen Bohrung EAD2 folgten unter einer 10 cm mächtigen Humusauflage Schluffe mit wechselnden Anteilen von Steinen und Kalkkonkretionen.

Tabelle 1: Schichtenverzeichnis der Bohrungen (Lage der Bohrpunkte s. Abb. 7)

Bohrung	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Tiefenangaben in cm	
EAD1			0-20	Oberboden, braun
			20-100	Schluff, beige
EAD2			0-10	Humusauflage
			10-30	Schluff, braun-beige
			30-50	Schluff, beige mit Steinen
			50-85	Schluff, braunbeige mit Steinen und Kalkkonkretionen
			85-100	Schluff, hellbeige,
			20-100	durchgängig sehr trocken
EAD3			0-8	Pflasterung
			8-60	Schotter/Splitt
			60-70	Schluff, graubraun
			70-100	Schluff, beige
EAD4			0-70	Schluff, graubraun
			70-100	Schluff, gelbbraun-orangebraun
EAD5			0-40	Melange aus beige und baun (Auffüllung?)
			40-100	Schluff, schwach tonig, braun
EAD6			0-45	Auffüllung (Boden mit Steinen)
			45-100	Schluff, schwach tonig, braun (Auffüllung?)
			90	Steine
EAD7			0-35	Oberboden, braun
			35-40	Übergang
			40-100	Schluff, beige – gelbbraun
EAD8			0-35	Oberboden, braun
			35-40	Übergang
			40-100	Schluff, gelbbeige
EAD9			0-35	Oberboden, schluffig, braun-beige
			35-40	Übergang
			40-100	Schluff, beige
			-70	Sehr locker gelagert
			≥90	Mit Steinen und Kalkkonkretionen
EAD10			0-55	Sand/Schotter (Auffüllung)
			55-100	Schluff
EAD11			0-60	Sand/Schotter (Auffüllung)
			60-100	Schluff
				Beim Bergen 5 cm unterhalb Sonde Wasser
EAD12			0-30	Schluff mit Humus, braun-beige
			30-100	Schluff, beige, sehr locker gelagert und mit Makroporen bis 1 cm Durchmesser (Wurzelröhren?, aber ohne Wurzelreste)
				Hohlräume bei 100 cm (Ø 5-10 cm)

Wichtig für die Interpretation der Radonmessungen in dieser Bohrung ist, dass sie unterhalb 20 cm Tiefe durchgängig sehr trocken war, mit entsprechend geringem

Diffussionswiderstand für den Bodengastransport. Ein ähnlicher Effekt ist für EAD12 zu berücksichtigen. Der Boden ist an dieser Lokation (vgl. auch EAD8) sehr locker gelagert und enthält eine Vielzahl von Makroporen (u.a. Wurzelröhren).
Die Bohrungen EAD10 bzw. EAD11 liegen im Bereich der geschotterten Flächen westlich und nördlich der Druckereigebäude. EAD11 liegt 1-2 Meter tiefer als die natürliche Geländeoberkante 5-10 Meter westlich und südlich von der Radonmessbohrung. Die Mächtigkeit der sandigen Schotterauflage über den Schluffen beträgt hier 50-60 Zentimeter.
EAD4 und EAD3 liegen im östlichen Bereich des Bebauungsplanes. Während EAD4 einen naturnahen Bodenaufbau zeigt, liegt EAD3 im Bereich einer gepflasterten Fläche (Betonpflastersteine), deren Unterbau aus Splitt und sandigem Schotter bis in 60 cm Tiefe reicht.

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 Radonverteilungs-ungleichgewichtes 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. Nasser oder gar wassergesättigter Boden kann wiederum diffusionshemmend bzw. 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.

Aufgrund der Bodenfeuchtebedingungen können während der Radonmessungen in Mainz-Ebersheim unterdurchschnittliche Radonemanationsraten oder

überdurchschnittliche Exhalationsraten für die Mehrzahl der Bohrungen ausgeschlossen werden.

Tabelle 2: Radonmesspunkte mit Bodenfeuchte zum Zeitpunkt der Radonmessungen.

Messpunkt	X ETRS89 UTM32N	Y ETRS89 UTM32N	Bohrtiefe cm	Bodenfeuchte (Wassergehalt %)			
				90-100 / 100-110 cm		10-15 cm	
				09./13.10.14	18.09.14	09./13.10.14	18.09.14
EAD1	446283	5529040	100	10	11	14	12
EAD2	446354	5529100	100	5	5	12	11
EAD3	446327	5529190	100	15	16	7	5
EAD4	446310	5529230	100	10	11	14	15
EAD5	446304	5529300	100	22	17	15	15
EAD6	446221	5529270	100	18	16	12	15
EAD7	446236	5529150	100	18	16	19	16
EAD8	446274	5529130	100	15	13	16	16
EAD9	446281	5529100	100	14	13	17	17
EAD10	446242	5529220	100	18	24	6	8
EAD11	446250	5529170	100	16	24	6	7
EAD12	446309	5529120	100	14	14	19	17

Abweichend davon muß für EAD2 festgestellt werden, dass aufgrund der geringen Bodenfeuchte die Emanationsrate im Vergleich zu den anderen Bohrungen erniedrigt war. Mit Beseitigung des Vegetationsüberstandes und zunehmender Bodenfeuchte wird sich die Emanationsrate hier erhöhen.

