

Radonmessungen in der Bodenluft bei Trebur einschließlich der Entwicklung eines standardisierten Messverfahrens zur Lokalisation von Verwerfungen

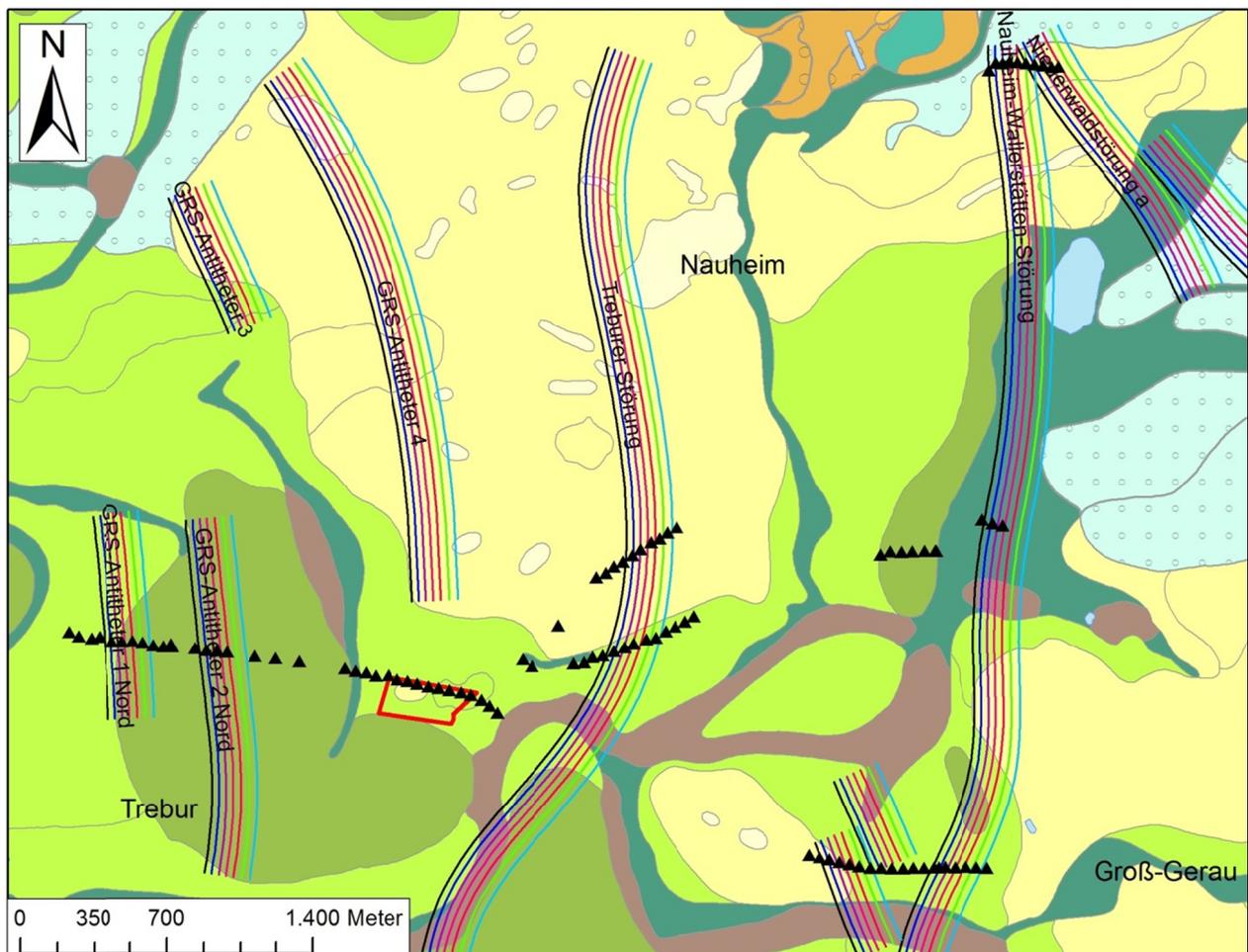


TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Masterarbeit von

Georg Kuhn, Matr.-Nr.: 1291494

Institut für Angewandte Geowissenschaften
Darmstadt, August 2014



Eidesstattliche Erklärung

Hiermit erkläre ich, Georg Kuhn (Matrikel-Nr. 1291494), dass ich die vorliegende Masterarbeit

" Radonmessungen in der Bodenluft bei Trebur einschließlich der Entwicklung eines standardisierten
Messverfahrens zur Lokalisation von Verwerfungen "

ohne Hilfe Dritter und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit wurde bisher in gleicher oder ähnlicher Form keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt und nicht veröffentlicht.

.....
Ort, Datum

.....
Unterschrift

Erstberichterstatter/in: Prof. Dr. Andreas Hoppe

Zweitberichterstatter/in: Dr. Rouwen Lehné



Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	i
Abbildungsverzeichnis	iii
Abkürzungsverzeichnis	v
1. Zusammenfassung	1
2. Einleitung	3
2.1. Motivation	3
2.2. Ziel der Arbeit	3
3. Radon	4
3.1. Das Edelgas Radon	4
3.2. Herkunft und Entstehung von Radon	6
4. Methodik	9
4.1. Bodengase	9
4.1.1. Radon	9
4.1.2. Kohlenstoffdioxid (CO ₂)	12
4.2. Gammaskopimetrie	13
4.3. ArcGIS	16
5. Das Untersuchungsgebiet	17
5.1. Geographische und hydrographische Übersicht	17
5.2. Entstehung des Oberrheingrabens	18
5.3. Quartäre Sedimente	23
5.3.1. Pleistozän	23
5.3.2. Holozän	28
5.4. Böden	29
5.4.1. Bodensystematik	30
5.4.2. Terrestrische Böden	31
5.4.3. Semiterrestrische Böden	32
5.4.4. Anthropogene Böden	33

5.5.	Bodenformen des Untersuchungsgebietes	35
6.	Datengrundlage.....	38
7.	Ergebnisse	41
7.1.	Ergebnisse der Untersuchungen an der Referenzmessstelle.....	42
7.2.	Ergebnisse der Messprofile	44
8.	Vergleich und Diskussion	48
8.1.	Tektonik	48
8.2.	Auswahl der Profile.....	50
8.3.	Profile.....	50
8.4.	Vergleich der Parameter und Schlussfolgerung.....	51
8.5.	Vergleich der Untergrundformen	51
8.5.1.	Treburger Störung	56
8.5.2.	Riedbruch Neuwiese Störung.....	61
8.5.3.	Niederwaldstörung.....	63
8.5.4.	Nauheim Wallerstätten Störung.....	65
8.5.5.	Kraftwerksstandort und GRS-Antitheter Nord	68
8.5.6.	Nordwestlich Groß-Gerau an Nauheim Wallerstätten Störung	73
8.6.	Fazit.....	76
9.	Ausblick.....	78
10.	Anhang.....	79
10.1.	Legende BK25 Blatt 6016 Groß-Gerau	80
10.2.	Klassifikation der Bodenbeschaffenheit an den Messpunkten.....	82
10.3.	Zuordnung der Parameter zu den Messpunkten.....	85
10.4.	CD.....	95
11.	Danksagungen	96
12.	Literaturverzeichnis	97

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Radon-220 in der Thorium Zerfallskette	5
Abbildung 2: Radon-222 in der Uran-Radium Zerfallsreihe	5
Abbildung 3: Radon-219 in der Uran-Actinium Zerfallskette	6
Abbildung 4: Messanordnung und Luftstrom beim Ansaugen der Bodenluft	10
Abbildung 5: 'Kurzschluss' des AlphaGUARD zu einem geschlossenen System	11
Abbildung 6: Übersichtskarte des Gebiets um Groß Gerau	18
Abbildung 7: Das Europäische Känozoische Grabensystem nach Ziegler	19
Abbildung 8: Quartäre Sedimentmächtigkeiten des Oberrheingrabens	22
Abbildung 9: Ausschnitt aus GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau)	27
Abbildung 10: Detaillierte Darstellung der im Untersuchungsgebiet kartierten Bodenformen	29
Abbildung 11: Vereinfachte Darstellung der Bodenformen im Untersuchungsgebiet	35
Abbildung 12: shapefile auf Grundlage der BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene)	38
Abbildung 13: Shapefiles auf Grundlage der GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau)	39
Abbildung 14: Abweichende Grenzverläufe zwischen BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene) und GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau)	40
Abbildung 15: Übersichtskarte der Messpunkte	41
Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Radonkonzentrationen an der Referenzmessstelle	43
Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf des Luftdrucks, der Temperatur und der CO ₂ -Konzentration	43
Abbildung 18: Störungsverlauf 380 m unter GOK	49
Abbildung 19: Übersichtskarte der Lage, der im Detail betrachteten Ausschnitte	55
Abbildung 20: Treburer Störung 1	57
Abbildung 21: Treburer Störung 2	59
Abbildung 22: Riedbruch Neuwiese Störung	62
Abbildung 23: Niederwald Störung	64
Abbildung 24: Nauheim Wallerstätten Störung	66
Abbildung 25: Kraftwerksstandort	69
Abbildung 26. GRS-Antitheter Nord	71

Abbildung 27: NW Groß-Gerau.....	74
Abbildung 28: Legende der detaillierten BK 50 Blatt 107: Oberrheinebene	81
Tabelle 1: Technische Daten des AlphaGUARD PQ 2000PRO	12
Tabelle 2: Gammaskpektrometrische Bestimmung von Ra-226	15
Tabelle 3: Geologische Formationen im Untersuchungsgebiet	26
Tabelle 4: Übersicht über die Bodenformen, in denen Messungen durchgeführt wurden	36
Tabelle 5: Ergebnisse der Bodenluftmessungen und der Bodenanalyse der Referenzmessstelle am geplanten Kraftwerksstandort	42
Tabelle 6: Ergebnisse der Bodenluftmessungen und der Bodenanalyse	44
Tabelle 7: Auszug aus der Zuordnung der Messpunkte	47
Tabelle 8: Durchschnittliche Messwerte der Böden.....	52
Tabelle 9: Durchschnittliche Messwerte der geologischen Formationen.....	54
Tabelle 10: Messergebnisse zu Abb. 20.....	58
Tabelle 11: Messergebnisse zu Abb. 21.....	60
Tabelle 12: Messergebnisse zu Abb. 22.....	63
Tabelle 13: Messergebnisse zu Abb. 23.....	65
Tabelle 14: Messergebnisse zu Abb. 24.....	67
Tabelle 15: Messergebnisse zu Abb. 25.....	70
Tabelle 16: Messergebnisse zu Abb. 26.....	72
Tabelle 17: Messergebnisse zu Abb. 27.....	75
Tabelle 18: Zuordnung der Messpunkte zu den einzelnen Bodenformen/geologischen Formationen	82
Tabelle 19: Datengrundlage der Gliederung der Diskussion	85

Abkürzungsverzeichnis

Abb.	Abbildung
Abk.	Abkürzung
Ac-227	Actiniumisotop 227; $t_{1/2}$ 21,78 a
BfS	Bundesamt für Strahlenschutz
Bi-214	Bismutisotop 214; $t_{1/2}$ 19,9 min
BK 50	Bodenkarte im Maßstab 1:50.000
Bq	Becquerel; SI-Einheit der Aktivität
bzw.	beziehungsweise
ca.	circa
CH ₄	Methan
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
E	Osten
et al.	et alii; und andere
Fe	Eisen
GPS	Global Positioning System
GK 25	Geologische Karte im Maßstab 1:25.000
HLUG	Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
Hrsg.	Herausgeber
K-40	Kaliumisotop 40; $t_{1/2}$ $1,277 \cdot 10^9$
KW	Kraftwerk
Mn	Mangan
MP	Messpunkt
N	Norden
O ₂	Sauerstoffmolekül
Pb-210	Bleiisotop 210; $t_{1/2}$ 22,3 a
Pb-214	Bleiisotop 214; $t_{1/2}$ 26,8 min
Ra-226	Radiumisotop 226; $t_{1/2}$ 1602 a
Ra-228	Radiumisotop 228; $t_{1/2}$ 5,7 a
Rn-222	Radonisotop 222; $t_{1/2}$ 3,84 d
S	Süden
S.	Seite

Th-228	Thoriumisotop 228; $t_{1/2}$ 1,9 a
Th-232	Thoriumisotop 232; $t_{1/2}$ $1,405 \cdot 10^{10}$ a
U-235	Uranisotop 235; $t_{1/2}$ 26 min
U-238	Uranisotop 238; $t_{1/2}$ $4,468 \cdot 10^9$ a
vgl.	vergleiche
W	Westen
WHO	Weltgesundheitsorganisation
ÜWG	Überlandwerke Groß-Gerau

Einheiten

°C	Grad Celsius
a	Jahr
Bq	Becquerel (Anzahl der radioaktiven Zerfälle pro Sekunde)
Bq/kg TM	Becquerel pro Kilogramm Trockenmasse
d	Tag
keV	Kiloelektronenvolt
Kg	Kilogramm
l	Liter
m	Meter
mbar	Millibar
dm	Dezimeter
mm	Millimeter
m ³	Kubikmeter = 1.000 Liter
min	Minute
s	Sekunde
Vol.-%	Volumenprozent
%	Prozent
<	kleiner als
>	größer als
Ø	arithmetischer Mittelwert

1. Zusammenfassung

Radon ist ein radioaktives Edelgas, das in Zerfallsreihen entsteht und natürlich in der Boden- und Umgebungsluft vorkommt. Es kann, wenn es über längere Zeiträume von Menschen eingeatmet wird, zu Lungenkrebs führen. Aufgrund dieser Tatsache wurden im Laufe der Bürgergespräche zum Bau eines Geothermiekraftwerks in Groß-Gerau Bedenken aus der Bevölkerung geäußert. Um dem Rechnung zu tragen, wurde eine Kooperation zwischen den Überlandwerken Groß-Gerau, dem Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie und dem Institut für Angewandte Geowissenschaften der TU Darmstadt beschlossen. Ziel dieser Vereinbarung, aus der die hier vorgestellte Masterarbeit resultiert, ist es, den Radonhintergrund in der Bodenluft im Gebiet zwischen Groß-Gerau und Trebur zu bestimmen. Des Weiteren sollen die durch die seismischen Untersuchungen entdeckten Störungen im Tertiär daraufhin untersucht werden, ob sich die Störungen im Quartär fortsetzten und Wegsamkeiten bis an die Geländeoberfläche darstellen und ob eine rezente Aktivität besteht.

Zur Klärung dieser Frage wurde an 96 Punkten die Radon- und die CO₂-Konzentration in der Bodenluft bestimmt, weiterhin wurden Bodenproben aus einem Meter Tiefe genommen und mittels Gammaskopie auf Radium-226, dem Mutternuklid des für die Störungskartierung wichtigen Radon-222, bestimmt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Radonkonzentration in der Bodenluft zu einem großen Anteil von der Bodenbeschaffenheit abhängt. Es lässt sich feststellen, dass mit sich verringernder Korngröße des Bodensubstrates die Radonkonzentration in der Bodenluft steigt. Für die CO₂-Konzentrationen hat sich dieser Zusammenhang nicht gezeigt.

Weiterhin hat die Permeabilität des Bodens einen großen Einfluss auf die Bodengaskonzentrationen, besonders in Bereichen, in denen eine niedrig permeable Schicht eine hoch permeable überlagert, werden sehr hohe Konzentrationen gemessen. Dies liegt an der abdichtenden Wirkung der niedrig permeablen Schicht, sodass im Liegenden die Bodengase akkumulieren können.

Die gemessenen Ra-226 Aktivitäten in den Bodenproben liegen mit Werten zwischen 13,8 und 43,6 [Bq/Kg TM] in den vom Bundesamt für Strahlenschutz herausgegebenen durchschnittlichen Aktivitätsbereichen der untersuchten Böden. Das Bundesamt für Strahlenschutz gibt für Sand einen üblichen Ra-226 Gehalt von 1 – 39 [Bq/kg TM] (Mittelwert 15 [Bq/kg TM]) und für Ton/Lehm von < 20 – 90 [Bq/kg TM] (Mittelwert < 40 [Bq/kg TM]) an (BfS, 2014; Pavlidou 2004).

Es hat sich gezeigt, dass von einem erhöhten Radiumgehalt auf erhöhte Radonkonzentrationen in der Bodenluft geschlossen werden kann, umgekehrt ist dies nicht möglich. In manchen Bereichen, vgl. Abb. 21, zeigt sich ein Anstieg der Radon- und der CO₂- Konzentrationen in der Bodenluft im Bereich der Störungen. Allgemein lässt sich feststellen, dass in vielen Fällen in den Störungszonen diese beiden Anteile an der Bodenluft erhöht sind. Eindeutige Peaks, die die Hintergrundkonzentration um deren mehrfaches übersteigen, konnten nicht festgestellt werden.

Auf Basis der Ergebnisse der Messungen ist es unwahrscheinlich, dass Bau und Betrieb des Geothermiekraftwerks Einfluss auf die Radonmigration entlang der Störungen haben werden.

2. Einleitung

2.1. Motivation

Im Raum Groß-Gerau planen die Überlandwerke Groß-Gerau (ÜWG) den Bau eines Geothermiekraftwerks. Im Zuge der Planung wurde ein Bürgerdialog durchgeführt. Während der Gespräche sind aus der Bevölkerung Bedenken geäußert worden, dass durch die Bauarbeiten und den späteren Betrieb des Kraftwerks verstärkt Radon aus dem Untergrund aufsteigen könnte und somit eine gesundheitliche Gefährdung der Bevölkerung nicht auszuschließen sei. Um diesen Bedenken Rechnung zu tragen, hat das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie (HLUG), als Beweissicherung, Radonmessungen in der Bodenluft angeregt. Im Zuge dieser Überlegungen wurde mit den Überlandwerken Groß-Gerau (ÜWG) eine Kooperation beschlossen, die dem Ziel dient, die rezente Aktivität der im Gebiet von Groß-Gerau kartierten Störungen zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde die Durchführung von 100 Messungen entlang eines 5 km langen Profils vereinbart.

In der Arbeitsgruppe sind bereits mehrere hundert Messungen der Radonaktivität in der Bodenluft durchgeführt worden (Kuhn, 2013, Wewior, 2013, Bonanati 2012). Bei diesen Messungen sind Defizite in der allgemein zur Anwendung kommenden Methode zu Tage getreten. Aus dieser Erkenntnis heraus sind Überlegungen zur Verbesserung der Methode angestellt worden, die im Rahmen dieser Masterarbeit umgesetzt werden sollen.

2.2. Ziel der Arbeit

Ziel der Arbeit ist es, im Rahmen der Kooperation mit den Überlandwerken Groß-Gerau, die in der Methode zur Bestimmung der Radonaktivität in der Bodenluft erkannten Mängel zu beseitigen, bzw. diese Methode zu verbessern. Weiterhin soll das Verständnis für die Zusammenhänge zwischen rezent aktiven Störungen, in situ Radon-Emanation aus dem Bodensubstrat und der Permeabilität des Bodens verbessert werden.

Die durchgeführten Messungen sollen die Grundkonzentration des Radons im Arbeitsgebiet dokumentieren und, wenn möglich, eine rezente Aktivität der in 380 Metern unter Geländeoberfläche aus seismischen Daten kartierten Störungen bewerten.

Ein weiteres Ziel ist es, eine integrierte Messvorrichtung zu erhalten, die in der Lage ist, neben der Radonaktivität auch die Konzentration weiterer Bodengase und die Permeabilität des Bodens zu bestimmen. Um dieses Ziel zu erreichen, sind im Nachgang der Masterarbeit weitere Messungen und die Integration weiterer Messgeräte geplant.

3. Radon

3.1. Das Edelgas Radon

Radon ist ein natürlich vorkommendes, radioaktives Edelgas, welches auch in hohen Konzentrationen farb-, geruch- und geschmacklos ist. Es hat die Ordnungszahl 86 und ist ein Element der 8. Hauptgruppe des Periodensystems der Elemente. Sein Elementsymbol lautet Rn.

Aufgrund seiner stabilen Elektronenkonfiguration ist Radon, wie alle Edelgase, inert. Sein Siedepunkt liegt bei $-61,8\text{ °C}$, weshalb es bei Normalbedingungen gasförmig ist. Bis heute sind 34 Radonisotope, die alle radioaktiv sind, bekannt. Allerdings kommen nur fünf von ihnen in den natürlichen radioaktiven Zerfallsketten vor (Neidherr et al., 2009).

In den natürlichen radioaktiven Zerfallsreihen entsteht Radon durch den Alphazerfall radioaktiver Radiumisotope. In der Uran-Radium Zerfallsreihe entsteht aus Radium-226 Radon-222 (Radon), welches mit 3,82 Tagen die längste Halbwertszeit der natürlichen Radonisotope aufweist. Radon-220 (Thoron) entsteht in der Thorium-Zerfallsreihe aus Radium-224, während Radon-219 (Actinon) in der Uran-Actium-Zerfallsreihe aus Radium-223 entsteht. Beide weisen mit 55,8 s und 3,96 s deutlich kürzere Halbwertszeiten als Radon-222 auf. Der weitere Zerfall der Radonisotope in den einzelnen Zerfallsketten führt über radioaktive Isotope von Polonium, Wismut und Blei bis ein stabiles Blei- bzw. Wismutisotop in der Neptunium Zerfallsreihe die Zerfallskette stoppt (Demtröder, 2010).

Die radioaktiven Zerfallsprodukte des eingeatmeten Radons können gesundheitliche Schäden verursachen, da sie sich in den Alveolen der Lunge festsetzen und durch radioaktiven Zerfall Gewebeschäden anrichten und so die Entstehung von Lungenkrebs begünstigen (BfS, 2010).

Im Folgenden sind die einzelnen Zerfallsreihen dargestellt (Abb. 1 – 3).

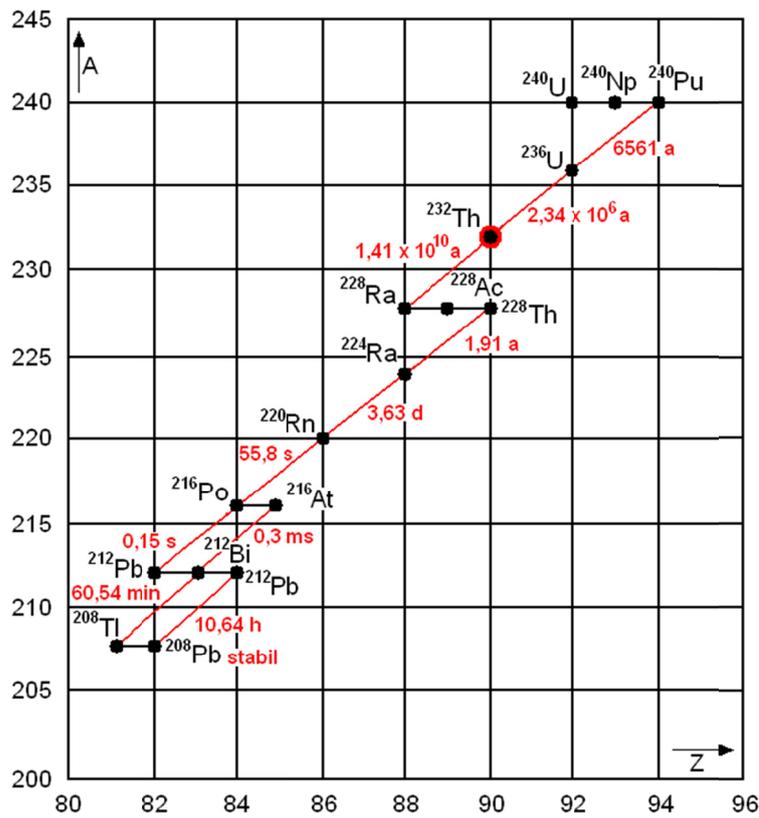


Abbildung 1: Radon-220 in der Thorium Zerfallskette mit Halbwertszeiten der Alphazerfälle (Reinheimer, 2011 nach Demtröder, 2010)

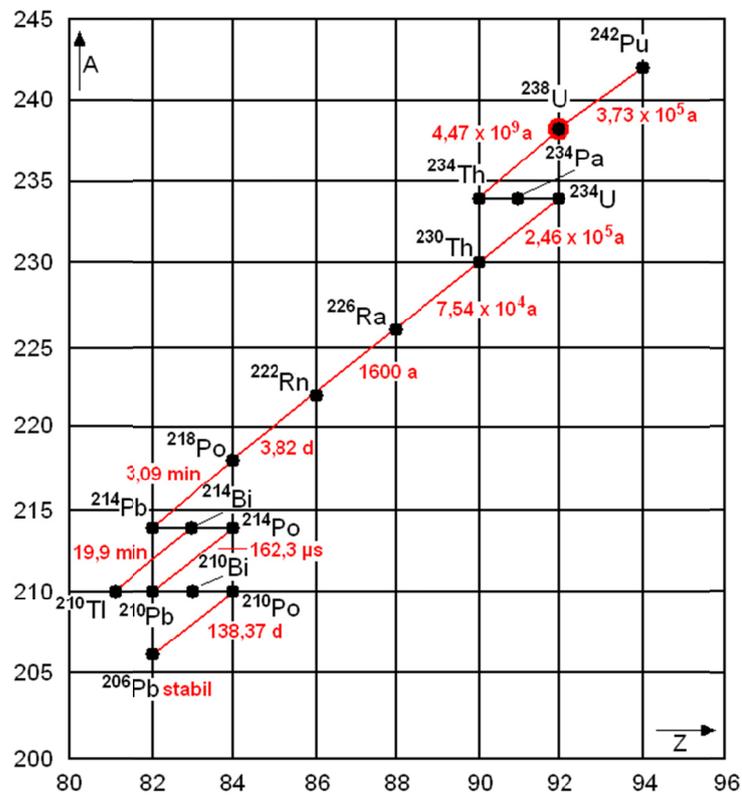


Abbildung 2: Radon-222 in der Uran-Radium Zerfallsreihe mit Halbwertszeiten der Alphazerfälle (Reinheimer, 2011 nach Demtröder, 2010)

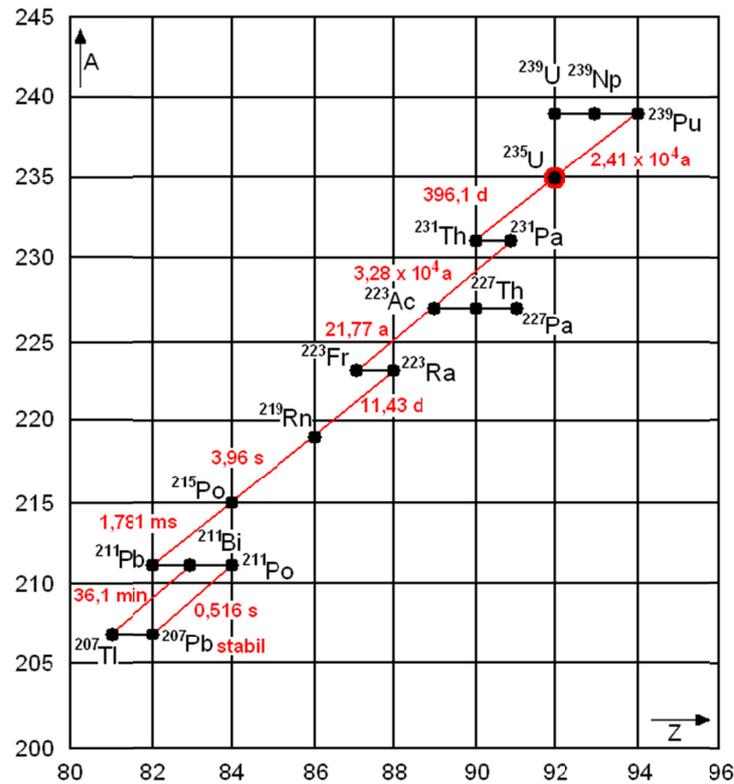


Abbildung 3: Radon-219 in der Uran-Actinium Zerfallskette mit Halbwertszeiten der Alphazerfälle (Reinheimer, 2011 nach Demtröder, 2010)

3.2. Herkunft und Entstehung von Radon

In den Gesteinen des Untergrunds sind Minerale enthalten, in denen radioaktive Elemente wie Uran und Thorium eingebaut sind. Im Laufe der Zerfallsketten entsteht so Radium, das Mutternuclid des Radons. Die Konzentration der radioaktiven Elemente hängt von den gesteinsbildenden Prozessen, den Lagerungsverhältnissen und den physikochemischen Eigenschaften der Radionuklide ab, weshalb die Konzentrationen gebietsweise deutliche Unterschiede aufweisen (Kemski et al., 1998).

In sauren magmatischen Gesteinen ist mit hohen Radonkonzentrationen zu rechnen, da besonders Granite und Rhyolithe hohe Konzentrationen der Mutternuclide aufweisen. Minerale mit besonders hohen Urankonzentrationen sind z.B. Apatit, Monazit und Zirkon. Des Weiteren kommt es in Scher- und Verwitterungszonen zur Anreicherung von Radonmutternucliden auf den Korngrenzen in Form von Sekundärmineralen. Diese Minerale werden aufgrund von Adsorption an Oxihydroxide und neu gebildete Tonminerale gebunden (Kemski et al., 2012).

Allerdings lässt sich nicht zwangsläufig ein Zusammenhang zwischen der Radonkonzentration in der Bodenluft und der Konzentration der Mutternuclide im Gestein bzw. im Boden herstellen. Einen maßgeblichen Einfluss auf die Freisetzung von Radon aus einem Mineral oder einem Korn hat die Emanation. Die Emanation beschreibt die Freisetzung gasförmiger Produkte aufgrund von radioaktivem Zerfall durch Diffusion und Rückstoßeffekte während des Alphazerfalls.

Das Radonisotop, welches durch Alphazerfall aus einem Radiumisotop entstanden ist, verlässt nicht zwangsläufig das Korn, in welchem der Zerfall stattgefunden hat, so wird es nicht in den Porenraum entlassen. Des Weiteren kann das Radonisotop den Porenraum zwischen zwei Körnern durchqueren und in einem anderen Korn gebunden werden (Schumann & Gundersen, 1996). Für die Konzentration des Radons in der Bodenluft sind ausschließlich die Radonisotope verantwortlich, die in den Porenraum entlassen werden, ohne erneut gebunden zu werden. Der Anteil der Radonisotope, die an den Porenraum abgegeben werden, gemessen an der gesamten Radonproduktion durch radioaktiven Zerfall, nennt man Emanationskoeffizient oder escape-to-production ratio (Schumann & Gundersen, 1996).

Die Emanation von Radon, also die Freisetzung des Edelgases aus den festen Vorgängern der Zerfallsreihen, wird als Release bezeichnet (Wiegand, 2001). Den weiteren Weg des Radons durch den gas- oder wassergefüllten Porenraum nennt man Migration. Die Exhalation beschreibt den Übergang des Radons aus der Bodenluft in die Atmosphäre (Wiegand, 2001).

Ausschlaggebend für die Radonkonzentration in der Bodenluft ist die kornoberflächennahe Konzentration von Mutternukliden, weshalb ein Korn mit großer Oberfläche, aber kleiner Mutternuklidkonzentration genauso viel Radon in die Bodenluft entlassen kann wie ein Korn mit hoher Mutternuklidkonzentration aber kleiner Oberfläche (Kemski et al., 2012).

Aufgrund seiner Eigenschaften als Edelgas besitzt das Radonatom nach dem Austritt aus dem Kristallgitter eine große Mobilität. Es kann trotz seiner geringen Reaktionsbereitschaft von festen und flüssigen Phasen sorbiert werden, weshalb es im Grundwasser gelöst vorliegen und mit dem Grundwasserstrom transportiert werden kann.

Für Gase wird die Löslichkeit in Flüssigkeiten durch den Verteilungskoeffizienten $K = C_1/C_2$ beschrieben, wobei C_1 die Konzentration des Gases in der flüssigen Phase beschreibt, während C_2 für die Konzentration des Gases in der Luft über der flüssigen Phase steht. K nimmt mit zunehmender Temperatur ab. Der Verteilungskoeffizient liegt bei 0°C bei ca. $K = 0,51$ und bei 20°C bei ca. $K = 0,25$. Grund- und Quellwässer in Kontakt mit radonexhalierenden Gesteinen enthalten leicht 4-40 Bq/l (Philipsborn & Regenstauf, 2006).

Die Migration durch den Porenraum erfolgt sowohl diffusiv als auch an Trägergasen wie O_2 , CO_2 und CH_4 gebunden. Die entscheidenden Faktoren für die Migrationsweite stellen neben dem Transportmechanismus die effektive Porosität, der Wassergehalt und die Halbwertszeit dar.

Da Radon-222 die längste Halbwertszeit der Radonisotope aufweist, zeigt es auch die größte Migrationsweite, weshalb es für viele radonbezogene Fragestellungen von entscheidender Bedeutung ist (Kemski et al., 2012). Bei dieser Arbeit wird die Gesamtkonzentration aller Radonisotope in der Bodenluft betrachtet.

In Kapitel 7 und 8 wird explizit auf Rn-222 eingegangen, da es als Indikator von rezent aktiven Störungen aufgrund seiner größeren Migrationsweite eine weit größere Bedeutung hat als Rn-219 und Rn-220.

4. Methodik

4.1. Bodengase

4.1.1. Radon

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 Geräts erlaubt es, im Idealfall alle 45 Minuten eine neue Messung zu starten und alle Messungen an einem Standort innerhalb kurzer Zeit durchzuführen, was die witterungsspezifischen Fehler minimiert (vgl. Reinheimer, 2011).

Die Bodenluft wird mit einer Bodenluftsonde und einer Pumpe aus einem Meter Tiefe mit einem kontinuierlichen Luftstrom von idealerweise einem Liter pro Minute in die Messkammer gefördert, 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. Ein Absetzen fester Radonfolgeisotope in der Messkammer würde durch deren weitere Alphazerfälle das Messergebnis verfälschen, weshalb ein Radonfolgeproduktefilter diese Isotope vor Eintritt in die Messkammer herausfiltert (Abb. 4).

In der Messkammer wird mittels Alphaspektrometrie die Radonaktivität in Bq/m^3 Bodenluft gemessen, wobei ein Becquerel einem radioaktiven Zerfall pro Sekunde entspricht. Das Messintervall beträgt bei den hier durchgeführten Messungen eine Minute. Neben der Aktivität des Radons protokolliert das Gerät den Luftdruck, die Luftfeuchte und die Temperatur. Die geförderte Bodenluft wird anschließend über einen Schlauch in das Deponiegasmessgerät Dräger X-am 7000 geleitet. Dieses Gerät bestimmt mittels Infrarotsensor die CO_2 -Konzentration in der Bodenluft. Bei Werten über 0,6 Vol.-% kann davon ausgegangen werden, dass Bodenluft gefördert wird und das Sondenrohr ausreichend gegen die Atmosphäre abgedichtet ist.

