

Geowissenschaftliche Begleitung der Radonstrategie Hessen zur Ausweisung von Radonvorsorgegebieten

G1
G3

ROUWEN LEHNÉ, TATJANA LAUPENMÜHLEN, HEINER HEGGEMANN & LENA JEDMOWSKI

Einleitung

Geogenes Radongas liefert neben terrestrischer und kosmischer Strahlung einen Beitrag zur natürlichen Strahlenexposition. In Deutschland beläuft sich die durch Radonexposition verursachte durchschnittliche Dosis auf 1,1 Millisievert pro Jahr (Bundesamt für Strahlenschutz 2016), was mehr als 50 % der mittleren natürlichen Strahlungsexposition entspricht. Für Menschen ist das Radongas nicht direkt schädlich. Die Exposition geht von den Radonzerfallsprodukten mit kurzer Halbwertszeit wie den radioaktiven Alphastrahlern Wismut (Bi-210, Bi-214) und Polonium (Po-210, Po-214) aus. Diese können sich nach dem Zerfall des Radongases an feste oder flüssige Schwebeteilchen in der Luft anheften und so in den Atemtrakt des Menschen gelangen (Bundesamt für Strahlenschutz 2016) oder aber der Radonzerfall erfolgt im Atemtrakt und beaufschlagt die Lunge direkt. Die beim Alphazerfall freiwerdenden Teilchen sind energiereich. Sie können Zellen des Lungengewebes schädigen und infolgedessen Erkrankungen verursachen.

Während sich die Radongaskonzentration im Freien an der Atmosphärenluft schnell durch Verdünnung/Vermischung auf völlig unbedenkliche Werte reduziert, kann sich Radon in geschlossenen Räumen signifikant aufkonzentrieren. Die Radonkonzentration in Innenräumen hängt von einer Vielzahl von Faktoren wie z. B. Bauart, Baumaterial, Gebäudebeschaffenheit oder Bewohnerverhalten (Gebäudelüftung und Beheizung) ab (URBAN et al. 1985).

Die EU-Richtlinie 2013/59/Euratom, welchen der europäischen Harmonisierung des Strahlenschutzes dient sowie ein Fortschreiben der wissenschaftlichen Erkenntnisse im Strahlenschutz zum Ziel hat, enthält u. a. Regelungen, die dem Schutz vor der Exposition durch Radon dienen. Diese Richtlinie ist mit dem Strahlenschutzgesetz (StrlSchG) und der Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) zum 31.12.2018 vollständig in nationales Recht umgesetzt worden.

Gemäß §§ 124 und 126 StrlSchG betragen die Referenzwerte für die über das Jahr gemittelte Radonaktivitätskonzentration in der Luft in Aufenthaltsräumen sowie an Arbeitsplätzen (in Innenräumen) 300 Becquerel pro Kubikmeter. Bei den Referenzwerten handelt es sich ausdrücklich nicht um Grenzwerte!

§ 121 Abs. 1 StrlSchG verpflichtet die zuständige Behörde (in Hessen voraussichtlich das Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz (HMUKLV)), Gebiete festzulegen in denen „...erwartet wird, dass die über das Jahr gemittelte Radon-222-Aktivitätskonzentration in der Luft in einer beträchtlichen Zahl von Gebäuden mit Aufenthaltsräumen oder Arbeitsplätzen den o. g. Referenzwert nach §124 oder § 126 StrlSchG überschreitet.“ (sogenannte Radonvorsorgegebiete). Zwei Jahre nach Inkrafttreten der Strahlenschutzverordnung muss die Festlegung der Radonvorsorgegebiete auf Grundlage einer wissenschaftlich basierten Methode und innerhalb der in dem Land bestehenden Verwaltungsgrenzen (für Hessen voraussichtlich die Landkreise) erfolgt sein (§ 153 Abs. 1, 3 StrlSchV).

Um für die Festlegung der Radonvorsorgegebiete in Hessen eine ausreichend belastbare Datengrundlage zu schaffen, hat sich das Land im Einvernehmen mit dem Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) entschieden, über bereits existierende Messwerte hinaus zusätzliche Radonbodenluftmessungen durchzuführen. Die Erhebung neuer Daten obliegt den Bundeslän-

dern und wird in Hessen vom HMUKLV verantwortet. Diese Messkampagne der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft wird zukünftig Teil einer umfassenden, für Hessen angepassten Strategie zum Umgang mit den langfristigen Risiken der Exposition durch Radon (Hessische Landesradonstrategie) werden, die der § 122 Abs. 4 StrlSchG fordert.