Auch hinsichtlich der Exhalationsrate stellt EAD2 eine Sondersituation dar, weil die Schluffe unterhalb 20 cm Tiefe durchgängig ähnlich trocken waren wie in der Radonmesstiefe. Aufgrund der sehr geringen Bodenfeuchte kann eine vergleichsweise ungehinderte Entgasung des im Boden entstandenen Radon erfolgen. Nach Erfahrungen aus GCR-eigenen Testreihen in Lössen andernorts, führen die beobachteten Bodenfeuchten von 5% in Lössen zu einer Erniedrigung der Radonkonzentration in 1 Meter Tiefe auf durchschnittlich 70-80% des langfristigen Mittels.

EAD11 liegt im Randbereich der Abgrabungen für die Druckerei und deshalb nahe der höher gelegenen natürlichen Geländeoberkante. Hier wurde beim Bergen der Radonsonde festgestellt, dass etwa 10 cm unterhalb der Sondenbasis ein Wasserspiegel stand. Seit wann dieser hohe Wasserstand bestand und wie mächtig die wasserführende Schicht ist, ist nicht bekannt. Für diese Messbohrung muß

zumindest temporär eine geringere Radonzufuhr aus unterhalb 110 cm Tiefe berücksichtigt 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, Tone) mit hoher Radonkonzentration errichtet sind. Bereits wenige Diskontinuitäten wie Klüfte, Schichtflächen, Risse, Hohlräume und Ähnliches können die Gaspermeabilität des Untergrundes aber um mehrere Größenordnungen erhöhen.

Desweiteren haben vertikale Änderungen der Gaspermeabilität entscheidenden Einfluß auf die Möglichkeit der Radonexhalation.

In den im Bebauungsplan angetroffenen Schluffen und schwach sandig/tonigen Schluffen liegen die Gasdurchlässigkeiten aufgrund der Korngrößenverteilung in einem Meter Tiefe in einem Bereich von $k = 2*10^{-13}\ m^2 - 10^{-13}\ m^2$. Durch Wurzeln oder anderweitig verursachte Megaporen waren unterhalb 50 cm nur in EAD8 und EAD12 zu finden. Einen geringeren vertikalen Diffussionswiderstand (Gaspermeabilität $\sim k = 2*10^{-8}\ m^2 - 10^{-10}\ m^2$) als in den anderen Bohrungen bieten auch die sandigen Schotter im oberen Teil der Bohrungen EAD3, EAD10 und EAD12. Aufgrund extremer Bodentrockenheit ist auch in den Schluffen EAD2 die vertikale Gaspermeabilität höher. Vor allem an diesen Standorten wird nach Überbauung der relative Anstieg der Radonkonzentration am höchsten sein.

7.3 Witterungseinflüsse während des Messzeitraumes

Die nächstgelegene Wetterstation Zornheim (238 m üNN) liegt 2,7 Kilometer SW der Untersuchungsfläche in landwirtschaftlicher Nutzfläche, nördlich von Zornheim, in stark exponierter Kuppenlage. Aufgrund der starken Exposition und von der Untersuchungsfläche sehr unterschiedlicher Randbedingungen, ist diese Wetterstation ungeeignet für die Beurteilung der Witterungseinflüsse auf die Radonmessungen in Mainz-Ebersheim.

Die Wetterstation Mainz-Marienborn (153 m üNN) liegt 5,4 Kilometer NNO von der Untersuchungsfläche (200 m üNN). Die Wetterstation liegt östlich des Siedlungsrandes und östlich der A63 in offenem und flachem Gelände.

Die Wetterstation Oppenheim DLR liegt am Übergang vom Mittel- zum Unterhang eines ostexponierten Weinberges bei 128 m üNN, 10 km SO der Untersuchungsfläche. Diese Wetterstation liegt zudem nahe der Radonpermanentstation von GCR.