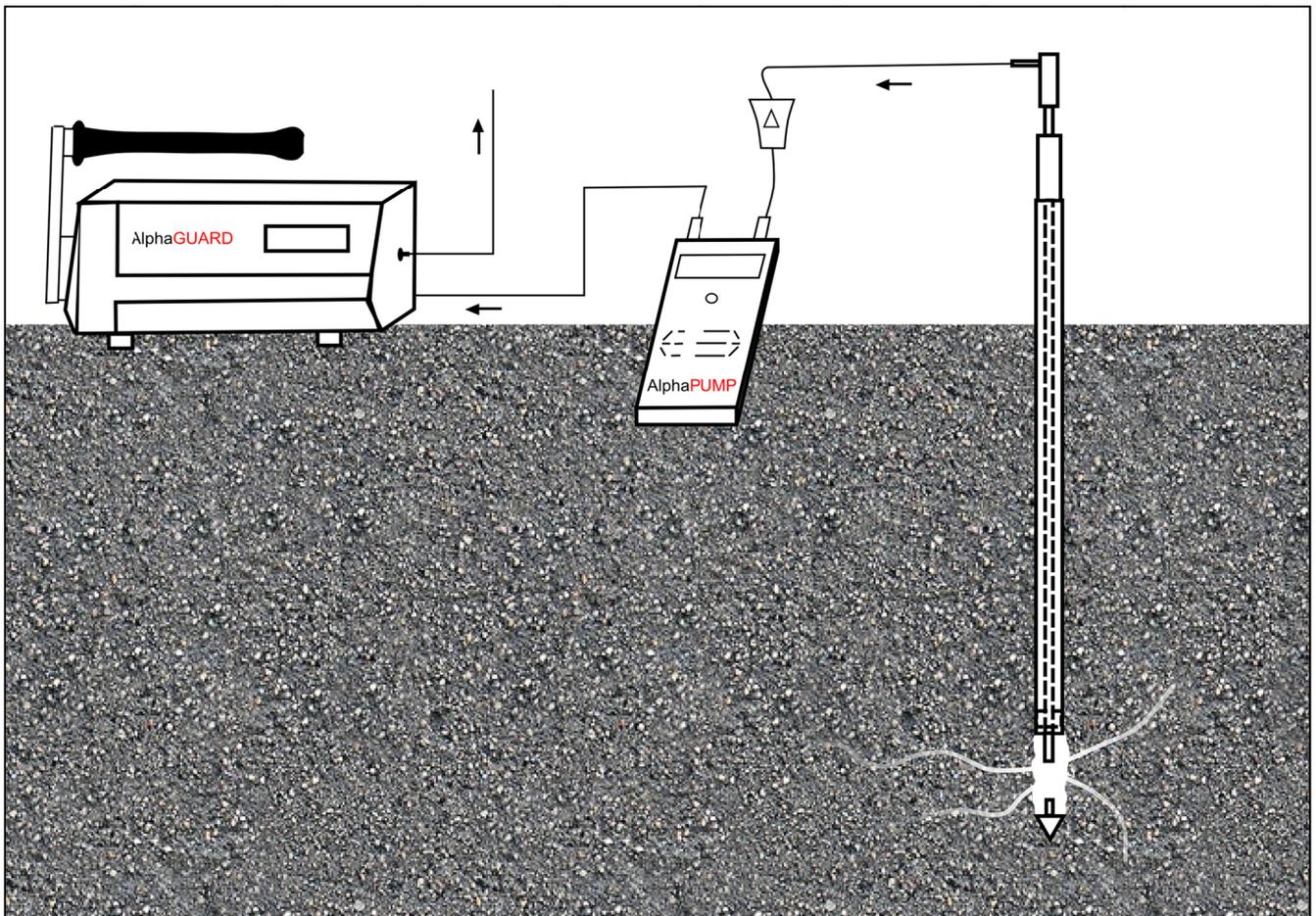


Abbildung 4: Messanordnung und Luftstrom beim Ansaugen der Bodenluft. Verändert nach S. 32 User Manual Portable Radon Monitor "AlphaGUARD" 12/98 (Wewior, 2013)

Zur Vorbereitung einer Messung muss zunächst die Bodenluftsonde, ein hohles Rohr mit einer Länge von 104 Zentimetern und einem Durchmesser von 22 Millimetern, mittels Hammerschlägen in den Boden getrieben werden. Hierbei ist zu beachten, dass das Rohr möglichst senkrecht und ohne Vibrationen in die Tiefe gebracht wird, da es sonst zu einer Vermischung der Boden- mit der Atmosphärenluft kommen kann. Es ist zusätzlich sinnvoll, den Bereich um das Rohr zu wässern und zu verdichten.

Das Rohr wird vor dem Versenken am unteren Ende mit einem Niet verschlossen, damit kein Material hineingelangen und das Rohr verstopfen kann. Wenn das Rohr die Endtiefe von ca. einem Meter erreicht hat, wird es mittels Handgriff um 10 Zentimeter angehoben, um einen Hohlraum zu schaffen, aus dem die Bodenluft angesaugt werden kann. Anschließend wird die Messsonde in das Rohr eingeführt, dadurch wird der Niet am unteren Ende herausgedrückt, er verbleibt im Boden (Neznal et al., 2004; Kemski et al., 2012) (vgl. Abb. 4). Durch kurzes Ansaugen der Bodenluft mit dem Mund wird getestet, ob die Durchlässigkeit des Bodens für eine Messung ausreicht.

Vor der eigentlichen Messung werden die Messgeräte mit Außenluft gespült, bis eine Aktivität von unter 1.000 Bq/m^3 und eine CO_2 -Konzentration von weniger als 0,2 Vol.-% erreicht sind.

Wenn dies der Fall ist, kann die Pumpe mit der Bodenluftsonde verbunden werden, hierdurch wird die Messung gestartet.

Es muss gewährleistet werden, dass die Pumpe der Messkammer mindestens 15 Minuten lang Bodenluft zuführt, damit die Kammer vollständig mit Bodenluft gefüllt ist. Nach 15 Minuten wird das System kurzgeschlossen, so dass nur die aktuell im AlphaGUARD vorhandene Bodenluft gemessen wird.

Das Schließen des Systems hat zur Folge, dass das kurzlebige Radon-220 zerfällt und nach 10 Minuten, was mehr als 10 Halbwertszeiten entspricht, lediglich der vernachlässigbar kleine Teil von weniger als 0,056% der ursprünglichen Radon-220 Konzentrationen in der Messkammer vorhanden ist.

Die Vorgehensweise, den Mengenanteil von Radon-220 zu bestimmen, wird vor allem bei der Störungskartierung angewendet. Diese Vorgehensweise wird jedoch bei allen Messungen in der Arbeitsgruppe angewendet, damit Messungen die nicht vornehmlich der Störungskartierung dienen, für weitere Arbeiten genutzt werden können.

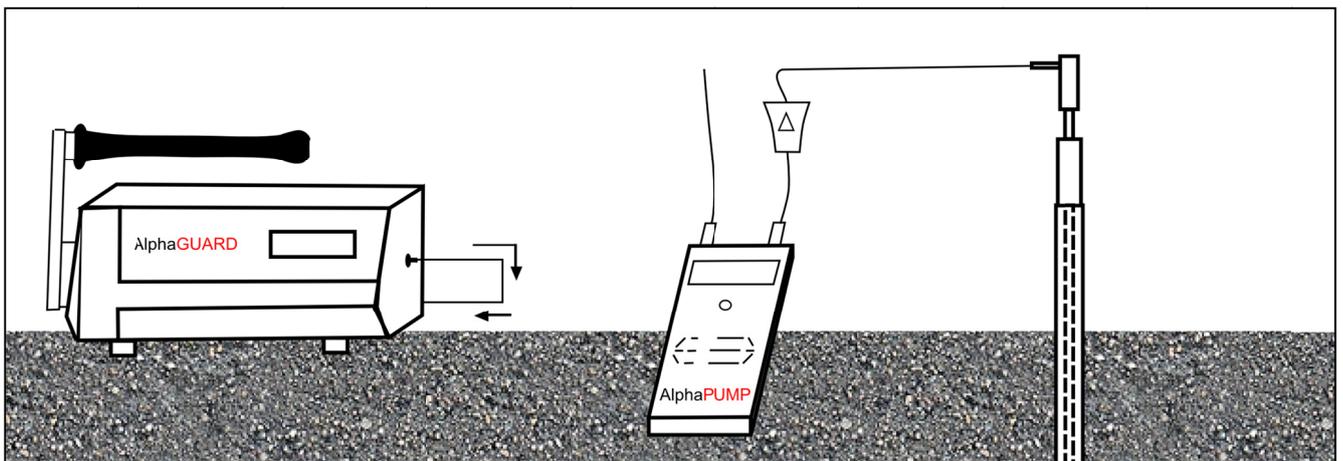


Abbildung 5: 'Kurzschluss' des AlphaGUARD zu einem geschlossenen System, bei dem innerhalb kurzer Zeit das Radon-220 zerfällt. Verändert nach S. 32 User Manual Portable Radon Monitor "AlphaGUARD" 12/98 (Wewior, 2013)

Um die Messungen verschiedener Tage vergleichen und weitere mögliche Beeinflussungen der Messungen erkennen zu können, werden bei jeder Messung die jeweils herrschenden Witterungsbedingungen und der Zeitpunkt des letzten Niederschlags dokumentiert. Weiterhin wird an jedem Geländetag eine Messung an der, am Kraftwerksstandort fest verbauten Referenzsonde durchgeführt. Der genaue Standort der Messung wird mittels GPS bestimmt und gespeichert.

AlphaGUARD PQ 2000PRO

Die im Rahmen dieser Masterarbeit durchgeführten Radonmessungen wurden mit dem AlphaGUARD PQ 2000PRO der Firma Saphymo GmbH, vormals Genitron Instruments GmbH, durchgeführt.

Tabelle 1: Technische Daten des AlphaGUARD PQ 2000PRO (Wewior, 2013, verändert nach Benutzerhandbuch Alpha GUARD PQ 2000 PRO)

	PQ2000Pro	
Radondetektor:	Ionisationskammer, HV = 750 VDC	
Funktionsprinzip:	3D Alphaspektroskopie und Strommodus	
Gesamtes / aktives Detektorvolumen:	0,62 Liter / 0,56 Liter	
Detektor-Füllmechanismus:	Optimiert für schnelle passive Diffusion	Durchflussmodus
Kalibrierunsicherheit:	3% (plus Unsicherheit des Primärstandards)	
Linearitätsunsicherheit	< 3% innerhalb des gesamten Messbereichs	
Gradientenansprechvermögen (Diff.-Betrieb):	Signal > 30% nach 10 min. / Signal > 70% nach 20 min. / Signal >90% nach 30 min	
Detektorempfindlichkeit:	1 Imp./min. bei 20 Bq/m ³	
Hintergrund (Eigeneffekt):	< 1 Bq/m ³ (Auslieferungsstand)	
Betriebsbereich:	-10 ... +50 °C / 700 ... 1.100 mbar / 0 ... 99 %rH	

4.1.2. Kohlenstoffdioxid (CO₂)

Die Konzentration von Kohlenstoffdioxid wird in Reihe geschaltet mit der Radonkonzentration gemessen. Die Bestimmung des CO₂-Gehaltes in der Bodenluft erfolgt, da Radon durch CO₂ als Trägergas vermehrt und schneller aus dem tieferen Untergrund aufsteigen kann. Ein Peak in den CO₂-Werten entlang eines Profils in Kombination mit einem Peak in den Radonwerten ist ein eindeutiges Zeichen für den Aufstieg dieser beiden Gase aus dem Untergrund. Weiterhin lässt sich mit der Messung der CO₂-Werte überprüfen, ob die Bodenluftsonde und das Bohrloch gegen die Atmosphäre abgedichtet sind und wirklich Bodenluft gefördert wird. Zur Bestimmung der CO₂-Konzentration in der Bodenluft wird das Deponiegasmessgerät Dräger X-am 7000 verwendet.

Bei dem Gerät handelt es sich um ein Multigasmessgerät, das mit drei elektrochemischen und zwei Infrarot-, katalytischen Sensoren oder Photoionisationsdetektoren bestückt werden kann.

Durch die Kombination von über 25 verschiedenen Sensoren ist es möglich, über 100 Gase und Dämpfe zu messen. Für die im Rahmen der Arbeit durchgeführten Messungen wurde zuerst ein Gerät zu Testzwecken geliehen. Dieses Gerät war mit drei Sensoren (EX-Sensor, CO₂-Sensor und H₂S-Sensor) sowie einer integrierten Pumpe bestückt. Die mit dem Leihgerät durchgeführten Messungen haben gezeigt, dass im Arbeitsgebiet in der Bodenluft keine messbare Konzentration von Methan und Schwefelwasserstoff vorliegt. Weiterhin wurde festgestellt, dass der CO₂-Sensor mit einem Messbereich von 0-5 Vol.-% ungeeignet für die geplante Anwendung ist, da die in der Bodenluft auftretenden CO₂-Konzentrationen häufig höher als 5 Vol.-% liegen. Die integrierte Pumpe weist mit 0,6 l/min eine zu geringe Förderleistung auf, sodass die Messungen weiterhin mit der Alphapump der Firma Saphymo mit einer Förderleistung von 1 l/min (0,88 l/min) durchgeführt werden.

Aufgrund der Erkenntnisse, die mit dem Leihgerät gewonnen werden konnten, ist ein Dräger X-am 7000 ohne integrierte Pumpe angeschafft worden. Das Gerät ist mit einem Smart IR CO₂HC-Sensor, der einen Messbereich von 0-100 Vol.-% CO₂, bei einer Genauigkeit von 0,2 Vol.-%, abdeckt, bestückt. Es ist möglich zu einem späteren Zeitpunkt eine integrierte Pumpe und weitere Sensoren nachzurüsten, somit kann auf in Zukunft auftretende erweiterte Messanforderungen reagiert werden. So kann durch die Kombination der beiden verfügbaren CO₂-Sensoren die Messgenauigkeit im Bereich 0 – 5 Vol.-% CO₂ auf 0,01 Vol.-% erhöht werden.

4.2. Gammaskpektrometrie

Es ist möglich, natürliche Radionuklide unter bestimmten Bedingungen gammaspektrometrisch zu messen. Zu diesen Radionukliden gehören neben K-40 die Radionuklide der drei natürlichen Zerfallsreihen wie U-238, Ra-226 und Pb-210 aus der Uran/Radium-Zerfallsreihe, U-235 und Ac-227 aus der Uran/Actinium Zerfallsreihe sowie Th-232, Ra-228 und Th-228 aus der Thorium-Zerfallsreihe (Schkade et al., 2000).

In den Zerfallsreihen treten Isotope des Edelgases Radon auf, deren Emanation aus den die Messanordnung umgebenden Materialien von verschiedenen physikalischen Größen abhängt, daher kann es zu Schwankungen der Radonkonzentration und dessen Folgeprodukten kommen. Generell ist es vorteilhaft, eine Ultra-Low-Level-Messanordnung einzusetzen, das heißt eine Anordnung, deren Aufbau und Auswahl aller Materialien, aus denen Detektor und Abschirmung bestehen, einen sehr niedrigen Untergrund gewährleisten. Aus diesem Grund konnte nur ein Teil der beim HLUG verfügbaren Messplätze genutzt werden, da in einigen Abschirmungen zu hohe, die Messung beeinflussende Radium-Konzentrationen vorliegen. Weiterhin sollte der Probenraum mit Stickstoff gespült werden, um z.B. die Auswirkungen der schwankenden Radonkonzentration zu minimieren (Schkade et al., 2000).

Bestimmung von Radium-226

Ra-226 ist ein langlebiges Radionuklid in der Uran/Radium-Zerfallsreihe mit einer Halbwertszeit von 1620 Jahren. Ra-226 steht in der Uran-Radium Zerfallskette vor Rn-222 und ist daher für die in situ Bildung von Rn-222 verantwortlich. Es bestehen zwei Möglichkeiten für die gammaspektrometrische Bestimmung von Ra-226. Zum einen gibt es die Möglichkeit, Ra-226 an der 186,1- keV-Linie auszuwerten zum anderen können die kurzlebigen Folgeradionuklide Pb-214 und Bi-214 des Rn-222 nach Erreichen des radioaktiven Gleichgewichts zwischen Ra-226, Rn-222, Pb-214 und Bi-214 gemessen werden (Schkade et al., 2000).

Wird die Linie bei 186,1 keV genutzt, ist zu beachten, dass U-235 bei 185,72 keV eine Linie besitzt und diese Überlagerung berücksichtigt werden muss. Die spezifische Aktivität von U-235 beträgt in natürlichen Medien nur etwa 1/22 der spezifischen Aktivität des Ra-226, jedoch ist die Emissionswahrscheinlichkeit der Linie des U-235 um den Faktor 16 höher als die Emissionswahrscheinlichkeit der Linie des Ra-226. Diese Überlagerung ist jedoch unproblematisch, wenn von radioaktivem Gleichgewicht in der Uran/Radium-Reihe ausgegangen werden kann, d.h. der Aktivitätsgehalt an U-238 gleich dem an Ra-226 ist und damit auch der Aktivitätsgehalt an U-235 bekannt ist. Dies gilt jedoch für die meisten Umweltproben nicht, sodass die Korrektur dieser Störung nur durch die Bestimmung der spezifischen Aktivität von U-235 durch andere Linien oder durch die Ableitung aus der Aktivität von U-238 erfolgen kann (Schkade et al., 2000). Bei den im Rahmen dieser Arbeit gewonnen Proben ist jedoch davon auszugehen, dass das radioaktive Gleichgewicht nicht gestört wurde.

Für die Bestimmung der Aktivität der kurzlebigen Folgeradionuklide werden gasdichte Messgefäße benötigt. Ansonsten würde Rn-222 entweichen, dieser Verlust würde dazu führen, dass zu geringe Werte für Pb-214 und Bi-214 ermittelt würden. Der Zeitraum zwischen Einfüllen der Messprobe in ein gasdichtes Gefäß und Beginn der Messung wird durch die Halbwertszeit von Rn-222, welche 3,8 Tage beträgt, vorgegeben. Er sollte mindestens 23 Tage betragen. Einige zur Auswertung geeignete Linien sind in der nachfolgenden Aufstellung zusammengefasst (Schkade et al., 2000).

Tabelle 2: Gammaskopmetrische Bestimmung von Ra-226 (Schkade et al., 2000)

zu messendes Radionuklid	Energie in keV	P _y in %	Störnuklid
Ra-226	186,10	3,51	U-235 (185,72 keV; 57,2%)
Pb-214	295,22	18,15	
	351,93	35,10	Bi-211 (351,06 keV; 12,91%)
Bi-214	609,31	44,60	
	1120,29	14,70	
	1764,49	15,10	

Bei der für diese Arbeit angewendeten Methodik wurde wie folgt verfahren:

Die Bodenproben, die an den einzelnen Messpunkten genommen wurden, werden bei 105°C in einem Trockenschrank für 24 Stunden getrocknet. Anschließend wird das Probenmaterial zerkleinert und in einen 1l-Minarellibecher gefüllt und luftdicht verschlossen. Danach werden die Bodenproben gemessen, es wird die Gammalinie bei 186 keV ausgewertet. Nach einem Zeitraum von mindestens 30 Tagen werden die Proben erneut gemessen, es wird die Aktivität der Tochternuklide Bi-214 und Pb-214 bestimmt. Die erneute Messung dient der Verbesserung der Messgenauigkeit und dem Vergleich der beiden möglichen Bestimmungsverfahren.

Bei den Messungen ist folgendes Mess-Setup verwendet worden:

HPGe- Halbleiterdetektoren (Canberra),

Digitale Spektren-Analysatoren (Canberra DSA1000, Canberra Lynx)

Auswertungssoftware (Canberra Genie 2000, V 3.2.1b)

Die erste Messung zur Auswertung der 186,1 keV Linie erfolgte über einen Zeitraum von 150.000 Sekunden, die zweite Messung zur Bestimmung der Aktivität über die Tochternuklide des Rn-222 erfolgte über 70.000 Sekunden. Die Bestimmung der Ra-226 Gehälter der Böden wurde durch das Hessische Landesamt für Umwelt und Geologie in Darmstadt durchgeführt.

4.3. ArcGIS

Das verwendete Kartenmaterial ist von den Kooperationspartnern (HLUG und ÜWG) zur Verfügung gestellt worden. Die Ergebnisse der seismischen Untersuchungen wurden durch die Überlandwerke Groß-Gerau, das Kartenmaterial vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie zur Verfügung gestellt. Die Daten wurden mit ArcGIS 10.0 SP2 des Herstellers ESRI georeferenziert. Weiterhin wurde dieses Programm für die Auswertung, Interpretation und Visualisierung der Messungen verwendet.

5. Das Untersuchungsgebiet

5.1. Geographische und hydrographische Übersicht

Das Untersuchungsgebiet liegt westlich der Kreisstadt Groß-Gerau im nördlichen Teil der Oberrheinebene (Abb. 6). Das Gebiet liegt vollständig innerhalb des Blattes 6016 der Geologischen Karte 1:25.000. Eingerahmt wird es von den Gemeinden Trebur im Westen, Nauheim im Norden und Groß-Gerau im Osten. Die Landschaft des Untersuchungsgebietes ist im Wesentlichen charakterisiert durch ein altes, ausgedehntes Flussdelta des Rheins, Mains und Neckars. Ein großes Gebiet nehmen die alten Flussläufe des Rheins ein, die bis heute weite Wiesenflächen bilden. Sie greifen bei Trebur am weitesten nach E aus (Steuer, 1974).

Der Main floss ehemals nach S und SW und bildete ein ausgedehntes Delta, in dem vermutlich mehrere Arme gleichzeitig genutzt wurden. Es lassen sich drei alte Läufe, die von Uferrändern begrenzt werden, erkennen (Steuer, 1974).

Im SE, von Dornberg – Groß-Gerau kommend, ziehen sich die alten Schlingen des Neckars in NW-Richtung. In der Gegend von Nauheim erreichte der Neckar seinen nördlichsten Punkt, wenigstens mit dem Lauf, der heute noch von der Bergstraße aus bis zur alten Mündung bei Trebur zu verfolgen ist (Steuer, 1974).

Das Gebiet ist dominiert von sandigen bis tonigen fluviatilen Ablagerungen aus dem Pleistozän und Holozän. 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. An einigen Stellen befinden sich moorig torfige Böden (vgl. Abb.9 & 11).

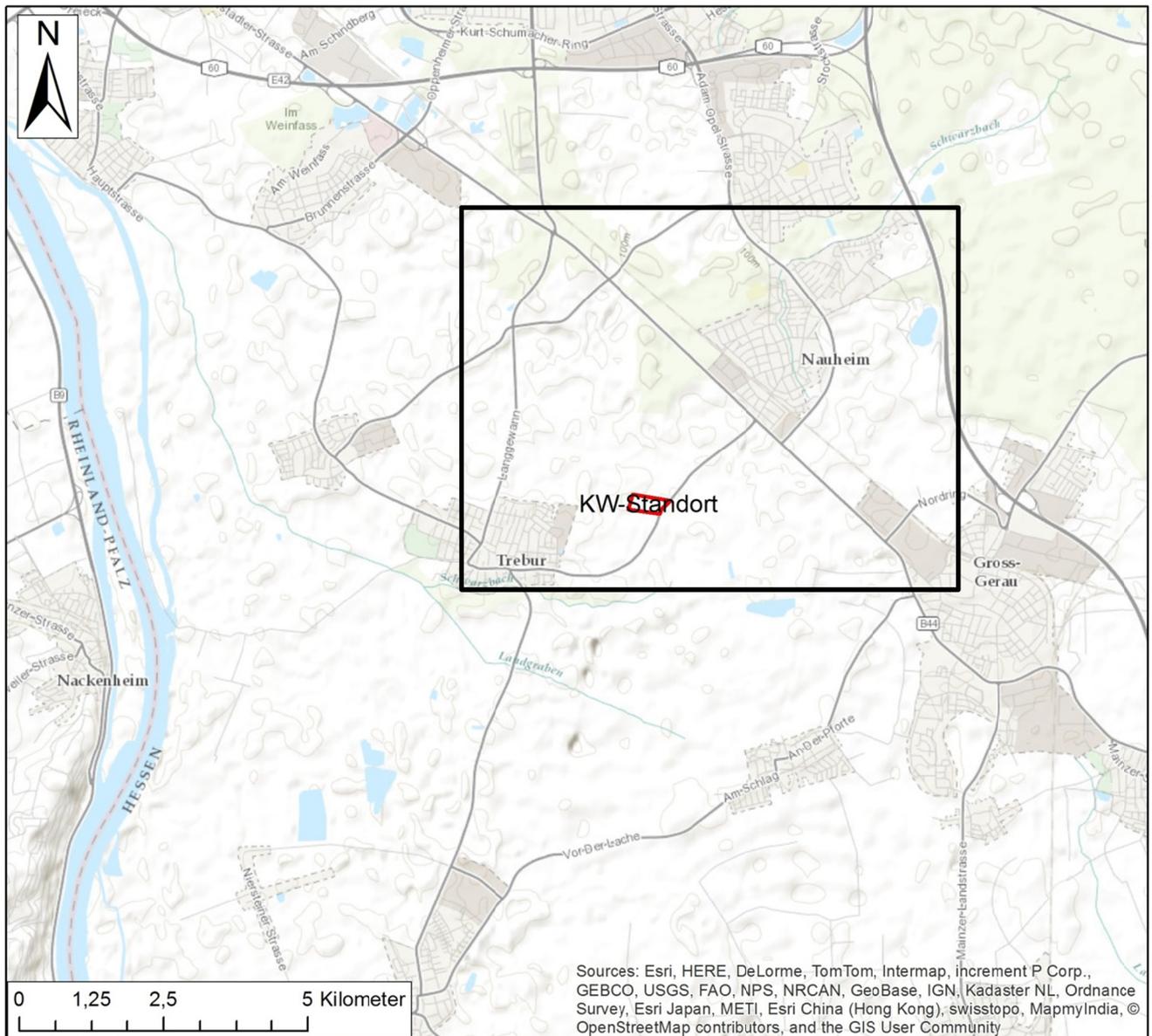


Abbildung 6: Übersichtskarte des Gebiets um Groß Gerau, der schwarze Rahmen zeigt die Lage des Untersuchungsgebietes an, der rote Rahmen den geplanten Kraftwerksstandort, Esri map server, 2014: ArcGIS – world topographic map

5.2. Entstehung des Oberrheingrabens

Das Känozoische Rift-System erstreckt sich von der Nordsee bis ins Mittelmeer über eine Strecke von mehr als 1000 km. Der Oberrheingraben bildet den zentralen Teil dieses Systems (Ziegler, 1994).

Im Norden wird der Oberrheingraben durch das Rheinische Schiefergebirge und im Süden durch den Faltenjura begrenzt. Er erstreckt sich 300 km in Nord-Süd Richtungen und hat eine Ausdehnung von 30 – 40 km in Ost-West Richtung. Weiterhin gehört die mehrere Kilometer breite Randschollenzone zur tektonischen Region des Oberrheingrabens (Schumacher, 2002).

Zu der Randzone gehören von Norden nach Süden der Vogelsberg, der Odenwald, der Schwarzwald und die Vogesen, sie bestehen zum überwiegenden Teil aus dem variszischen Grundgebirge (Walther & Dorn, 2007; Geyer et al., 2011).

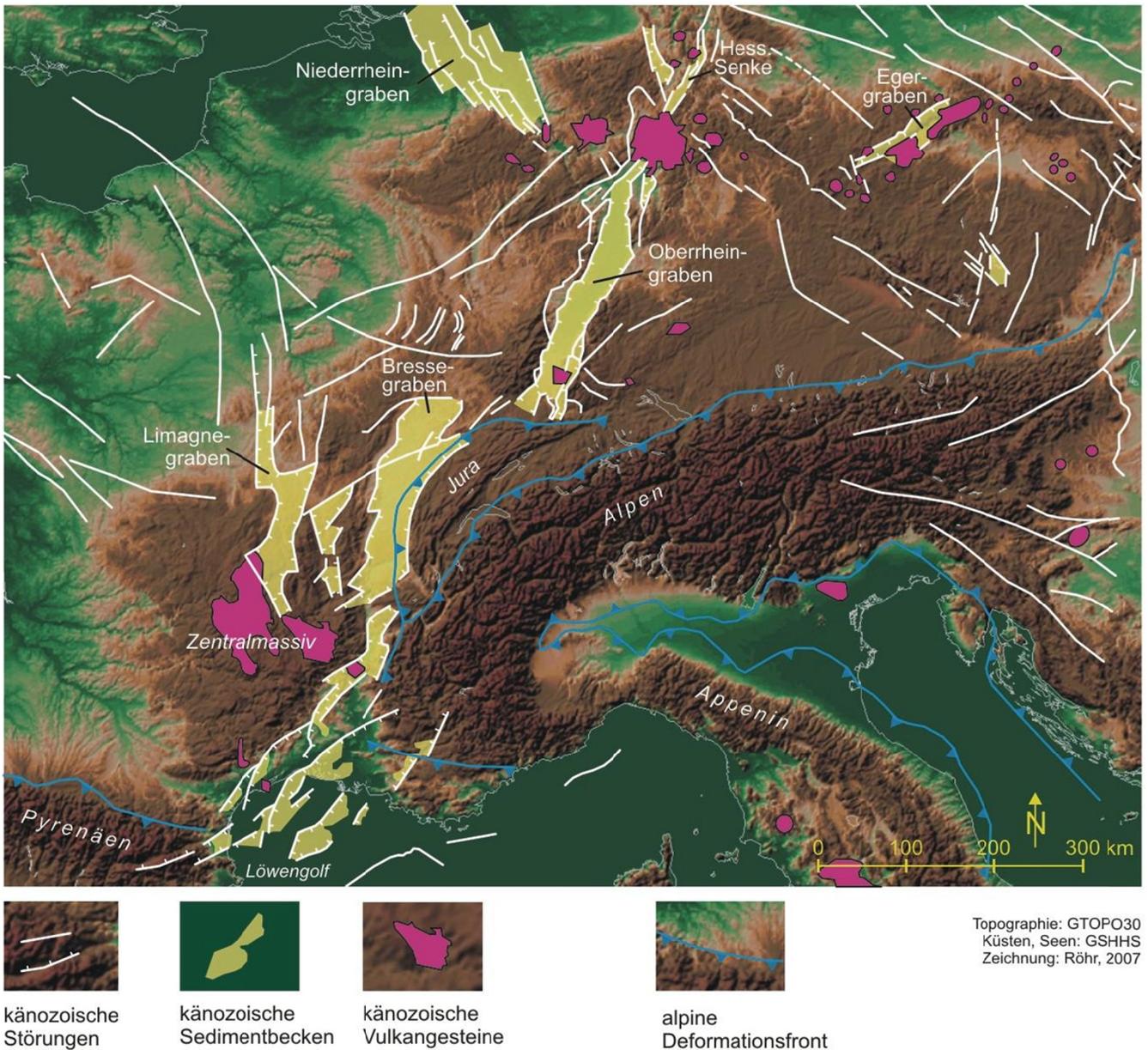


Abbildung 7: Das Europäische Känozoische Grabensystem nach Ziegler, P. A. (Röhr, 2007)

Die tektonisch aktivste Phase des Oberrheingrabens lag im Tertiär und setzte sich in verminderter Form im Quartär bis heute fort (Geyer et al., 2011). Aufgrund der anhaltenden Subsidenz des Grabens ist dieser mit Sedimenten mit einer maximalen Mächtigkeit von bis zu 3200 m verfüllt worden (Peters, 2007). Aktuell ist die tektonische Aktivität geringer als im Tertiär, im südlichen Teil des Oberrheingrabens liegen die Bewegungen horizontal unter 1 mm/a (Rózsa et al., 2005). Der Oberrheingraben und im Besonderen sein südlicher Teil zählen heute zu den seismisch aktivsten Gebieten in Westeuropa (Rózsa et al., 2005; Peters, 2007).

Die Entstehung des Oberrheingrabens wird in Zusammenhang mit dem Spannungsdruck durch die alpine Orogenese gesehen. Durch die Krustendeformation während der alpinen Orogenese kam es zu einer Aufwölbung der Krusten-Mantelgrenze. Diese Schwächezone wird als Ursache für den tertiären Vulkanismus in der Region sowie für die Entstehung des Oberrheingrabens angesehen. Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass der alpine Spannungsdruck in Kombination mit der Mantelanomalie sowie die Reaktivierung alter Störungssysteme zur Entstehung des Oberrheingrabens geführt haben (Ziegler & Dèzes, 2006).

Tektonische Entwicklung

Die Ausgangslage für die Entwicklung des Oberrheingrabens ist durch ältere tektonische Strukturen angelegt, die bereits im Paläozoikum im Zuge der variszischen Orogenese und der permokarbonischen Tektonik entstanden sind. Diese präkänozoischen Strukturen, erzgebirgisch (NE bis NNE) streichende Störungen wie zum Beispiel die Hunsrück-Taunus Südrandverwerfung und die rheinisch (NNE) streichenden Störungen des Permokarbons, wirken sich entscheidend auf die Lage und die Ausrichtung der Grabenstruktur zu Beginn ihrer Entwicklung im Eozän aus (Schumacher, 2002).

Die frühesten Grabenfüllungen werden bereits im mittleren Eozän unter vorwiegend lakrustinen Bedingungen abgelagert (Derer, 2003). Zu dieser Zeit liegt die Achse der größten Spannung in N-S Richtung, durch diese werden extensive Spannungen in E-W Richtung induziert, diese führen zu der ersten Subsidenz in der Region. (Peters, 2007). Während des späten Eozäns bilden sich zwei in Geometrie und Ausrichtung den permokarbonen Becken (Bouxwiller, Messel) ähnelnden Sedimentbecken, das Strasbourg- und das Mulhouse-Becken, aus (Schumacher, 2002).

Die weiterhin fortschreitende Überschiebung alpiner Decken führt im Oligozän zu einer Spannungsrotation (Geyer et al., 2011). Dies hat weitere Senkungen zur Folge, infolge mariner Transgressionen werden die Senken mit marinen Sedimenten aufgefüllt (Schmidt-Kittler, 1987).

Im frühen Miozän kommt es zu einer erhöhten tektonischen Aktivität im gesamten Oberrheingraben. Diese führt zu einer relativen Hebung der südlichen und mittleren Grabenelemente, das nördliche Segment hingegen sinkt demgegenüber ab. Das nördliche Segment erstreckt sich vom Taunus bis nach Karlsruhe, das mittlere bis Strasbourg und der südliche Teil bis nach Basel. Hierdurch beginnt eine Verschiebung des Ablagerungsraumes in Richtung Norden, dies lässt sich anhand der lithostratigraphischen Erkenntnisse verfolgen. Im frühen und mittleren Miozän erfahren der Oberrheingraben und das Mainzer Becken die gleiche lithostratigraphische Entwicklung. In Folge der weiteren Hebung des Rheinischen Schildes wird auch das Mainzer Becken gehoben und somit von der weiteren lithostratigraphischen Entwicklung des Oberrheingrabens entkoppelt (Schumacher, 2002). Begleitend zu diesem Prozess kommt es zu einer regen vulkanischen Aktivität im Bereich des Kaiserstuhls und des Vogelsberges (Dèzes et al., 2004).

Mit Beginn des Quartärs kommt es auch in den südlichen Segmenten des Oberrheingrabens zur Ablagerung von nun ausschließlich fluviatilen Sedimenten, diese konzentrieren sich hauptsächlich auf zwei Becken. Das Geiswasser Becken liegt südwestlich des Kaiserstuhls und ist rezent mit 270 m mächtigen quartären Sedimenten gefüllt (Bartz, 1974) (Abb. 8). Durch die hohe tektonische Aktivität und die hierdurch verstärkte Absenkung am östlichen Grabenrand werden im Heidelberger Becken quartäre Sedimentmächtigkeiten von bis zu 500 m erreicht (Gabriel et al., 2012).

Aktuelle geodätische Messungen haben für den südlichen Oberrheingraben geringe, relative Bewegungsgeschwindigkeiten in horizontaler Richtung von unter 0,5 – 1,0 mm pro Jahr aufgezeigt (Rózsa et al., 2005). Diese Bewegungen finden häufig kriechend und somit ohne größere seismische Aktivität statt (Peters, 2007). Die Achse mit den höchsten Spannungen liegt weiterhin in NNW-SSE Richtung, wobei es zu einer linkslateralen Bewegung des Oberrheingrabens kommt (Buchmann & Connolly, 2007). Trotz der kriechenden Bewegung und der geringen Bewegungsgeschwindigkeiten gilt der südliche Teil des Oberrheingrabens als seismisch aktiv. Erdbeben der Stärke 5 treten in diesem Bereich circa alle 30 Jahre auf (Rózsa et al., 2005).

