

Ergebnisse von Bodengasmessungen im Raum Trebur



ROUWEN LEHNÉ¹, GEORG KUHN², HANNA REINHEIMER², JOHANN-GERHARD FRITSCHÉ¹, KERSTIN GLOCK¹, MORITZ HALLER¹ & MATTHIAS KRACHT¹

1 Einleitung

1.1 Rahmenbedingungen

Als Grundlage zur Überwachung von Umweltauswirkungen durch Bau und Betrieb eines geplanten Geothermiekraftwerkes bei Trebur wurde im Rahmen einer Kooperation des HLUg mit dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt und der Unterstützung der Überlandwerke Groß-Gerau (ÜWG) eine wissenschaftlich fundierte Studie zur natürlichen Grundkonzentration der Gase Radon und CO₂ in der Bodenluft im Projektgebiet durchgeführt. In diesem Zusammenhang wurden die Messungen auch genutzt, um Rückschlüsse auf eine mögliche rezente Aktivität von Störungen zu ziehen, deren Lage durch 3-D-seismische Untersuchungen bei der Vorerkundung zur Standortermittlung der Tiefengeothermiebohrungen ermittelt wurde.

2 Methodik

2.1 Bodenluftmessungen

Zur Messung der aktuellen Radonkonzentrationen in der Bodenluft wurden Kurzzeitmessungen mit einer Messdauer von ca. 25 Minuten durchgeführt. Die Kürze der einzelnen Messungen, verbunden mit der Mobilität des Gerätes erlaubt es, im Idealfall alle 45 Minuten eine neue Messung zu starten und alle

1.2 Radon: Grundlagen

Radon (Rn) ist ein natürlich vorkommendes, radioaktives Edelgas, das als Zwischenprodukt in den Zerfallsketten von primordialen radioaktiven Isotopen gebildet wird. Das langlebigste Radon-Isotop ist das ²²²Rn mit einer Halbwertszeit von 3,82 Tagen. Es ist Bestandteil der Uran-Zerfallskette, Tochternuklid des ²²⁶Ra und am häufigsten in der erdnahen Atmosphäre in nachweisbaren Konzentrationen zu finden. Ein weiteres für Radonmessungen relevantes Isotop ist das Radium ²²⁰Rn aus der Thorium-Reihe mit einer Halbwertszeit von 55,8 Sekunden. Die anderen Isotope mit deutlich kürzeren Halbwertszeiten und geringeren natürlich auftretenden Konzentrationen sind für die Messungen nicht relevant. Die gesundheitliche Gefährdung des Radons geht von dessen festen Folgeisotopen aus, welche sich in den Alveolen der Lunge festsetzen und durch radioaktiven Zerfall Gewebeschäden hervorrufen, welche die Entstehung von Lungenkrebs begünstigen können.

Messungen an einem Standort innerhalb kurzer Zeit durchzuführen, was die witterungsspezifischen Fehler minimiert (vgl. REINHEIMER, 2011).

Mit einer Bodenluftsonde und einer Pumpe wird die Bodenluft aus einer Tiefe von einem Meter in die Messkammer gepumpt, wobei die Förderleistung der Pumpe idealerweise bei einem Liter pro Minute liegt

¹ Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie

² Technische Universität Darmstadt, Institut für angewandte Geowissenschaften, Schnittspahnstraße 9, 64287 Darmstadt