Entstehung und Verfügbarkeit von geogenem Radon

Radon wird dauerhaft in Gesteinen und Böden, die über einen Anteil an radioaktiven Elementen wie Uran und Thorium verfügen, gebildet. Im Prinzip stellen dabei alle Gesteine und Böden natürliche Radonquellen dar, da diese in unterschiedlichen Konzentrationen Uran und Radium enthalten. Gute Radonlieferanten sind saure magmatische Gesteine, wie Granite oder Rhyolithe. Bei den Mineralen haben beispielsweise Apatit, Zirkon und Monazit Uran eingelagert (KEMSKI et al. 2012, MILITZER et al. 2017). Der Weg vom Bildungsort bis in die freie Atmosphäre erfolgt in mehreren Schritten.

Das Austreten von Radon aus dem Kristallgitter von Mineralien in den Porenraum des Bodens wird als Emanation bezeichnet. Die Bewegung von Radon entlang von Rissen und Kapillaren sowie im Porenraum der Böden heißt Migration und erfolgt diffusiv oder durch advektiven Transport mit anderen Bodenfluiden. Da Radon-222 mit ca. 3,8 Tagen die längste Halbwertszeit vorweist, hat es auch die größte Migrationsweite und kann so in die obersten Bodenschichten vordringen und aus dem Boden in die Atmosphäre austreten. Dieser Prozess wird als Exhalation bezeichnet.

Messkampagne der Radonbodenluft in Hessen

Geogenes Radon in Hessen

Die bisherigen Messwerte von Radon in der Bodenluft in Hessen variieren zwischen < 10 und 156 Kilobecquerel pro Kubikmeter (Umweltatlas Hessen). Die höchsten Radonaktivitätskonzentrationen wurden über den kristallinen Gesteinen (Granit) des Odenwaldes gemessen. Mittlere Werte im Bereich der devonisch-karbonischen Sedimentgesteine des Schiefergebirges und geringste Werte über den Basalten des Vogelsberges. Die Werte spiegeln die geogenen Radonaktivitätskonzentrationen von Hessen wider (MILITZER et al. 2017), welche im Vergleich mit anderen Bundesländern als gering bis mittel eingestuft werden können (KEMSKI et al. 1998). Eine Sonderstellung nehmen tektonische Störungen ein und hier

insbesondere die östliche Haupttrandverwerfung des Oberrheingrabens. Messungen von Radon in Boden- und Raumluft in der Umgebung dieser Störungszone im Raum Darmstadt zeigen sehr hohe Messwerte von bis zu 300 Kilobecquerel pro Kubikmeter in der Bodenluft und 21 Kilobecquerel pro Kubikmeter in der Raumluft (HOPPE et al. 2015, KUHN et al. 2015, LEHNÉ et al. 2017). Zur kontinuierlichen Detektion der Radonemanation und –exhalation sowie der damit in Verbindung stehenden geodynamischen Prozesse betreibt das HLNUG zusammen mit der TU Darmstadt direkt an der Haupttrandverwerfung eine geowissenschaftliche Messstation.

Beschreibung der Radonbodenluft-Messkampagne in Hessen

Mit den derzeit vorliegenden Daten zur Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft in Hessen lässt sich eine rechtssichere Festlegung der Radonvorsorgegebiete nicht ausreichend gewährleisten.

Um diese Festlegung für Hessen vornehmen zu können, hat sich das HMUKLV entschieden, eine Messkampagne zur Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft durchzuführen, um auf diesem Wege ein statistisch repräsentatives, belastbares Bild der Radonsituation für ganz Hessen zu erhalten.