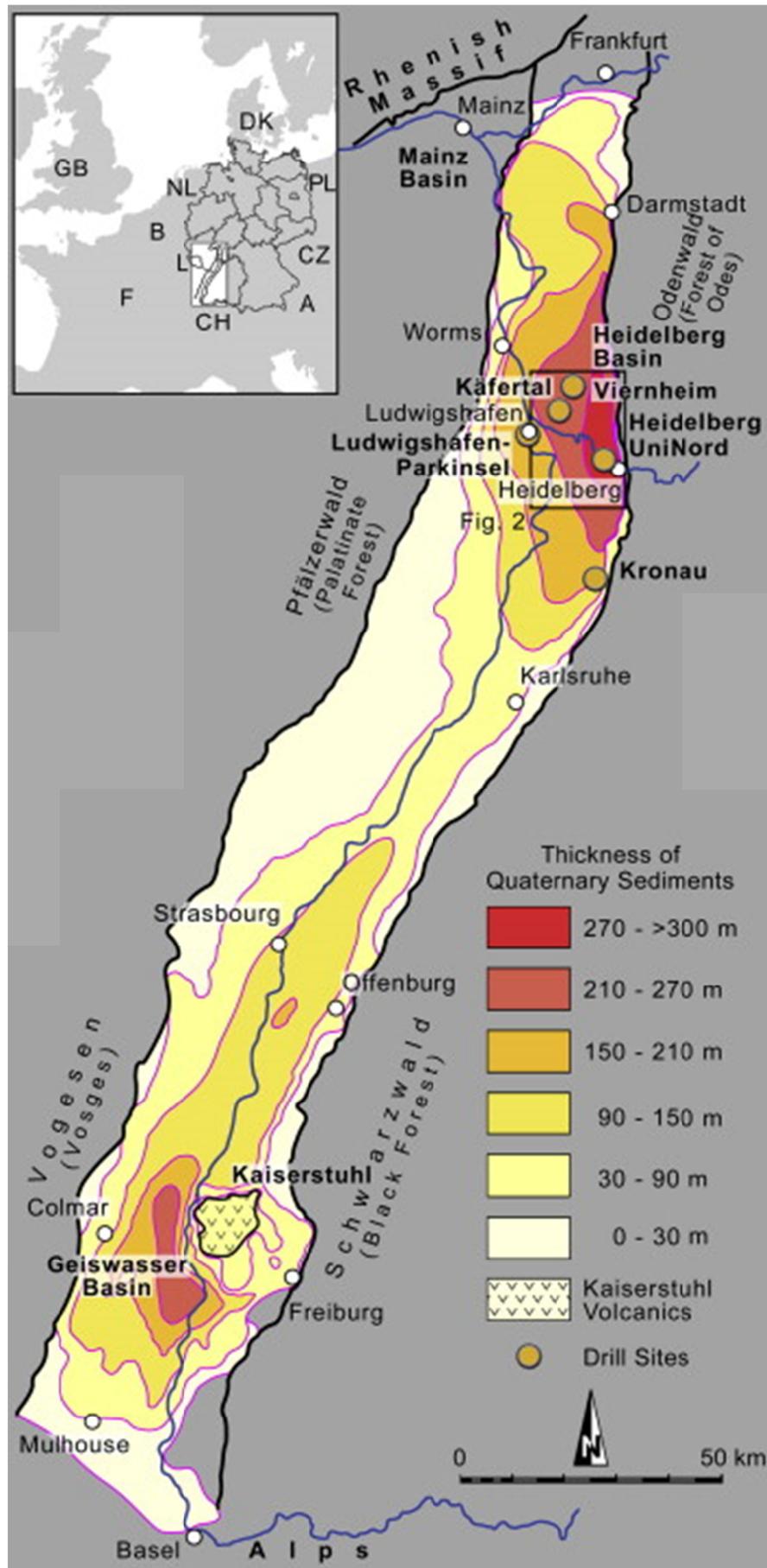


Abbildung 8: Quartäre Sedimentmächtigkeiten des Oberrheingrabens (Gabriel, 2012)

5.3. Quartäre Sedimente

5.3.1. Pleistozän

Der weitaus größte Teil des Gebietes wird von im Pleistozän entstandenen Ablagerungen bedeckt. Es sind die von den drei großen Flüssen Main, Neckar und Rhein herbeigeführten Produkte, zu denen im E weiteres aus dem Odenwald stammendes Material kommt. Im W wird weiteres Material aus dem Pfälzer Wald eingetragen, generell findet ein lateraler Eintrag im Bereich der Grabenränder statt. Eine große Verbreitung erreichen aber auch äolische Ablagerungen, besonders der Flugsand, während Löss nur im SW linksrheinisch verbreitet ist. Das Pleistozän wird in alt-, mittel- und jungpleistozäne Ablagerungen untergliedert (Steuer, 1974).

a. Altpleistozäne (du) und ältere mittelpleistozäne (dmu) Flussschotter

Die ältesten Pleistozänablagerungen finden sich im Gebiet nur in Bereichen des Mains, man findet in den Sanden und Kiesen keine Spur einer fremden Beimischung. Über die Mächtigkeit der Kiese und Sande kann keine genaue Aussage getroffen werden, da keine Bohrungen bekannt sind, die in der eigentlichen Terrasse niedergebracht worden sind, sie liegt vermutlich zwischen 25 und 30 m (Steuer, 1974).

b. Jüngere mittelpleistozäne Sande und Kiese (dmo)

Vor der zuvor beschriebenen älteren Terrasse breitet sich im Gebiet der Mainablagerungen eine jüngere aus, der sich im Zusammenhang mit Beobachtungen am Rande des Odenwaldes ein oberes mittelpleistozänes Alter zuordnen lässt. Sie bedeckt im Gebiet sehr weite Flächen, ist jedoch wiederum von jungpleistozänen Schlickmassen und von Flugsand eingehüllt worden. Sie tritt im Gebiet der Mainablagerungen großflächig zutage. Weiterhin treten im Norden Groß-Geraus am Waldrand auf Feldern, teils überdeckt von einer dünnen Schlickdecke, die jüngeren Sande und Kiese des Odenwalds, mit solchen des Neckars oder auch des Rheins wechselnd, auf. In der Tiefe liegen im gesamten südlichen Teil des Blattes die älteren mittelpleistozänen Ablagerungen des Rheins, die infolge des Absinkens der Rheinebene während ihrer Ablagerung bedeutende Mächtigkeiten erreicht haben (Steuer, 1974).

In der Gegend von Groß-Gerau, nördlich in den Feldern und am Waldrand, ferner in den tiefen Rinnen von Schwarzbach, Hegbach und Apfelbach tritt die Terrasse in Geschieben des Odenwaldes zutage. Die Terrasse ist in der Sandgrube westlich der Straße von Groß-Gerau nach Woogsdamm aufgeschlossen, dort findet sich folgendes Profil:

1. Flugsand, kalkreich, mit Kalkknollen; er ist umgelagert, da namentlich auf der W-Seite Lagen und Schmitzen von Lehm eingeschaltet sind.
2. Kies und Sand mit Geröllen des Odenwalds, namentlich zahlreiche Quarze, Aplite, Melaphyre, Prophyre, metamorphe Schiefer auch Gesteinsbrocken des Rotliegenden, tonige Sandsteine und Sandsteine.
3. Grauer Sand, wahrscheinlich Neckarsand

In den Bachbetten sind die gleichen Schichten aufgeschlossen, die tieferen Sande stammen jedoch von Main und Rhein (Steuer, 1974).

Die Mächtigkeit dieser jüngeren mittelpleistozänen Kiese reicht von wenigen Metern bei Groß-Gerau und Rüsselsheim bis hin zu größeren Mächtigkeiten bei Bauschheim, Königstätten und Haßloch (Steuer, 1974).

c. Flugsand und Löss (dsu, dso; dlö)

Sowohl die ältere als auch die jüngere Flussterrasse sind im Blattgebiet über große Flächen hin von Flugsand bedeckt. Er ist als eine äolische Ablagerung aufzufassen, die in den Interglazialzeiten des Pleistozäns die trockengelegten Sande der Flussterrassen aufarbeitete und umhertrieb. Die feinsten ausgeblasenen Teilchen wurden mit fortgetragen und kamen erst am Gebirge, wo beim Anstieg die Arbeitskraft des Windes gehemmt wurde, zur Ablagerung als Löss. Im Rheintal ist aus diesem Grund kein Löss anzutreffen. Auf Blatt Groß-Gerau erscheint er nur in der SW-Ecke über dem Rotliegend; eine Übergangszone von Flugsand zu Löss ist nicht vorhanden (Steuer, 1974).

In Anschluss an die Beobachtungen von G. Klemms auf anderen Blättern der Rheinebene ist auch hier die Gliederung in älteren und jüngeren Flugsand beibehalten (dsu und dso), obwohl eine Begrenzung beider nicht möglich ist. Der jüngere Flugsand ist auf den sich abflachenden Bereichen der älteren Terrasse abgelagert worden, weiterhin wurde der ältere Flugsand in jüngerer Zeit wieder aufgearbeitet. Dafür spricht die weite Verbreitung des Flugsandes im Anschluss an die ältere Terrasse, während er in den Bereichen der jüngeren Terrasse eher isoliert auf kleineren Flächen auftritt (Steuer, 1974).

Indessen ist nicht jeglicher auf dem Blatt abgelagerte Flugsand rein äolischer Entstehung. Vielmehr ist ein Teil des flach ausgebreiteten, in der Niederung vor der älteren Terrasse und den Dünen lagernden Sandes vermutlich zu Zeiten höheren Wasserstandes von den Flüssen umgelagert worden, ohne dass er dabei einen weiten Transport erfahren hat. Für solche Umlagerung spricht das Auftreten von dünnen Lehmlagen zwischen dem Sand, die an manchen Stellen in mehrfacher Wechsellagerung zu beobachten sind. An solchen Stellen tritt dann auch immer eine deutliche Schichtung des Sandes auf (Steuer, 1974).

Eine geringe weitere Ausbreitung des Flugsandes durch Hochwasser scheint sich bis in die heutige Zeit fortzusetzen. Dies lässt sich an den Rändern der Flugsandablagerungen beobachten, da an diesen Stellen der Flugsand als dünne Decke über den Schlickablagerungen des jüngeren Pleistozäns abgelagert wurde. Sichere Beobachtungen sind schwer anzustellen, da der Sand durch die Bearbeitung der Äcker untergearbeitet wird. Weiterhin bringen Überflutungen stets neues Schlickmaterial mit, das auch auf dem tiefliegenden Flugsand abgesetzt wurde und diesen beschwert, sodass an manchen Stellen zwischen Schlickboden und Flugsand ein allmählicher Übergang zu beobachten ist. In Normalfall ist der Übergang zwischen Flugsand und Dünengebieten einerseits und Terrassen und Schlickablagerungen andererseits sehr scharf (Steuer, 1974).

Dünen sind im Gebiet von Blatt Groß-Gerau weit verbreitet, in Gebieten des älteren Flugsandes sind sie hoch aufgehäuft wie zum Beispiel im Königstädter und Rüsselsheimer Wald, sowie im SW Nauheims. Eine regelmäßige Anordnung ist im Gebiet nicht zu erkennen. Im Rüsselsheimer Wald erstreckt sich ein mächtiger Dünenzug von SE nach NW. An Stellen, an denen der Flugsand nur eine dünne Decke über den Terrassen bildet, sind ihm meist Gerölle des Untergrundes beigemischt (Steuer, 1974).

d. Jungpleistozäne Ablagerungen (Niederterrasse) (Älterer) Flussschlick (do) und –sand (dos), alte Flussbetten

Die mittelpleistozänen Gebilde, Flussschotter und –sande sowie der Flugsand, wurden während des jüngsten Pleistozäns, das der letzten Vereisung der Alpen entspricht, im Blattgebiet wahrscheinlich infolge geringer Senkungen zum Teil wieder aufgearbeitet und von Flussläufen ausgefurcht. Diese neu entstanden Niederungen wurden oft überflutet und mit Schlickmassen und an manchen Stellen mit feinem lehmigen Sand aufgefüllt. Die Verbreitung dieses älteren Flussschlicks schließt sich an die zum größten Teil noch erkennbaren alten Schlingen des Neckars, Mains und der Odenwaldbäche an (Steuer, 1974).

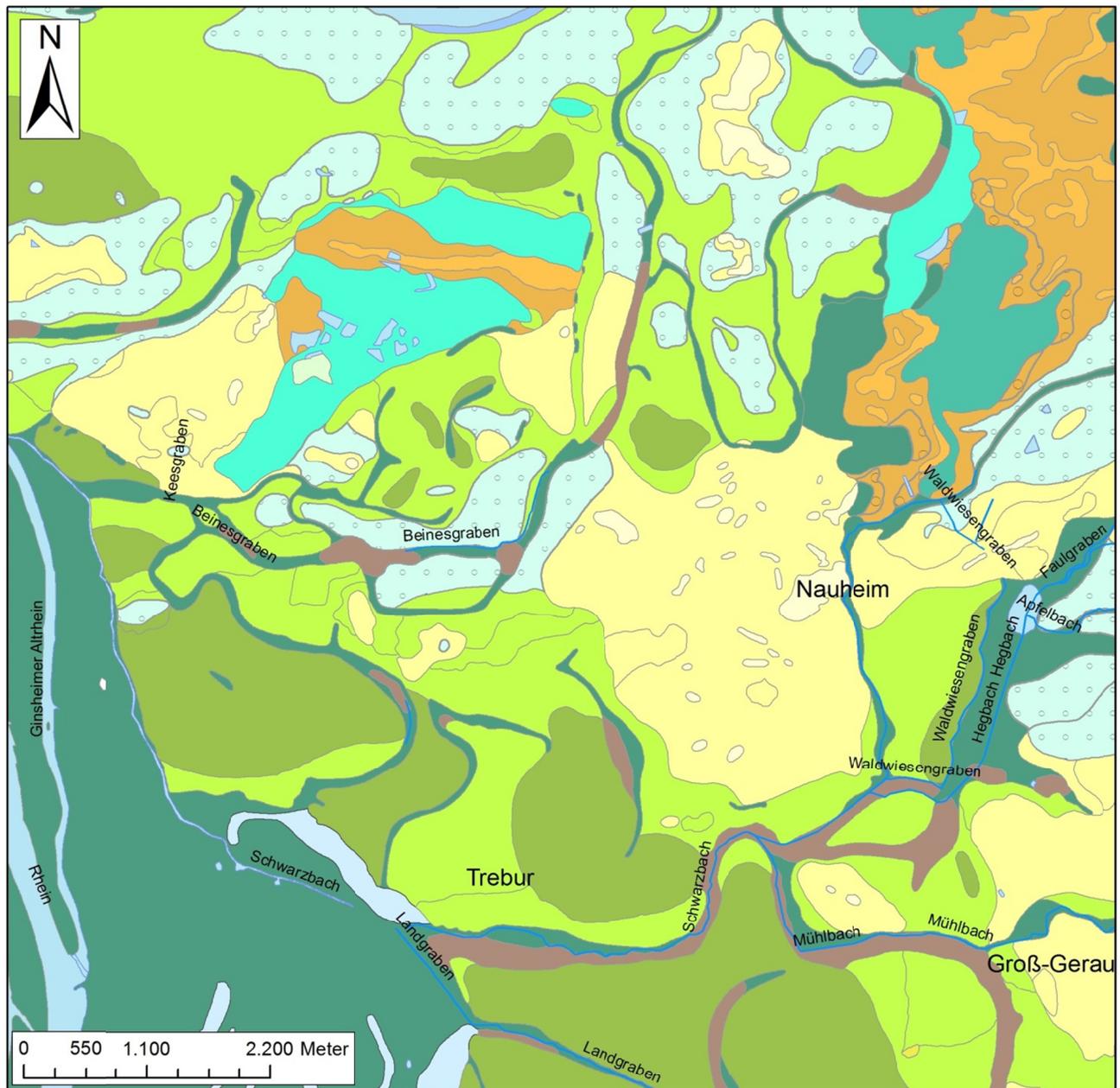
Die Zuführung der größten Menge Schlamm wird dem Neckar zugeschrieben, der eine sehr breite, sich nach Ginsheim hin allmählich verschmälernde Senke, ausgefüllt hat. Die alten im Gebiet gelegenen Flussarme haben ihre Läufe wahrscheinlich sehr oft verlegt, sodass das gesamte Gebiet abwechselnd überflutet wurde und vielfach Wasser seeartig stagniert ist. Besonders im Gebiet des Neckars wird die Mächtigkeit des Schlicks von 10 dm auf weiten Flächen überschritten. Das Material ist außerordentlich zäh, von brauner oder graubrauner Farbe und an Stellen mit großer Mächtigkeit in der Regel nicht sandig. Ein höherer Sandgehalt tritt in Bereichen auf, in denen die Decke geringermächtig ist und auf Flugsand auflagert. Die Neckarschlicke sind überall kalkhaltig, eine starke Anreicherung kommt häufig an der Grenze über den Terrassenkiesen vor. Im Gebiet der Mainläufe erreicht die Schlickdecke nur an sehr wenigen Stellen eine Mächtigkeit von über 10 dm, sie schließt sich enger an die alten Flussbetten an und nimmt kleinere Flächen ein als die Neckarschlicke, der Kalkgehalt ist gering. Noch geringere Mächtigkeiten weisen die Ablagerungen der Odenwaldbäche auf, das unterlagernde Material, Flussterrasse oder Flugsand sind immer zu erkennen (Steuer, 1974). Die alten Flussbetten von Main und Neckar sind in großen Teilen gut erhalten, in der Regel sind die alten Ufer noch vorhanden und bilden steile Böschungen von 0,5 – 1,5 m Höhe. Der Main muss zu dieser Zeit mehrere aktive Flussarme besessen haben, da keiner der alten Läufe eine für die Wassermassen ausreichende Größe aufweist. Der Neckar weist hingegen eine erheblich breitere und tiefere alte Rinne auf. Bohrungen in den Betten zeigen in der Regel immer die gleiche Schichtenfolge. Zuunterst lagert Flusskies und –sand, der in verschiedenen Tiefen angetroffen wird, zuweilen auch bis an die Oberfläche ragt und vermutlich einer alten Insel oder Sandbank entspricht. Darauf folgt zäher Schlick oder sandiger Schlick von wechselnder Dicke und oberhalb mooriger Boden oder Torf, der vielfach abermals von einer 2 – 5 dm dicken, zähen Schlickdecke bedeckt sein kann. Zu Zeiten

hohen Grundwasserstandes in der Rheinebene sind die in den Flussbetten gelegenen Wiesen stark sumpfig. Die Entwässerung durch die Gräben geht infolge des geringen Gefälles nur sehr langsam vor sich (Steuer, 1974).

In folgenden Formationen wurden Bodenluftmessungen durchgeführt und Bodenproben genommen:

Tabelle 3: Geologische Formationen im Untersuchungsgebiet, in denen Messungen vorgenommen wurden

Formation	Messpunkte (Abk.)
Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig	MP61-65; MP22-25; Referenz KW-Standort; MP 16-19;MP 28-30; MP31-32;MP 33-42; MP71-85
Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig	MP56-60; MP7, MP9-15; MP27; ref1; MP1-6
Älterer Fluss- und Bachlehm	MP26; MP43-45; MP66-67;GW
Jüngerer Flugsand	MP 20-21; MP8; MP 46-55; MP68-70; MP86-93; MP995
Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter (Terrassen des Mains, des Rheins und der Odenwaldbäche)	MP94



Legende

	Corbicula-Schichten		Älterer Flugsand mit Geröllen
	Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig		Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter
	Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig		Mainterrassen, ungegliedert
	Älterer Fluss- und Bachlehm		Altpleistozäne Mainterrasse
	Jüngere Dünen		Umgelagerte ältere Terrasse mit <5 dm Schlick bedeckt
	Jüngerer Flugsand		Torf- und Moorboden
	Jungpleistozäner Flusssand		Feuchte Stellen, reich an Humus
	Ältere Dünen		Überschwemmungsgebiet der Flüsse und Bäche
	Älterer Flugsand		Gewässer
			Bäche

Abbildung 9: Ausschnitt aus GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau), modifiziert nach Steuer, 1974

5.3.2. Holozän

Das Holozän tritt im Gebiet als weite, direkt am Rhein gelegene Fläche auf. Die älteren Schlickmassen des Neckars und des Mains heben sich gegen diese deutlich ab, eine Steilkante wie bei den älteren Flussläufen ist nicht vorhanden. Die Rheinwiesen gehören dem alljährlichen Überschwemmungsgebiet an; heutzutage tritt eine Überschwemmung auf Grund von baulichen Maßnahmen jedoch nur noch selten auf. Nur bei anhaltendem Hochwasser kann eine Überschwemmung durch Stau des Schwarzbaches und Mühlbachs, die von Groß-Gerau im Osten nach Trebur im Westen durch das Untersuchungsgebiet fließen, des Grundwassers und eventuellem Wasserzutritt durch ein Hochwasser den Mains eintreten. Der Flussschlick des Rheins ist kalkreich und je nach Gehalt an humosen Stoffen von hellgrauer bis schwarzer Farbe. Die jüngsten Absätze des Main sind auf Blatt Groß-Gerau kaum entwickelt, da die mittelpleistozäne Terrasse bis dicht an den Strom heranreicht und deshalb nur ein schmaler Streifen von den gewöhnlichen Hochwassern überflutet wird (Steuer, 1974).

Etwas breitere Holozänflächen sind an den Bächen im E angelegt worden. Bei hochstehendem Grundwasser und stärkerer Zuführung von Oberflächenwasser aus E sind hier Überflutungen möglich, die einen feinsandigen Bachlehm zur Ablagerung gelangen lassen (Steuer, 1974).

5.4. Böden

Im Untersuchungsgebiet sind über 75 verschiedene Bodenformen klassifiziert worden. In diesem Kapitel werden nur Bodenformen beschrieben, in denen Messungen durchgeführt wurden. Die ganzheitliche Darstellung des Gebietes unterhalb der Bodenzone ist im vorhergehenden Kapitel beschrieben. Auf die Beschaffenheit der Bodenarten wird nur bei Bodenformen, in denen Messungen stattgefunden haben, detailliert eingegangen. Bei über 64 verschiedenen Bodenformen im bereits beschränkten Untersuchungsgebiet wäre die Übersichtlichkeit stark eingeschränkt (vgl. Abb. 10 & 11).

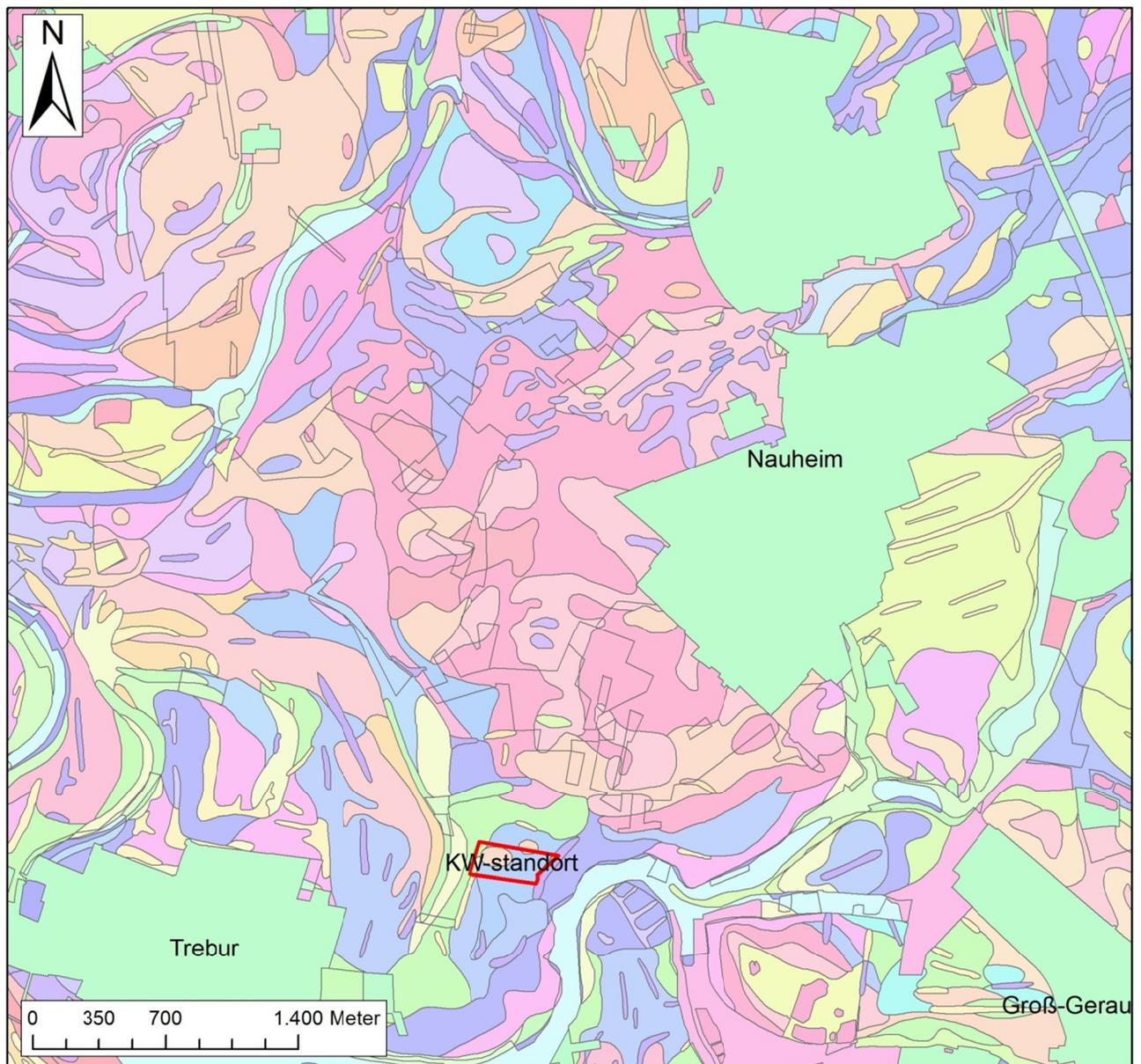


Abbildung 10: Detaillierte Darstellung der im Untersuchungsgebiet kartierten Bodenformen, modifiziert nach BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene). Die Legende ist durch die über 75 in der Abbildung dargestellten Bodenformen sehr umfangreich, vgl. Kap.10.1., Abb.28, Weidner, 1990

Von den 75 in der Bodenkarte beschriebenen Bodenformen werden nachfolgend die 21 erläutert, in denen Messungen durchgeführt wurden. Dabei wurde vereinfacht.

Die Vereinfachung erfolgte in der Hinsicht, dass verschiedene Bodenformen aufgrund ihrer petrographischen Eigenschaften zusammengefasst dargestellt werden, vgl. Abb.11. Die Kornzusammensetzung ist in der folgenden Diskussion von weit größerer Bedeutung als die Genese der Böden. Die Auswirkung der Bodenart auf das Messergebnis ist im Untersuchungsgebiet nur indirekter Natur, da die Messungen und die Probennahme im Untersuchungsgebiet in einer Tiefe von einem Meter durchgeführt wurden. Die Bodenbildung reicht in diesem Gebiet meist nicht in diese Tiefe herab. Die Bodenarten haben insofern eine Auswirkung auf die Messungen, dass es bei dichten, bindigen Böden zu einem Abdichtungseffekt der Bodenluft gegen die atmosphärische Luft kommen kann und hierdurch sich das Radon anreichern kann. Auf diese Effekte wird in Kapitel 8. näher eingegangen.

5.4.1. Bodensystematik

Ein Bodentyp wird gebildet aus Böden, die einen identischen Entwicklungsstatus aufweisen und eine bestimmte Horizontkombination zeigen. In Deutschland erfolgt ihre Benennung aufgrund einer auffälligen Eigenschaft wie zum Beispiel der Farbe (Braunerde) oder nach der Zugehörigkeit zu einer Landschaft (Marsch, Moor). Häufig werden auch Namen aus anderen Sprachen wie Rendzina (poln.), Podsol (russ.), Dy (schwed.) oder Kunstnamen (Pelosol) verwendet. Die heute genutzten Bodensystematiken gehen vor allem auf W.W. Dokucsev (1883) und W.E. Hillgard (1892) zurück. Sie betrachteten Böden als eigenständige Naturkörper, die sie als Produkt des Ausgangsgesteins, des Klimas nebst klimabedingter Vegetation und des Reliefs klassifizierten (Bodenzonenlehre). Böden nach Eigenschaften zu klassifizieren, die auf bodenbildenden Prozessen beruhen, hat sich erst später etabliert (Scheffer & Schachtschabel, 2010).

Die aktuelle Klassifikation der Böden in Deutschland beruht auf einem System, das den Profilaufbau eines Bodens beziehungsweise seine Horizontkombination in den Mittelpunkt stellt. Diesem System liegt die Gliederung der Böden Mitteleuropas zugrunde (Scheffer & Schachtschabel, 2010).

Die oberste Kategorie dieses Systems bilden die Abteilungen, diese werden nach dem Wasserregime unterschieden. Es wird zwischen terrestrischen (Landböden), semiterrestrischen (Grundwasserböden) und subhydrischen (Unterwasserböden) Böden unterschieden, hinzukommen die Moore, die nur einen Humuskörper aufweisen.

Auf die Abteilungen folgen die Bodenklassen, bei ihnen werden die terrestrischen Böden nach ihrem Entwicklungsstand bzw. dem Grad ihrer Differenzierung in Horizonte unterschieden. Subhydrische Böden, die Gleye, sind heute oder früher periodisch mit Wasser überflutet worden; handelt es sich um Süßwasser, werden sie Auenböden genannt, bei Salzwasser Marschen. Die Bodenklassen wiederum sind in Bodentypen unterteilt.

Juvenile terrestrische Böden werden nach lithologischen Profilmerkmalen, bei stärker entwickelten nach der Entwicklungsart unterschieden. Semiterrestrische Böden werden nach dem Entwicklungsstand, sudhydrische Böden nach der Humusform unterschieden. Die Bodenklassen können weiterhin in Subtypen, Varietäten und Subvarietäten unter der Berücksichtigung feiner Unterschiede des Entwicklungsgrades des Mineral oder Humuskörpers, der Intensität bestimmter Veränderungen, lithogener Merkmale, außerdem nach Übergangsformen zwischen Typen und Subtypen unterteilt werden. Dem Bodennamen wird die Angabe des Ausgangsgesteins nachgestellt, beide Angaben zusammen bilden die Bodenform (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

5.4.2. Terrestrische Böden

Pararendzina

Die Pararendzina ist ein A/C-Boden aus Sand und Lehmmergel; der Ah ist < 40 cm mächtig. Sie entwickelt sich aus Löss, Geschiebemergel, carbonathaltigen Schottern, Sanden und Sandstein. Sie kann sich aber auch aus anthropogenen Materialien wie Bauschutt und Ziegel/Mörtel-Gemisch entwickeln. Unter Waldbedeckung geht sie nach der Entkalkung bald in Braunerden und/oder Parabraunerden über. Bei mäßiger Verbraunung liegt eine Braunerden-Pararendzina, bei mäßiger Marmorierung eine Pseudogley-Pararendzina und unter Grundwassereinfluss in 40 bis 80 cm Tiefe einer Gley-Pararendzina vor (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Braunerde

Braunerden weisen einen humosen A-Horizont auf, dieser geht in der Regel gleitend in einen braun gefärbten Bv-Horizont über, ihm schließt sich bis zu einer Tiefe von 150 cm der C-Horizont an.

Sie entstehen im gemäßigt-humiden Klima aus Rankern, Regosolen oder Pararendzinen. Als Braunerden werden diese Böden bezeichnet, sobald durch die Silicatverwitterung die Verbraunung und die Verlehmung die tieferen Bereiche des Profils, in denen kein Humus angereichert wurde, erfasst (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Parabraunerde

Bei Parabraunerden ist der A-Horizont an Ton verarmt und kann eine Mächtigkeit von bis zu 60 cm besitzen, dieser umfasst den krümeligen, humosen, geringmächtigen Ah- und den humusarmen, fahlbraunen, häufig plattigen Al-Horizont. In dem darunter liegenden Bt-Horizont wurde der Ton gegenüber dem Al-Horizont um 3 bis 8 Prozent angereichert. Parabraunerden bilden sich bevorzugt aus Lockergesteinen mergeliger Zusammensetzung, aber auch aus carbonatfreien Lehmen und lehmigen Sanden. In gemäßigt-humiden Gebieten geht diese Entwicklung meist von Pararendzinen oder Braunerden aus, bei denen Carbonatauswaschung und schwache Versauerung eine Tonverlagerung ermöglichen (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Pelosol

Pelosole entwickeln sich aus tonreichem Gestein und zeigen ein ausgeprägtes Absonderungsgefüge. Zwischen dem A-Horizont und dem unveränderten C-Horizont treten tonreiche (>45% Ton) Horizonte auf, in denen die Schichtgefüge des Ausgangsgesteins aufgelöst und in Absonderungshorizonte mit polyedrischem bis prismatischen Gefüge übergegangen sind. Letztere werden als P-Horizonte bezeichnet. In Trockenperioden treten tiefreichende Spalten von oft deutlich über 1 cm Breite auf. Das tonreiche Gestein wurde durch anhaltende Durchfeuchtung und damit einhergehende Quellung der Tonminerale aufgeweicht und zerteilt, es entsteht ein Kohärentgefüge. Dieses wurde durch Wechselfeuchte in das Absonderungsgefüge umgeformt. Durch den Quellungsdruck werden auch Bodenaggregate gegeneinander verschoben, wobei sich der Ton einregelt (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Bei Pedosolen treten bei Trockenheit starke Schrumpfungsrissen auf, während sie bei Feuchte meist so stark gequollen sind, dass Luftmangel auftritt. Die Böden weisen zwar einen hohen Wassergehalt auf, jedoch ist der Anteil an verfügbarem Wasser gering und nimmt bei der Austrocknung auch durch den Umstand, dass verbleibendes Wasser durch die Schrumpfung noch fester gebunden ist, stark ab (Scheffer & Schachtschabel, 2010).

Pseudogley

Zur Klasse der Stauwasserböden gehören neben dem Pseudogley auch der Stagnogley und der Haftpseudogley. Sie weisen redoximorphe Merkmale auf, die aber im Gegensatz zu den Grundwasserböden durch gestautes Niederschlagswasser verursacht werden. Pseudogleye sind grundwasserferne Böden, in ihnen entstehen durch den Wechsel von Stauwasser und Austrocknung Konkretionen und Rostflecken. Sie entstehen durch Redoximorphose unter dem Einfluss eines periodischen Wechsels von Vernässung und Austrocknung. Die Staunässe wird durch dichte Unterbodenlagen verursacht, durch die Niederschlagsstauung wird ein Sauerstoffmangel hervorgerufen, dies führt zu einer Lösung und Umverteilung von Eisen und Mangan innerhalb der Horizonte. In der Stauzone entstehen dabei vor allem Konkretionen, während der Staukörper marmoriert und dabei die Aggregatoberflächen gebleicht werden, während sich im Inneren der Aggregate Eisen anreichert. Sekundäre Pseudogleye bilden sich meist aus Parabraunerden, primäre Pseudogleye statt Pelosolen (Scheffer & Schachtschabel, 2010).

5.4.3. Semiterrestrische Böden

Gleye

Der typische Gley hat einen durch das Grundwasser unbeeinflussten Ah-Horizont, ihm folgt der verrostete Go-Horizont (Oxidationshorizont) und unter diesem der stets nasse, fahl- bis grüngraue oder auch blauschwarze Gr-Horizont (Reduktionshorizont).