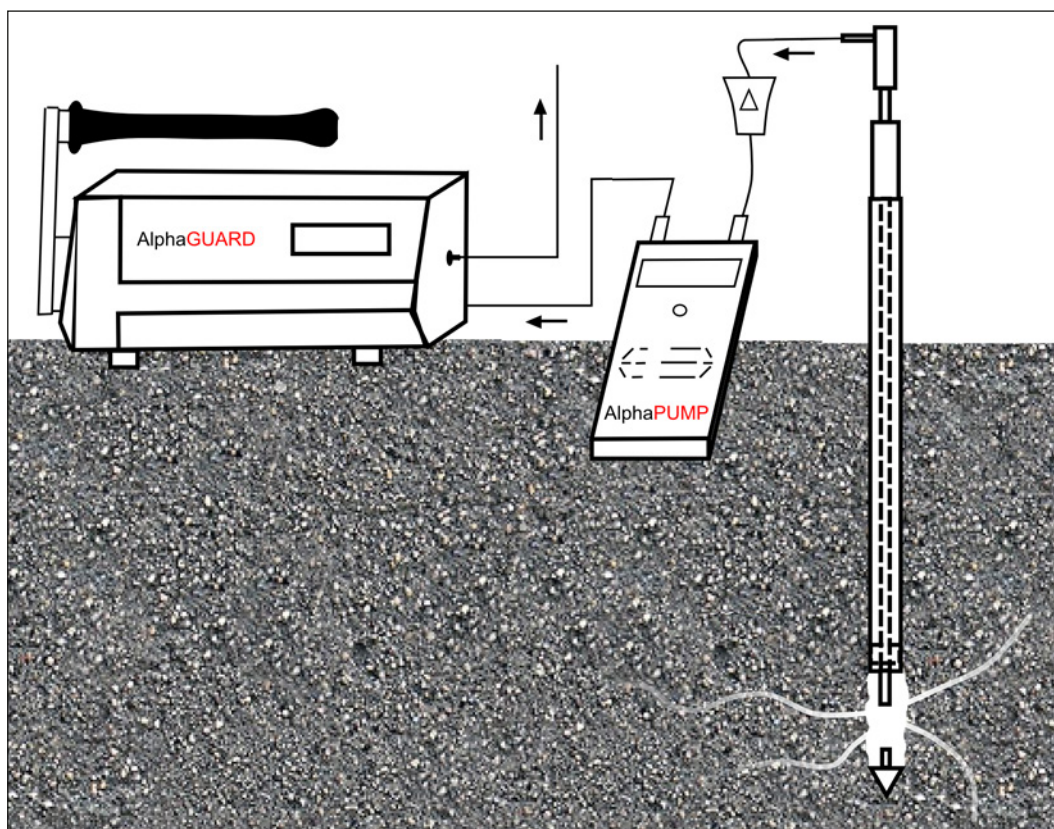


Abb. 1: Schematische Darstellung der Messanordnung (verändert nach WEWIOR, 2013).

(Abb. 1). Die tatsächliche Leistung der verwendeten Pumpe liegt unter idealen Bedingungen bei 0,88 l/min. Die geförderte Bodenluft verdrängt nach und nach die Umgebungsluft, bis die Messkammer ausschließlich mit Bodenluft gefüllt ist. Das Absetzen fester Radonfolgeisotope in der Messkammer hätte eine Erhöhung des Messhintergrundes zur Folge, weshalb der Messkammer ein Radonfolgeproduktefilter vorgeschaltet ist.

In der Messkammer des AlphaGUARD Radonmonitor wird mittels Alphaspektrometrie die Radonaktivität in Bq m^{-3} Bodenluft gemessen, wobei ein Becquerel einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde entspricht. Das Messintervall beträgt eine Messung pro Minute, wobei das Gerät neben der Aktivität des Radons außerdem Temperatur, Luftdruck und Luftfeuchte protokolliert. Der Durchströmung der Messkammer schließt sich ein Deponiegasmessgerät Dräger X-am 7000 an, welches mit einem Infrarotsensor die CO_2 -Konzentration der Bodenluft bestimmt. Bei CO_2 -Konzentrationen über 0,6 Vol.-% kann davon ausge-

gangen werden, dass Bodenluft gefördert und keine Atmosphärenluft angesaugt wird.

Der Messkammer wird mindestens 15 Minuten lang Bodenluft zugeführt, um zu gewährleisten, dass die Atmosphärenluft vollständig verdrängt wurde. Anschließend wird das System für zehn Minuten kurzgeschlossen, wodurch nur noch die Radonaktivität der Bodenluft innerhalb des Systems gemessen wird. Zehn Minuten entsprechen hierbei mehr als 10 Halbwertszeiten von ^{220}Rn , wodurch der Anteil des ^{220}Rn auf unter 0,056% sinkt und damit die gemessene Aktivität im geschlossenen Raum (Kurzschluss) nach zehn Minuten auf ^{222}Rn bezogen werden kann.

Dem Einfluss der unterschiedlichen Witterungsbedingungen an unterschiedlichen Tageszeiten und Messtagen wurde durch die Installation einer Referenzsonde Rechnung getragen. Diese wurde am Kraftwerksstandort fest eingebaut und zu Beginn und zum Ende einer Messreihe (in der Regel 1 Tag) beprobt.

Labormessungen

Zusätzlich zu den Bodengasmessungen wurde an jedem Messpunkt eine Bodenprobe genommen, die durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG) in Darmstadt analysiert wurden.

Durch die Analysen werden Rückschlüsse auf den geogenen Hintergrund des Radons möglich, also die Radonaktivität, die aus dem Zerfall radioaktiver Elemente innerhalb der Minerale des Bodens resultiert.