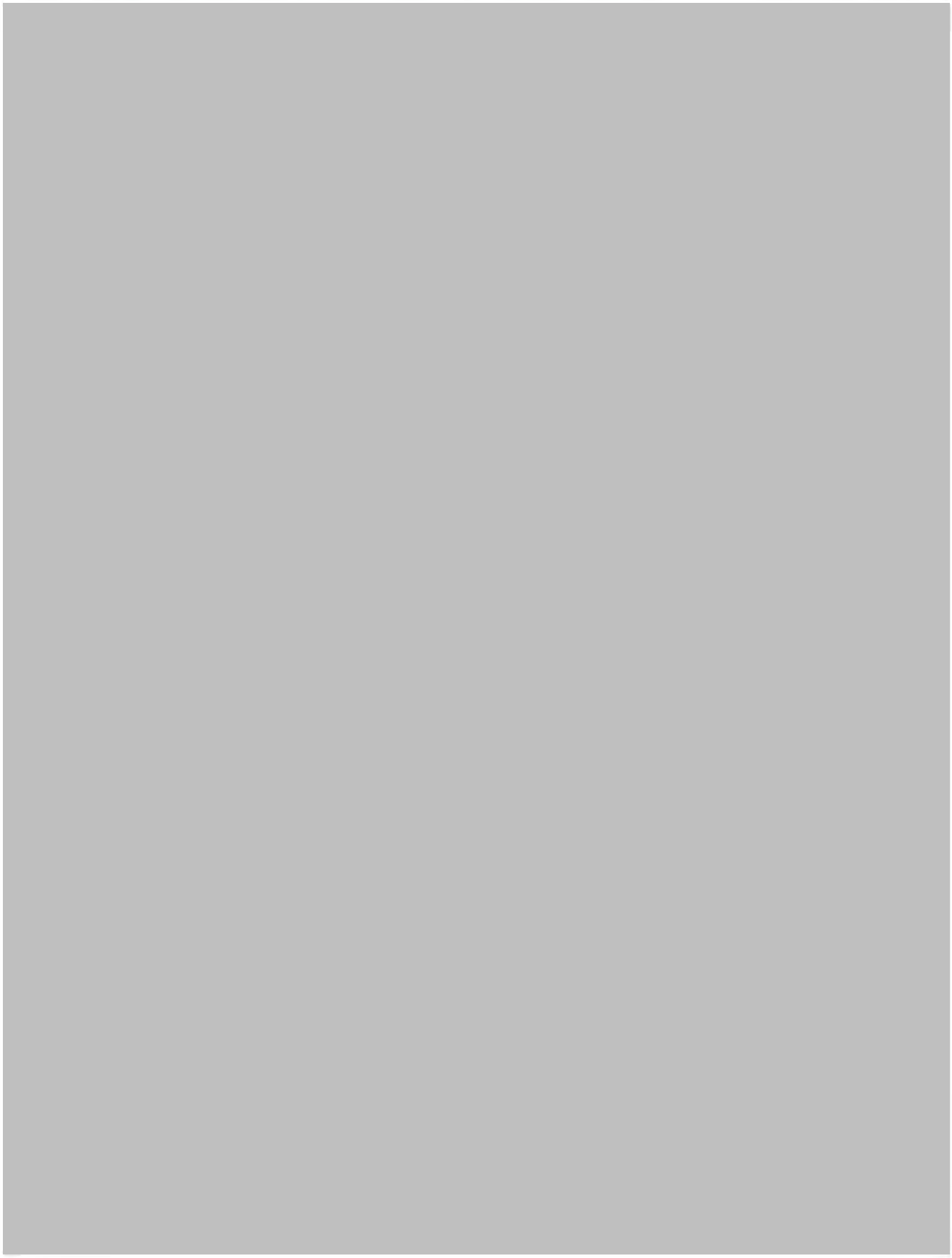
Die Abbildungen 3 bis 5 geben einen Überblick über die Witterungsbedingungen an oben genannten Wetterstationen während des Zeitraums der Dosimeterauslage zur Radonmessung auf der Untersuchungsfläche.

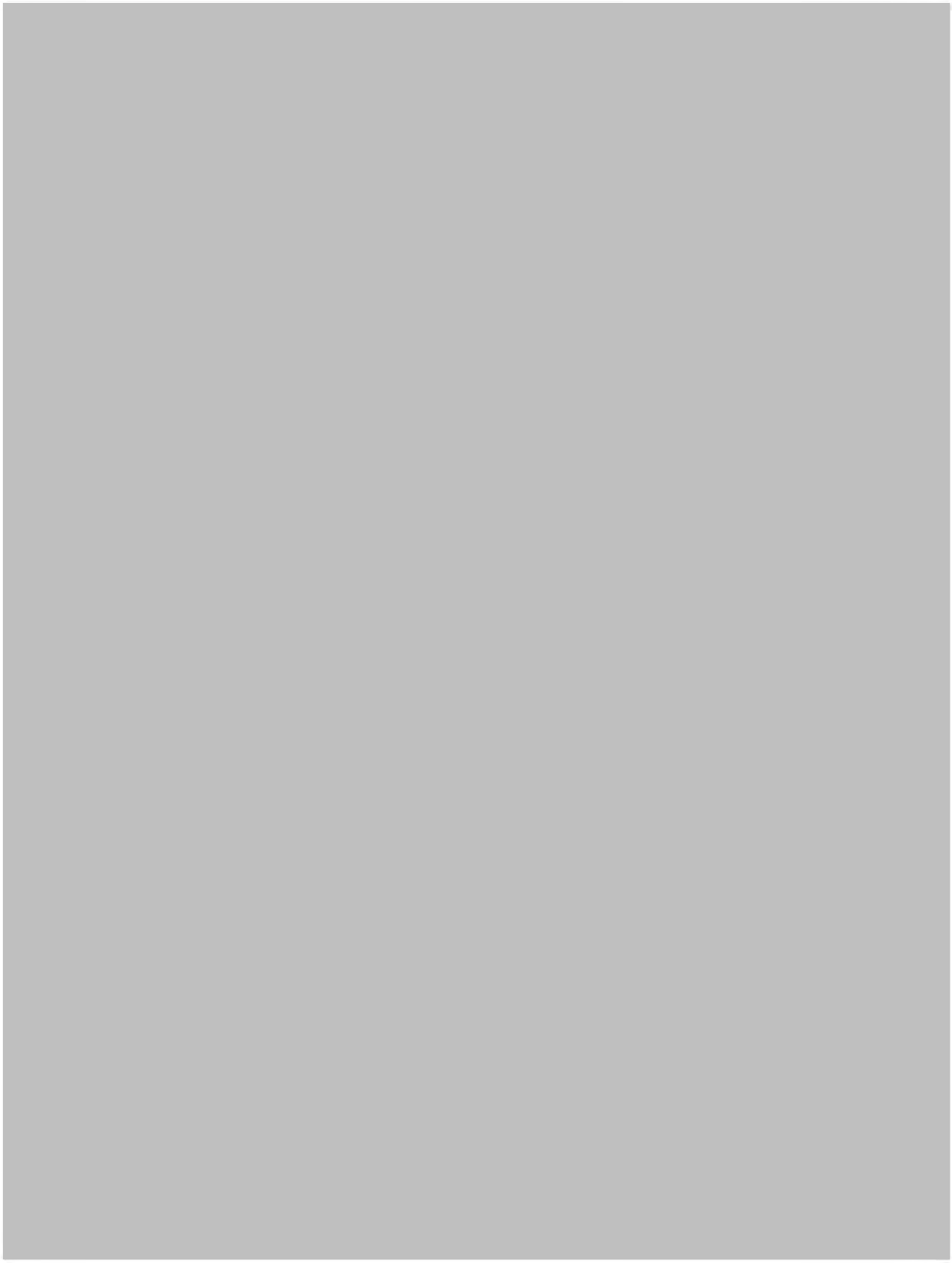
Die in einer Höhe von 2 m und 20 cm über dem Boden gemessenen stündlich gemittelten Lufttemperaturen und die gleichermaßen in Tiefen von 5 cm und 20 cm ermittelten Bodentemperaturen, sind zusammen mit den Stundensummen (Kurve) des Regenfalls dargestellt. Die blauen Zahlen über der Niederschlagskurve geben die Tagessummen des Niederschlages an.