Tab. 1: Die statistische Verteilung von 750 Messpunkten auf die Fläche der definierten geologischen Großeinheiten innerhalb der jeweiligen Landkreise sowie die Flächenverteilung der Landkreise

	Auen- ablage- rungen	Bunt- sand- stein	Kristal- lin	Rhei- nisches Schiefer- gebirge	Rottlie- gend	quartäre Sedi- mente	tertiäre Sedi- mente	tertiäre Vulka- nite	Meso- zoikum Zech- stein	
Kreisfreie Stadt Darmstadt			1		1	3				5
Kreisfreie Stadt Frankfurt a. M.	1					7	1			9
Kreisfreie Stadt Offenbach a. M.						1	1			2
Landeshauptstadt Wiesbaden	1			2		3	1			7
Bergstraße	6	4	9			8				27
Darmstadt-Dieburg	2	1	5		1	12				21
Groß-Gerau	5					11				16
Hochtaunuskreis	1			11		4				16
Main-Kinzig-Kreis	5	20	1		2	10	3	8	2	51
Main-Taunus-Kreis	1			2		4	1			8
Odenwaldkreis	1	16	3			1				21
Offenbach	1				2	10				13
Rheingau-Taunus-Kreis	1			22		5	1			29
Wetteraukreis	5	2		4	2	13	4	9		39
Gießen	3			5		7	6	9		30
Lahn-Dill-Kreis	2			28		4	1	2		37
Limburg-Weilburg	1			13		9	2	1		26
Marburg-Biedenkopf	5	13		16		7	2	1	2	46
Vogelsbergkreis	5	11				10	3	24		53
Kreisfreie Stadt Kassel	1	1				1	1			4
Fulda	3	28				7	1	4	6	49
Hersfeld-Rotenburg	3	28			1	4			3	39
Kassel	3	20				11	4	1	8	47
Schwalm-Eder-Kreis	6	21		2		14	7	4	2	56
Waldeck-Frankenberg	4	23		29		3			7	66
Werra-Meißner-Kreis	3	19		1		3			10	36
Summe	69	207	18	135	8	172	39	63	39	750