Bei der Analyse wurde mittels Low-Level-Gamma-spektrometrie die Aktivität des Radonvorgängerisotops Radium-226 (^{226}Ra) bestimmt. Nach einem Zeitraum von mindestens 23 Tagen (zehn ^{222}Rn -Halbwertszeiten) wurden die Proben erneut gemessen, um die Aktivität der Tochternuklide ^{214}Bi und ^{214}Pb zu bestimmen. Diese erneuten Messungen dienen zur Verbesserung der Messgenauigkeit.

3 Untersuchungsgebiet

3.1 Geographische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet liegt westlich der Kreisstadt Groß-Gerau im nördlichen Teil der Oberrheinebene auf dem Gebiet der geologischen Karte 1:25 000 Blatt 6016 Groß-Gerau.

Eingerahmt wird das Gebiet von den Gemeinden Trebur im Westen, Nauheim im Norden und Groß-Gerau im Osten. Die Landschaft des Untersuchungsgebietes ist im Wesentlichen charakterisiert durch alte Flussläufe von Rhein, Main und Neckar sowie assoziierter Deltas (Steuer, 1903/74).

3.2 Geologische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im geologischen Strukturraum des nördlichen Oberrheingrabens und wird im oberflächennahen Untergrund aus quartären sandigen bis tonigen Sedimenten des Pleistozäns und des Holozäns aufgebaut (Abb. 2). An einigen Stellen finden sich moorig bis torfige Böden.

Im gesamten Gebiet steht das Grundwasser nur wenige Meter unterhalb der Geländeoberfläche an. In einigen Fällen wurde das Grundwasser in weniger als einem Meter angetroffen. Weiterhin wird das Untersuchungsgebiet von Entwässerungsgräben durchzogen.

Die pleistozänen Ablagerungen werden hierbei von fluviatilen Ablagerungen des Rheins, Mains und Neckars aufgebaut. Die Sedimente setzen sich aus Sanden und Kiesen aber auch Schluffen und Tonen zusammen. Zusätzlich zu den fluviatilen Ablagerungen treten Flugsande auf.

Holozäne Ablagerungen bilden rezente Flussablagerungen in den Rheinauen, wo Überflutungen größtenteils durch bauliche Maßnahmen verhindert werden. Im Bereich der Bäche treten z.T. breitere Holozänflächen auf, wo bei Hochwasser feinsandige Bachlehme abgelagert werden.

Die durchgeführten Radonmessungen sind daher auch im Kontext der unterschiedlichen Ablagerungen zu betrachten. Die im Projektgebiet angetroffenen lithologischen Einheiten wurden unterschiedlich häufig beprobt (Tab. 1).