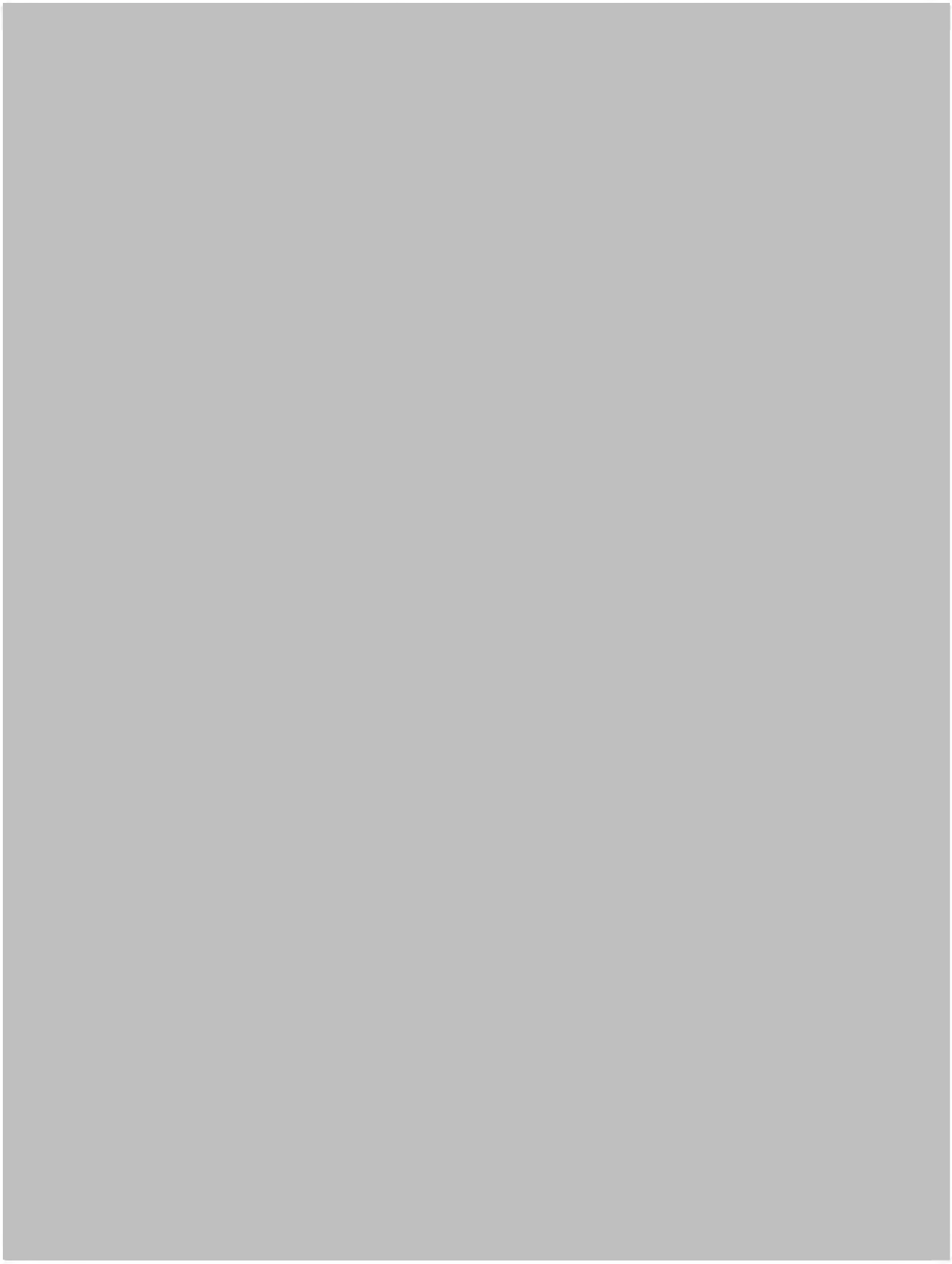
Im darüber folgenden Diagramm ist die stündliche durchschnittliche und die durchschnittliche maximale Windgeschwindigkeit (über 5 Minuten) dargestellt.