Der mittlere Grundwasserspiegel liegt höher als 80 bis 100 cm, der geschlossenen Kapillarwassersaum selten höher als 20 bis 40 cm unter Flur. Nassgley und Anmoorgley fehlen die Go-Horizonte, da deren Grundwasserspiegel zeitweilig die Bodenoberfläche erreicht. Die Gleye entstehen unter dem Einfluss sauerstoffarmen Grundwassers. Im ständig nassen Gr-Horizont herrschen permanent reduzierende Verhältnisse. Der Sauerstoffmangel führt zur Lösung von Eisen- und Manganverbindungen, die mit dem Grundwasser kapillar aufsteigen und im Go-Horizont, in dem sie mit Luftsauerstoff in Berührung kommen, als Oxide gefällt werden. In Auengleyen ist das verlagerte Eisen wegen der starken Grundwasserschwankungen hingegen auf einen mächtigen Go-Horizont verteilt (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Auenböden (Tschernitza)

Auenböden sind die Böden der Flusstäler. Sie werden bei unregulierten Fließgewässern periodisch überflutet oder sie werden hinter Hochflutdeichen gelegen von Druckwasser überschwemmt. Im Gegensatz zu den Gleyen weisen sie jedoch kaum redoximorphe Merkmale auf, jedenfalls nicht in den oberen 40 cm. In größerer Tiefe folgt zwar meist ein rostfleckiger Go-Horizont, es fehlen jedoch ausgeprägte Reduktionsmerkmale. Auenböden werden als Böden holozäner Talebenen (Auen) der Flüsse und Bäche weiterhin auch als Schwemmlandböden oder alluviale Böden bezeichnet. Tief humose, grauschwarze, carbonathaltige A/C-Böden werden als Tschernitza bezeichnet (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

Auenböden entstehen aus den Sedimenten von Fluss- und Bachauen. Sie werden zum einen durch starke Grundwasserschwankungen zum anderen durch periodische Überflutung geprägt, wobei feste und gelöste Stoffe zugeführt, teilweise aber auch wieder abgeführt werden. Die Bodenentwicklung wird immer wieder durch Sedimentation und Erosion unterbrochen. Der Charakter der Auensedimente wird entscheidend durch die Gesteins- und Bodeneigenschaften des Einzugsgebietes des Flusses bestimmt, so lagern sich im Bereich norddeutscher Sand-Landschaften sandige Auen, in Lösslandschaften Auenlehme ab (Scheffer & Schachtschabel, 2010).

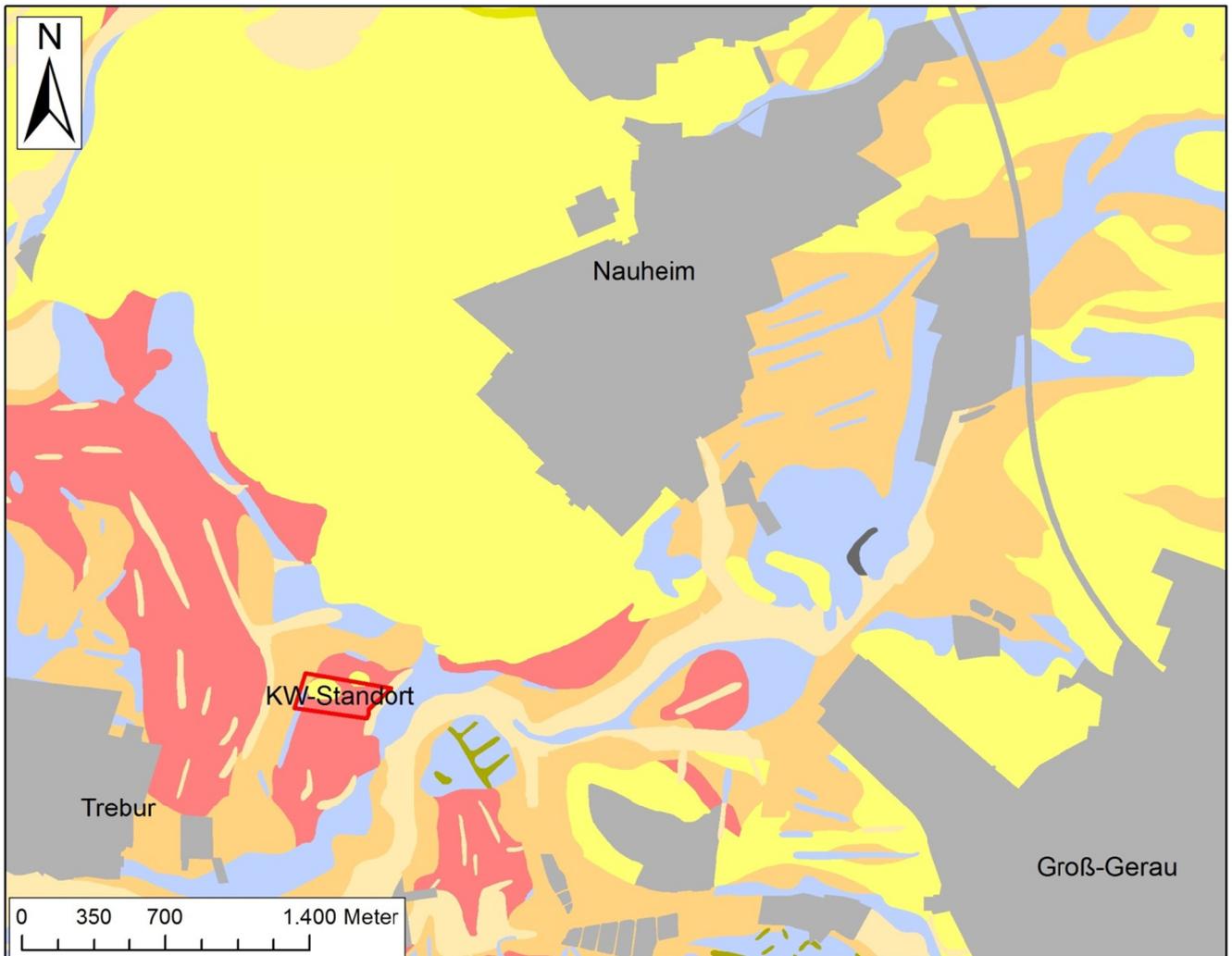
5.4.4. Anthropogene Böden

Kolluvisole

Kolluvisole sind im eigentlichen Sinn vom Wasser oder Wind umgelagerte, humose Bodensedimente mit einer Mächtigkeit > 40 cm. Sie werden aber aufgrund ihrer großen Verbreitung in der Kulturlandschaft als eigene Bodeneinheit behandelt. Der diagnostische E-Horizont (Eluvialhorizont, gegenüber A durch Auswaschung an Huminstoffen, Ton bzw. Fe, Mn verarmt) besteht oben überwiegend aus sedimentiertem, im unteren Bereich überwiegend aus anstehendem Material, da nach jedem Sedimentationsereignis durch Pflügen eine Mischung mit dem Liegenden stattfindet.

Kolluvisole können naturgemäß die verschiedensten Böden überlagern, terrestrische Böden ebenso wie subterrestrische Böden und Moore. Als umgelagerte Ackerböden sind sie oft mit Nährstoffen angereichert (Scheffer, Schachtschabel, 2010).

5.5. Bodenformen des Untersuchungsgebietes



Legende

Boden petrologisch	
	Siedlungsflächen
	Carbonatsand
	Lehm
	Lehmmergel
	Niedermoortorf
	Sand
	Schluff
	Schluffmergel
	Ton
	carbonatführender Lehm
	carbonatführender Ton
	kiesführender Sand

Abbildung 11: Vereinfachte Darstellung der Bodenformen im Untersuchungsgebiet. Die Bodenformen wurden auf Grund ihrer petrologischen Ansprache zusammengefasst, modifiziert nach BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene), Weidner, 1990

Tabelle 4: Übersicht über die Bodenformen, in denen Messungen durchgeführt wurden

Petrographische Bezeichnung	Bodenform	Abk.
Sand	Braunerde lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über tiefem carbonatführendem Flugsand (Pleistozän)	S1
	Braunerde-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenschluff über tiefem bimsarmem Flusscarbonatsand über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	S2
	Parabraunerde-Gley aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über carbonatführendem Flugsand über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)	S3
	Gley aus Flugsand über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)	S4
Lehm	Gley aus Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	L1
carbonatführender Lehm	Kolluvisol mit auentypischer Grundwasserdynamik, aus carbonatführendem Pflug-Kipp-Lehm (Gegenwart) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)	cL1
	Pararendzina aus carbonatführendem Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	cL2
Lehmmergel	(Auen)Kalkgley aus Auenlehmmergel (Holozän) über Seekreide (Pleistozän-Holozän) über tiefem kiesführendem Carbonatflusssand (Pleistozän)	Lk1
Schluff	Gley-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)	U1
	Auengley aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	U2
	Auenanmoorgley aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	U3
	Kolluvisol aus Pflug-Kipp-Schluff (Gegenwart), über tiefem Auenlehm, über sehr tiefem Auenschluffmergel	U4

Petrographische Bezeichnung	Bodenform	Abk.
Schluffmergel	Pararendzina aus Auenschluffmergel über Flusscarbonatsand (Pleistozän)	Uk1
	Pararendzina aus Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)	Uk2
	Pararendzina-Gley aus Auenschluffmergel (Pleistozän-Holozän) über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)	Uk3
	Gley-Tschernitza aus Auenschluffmergel über tiefem kiesführendem Flusscarbonatsand (Pleistozän)	Uk4
Ton	Humusparabraunerde erodiert, aus Auenton über Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)	T1
	Humuspelosol vergleyt, aus Auenton (Holozän) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)	T2
	Pararendzina aus carbonatführendem Auenton über Auenschluffmergel über tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)	T3
	Pseudogley-Parabraunerde erodiert, aus Auenton über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)	T4

6. Datengrundlage

Zur Planung des Verlaufs der Profile wurden die Daten, die von den Kooperationspartnern zur Verfügung gestellt wurden, genutzt. Vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie wurden die Daten der BK 50 Blatt 107: (Oberheinebene) als shapefile, siehe Abb.11, bereitgestellt. Das shapefile wurde wie im vorhergehenden Kapitel beschrieben, vereinfacht und eingefärbt.

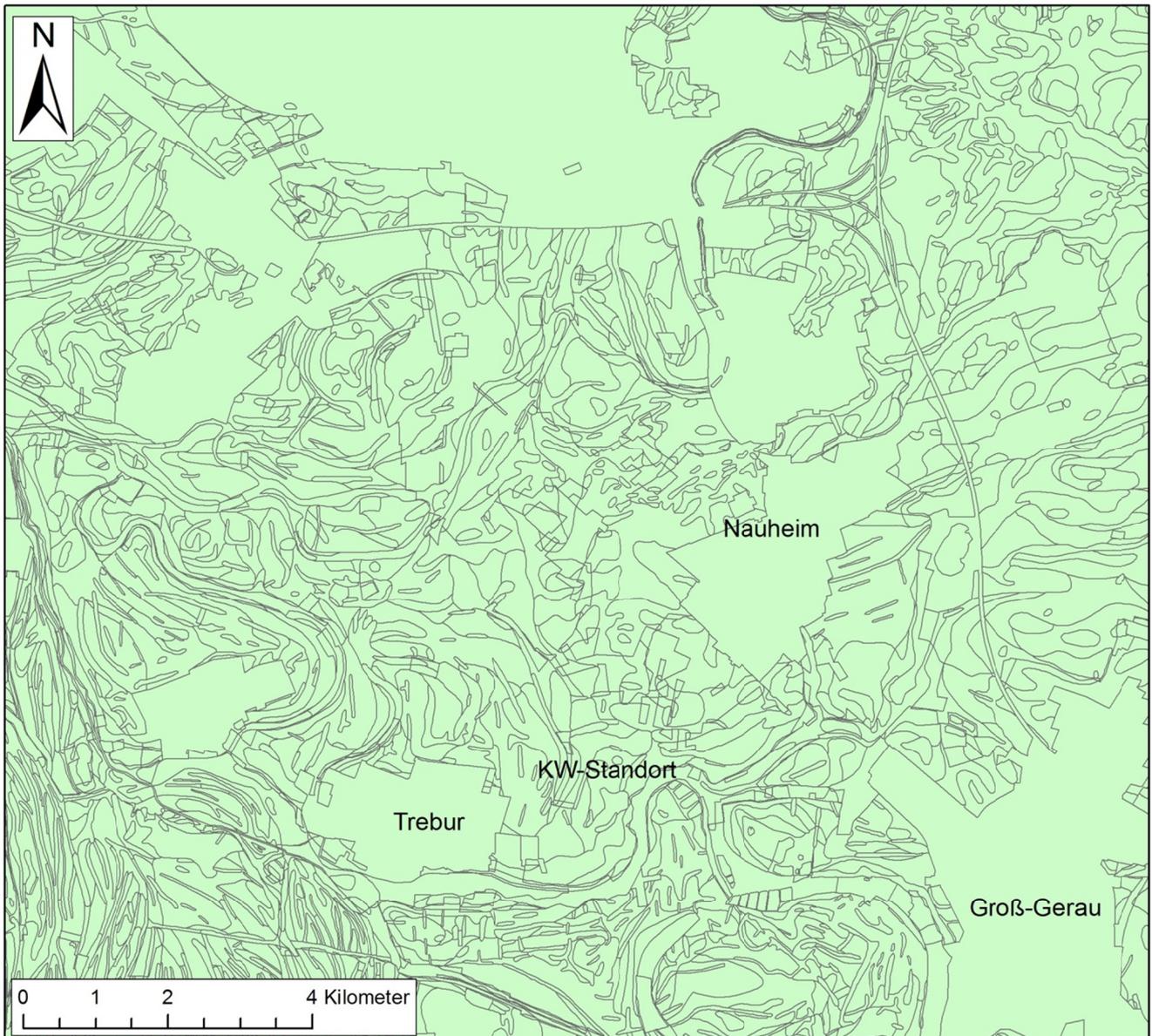


Abbildung 12: shapefile auf Grundlage der BK 50 Blatt 107 (Oberheinebene), Steuer, 1974

Die GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau) wurde ebenfalls als shapefile vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie zur Verfügung gestellt (vgl. Abb. 12). Auf sie wurde der Verlauf der Störungen, die in 380 m unter GOK kartiert wurden, dargestellt.

Die Störungsverläufe und die Einfallswinkel, auf Basis der durchgeführten 3D-seismischen Untersuchungen, wurden durch die Überlandwerke Groß-Gerau zur Verfügung gestellt.

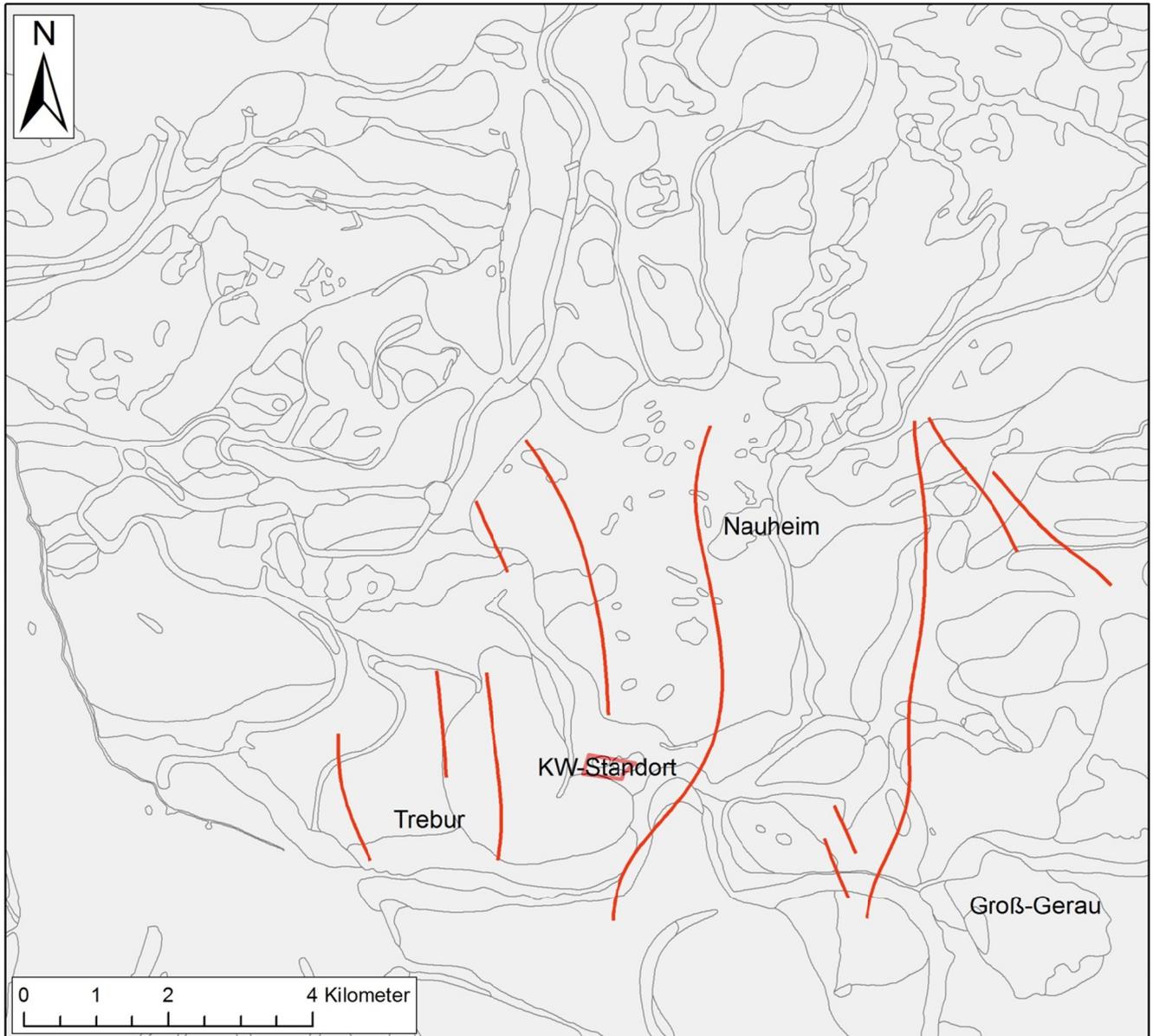


Abbildung 13: Shapefiles auf Grundlage der GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau), die roten Linien zeigen den Verlauf der in 380 m unter GOK durch die seismischen Untersuchungen kartierten Störungen, Steuer, 1974 & ÜWG 2013

Die Informationen der Bodenkarte und der Geologischen Karte wurden, nachdem beide shapefiles in das Gauß-Krüger Koordinatensystem überführt worden sind, verglichen. Im mittleren Bereich südlich des Kraftwerksstandortes ergab sich eine Abweichung zwischen der geologischen und der Bodenkarte. Anhand der Feldbefunde konnte ein fehlerhafter Verlauf der Grenze zwischen sandigen und tonigen Ablagerungen festgestellt werden (siehe Abb. 14).

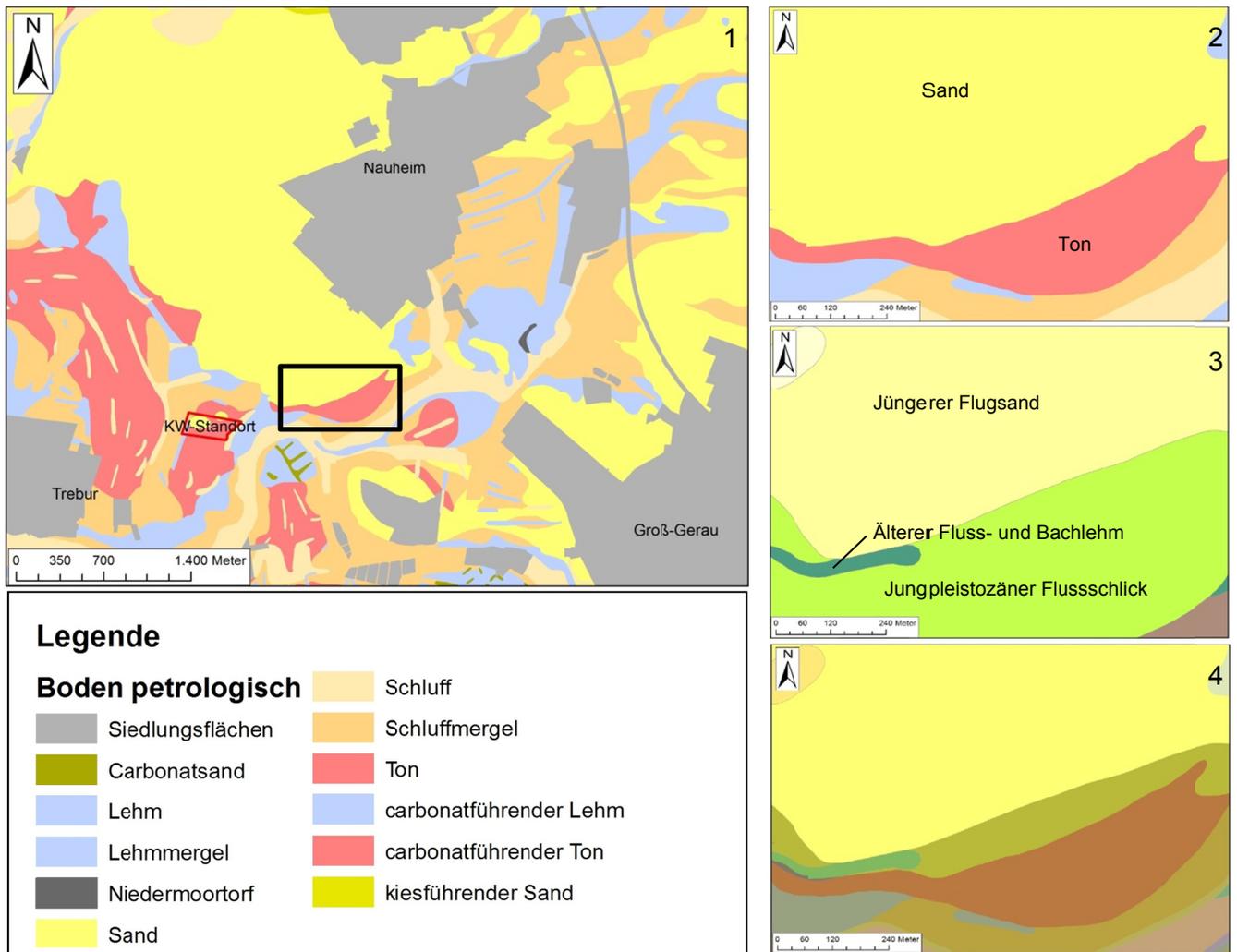


Abbildung 14: Abweichende Grenzverläufe zwischen BK 50 Blatt 107 (Oberheinebene) und GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau)
 Bild 1 zeigt das Untersuchungsgebiet, Bilder 2-4 stellen eine Vergrößerung des schwarz umrandeten Bereichs aus 1 dar. 2: Ausschnitt auf BK 50 Blatt 107, 3: Ausschnitt aus GK23 Blatt 6016, 4: 2 und 3 überlagert, unterschiedlicher Verlauf der Grenze zwischen sandigem und tonigem Material

An weiteren Messpunkten sind im Laufe der Feldarbeit Fehler in der Grenzziehung zwischen den einzelnen Bodenformen aufgetreten, diese wurden anhand der Felddaten korrigiert, vgl. Tab.8. Zur weiteren Darstellung werden sowohl die BK 50 Blatt 107: Oberheinebene, als auch die GK 25 Blatt 6016: Groß-Gerau genutzt. Beide Karten stellen in ihrer Kombination eine gute Basis für die Diskussion der Ergebnisse dar. Die Informationen aus den Karten werden durch die im Feld gemachten Beobachtungen ergänzt und führen so zu einem detaillierten Bild der Untergrundverhältnisse im Untersuchungsgebiet.

7.1. Ergebnisse der Untersuchungen an der Referenzmessstelle

Am 04.12., 06.12. und 12.12.2013 haben die Erkundung des Projektgebietes und erste Messungen stattgefunden. Aufgrund dieser vorbereitenden Maßnahmen erfolgte die Festlegung des Standortes der Referenzmessstelle. Der Standort wurde gewählt, da er sich gut geschützt am Rande des geplanten Standortes des Geothermiekraftwerks befindet, somit konnte neben der Erfassung der täglichen Schwankung der Radonkonzentration ein Durchschnittswert der Radonkonzentration im Untergrund des Kraftwerks ermittelt werden. Die Ergebnisse sind in Tabelle 5 dargestellt.

Tabelle 5: Ergebnisse der Bodenluftmessungen und der Bodenanalyse der Referenzmessstelle am geplanten Kraftwerksstandort

MP 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

Die Messwerte schwanken zwischen 53.300 Bq/m³ und 76.700 Bq/m³, vgl. Abbildung 14. Eine Abhängigkeit von der Temperatur oder dem Luftdruck lässt sich nicht ableiten. Am 16.12.2013 und am 16.04.2014 herrschen vergleichbare atmosphärische Bedingungen, bei der Radonkonzentration zeigt sich jedoch eine Abweichung von 23.000 Bq/m³, vgl. Abbildung 16 und 17.

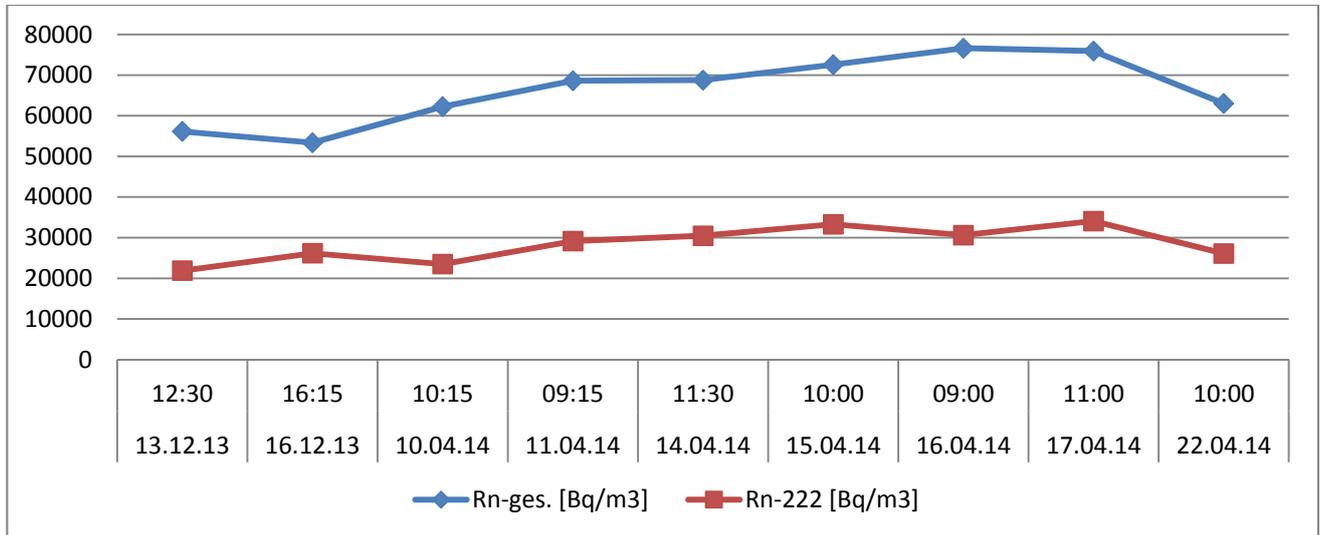


Abbildung 16: Zeitlicher Verlauf der Radonkonzentrationen an der Referenzmessstelle am geplanten Kraftwerksstandort

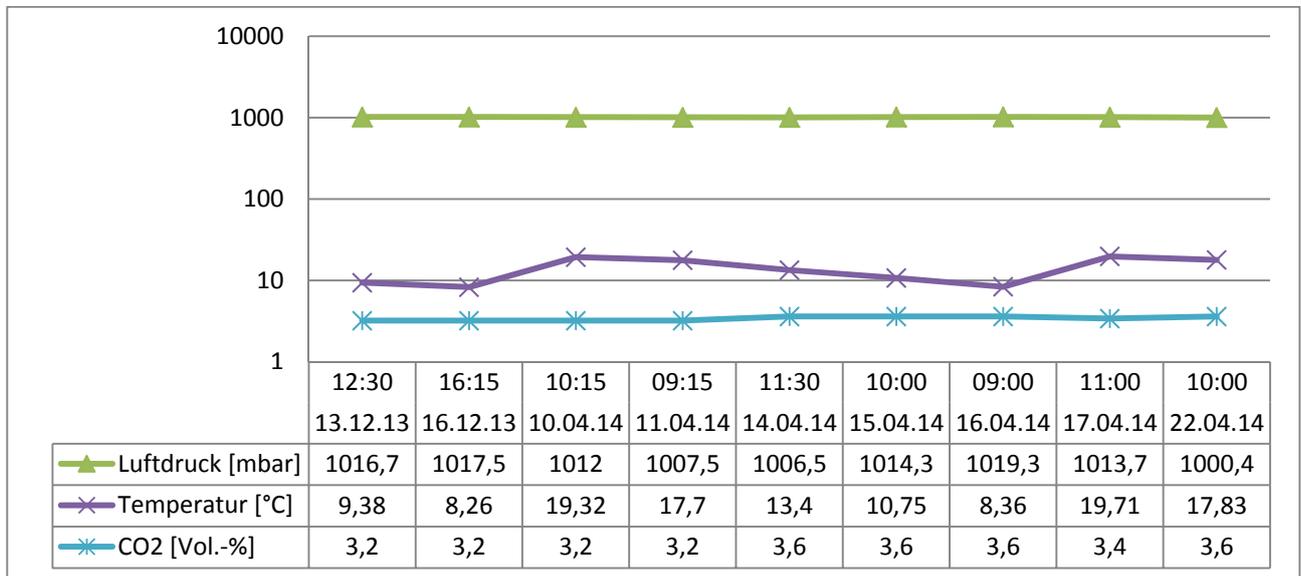


Abbildung 17: Zeitlicher Verlauf des Luftdrucks, der Temperatur und der CO₂-Konzentration an der Referenzmessstelle am geplanten Kraftwerksstandort.

7.2. Ergebnisse der Messprofile

In Tabelle 6 sind die einzelnen Messergebnisse nach Standort sortiert dargestellt. Ein – bei den Radonkonzentrationen bedeutet, dass die Permeabilität des Bodens zu gering ist, sodass nicht in ausreichendem Maße Bodenluft in das Messgerät gelangen konnte. – bei den Ra-226 Werten bedeutet, dass an diesem Punkt keine Bodenprobe entnommen wurde. Die Messpunkte, an denen bei der CO₂-Konzentration ein – vermerkt ist, weisen einen nicht permeablen Boden auf, sodass überhaupt keine Bodenluft gefördert werden konnte.

Tabelle 6: Ergebnisse der Bodenluftmessungen und der Bodenanalyse

Messpunkte	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.-%]
MP ref 1	77.982	98.816	61.376	24,4	3,0
MP 1	76.859	87.552	67.712	-	3,0
MP 2	7.044	12.352	7.712	26,9	0,5
MP 3	-	-	-	33,9	-
MP 4	26.283	41.984	32.384	26,3	2,2
MP 5	82.048	110.080	95.232	27,1	5,0
MP 6	80.750	93.696	88.064	22,6	2,6
MP 7	-	-	-	33,3	0
MP 8	24.980	31.616	15.968	15,7	0,5
MP 9	74.180	88.064	46.016	30,6	3,4
MP 10	-	-	-	37,5	0,3
MP 11	-	-	-	-	-
MP 12	-	-	-	36,1	0,3
MP 13	-	-	-	43,6	0,2
MP 14	70.447	87.040	65.088	22,8	0,9
MP 15	150.756	167.936	115.712	23,9	1,0
MP 16	55.353	67.072	51.712	25,6	2,0
MP 17	61.483	75.776	50.496	28,9	2,0
MP 18	25.907	40.704	29.907	32,1	1,2
MP 19	58.283	79.872	31.040	27,4	3,9
MP 20	-	-	-	20,9	0,5
MP 21	23.825	35.072	16.576	18,5	2,7
MP 22	59.794	66.048	33.536	28,9	2,9
MP 23	104.224	121.856	56.576	29,8	2,5

Messpunkte	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.-%]
MP 24	79.616	103.424	61.013	32,1	2,8
MP 25	96.469	109.056	67.328	26,0	3,2
MP 26	104.192	133.120	98.099	40,3	5,0
MP 27	20.339	25.344	14.480	17,7	1,9
MP 28	28.149	31.744	29.291	30,4	2,2
MP 29	29.555	39.168	16.435	26	3,8
MP 30	17.424	21.888	10.360	19,3	3,4
MP 31	48.989	65.536	32.661	18,6	5,2
MP 32	-	-	-	35,1	-
MP 33	45.627	55.552	37.632	19,1	4,0
MP 34	46.720	67.584	18.709	29,3	2,2
MP 35	40.285	49.664	18.869	24,8	2,4
MP 36	-	-	-	24,9	-
MP 37	36.208	49.152	10.496	20,4	3,6
MP 38	63.846	74.240	41.813	21,9	5,6
MP 39	46.632	54.016	23.936	26,8	7,8
MP 40	89.088	110.080	63.53	30,1	7,2
MP 41	91.392	108.032	85.376	29,3	7,6
MP 42	80.964	93.696	47.936	27,3	5,8
MP 43	-	-	-	36,3	-
MP 44	-	-	-	36,2	-
MP 45	-	-	-	38,1	-
MP 46	15.217	18.688	8.384	20,9	0,6
MP 47	22.374	26.880	10.048	13,8	0,6
MP 48	22.213	29.824	8.821	15	0
MP 49	4.797	9.088	85	13,6	0
MP 50	12.049	14.848	3.426	15,3	0,6
MP 51	12.403	18.048	5.312	22,4	0,8
MP 52	14.028	16.768	5.584	20,7	1,2
MP 53	23.364	32.256	10.960	21,7	1,2
MP 54	17.979	22.272	3.314	20,1	1,6
MP 55	46.682	57.856	11.056	17,4	0,4
MP 56	37.803	49.408	10.752	30	3,2
MP 57	32.492	44.544	34.496	30,6	2,8

Messpunkte	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.-%]
MP 58	44.170	56.832	8.968	26,7	5,0
MP 59	41.293	50.176	10.560	25,1	6,0
MP 60	43.127	53.504	16.576	24,6	3,2
MP 61	46.272	55.296	20.208	27,2	2,8
MP 62	74.581	93.184	31.040	27,7	6,2
MP 63	59.026	67.072	25.557	29,3	5,0
MP 64	53.519	62.464	23.552	25,7	2,8
MP 65	43.264	53.248	30.805	32,3	3,4
MP 66	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
MP 67	-	-	-	37,1	0,4
MP 68	36.224	43.008	23.573	16,6	1,8
MP 69	33.536	41.728	12.531	18,3	1,0
MP 70	28.992	32.768	8.512	19,1	2,0
MP 71	63.460	74.240	32.427	22	2,8
MP 72	49.920	65.536	40.384	23	3,6
MP 73	82.235	95.232	56.384	25,2	7,2
MP 74	56.716	69.632	44.339	20	6,0
MP 75	-	-	-	26,5	0,4
MP 76	-	-	-	31	0,8
MP 77	-	-	-	30,3	0,6
MP 78	48.194	57.344	43.093	30,7	3,4
MP 79	40.428	56.320	37.205	26,5	3,8
MP 80	-	-	-	25,6	-
MP 80b	23.872	29.056	20.964		3,2
MP 81	57.577	67.072	29.056	26,7	4,4
MP 82	64.495	75.264	43.136	28,1	6,2
MP 83	-	-	-	28	-
MP 84	-	-	--	25,2	-
MP 85	49.056	59.392	43.648	24,2	4,2
MP 86	27.776	38.400	16.384	14,6	3,8
MP 87	57.783	69.120	26.048	16,5	4,6
MP 88	24.820	31.616	12.480	17,8	6,2
MP 89	35.381	38.400	25.984	15,2	5,8
MP 90	44.623	64.256	34.987	23,8	5,8

Messpunkte	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.-%]
MP 91	22.924	30.336	10.624	17,9	2,8
MP 92	25.287	28.672	23.232	24,9	4,6
MP 93	34.880	40.704	15.840	14,3	5,2
MP 94	46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
MP 95	11.673	15.872	5.493	16,6	3,0

Die Messpunkte wurden zuerst aufgrund der Informationen aus der BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene) klassifiziert. Die Einordnung wurde mit den Informationen aus der GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau) harmonisiert. Im Laufe der Feldarbeit hat sich gezeigt, dass die im Kartenwerk dargestellten Grenzen der verschiedenen Bodenformen einen teilweise abweichenden Verlauf nehmen. Die endgültige Zuordnung der Messpunkte zu den verschiedenen Bodenformen erfolgte auf Basis der im Feld gewonnenen Erkenntnisse. Tabelle 7 zeigt einen Ausschnitt der Klassifikation, zur detaillierten Darstellung vgl. Kapitel 9.2. Tab. 8.