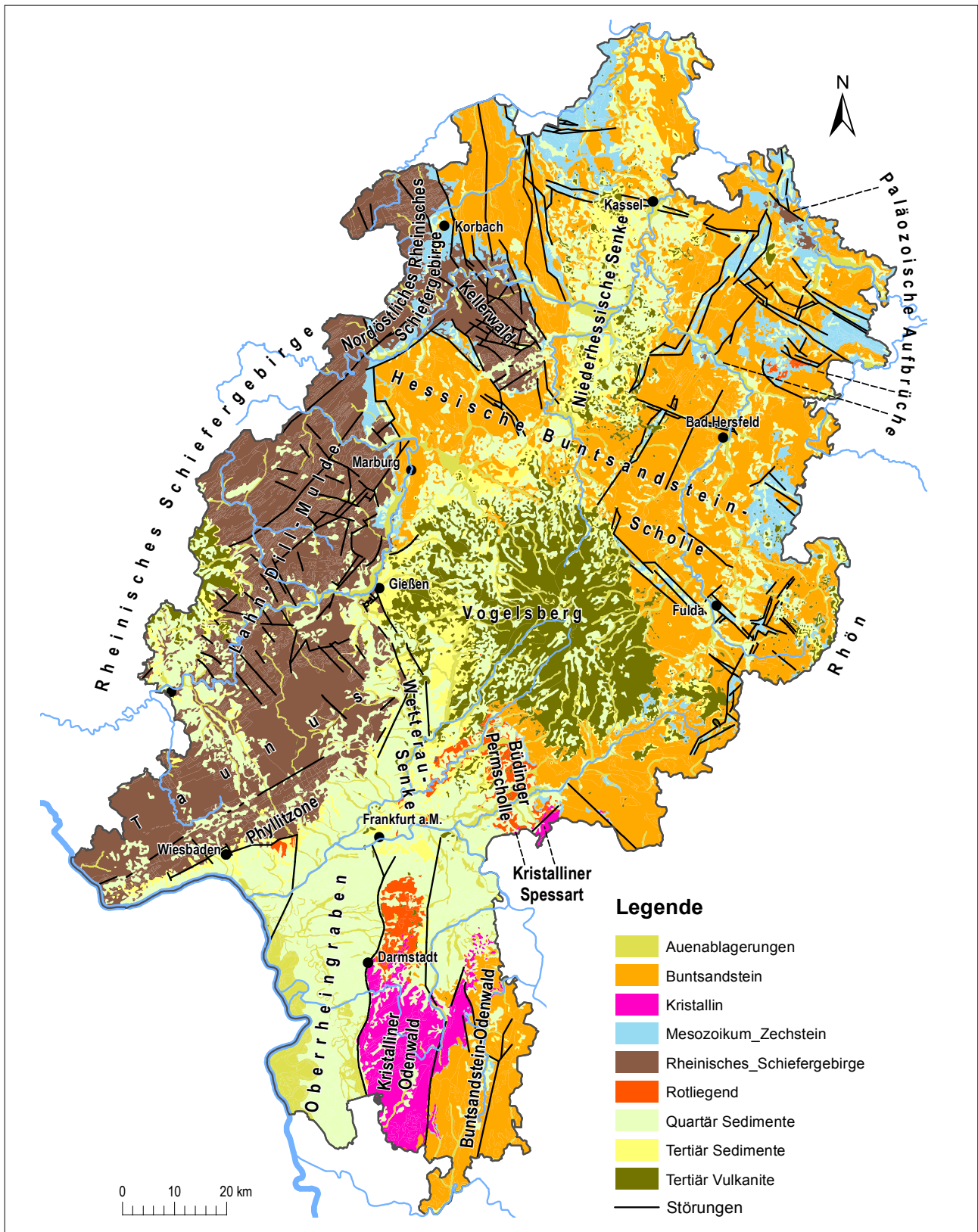


Abb. 1: Für Hessen definierte geologische Großeinheiten. Dabei wird angenommen, dass das durchschnittliche Radonpotential innerhalb einer Großeinheit homogen, über die verschiedenen Großeinheiten hinweg jedoch heterogen ist (Geologie nach Geologischer Übersichtskarte 1 : 300 000).

Unter Berücksichtigung der vorliegenden Informationen zu geogenem Radon in und außerhalb von Hessen unterstützt die Abteilung Geologie und Boden des HLNUG die Umsetzung der Arbeiten mit der Auswahl von zunächst 750 Messpunkten nach geowissenschaftlichen Gesichtspunkten. Bei der Auswahl der Lage der Messpunkte wird vorausgesetzt, dass es „geologische Großeinheiten“ gibt, in denen die zu erwartende Radonaktivitätskonzentration bei Bodenluftmessungen in einem vergleichbaren Bereich liegt. Für Hessen wurden durch das HLNUG neun solcher Großeinheiten definiert (Abb. 1).

Die Messpunkte werden in diesem Verfahren dann so ausgewählt, dass sie einer statistisch reproduzierbaren Verteilung auf die definierten geologischen Großeinheiten sowie die Flächenverteilung dieser in den Landkreisen entsprechen. Die Anzahl der Messungen innerhalb eines Landkreises richtet sich nach den Flächenanteilen der definierten geologischen Großeinheiten im Landkreis (Tab. 1).

Die Verteilung von 37 Messpunkten (MP) z. B. im Lahn-Dill Kreis (Abb. 3) ist so folgendermaßen gewählt worden: 2 MP quartäre Talsedimente, 4 MP quartäre Sedimente, 1 MP tertiäre Sedimente, 2 MP tertiäre Vulkanite und 28 MP in paläozoischen Sedimenten des Rheinischen Schiefergebirges.

Bei der Bestimmung der Lage der Messpunkte werden weiterhin die Exklusionskriterien „Grabbarkeit“, „Bodenwasserhaushalt“ und „tektonische Störungen“ berücksichtigt.

Die so bestimmten Messpunkte (inkl. eines räumlichen Puffers als mögliches Ausweichgebiet für jeden Messpunkt) werden in Kartenform aufbereitet und der Technischen Hochschule Mittelhessen (THM) übergeben. Die THM ist vom HMUKLV mit der Durchführung der Radonbodenluftmessungen beauftragt. Sie organisiert, leitet und führt die auf fünf Jahre angelegte Messkampagne in eigener Verantwortung, selbstständig durch. Die Messungen der Radonaktivitätskonzentration in der Bodenluft erfolgt

nach Stand von Wissenschaft und Technik auf Grundlage der Normen der in der DIN ISO 11665 11 VDE 0493-1-6661(2017-01-00) beschriebenen Verfahren. Neben der Radonaktivitätskonzentration der Bodenluft in einem ca. 1 m tiefen Bohrloch werden auch das entnommene Luftvolumen, die Gaspermeabilität des Bodens und die Kohlendioxidkonzentration der angesaugten Bodenluft gemessen (Abb. 2). Begleitend werden Wetterdaten, Koordinaten des Messpunktes sowie Datum/Uhrzeit erfasst. Die erhobenen Messwerte werden gesammelt und anschließend von der THM an das BFS zur Weiterverarbeitung übergeben.