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

Während des Auslagezeitraums können aufgrund des Temperaturverlaufes zwei Phasen unterschieden werden. Eine wärmere Phase mit Tagesmaximaltemperaturen von 15-20°C und auch relativ warmen nächtlichen Temperaturen über 10°C geht am 20. Oktober zu Ende. Danach erfolgt eine Temperaturabsenkung um rund 5°K und die Bodentemperaturen in 5 und 20 cm Tiefe sind wärmer als die Lufttemperaturen.







Die täglichen Temperaturgradienten sind über den gesamten Zeitraum gering und nur geringfügig höher während des Übergangs zwischen den Temperaturdomänen.
An diesem Übergang ist auch eine Phase stärkerer Windtätigkeit erkennbar. Ansonsten sind vor allem zu Beginn der Dosimeterauslagen und auch in den letzten Tagen sehr geringe durchschnittliche Windgeschwindigkeiten zu verzeichnen.
Über den gesamten Auslagezeitraum herrschte eine feuchte Witterung. An 16 Tagen fielen Niederschläge, die aber vor allem in der zweiten Hälfte der Dosimeterauslage mit Ausnahme des 21.Oktobers nur geringfügig waren.
Die austauscharmen, ruhigen Witterungsbedingungen waren in der Summe förderlich für den Aufbau überdurchschnittlicher Radonkonzentrationen in der Messtiefe der Dosimeter. Eine Versiegelung des Oberbodens durch Niederschläge kann für den Messzeitraum nach dem 13.10.2014 aufgrund der beobachteten Niederschlagsmengen, der beobachteten Bodenfeuchten und aufgrund der Bodenart aber ausgeschlossen werden.
Unterbrochen werden diese Randbedingungen vom 20. bis 23.10.2014 von stärkerer Windtätigkeit. Die in Boen beobachteten Windstärken hatten sicherlich Auswirkungen bis in die Messtiefe der Radonsonden.

An einer von GeoConsult Rein betriebenen Radon-Permanentstation werden in Oppenheim stündlich die Radon-222-Aktivitätskonzentrationen in 1 m Tiefe gemessen. Die Gasdurchlässigkeit des Bodens an dieser Station ($k=10^{-13}$ m^2) ist in der Messtiefe annähernd vergleichbar der Situation auf der Untersuchungsfläche. Vergleicht man den Mittelwert der Radonkonzentration über den Zeitraum der Radonmessungen in Mainz-Ebersheim (09./13.10. – 27.10.2014) mit dem langfristigen Mittelwert seit dem 01.04.2012, so entspricht die mittlere Radonkonzentration zwischen dem 09.10. – 27.10.2014 etwa 122%, zwischen dem 13.10. – 27.10.2014 etwa 113% des Mittelwertes, der langfristig seit dem 1. April 2012 in Oppenheim gemessenen Radonkonzentrationen (Abb. 6). Die Phase leicht verstärkter Windtätigkeit führte zu einer moderaten Erniedrigung der Radonkonzentration in einem Meter Tiefe auf 70% des langfristigen Mittelwertes. Die ansonsten windarme Witterung hat zusammen mit den geringen Temperaturgradienten und auch der Gradientenumkehr zu überdurchschnittlichen Radonkonzentrationen in einem Meter Tiefe geführt. Zwischen dem 9. bis 13. Oktober führten Bodefeuchtemaxima nach Regenfällen, bei gleichzeitig

sehr geringen Temperaturgradienten und z.T. auch sehr geringen Windgeschwindigkeiten (9./10.10) zu einem besonders starken Anstieg der Radonkonzentrationen auf das Doppelte des langfristigen Mittelwertes.
Sofern die Bedingungen in Oppenheim übertragbar sind auf die Untersuchungsfläche in Mainz-Ebersheim liegen die in Ebersheim während der Beobachtungsperiode gemessenen Radonkonzentration z.T. beträchtlich über dem längerfristigen Mittelwert der Grundlage der Bemessung von Radonpräventionsmassnahmen sein sollte.
Die Übertragbarkeit wird in dem Folgekapitel untersucht.



7.4 Radon-222-Aktivitätskonzentrationen und Radonverfügbarkeit

Die gemessenen Radon-222-Aktivitätskonzentrationen sind in Tabelle 3 dargestellt und in der Abbildung 7 den Bohrpunkten zugeordnet. Die Aktivitätskonzentrationsangabe erfolgt in Kilobecquerel (1000 Radon-Zerfälle/Sekunde).