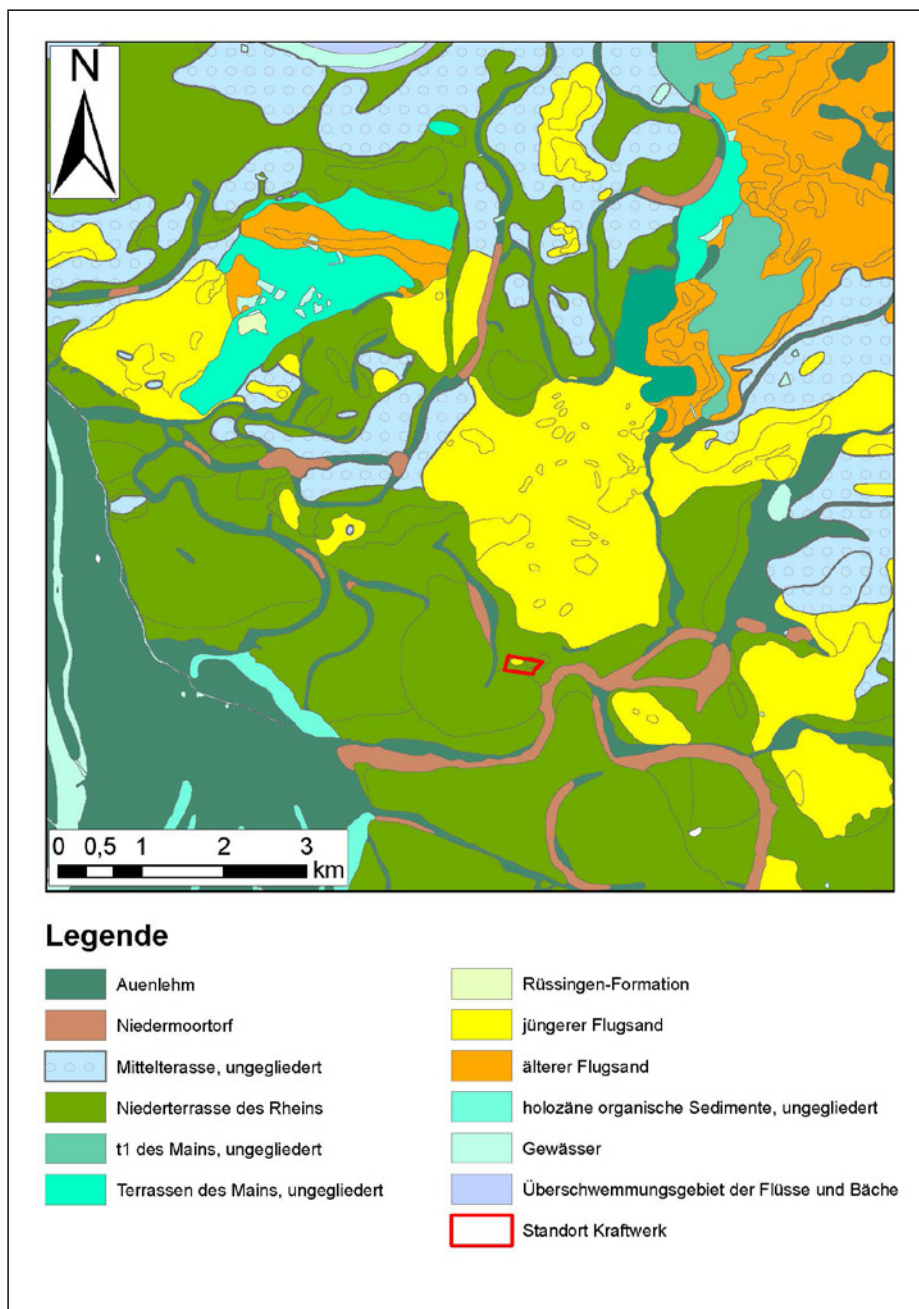


Abb. 2: Ausschnitt aus GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau), modifiziert nach STEUER (1974).

Tab. 1: Lithologische Einheiten im Untersuchungsgebiet, in denen Messungen vorgenommen wurden.

Formation	Messpunkte (Abk.)
Lithologische Einheiten	Messpunkte (Abk.)
Niederterrasse des Rheins	MP56-60; MP7, MP9-15; MP27; MP61-65; MP22-25; MP 16- 19; MP 28-30; MP31-32; MP 33-42; MP71-85, Referenz KW-Standort; ref1; MP1-6
Auenlehm	MP26; MP43-45; MP66-67; GW
Jüngerer Flugsand	MP 20-21; MP8; MP 46-55; MP68-70; MP86-93; MP995
Mittelterrasse ungegliedert	MP94

3.3 Böden

Im Untersuchungsgebiet sind über 75 verschiedene Bodenformen beschrieben worden (Weidner 1990). Die Bodenformen, in denen Messungen durchgeführt wurden, lassen sich in terrestrische Böden (Pararendzina, Braunerde, Parabraunerde, Pelosol und

Pseudogley), semiterrestrische Böden (Gleye und Auenböden) und anthropogene Böden (Kolluvisole) unterteilen.

Zur einfacheren Ansprache im Gelände wurde eine Gliederung der Bodenarten nach ihren petrologischen Bestandteilen durchgeführt (Abb. 3).