Tabelle 7: Auszug aus der Zuordnung der Messpunkte zu den einzelnen Bodenformen / geologischen Formationen, + gute Permeabilität, < mäßige Permeabilität

Messpunkte	Bodenform aus BK	Formation aus GK	Korngrößen Gelände	Permeabilität
Ref-KW	U4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s,t'	<
MP 21	T4	Jüngerer Flugsand	fS, u	+
MP 45	S2	Fluss- und Bachlehm	T, u → T1	Kein Fluss
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+
MP 93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+
MP 94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+

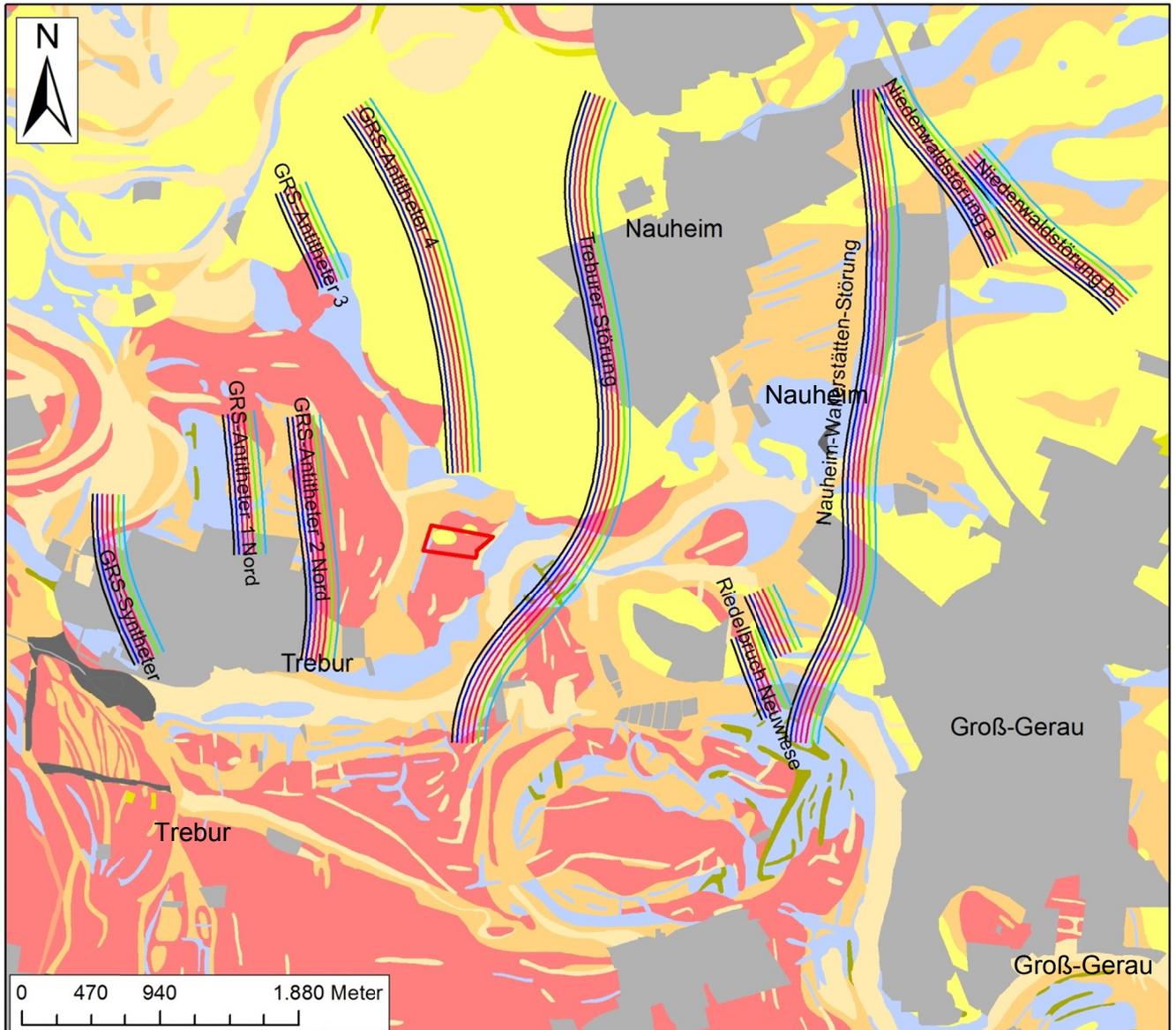
8. Vergleich und Diskussion

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss beachtet werden, dass sich die Ergebnisse der Bodenluftmessungen nicht ohne Weiteres direkt vergleichen lassen. Das Auftreten niedriger Werte kann außer der geringen Konzentration von Radon in der Bodenluft noch weitere Ursachen haben. Der Untergrund im Untersuchungsgebiet ist alles andere als homogen. Die Permeabilität des Bodens schwankt von Messpunkt zu Messpunkt teils erheblich. Dabei ist zu beachten, dass eine niedrigere Permeabilität einen niedrigeren Volumenstrom, der dem Gerät zugeführt wird, zur Folge hat, was in niedrigen Messwerten resultiert.

Die Ergebnisse der Messungen und Analysen werden in diesem Kapitel nach Bodenarten gruppiert, dargestellt und diskutiert, da mit der aktuell verfügbaren Methode keine direkte Korrelation der Messungen in verschiedenen Böden möglich ist. An den einzelnen Messpunkten ist zur Darstellung der Untergrundverhältnisse jeweils ein Ausschnitt der GK 25 Blatt 6016 und der BK 50 Blatt 107 angegeben, vgl. Abb. 20-27. Auf Basis dieser Information erfolgt die Interpretation der Messergebnisse.

8.1. Tektonik

Durch die Kooperationspartner sind die Ergebnisse der 3D-seismischen Untersuchungen im Gebiet zur Verfügung gestellt worden. Diese Daten beinhalten den Verlauf der durch die Untersuchungen kartierten Störungen in einer Tiefe von 380 Metern unter der Geländeoberfläche. Die Störungen in der Tiefe fallen mit einem Winkel von 80° gegen Osten ein. Der Verlauf der Störungen bzw. deren Einfallen in den quartären Schichten zwischen 380 Metern unterhalb der Geländeoberfläche und der Geländeoberfläche ist nicht bekannt. Unter der Annahme, dass sich das Einfallen der Störungen, falls sich diese auch im Quartär fortsetzten, allenfalls leicht ändert, sind die möglichen Ausbisse der Störungen an die Oberfläche projiziert worden, vgl. Abb. 18. Bei der Projektion ist von Einfallswinkeln zwischen 85° und 60° ausgegangen worden. Es hat sich gezeigt, dass die Einfallswinkel von 60° und 65° als unrealistisch anzusehen sind, daher wird im weiteren Verlauf auf die Darstellung dieser beiden Projektionen verzichtet.



Legende

Kraftwerksstandort

Boden petrologisch

Siedlungsflächen

Carbonatsand

Lehm

Lehmmergel

Niedermoortorf

Sand

Schluff

Schluffmergel

Ton

Tonmergel

carbonatführender Lehm

carbonatführender Ton

kiesführender Sand

Störungen

dip

80° 380 m u. GOK

60

65

70°

75°

80°

85°

Abbildung 18: Störungsverlauf 380 m unter GOK (schwarz) und Projektion der Ausbisse an der Oberfläche unter Annahme verschiedener Einfallswinkel, modifiziert nach BK 50 Blatt 107(Oberrhinebene), Weidner, 1990

8.2. Auswahl der Profile

8.3. Profile

In diesem Kapitel werden die Messergebnisse aus Kapitel 7 graphisch aufbereitet und diskutiert. Die graphische Darstellung ermöglicht den Vergleich der Messwerte untereinander und die Korrelation zwischen den Messwerten und dem Bodensubstrat. Es ist nicht möglich die gemessene Ra-226 Aktivität eines Bodens [Bq/Kg TM] in die zu erwartende Rn-222 Aktivität [Bq/m³] der Bodenluft umzurechnen, da wie in Kapitel 3.2. beschrieben die Emanation von Rn-222 von vielen Faktoren beeinflusst wird. Beim Vergleich der Messwerte der Bodenluft und des Bodensubstrates lässt sich der Zusammenhang aufzeigen.

Bei der Darstellung wurde wie folgt vorgegangen:

Es wurden 8 Ausschnitte der Abbildung 19 aufgrund der zugrundeliegenden Bodenform ausgewählt. Zur Darstellung wurde jeweils das gleiche vergrößerte Gebiet aus der GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau, obere Abbildung) und der BK 50 Blatt 107 (Oberrheinebene, untere Abbildung) übereinander dargestellt. Auf diese Grundkarten wurden die bekannten Störungen mit ihrem Verlauf in 380 m Tiefe und einem Einfallen von ca. 80° dargestellt. Weiterhin wurden die möglichen Ausbisse der bekannten Störungen an der Oberfläche unter Annahme ihrer Fortsetzung im Quartär mit Einfallswinkeln zwischen 70° und 85° abgebildet.

Die graphische Darstellung der Messergebnisse erfolgt als Balkendiagramm hierbei gilt, je größer der Balken desto höher der Messwert, ist kein Balken dargestellt, dann konnte wegen der geringen Permeabilität des Bodens keine Messung durchgeführt werden. Auf der GK 25 Blatt 6016 (Groß-Gerau) werden die Ra-226 Gehalte des Bodensubstrats sowie die in der Bodenluft gemessenen Konzentrationen des Radongehaltes in der Bodenluft und der Anteil von Radon-222 in der Bodenluft abgebildet. Auf der Bodenkarte wird die gemessene CO₂-Konzentration in der Bodenluft dem Radon-222 Gehalt gegenübergestellt, da eine deutliche Erhöhung beider Werte im Vergleich zu umgebenden Messungen an einer Störungszone für einen vermehrten Aufstieg dieser Gase aus der Tiefe sprechen.

Zusätzlich zur graphischen Darstellung werden die Messwerte in Relation zum durchschnittlichen Gehalt der Komponenten in der jeweiligen Bodenform gesetzt, hierdurch kann abgeschätzt werden, ob die Messwerte im normalen Schwankungsbereich liegen oder eine Anomalie vorliegt.

8.4. Vergleich der Parameter und Schlussfolgerung

Die gewonnenen Messwerte werden in Microsoft Excel importiert und dort nach verschiedenen Aspekten sortiert beziehungsweise gruppiert. Für jede dieser verschiedenen definierten Gruppen erfolgen die Bestimmung des Mittelwerts der Messwerte der jeweiligen Gruppe und die Bestimmung der Standardabweichung. Beide Werte dienen als Vergleichswerte für die jeweiligen in Kapitel 8.5. dargestellten Profile. In die Berechnung der Mittelwerte und der Standardabweichungen der Radon- und CO₂-Konzentrationen sind nur die Werte der Messpunkte eingegangen, bei denen während der Messungen ein erkennbarer Volumenstrom gefördert wurde. Die detaillierten Datensätze und die einzelnen Ergebnisse finden sich in Tabelle 19 in Kapitel 10.3. Messungen, die mit einem x in der Spalte der Permeabilität gekennzeichnet sind oder einen CO₂-Gehalt von weniger als 0,5 Vol-% aufweisen, gehen nicht in die Berechnungen ein.

8.5. Vergleich der Untergrundformen

Die im Untersuchungsgebiet auftretenden sandigen Böden weisen die geringsten Konzentrationen von Rn-222, Ra-226 und CO₂ auf. Die Rn-222 Konzentrationen liegen im Mittel bei 22.000 Bq/m³, es treten jedoch große Schwankungen auf, die Standardabweichung liegt bei ca. 20.000 Bq/m³. Die CO₂-Konzentration liegt bei ca. 3 Vol-%. Die Gleye weisen jedoch deutlich höhere CO₂-Werte um 6 Vol-% auf.

Die lehmigen Böden zeigen höhere Konzentrationen der drei untersuchten Parameter, vgl. Tab.8. Unter den Lehmböden zeigen die Gleye deutlich höhere Werte als der Durchschnitt der anderen Bodenformen.

In den schluffigen Böden schwanken vor allem die Rn-222 Konzentrationen sehr stark, sie liegen zwischen 30.000 und 96.000 Bq/m³. Auch hier weisen die Gleye die höchsten Konzentrationen auf.

Die Tonböden des Untersuchungsgebietes weisen auch starke Schwankungen in den Messwerten auf. Bei dieser Bodenart werden die Schwankungen jedoch nicht vorrangig durch die verschiedenen Mineralzusammensetzungen bzw. Bodengenese verursacht, sondern durch die geringe Permeabilität. Viele Messungen, die in tonigen Böden durchgeführt wurden, mussten ohne Ergebnis beendet werden, da nicht in ausreichender Menge Bodenluft gefördert werden konnte. Sobald die Permeabilität der Böden, vgl. Tab 19 in Kapitel 10.3., hoch genug war, sodass die Messgeräte mit ausreichend Bodenluft versorgt wurden, zeigten sich sehr hohe Konzentrationen meist um die 100.000 Bq/m³. Niedrige Messwerte resultieren aus sehr geringen Volumenströmen. An diesen Punkten hätten Messungen über mehrere Stunden durchgeführt werden müssen, um evtl. belastbare Ergebnisse zu liefern.

Es ist festzustellen, dass die Ra-226 Konzentrationen in Böden mit kleineren Korndurchmessern wie den Schluffen und Tonen höher ist als in Böden, deren Kornfraktionen im sandig, kiesigen Bereich liegen. Da die Konzentration des Ra-226 in Bq/kg TM angegeben wird, ist die geringere Dichte der grobkörnigeren Böden nicht für die niedrigeren Werte dieser Böden verantwortlich.

Der Vergleich der Messung hat gezeigt, dass eine hohe Konzentration von Ra-226 nicht zwangsläufig auch zu einer hohen Konzentration der Rn-222-Konzentration führt. Es ist daher nicht möglich an Punkten, an denen die Bodenluftmessung erfolglos war, die Rn-222 Konzentration aus der Ra-226 Konzentration zu berechnen, eine Abschätzung der Rn-222 Konzentrationen ist, solange man sich nicht über einer Störung befindet, möglich. Zum Beispiel weisen die zwei verschiedenen Pararendzinen der Schluffmergel eine Ra-226 Aktivität von ca. 30 Bq/kg TM auf, die Radon-Konzentration liegt jedoch bei 22.000 Bq/m³ und 50.000 Bq/m³.

Tabelle 8: Durchschnittliche Messwerte der Böden, gekürzter Auszug aus Tab. 19, Kapitel 10.3.

Boden		Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	Rn222 Ø [Bq/m ³]	Ra226[Bq/kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]
petrologisch	Bodenform					
Sand						
	Braunerde					
	Mittelwert	28.747	35.657	12.912	16,8	0,7
	Standardabweichung	9.864	11.946	4.957	2,2	0,5
	Braunerde-Parabraunerde					
	Mittelwert	42.592	53.197	24.146	25,7	3,7
	Standardabweichung	27.064	31.477	22.435	6,8	2,5
	Parabraunerde-Gley					
	Mittelwert	48.954	59.243	31.226	22,6	3,7
	Standardabweichung	22.780	26.031	18.608	2,4	2,2
	Gley					
	Mittelwert	30.101	35.008	19.232	16,5	6,0
	Standardabweichung	5.281	3.392	6.752	1,3	0,2
	Mittelwert	39.801	49.101	22.560	22,8	3,1
	Standardabweichung	23.453	27.374	19.071	6,4	2,5
Lehm						
	Gley					
	Mittelwert	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
	Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0
	Kolluvisol					
	Mittelwert	48.608	59.573	29.496	27,7	3,9
	Standardabweichung	13.260	15.066	10.882	2,2	1,4
	Pararendzina					
	Mittelwert	36.817	45.675	23.851	25,4	3,5
	Standardabweichung	12.732	16.000	8.090	5,1	0,9
	Mittelwert	42.326	52.049	26.161	25,9	3,6
	Standardabweichung	17.060	20.381	11.840	6,4	1,5
Lehmmergel						
	(Auen)Kalkgley					
	Mittelwert	54.043	70.157	52.883	27,7	3,3
	Standardabweichung	31.169	37.021	30.153	3,2	1,0

Schluff					
Gley-Parabraunerde					
Auengley					
Auenanmoorgley					
Mittelwert	92.471	113.408	93.082	33,3	3,8
Standardabweichung	11.721	19.712	5.018	7,7	1,2
Schluffmergel					
Pararendzina					
Mittelwert	51.092	62.549	22.443	31,3	4,2
Standardabweichung	16.388	18.044	16.669	4,1	1,3
Pararendzina					
Mittelwert	81.211	97.109	50.375	30,3	2,7
Standardabweichung	18.174	23.217	12.044	1,3	0,2
Pararendzina- Gley					
Mittelwert	96.469	109.056	67.328	26,0	3,2
Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0
Gley-Tschernitza					
Mittelwert	33.967	42.960	19.616	18,4	4,2
Standardabweichung	14.048	17.462	8.788	3,7	1,0
Mittelwert	51.008	62.114	29.514	24,7	3,8
Standardabweichung	26.460	30.383	19.245	7,0	1,1
Ton					
Humusparabraunerde					
Mittelwert	70.447	87.040	65.088	34,4	0,9
Standardabweichung	0	0	0	7,5	0,0
Humuspeloso					
Mittelwert	150.756	167.936	115.712	23,9	1,0
Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0
Pararendzina					
Mittelwert	20.339	25.344	14.480	17,7	1,9
Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0
Pseudogley-Parabraunerde					
Mittelwert	49.736	64.448	37.456	24,3	2,7
Standardabweichung	15.116	17.579	14.581	3,9	0,8
Mittelwert	63.867	76.873	49.301	27,3	2,1
Standardabweichung	39.990	42.936	32.257	7,7	2,1

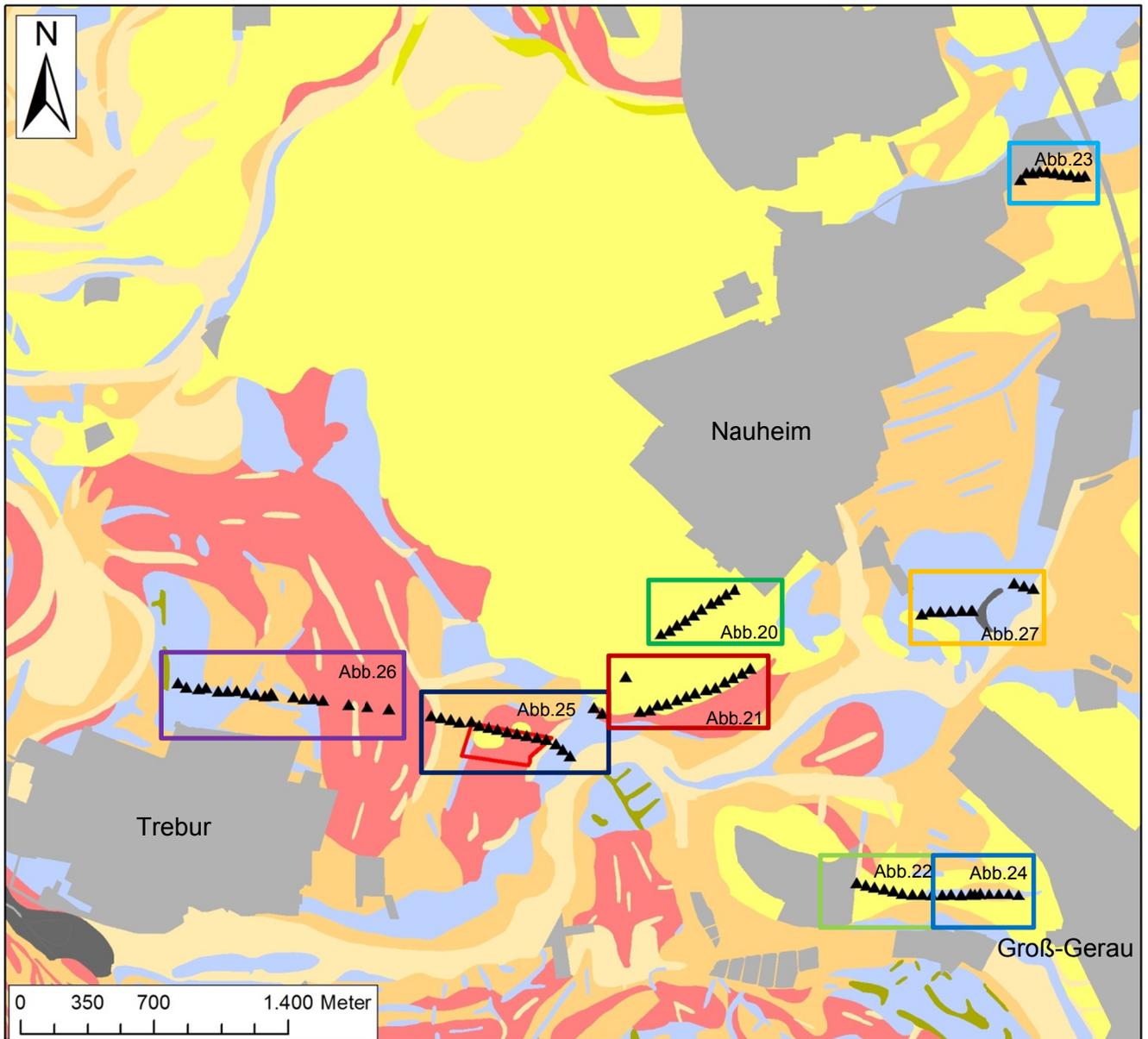
Werden die Messwerte nach den geologischen Formationen, die im Untersuchungsgebiet auftreten, gegliedert, zeigt sich folgendes Bild: Je jünger die Ablagerungen sind desto geringer sind ihre Ra-226 Aktivität und ihre Rn-222 Konzentration (Tab. 9). Die geringsten Werte weisen die jungen äolischen Ablagerungen auf. Höhere Werte zeigen sich bei den jungpleistozänen fluviatilen Ablagerungen. Die höchsten Werte werden bei den älteren Fluss- und Bachlehmen erreicht. Diese Tendenz in den Werten ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die älteren Sedimente aus kleineren Kornfraktionen zusammengesetzt sind.

Weiterhin lässt sich diese Alterstendenz in den Messwerten dadurch erklären, dass die Minerale, die Elemente der Ra-Zerfallsketten in ihrem Kristallgitter aufweisen, eine höher Dichte und geringere Mobilität als Minerale ohne diese Elemente besitzen.

Die Ra-reichen Minerale verbleiben daher länger am Ort ihrer Ablagerung. Die leichteren Minerale werden im Laufe der Zeit wieder aufgearbeitet bzw. durch die Bodengeneese weiter transportiert.

Tabelle 9: Durchschnittliche Messwerte der geologischen Formationen, gekürzter Auszug aus Tab. 19, Kapitel 10.3.

Geologische Formation	Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	Rn222 Ø [Bq/m ³]	Ra226[Bq/kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]
Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig					
Mittelwert	56.665	69.279	37.175	26,7	3,9
Standardabweichung	20.642	23.711	16.473	3,8	1,8
Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig					
Mittelwert	56.257	69.179	43.839	28,9	2,7
Standardabweichung	35.051	38.441	35.189	6,1	1,7
Älterer Fluss- und Bachlehm					
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
Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter (Terrassen des Mains, des Rheins und der Odenwaldbäche)					
Mittelwert	46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
Standardabweichung	0	0	0	0,0	0,0



Legende

 Kraftwerksstandort	Boden petrologisch	 Schluff	Abb.20
▲ Messpunkte	 Siedlungsflächen	 Schluffmergel	Abb.21
	 Carbonatsand	 Ton	Abb.22
	 Lehm	 Tonmergel	Abb.23
	 Lehmmergel	 carbonatführender Lehm	Abb.24
	 Niedermoortorf	 carbonatführender Ton	Abb.25
	 Sand	 kiesführender Sand	Abb.26
			Abb.27

Abbildung 19: Übersichtskarte der Lage, der im Detail betrachteten Ausschnitte, modifiziert nach BK 50 Blatt 107(Oberheinebene), Steuer, 1974

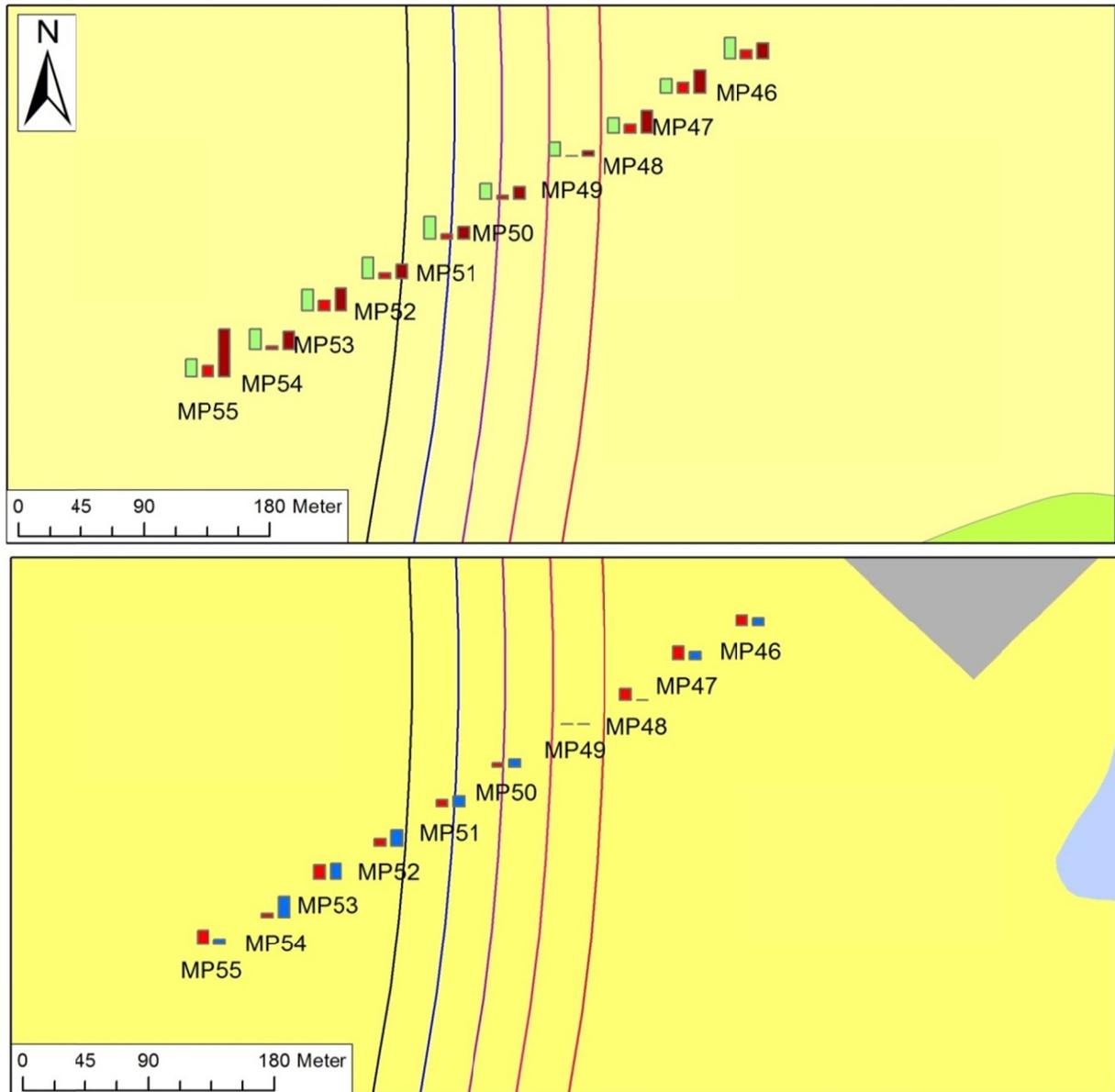
8.5.1. Treburer Störung

Treburer Störung 1

Der in Abb. 20 dargestellte Ausschnitt des Untersuchungsgebietes liegt direkt an der südlichen Grenze Nauheims. Der Untergrund besteht ausschließlich aus äolisch abgelagerten sandigen Sedimenten. Das Profil quert die Treburer Störung.

Wie bei Sandböden zu erwarten ist, liegen die gemessenen Werte in niedrigen Bereichen, siehe Tab. 10. MP 55 zeigt höhere Werte, da hier dem Feinsand als Nebenkomponenten Ton und Schluff beigemischt sind. Es kommt zu einem Falleneffekt, sodass in diesem Bereich das von unten aufsteigende Radon akkumulieren kann. Die Rn-222 Konzentration und die Ra-226 Aktivität liegen im Durchschnitt der Messungen dieses Gebietes. Der sehr niedrige Wert bei MP 49 ist durch die sehr lockere Lagerung des Bodens zu erklären, daher kommt es zu einer guten Durchlüftung des Bodens mit atmosphärischer Luft. Durch diese Verdünnung fallen die Messwerte sehr gering aus, weiterhin sind die Ra-226 Aktivitäten mit 13,6 Bq/kg TM gering, sodass die Radonemanation ebenfalls gering ist.

Eine Erhöhung der Radonaktivität oberhalb der Störung ist nicht zu beobachten, es ist davon auszugehen, dass in diesem Bereich kein Radon aufsteigt, da die Störung oder der Boden an dieser Stelle impermeabel zu sein scheint.



Legende

Störungen dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Konzentrationen



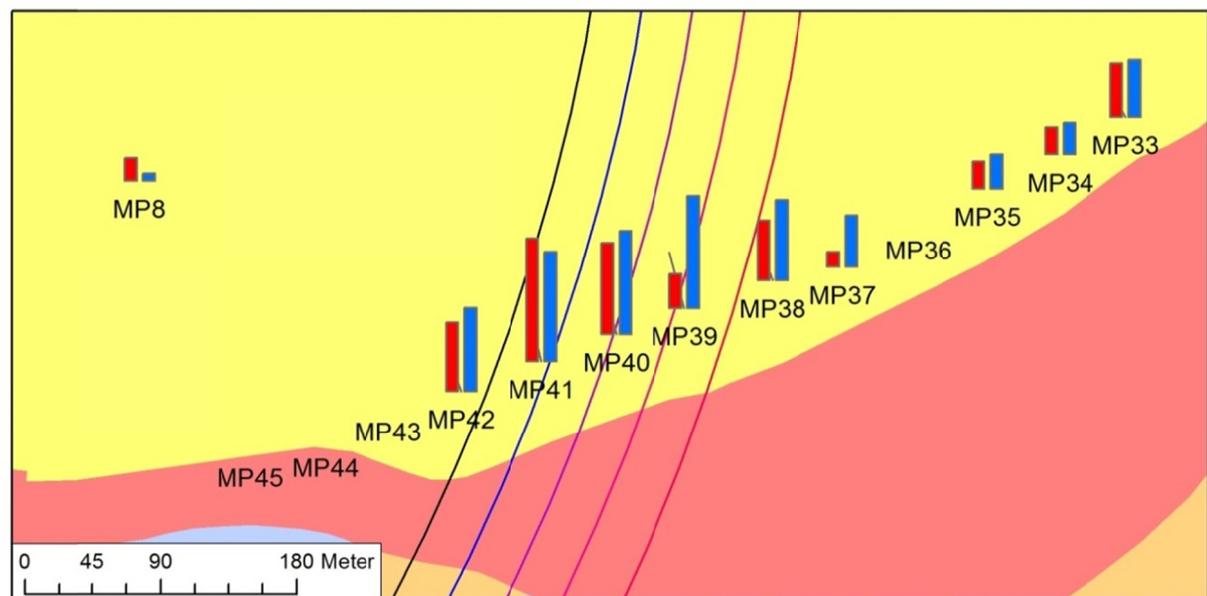
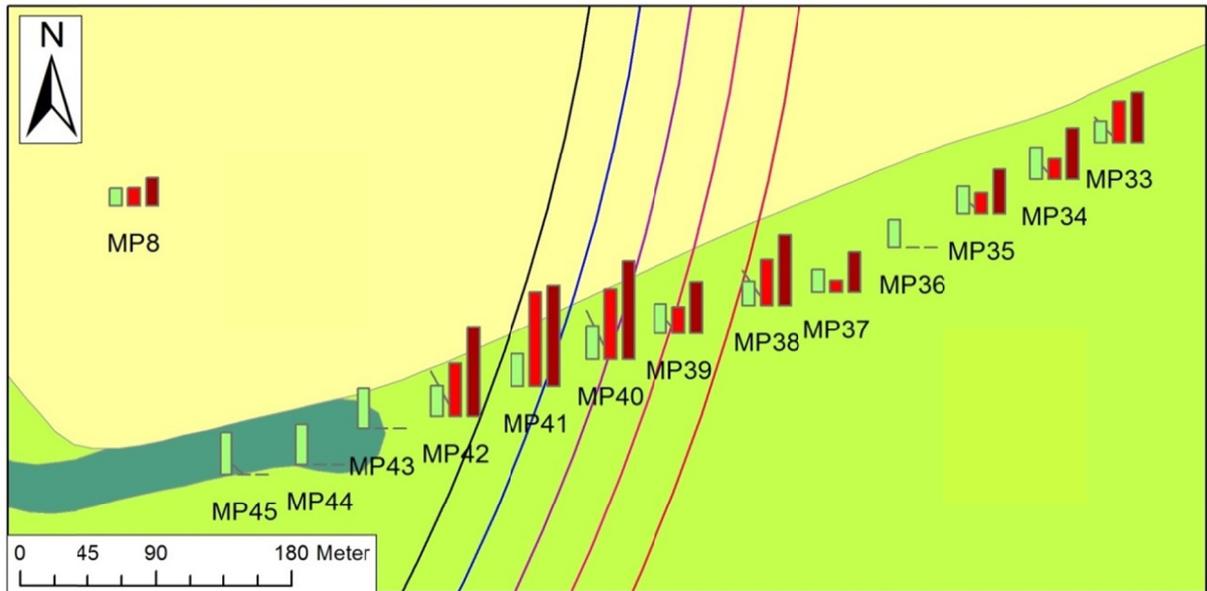
Abbildung 20: Treburer Störung 1, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 10: Messergebnisse zu Abb. 20

Abbildung 20	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	Rn222 Ø [Bq/m ³]	Ra226[Bq/kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]	
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+	15.217	18.688	8.384	20,9	0,6
MP 47	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+	22.374	26.880	10.048	13,8	0,6
MP 48	S1	Jüngerer Flugsand	mS	+	22.213	29.824	8.821	15	0
MP 49	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+	4.797	9.088	85	13,6	0
MP 50	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+	12.049	14.848	3.426	15,3	0,6
MP 51	S3	Jüngerer Flugsand	mS	+	12.403	18.048	5.312	22,4	0,8
MP 52	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs	+	14.028	16.768	5.584	20,7	1,2
MP 53	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs, u	+	23.364	32.256	10.960	21,7	1,2
MP 54	S2	Jüngerer Flugsand	fS, mS	+	17.979	22.272	3.314	20,1	1,6
MP 55	S1	Jüngerer Flugsand	fS, t, u	<	46.682	57.856	11.056	17,4	0,4
Mittelwert					19.111	24.653	6.699	18,09	0,7
Standardabw.					10.680	12.951	3.532	3,2669	0,492

Treburer Störung 2

Der in Abb. 21 dargestellte Abschnitt liegt südlich des Bereichs aus Abb. 20. Die Punkte MP 33 bis MP 40 liegen in dem Bereich der zuvor beschriebenen äolischen Sandablagerungen. Die Punkte MP 41 und MP 42 liegen in tonig, sandigem Schluff. Im weiteren Verlauf des Profils in Richtung Südwesten liegen die Punkte MP 43 bis MP 45, sie liefern aufgrund des dort anstehenden impermeablen, tonig, schluffigen Flusslehm keine Ergebnisse. Das Profil quert ebenso wie das Profil aus Abb. 20 die Treburer Störung.