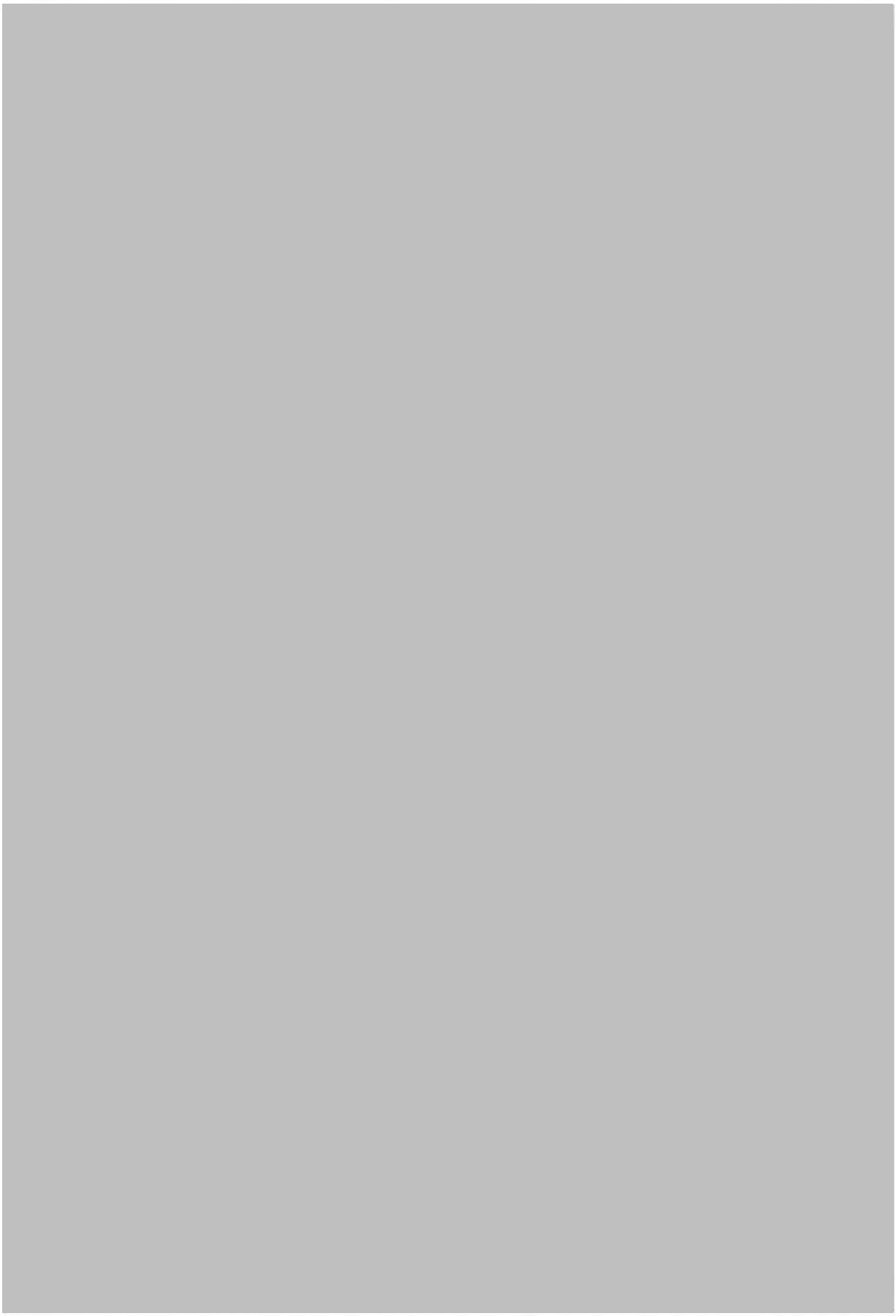
Die über einen Zeitraum von 18 Tagen bzw. 14 Tagen (Tab. 3) gemessenen mittleren Radon-222-Aktivitätskonzentrationen liegen in einem niedrigen bis erhöhten Aktivitätskonzentrationsbereich von 13,7 kBq/m^3 ±20% bis 90,9 kBq/m^3 ±20% (2sigma) (Tab. 3, Abb. 7).

Tabelle 3: Radonaktivitätskonzentrationen

Langzeitmessungen						
Messpunkt	Beginn Messung	Expositiondauer		Radon-222-Aktivitätskonzentration [kBq/m^3] gerundet		
		Stunden	Tage (gerundet)	C_{Rn} ±20% (2sigma)	Faktor wk	C_{Rn} wk ±20% (2sigma)
EAD1	13.10.2014	333,4	14	30,5	0,88	27,0
EAD2	9.10.2014	430,2	18	13,7	0,82	11,2
EAD3	13.10.2014	334,7	14	69,8	0,88	61,8
EAD4	13.10.2014	334,9	14	71,0	0,88	62,8
EAD6	13.10.2014	332,2	14	61,2	0,88	54,2
EAD7	13.10.2014	332,6	14	74,3	0,88	65,7
EAD8	13.10.2014	332,9	14	37,4	0,88	33,1
EAD9	13.10.2014	333,1	14	29,9	0,88	26,5
EAD10	13.10.2014	330,6	14	90,9	0,88	80,4
EAD11	13.10.2014	335	14	44,5	0,88	39,4
EAD12	9.10.2014	430,8	18	27,0	0,82	22,2
EAD5	13.10.2014	332,7	14	86,2	0,88	76,3
Kurzzeitmessungen an EAD5-K						
EAD5-K	22.10.2014			53,1	1,39	73,6
EAD5-K	22.10.2014			57,1	1,39	79,2
EAD5-K	22.10.2014			54,4	1,39	75,0
EAD5-K	27.10.2014			97,2	0,79	76,5
EAD5-K	27.10.2014			101,1	0,79	79,6

*wk witterungskorrigiert (approximiert)

RVK 0	Keine spezifischen Radonschutzmassnahmen erforderlich
RVK I	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse I
RVK II	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II
RVK III	Bauen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse III
	Aufgrund Randbedingungen nicht verwendbar



Die niedrigsten Radonkonzentrationen wurden in EAD2 gemessen, der Bohrung in der die Schluffe sehr trocken und damit zum einen eine erniedrigte Emanationsrate und zum anderen eine erhöhte Exhalationsrate angenommen werden muss (Kap. 7.1, 7.2). Es ist ein Trend zunehmender Radonkonzentrationen nach Norden zu beobachten, mit mäßig hohen Radonkonzentrationen bis etwa zu EAD8 und höheren Radonkonzentrationen nördlich davon.
Die in EAD11 gemessenen 44,5 kBq/m^3 ±20% scheinen eine Übergangsposition einzunehmen. Dieser Messwert muss aber vor dem Hintergrund dessen betrachtet werden, dass hier während der Radonmessungen zumindest teilweise den Radonaufstieg hemmendes Wasser unmittelbar unter der Messtiefe stand (Kap. 7.1).