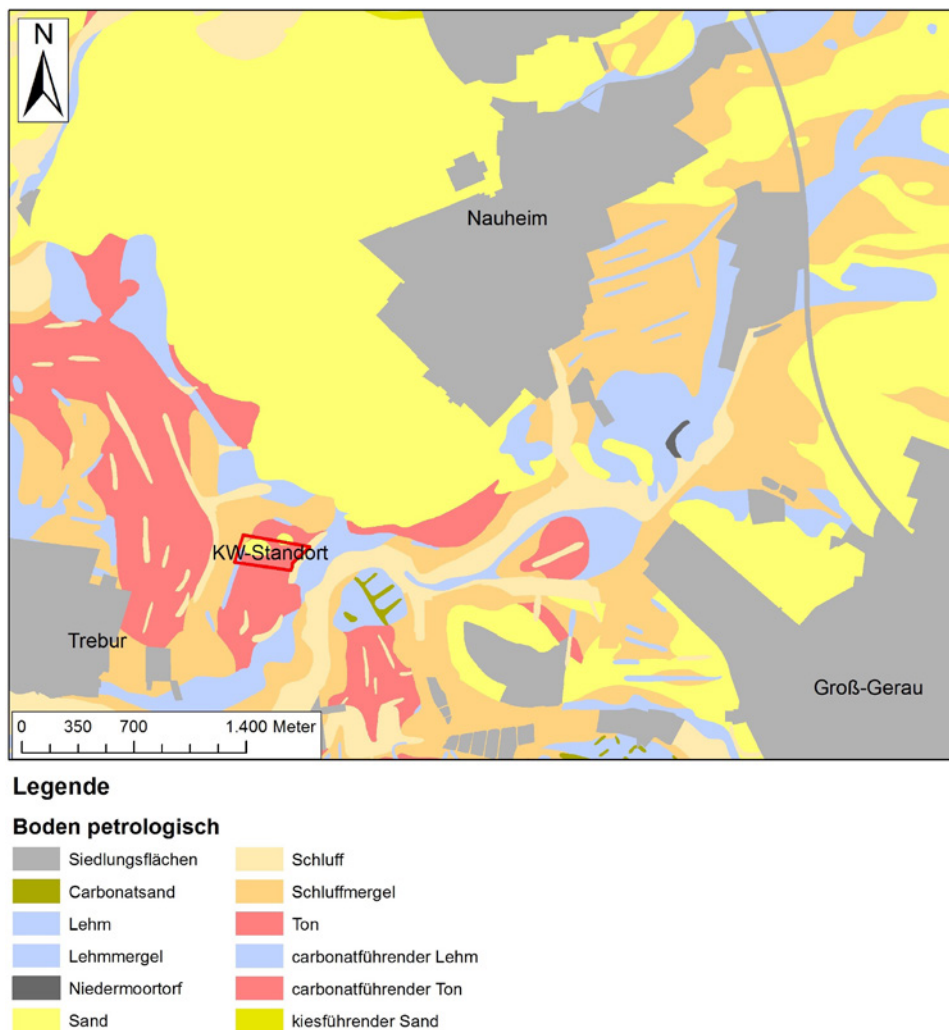


Abb. 3: Darstellung der Bodenformen nach der Zusammenfassung nach petrologischen Gesichtspunkten im Untersuchungsgebiet (modifiziert nach BK 50 Blatt 107 Oberrheinebene, WEIDNER, 1990).

3.4 Tektonik

Innerhalb des Arbeitsgebietes wurden 11 Störungen mit Hilfe seismischer Daten auskartiert. Die Lage der Störungen in einer Tiefe von 380 m unter Geländeoberkante (GOK) wurde von der Firma GeoT aus Karlsruhe in Form eines Vektordatensatzes (Shape-

file) zur Verfügung gestellt. Aufgrund nicht verfügbarer Informationen zum Fortlauf der tektonischen Störungen Richtung Geländeoberfläche wurden die Strukturen mit Einfallswinkeln zwischen 60 und 85° auf die Geländeoberfläche projiziert (Abb. 4). Im Laufe der Arbeiten zeigte sich, dass Einfallswinkel < 70° nicht nachweisbar sind.

4 Ergebnisse

Im Rahmen der Geländearbeiten wurden an 100 Messpunkten (Abb. 4) 115 Bodenluftmessungen durchgeführt. Zusätzlich wurden 96 Bodenproben genommen, die im HLUG auf ihren ^{226}Ra -Gehalt untersucht wurden.

4.1 Referenzsonde

Der Standort der Referenzsonde liegt geschützt am Rand des geplanten Standortes des Geothermiekraftwerks und verblieb während der gesamten Messkampagne im Boden.

Zu Beginn und am Ende jedes Messtages wurden Radonmessungen an der Referenzsonde durchgeführt, um die täglichen Schwankungen der Radonkonzentration zu dokumentieren und einen Durchschnittswert der Konzentrationen im Untergrund des Kraftwerkstandortes zu ermitteln.

Die gemessene natürliche Radonaktivität lag zwischen $53\,200\text{ Bq/m}^3$ und $76\,600\text{ Bq/m}^3$. Eine Abhängigkeit von der Temperatur oder dem Luftdruck lässt sich nicht ableiten. Schwankungen zwischen den Werten können auf saisonale Effekte zurückgeführt werden.