Abb. 2: Testmessung der THM im Gelände. Hier zu sehen ist der Bohrvorgang für die anschließende Radonbodenluftmessung. Im Hintergrund ist das Rotameter zu sehen, welches den Volumenstrom des Radongases misst.

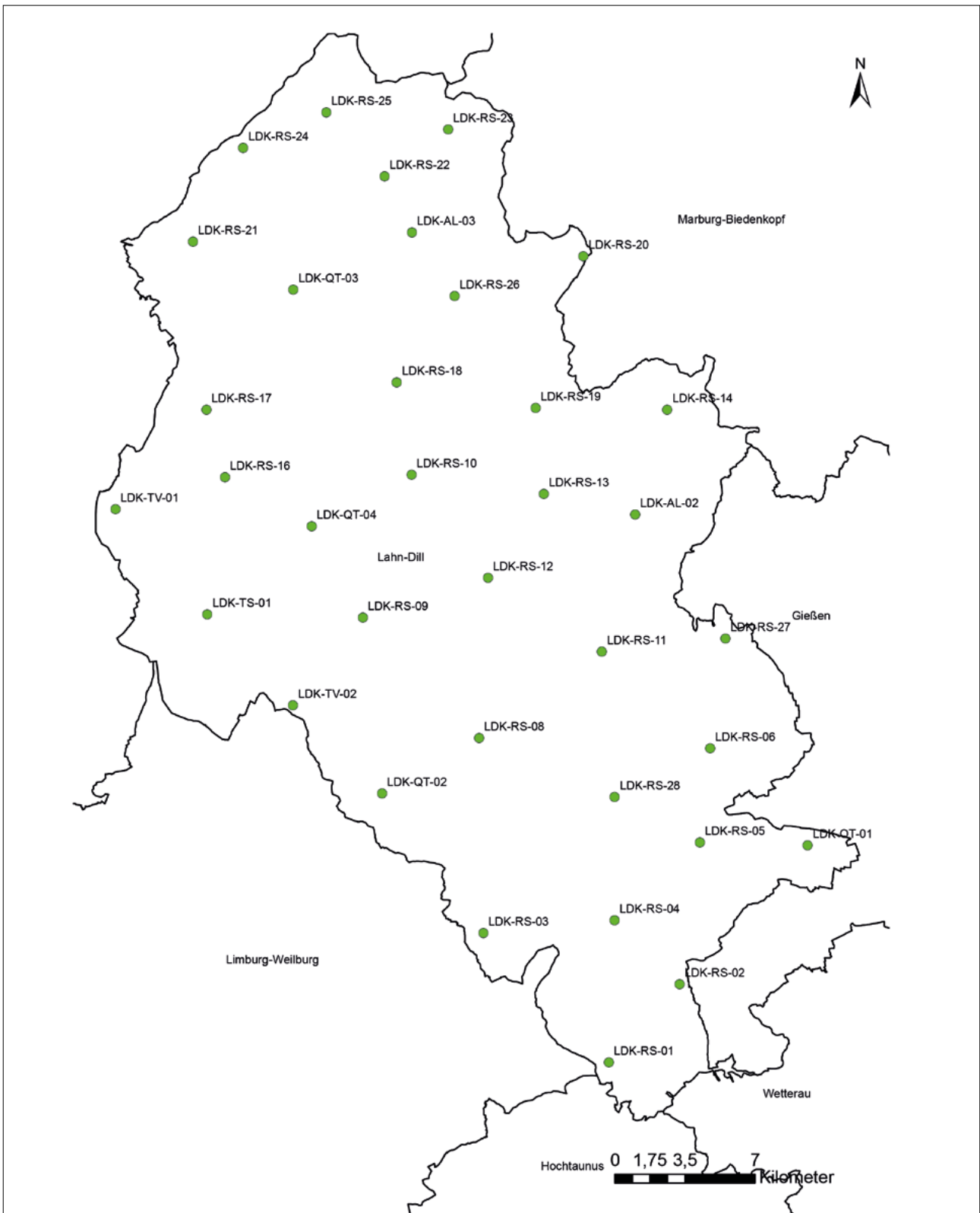


Abb. 3: Flächendeckende Verteilung der 27 Messpunkte innerhalb des Landkreises Lahn-Dill. Hierbei werden auch die festgelegten Exklusionskriterien „Grabbarkeit“, „Bodenfeuchtigkeit“ und „tektonische Störungen“ beachtet. Benennung der Messpunkte: z. B. LDK-RS-04 – LDK=Lahn-Dill-Kreis, RS=Geologischer Großraum Rheinisches Schiefergebirge, 04=Nummerierung der Messpunkte innerhalb einer geologischen Großeinheit.

Aktueller Stand der Arbeiten

Auswahl von Messpunkten

Bisher wurden durch das HLNUG in 6 Landkreisen 228 Messpunkte nach den oben beschriebenen Kriterien festgelegt und an die THM Gießen übergeben. Dabei handelt es sich um die Landkreise Hochtaunus (16), Hersfeld-Rotenburg (40), Lahn-Dill-Kreis (38), Vogelsbergkreis (53), Limburg-Weilburg (26) und dem Schwalm-Eder-Kreis (55). Um die Radonbodenluftmessungen noch flexibler an die jeweiligen Wetter-

verhältnisse anpassen zu können werden mittlerweile zusätzlich auch weit verstreute Messpunkte in einzelnen geologischen Großeinheiten bestimmt und zur Verfügung gestellt, so zum Beispiel 22 zusätzliche Messpunkte für die geologischen Großeinheiten „Auenablagerungen“, „Tertiäre Sedimente“ sowie „Rotliegend“ in den Landkreisen Rheingau-Taunus, Wetterau, Werra-Meißner und Marburg-Biedenkopf.

Geowissenschaftliche Interpretation der Ergebnisse und Weiterentwicklung der Methode