Aufgrund der Referenzmessungen an der Radonpermanentstation in Oppenheim wird vermutet, dass während der Messperiode in Mainz-Ebersheim höhere, als durchschnittliche Messwerte gemessen wurden.
Deshalb wurde am 21.10.2014 in direkter Nähe zu EAD5 (s. Kap. 5) eine Lanze zur Bodenluftabsaugung installiert, an der am Folgetag und am letzten Tag der Dosimeterlangzeitmessung mit einem aktiven Radonmessgerät (Alphaspektrometer RTM 1688-2) Bodenluft zur Bestimmung der Radonkonzentration angesaugt wurde.
Am 22. Oktober, als die Radonkonzentrationen in Oppenheim bei 72% (70-74%) lagen (Abb. 6), ergaben die Kurzzeitmessungen an EAD5-K Radonkonzentrationen von 53,1-57,1 kBq/m^3, bei Messungen am 27. Oktober aber 97,2-101,1 kBq/m^3 (Aktivitätsniveau in Oppenheim bei 127%)
Rechnet man diese Kurzzeitmessergebnisse auf ein Aktivitätsniveau von 100% um, so ergeben sich witterungskorrigierte Radonkonzentrationen von 73,6-79,2 kBq/m^3 am 22. Oktober und 76,5-79,6 kBq/m^3 am 27. Oktober. Der mit dem Dosimeter gemessene witterungskorrigierte Langzeitmesswert über 14 Tage beträgt für die Lokation EAD5 76,3 kBq/m^3.
Dies bestätigt, dass der Verlauf der Radonkonzentration in Oppenheim zur Witterungskorrektur der Langzeitmesswerte in Ebersheim geeignet ist.

Nach approximierter Witterungskorrektur über die Radonkonzentrationsschwankungen an der Radonpermanentstation von GCR (Abb. 6), ergeben sich die in Tabelle 3 dargestellten Radonaktivitätskonzentrationen (C_{Rn}wk) mit Werten zwischen **11,2**

kBq/m³ ±20% bis 80,4 kBq/m³ ±20% (2sigma) (Tab. 2, Abb. 7). Damit erniedrigen sich die witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentration auf 82-88% des gemessenen (unkorrigierten) Wertes. Die jedem Bohrpunkt aufgrund der Radonkonzentration zugeordnete Radonvorsorgegebietsklasse ist in Tabelle 3 farblich abgestuft. Unter Berücksichtigung der besonderen Umstände an EAD2 ergibt sich für den südlichen Bereich des Bebauungsplanes eine Einstufung als Radonvorsorgegebietsklasse RVK I und für den nördlichen Teil eine Einstufung als Radonvorsorgegebietsklasse RVK II.

Die auf der Grundlage der mittleren Gaspermeabilität und der Radonaktivitätskonzentrationen berechneten Radonverfügbarkeitszahlen nach Slunga (Tab. 4) ergeben ein gleichartige Einschätzung des Radonrisikos.

Tabelle 4 Radonverfügbarkeit

Messpunkt	Gaspermeabilität [m²] in 100 cm Tiefe	Radonverfügbarkeiti			
		Slunga			
		Rna C_{Rn}	Rna C_{Rn}+20%	Rna C_{Rn} wk	Rna C_{Rn} wk+20%
EAD1	2,E-13	1,59	1,68	1,53	1,63
EAD2	2,E-13	1,24	1,33	1,15	1,25
EAD3	2,E-13	1,95	2,04	1,89	1,99
EAD4	2,E-13	1,95	2,05	1,90	2,00
EAD5	2,E-13	2,04	2,13	1,98	2,08
EAD6	2,E-13	1,89	1,99	1,84	1,93
EAD7	2,E-13	1,97	2,07	1,92	2,02
EAD8	2,E-13	1,68	1,77	1,62	1,72
EAD9	2,E-13	1,58	1,68	1,53	1,62
EAD10	2,E-13	2,06	2,16	2,01	2,10
EAD11	2,E-13	1,75	1,85	1,70	1,79
EAD12	2,E-13	1,53	1,63	1,45	1,54

8. Bewertung der Ergebnisse und Empfehlung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), sowie das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) empfehlen die in Tabelle 5 wiedergegebenen Klassen für eine Einstufung des geogenen Radonpotenzials mit entsprechend abgestuften Maßnahmen zur Radonvorsorge.

Tabelle 5 Radonvorsorgegebietsklassifizierung des Bundesamtes für Strahlenschutz.

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

Durch die Empfehlung des Bundesamtes für Strahlenschutz ist nur die gemessene Radonkonzentration (Radonpotenzial) berücksichtigt, der Einfluss der Witterung, der Gaspermeabilität des Baugrundes u.a. Faktoren bleiben formell unberücksichtigt, obwohl auf deren Bedeutung explizit hinsichtlich Messergebnis und Radonverfügbarkeit hingewiesen wird.