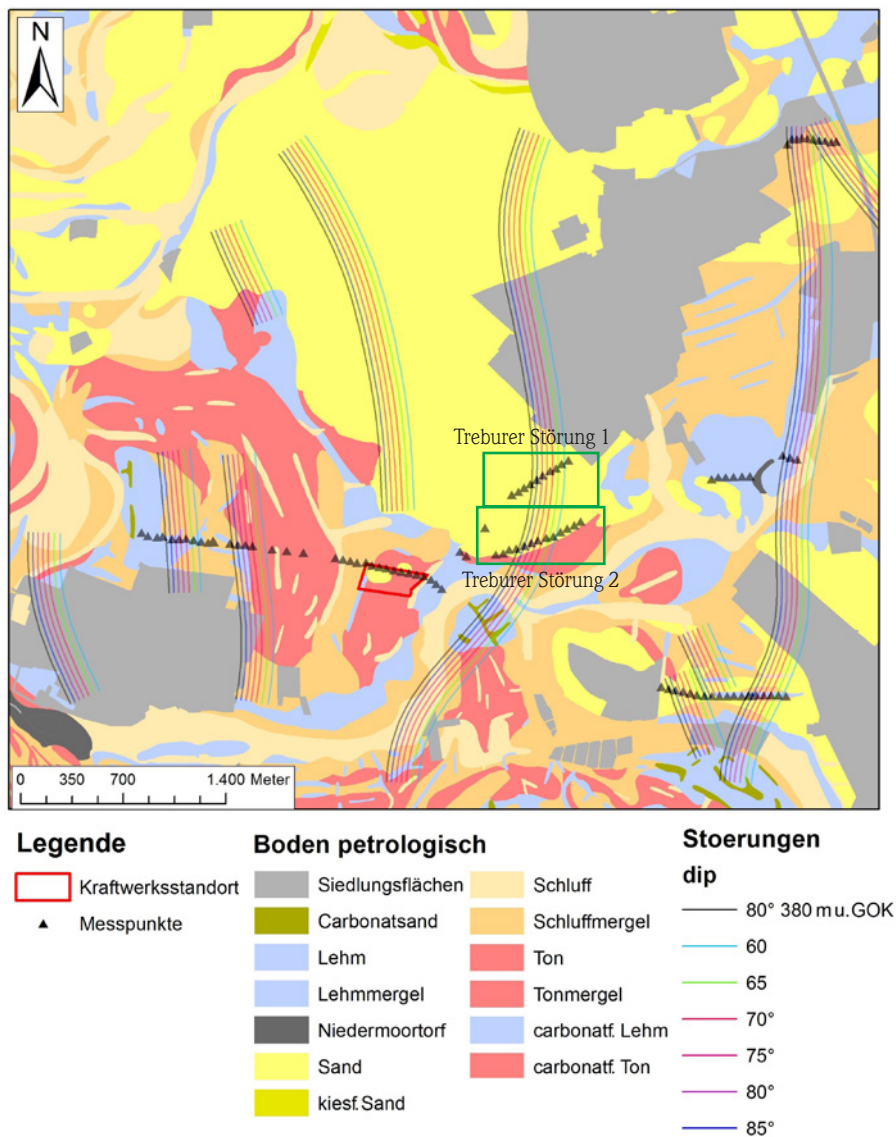


Abb. 4: Störungsverlauf 380 m unter GOK (schwarz) und Projektion der Ausbisse an der Oberfläche unter Annahme verschiedener Einfallswinkel. Die beiden Rechtecke zeigen Bereiche mit Detailanalysen an (modifiziert nach BK 50 Blatt 107 Ober-rheinebene, WEIDNER 1990).

Tab. 2: Ergebnisse der Bodenluftmessungen und Bodenanalysen der Referenzmessstelle am geplanten Kraftwerksstandort.

Messpunkt KW-Standort					
Datum	Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	Rn ²²² Ø [Bq/m ³]	Ra ²²⁶ [Bq/kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]
13.12.2013	56 137	66 560	21 888	27,6	
16.12.2013	53 367	70 144	26 155	–	
10.04.2014	62 242	74 240	23 488	–	3,2
11.04.2014	68 608	79 360	29 152	–	3,2
14.04.2014	68 754	76 800	30 464	–	3,6
15.04.2014	72 576	80 896	33 301	–	3,6
16.04.2014	76 623	97 280	30 620	–	3,6
17.04.2014	75 916	84 480	34 074	–	3,4
22.04.2014	63 019	70 144	26 112		3,6
Mittelwert	66 360	77 767	28 362		3,46

4.2 Messpunkte

Es wurden 100 Messpunkte auf insgesamt 8 Profilen gemessen, wovon die meisten Profile mindestens eine der Störungen kreuzen (Abb. 4). Die Treburer Störung wird von zwei Profilen gekreuzt, ein Profil kreuzt die GRS Antitheter 3 und 4, ein weiteres die

Nauheim-Wallerstätten-Störung und die Niederwaldstörung und ein letztes die Nauheim-Wallerstätten-Störung sowie die Störung Riedelbruch Neuwiese. Bei der Planung der Profile wurde, wenn es möglich war, darauf geachtet, dass die Messpunkte innerhalb einer Bodenform liegen.