Zur Überprüfung und Optimierung der geowissenschaftlichen Begleitung der Radonstrategie Hessen werden alle Messergebnisse durch das HLNUG in ein GIS überführt und dort mit anderen Geofachdaten verschnitten. Derzeit liegen für 96 Lokationen Messwerte vor, die von 3900 Bq/m³ bis über 100000 Bq/m³ schwanken.

Die geowissenschaftliche Interpretation erfolgt nun unter Berücksichtigung der dokumentierten Randbedingungen (Temperatur, Luftfeuchtigkeit, Bodenfeuchte) sowie entnommener Bodenprofile, die langfristig archiviert werden. Insbesondere der Boden (Permeabilität, Bodenfeuchte) sowie die Lufttemperatur haben einen großen Einfluss auf die gemessenen Radonkonzentrationen und müssen damit im Sinne der Herstellung einer Vergleichbarkeit von Messergebnissen adäquat berücksichtigt werden.

Begleitende/Ergänzende Arbeiten zur Radonbodenluft-Messkampagne im Rahmen der geologischen Landesaufnahme

Neben den reinen Bodenluftmessungen gehen die gemeinsamen Bemühungen von HMUKLV, HLNUG und THM zur Optimierung der Messkampagne der Radonaktivitätskonzentration in Hessen (Bestimmung der Hessischen Radonsituation) weiter. Es wird versucht im Rahmen der geologischen Landesaufnahme eine Vertiefung des Kenntnisstandes insbesondere im Bereich der Themen Radonmigration entlang tektonischer Störungen, Witterungseinflüsse und bodenphysikalische Einflussfaktoren auf die Radonmigration zu erhalten.

So werden für die Dokumentation des jeweiligen Bodenprofiles an den Messlokalationen Bohrkern mit einem Durchmesser von 40 mm entnommen und im HLNUG in der Abteilung G bodenkundlich aufgenommen und in eine Datenbank überführt (Abb. 4).