Die Einordnung in eine Radonvorsorgegebietsklasse durch dieses Gutachten erfolgt nicht alleine auf Grundlage der gemessenen Radonkonzentration, sondern berücksichtigt auch gleichzeitig gemessene bodenphysikalische Faktoren, den Bodenaufbau und temporäre Variablen wie Bodenfeuchte und Witterungseinflüsse, die die innerhalb eines Zeitraums gemessene Radonaktivitätskonzentration beeinflussen und Einfluß auf die Radonverfügbarkeit im Boden haben.

Anhand der gemessenen und der witterungskorrigierten Radonaktivitätskonzentrationen ergibt sich nach Tabelle 3 und Tabelle 5 eine Einordnung des Baugrundes als Radonvorsorgegebietsklasse I bzw. Radonvorsorgegebietsklasse II.

Für Radonvorsorgegebietsklasse I (RVK I) empfohlene Radonpräventionsmassnahmen beim Bauen umfassen z.B.

1. Konstruktiv bewehrte, durchgehende Bodenplatte aus Beton (Dicke: ≥ 15 cm).
2. Abdichtung von Böden und Wänden im erdberührten Bereich gegen von außen angreifende Bodenfeuchte in Anlehnung an DIN 18195 mit Materialien, die auch zur Radonabwehr geeignet sind. (in der Regel entstehen keine Mehrkosten durch Verwendung radonabwehrender Materialien)

3. Abdichtung von Zu- und Ableitungen im erdberührten Bereich mit radondichten Materialien. (in der Regel entstehen keine Mehrkosten durch Verwendung radonabwehrender Materialien)

   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, um ein Ansaugen von Raumluft und damit die Unterdruckerzeugung im Gebäude zu reduzieren.

Für den nördlichen Teil des Baugebietes werden zusätzliche Radonpräventionsmassnahmen gemäß Radonvorsorgegebietsklasse II (RVK II) empfohlen

Zusätzliche Maßnahmen zu RVK I (1-4):

5. Radondichte, komplett geschlossene Hülle im erdberührten Perimeterbereich des Gebäudes. Alternativ ist u.U., bei entsprechender Bauweise, auch eine raumseitige gasdichte Radonsperrschicht vorstellbar.
6. Hinterfüllung vor erdberührten Außenwänden mit nicht-bindigen Materialien und Gewährleistung, dass die Hinterfüllung einen Anschluß an die kapillarbrechende Schicht unter der Bodenplatte besitzt, um eine Entlüftung der letzteren zu gewährleisten. An den erdberührten Wänden kann diese Funktion auch eine vliesbeschichtete Noppenfolie übernehmen.

(7. Eventuell Verlegung einer Bodengasdrainage in der kapillarbrechenden Schicht unter der Bodenplatte zur Ableitung von Radon bzw. Erzeugung eines Unterdruckes. Das Design der Bodengasdrainage und der Ableitung ist in starkem Masse von der Bauweise abhängig.)

Sorgfalt bei der Radonabwehr sollte gerade auch für Gebäude ohne Unterkellerung deshalb gelten, weil in diesen im statistischen Mittel die Radonkonzentrationen im

Erdgeschoss höher als in unterkellerten Gebäuden sind. Das gleiche gilt für Passiv- und Niederenergiehäuser.
Sollte das Gebäude nicht unterkellert werden und sollten damit Frostschürzen den Bodenbereich unter dem Gebäude einkoffern und das Abfließen von Radon verhindern, werden sich unter dem Gebäude auch wesentlich höhere als die hier gemessenen Radonkonzentrationen einstellen. In diesem Fall sollte unbedingt eine Bodengasdrainage installiert werden.

Sollte die Verfüllung des Arbeitsraumes mit nicht-bindigem, rolligem Material aufgrund anderer Erfordernisse nicht möglich sein, wird ebenfalls eine Bodengasdrainage im Schotterbett unter der Bodenplatte empfohlen.
Eine Bodengasdrainage wird auch für die Gebäude empfohlen, in denen Kellerräume dauerhaft durch Personen als Wohn- oder Arbeitsbereich genutzt werden und die deshalb über große Teile des Jahres geheizt werden.

Sollten durch bauvorbereitende Aushubarbeiten unerwartet andere als hier beschriebene Bodenverhältnisse angetroffen werden, wird dringend empfohlen einen Radongutachter hinzuzuziehen, um die Eignung der hier vorgeschlagenen Schutzmaßnahmen in diesem Bereich zu überprüfen.

Ohne Kenntnis zu Gründung und Bauweise der zu errichtenden Gebäuden können nur diese allgemeinen Empfehlungen gegeben werden. Liegen konkrete Gebäudeplanungen vor sind objektbezogene und aufeinander abgestimmte Baumassnahmen zum Radonschutz sowohl zur Kostenreduzierung als auch zur Optimierung und Gewährleistung eines effektiven Radonschutzes zu empfehlen.
Entsprechende objekt-optimierte Konzepte können durch einen Radongutachter in Zusammenarbeit mit dem Bauherren/Architekten entwickelt werden.

GeoConsult Rein

Privat-Doz. Dr. rer. nat. habil. Bert Rein, Oppenheim, 12.11.2014

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

Dr. Bert Rein
Digital unterschrieben von Dr. Bert Rein
CN: CN = Dr. Bert Rein, C = DE
Ursache: Digital unterschrieben für den elektronischen Versand
Speicherort: Oppenheim
Datum: 2014.11.27 14:59:17 +01'00'

PDF vom 27.12.2014