5 Schlussfolgerungen

Vergleich der Bodenarten

Im Vergleich der petrografischen Zusammensetzungen weisen die sandigen Böden die geringsten Konzentrationen von ²²²Rn, ²²⁶Ra und CO₂ auf. Lehmmige Böden zeigen deutlich höhere Werte in allen drei Parametern und in schluffigen Böden zeigen die Werte große Schwankungen in der ²²²Rn-Konzentration.

Auch die Tonböden weisen starke Schwankungen in den Messwerten auf, wobei diese nicht vorrangig auf die Mineralzusammensetzung oder die Boden-genese sondern auf die Permeabilität zurückgeführt werden können. Zahlreiche Messungen in tonigen Böden mussten ohne Ergebnis abgebrochen werden,

da nicht ausreichend Bodenluft gefördert werden konnte. Die Messungen, in denen die Permeabilität ausreichend hoch war, zeigen sehr hohe Radonaktivitäten von meist etwa 100 000 Bq/m³, was auf die Anreicherung radioaktiver Elemente in Tonmineralen zurückzuführen ist.

Es zeigt sich, dass die Konzentration von ²²⁶Ra in Böden mit kleineren Korndurchmessern wie den Tonen und Schluffen höher ist als in Böden mit einer Kornfraktion im sandig-kiesigen Bereich. Diese Konzentrationsunterschiede lassen sich nicht auf die unterschiedlichen Dichten der Bodenarten zurückführen, da die Angaben bezüglich ²²⁶Ra in Bq/kg TM (Trockenmasse) erfolgen.

Des Weiteren zeigt sich, dass hohe Konzentrationen von ^{226}Ra nicht zwangsläufig mit hohen ^{222}Rn -Konzentrationen assoziiert werden können, weshalb eine rechnerische Ermittlung der ^{222}Rn -Konzentration aus dem ^{226}Ra -Wert einer Bodenprobe keine Alternative für die Messpunkte darstellt, an denen aufgrund geringer Permeabilität keine Bodenluft gemessen werden konnte.

Werden die Messwerte nach der zugehörigen lithologischen Einheit sortiert, so zeigt sich, dass die geringsten ^{222}Rn - und ^{226}Ra -Werte in den jüngsten Ablagerungen auftreten, während die höchsten Werte bei den älteren Fluss- und Bachlehmen erreicht werden

(Tab. 3). Diese Tendenz ist darauf zurückzuführen, dass sich die älteren Sedimente aus kleineren Kornfraktionen zusammensetzen.

Weiterhin lässt sich diese Alterstendenz in den Messwerten dadurch erklären, dass die Minerale, die Elemente der Ra-Zerfallsketten in ihrem Kristallgitter aufweisen, eine höhere Dichte und damit verbunden eine geringere Mobilität aufweisen als Minerale ohne diese Elemente. Die Ra-reichen Minerale verbleiben daher länger am Ort ihrer Ablagerung. Die leichteren Minerale werden im Laufe der Zeit wieder aufgearbeitet bzw. durch die Bodengenese weiter transportiert.

Tab. 3: Durchschnittliche Messwerte der geologischen Einheiten.

Geologische Einheiten		Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	²²² Rn Ø [Bq/m ³]	²²⁶ Ra [Bq/ kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]
Niederterrasse des Rheins						
	Mittelwert	56 461	69 229	40 507	27,8	3,3
	Standardabweichung	27 846	31 076	25 831	4,95	1,8
Auenlehm						
	Mittelwert	80 576	98 816	64 684	35,2	5,4
	Standardabweichung	23 616	34 304	33 415	5,5	0,4
Jüngerer Flugsand						
	Mittelwert	25 992	32 837	13 134	18,1	2,6
	Standardabweichung	12 136	14 827	8 376	3,1	1,9
Mittelterrasse ungegliedert						
	Mittelwert	46 793	56 320	24 320	18,4	3,8
	Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0

6 Fazit

Die Untersuchungen in der Umgebung des geplanten Standortes des Geothermiekraftwerks haben gezeigt, dass ein direkter Zusammenhang zwischen dem Bodensubstrat und der Radon- und Radiumaktivität besteht. Es lässt sich feststellen, dass die Aktivitäten von Radon und Radium von Böden der Kiesfraktion über Böden der Sand- und Schlufffraktion bis zu den Tonen hin ansteigen. Weiterhin ist zu beobachten, dass eine Tendenz der Steigerung der Aktivität von Radon und Radium von jungen hin zu älteren Sedimenten besteht.