Zusätzlich hat die Abteilung Immissionsschutz im HLNUG in Fürth im Odenwald eine Station zur Dauerbeobachtung von Radon in der Bodenluft eingerichtet, die zugleich die Bodenfeuchte kontinuierlich erfasst und an eine vom HLNUG betriebene Wetterstation gekoppelt ist (siehe auch Artikel "Hessens

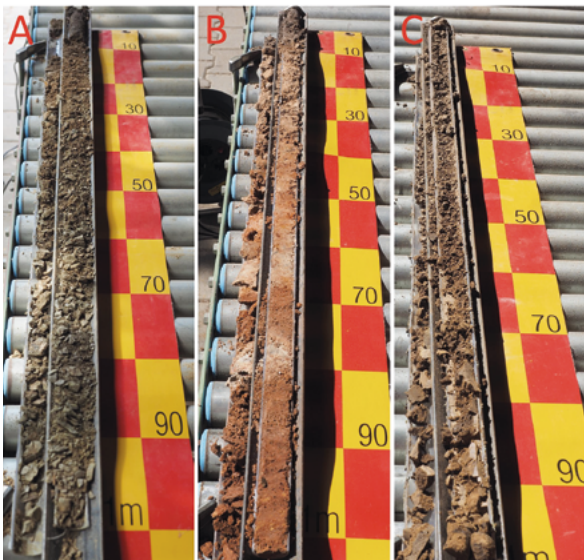


Abb. 4: Zur bodenkundlichen Beschreibung geöffnete Bohrkern. A: Braunerde aus lössführendem Grusschluff über Lehmgrus über Tonschiefer (Unterdevon); B: Pseudogley-Braunerde aus lössarmen Sand über Lehm aus Sand- u. Tonstein (Mittlerer Buntsandstein); C: Kolluvisol aus Lehmschluff über Löss (Pleistozän)

Dauermessstelle für Radon in der Bodenluft" in diesem Heft).

Sie misst kontinuierlich die Radonaktivitätskonzentration der Bodenluft analog zu den landesweiten Messungen in einer Tiefe von 1 Meter.

Unabhängig vom meteorologischen Geschehen ist die Migration und Emanation von Radon in der Bodenluft vom vorhandenen Boden abhängig. Die Dauerbeobachtungsstation liefert Ergebnisse für einen bestimmten Boden mit spezifischen Eigenschaften. Aufgrund der Vielfalt der Böden soll untersucht werden, ob sich die gewonnenen Aussagen auch auf andere Böden übertragen lassen oder ob es meteo-

rologische Effekte gibt, die sich nicht auf alle Böden gleich auswirken. Um die Aussagekraft der gewonnenen Ergebnisse zu erhöhen, sollen Dauermessstellen an weiteren Standorten mit unterschiedlichen Böden (und damit auch unterschiedlicher Radonquellstärke) eingerichtet werden. So wird derzeit eine zweite Radondauerbeobachtungsstation für Wiesbaden geplant.

Neben dem Betrieb der Station zur Radondauerbeobachtung sowie der geowissenschaftlichen Messstation an der östlichen Haupttrandverwerfung des Oberrheingrabens zur Erforschung des Zusammenhangs von Radon und Tektonik (gemoda.hlnug.de) initiiert und begleitet die Abteilung G des HLNUG in Kooperation mit der Technischen Universität Darmstadt (TUD) auch studentische Abschlussarbeiten (MSc und BSc) zu den Themen. In 2018/19 wurden so sechs Projektarbeiten gestartet, von denen zwei bereits abgeschlossen sind und wertvolle neue Erkenntnisse zum Thema geogenes Radon in Hessen geliefert haben, u. a. mehrere 100 zusätzliche Radonbodenluftmessungen, aufgezeigte Zusammenhänge zwischen der gemessenen Radonaktivitätskonzentration und Tektonik sowie Witterungsverhältnissen und der Variabilität von Radonaktivitätskonzentrationen bei Wiederholungsmessungen. Noch laufende Arbeiten widmen sich auch der Untersuchung von Radon und Uran im Grundwasser im Kontext der umgebenden Geologie.

Für die Stadt Darmstadt soll weiterhin eine Radonstadtkarte entstehen und in ein 3D Informationssystem zum oberflächennahen Untergrund im Stadtgebiet integriert werden. Dazu wird auch ein vom HLNUG in Kooperation mit der TUD für den Betrachtungsraum erstelltes geologisches 3D-Modell konsultiert (LEHNÉ et al. 2016).