Legende

Stoerungen

dip

— 80° 380 m u. GOK

— 70°

— 75°

— 80°

— 85°

Boden petrologisch

- Sand
- Schluffmergel

- Ton
- carbonatführender Lehm

Geologie

- Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig
- Jüngerer Flugsand
- Älterer Fluss- und Bachlehm

Konzentrationen

- Rn₂₂₂ [kBq/m³]
- CO₂ [Vol.-%/1000]
- Ra₂₂₆ [Bq/kg TM]
- Rn ges. [kBq/m³]

Abbildung 21: Treburer Störung 2, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 11: Messergebnisse zu Abb. 21

Abbildung 21	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq/ kg TM]	CO2 [Vol.-%]
MP 8	S1	Jüngerer Flugsand	Abbr.	24.980	31.616	15.968	15,7	0,5
MP 33	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, ü <	45.627	55.552	37.632	19,1	4
MP 34	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, u, t +	46.720	67.584	18.709	29,3	2,2
MP 35	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, u, t <	40.285	49.664	18.869	24,8	2,4
MP 36	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS x	-	-	-	24,9	-
MP 37	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS +	36.208	49.152	10.496	20,4	3,6
MP 38	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, u +	63.846	74.240	41.813	21,9	5,6
MP 39	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, u, g +	46.632	54.016	23.936	26,8	7,8
MP 40	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	mS, u +	89.088	110.080	63.530	30,1	7,2
MP 41	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	U, t, fs <<	91.392	108.032	85.376	29,3	7,6
MP 42	S2	Flussschlick, 5- 10 dm	U, fs, t <	80.964	93.696	47.936	27,3	5,8
MP 43	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1 x	-	-	-	36,3	-
MP 44	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1 x	-	-	-	36,2	-
MP 45	S2	Fluss- und Bachlehm	T, u àT1 x	-	-	-	38,1	-
Mittelwert				56.574	69.363	33.415	27,157	4,67
Standardabw				22.161	25.337	21.976	6,4544	2,391

Die Messwerte zeigen einen deutlichen Anstieg der Radonkonzentration zur Störung hin, der nicht durch den Boden und die Rn-226 Aktivität verursacht zu sein scheint, an. Weiterhin ist ein Anstieg des Rn-222 Anteils an der Radonaktivität um den projizierten 85° Ausbiss zu verzeichnen.

Der Anstieg der Werte lässt in Richtung Westen bis MP 40 in der gleichen Schicht beobachten, an MP 41 ist ein Schichtwechsel zu verzeichnen. Hier steht nun Schluff an, der grundsätzlich höhere Werte aufweist als Sand, die Werte steigen trotz deutlich verschlechterter Permeabilität weiterhin an und fallen dann zu MP 42, der außerhalb der Störungszone liegt und eine höhere Permeabilität besitzt, wieder ab. Aufgrund dieser Beobachtungen ist davon auszugehen, dass dieser Peak in der Radon- und CO₂-Konzentration durch ein aus dem Untergrund aufsteigendes Gasgemisch von Radon und CO₂ verursacht wird. Es ist davon auszugehen, dass die Treburer Störung in diesem Bereich permeabel ist. Es wäre interessant weitere Messungen parallel zu den in Abb. 20 und Abb. 21 dargestellten Profilen durchzuführen, um die Ergebnisse zu verifizieren.

8.5.2. Riedbruch Neuwiese Störung

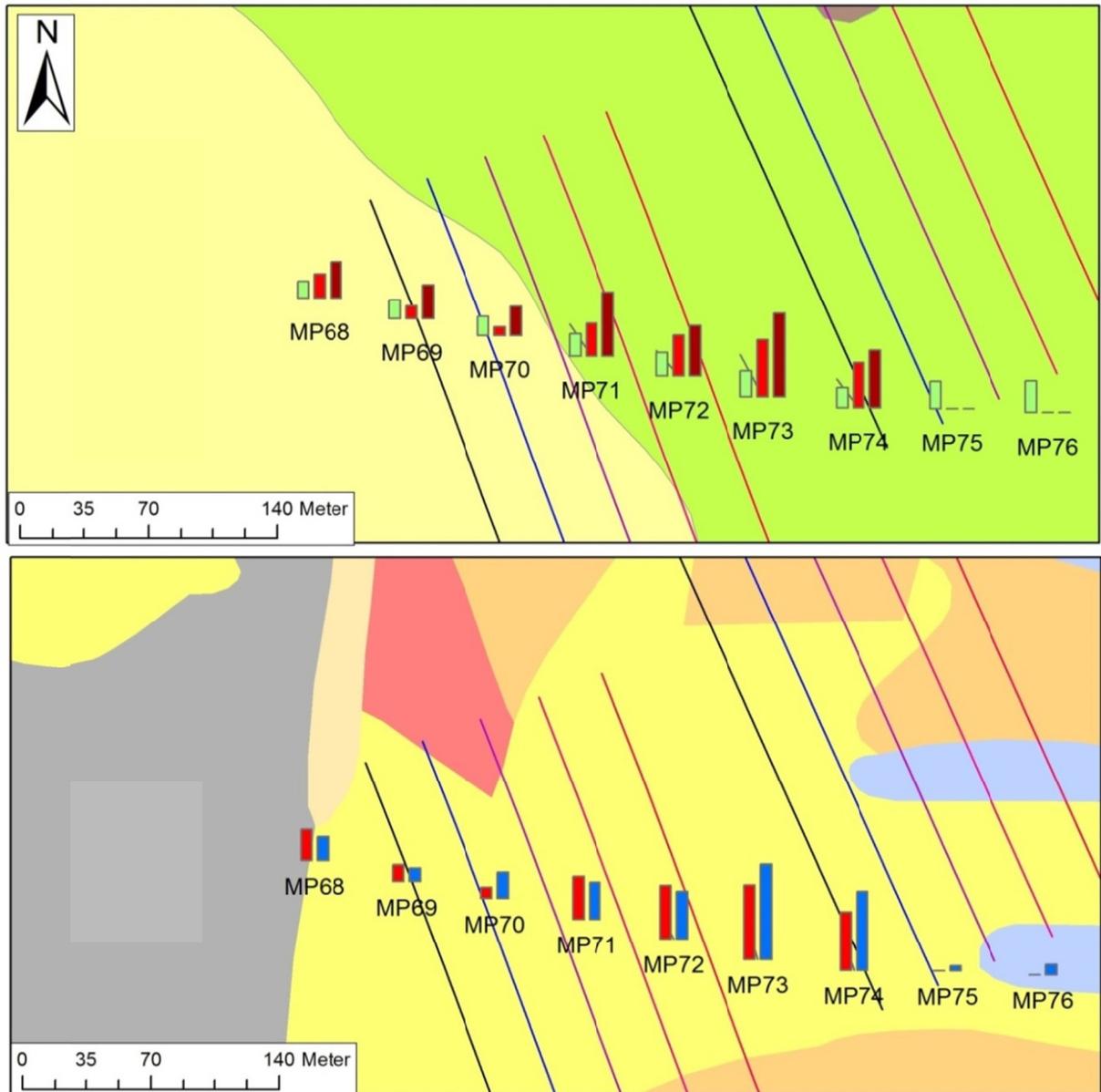
Abb. 22 zeigt den westlichen Teil des Profils, westlich von Groß-Gerau. Das Profil quert in dem hier dargestellten Teil von Westen nach Osten die Riedbruch Neuwiese Störung und die Riedbruch Neuwiese Antithete, im weiteren Verlauf quert dieses Profil noch die Nauheim-Wallerstätten-Störung in ihrem südlichen Abschnitt, siehe Abb. 23.

Die zwei Messungen (MP 75 und MP 76) werden unter Abschnitt 8.5.3. diskutiert. Die drei westlichen Messungen (MP 68 - 70) wurden in fein- bis mittelsandigem Boden, der einen geringen Schluff Anteil aufweist, durchgeführt. Die Ergebnisse liegen im für sandige Böden zu erwartenden Bereich.

Von Westen nach Osten kommt es entlang der Profillinie zu einer Veränderung der Untergrundbeschaffenheit. Die Messungen MP 71 – 74 wurden in einem schluffigen bis tonigen Boden durchgeführt, der in der GK 25 Blatt 6016 als Flussschlick charakterisiert ist. Über diesem Schlick wurde Flugsand abgelagert. Der Flugsand hat keine Auswirkung auf die Messungen, da das liegende Material dichter ist als dieser. Die Messwerte liegen wie zu erwarten in dem schluffigen Boden höher als in dem westlich gelegenen sandigen Boden.

Im Bereich zwischen den beiden Störungen, besonders an MP 73 ist ein deutlicher Anstieg der Rn-222 und der CO₂-Konzentration zu beobachten, die Ra-226 Aktivität steigt jedoch nicht in gleichem Maße, sodass eine verstärkte in situ Emanation unwahrscheinlich erscheint. An MP 73 steigt der Tonanteil im Boden, hierdurch wird wahrscheinlich Radon akkumuliert, weiterhin ist die Radonkonzentration in tonigen Böden relativ hoch.

Die erhöhten Werte an dieser Stelle lassen auf eine Kombination der zwei zuvor beschriebenen Effekte schließen. Es lässt sich nicht zweifelsfrei klären, ob die erhöhten Messwerte auch durch aufsteigendes Radon an der Störung verursacht werden, da ein Wechsel in der Bodenform und Permeabilität stattgefunden hat.



Legende

Störungen

dip

— 80° 380 m u. GOK

— 70°

— 75°

— 80°

— 85°

Boden petrologisch

■ Siedlungsflächen

Geologie

■ Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig

■ Jüngerer Flugsand

■ Torf- und Moorboden

■ Sand

■ Schluff

■ Schluffmergel

■ Ton

■ carbonatführender Lehm

Konzentrationen



■ Rn_222 [kBq/m³]

■ CO₂ [Vol.-%/1000]



■ Ra_226 [Bq/kg TM]

■ Rn_222 [kBq/m³]

■ Rn ges. [kBq/m³]

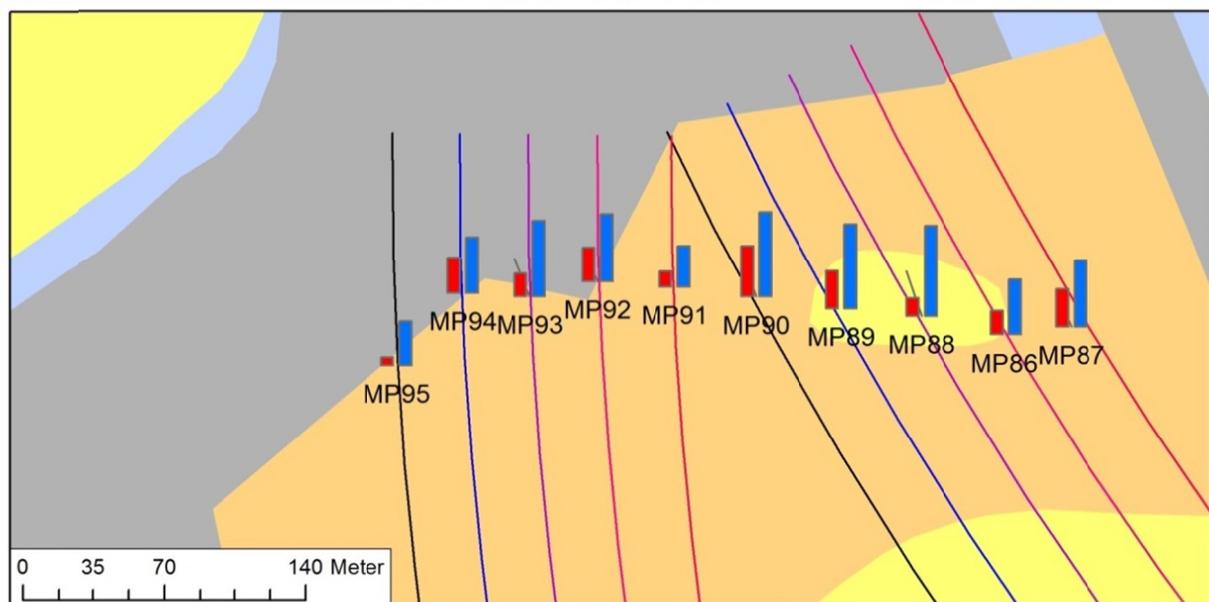
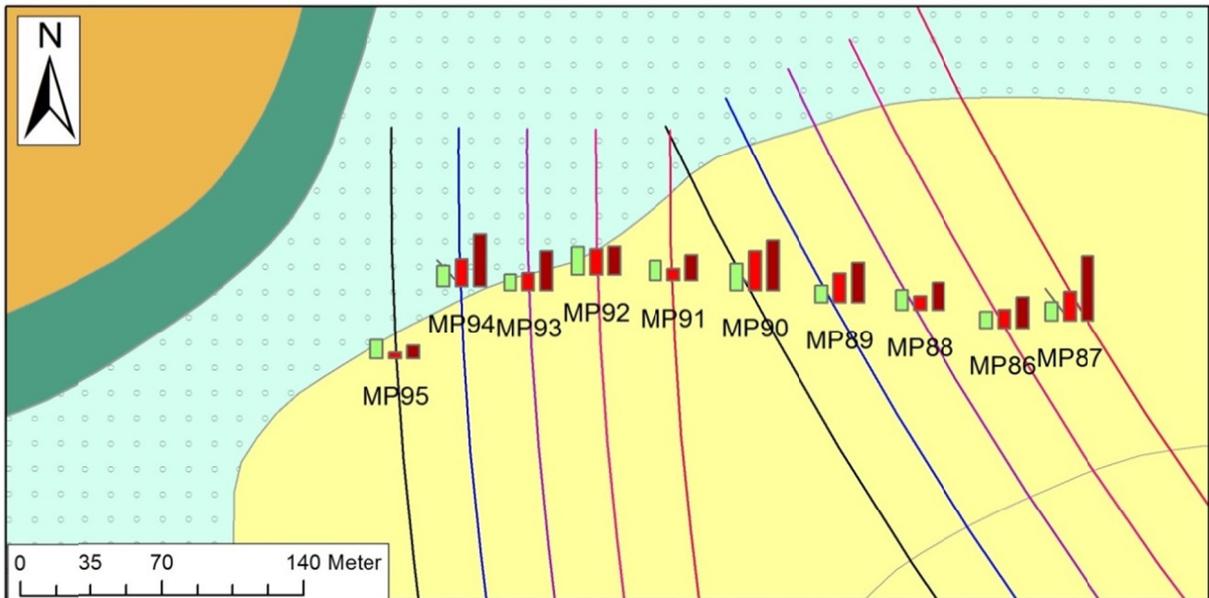
Abbildung 22: Riedbruch Neuwiese Störung, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 12: Messergebnisse zu Abb. 22

Abbildung 22	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m ³]	Rn max. [Bq/m ³]	Rn222 Ø [Bq/m ³]	Ra226[Bq/ kg TM]	CO ₂ [Vol.-%]	
MP 68	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+	36.224	43.008	23.573	16,6	1,8
MP 69	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+	33.536	41.728	12.531	18,3	1
MP 70	S3	Jüngerer Flugsand	1m fS-mS, u; gS	+	28.992	32.768	8.512	19,1	2
MP 71	S3	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	63.460	74.240	32.427	22	2,8
MP 72	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	49.920	65.536	40.384	23	3,6
MP 73	S3	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	82.235	95.232	56.384	25,2	7,2
MP 74	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	+	56.716	69.632	44.339	20	6
MP 75	S3	Flussschlick, 5-10 dm àcL1	U, t	x	-	-	-	26,5	0,4
MP 76	cL 1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	-	31	0,8
Mittelwert					50.155	60.306	31.164	22,411	2,844
Standardabw.					17.596	20.463	16.099	4,2977	2,233

8.5.3. Niederwaldstörung

Der Ausschnitt in Abb. 23 zeigt das Profil, das am nord-östlichen Ende von Nauheim, von Westen nach Osten die Nauheim-Wallerstätten-Störung und die Niederwaldstörung a kreuzt. Der Untergrund besteht aus Flugsand, der von einer 40 bis 60 cm mächtigen Schluffmergelschicht überdeckt ist. Die Permeabilität ist über den gesamten Profilverlauf gleichmäßig hoch, sodass die Messergebnisse direkt miteinander verglichen werden können. Durch die überlagernde Schluffmergelschicht kommt es im Sandkörper zur Akkumulation der Bodengase, weshalb die hier gemessenen Werte höher liegen als die in Abb. 20 dargestellten Werte. Es ist zu beobachten, dass, obwohl die Bodenverhältnisse gleich sind und sich die Ra-226 Aktivitäten nicht in großem Maße zwischen den einzelnen Messpunkten unterscheiden, eine große Bandbreite der gemessenen Radon-222 Konzentrationen auftritt. Die Radon-, als auch die CO₂-Konzentrationen steigen im Bereich des mit 85° projizierten Ausbisses der Störungen an. An den Außenbereichen der Störungszone liegen sie niedriger. Die Messwerte sind für einen Flugsand hoch, dies lässt sich nicht allein aus der Bodenbeschaffenheit erklären. Es ist zu vermuten, dass Radon aus dem Untergrund aufsteigt und sich entlang von Wegsamkeiten diffus über die Störungszone auf seinem Weg an die Oberfläche verteilt.



Legende

Störungen

dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Boden petrologisch

- Sand
- Schluffmergel
- Siedlungsflächen
- Lehm

Geologie

- Älterer Fluss- und Bachlehm
- Jüngerer Flugsand
- Älterer Flugsand
- Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter

Konzentrationen

- Rn₂₂₂ [kBq/m³]
- CO₂ [Vol.-%/1000]
- Ra₂₂₆ [Bq/kg TM]
- Rn₂₂₂ [kBq/m³]
- Rn ges. [kBq/m³]

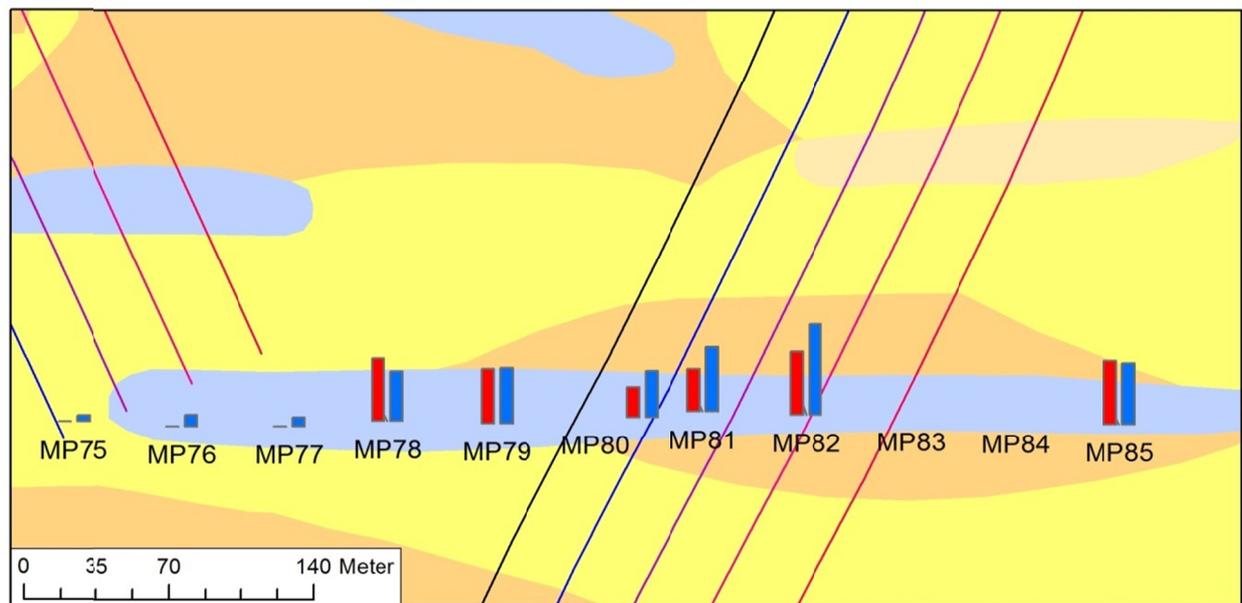
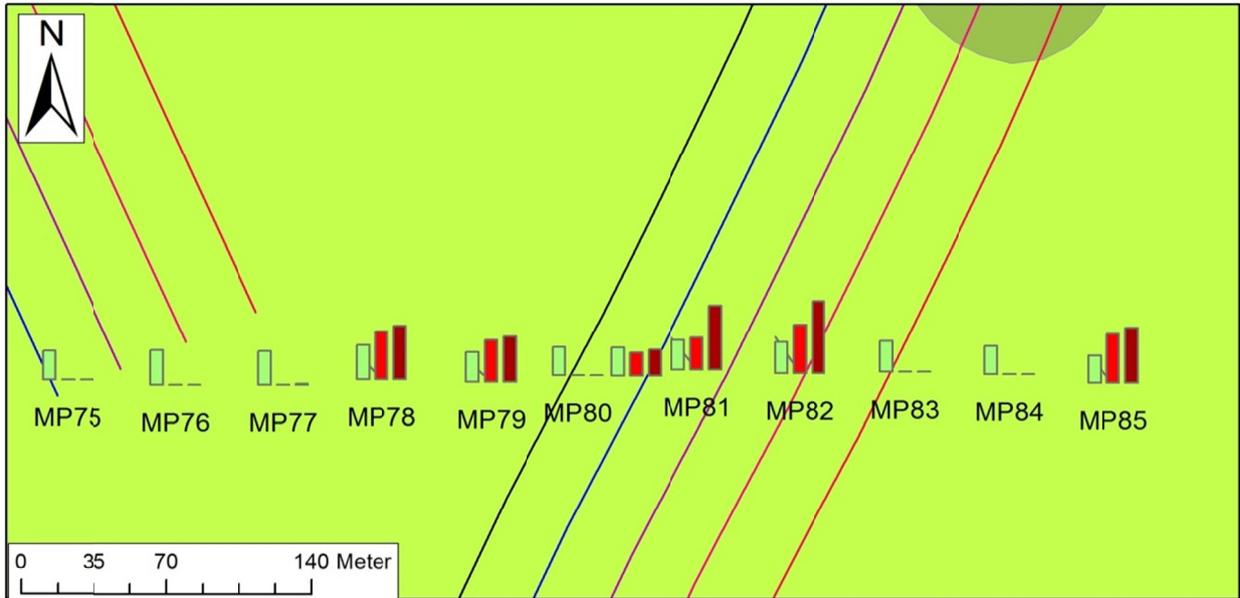
Abbildung 23: Niederwald Störung, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 13: Messergebnisse zu Abb. 23

Abbildung 23					Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq /kg TM]	CO2 [Vol.-%]
		Geol. F.	Korngr.	Perm.					
MP 86	Uk4	Jüngerer Flugsand	mS	+	27.776	38.400	16.384	14,6	3,8
MP 87	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, tf; S-mS, u	+	57.783	69.120	26.048	16,5	4,6
MP 88	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS	+	24.820	31.616	12.480	17,8	6,2
MP 89	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS-gS	+	35.381	38.400	25.984	15,2	5,8
MP 90	Uk4	Jüngerer Flugsand	40 cm U, fs, t; mS-mG	+	44.623	64.256	34.987	23,8	5,8
MP 91	Uk4	Jüngerer Flugsand	30 cm U, fs, t; mS-mG	+	22.924	30.336	10.624	17,9	2,8
MP 92	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS, fg	+	25.287	28.672	23.232	24,9	4,6
MP 93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+	34.880	40.704	15.840	14,3	5,2
MP 94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+	46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
MP 95	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs, t; mS-mG	+	11.673	15.872	5.493	16,6	3
Mittelwert					33.194	41.370	19.539	18	4,56
Standardabw.					12.878	16.012	8.422	3,4462	1,134

8.5.4. Nauheim Wallerstätten Störung

Der in Abb. 24 dargestellt Ausschnitt stellt die östliche Fortsetzung des Profils aus Abb. 21 dar. Alle Messpunkte liegen entgegen der Darstellung auf der Bodenkarte innerhalb des Bereichs des carbonatführenden Lehms, die Grenze ist an MP 75 falsch dargestellt. Der entlang des Profils anstehende Lehm weist eine sehr geringe Permeabilität bzw. an den Punkten MP 83 und MP 84 eine Impermeabilität auf. Aufgrund dieser Tatsache lieferten die Messungen an sechs Punkten kein Ergebnis, auch die Messungen an Punkt MP 80b, welcher 3 Meter entfernt von Punkt MP 80 liegt, können nicht verwendet werden, da über einen Zeitraum von 45 Minuten nur ein minimaler Volumenstrom gefördert werden konnte. Die erfolgreichen Messungen zeigen einen Anstieg der Rn-222 und Co₂-Konzentration bei gleichbleibender Rn-226 Aktivität entlang des Profils nach Osten zu Punkt MP 82. Da im weiteren Verlauf jedoch keine weiteren Messungen innerhalb der Störungszone vorliegen, lässt sich nicht sagen, ob der Anstieg nur mit dem Bodensubstrat in Zusammenhang steht oder auch die Störung Einfluss auf die Bodengase hat.



Legende

Stoerungen

dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Boden petrologisch

- Sand
- Schluff
- Schluffmergel

Geologie

- Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig
- Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig

Konzentrationen

- Rn₂₂₂ [kBq/m³]
- CO₂ [Vol.-/1000]
- Ra₂₂₆ [Bq/kg TM]
- Rn₂₂₂ [kBq/m³]
- Rn ges. [kBq/m³]

Abbildung 24: Nauheim Wallerstätten Störung, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 14: Messergebnisse zu Abb. 24

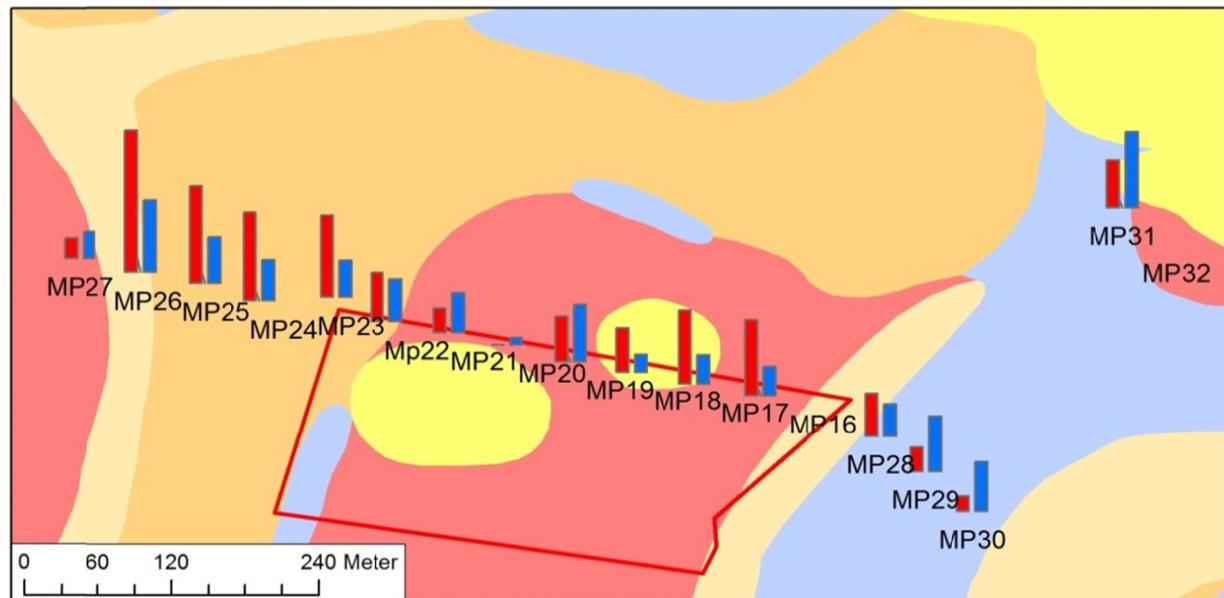
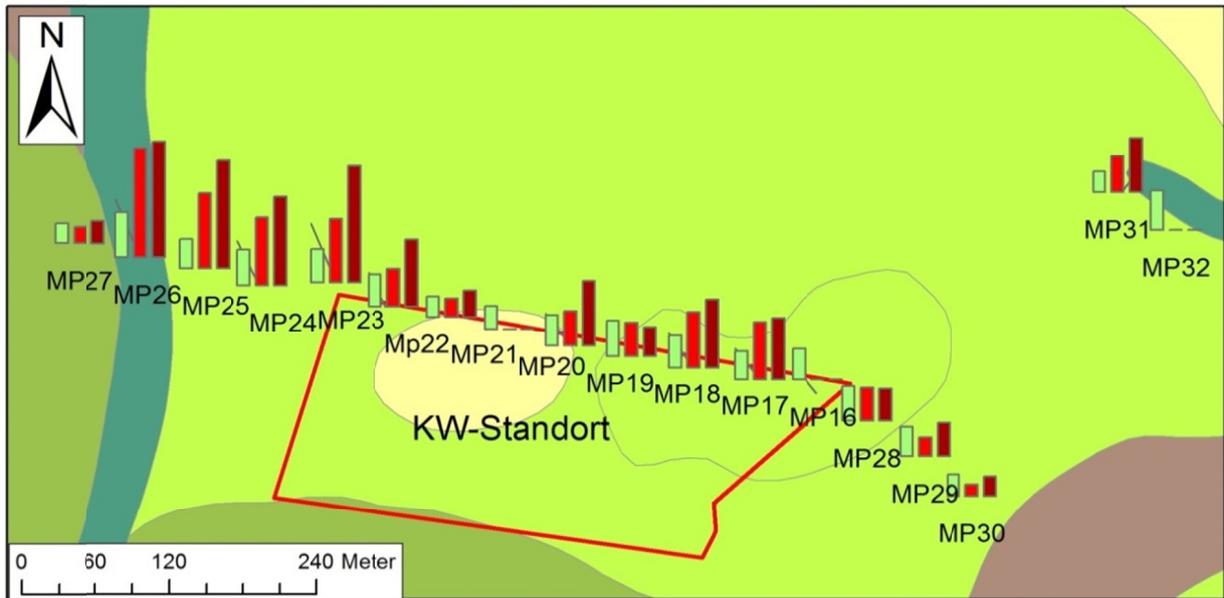
Abbildung 24	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq /kg TM]	CO2 [Vol.-%]	
MP 75	S3	Flussschlick, 5-10 dm à cL1	U, t	x	-	-	26,5	0,4	
MP 76	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	31	0,8	
MP 77	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	30,3	0,6	
MP 78	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	48.194	57.344	43.093	30,7	3,4
MP 79	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	40.428	56.320	37.205	26,5	3,8
MP 80	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	25,6	-	
MP 80b	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<<	23.872	29.056	20.964		3,2
MP 81	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<	57.577	67.072	29.056	26,7	4,4
MP 82	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	64.495	75.264	43.136	28,1	6,2
MP 83	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	28	-	
MP 84	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	25,2	-	
MP 85	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	<<	49.056	59.392	43.648	24,2	4,2
Mittelwert					47.270	57.408	36.184	27,527	3
Standardabw					12.918	14.266	8.517	2,2025	1,881

8.5.5. Kraftwerksstandort und GRS-Antitheter Nord

Kraftwerksstandort

Abb. 25 zeigt den östlichen Abschnitt des 2.100 m langen Profils entlang des geplanten Kraftwerkstandortes bis nach Trebur. Die Messpunkte MP 16 bis MP 33 liegen bis auf MP 26 allesamt innerhalb des jungpleistozänen Flussschlicks. Dieser ändert im Verlauf in geringem Maße seine Zusammensetzung, teilweise wird er von Sand und Schluff überlagert. MP 26 zeigt eine Abweichung von den anderen Messungen, zum einen wurde die Messung in älteren Sedimenten eines Flusses durchgeführt zum anderen besteht der Radon Anteil in der Bodenluft fast ausschließlich aus Rn-222. Der hohe Rn-222 Gehalt der Bodenluft ist durch die hohe Rn-226 Aktivität, von 40 Bq/kg TM, an dieser Stelle bedingt. Im Vergleich mit MP 23 zeigt sich diese Anomalie. Beide Messpunkte weisen die gleiche Radonaktivität auf, jedoch liegt der Anteil von Rn-222 bei MP 23 bei 55%, bei MP 26 liegt der Anteil von Rn-222 bei 94%. Die restlichen Messungen zeigen, dass die Radonaktivität entlang dieses Profils in der Hauptsache durch die in situ Bildung und die Akkumulation unter wenig permeablen Deckschichten bedingt wird.

An den sandigeren Messpunkten ist die Aktivität niedrig, an den tonigen Messpunkten ist sie hoch, wenn die Messung (MP 28) durch eine geringe Permeabilität nicht verfälscht wird.