Eine direkte Korrelation der ^{226}Ra -Aktivität mit der ^{222}Rn -Konzentration lässt sich nicht ableiten. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass eine höhere ^{226}Ra -Aktivität im Boden zu einer höheren Radonkonzentration in der Bodenluft, bei gleicher Bodenbeschaffenheit, führt. Es lässt sich jedoch nicht erkennen, dass von einer hohen Radonkonzentration in der Bodenluft auf eine hohe ^{226}Ra -Aktivität geschlossen werden kann. Nur bedingt lässt sich die zu erwartenden Radonkonzentration durch die Bestimmung von ^{226}Ra abschätzen, da nur ^{222}Rn ein Folgeprodukt von ^{226}Ra darstellt und die Anteile von ^{220}Rn und ^{219}Rn nicht berücksichtigt werden können. Außerdem wird die große Zahl der Faktoren, die Einfluss auf die Konzentration von Radon in der Bodenluft nehmen, in solch einem Rechenmodell nicht berücksichtigt.

Durch die für diese Arbeit durchgeführten Messungen konnte kein eindeutiger Zusammenhang zwischen den vorhandenen Störungen und einer Erhöhung der Radonkonzentration oberhalb dieser Störungen bestimmt werden. Es war auch nicht möglich, den umgekehrten Zusammenhang, dass erhöhte

Radonwerte oberhalb einer Störung auf eine rezente Aktivität schließen lassen, eindeutig zu klären. Jedoch haben die Messungen gezeigt, dass in fast allen Bereichen oberhalb der im Untersuchungsgebiet vorhandenen Störungen eine Tendenz zu erhöhten Radonkonzentrationen in der Bodenluft im Vergleich zu nicht in Störungszonen gelegenen Messungen zu verzeichnen war. Besonders im Bereich der Treburer Störung konnte dieser Sachverhalt beobachtet werden. Weiterhin konnte festgestellt werden, dass die CO_2 -Konzentrationen in den Störungszonen erhöht sind.

In Bezug auf CO_2 war kein direkter Zusammenhang zwischen der Art des Bodensubstrats und der Höhe der gemessenen CO_2 -Konzentration festzustellen. Gleichwohl hat die Beschaffenheit des Bodens, wie die Permeabilität, entscheidenden Einfluss auf die CO_2 -Konzentration. Die CO_2 -Konzentration kann im Feld als Entscheidungsgrundlage herangezogen werden, ob bei der Messung die Bodenluft mit atmosphärischer Luft kontaminiert wurde und somit die Messung verworfen und die Sonde erneut niedergebracht werden sollte.

Zur Berücksichtigung der Bedenken aus der Öffentlichkeit hinsichtlich verstärkter Radonemanationen bei dem Betrieb von Tiefengeothermiekraftwerken wurde mit den beschriebenen Messungen der natürliche Zustand dokumentiert.

Ein Monitoring zu Radon- und CO_2 -Gehalten in der Bodenluft während des Abteufens und den hydraulischen Tests an den Bohrungen und während eines späteren Kraftwerksbetriebs kann helfen, Bedenken aus der Öffentlichkeit zu minimieren.

7 Literaturverzeichnis

- REINHEIMER, H. (2011): Radonmessungen in der Bodenluft zur Detektion und Beschreibung neotektonischer Prozesse – Die Methode und ihre praktische Anwendung. Abschlussarbeit BSc, Fachbereich 11 Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt: 69 Seiten, (unveröffentlicht); Darmstadt.
- STEUER, A., SCHMITT, O. & SONNE, V. (1903/74): Geologische Karte von Hessen 1:25000, Blatt 6016 Groß-Gerau, Hessisches Landesamt für Bodenforschung (HLfB , 2.ergänzte Auflage); Wiesbaden.
- WEIDNER, E.(1990): Blatt 107: Oberrheinebene, Bodenkarte der nördlichen Oberrheinebene 1:50.000, Hessisches Landesamt für Bodenforschung (HLfB); Wiesbaden.
- WEWIOR, S. (2013): Messung von Radonkonzentrationen in der Bodenluft zur Beurteilung der Aktivität von tektonischen Störungen im Raum Darmstadt. Fachbereich 11 Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt: 52 Seiten, (unveröffentlicht); Darmstadt.