Literaturverzeichnis

- Bundesamt für Strahlenschutz (2016): Radon – ein kaum wahrgenommenes Risiko. – Strahlenschutz Konkret: 8 S.; Berlin (Bundesamt für Strahlenschutz).
- HOPPE, A., KOŠŤÁK, B., KUHN, G., LEHNÉ, R., SIMONS, U. & STEMBERK, J. (2015): Rezente Bewegungen an den Haupttrandverwerfungen im Nördlichen Oberrheingraben. – Jahresberichte und Mitteilungen des Oberrheinischen Geologischen Vereins: 97: 321–332, DOI: 10.1127/jmogv/97/0014; Stuttgart.
- KEMSKI, J., SIEHL, A., STEGEMANN, R. & VALDIVIA-MANCHEGO, M. (1998): Mapping the geogenic radon potential in Germany using GIS-techniques. – in: BARNET, I., NEZNAL, M. (Hrsg.): Radon investigations in Czech Republic VII and the fourth International Workshop on the Geological aspects of radon risk mapping: 45–52.
- KEMSKI, J., SIEHL, A. & VALDIVIA-MANCHEGO, M. (1998): Das geogene Radon-Potential in Deutschland. – In: WINTER, M., HENRICH, K., DOERFEL, H. (Hrsg.): Radioaktivität in Mensch und Umwelt, FS-98-98-T: 297–403; Köln (TÜV Rheinland).
- KEMSKI, J., KLINGEL, R., SIEHL, A., NEZNAL, M. & MATOLIN, M. (2012): Erarbeitung fachlicher Grundlagen zur Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration. – Vorhaben 3609S10003: Band 2, Sachstandsbericht „Radonmessungen in der Bodenluft – Einflussfaktoren, Messverfahren, Bewertung“, Im Auftrag des Bundesamtes für Strahlenschutz: 122 S.; Berlin (Bundesamt für Strahlenschutz).
- KUHN, G., LEHNÉ, R. & HOPPE, A. (2015): Radon measurement along faults in the Upper Rhine Graben with standardized method – In: MERKEL, B. & ARAH, A. eds. (2015): Uranium – Past and Future Challenges. – Proceedings of the 7th International Conference on Uranium Mining and Hydrogeology: 821–828, DOI 10.1007/978-3-319-11059-2_95.
- LEHNÉ, R., KUHN, H., HEGGEMANN, H. & HOSELMANN, C. (2016): A geological 3D-information system for subsurface planning in urban areas – case study Darmstadt (Germany). – Tagungsband 3rd European Meeting on Geological Modelling 2016, 16.–17. Juni 2016: 58–59; Wiesbaden.
- LEHNÉ, R., MILITZER, A., HEGGEMANN, H. & REISCHMANN, T. (2017): Radon anomalies in the northern Upper Rhine Graben (Germany) as a result of recent geodynamic processes. – In: TOLLEFSEN, T., CINELLI, G. & DE CORT, M., eds.: 2nd International Workshop on the European Atlas of Natural Radiation: Book of Abstracts, 34, EUR 28820 EN, Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-74131-9, doi:10.2760/72011, JRC108701; Luxembourg.
- MILITZER, A., LEHNÉ, R., REISCHMANN, T. & NESBOR, H.D. (2017): Natural Th, U, and K concentrations in bedrocks of major geological units in Hesse (Germany). – In: TOLLEFSEN, T., CINELLI, G. & DE CORT, M., eds.: 2nd International Workshop on the European Atlas of Natural Radiation: Book of Abstracts, 38, EUR 28820 EN, Publications Office of the European Union, ISBN 978-92-79-74131-9, doi:10.2760/72011, JRC108701; Luxembourg.
- URBAN, M., A. WICKE, A. & KIEFER, H. (1985): Bestimmung der Strahlenbelastung der Bevölkerung durch Radon und dessen kurzlebige Zerfallsprodukte in Wohnhäusern und im Freien. – KfK-Bericht 3805; Karlsruhe.
- Umweltatlas Hessen. [<http://atlas.umwelt.hessen.de/atlas/>; Stand: 30.10.2019]