Legende

Stoerungen

dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Konzentrationen

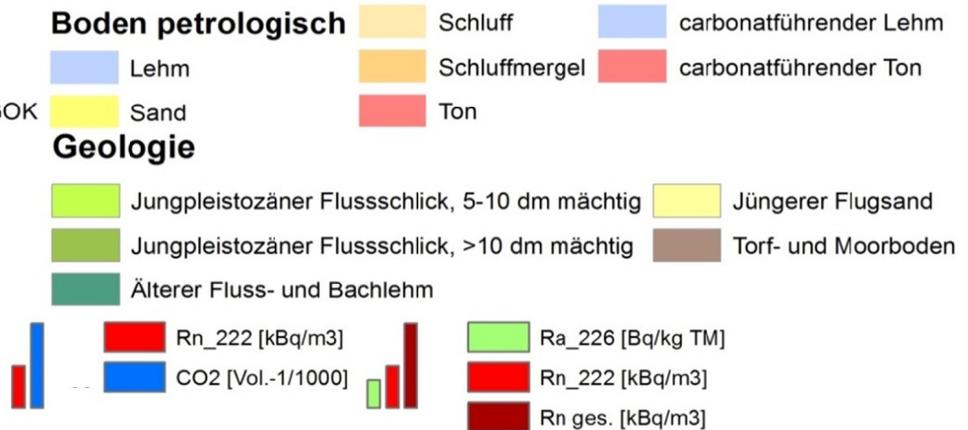


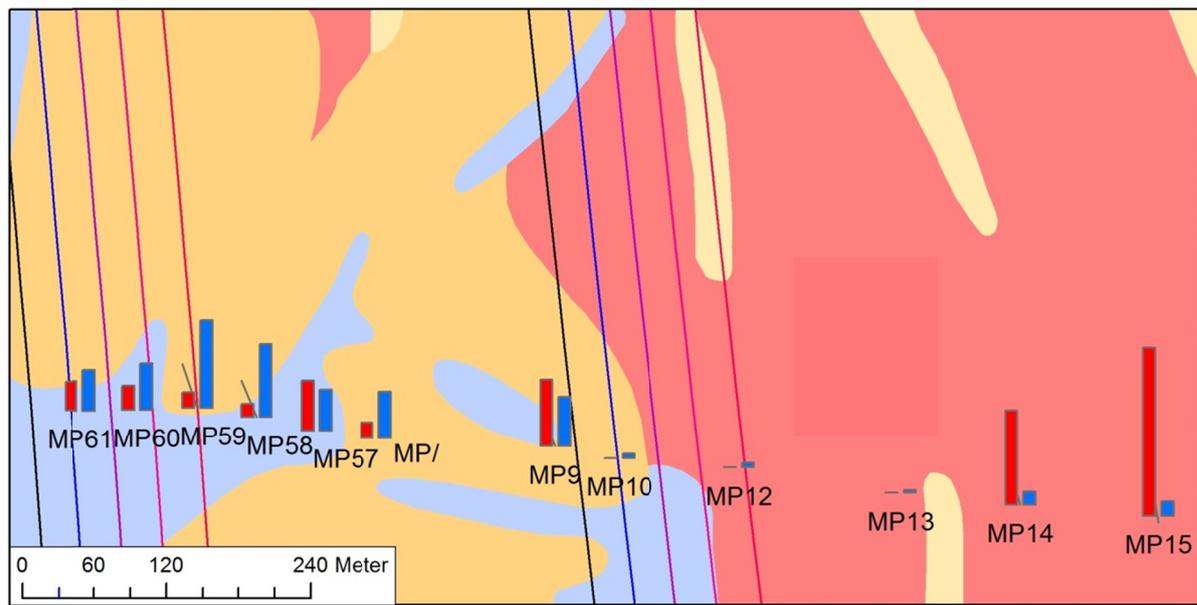
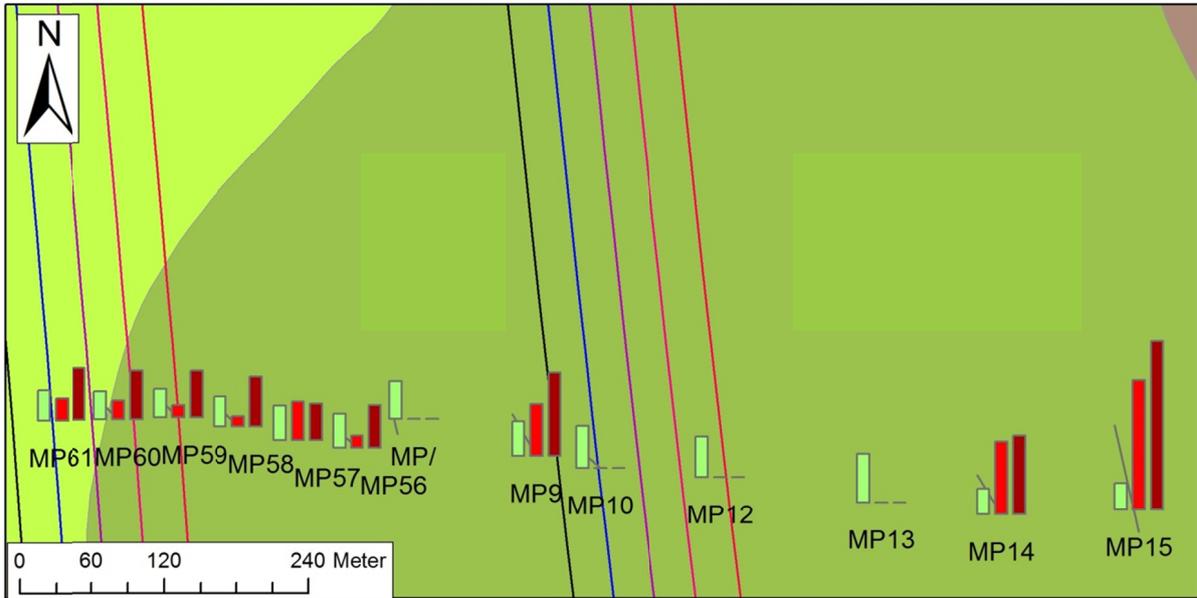
Abbildung 25: Kraftwerksstandort, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 15: Messergebnisse zu Abb. 25

Abbildung 25	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq/ kg TM]	CO2 [Vol.-%]
MP 16 T4	Flussschlick, 5-10 dm	fS, ū	+	55.353	67.072	51.712	25,6	2
MP 17 T4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s äfS, ū	+	61.483	75.776	50.496	28,9	2
MP 18 S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, s	<<	25.907	40.704	29.907	32,1	1,2
MP 19 T4	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs'	+	58.283	79.872	31.040	27,4	3,9
MP 20 T4	Jüngerer Flugsand	U, t, fs'	x	-	-	-	20,9	0,5
MP 21 T4	Jüngerer Flugsand	fS, u	+	23.825	35.072	16.576	18,5	2,7
MP 22 Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t	+	59.794	66.048	33.536	28,9	2,9
MP 23 Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	104.224	121.856	56.576	29,8	2,5
MP 24 Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	79.616	103.424	61.013	32,1	2,8
MP 25 Uk3	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fg	+	96.469	109.056	67.328	26	3,2
MP 26 U2	Fluss- und Bachlehm	T, h	<	104.192	133.120	98.099	40,3	5
MP 27 T3	Flussschlick, >10 dm	U, fs	+	20.339	25.344	14.480	17,7	1,9
MP 28 cL2	Flussschlick, 5-10 dm	T-U, fs	<<	28.149	31.744	29.291	30,4	2,2
MP 29 cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS, u	+	29.555	39.168	16.435	26	3,8
MP 30 cL2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	17.424	21.888	10.360	19,3	3,4
MP 31 cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	48.989	65.536	32.661	18,6	5,2
MP 32 T1	Flussschlick, 5-10 dm	T, ū, fs	x	-	-	-	35,1	-
Mittelwert				54.240	67.712	39.967	26,918	2,825
Standardabw				29.521	34.846	23.255	6,188	1,218

GRS-Antitheter

Abb. 26 zeigt den westlichen Teil des 2.100 Meter langen Profils. Die Radonaktivität der Bodenluft nimmt von Osten nach Westen ab. In gleichem Maße wie die Bodenluftaktivität abnimmt, nimmt der Sandanteil des Untergrundes zu. An MP 14 und MP 15 wird eine Schluffschicht, in der die Bodenluft angesaugt wurde, von einer 50 bis 70 cm mächtigen Tonschicht überlagert. Durch diese Tonschicht kann das Radon quasi nicht migrieren. Daher akkumuliert es in der Schluffschicht direkt unterhalb des Tons, dies führt zu den hohen Messergebnissen an diesen Punkten. An MP 15 ist die überlagernde Tonschicht mächtiger und dichter als an MP 14, daher ist die Aktivität hier noch einmal deutlich höher. An den Punkten MP 10 bis MP 13 wurde die Tonschicht von der Bodenluftsonde nicht durchteuft, daher war es an diesen Stellen nicht möglich, Messergebnisse zu generieren.



Legende

Stoerungen

dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Boden petrologisch

- Schluff
- Ton
- carbonatfuehrender Lehm
- carbonatfuehrender Ton

Geologie

- Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig
- Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig
- Torf- und Moorboden

Konzentrationen

- Rn_222 [kBq/m3]
- CO2 [Vol.-1/1000]
- Ra_226 [Bq/kg TM]
- Rn_222 [kBq/m3]
- Rn ges. [kBq/m3]

Abbildung 26. GRS-Antitheter Nord, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 16: Messergebnisse zu Abb. 26

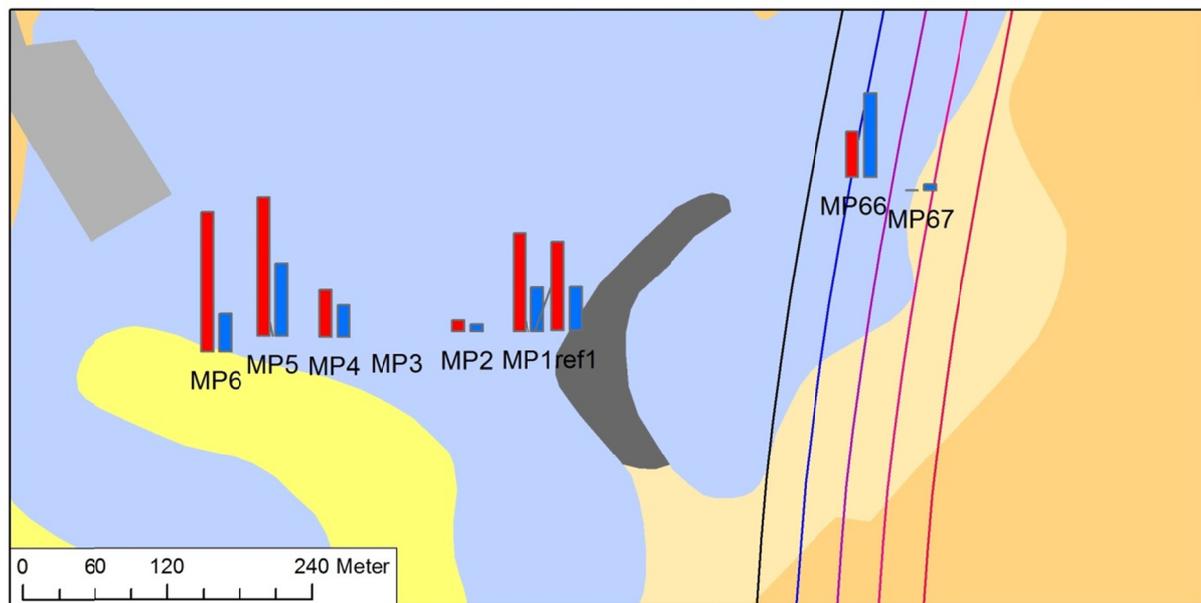
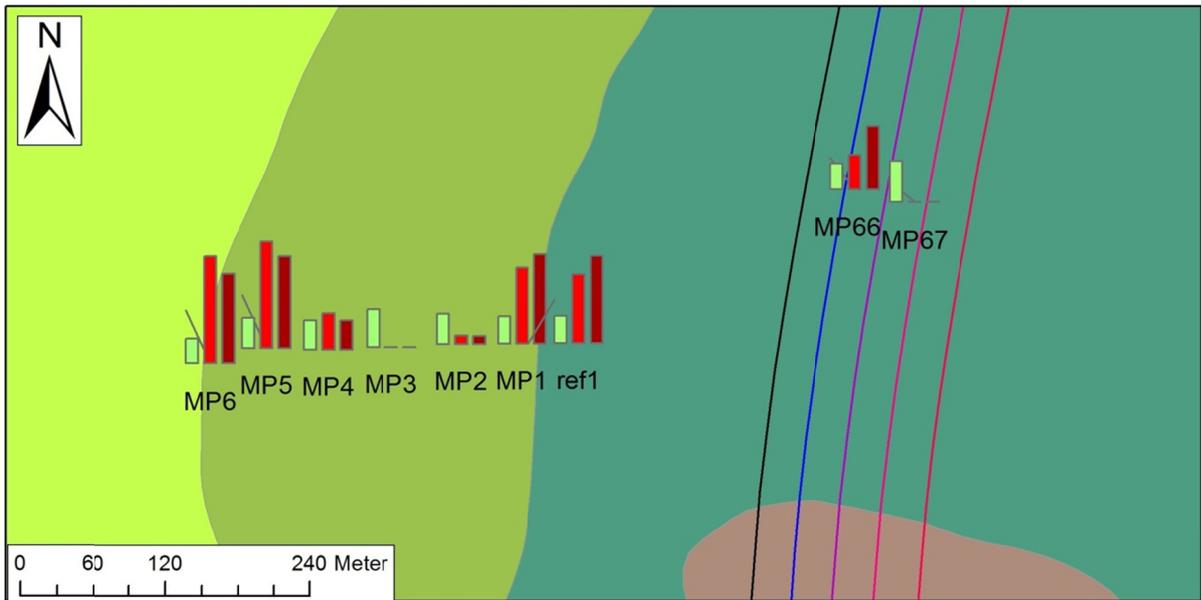
Abbildung 26	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq /kg TM]	CO2 [Vol.-%]	
MP 7	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T, u	x	-	-	-	33,3	-
MP 9	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<	74.180	88.064	46.016	30,6	3,4
MP 10	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	37,5	0,3
MP 11	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	-	-
MP 12	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	36,1	0,3
MP 13	T1	Flussschlick, >10 dm	T	x	-	-	-	43,6	0,2
MP 14	T1	Flussschlick, >10 dm	70 cm T; U	<	70.447	87.040	65.088	22,8	0,9
MP 15	T2	Flussschlick, >10 dm	50 cm T; U	<	150.756	167.936	115.712	23,9	1
MP 56	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U, t, fs	+	37.803	49.408	10.752	30	3,2
MP 57	cL1	Flussschlick, >10 dm	T, u, fs	<<<	32.492	44.544	34.496	30,6	2,8
MP 58	cL1	Flussschlick, >10 dm	fS, u, t	+	44.170	56.832	8.968	26,7	5
MP 59	Uk1	Flussschlick, >10 dm	fS, u	<	41.293	50.176	10.560	25,1	6
MP 60	cL1	Flussschlick, >10 dm	mS	+	43.127	53.504	16.576	24,6	3,2
MP 61	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	46.272	55.296	20.208	27,2	2,8
Mittelwert					60.060	72.533	36.486	30,154	2,425
Standardabw					34.753	36.934	33.238	5,8879	1,83

Die auf Ra-226 analysierten Bodenproben bestehen an den zuvor genannten Messpunkten nur aus tonigem Material, daher ist die Ra-226 Aktivität im Vergleich zu MP 14 und MP 15 erhöht. Da oberhalb des GRS-Antitheters 2 Nord keine Messungen durchgeführt werden konnten, ist eine Aussage über die Fortsetzung der Störung in den quartären Sedimenten mit der genutzten Methode nicht möglich. Im Bereich des GRS-Antitheters 1 Nord lassen sich keine Auswirkungen der Störung auf die Radon- oder CO₂-Konzentration feststellen.

8.5.6. Nordwestlich Groß-Gerau an Nauheim Wallerstätten Störung

Abb. 27 zeigt die zu Beginn der Feldkampagne durchgeführten Erkundungsmessungen, Ziel war es, eine Referenzmessstelle zu errichten, um die täglichen Schwankungen der Radonaktivität zu protokollieren und an dieser Stelle das erste Profil quer zur Nauheim-Wallerstätten-Störung aufzunehmen. Aufgrund der geringen Permeabilitäten in diesem Bereich wurde die Referenzmessstelle an dem besser geeigneten Standort am geplanten Kraftwerk eingerichtet.

Im späteren Verlauf der Feldkampagne wurde versucht das Profil über die Störung fortzusetzen. Dieses Vorhaben wurde jedoch eingestellt, da das Grundwasser in diesem Bereich einen zu geringen Abstand zur Geländeoberfläche aufweist, als dass ohne weiteres Messungen möglich wären. Weiter im Norden, Abb. 23, und im Süden, Abb. 24 wurde die Nauheim-Wallerstätten-Störung mit Profilen gekreuzt. Die Messungen in diesem Bereich dienen der Bestimmung der störungsunbeeinflussten Festlegung der Basiswerte der tonigen Schluffe im Untersuchungsgebiet. Die oberhalb der Störung durchgeführten Messungen MP 66 und MP 67 führten zu keinen Erkenntnissen in Bezug auf die Störung.



Legende

Störungen

dip

- 80° 380 m u. GOK
- 70°
- 75°
- 80°
- 85°

Boden petrologisch

- Siedlungsflächen
- Lehm

Lehmmergel

- Niedermoortorf
- Sand

Schluff

Schluffmergel

Geologie

- Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig
- Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig
- Älterer Fluss- und Bachlehm
- Torf- und Moorboden

Konzentrationen

- Rn_222 [kBq/m³]
- CO₂ [Vol.-%/1000]
- Ra_226 [Bq/kg TM]
- Rn_222 [kBq/m³]
- Rn ges. [kBq/m³]

Abbildung 27: NW Groß-Gerau, vergrößerte Gebiete der GK 25 Blatt 6016 (oben), vergrößertes Gebiet der BK 50 Blatt 107 (unten), modifiziert nach Steuer, 1974 & Weidner 1990

Tabelle 17: Messergebnisse zu Abb. 27

Abbildung 27	Geol. F.	Korngr.	Perm.	Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq /kg TM]	CO2 [Vol.-%]	
Mp ref1	Lk1	Flussschlick, 5-10 dm	50 cm U,t; U,mS	-	77.982	98.816	61.376	24,4	3
MP 1	Lk1	Flussschlick, >10 dm	50 cm U,t; U,mS	-	76.859	87.552	67.712	-	3
MP 2	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	7.044	12.352	7.712	26,9	0,5
MP 3	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	x	-	-	-	33,9	-
MP 4	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	26.283	41.984	32.384	26,3	2,2
MP 5	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<	82.048	110.080	95.232	27,1	5
MP 6	U1	Flussschlick, >10 dm		w	80.750	93.696	88.064	22,6	2,6
MP 66	L1	Fluss- und Bachlehm	80 cm U, fs; gS	<	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
MP 67	U3	Fluss- und Bachlehm	70 cm T; gS	<<, w	-	-	-	37,1	0,4
Mittelwert					63.358	79.189	61.390	26,863	2,933
Standardabw					22.945	34.105	30.794	5,9609	1,018

8.6. Fazit

Die Untersuchungen im Gebiet von Groß-Gerau, Nauheim und Trebur 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 war zu beobachten, dass eine Tendenz der Steigerung der Aktivität von Radon und Radium von jungen hin zu älteren Sedimenten besteht. Eine direkte Korrelation der Ra-226 Aktivität mit der Rn-222 Konzentration ließ sich nicht feststellen. Im Allgemeinen lässt sich feststellen, dass eine höhere Radium-Aktivität im Boden zu einer höheren Radonkonzentration in der Bodenluft, bei gleicher Bodenbeschaffenheit, führt. Es lässt sich jedoch nicht feststellen, dass von einer hohen Radonkonzentration in der Bodenluft auf eine hohe Radium Aktivität geschlossen werden kann. Nur bedingt lässt sich die zu erwartenden Radonkonzentration durch die Bestimmung von Ra-226 abschätzen, da zum einen Ra-226 nur zu Rn-222 zerfällt und somit der Rn-220 und Rn-219 Anteil nicht abgeschätzt werden kann zum anderen wird die Radonkonzentration in der Bodenluft durch eine Vielzahl von Faktoren beeinflusst.

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 kann festgestellt werden, dass die CO₂-Konzentrationen in den Störungszonen erhöht sind, dies zeigt sich auch an Abb. 21.

In Bezug auf CO₂ konnte kein direkter Zusammenhang zwischen der Art des Bodensubstrats und der Höhe der gemessenen CO₂-Konzentration festgestellt werden. Gleichwohl hat die Beschaffenheit des Bodens, wie die Permeabilität, entscheidenden Einfluss auf die CO₂-Konzentration. Die CO₂-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. Dies ist bei CO₂-Werten von weniger als 0,5 Vol-% angeraten.

Im Nachgang dieser Arbeit sollte ein Durchflussmessgerät in das Messsystem integriert werden, um Messungen in verschiedenen permeablen Böden genauer als mit der aktuell angewandten Klassifizierung miteinander korrelieren zu können.

In Bezug auf die in der Einleitung formulierten Bedenken aus der Bevölkerung ist festzustellen, dass die Ergebnisse die Vermutung eines verstärkten Aufstiegs von Radon entlang der Störungen bei Bau und Betrieb des Kraftwerkes nicht stützen.

9. Ausblick

Die zu Beginn der Arbeit formulierten Ziele konnten nicht vollständig erreicht werden. Es war aufgrund von Lieferschwierigkeiten nicht möglich, ein Durchflussmessgerät noch während der Feldarbeiten zu beschaffen. Daher konnte das erweiterte Messsystem nicht im Feld getestet werden. Der nächste Schritt ist, die drei nun vorhandenen Messgeräte in einem robusten Transportgestell zu kombinieren und im Feldeinsatz zu testen. Wenn diese Tests erfolgreich verlaufen und das System aufgrund der Testergebnisse optimiert sein wird, wird es möglich sein, die in verschiedenen Untergründen zu gewinnenden Daten miteinander besser als aktuell möglich korrelieren zu können. Um diese Korrelation zu ermöglichen, bedarf es eines Normierungsfaktors. Zur Definition dieses Faktors sind weitere Messungen der Permeabilität des Untergrunds sowie der Radon- und CO₂-Konzentrationen in der Bodenluft erforderlich.



10. Anhang

10.1. Legende BK25 Blatt 6016 Groß-Gerau

Legende

Bodenformen

	(Auen)Kalkgley aus Auenlehm (Holozän) über Seekreide (Pleistozän-Holozän) über tiefem kiesführendem Carbonatflusssand (Pleistozän)
	(Auen)Kalkgley aus flachem Auenlehm (Holozän) über Seekreide (Pleistozän-Holozän) über tiefem kiesführendem Carbonatflusssand (Pleistozän)
	Abbaufächen von Sand- und Kiesvorkommen, meist Lockersyosem, örtl. vergleyt, aus Flusssand und -kies, örtl. natürliche und künstliche Substrate aufgetragen
	Auenmoorgley aus Auenlehm (Holozän) über kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Auenmoorgley aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Auengley aus Auensand über Auenlehm (Holozän) über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Auengley aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Auengley aus Auenschluffmügel über Auenton über tiefem Niedermoortorf über sehr tiefer carbonatreicher Schluffmüde (Holozän)
	Auengley aus Auentonmügel über Auenton über sehr tiefem Auenschluffmügel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)
	Auengley aus Auentonmügel über tiefem Auenton über tiefem Auenschluffmügel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)
	Auenschluffflächen mit Erdaushub, Bauschutt oder Müll
	Braunerde aus lössarmem, flugsandarmem, kiesführendem Sand (Hauptlage) über kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Braunerde, lessiviert und vergleyt, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Braunerde, lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Braunerde, lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über tiefem Flugsand (Pleistozän)
	Braunerde, lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über tiefem Flugsand (Pleistozän)
	Braunerde, podsolig und lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über tiefem Flugsand (Pleistozän)
	Braunerde-Gley aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Braunerde-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenschluff über tiefem bimsarmem Flusssand über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Flächen für Siedlung, Industrie und Verkehr
	Gewässer
	Gley aus Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley aus Flugsand über kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley aus Flugsand über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley über Niedermoor aus Auenschluff über Niedermoortorf über sehr tiefer Schluffmüde (Holozän) über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley, mit abgesenktem Grundwasser, aus flachem Auensand (Holozän) über Auenlehm über tiefem Flusssand über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Braunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Braunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Braunerde, ferritisch, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Braunerde, pseudovergleyt, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Flugsand über tiefem Auenlehm (Pleistozän)
	Gley-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenton über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Pelosol aus Auenton über Auenschluffmügel über tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Pelosol aus Auenton über tiefem Auentonmügel über tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Pseudogley aus Auenlehm über Auenton über Auenschluffmügel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Pseudogley aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)

	Gley-Pseudogley, podsolig, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Gley-Tschernitza aus Auenschluffmergel über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)
	Gley-Tschernitza aus Auenschluffmergel über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Humusparabraunerde, erodiert, aus Auenton über Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Humusparabraunerde, erodiert, aus Auenton über Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Humuspeloso, vergleht, aus Auenton (Holozän) über Auenschluffmergel über tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Humuspeloso, vergleht, aus Auenton (Holozän) über Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol aus Kolluvialcarbonatsand (Gegenwart) über tiefem Carbonatflugsand über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol aus Kolluvialschluff (Gegenwart) über tiefem Auenlehm über sehr tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol aus Kolluvialschluff (Gegenwart) über tiefem Auenlehm über sehr tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol aus Pflug-Kipp-Sand (Gegenwart) über tiefem Auenlehm über sehr tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol aus Pflug-Kipp-Schluff (Gegenwart) über tiefem Auenlehm über sehr tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol, im tieferen Untergrund vergleht, aus carbonatführendem Kolluviallehm (Holozän) über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Kolluvisol, mit auentypischer Grundwasserdynamik, aus carbonatführendem Kolluviallehm (Gegenwart) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)
	Kolluvisol, mit auentypischer Grundwasserdynamik, aus carbonatführendem Pflug-Kipp-Lehm (Gegenwart) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)
	Nassgley, humusreich, aus Auenlehm (Holozän) über kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Niedermoor aus Niedermoorort (Holozän)
	Niedermoor aus Niedermoorort (Holozän) über kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Niedermoor aus Niedermoorort über tiefer carbonatreicher Schluffmulde (Holozän)
	Niedermoor aus flachem Auenschluff über Niedermoorort über sehr tiefer Schluffmulde (Holozän) über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Parabraunerde aus flugsandarmen Schluff (Hauptlage) über Auenschluff über tiefem bimsarmen Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Parabraunerde, erodiert, aus Auenschluff über Auenschluffmergel über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Parabraunerde, erodiert, aus Auenschluff über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Parabraunerde-Gley aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über carbonatführendem Flugsand über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Parabraunerde-Pseudogley aus lössarmem, flugsandführendem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina aus Anthroschluffmergel (Gegenwart)
	Pararendzina aus Auenschluffmergel über Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina aus Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina aus carbonatführendem Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina aus carbonatführendem Auenton über Auenschluffmergel über tiefem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina-Gley aus Auenschluffmergel (Pleistozän-Holozän) über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina-Gley aus Auenschluffmergel über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pararendzina-Gley aus carbonatführendem Auenlehm über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pseudogley-Kolluvisol aus flugsandarmem Kolluviallehm (Subatlantikum) über Auenlehm über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pseudogley-Parabraunerde aus Lehm (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pseudogley-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pseudogley-Parabraunerde, erodiert, aus Auenton über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Pseudogley-Parabraunerde, vergleht, aus lössarmem, flugsandführendem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)
	Tschernitza, im tieferen Untergrund vergleht, aus Auenschluffmergel über tiefem Auenschluffmergel über tiefem Flusssand (Pleistozän)

Abbildung 28: Legende der detaillierten BK 50 Blatt 107: Oberrheinebene, Weidner 1990

10.2. Klassifikation der Bodenbeschaffenheit an den Messpunkten

In Tabelle 8 ist die Zuordnung der Messpunkte zu den einzelnen Bodenformen aus der Bodenkarte, der Zugehörigkeit zu den verschiedenen Formationen der geologischen Karte und die angepasste Einordnung nach den Feldbefunden dargestellt, vgl. Tabelle 2.

Tabelle 18: Zuordnung der Messpunkte zu den einzelnen Bodenformen/geologischen Formationen

Messpunkte	Bodenform aus BK	Formation aus GK	Korngrößen Gelände	Permeabilität
Ref-KW	U4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s,t'	<
Mp ref1	Lk1	Flussschlick, 5-10 dm	50 cm U,t; U,mS	
MP 1	Lk1	Flussschlick, >10 dm	50 cm U,t; U,mS	
MP 2	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<
MP 3	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	Kein Fluss
MP 4	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<
MP 5	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<
MP 6	U1	Flussschlick, >10 dm		Wasser
MP 7	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T, u	Abbruch
MP 8	S1	Jüngerer Flugsand		Abbruch
MP 9	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<
MP 10	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T,u	Kein Fluss
MP 11	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	Abbruch
MP 12	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	Kein Fluss
MP 13	T1	Flussschlick, >10 dm	T	Kein Fluss
MP 14	T1	Flussschlick, >10 dm	70 cm T; U	<
MP 15	T2	Flussschlick, >10 dm	50 cm T; U	<
MP 16	T4	Flussschlick, 5-10 dm	fS, ū	+
MP 17	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s →fS, ū	+
MP 18	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, s	<<
MP 19	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs'	+
MP 20	T4	Jüngerer Flugsand	U, t, fs'	Kein Fluss
MP 21	T4	Jüngerer Flugsand	fS, u	+
MP 22	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t	+
MP 23	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+
MP 24	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+
MP 25	Uk3	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fg	+
MP 26	U2	Fluss- und Bachlehm	T, h	<
MP 27	T3	Flussschlick, >10 dm	U, fs	+

MP 28	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	T-U, fs	<<
MP 29	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS, u	+
MP 30	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+
MP 31	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+
MP 32	T1	Flussschlick, 5-10 dm	T, ū, fs	Kein Fluss
MP 33	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, ū	<
MP 34	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	+
MP 35	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	<
MP 36	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	Kein Fluss
MP 37	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+
MP 38	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+
MP 39	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, g	+
MP 40	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+
MP 41	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<
MP 42	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<
MP 43	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms →T1	Kein Fluss
MP 44	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms →T1	Kein Fluss
MP 45	S2	Fluss- und Bachlehm	T, u →T1	Kein Fluss
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+
MP 47	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+
MP 48	S1	Jüngerer Flugsand	mS	+
MP 49	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+
MP 50	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+
MP 51	S3	Jüngerer Flugsand	mS	+
MP 52	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs	+
MP 53	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs, u	+
MP 54	S2	Jüngerer Flugsand	fS, mS	+
MP 55	S1	Jüngerer Flugsand	fS, t, u	<
MP 56	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U, t, fs	+
MP 57	cL1	Flussschlick, >10 dm	T, u, fs	<<<
MP 58	cL1	Flussschlick, >10 dm	fS, u, t	+
MP 59	Uk1	Flussschlick, >10 dm	fS, u	<
MP 60	cL1	Flussschlick, >10 dm	mS	+
MP 61	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<
MP 62	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	+
MP 63	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs	<
MP 64	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<
MP 65	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<
MP 66	L1	Fluss- und Bachlehm	80 cm U, fs; gS	<

MP 67	U3	Fluss- und Bachlehm	70 cm T; gS	<<, Wasser
MP 68	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+
MP 69	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+
MP 70	S3	Jüngerer Flugsand	1m fS-mS, u; gS	+
MP 71	S3	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+
MP 72	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<
MP 73	S3	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+
MP 74	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	+
MP 75	S3	Flussschlick, 5-10 dm →cL1	U, t	Kein Fluss
MP 76	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	Kein Fluss
MP 77	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	Kein Fluss
MP 78	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<
MP 79	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<
MP 80	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	Kein Fluss
MP 80b	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<<
MP 81	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<
MP 82	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+
MP 83	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	Kein Fluss
MP 84	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	Kein Fluss
MP 85	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	<<
MP 86	Uk4	Jüngerer Flugsand	mS	+
MP 87	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, tf; S-mS, u	+
MP 88	S4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS	+
MP 89	S4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS-gS	+
MP 90	Uk4	Jüngerer Flugsand	40 cm U, fs, t; mS-mG	+
MP 91	Uk4	Jüngerer Flugsand	30 cm U, fs, t; mS-mG	+
MP 92	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS, fg	+
MP 93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+
MP 94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+
MP 95	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs, t; mS-mG	+

10.3. Zuordnung der Parameter zu den Messpunkten

Tabelle 19: Datengrundlage der Gliederung der Diskussion

Werte nach petrologischer Boden Bezeichnung und Bodenform						Rn ges. Ø [Bq/m3]	Rn max. [Bq/m3]	Rn222 Ø [Bq/m3]	Ra226[Bq/kg TM]	CO2 [Vol.- %]
Sand										
Braunerde										
lessiviert, aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über tiefem carbonatführendem Flugsand (Pleistozän)										
MP 8	S1	Jüngerer Flugsand		Abbr.		24.980	31.616	15.968	15,7	0,5
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+		15.217	18.688	8.384	20,9	0,6
MP 47	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+		22.374	26.880	10.048	13,8	0,6
MP 48	S1	Jüngerer Flugsand	mS	+		22.213	29.824	8.821	15	0
MP 55	S1	Jüngerer Flugsand	fS, t, u	<		46.682	57.856	11.056	17,4	0,4
MP 68	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+		36.224	43.008	23.573	16,6	1,8
MP 69	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+		33.536	41.728	12.531	18,3	1
Mittelwert						28.747	35.657	12.912	16,814	0,7
Standardabweichung						9.864	11.946	4.957	2,1682	0,526
Braunerde-Parabraunerde aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenschluff über tiefem bimsarmem Flusscarbonatsand über sehr tiefem carbonatführendem Flugsand (Pleistozän)										
MP 18	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, s	<<		25.907	40.704	29.907	32,1	1,2
MP 33	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, ü	<		45.627	55.552	37.632	19,1	4
MP 34	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	+		46.720	67.584	18.709	29,3	2,2
MP 35	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	<		40.285	49.664	18.869	24,8	2,4
MP 36	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	x		-	-	-	24,9	-
MP 37	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+		36.208	49.152	10.496	20,4	3,6
MP 38	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+		63.846	74.240	41.813	21,9	5,6
MP 39	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, g	+		46.632	54.016	23.936	26,8	7,8
MP 40	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+		89.088	110.080	63.53	30,1	7,2
MP 41	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<		91.392	108.032	85.376	29,3	7,6
MP 42	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<		80.964	93.696	47.936	27,3	5,8
MP 43	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1	x		-	-	-	36,3	-
MP 44	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1	x		-	-	-	36,2	-
MP 45	S2	Fluss- und Bachlehm	T, u àT1	x		-	-	-	38,1	-
MP 49	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+		4.797	9.088	85	13,6	
MP 50	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+		12.049	14.848	3.426	15,3	0,6
MP 52	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs	+		14.028	16.768	5.584	20,7	1,2

	MP									
	53	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs, u	+	23.364	32.256	10.960	21,7	1,2
	MP									
	54	S2	Jüngerer Flugsand	fs, mS	+	17.979	22.272	3.314	20,1	1,6
Mittelwert						42.592	53.197	24.146	25,684	3,714
Standardabweichung						27.064	31.477	22.435	6,8088	2,523
Parabraunerde-Gley aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über carbonatführendem Flugsand über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP									
	51	S3	Jüngerer Flugsand	mS	+	12.403	18.048	5.312	22,4	0,8
	MP									
	70	S3	Jüngerer Flugsand	1m fs-mS, u; gS	+	28.992	32.768	8.512	19,1	2
	MP									
	71	S3	Flussschlick, 5-10 dm	fs-mS, u	+	63.460	74.240	32.427	22	2,8
	MP									
	72	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	49.920	65.536	40.384	23	3,6
	MP									
	73	S3	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	82.235	95.232	56.384	25,2	7,2
	MP									
	74	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	+	56.716	69.632	44.339	20	6
	MP									
	75	S3	àcL1	U, t	x	-	-	-	26,5	
Mittelwert						48.954	59.243	31.226	22,6	3,733
Standardabweichung						22.780	26.031	18.608	2,436	2,223
Gley aus Flugsand über tiefem kiesführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP									
	88	S4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS	+	24.820	31.616	12.480	17,8	6,2
	MP									
	89	S4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS- gS	+	35.381	38.400	25.984	15,2	5,8
Mittelwert						30.101	35.008	19.232	16,5	6
Standardabweichung						5.281	3.392	6.752	1,3	0,2
Mittelwert						39.801	49.101	22.560	22,769	3,148
Standardabweichung						23.453	27.374	19.071	6,4302	2,529
Lehm										
Gley aus Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP									
	66	L1	Fluss- und Bachlehm	80 cm U, fs; gS	<	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
Mittelwert						56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
Standardabweichung						0	0	0	0	0
Carbonat führender Lehm										
Kolluvisol mit auentypischer Grundwasserdynamik, aus carbonatführendem Pflug-Kipp-Lehm (Gegenwart) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Holozän)										
	MP									
	57	cL1	Flussschlick, >10 dm	T, u, fs	<<<	32.492	44.544	34.496	30,6	2,8
	MP									
	58	cL1	Flussschlick, >10 dm	fs, u, t	+	44.170	56.832	8.968	26,7	5
	MP									
	60	cL1	Flussschlick, >10 dm	mS	+	43.127	53.504	16.576	24,6	3,2

MP										
61	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	46.272	55.296	20.208	27,2	2,8	
MP										
62	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	+	74.581	93.184	31.040	27,7	6,2	
MP										
63	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs	<	59.026	67.072	25.557	29,3	5	
MP										
76	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	-	31	0,8	
MP										
77	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	-	30,3		
MP										
78	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	48.194	57.344	43.093	30,7	3,4	
MP										
79	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	40.428	56.320	37.205	26,5	3,8	
MP										
80	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	25,6	-	
MP										
80b	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<<	23.872	29.056	20.964		3,2	
MP										
81	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<	57.577	67.072	29.056	26,7	4,4	
MP										
82	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	64.495	75.264	43.136	28,1	6,2	
MP										
83	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	28	-	
MP										
84	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	25,2	-	
MP										
85	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	<<	49.056	59.392	43.648	24,2	4,2	
Mittelwert					48.608	59.573	29.496	27,65	3,923	
Standardabweichung					13.260	15.066	10.882	2,1512	1,431	
Pararendzina										
aus carbonatführendem Auenlehm über carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)										
MP										
28	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	T-U, fs	<<	28.149	31.744	29.291	30,4	2,2	
MP										
29	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS, u	+	29.555	39.168	16.435	26	3,8	
MP										
30	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	17.424	21.888	10.360	19,3	3,4	
MP										
31	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	48.989	65.536	32.661	18,6	5,2	
MP										
64	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<	53.519	62.464	23.552	25,7	2,8	
MP										
65	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	43.264	53.248	30.805	32,3	3,4	
Mittelwert					36.817	45.675	23.851	25,383	3,467	
Standardabweichung					12.732	16.000	8.090	5,1073	0,929	
Mittelwert					42.326	52.049	26.161	25,857	3,59	
Standardabweichung					17.060	20.381	11.840	6,4333	1,52	
Lehmmergel										
(Auen)Kalkgley aus Auenlehmmergel (Holozän) über Seekreide (Pleistozän-Holozän) über tiefem kiesführendem Carbonatflusssand (Pleistozän)										
Mp										
ref1	Lk1	Flussschlick, 5-10 dm	50 cm U,t; U,mS		77.982	98.816	61.376	24,4	3	
MP										
1	Lk1	Flussschlick, >10 dm	50 cm U,t; U,mS		76.859	87.552	67.712	-	3	
MP										
2	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	7.044	12.352	7.712	26,9		
MP										
3	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	x	-	-	-	33,9	-	
MP										
4	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	26.283	41.984	32.384	26,3	2,2	
MP										
5	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<	82.048	110.080	95.232	27,1	5	
Mittelwert					54.043	70.157	52.883	27,72	3,3	
Standardabweichung					31.169	37.021	30.153	3,2338	1,034	
Schluff										
Gley-Parabraunerde										

aus lössarmem, flugsandreichem Sand (Hauptlage) über Auenlehm über tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP 6	U1	Flussschlick, >10 dm		Wasser	80.750	93.696	88.064	22,6	2,6
Auengley										
aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP 26	U2	Fluss- und Bachlehm	T, h	<	104.192	133.120	98.099	40,3	5
Auenanmoorgley										
aus Auenschluff (Holozän) über tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP 67	U3	Fluss- und Bachlehm	70 cm T; gS	<<, W	-	-	-	37,1	0,4
Mittelwert						92.471	113.408	93.082	33,333	3,8
Standardabweichung						11.721	19.712	5.018	7,7012	1,2
Schluffmergel										
Pararendzina										
aus Auenschluffmergel über Flusscarbonatsand (Pleistozän)										
	MP 7	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T, u	Abbr.	-	-	-	33,3	
	MP 9	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<	74.180	88.064	46.016	30,6	3,4
	MP 10	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	37,5	
	MP 56	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U, t, fs	+	37.803	49.408	10.752	30	3,2
	MP 59	Uk1	Flussschlick, >10 dm	fS, u	<	41.293	50.176	10.560	25,1	6
Mittelwert						51.092	62.549	22.443	31,3	4,2
Standardabweichung						16.388	18.044	16.669	4,0758	1,275
Pararendzina										
aus Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)										
	MP 22	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t	+	59.794	66.048	33.536	28,9	2,9
	MP 23	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	104.224	121.856	56.576	29,8	2,5
	MP 24	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	79.616	103.424	61.013	32,1	2,8
Mittelwert						81.211	97.109	50.375	30,267	2,733
Standardabweichung						18.174	23.217	12.044	1,3474	0,17
Pararendzina-Gley										
aus Auenschluffmergel (Pleistozän-Holozän) über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)										
	MP 25	Uk3	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fg	+	96.469	109.056	67.328	26	3,2
Mittelwert						96.469	#####	67.328	26	3,2
Standardabweichung						0	0	0	0	0
Gley-Tschernitza										

aus Auenschluffmergel über tiefem kiesführendem Flusscarbonatsand (Pleistozän)										
MP										
86	Uk4	Jüngerer Flugsand	mS	+	27.776	38.400	16.384	14,6	3,8	
MP										
87	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, tf; S-mS, u	+	57.783	69.120	26.048	16,5	4,6	
MP										
90	Uk4	Jüngerer Flugsand	40 cm U, fs, t; mS-mG	+	44.623	64.256	34.987	23,8	5,8	
MP										
91	Uk4	Jüngerer Flugsand	30 cm U, fs, t; mS-mG	+	22.924	30.336	10.624	17,9	2,8	
MP										
92	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS, fg	+	25.287	28.672	23.232	24,9	4,6	
MP										
93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+	34.880	40.704	15.840	14,3	5,2	
MP										
94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+	46.793	56.320	24.320	18,4	3,8	
MP										
95	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs, t; mS-mG	+	11.673	15.872	5.493	16,6	3	
Mittelwert						33.967	42.960	19.616	18,375	4,2
Standardabweichung						14.048	17.462	8.788	3,704	0,975
Mittelwert						51.008	62.114	29.514	24,724	3,84
Standardabweichung						26.460	30.383	19.245	6,9905	1,098
Ton										
Humusparabraunerde erodiert, aus Auenton über Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem Flusssand (Pleistozän)										
MP										
11	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	Abbr.	-	-	-	-	-	
MP										
12	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	36,1		
MP										
13	T1	Flussschlick, >10 dm	T	x	-	-	-	43,6		
MP										
14	T1	Flussschlick, >10 dm	70 cm T; U	<	70.447	87.040	65.088	22,8	0,9	
MP										
32	T1	Flussschlick, 5-10 dm	T, ũ, fs	x	-	-	-	35,1	-	
Mittelwert						70.447	87.040	65.088	34,4	0,9
Standardabweichung						0	0	0	7,4596	0
Humuspelosol vergleitet, aus Auenton (Holozän) über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)										
MP										
15	T2	Flussschlick, >10 dm	50 cm T; U	<	150.756	167.936	115.712	23,9	1	
Mittelwert						150.756	###	115.712	23,9	1
Standardabweichung						0	0	0	0	0
Pararendzina aus carbonatführendem Auenton über Auenschluffmergel über tiefem Flusscarbonatsand (Pleistozän)										
MP										
27	T3	Flussschlick, >10 dm	U, fs	+	20.339	25.344	14.480	17,7	1,9	
Mittelwert						20.339	25.344	14.480	17,7	1,9
Standardabweichung						0	0	0	0	0
Pseudogley-Parabraunerde erodiert, aus Auenton über tiefem Auenschluffmergel über sehr tiefem carbonatführendem, kiesführendem Flusssand (Pleistozän)										

MP 16	T4	Flussschlick, 5-10 dm	fS, ū	+	55.353	67.072	51.712	25,6	2
MP 17	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s äfS, ū	+	61.483	75.776	50.496	28,9	2
MP 19	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs´	+	58.283	79.872	31.040	27,4	3,9
MP 20	T4	Jüngerer Flugsand	U, t, fs´	x	-	-	-	20,9	
MP 21	T4	Jüngerer Flugsand	fS, u	+	23.825	35.072	16.576	18,5	2,7
Mittelwert					49.736	64.448	37.456	24,26	2,65
Standardabweichung					15.116	17.579	14.581	3,9409	0,776
Mittelwert					63.867	76.873	49.301	27,318	2,057
Standardabweichung					39.990	42.936	32.257	7,6977	2,057
Werte nach geologischer Formation									
Jungpleistozäner Flussschlick, 5-10 dm mächtig									
MP ref1	Lk1	Flussschlick, 5-10 dm	50 cm U,t; U,mS		77.982	98.816	61.376	24,4	3
MP 16	T4	Flussschlick, 5-10 dm	fS, ū	+	55.353	67.072	51.712	25,6	2
MP 17	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s äfS, ū	+	61.483	75.776	50.496	28,9	2
MP 18	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, s	<<	25.907	40.704	29.907	32,1	1,2
MP 19	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs´	+	58.283	79.872	31.040	27,4	3,9
MP 22	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t	+	59.794	66.048	33.536	28,9	2,9
MP 23	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	104.224	121.856	56.576	29,8	2,5
MP 24	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+	79.616	103.424	61.013	32,1	2,8
MP 25	Uk3	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fg	+	96.469	109.056	67.328	26	3,2
MP 28	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	T-U, fs	<<	28.149	31.744	29.291	30,4	2,2
MP 29	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS, u	+	29.555	39.168	16.435	26	3,8
MP 30	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	17.424	21.888	10.360	19,3	3,4
MP 31	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	48.989	65.536	32.661	18,6	5,2
MP 32	T1	Flussschlick, 5-10 dm	T, ū, fs	x	-	-	-	35,1	-
MP 33	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, ū	<	45.627	55.552	37.632	19,1	4
MP 34	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	+	46.720	67.584	18.709	29,3	2,2
MP 35	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	<	40.285	49.664	18.869	24,8	2,4
MP 36	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	x	-	-	-	24,9	-
MP 37	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	36.208	49.152	10.496	20,4	3,6
MP 38	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+	63.846	74.240	41.813	21,9	5,6
MP 39	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, g	+	46.632	54.016	23.936	26,8	7,8
MP 40	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+	89.088	110.080	63.53	30,1	7,2
MP 41	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	91.392	108.032	85.376	29,3	7,6
MP 42	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<	80.964	93.696	47.936	27,3	5,8
MP 61	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	46.272	55.296	20.208	27,2	2,8
MP 62	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	+	74.581	93.184	31.040	27,7	6,2
MP 63	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs	<	59.026	67.072	25.557	29,3	5
MP 64	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<	53.519	62.464	23.552	25,7	2,8
MP 65	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	43.264	53.248	30.805	32,3	3,4
MP 71	S3	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	63.460	74.240	32.427	22	2,8
MP 72	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	49.920	65.536	40.384	23	3,6
MP 73	S3	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	82.235	95.232	56.384	25,2	7,2
MP 74	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	+	56.716	69.632	44.339	20	6

MP 76	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	-	31	0,8
MP 77	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	x	-	-	-	30,3	0,6
MP 78	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	48.194	57.344	43.093	30,7	3,4
MP 79	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	40.428	56.320	37.205	26,5	3,8
MP 80	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	25,6	-
MP 80b	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<<	23.872	29.056	20.964	-	3,2
MP 81	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<	57.577	67.072	29.056	26,7	4,4
MP 82	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	64.495	75.264	43.136	28,1	6,2
MP 83	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	28	-
MP 84	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	x	-	-	-	25,2	-
MP 85	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	<<	49.056	59.392	43.648	24,2	4,2
MP 75	S3	àcL1	U, t	x	-	-	-	26,5	-
Mittelwert					56.665	69.279	37.175	26,675	3,864
Standardabweichung					20.642	23.711	16.473	3,7753	1,818
Jungpleistozäner Flussschlick, >10 dm mächtig									
MP 1	Lk1	Flussschlick, >10 dm	50 cm U,t; U,mS		76.859	87.552	67.712	-	3
MP 2	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	7.044	12.352	7.712	26,9	0,5
MP 3	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	x	-	-	-	33,9	-
MP 4	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	26.283	41.984	32.384	26,3	2,2
MP 5	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<	82.048	110.080	95.232	27,1	5
MP 6	U1	Flussschlick, >10 dm		w	80.750	93.696	88.064	22,6	2,6
MP 7	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T, u	x	-	-	-	33,3	0
MP 9	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<	74.180	88.064	46.016	30,6	3,4
MP 10	Uk1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	37,5	-
MP 11	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	-	-
MP 12	T1	Flussschlick, >10 dm	T,u	x	-	-	-	36,1	-
MP 13	T1	Flussschlick, >10 dm	T	x	-	-	-	43,6	-
MP 14	T1	Flussschlick, >10 dm	70 cm T; U	<	70.447	87.040	65.088	22,8	0,9
MP 15	T2	Flussschlick, >10 dm	50 cm T; U	<	150.756	167.936	115.712	23,9	1
MP 27	T3	Flussschlick, >10 dm	U, fs	+	20.339	25.344	14.480	17,7	1,9
MP 56	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U, t, fs	+	37.803	49.408	10.752	30	3,2
MP 57	cL1	Flussschlick, >10 dm	T, u, fs	<<<	32.492	44.544	34.496	30,6	2,8
MP 58	cL1	Flussschlick, >10 dm	fS, u, t	+	44.170	56.832	8.968	26,7	5
MP 59	Uk1	Flussschlick, >10 dm	fS, u	<	41.293	50.176	10.560	25,1	6
MP 60	cL1	Flussschlick, >10 dm	mS	+	43.127	53.504	16.576	24,6	3,2
Mittelwert					56.257	69.179	43.839	28,85	2,713
Standardabweichung					35.051	38.441	35.189	6,1115	1,668
Älterer Fluss- und Bachlehm									
MP 26	U2	Fluss- und Bachlehm	T, h	<	104.192	133.120	98.099	40,3	5
MP 43	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1	x	-	-	-	36,3	-
MP 44	S2	Fluss- und Bachlehm	U, t, ms àT1	x	-	-	-	36,2	-
MP 45	S2	Fluss- und Bachlehm	T, u àT1	x	-	-	-	38,1	-
MP 66	L1	Fluss- und Bachlehm	80 cm U, fs; gS	<	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
MP 67	U3	Fluss- und Bachlehm	70 cm T; gS	<<, W	-	-	-	37,1	-

Mittelwert						80.576	98.816	64.684	35,2	5,4
Standardabweichung						23.616	34.304	33.415	5,5414	0,4
Jüngerer Flugsand										
MP 8	S1	Jüngerer Flugsand		Abbr.		24.980	31.616	15.968	15,7	0,5
MP 20	T4	Jüngerer Flugsand	U, t, fs'	x		-	-	-	20,9	
MP 21	T4	Jüngerer Flugsand	fs, u	+		23.825	35.072	16.576	18,5	2,7
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+		15.217	18.688	8.384	20,9	0,6
MP 47	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+		22.374	26.880	10.048	13,8	0,6
MP 48	S1	Jüngerer Flugsand	mS	+		22.213	29.824	8.821	15	
MP 49	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+		4.797	9.088	85	13,6	
MP 50	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+		12.049	14.848	3.426	15,3	0,6
MP 51	S3	Jüngerer Flugsand	mS	+		12.403	18.048	5.312	22,4	0,8
MP 52	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs	+		14.028	16.768	5.584	20,7	1,2
MP 53	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs, u	+		23.364	32.256	10.960	21,7	1,2
MP 54	S2	Jüngerer Flugsand	fs, mS	+		17.979	22.272	3.314	20,1	1,6
MP 55	S1	Jüngerer Flugsand	fs, t, u	<		46.682	57.856	11.056	17,4	0,4
MP 68	S1	Jüngerer Flugsand	fs-mS, u	+		36.224	43.008	23.573	16,6	1,8
MP 69	S1	Jüngerer Flugsand	fs-mS, u	+		33.536	41.728	12.531	18,3	1
MP 70	S3	Jüngerer Flugsand	1m fs-mS, u; gS	+		28.992	32.768	8.512	19,1	2
MP 86	Uk4	Jüngerer Flugsand	mS	+		27.776	38.400	16.384	14,6	3,8
MP 87	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, tf, S-mS, u	+		57.783	69.120	26.048	16,5	4,6
MP 88	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS	+		24.820	31.616	12.480	17,8	6,2
MP 89	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS-gS	+		35.381	38.400	25.984	15,2	5,8
MP 90	Uk4	Jüngerer Flugsand	40 cm U, fs, t; mS-mG	+		44.623	64.256	34.987	23,8	5,8
MP 91	Uk4	Jüngerer Flugsand	30 cm U, fs, t; mS-mG	+		22.924	30.336	10.624	17,9	2,8
MP 92	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS, fg	+		25.287	28.672	23.232	24,9	4,6
MP 93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+		34.880	40.704	15.840	14,3	5,2
MP 95	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs, t; mS-mG	+		11.673	15.872	5.493	16,6	3
Mittelwert						25.992	32.837	13.134	18,064	2,582
Standardabweichung						12.136	14.827	8.376	3,1146	1,94
Jüngere mittelpleistozäne Flussschotter (Terrassen des Mains, des Rheins und der Odenwaldbäche)										
MP 94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+		46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
Mittelwert						46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
Standardabweichung						0	0	0	0	0
Werte nach Permeabilität										
MP 16	T4	Flussschlick, 5-10 dm	fs, ũ	+		55.353	67.072	51.712	25,6	2
MP 17	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U,s äfS, ũ	+		61.483	75.776	50.496	28,9	2
MP 19	T4	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs'	+		58.283	79.872	31.040	27,4	3,9
MP 21	T4	Jüngerer Flugsand	fs, u	+		23.825	35.072	16.576	18,5	2,7
MP 22	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t	+		59.794	66.048	33.536	28,9	2,9
MP 23	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+		104.224	121.856	56.576	29,8	2,5
MP 24	Uk2	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	+		79.616	103.424	61.013	32,1	2,8
MP 25	Uk3	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fg	+		96.469	109.056	67.328	26	3,2
MP 27	T3	Flussschlick, >10 dm	U, fs	+		20.339	25.344	14.480	17,7	1,9

MP 29	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS, u	+	29.555	39.168	16.435	26	3,8
MP 30	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	17.424	21.888	10.360	19,3	3,4
MP 31	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	48.989	65.536	32.661	18,6	5,2
MP 34	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	+	46.720	67.584	18.709	29,3	2,2
MP 37	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS	+	36.208	49.152	10.496	20,4	3,6
MP 38	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+	63.846	74.240	41.813	21,9	5,6
MP 39	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, g	+	46.632	54.016	23.936	26,8	7,8
MP 40	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u	+	89.088	110.080	63.530	30,1	7,2
MP 46	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+	15.217	18.688	8.384	20,9	0,6
MP 47	S1	Jüngerer Flugsand	mS-gS	+	22.374	26.880	10.048	13,8	0,6
MP 48	S1	Jüngerer Flugsand	mS	+	22.213	29.824	8.821	15	0
MP 49	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+	4.797	9.088	85	13,6	0
MP 50	S2	Jüngerer Flugsand	mS	+	12.049	14.848	3.426	15,3	0,6
MP 51	S3	Jüngerer Flugsand	mS	+	12.403	18.048	5.312	22,4	0,8
MP 52	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs	+	14.028	16.768	5.584	20,7	1,2
MP 53	S2	Jüngerer Flugsand	mS, fs, u	+	23.364	32.256	10.960	21,7	1,2
MP 54	S2	Jüngerer Flugsand	fS, mS	+	17.979	22.272	3.314	20,1	1,6
MP 56	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U, t, fs	+	37.803	49.408	10.752	30	3,2
MP 58	cL1	Flussschlick, >10 dm	fS, u, t	+	44.170	56.832	8.968	26,7	5
MP 60	cL1	Flussschlick, >10 dm	mS	+	43.127	53.504	16.576	24,6	3,2
MP 62	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	+	74.581	93.184	31.040	27,7	6,2
MP 68	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+	36.224	43.008	23.573	16,6	1,8
MP 69	S1	Jüngerer Flugsand	fS-mS, u	+	33.536	41.728	12.531	18,3	1
MP 70	S3	Jüngerer Flugsand	1m fS-mS, u; gS	+	28.992	32.768	8.512	19,1	2
MP 71	S3	Flussschlick, 5-10 dm	fS-mS, u	+	63.460	74.240	32.427	22	2,8
MP 73	S3	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	82.235	95.232	56.384	25,2	7,2
MP 74	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	+	56.716	69.632	44.339	20	6
MP 82	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	+	64.495	75.264	43.136	28,1	6,2
MP 86	Uk4	Jüngerer Flugsand	mS	+	27.776	38.400	16.384	14,6	3,8
MP 87	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, tf; S-mS, u	+	57.783	69.120	26.048	16,5	4,6
MP 88	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS	+	24.820	31.616	12.480	17,8	6,2
MP 89	S5	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS-gS	+	35.381	38.400	25.984	15,2	5,8
MP 90	Uk4	Jüngerer Flugsand	40 cm U, fs, t; mS-mG	+	44.623	64.256	34.987	23,8	5,8
MP 91	Uk4	Jüngerer Flugsand	30 cm U, fs, t; mS-mG	+	22.924	30.336	10.624	17,9	2,8
MP 92	Uk4	Jüngerer Flugsand	60 cm U, fs, t; mS, fg	+	25.287	28.672	23.232	24,9	4,6
MP 93	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs; gS	+	34.880	40.704	15.840	14,3	5,2
MP 94	Uk4	Flussschotter	50 cm U, fs; ms-gS	+	46.793	56.320	24.320	18,4	3,8
MP 95	Uk4	Jüngerer Flugsand	50 cm U, fs, t; mS-mG	+	11.673	15.872	5.493	16,6	3
Mittelwert					42.118	52.178	24.261	21,896	3,394
Standardabweichung					23.846	28.147	17.928	5,2003	2,035
MP 9	Uk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<	74.180	88.064	46.016	30,6	3,4
MP 14	T1	Flussschlick, >10 dm	70 cm T; U	<	70.447	87.040	65.088	22,8	0,9
MP 15	T2	Flussschlick, >10 dm	50 cm T; U	<	150.756	167.936	115.712	23,9	1
MP 26	U2	Fluss- und Bachlehm	T, h	<	104.192	133.120	98.099	40,3	5

MP 33	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, ū	<	45.627	55.552	37.632	19,1	4
MP 35	S2	Flussschlick, 5-10 dm	mS, u, t	<	40.285	49.664	18.869	24,8	2,4
MP 42	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<	80.964	93.696	47.936	27,3	5,8
MP 55	S1	Jüngerer Flugsand	fS, t, u	<	46.682	57.856	11.056	17,4	0,4
MP 59	Uk1	Flussschlick, >10 dm	fS, u	<	41.293	50.176	10.560	25,1	6
MP 63	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs	<	59.026	67.072	25.557	29,3	5
MP 64	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<	53.519	62.464	23.552	25,7	2,8
MP 66	L1	Fluss- und Bachlehm	80 cm U, fs; gS	<	56.960	64.512	31.269	23,2	5,8
Mittelwert					68.661	81.429	44.279	25,792	3,542
Standardabweichung					30.569	34.694	32.053	5,6577	1,956
MP 5	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<	82.048	110.080	95.232	27,1	5
MP 18	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, s	<<	25.907	40.704	29.907	32,1	1,2
MP 28	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	T-U, fs	<<	28.149	31.744	29.291	30,4	2,2
MP 41	S2	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	91.392	108.032	85.376	29,3	7,6
MP 61	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	46.272	55.296	20.208	27,2	2,8
MP 65	cL2	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	43.264	53.248	30.805	32,3	3,4
MP 72	S3	Flussschlick, 5-10 dm	U, fs, t	<<	49.920	65.536	40.384	23	3,6
MP 78	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	48.194	57.344	43.093	30,7	3,4
MP 79	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	U, t, fs	<<	40.428	56.320	37.205	26,5	3,8
MP 81	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<	57.577	67.072	29.056	26,7	4,4
MP 85	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u	<<	49.056	59.392	43.648	24,2	4,2
MP 6	U1	Flussschlick, >10 dm		w	80.750	93.696	88.064	22,6	2,6
Mp ref1	Lk1	Flussschlick, 5-10 dm	50 cm U,t; U,mS		77.982	98.816	61.376	24,4	3
MP 1	Lk1	Flussschlick, >10 dm	50 cm U,t; U,mS		76.859	87.552	67.712	-	3
Mittelwert					56.986	70.345	50.097	27,423	3,586
Standardabweichung					20.315	23.991	23.995	3,1945	1,443
MP 2	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	7.044	12.352	7.712	26,9	0,5
MP 4	Lk1	Flussschlick, >10 dm	U,t	<<<	26.283	41.984	32.384	26,3	2,2
MP 57	cL1	Flussschlick, >10 dm	T, u, fs	<<<	32.492	44.544	34.496	30,6	2,8
MP 80b	cL1	Flussschlick, 5-10 dm	T, u, fs	<<<	23.872	29.056	20.964		3,2
Mittelwert					22.423	31.984	23.889	27,933	2,175
Standardabweichung					9.419	12.765	10.664	1,9015	1,03

10.4. CD

Auf der CD befinden sich die digitalen Ausgaben dieser Arbeit, weiterhin enthält sie die Rohdaten der Messungen und die den Kartendarstellungen zugrunde liegenden Dateien.

11. Danksagungen

Ich möchte meinen Freunden Steven Gast, Tobias Hill und Hanna Reinheimer für ihre tatkräftige Unterstützung im Feld danken, ohne sie wäre es nicht möglich gewesen, über 100 Bohrungen durchzuführen. Hanna vielen Dank auch für die motivierenden Ansprachen während der Zeit im Büro. Einen weiteren großen Dank möchte ich an Herrn Spath von den Überlandwerken Groß-Gerau und Herrn Dr. Johann-Gerhard Fritsche vom Hessischen Landesamt für Umwelt und Geologie aussprechen, die mir die Daten für meine Arbeit zur Verfügung gestellt haben und mir mit Rat zur Seite standen. Außerdem möchte ich Prof. Dr. Andreas Hoppe und Dr. Rouwen Lehné für die kompetente Betreuung und die wertvollen Hinweise während der Bearbeitungszeit danken. And last but not least, ein großer Dank an meine Familie die mit vereinten Kräften die Rechtschreibung und vor allem die Zeichensetzung dieser Arbeit korrigiert haben und im Besonderen möchte ich meinen Eltern danken, die mich während meiner nun doch so langen Zeit an der Uni immer unterstützt haben.

12. Literaturverzeichnis

- Bartz, J. (1974): Die Mächtigkeit des Quartärs im Oberrheingraben. In: K. Fuchs and J.H. Illies (Editors), *Approaches to Taphrogenesis*. E. Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Stuttgart, S. 78-87
- Bonanati, C. (2012): GIS-based feasibility study on detecting hidden recent active tectonic structures by means of soil air radon measurements in the Canterbury Plains, New Zealand. Fachbereich 11 Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt: 104 Seiten, (unpublished).
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bundesamt für Strahlenschutz (2001): *Radon-Handbuch Deutschland*, letzte Aktualisierung 2010
- Darby, S., Hill, D., Auvinen, A., Barros-Dios, J-M., Baysson, H., Bochicchio, F., Deo, H., Falk, R., Orastiere, F., Hakama, M., Heid, I., Kreienbrock, L., Kreuzer, M., Lagrange, F., Mäkeläinen, Muirhead, C., Oberaigner, W., Pershagen, G., Ruano-Ravina, A., Ruosteenoja, E., Schaffrath Rosario, A., Tirmarche, M., Tomascaron, L., Whitley, E., Wichmann, H-E., Doll, R. (2005): Radon in homes and risk of lung cancer: collaborative analysis of individual data from 13 European case-control studies, *BMJ* 2005;330:223
- Demtröder, W. (2010): *Experimentalphysik 4 – Kern, Teilchen- und Astrophysik*: 2. Aufl., 552 S., Berlin (Springer)
- Derer, C. E. (2003): *Tectono-sedimentary evolution of the northern Upper Rhine Graben (Germany), with special regard to the early syn-rift stage*. – Dissertation, 99 S., Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn (unpublished).
- Dèzes, P., Schmidt, S.M., Ziegler, P.A. (2004): Evolution of the European Cenozoic Rift System: interaction of the Alpine and Pyrenean orogens with their foreland lithosphere. *Tectonophysics*, 389 S.
- Gabriel, G., Ellwanger, D., Hoselmann, C., Weidenfeller, M., Wielandt-Schuster, U. (2012): The Heidelberg Basin, Upper Rhine Graben (Germany): A unique archive of Quaternary sediments in Central Europe. - *Quaternary International*, 16 S., DOI: 10.1016/j.quaint.2012.10.044,.
- Geyer, O. F. et al. (2011): *Geologie von Baden-Württemberg*. - 5. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart, 627 S.
- Kemski & Partner (2004): *Die Radonkarte Deutschlands Kurzinformation zu Radon in der Boden- und Raumluft*, S. 3
- Kemski, J.; Siehl, A; Stegemann, R.; Valdivia-Manchego, M (1998): *Geogene Faktoren der Strahlenexposition unter besonderer Berücksichtigung des Radonpotentials*.

Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben ST. Sch. 4106. Geologisches Institut der Universität Bonn

- Kemski, J., Klingel, R., Siehl, A., Neznal, M., Matolin, M. (2012): Erarbeitung fachlicher Grundlagen zum Beurteilung der Vergleichbarkeit unterschiedlicher Messmethoden zur Bestimmung der Radonbodenluftkonzentration - Vorhaben 3609S10003 : Bd. 2, Sachstandsbericht "Radonmessungen in der Bodenluft - Einflussfaktoren, Messverfahren, Bewertung". Ressortforschungsberichte zur kerntechnischen Sicherheit und zum Strahlenschutz ; 63/12-Bd. 2: 122 pp.
- Košťák, B.; Stemberk, J. (2013): Rhein Graben fault zone micro-deformation monitoring - Results from sites Darmstadt and Deidesheim: Institute of Rock Structure and Mechanics, v.v.i. Czech Academy of Sciences, Prague, Czech Republic, 6 Seiten, (unpublished)
- Kreuzer, M., (2005): Radon in Wohnungen ist wichtigster Umweltrisikofaktor für Lungenkrebs. In: Umwelt Medizinischer Informations Dienst, Ausgabe 1/2005
- Kuhn, G. (2013): Messung von Radonkonzentrationen in der Boden- und Raumluft im Stadtgebiet Darmstadt zur Beurteilung von Radonmigration im geodynamischen Kontext. Fachbereich 11 Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt: 53 Seiten, (unpublished).
- Menzler S., Schaffrath-Rosario A., Wichman H.E., Kreienbrock L.: Abschätzung des attributablen Lungenkrebsrisikos in Deutschland durch Radon in Wohnungen. Ecomed-Verlag, Landsberg, 2006
- Neidherr, D. et al. (2009): Discovery of ^{229}Rn and the Structure of the Heaviest Rn and Ra Isotopes from Penning-Trap Mass Measurements. In: Physical Review Letters, 102 (11), S. 5 pp.
- Neznal, M. et al. (2004): The new method for assessing the radon risk of building sites. Nová metodika stanovení radonového indexu pozemku. Survey, C. G. Prague, Czech Geological Survey: S. 1-51.
- Pavlidou, S.; Koroneos, A.; Papastefanou, C.; Christofides, G.; Stoulos, S.; Vavelides, M.: Natural Radioactivity of Granites Used as Building Materials in Greece. Bulletin of the Geological Society of Greece, Volume XXXVI, 2004
- Peters, G. (2007): Active tectonics in the Upper Rhine Graben - Integration of paleoseimology, geomorphology and geomechanical modeling. Tectonics/Structural Geology Department and Paleoclimatology and Geomorphology Department, Vrije Universiteit Amsterdam: 298 Seiten, http://comp1.geol.unibas.ch/downloads/Thesis_Gwendolyn_Peters.pdf (unpublished).
- Philipsborn, H. v. & Regenstauf, R. G. (2006): Strahlenschutz : Radioaktivität und Strahlungsmessung. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, G. u. V. S. München,

-
- Bayerisches Staatsministerium für Umwelt, Gesundheit und Verbraucherschutz (StMUGV):
260 pp.
- Reinheimer, H. (2011): Radonmessungen in der Bodenluft zur Detektion und Beschreibung neotektonischer Prozesse – Die Methode und ihre praktische Anwendung. Fachbereich 11 Material- und Geowissenschaften, TU Darmstadt: 69 Seiten, (unpublished).
- Rózsa, S. et al. (2005): Towards the determination of displacements in the Upper Rhine Graben area using GPS measurements and precise antenna modelling. - *Quaternary Science Reviews*, 24 (3-4), S. 425-438.
- Schkade, U.-K., Naumann, M., Wiechen, A. (2000): Messanleitung Umweltradioaktivität 6. Lfg./2000, Urban & Fischer, München, Jena
- Schumacher, M. E. (2002): Upper Rhine Graben: Role of preexisting structures during rift evolution. - *Tectonics*, 21 (1), S. 6/1-17.
- Schumann, R. R. & Gundersen, L. C. S. (1996): Geologic and climatic controls on the radon. U.S. Geological Survey, Denver
- Scheffer, F., Schachtschabel, P., Blume, H-P., Brümmer, G. W., Horn, R., Kandeler, E., Kögel-Knabner, I., Kretschmar, R., Stahr, K., Wilke, B.-M., Thiele-Bruhn, S., Welp, G. (2010): Lehrbuch der Bodenkunde, Spektrum Akademischer Verlag Heidelberg
- Steuer, A., Schmitt, O., Sonne, V. (1974): Groß-Gerau 6016: Geologische Karte von Hessen 1:25000, Hessisches Landesamt für Bodenforschung
- Walter, R. & Dorn, P. (2007): Geologie von Mitteleuropa. - 7. Aufl., Schweizerbart, Stuttgart, 511 S.
- Weidner, E.(1990): Blatt 107: Oberrheinebene, Bodenkarte der nördlichen Oberrheinebene 1:50.000, Hessisches Landesamt für Umwelt und Geologie
- 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, (unpublished).
- Wiegand, J. (2001): A guideline for the evaluation of the soil radon potential based on geogenic and anthropogenic parameters. In: *Environmental Geology*, 40 (8), S. 949-963.
- Zeeb, H. & Shannoun, F., Eds. (2009): WHO handbook on indoor radon : a public health perspective World Health Organization (WHO), Geneva, Switzerland, 94 pp.
- Ziegler, P. A. (1994): Cenozoic Rift System of Western and Central-Europe: an Overview. - *Geologie En Mijnbouw*, 73 (2-4), S. 99-127.
- Ziegler, P. A. & Dèzes, P. (2006): Crustal evolution of Western and Central Europe. - *Geological Society*, London, *Memoirs*, 32 (1), S. 43-56.

Internetquellen:

Bundesamt für Strahlenschutz: Spezifische Aktivitäten natürlicher Radionuklide
in Natursteinen, Baustoffen und Reststoffen;
<http://www.bfs.de/de/ion/anthropg/baustoffe/baustoffe.html>; Stand 29.04.2014